8^{ο} Συνέδριο Φοιτητών Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών

Συνεδριακό & Πολιτιστικό Κέντρο
Πανεπιστημίου Πατρών

3, 4, 5 Απριλίου 2015

Περιεχόμενα

[Πρόγραμμα Συνεδρίου] 4

[Καλωσόρισμα] 8

Χαιρετισμός των Προέδρων του Συνεδρίου 8

Χαιρετισμός Οργανωτικής Επιτροπής 9

[Συντελεστές ΣΦΗΜΜΥ 8] 10

Οργανωτική Επιτροπή 10

Τοπικές Οργανωτικές Επιτροπές 11

Επιστημονική Επιτροπή 11

[Προσκεκλημένοι Ομιλητές] 13

Μαραγκός Πέτρος: Σύγχρονες Τάσεις και Προοπτικές στην Επεξεργασία Σημάτων και Πληροφορίας 13

Παπαϊωάννου Γεώργιος: Ο ρόλος του Ανεξάρτητου Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, ΑΔΜΗΕ ΑΕ, στην αγορά ηλεκτρισμού της χώρας υπό το πρίσμα του Market Facilitator. Παρούσα κατάσταση και προοπτικές 14

Παπαλεξόπουλος Αλέξης: Next Generation Energy Market Design Structures: Challenges and Potential Solutions 15

Λάππας Βάιος: Διάστημα & Ελλάδα: Έρευνα και Ανάπτυξη σε Ακαδημαϊκό Περιβάλλον 16

Καμιναρά Ανδρούλλα: 2015 European Year for Development, the importance of technology and knowledge transfer and why is it relevant for Electrical and Computer Engineers 17

Μανωλάκος Ηλίας: Υπολογιστικές Μέθοδοι για την υποστήριξη in silico Βιολογίας σε μεγάλη κλίμακα 18

Τζαμαρέλος Γεράσιμος: Σύγχρονη Επιχειρηματικότητα και καινοτομία 19

[PAPERS] 20

[Πρώτη συνεδρία: Κοινωνιοκεντρικά δεδομένα] 20

[Δεύτερη συνεδρία: Ενέργεια] 23

[Τρίτη συνεδρία: Σύγχρονα συστήματα] 25

[Τέταρτη συνεδρία: Ανθρωποκεντρικά δεδομένα] 28

[POSTERS] 31

[WORKSHOPS] 34

Λέσχη Ρομποτικής - Firefighter robot 34

Accusonus - Audio source separation - Mixing DSP and math to unmix music and audio 34

IEEE - Functional Programming 34

[ΣΦΗΜΜΥ++] 35

[Παρουσιάσεις Startup] 35

UrboTour 35

Clio Muse 35

Codebender 35

[Παρουσιάσεις Ερευνητικών Ομάδων] 35

Applied Informatics in m-Health (AiM) 35

UoP Racing Team 35

Aristotle University Racing Team Electric (ARIST.U.R.T.LE) 36

Centre for Doctoral Training (CDT) 36

Σύστημα Ψηφιακών Ψηφοφοριών Ζευς από το Εθνικό Δίκτυο Έρευνας και Τεχνολογίας 36

[Πρόγραμμα Συνεδρίου]

Παρασκευή 3 Απριλίου			
Έναρξη - Λήξη	Αίθουσα		
	I1	I10	I5 Φουαγιέ
9:00-10:30	Εγγραφές & Υποδοχή		Booths: Startups
10:30-11:15	Έναρξη - Χαιρετισμοί		
Συνεδρία Κοινωνιοκεντρικών Δεδομένων			
11:15-12:00	**Ομιλητής Συνεδρίας** **Πέτρος Μαραγκός (Ε.Μ.Π.)** Σύγχρονες Τάσεις και Προοπτικές στην Επεξεργασία Σημάτων και Πληροφορίας		
12:00-14:00	**Ποδηματά Χαρά, Λώλος Κωστής** Η ενσωμάτωση του Namecoin στο OpenBazaar	Παρουσίαση Corallia mi - Cluster	
	Δρακόπουλος Γεώργιος Attacking DES with multilayer perceptrons		
	Δρακόπουλος Γεώργιος, Μπαρουτιάδη Αικατερίνη Implementing graph centrality measures for Neo4j		
	Μάλλης Δημήτριος, Καλαματιανός Γεώργιος, Νικολαράς Δημήτριος Συναισθηματική ανάλυση ελληνικών tweets και hashtags με χρήση λεξικού συναισθημάτων		
	Κουμπούρη Αθανασία, Αραβαντινού Χριστίνα, Σιμάκη Βασιλική Opinion Mining on Movie Reviews		
	Σιμάκη Βασιλική, Αραβαντινού Χριστίνα, Κουμπούρη Αθανασία Towards a knowledge-based approach for gender text classification		
	Αραβαντινού Χριστίνα, Σιμάκη Βασιλική, Κουμπούρη Αθανασία Associating named-entities with opinion expressing words		
	Φακωτάκης Νικόλαος-Δημήτριος Συνεργατικός Έλεγχος Διωκτών-Ρομπότ για Σύλληψη Εισβολέων-Ρομπότ		
	Παπαργυρίου Μαρίνα, Παπουλίδης Ηλίας, Ιωάννου Ευάγγελος, Κουφούλης Παναγιώτης, Χαραλαμπίδου Μαρία Automations for the prevention of accidents in outdoor playgrounds		
14:00-15:00	Γεύμα		
ΣΦΗΜΜΥ++: Startups			
15:00-16:00	Clio Muse		
	Codebender		
	UrboTour		
16:00-16:15	Διάλειμμα καφέ		

Παρασκευή 3 Απριλίου			
Έναρξη - Λήξη	Αίθουσα		
	I1	I10	I5 Φουαγιέ
Συνεδρία Συστημάτων Ενέργειας			Booths: Startups
16:15-17:00	**Ομιλητής Συνεδρίας** **Γιώργος Παπαϊωάννου (ΑΔΜΗΕ)** Ο ρόλος του Ανεξάρτητου Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, ΑΔΜΗΕ ΑΕ, στην αγορά ηλεκτρισμού της χώρας υπό το πρίσμα του Market Facilitator. Παρούσα κατάσταση και προοπτικές.		
17:00-19:00	**Τσιρούδης Ιωάννης, Αλειφέρης Σπυρίδων** Η Πηγή Αρνητικών Ιόντων Υδρογόνου (H-) "Προμηθέας Ι" Παρουσίαση και Χαρακτηρισμός	Workshop - Λέσχη Ρομποτικής Firefighter Robot	
	Τρουλλάκη Αικατερίνη, Λατούφης Κωνσταντίνος Comparison of different magnetic materials for locally manufactured axial flux small wind turbine generators in off-grid applications		
	Κατσίφας Βασίλειος Ενεργειακό δυναμικό του παλιρροϊκού ρεύματος του Ευρίπου		
	Σπαή Μάρθα, Πέππας Γεώργιος Έλεγχος και μελέτη συστημάτων γείωσης κτιρίων πανεπιστημίου Πατρών		
	Γκαϊδατζής Πασχάλης, Μπουχουράς Άγγελος, και Σγούρας Καλλισθένης Εύρεση βέλτιστου αριθμού, θέσης και ισχύος μονάδων διανεμημένης παραγωγής με χρήση τεχνικής σμήνους σωματιδίων		
	Μάντζιαρης Αγησίλαος, Σγούρας Καλλισθένης Μέθοδος επίλυσης ροής φορτίου με γραμμική πολυπλοκότητα		
	Χαλατσάκος Οδυσσέας Design and real time control of a stellarator in development		
	Κωτίδης Αλέξανδρος, Σικερίδης Χαράλαμπος, Σπαθούλας Νικόλαος, Χατζηγεωργίου Γεώργιος, Χαραλαμπίδου Μαρία Φωτισμός ειδικών συνθηκών, ανάλυση φωτοτεχνικής μελέτης και αυτοματοποίηση εγκατάστασης		

Σάββατο 4 Απριλίου

Έναρξη - Λήξη	Αίθουσα		
	I1	I10	I5 Φουαγιέ
10:00-10:45	**Προσκεκλημένος Ομιλητής** **Παπαλεξόπουλος Αλέξης (ECCO International)** Next Generation Energy Market Design Structures: Challenges and Potential Solutions		Booths: Ερευνητικές Ομάδες
10:45-11:15	Διάλειμμα καφέ		
Συνεδρία Σύγχρονων Συστημάτων			
11:15-12:00	**Ομιλητής Συνεδρίας** **Βάιος Λάππας (University of Surrey)** Διάστημα & Ελλάδα: Έρευνα και Ανάπτυξη σε Ακαδημαϊκό Περιβάλλον		
12:00-14:00	**Ράπτης Δήμος** LCN - a prediction-based contention aware scheduler for multithreaded applications	Workshop - IEEE - Functional Program-ming	
	Παπαϊωάννου Μαγδαληνή Δημιουργία χάρτη βάθους σκηνής σε υπολογιστικά συστήματα παράλληλης επεξεργασίας		
	Παπουτσόγλου Ευαγγελία, Φαρμάκης Αριστοτέλης Fractal Animations με MapReduce		
	Πλατυπόδη Μαρία MVDR beamformer – Speech quality assessment in presence of back-ground noise		
	Μήλας Νικόλαος Σύστημα επιτήρησης και ελέγχου ηλεκτροκίνητου οχήματος με χρήση ηλεκτρονικού διαφορικού		
	Μπόχαλης Χριστόδουλος και Φατούρος Οδυσσέας Προσδιορισμός της θέσης πλοίου εντός δεξαμενής με τη χρήση σαρωτή τεχνολογίας LiDAR		
	Ροντογιάννης Επαμεινώνδας Ανακατασκευή θερμικών εικόνων υψηλής ανάλυσης από εικόνες χαμηλής ανάλυσης με τεχνικές compressed sensing		
	Τσίνγκας Ηλίας, Δημόπουλος Πέτρος Serial communication over BLE - RS-232 cable replacement over Bluetooth Low Energy		
	Κασλής Κυριάκος A photodiode sensing circuit for operation in harsh environments		
14:00-15:00	Γεύμα		
ΣΦΗΜΜΥ++: Ερευνητικές Ομάδες			
15:00-16:30	AiM (Applied Informatics in m-Health) - Εργαστηρίου Βιοϊατρικής Τεχνολογίας (Ε.Μ.Π.)		
	UoP Racing Team (Παν. Πατρών)		
	Το Σύστημα Ψηφιακών Ψηφοφοριών Ζευς (Εθνικό Δίκτυο Έρευνας και Τεχνολογίας)		
	Centre of Doctoral Training in Embedded Intelligence		
	Aristotle University Racing Team Electric (ARIST.U.R.T.LE) (Α.Π.Θ.)		
16:30-16:45	Διάλειμμα καφέ		
ΣΦΗΜΜΥ++: preΣΦΗΜΜΥ			
16:45-17:30	Παρουσίαση του preΣΦΗΜΜΥ		
17:30-19:00	Παρουσιάσεις ομάδων preΣΦΗΜΜΥ		

Κυριακή 5 Απριλίου

Έναρξη - Λήξη	Αίθουσα		
	I1	I10	I5 Φουαγιέ
10:00-10:45	**Προσκεκλημένη Ομιλήτρια** **Καμιναρά Ανδρούλλα (Ευρωπαϊκή Επιτροπή)** 2015 European Year for Development, the importance of technology and knowledge transfer and why is it relevant for Electrical and Computer Engineers		Συνεδρία Posters
10:45-11:15	Διάλειμμα Καφέ		
Συνεδρία Ανθρωποκεντρικών Δεδομένων			
11:15-12:00	**Ομιλητής Συνεδρίας** **Μανωλάκος Ηλίας (Παν. Αθηνών)** Υπολογιστικές Μέθοδοι για την υποστήριξη in silico Βιολογίας σε μεγάλη κλίμακα		
12:00-14:00	**Κοκκινόπουλος Κωνσταντίνος** Μελέτη της καταγραφής μονοφωνικής μουσικής σε πεντάγραμμο με WYSIWYG Scorewriter χρησιμοποιώντας πληκτρολόγιο χωρίς Numpad	Workshop - Accusonus - Audio source separation - Mixing DSP and math to unmix music and audio	
	Πίππα Ευαγγελία και Μπόρας Ιωσήφ Unsupervised analysis of EEG signals for the discovery of ictal patterns		
	Αμαραντίδης Λάμπρος, Θεοχαρίδης Χάρης, Χατζηκωνσταντίνου Χρήστος Αναγνώριση συναισθήματος με χρήση ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος και στατιστικής ανώτερης τάξης		
	Κονταδάκης Γρηγόριος, Χασιούρας Δημήτριος, Πρωιμάκη Δέσποινα Design of augmented reality 3D rehabilitation application using an inertial measurement unit		
	Ανδρίκος Χρήστος, Ρασσιάς Γεώργιος Real-time medical collaboration services over the Web		
	Λιάκης Ιωάννης Gesture recognition for alphabet characters from fingertip motion trajectory using LRB hidden Markov models		
	Κανελλάκης Χριστόφορος, Κυρίτσης Γιώργος, Τσιλομήτρου Ουρανία Ανάπτυξη διάταξης βιομηχανικής όρασης για προσδιορισμό θέσης και προσανατολισμού κινούμενων αντικειμένων και οδήγηση ρομποτικού βραχίονα		
	Ζήκου Λήδα, Παπαχρήστος Χρήστος Power-over-tether: A remote powering system for small unmanned aerial vehicles		
14:00-15:00	Γεύμα		
15:00-15:40	**Προσκεκλημένος Ομιλητής** **Τζαμαρέλος Γεράσιμος** Σύγχρονη Επιχειρηματικότητα και Καινοτομία		
15:40-17:00	Ομιλίες Χορηγών		
17:00-17:15	Διάλειμμα Καφέ		
17:15-18:15	Συζήτηση Στρογγυλής Τραπέζης Θέμα: Η επόμενη μέρα ενός startup		
18:15-19:00	Βραβεία - Τελετή λήξης		

[Καλωσόρισμα]
Χαιρετισμός των Προέδρων του Συνεδρίου

Εκ μέρους όλων των μελών της Οργανωτικής Επιτροπής και της Επιτροπής Προγράμματος σας καλωσορίζουμε με ιδιαίτερη χαρά στο Πανεπιστήμιο Πατρών και στο 8ο Συνέδριο Φοιτητών Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών. Ελπίζουμε το συνέδριο αυτό, που έχει καθιερωθεί πλέον ως ένας σημαντικός θεσμός και επίτευγμα της κοινότητας των φοιτητών των Σχολών Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών της χώρας μας, να αποτελέσει μια χρήσιμη εμπειρία για όλους τους συμμετέχοντες, όπως έγινε και με τα προηγούμενα συνέδρια, και να γίνει ένα βήμα γόνιμου προβληματισμού και διαλόγου σχετικά με τις τεχνολογικές και κοινωνικές προκλήσεις του καιρού μας.

Το ΣΦΗΜΜΥ 8 γίνεται σε μια κρίσιμη για τη χώρα μας συγκυρία κατά την οποία η αναπτυξιακή της πορεία βρίσκεται σε κίνδυνο και η καινοτομία και δημιουργικότητα είναι ζητούμενες παράμετροι που θα διαμορφώσουν μια θετική προοπτική για τον τόπο. Ο ρόλος των νέων μηχανικών σε αυτή την προσπάθεια είναι κρίσιμος. Οι Ηλεκτρολόγοι Μηχανικοί και Μηχανικοί Υπολογιστών στις δύσκολες αυτές συνθήκες καλούνται να δώσουν καινοτόμες, ασφαλείς και αποτελεσματικές λύσεις σε πολλά σύνθετα προβλήματα λαμβάνοντας υπόψη τις ανάγκες των πολιτών και συμβάλλοντας στην ανάπτυξη της χώρας. Οι περιοχές προβλημάτων στις οποίες έχουν τη δυνατότητα να παρέμβουν καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα, που περιλαμβάνει τη διαχείριση πληροφορίας και γνώσης, τις τηλεπικοινωνίες, την παραγωγή ενέργειας με γνώμονα την προστασία του περιβάλλοντος, τους αυτοματισμούς και την παραγωγή εν γένει.

Το Συνέδριο Φοιτητών Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών φιλοξενείται φέτος στο Συνεδριακό και Πολιτιστικό Κέντρο του Πανεπιστημίου Πατρών υπό την αιγίδα των τμημάτων Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών & Πληροφορικής και με την αρωγή της Πρυτανείας του Πανεπιστημίου Πατρών. Η πραγματοποίηση του δεν θα ήταν δυνατή χωρίς τις ευγενικές χορηγίες εταιρειών και φορέων τους οποίους και ευχαριστούμε θερμά.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε ιδιαίτερα όλες τις φοιτήτριες και τους φοιτητές της Οργανωτικής Επιτροπής του ΣΦΗΜΜΥ 8 για την τεράστια προσπάθεια που κατέβαλαν ώστε το συνέδριο αυτό να πραγματοποιηθεί με τις καλύτερες δυνατές προδιαγραφές σε δύσκολους καιρούς. Όλες οι δραστηριότητες του τριημέρου του Συνεδρίου είναι αποτέλεσμα της σκληρής δουλειάς τους αλλά και της όρεξης και φαντασίας τους. Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τα μέλη της Επιστημονικής Επιτροπής του Συνεδρίου, συναδέλφους από όλες τις σχολές με το αντικείμενο αυτό στη χώρα μας, τους φοιτητές και επιστήμονες που παρουσιάζουν τις εργασίες τους και ιδιαίτερα τους κριτές των εργασιών που με τα σχόλια τους συνέβαλαν αποφασιστικά στην ποιότητα του τελικού προγράμματος.

Οι πρόεδροι του ΣΦΗΜΜΥ 8,

Νίκος Φακωτάκης και Νίκος Αβούρης
Καθηγητές τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών
Πανεπιστήμιο Πατρών

Ιωάννης Γαροφαλάκης και Κώστας Μπερμπερίδης
Καθηγητές τμήματος Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής
Πανεπιστήμιο Πατρών

Χαιρετισμός Οργανωτικής Επιτροπής

Το μεγαλύτερο συνέδριο Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών επιστρέφει στην Πάτρα. Μετά την επιτυχημένη διεξαγωγή του ΣΦΗΜΜΥ 4 στην πόλη μας, ελπίζουμε και φέτος να φανούμε αντάξιοι της εμπιστοσύνης του κοινού του ΣΦΗΜΜΥ, με την όγδοη ετήσια διοργάνωση.

Το ΣΦΗΜΜΥ, με τον επιστημονικό και επιχειρηματικό του χαρακτήρα, επιδιώκει να προβάλλει το έργο των φοιτητών στους συναδέλφους τους, ενώ ταυτόχρονα ευελπιστεί να συμβάλλει στην επαγγελματική τους αποκατάσταση και να τους φέρει σε επικοινωνία με μερικές από τις μεγαλύτερες εταιρίες του χώρου του Ηλεκτρολόγου Μηχανικού. Ως οργανωτική επιτροπή, αποσκοπούμε στη διεξαγωγή ενός συνεδρίου υψηλών προδιαγραφών που θα πλαισιώσει με βέλτιστο τρόπο τις τελευταίες εξελίξεις στον τομέα του Ηλεκτρολόγου Μηχανικού.

Ελπίζουμε ότι το φετινό συνέδριο θα αποτελέσει για ακόμα μια φορά γόνιμο έδαφος για ανταλλαγή ιδεών και απόψεων δημιουργώντας αφορμές για προβληματισμό. Στο πλαίσιο αυτό προσπαθούμε με όρεξη και καλή διάθεση να αναβαθμίσουμε το θεσμό του ΣΦΗΜΜΥ αξιοποιώντας τη δυναμική του. Εισάγοντας νέα δεδομένα όπως διαγωνισμούς και νέες θεματικές δομές αποσκοπούμε στην ενίσχυση του διαδραστικού προφίλ του συνεδρίου. Φέρνοντας σε επαφή ένα μεγάλο αριθμό φοιτητών από όλη την Ελλάδα ευελπιστούμε να δημιουργούμε ένα άκρως συνεργατικό και παραγωγικό κλίμα προάγοντας την επικοινωνία και την ανταλλαγή γνώσεων και αντιλήψεων σε προσωπικό αλλά και συλλογικό επίπεδο.

Με συναδελφικούς χαιρετισμούς,
Οργανωτική Επιτροπή ΣΦΗΜΜΥ 8

[Συντελεστές ΣΦΗΜΜΥ 8]

Οργανωτική Επιτροπή

Advisors
Γούτσος Κωνσταντίνος
Παναγιώτου Αντώνης

Team Leader
Λυδάκης Γιώργος

Public Relations Team
Ζαλοκώστας Γιώργος
Ζήκου Λήδα
Κοντογιάννης Αντώνης
Μαυρικοπούλου Βικτώρια
Μυγιάκη Ραλλού
Παπαδημητροπούλου Βασιλεία
Ρουσέτη Μαγδαληνή

Activities Team
Αλεξίου Γεράσιμος
Δημητρακάκης Μανόλης
Ζαραφέτα Ηλέκτρα
Ζαραφέτα Κωνσταντίνα
Κορμπάκης Γιώργος
Μεταξάς Κωνσταντίνος
Μπακόμητρος Πολυχρόνης
Σαράντη Ναταλία
Σκλίας Κυριάκος
Σταματέλου Έλενα
Σταμούλης Κωνσταντίνος
Χρηστάκης Χριστόφορος

Curation Team
Βικάτος Παντελής
Γαρδέλης Κωνσταντίνος
Γιαγκούση Κυριακή
Γωγούλου Ευαγγελία
Δρακόπουλος Γιώργος
Καναβός Ανδρέας
Κατσαρός Αντώνης
Μποϊλέ Αναστασία
Ντάνης Αδαμάντιος
Παπανδρέου Ανδρέας
Πατεράκη Αντωνία
Τσόλκα Ουρανία

Fund Raising Team
Γιαννοπούλου Ιωάννα
Δελτούζος Κωνσταντίνος
Καραδημήτρη Κατερίνα
Κατσαΐτης Διαμαντής
Κεραμάς Θανάσης
Κωτσαράς Γιώργος
Σαλτός Θωμάς
Σαραμετίδη Αντωνία
Στεφανόπουλος Χρήστος
Τσώνη Σοφία

Information Technology Team
Αμαξιλάτης Δημήτριος
Γεωργακάκος Γιώργος
Δεληγιάννης Παρασκευάς
Δουράτσος Ιωάννης
Κυριακού Ανδρόνικος
Μιχαλόπουλος Παναγιώτης
Ντενέζος Παναγιώτης
Παπούλια Άννα
Πρεβεζάνος Ιωάννης
Σειμένης Σπύρος
Σιαβέλης Παναγιώτης- Ρικάρντο
Σταγάκης Νίκος
Σταθοπούλου Ευαγγελία
Ταρναράς Γιώργος
Τζανέτου Ιωάννα
Φουστέρης Πέτρος
Ψιακής Ραφαήλ

Τοπικές Οργανωτικές Επιτροπές

Αθήνα
Στρατίγης Χάρης
Τούρνη Μελίνα
Τσεσμέλη Κατερίνα
Γαλανάκης Στάθης
Φερτάκης Κωνσταντίνος

Βόλος
Σακελλαρίου Νίκος

Θεσσαλονίκη
Ευαγγελόπουλος Γιώργος
Τσαφαρίδου Χαριτίνη
Γεωργιάδης Αχιλλέας
Παππάς Ανδριανός

Κοζάνη
Στεφανίδης Γιώργος
Βούγας Διαγόρας

Ξάνθη
Μάλλιου Χριστίνα
Μπουλοκώστα Ελένη
Κονδύλη Γαλήνη

Χανιά
Δασκαλάκης Σπύρος
Μαραγκού Σοφία
Καλομοίρης Γιάννης
Τοπάλης Θανάσης

Επιστημονική Επιτροπή

Αβούρης Νικόλαος (Π.Πατρών)
Αλεξανδρίδης Αντώνιος (Π.Πατρών)
Αντωνακόπουλος Θεόδωρος (Π.Πατρών)
Βάβαλης Εμμανουήλ (Π.Θεσσαλίας)
Βαρβαρίγος Εμμανουήλ (Π.Πατρών)
Βασιλείου Ιωάννης (Ε.Μ.Π)
Βλάχος Κυριάκος (Π.Πατρών)
Βοβός Νικόλαος (Π. Πατρών)
Γαλλόπουλος Ευστράτιος (Π.Πατρών)
Γαροφαλάκης Ιωάννης (Π.Πατρών)
Γιαννακόπουλος Γαβριήλ (Π.Πατρών)
Δενάζης Σπυρίδων (Π.Πατρών)
Δερματάς Ευάγγελος (Π.Πατρών)
Ζαχαρίας Θωμάς (Π.Πατρών)
Θραμπουλίδης Κλεάνθης (Π.Πατρών)
Ιωαννίδου Μαρία-Παρασκευή (Ε.Μ.Π)
Καβαλλιεράτου Εργίνα (Π.Αιγαίου)
Καλύβας Γρηγόριος (Π.Πατρών)
Κομνηνός Ανδρέας (Π.Πατρών)
Κουμπιάς Σταύρος (Π. Πατρών)
Κουνάβης Παναγιώτης (Π.Πατρών)
Κτενά Αφροδίτη (ΤΕΙ.Στερεάς Ελλάδας)
Κυριάκου Γεώργιος (Δ.Π.Θ)
Κωτσόπουλος Σταύρος (Π.Πατρών)
Λογοθέτης Μιχαήλ (Π.Πατρών)
Λυκοθανάσης Σπύρος (Π. Πατρών)
Λυμπερόπουλος Δημήτριος (Π.Πατρών)
Μακρής Χρήστος (Π.Πατρών)
Μάνεσης Σταμάτιος (Π.Πατρών)
Μεγαλοοικονόμου Βασίλειος (Π.Πατρών)
Μουρτζόπουλος Ιωάννης (Π.Πατρών)
Μουστακίδης Γεώργιος (Π.Πατρών)
Μπακιρτζης Αναστάσιος (Α.Π.Θ)
Μπερμπερίδης Κων/νος (Π.Πατρών)
Μπίρμπας Αλέξιος (Π.Πατρών)
Μπούρας Χρήστος (Π.Πατρών)
Νίκου Χριστόφορος (Π. Ιωαννίνων)
Ξανθάκης Ιωάννης-Παρασκευάς (Ε.Μ.Π)
Παλιουράς Βασίλειος (Π.Πατρών)
Περδίος Ευστάθιος (Π.Πατρών)
Σαφιγιάννη Αναστασία (Δ.Π.Θ)
Σερπάνος Δημήτριος (Π.Πατρών)
Σκόδρας Αθανάσιος (Π.Πατρών)
Στουραΐτης Αθανάσιος (Π.Πατρών)
Συρακούλης Γεώργιος (Δ.Π.Θ)
Σώρρας Κων/νος (Π. Πατρών)
Τατάκης Εμμανουήλ (Π.Πατρών)
Τζες Αντώνιος (Π.Πατρών)
Τοπάλης Φραγκίσκος (Ε.Μ.Π)
Φακωτάκης Νικόλαος (Π.Πατρών)
Χαμζας Χριστόδουλος (Δ.Π.Θ)
Χατζηαργυρίου Νικόλαος (Ε.Μ.Π)
Χατζηγεωργίου Άρτεμις Γεωργία (Π.Θεσσαλίας)
Χατζηλεοντιάδης Λεόντιος (Α.Π.Θ)
Χατζηλυγερούδης Ιωάννης (Π.Πατρών)
Χούσος Ευθύμιος (Π.Πατρών)
Ψαράκης Εμμανουήλ (Π.Πατρών)

[Προσκεκλημένοι Ομιλητές]

Μαραγκός Πέτρος: Σύγχρονες Τάσεις και Προοπτικές στην Επεξεργασία Σημάτων και Πληροφορίας

Περίληψη Ομιλίας

Στην ομιλία αυτή θα συνοψίσουμε μερικές κύριες ιδέες από τρεις δυναμικά εξελισσόμενες περιοχές επεξεργασίας σημάτων και πληροφορίας: 1) Μη-γραμμικά συστήματα για γεωμετρική επεξεργασία εικόνων και αλγεβρική ενοποίηση δυναμικών συστημάτων σε χώρους πλεγμάτων, 2) Πολύ-αισθητηριακή επεξεργασία και αναγνώριση φωνής, 3) Οπτικο-ακουστική επεξεργασία και σύμμειξη πολυτροπικής πληροφορίας. Έμφαση θα δοθεί σε προβλήματα και εφαρμογές της όρασης υπολογιστών, χωρο-χρονικής επεξεργασίας πληροφορίας, και πολυμεσικής επικοινωνίας ανθρώπου-υπολογιστή.

Σύντομο Βιογραφικό

Έλαβε το Δίπλωμα Ηλεκτρολόγου Μηχανικού το 1980 από το ΕΜΠ και το M.Sc.E.E. και Ph.D. από το Georgia Tech, ΗΠΑ, το 1982 και 1985. Το 1985 εξελέγη καθηγητής στο Τμήμα Εφαρμοσμένων Επιστημών του Παν/μίου Harvard στην Βοστώνη των ΗΠΑ, όπου εδίδαξε επί οκτώ έτη και διεξήγε έρευνα στο Διεπιστημονικό Εργαστήριο Ρομποτικής του Harvard. Διετέλεσε επιστημονικός σύμβουλος σε αρκετές βιομηχανικές ερευνητικές ομάδες όπως της Xerox σε ανάλυση εικόνας. Από το 1993 εργάσθηκε ως Καθηγητής στην Σχολή ΗΜ&ΜΥ του Πολυτεχνείου Georgia Tech, ΗΠΑ. Τα έτη 1996-97 ήταν στην Αθήνα με ακαδημαϊκή άδεια ως Διευθυντής Ερευνών στο Ινστιτούτο Επεξεργασίας του Λόγου. Το 1998 εξελέγη καθηγητής στην Σχολή ΗΜ&ΜΥ του ΕΜΠ, όπου εργάζεται έκτοτε έχοντας διατελέσει και Διευθυντής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών καθώς και Διευθυντής του Εργαστηρίου Ρομποτικής από το 2008. Το διδακτικό και ερευνητικό του έργο εστιάζει στην επεξεργασία σημάτων, θεωρία συστημάτων, αναγνώριση προτύπων και τις εφαρμογές τους σε επεξεργασία εικόνων και όραση υπολογιστών, επεξεργασία και αναγνώριση φωνής, γνωσιακά συστήματα, και ρομποτική. Έχει διατελέσει Associate Editor σε επιστημονικά περιοδικά IEEE και άλλων επιστημονικών ενώσεων, μέλος διεθνών τεχνικών επιτροπών, πρόεδρος διεθνών συνεδρίων, επιστημονικός υπεύθυνος ερευνητικών προγραμμάτων σε ΗΠΑ και Ευρώπη, και μέλος του Εθνικού Συμβουλίου Έρευνας & Τεχνολογίας. Έχει λάβει διεθνείς τιμητικές διακρίσεις όπως: το 1987 National Science Foundation Presidential Young Investigator Award των ΗΠΑ, τέσσερα βραβεία καλλίτερων άρθρων από IEEE Signal Processing Society, Computer Vision και Pattern Recognition Society, το 1995 IEEE Baker Award για το πιο διακεκριμένο άρθρο πρωτότυπης έρευνας σε όλες τις δημοσιεύσεις του IEEE, ανακήρυξη του σε IEEE Fellow το 1996, το EURASIP 2007 Technical Achievements Award, και ανακήρυξη του σε EURASIP Fellow το 2010 για τις συνολικές ερευνητικές του συνεισφορές.

Παπαϊωάννου Γεώργιος: Ο ρόλος του Ανεξάρτητου Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, ΑΔΜΗΕ ΑΕ, στην αγορά ηλεκτρισμού της χώρας υπό το πρίσμα του Market Facilitator. Παρούσα κατάσταση και προοπτικές.

Περίληψη Ομιλίας

Στην παρουσίαση θα δοθεί μια σύντομη αλλά όμως περιεκτική περιγραφή των κύριων δραστηριοτήτων - λειτουργιών του Οργανισμού και πως αυτός εντάσσεται στο υπάρχον αλλά και μελλοντικό πλαίσιο της Ελληνικής αγοράς ηλεκτρισμού. Θα παρουσιασθούν το Οργανόγραμμα του με τις κύριες δραστηριότητες της κάθε Διεύθυνσης, Οικονομικά στοιχεία (παλαιών χρήσεων), επενδυτικά προγράμματα, ρυθμιστικά ζητήματα και σχέσεις με του άλλους παίκτες της αγοράς κλπ. Ιδιαίτερη έμφαση θα δοθεί στο κρίσιμο Ρόλο του ΑΔΜΗΕ ΑΕ ως ο ''Οργανισμός – Διευκολυντής'' της Αγοράς (Market Facilitator), σήμερα, και ιδιαίτερα στο έμμεσο μέλλον, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η Χώρα μας θα κληθεί σύντομα να γίνει μέλος του νέου Ευρωπαϊκού Μοντέλου Ενέργειας (Target Model). Ειδική μνεία θα γίνει , επίσης, στις δραστηριότητες της Νέας Διεύθυνσης του ΑΔΜΗΕ , της Διεύθυνσης Έρευνας Τεχνολογίας και Ανάπτυξης ΔΕΤΑ, του ρόλου της και των προοπτικών συνεργασίας της Εταιρείας με Ερευνητικούς Φορείς και Πανεπιστήμια σε θέματα που άπτονται του Συστήματος Μεταφοράς ΗΕ. Η ΔΕΤΑ εντάσσεται στο ευρύτερο πλαίσιο ενίσχυσης της Ε&Τ στις Εταιρείες - Διαχειριστές Συστημάτων Μεταφοράς, η αναγκαιότητα της οποίας έχει επισημανθεί από τον Οργανισμό European Network of transmission System Operators, ENTSO-e.

Σύντομο Βιογραφικό

Ο Γεώργιος Π. Παπαϊωάννου γεννήθηκε στις Θεσπιές Βοιωτίας το 1955. Σπούδασε Μηχανολογία ενεργειακής κατεύθυνσης στο Stevens Institute of Technology, N.J., USA (Bachelor and Master of Engineering) και αναγορεύθηκε Διδάκτωρ (με Άριστα) στο Πανεπιστήμιο Πατρών το 1996. Το αντικείμενο της διατριβής του είναι η Ανάλυση, Μοντελοποίηση, Πρόβλεψη και Έλεγχος της συμπεριφοράς των Μη-Γραμμικών, Δυναμικών Συστημάτων. Σπούδασε επίσης Οικονομικά της Εργασίας και Διοίκηση Ανθρώπινου Δυναμικού στο London School of Economics (LSE), U.K., Διοίκηση Επιχειρήσεων στο Henley Business School, U.K. και τέλος εξειδικεύτηκε στη Στρατηγική Μοντελοποίηση στο London Business School, U.K. (Executive Education in Strategic Modeling). Εξειδικεύτηκε επίσης, μέσα από competency paths σε Energy Trading & Risk Management, του οργανισμού Energy Management Institute των ΗΠΑ.

Έχει συνολική εργασιακή εμπειρία περίπου τριάντα (30) χρόνων, εργάσθηκε στη Bethlehem Steel Co. S.A., Hoboken Shipyards N.J., USA, στην Ηλεκτρική – Μηχανική ΕΠΕ, στην Asprofos Engineering S.A. ως Θερμικός Μηχανικός στην αναβάθμιση των Διυλιστηρίων Ασπροπύργου, στο Τμήμα Νέων Κατασκευών των Ελληνικών Ναυπηγείων Α.Ε. και από το 1987 μέχρι και τέλος 2011 στη ΔΕΗ Α.Ε. Από το Φεβρουάριο του 2012 εργάζεται στον Ανεξάρτητο Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ΑΔΜΗΕ Α.Ε., σε θέσεις ευθύνης όπως Διευθυντής Στρατηγικής και Ρυθμιστικών Θεμάτων, Διευθυντής Ανθρώπινου Δυναμικού και Υποστήριξης και σήμερα Δ/ντής Διέθυνσης Έρευνας Τεχνολογίας και Ανάπτυξης, ΔΕΤΑ. Τα πρόσφατα ερευνητικά του ενδιαφέροντα εστιάζονται στην ανάλυση και μοντελοποίηση των Ηλεκτρικών Αγορών και ιδίως στο ρόλο του Συστήματος Μεταφοράς στις σύγχρονες αρχιτεκτονικές των Αγορών ΗΕ, στην αλληλοεπίδρασή τους με το μακροοικονομικό περιβάλλον, την αλληλεπίδραση των financial και Energy Markets, την ανάλυση και διαχείριση κινδύνου στις Ενεργειακές Αγορές.

Παπαλεξόπουλος Αλέξης: Next Generation Energy Market Design Structures: Challenges and Potential Solutions

Περίληψη Ομιλίας

Over the last fifteen years energy structures around the world have transitioned from vertically integrated utility based structures to competitive energy environments organized by competitive markets for generation, transmission facilities operated on an open-access common-carrier basis, and retail competition among power marketers that rely on regulated utility distribution companies for delivery. The accumulated experience from designing and operating such markets has provided substantial insights on the market models that yield market efficiencies and value to the consumers and the society as a whole.

In this presentation I address mainly the organization of the wholesale markets for energy and transmission and the lessons learned from designing and implementing organized energy markets. Further, I focus on the challenges of the next generation of energy market design structures. The new challenges we face today take into account problems related to sustainable development, security of supply, climate change, renewable generation and demand response. The emergence of smart grid technologies in the context of the wholesale energy market will also be discussed. The examination of these issues will benefit from the history of restructuring in many jurisdictions including several states in the U.S, Canada and Europe.

Σύντομο Βιογραφικό

Dr. Alex Papalexopoulos (M'80–SM'85–F'01), a national and international energy expert, is president, CEO and founder of ECCO International, a specialized energy consulting and software company, which provides consulting and software services and expert advice worldwide to a wide range of clients such as Governments, Utilities, Independent System Operators and Regional Transmission Operators, Power Exchanges, Regulators, Marketers, Brokers and Software vendors. These services range from strategic planning, particularly industry restructuring and the introduction of competition into traditional utility markets, wholesale and retail electricity market design, competitive bidding, market trading, public policy analysis, auditing utility practices, energy market simulation studies, optimization and computation techniques, renewable energy resource modeling and analysis, demand response and energy conservation, power system analysis studies, system operations and planning, generation and transmission projects, Energy Management Systems (EMS) and software system issues. Dr. Alex Papalexopoulos has designed some of the most complex energy markets in the world including North and South America, Western and Eastern Europe and Asia. Dr. Papalexopoulos has an extensive background in optimization and computational techniques, power systems analysis, EMS, system operations and planning and energy market design. He has made substantial contributions in the areas of network grid optimization and pricing, energy market design, forward and real-time markets, competitive bidding, and implementation of EMS applications and real time control functions and forecasting. Dr. Alex Papalexopoulos received the Electrical and Mechanical Engineering Diploma from the National Technical University of Athens, Greece and the M.S. and Ph.D. degrees in Electrical Engineering from the Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia. He has published numerous papers in refereed scientific journals and conferences and has given invited presentations in leading institutions in the U.S. and other countries including Mexico, Canada, Switzerland, England, Baltic States, Greece, Cyprus, Spain, Austria, Poland, Japan, South Korea and Argentina. He has organized and trained various organizations in the area of energy market design and chaired numerous panels and special sessions in IEEE. He is the 1992 recipient of PG&E's Wall of Fame Award, and the 1996 recipient of IEEE's PES First Prize Paper Award. He is a Fellow of IEEE for his contributions to Optimal Power Flow and related technologies in electric power systems.

Λάππας Βάιος: Διάστημα & Ελλάδα: Έρευνα και Ανάπτυξη σε Ακαδημαϊκό Περιβάλλον

Περίληψη Ομιλίας

Την τελευταία δεκαετία έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος, στους τομείς της μικρο-ηλεκτρονικής και στην τεχνολογία του διαστήματος που βασίζεται σε ηλεκτρονικά COTS (commercial off the shelf). Η ανάπτυξη της μικρο-ηλεκτρονικής και των μικρο-επεξεργαστών, έχει συντελέσει στην δημιουργία μίας επανάστασης στον χώρο της Τεχνολογίας του Διαστήματος, δημιουργώντας πρωτόγνορες και καινοτόμες εφαρμογές (τηλεπαρατήρηση, πρόληψη και παρακολούθηση οικολογικών καταστροφών, ναυσιπλοϊα, τηλεπικοινωνίες) στο Διάστημα με άμεσες θετικές συνέπειες στην καθημερινή μας ζωή. Στην παρούσα ομιλία, θα παρουσιαστούν παραδείγματα Διαστημικών αποστολών και τεχνολογίας του Διαστήματος που έχουν αναπτυχθεί σε ακαδημαϊκό περιβάλλον, όπως και προτάσεις για έρευνα, ανάπτυξη και δημιουργία θέσεων εργασίας στον χώρο της Διαστημικής στην Ελλάδα σε ακαδημαϊκό περιβάλλον, με τρόπο ρεαλιστικό, βραχυπρόθεσμο και βασιζόμενο στην καινοτομία, με δυνατότητες Ευρωπαϊκής χρηματοδότησης.

Σύντομο Βιογραφικό

Ο Βάιος είναι απόφοιτος Μηχ. Αεροναυπηγός (B. Eng) του Ryerson University (Toronto, Canada) και Μηχ. Διαστημικής (MSc) του International Space University (Strasbourg, France). Πήρε το Διδακτορικό του από το Πανεπιστήμιο του Surrey (UK) το 2002. Έχει διατελέσει Postdoctoral Research Fellow, Lecturer, Senior Lecturer, Reader και Professor in Space Vehicle Control στο Πανεπιστήμιο του Surrey, όπου συμμετείχε ως Principal Investigator σε ερευνητικά προγράμματα και διαστημικές αποστολές με χρηματοδότηση των Airbus Defence and Space, European Space Agency,NASA, European Commission (FP7). Μετέχει σε τεχνικές επιτροπές (Small Satellites, GNC, Deployable Structures) του American Institute of Aeronautics and Astronautics, είναι Associate Editor του Journal of Guidance,Dynamics and Control και μετέχει στην επιτροπή Space Advisory Group (SAG) της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για θέματα έρευνας και ανάπτυξης από το 2011. Από το Ιανουάριο του 2015 βρίσκεται στην Ελλάδα, όπου συνεργάζεται με την Ελληνική βιομηχανία και Ελληνικά Ερευνητικά Ινστιτούτα στην έρευνα και ανάπτυξη συστημάτων και τεχνολογίας του Διαστήματος.

Καμιναρά Ανδρούλλα: 2015 European Year for Development, the importance of technology and knowledge transfer and why is it relevant for Electrical and Computer Engineers

Περίληψη Ομιλίας

2015 is a very important year from the international agenda point of view. It is the year during which the Millennium Development Goals, which focused on addressing poverty in developing countries and which were adopted by the UN in 2000, should have been achieved. This year, the 'Post-2015' goals for all countries – both developed and developing – are being negotiated at the UN and will hopefully be adopted in September. These negotiations therefore concern everyone. These major global developments are why the European Union has dedicated 2015 to be the European Year for Development.

The presentation will aim to explain:

- What are these important global developments, what is being debated and what can be expected as an outcome?
- Why European citizens, and particularly the younger generation should be interested and involved?
- Why is technology and knowledge transfer important?
- Why specifically Electrical and Computer engineers have an important role to play?

Σύντομο Βιογραφικό

Androulla Kaminara is Principal Adviser 'Outreach in Development' in the Directorate General for Development and Cooperation – EuropeAid - of the European Commission. Androulla was the European Union Fellow at the European Studies Centre of St.Antony's College, Oxford University for 2012-13 and the EU Academic Visitor for 2013-2014 at the same center. She is currently a Senior Common Room member of St.Antony's as well as being Senior Research Associate – Non Resident at EUCERS. From 2008 to 2012, she was the Head of the European Commission Representation in Cyprus. Representations are the eyes, ears and voice of the European Commission in the Member States. From 2006 to 2008, Androulla was the Director for Quality of Operations in EuropeAid. The directorate provided thematic expertise and quality oversight to all EC delegations in third countries, where development cooperation projects were being implemented. She has also been Head of Unit for the coordination of development co-operation projects and programs of the EC in 44 West & Central African and Caribbean countries as well as having served as a member of cabinet in the offices of two European Commission Commissioners. She started working for the European Commission in 1991. Before joining the Commission she was special adviser to two cabinet Ministers in Greece and Managing Director of a private consultancy firm. She holds a B.Sc (Hons.) in Geology and Physics (King's College, Univ. of London), a MSc in Management Science (Imperial College, Univ. of London) as well as Maîtrise in International Politics (Université libre de Bruxelles – Brussels). Androulla has presented papers and published work on the geopolitics of energy, energy security, climate change policies, EU energy policies, the East Mediterranean region, and on development cooperation.

Μανωλάκος Ηλίας: Υπολογιστικές Μέθοδοι για την υποστήριξη in silico Βιολογίας σε μεγάλη κλίμακα

Περίληψη Ομιλίας

Ο ανθρώπινος οργανισμός είναι μια αποικία τρισεκατομμυρίων κυττάρων-μικρών βιοχημικών μηχανών, με τη δική τους αυτόνομη λειτουργία που επικοινωνούν μεταξύ τους αλλά και με τους δεκαπλάσιους τουλάχιστον μικροοργανισμούς που τα περιβάλλουν. Η κατανόηση της δυναμικής συμπεριφοράς του κυττάρου, αλλά και των βιολογικών υπερδομών που χτίζονται με βάση αυτό, αποτελεί το αντικείμενο μελέτης του ταχύτατα αναδυόμενου τομέα της συστημικής βιολογίας (systems biology), όπου συναντιόνται δημιουργικά η βιολογία, τα μαθηματικά και η πληροφορική. Στην ομιλία μου θα παρουσιάσω τα αποτελέσματα δύο ερευνητικών έργων της ομάδας μας σε αυτό το διεπιστημονικό πεδίο. Στο πρώτο αναπτύσσουμε παράλληλους αλγορίθμους και αρχιτεκτονικές για την αποδοτική στοχαστική προσομοίωση βιολογικών δικτύων μεγάλης κλίμακας, με χιλιάδες βιομοριακές αλληλεπιδράσεις, όπως απαιτείται για τη κατανόηση της στοχαστικής και δυναμικής συμπεριφοράς συστημάτων βιολογικών μονοπατιών (pathways analysis), με σκοπό τον in-silico σχεδιασμό φαρμακευτικών παρεμβάσεων. Στο δεύτερο έργο αναπτύσσουμε τεχνικές ανάλυσης εικονοσειρών μικροσκοπίας (time lapse microscopy "cell movies") για την ακριβή κατάτμηση (segmentation) αλλά και την ιχνηλάτηση (tracking) βακτηρίων, που μας επιτρέπουν να παρακολουθούμε και να χαρακτηρίζουμε τους φαινότυπους που προκύπτουν καθώς τα κύτταρα διαιρούνται και οι αποικίες ενώνονται και εξαπλώνονται δημιουργώντας κοινωνίες με χιλιάδες ετερογενή μέλη, όπως π.χ. τα βιουμένια (biofilms). Η ανάλυση εικόνας μας παρέχει πληροφορίες που σε συνδυασμό με τη μαθηματική μοντελοποίηση επιτρέπουν τη πρόβλεψη της χωροχρονικής εξέλιξης αυτών των κοινωνιών.

Σύντομο Βιογραφικό

Ο Δρ. Ηλίας Σ. Μανωλάκος είναι Αναπληρωτής Καθηγητής στο Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του Πανεπιστήμιου Αθηνών, όπου διευθύνει το Διεπιστημονικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών, "Τεχνολογίες Πληροφορικής στην Ιατρική και τη Βιολογία". Πριν επιστρέψει στην Ελλάδα ήταν μέλος ΔΕΠ στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Northeastern της Βοστόνης, όπου και διηύθυνε το Communication and Digital Signal Processing Communication Center for Research and Graduate Studies. Η τρέχουσα έρευνά του χαρακτηρίζεται από τον έντονο διεπιστημονικό της χαρακτήρα. Ξεκίνησε από την ανάλυση σημάτων και εικόνων, τη μηχανική μάθηση, τα υπολογιστικά συστήματα υψηλών επιδόσεων, αλλά τα τελευταία χρόνια εστιάζει στη χρήση τους για την αντιμετώπιση προκλήσεων στους τομείς της συστημικής βιολογίας και οικολογίας. Έχει συγγράψει με τους φοιτητές του πάνω από 120 δημοσιεύσεις σε έγκριτα επιστημονικά περιοδικά, κεφάλαια βιβλίων, και πρακτικά συνεδρίων με κρίση πλήρους κειμένου. Η έρευνά του έχει προσελκύσει σημαντική υποστήριξη από οργανισμούς χρηματοδότησης έρευνας στην Ευρωπαϊκή Ένωση, τις ΗΠΑ και την Ελλάδα. Ο Δρ. Μανωλάκος είναι επίσης επισκέπτης καθηγητής στο Wyss Institute for Biologically Inspired Engineering του Πανεπιστημίου Harvard της Βοστόνης (2012-). Ο Δρ. Μανωλάκος είναι εκλεγμένο μέλος της Διεθνούς Επιτροπής IEEE TC on Machine Learning for Signal Processing (2012-,2004-2008), και υπήρξε εκλεγμένο μέλος της Διεθνούς Επιτροπής IEEE TC Design and Implementation of Signal Processing Systems (2004-2010). Επίσης, έχει διατελέσει μέλος της Συντακτικής Επιτροπής κορυφαίων περιοδικών, όπως τα IEEE Transactions on Signal Processing,IEEE Transactions on Neural Networks, κτλ. Ο Δρ. Μανωλάκος είναι Senior Member του διεθνούς οργανισμού IEEE.

Τζαμαρέλος Γεράσιμος: Σύγχρονη Επιχειρηματικότητα και καινοτομία

Περίληψη Ομιλίας

Το θέμα της παρουσίασης είναι οι καινοτομικές ιδέες και η σύγχρονη επιχειρηματικότητα, προσαρμοσμένη στις ανάγκες και τα ενδιαφέροντα των ανθρώπων που βρίσκονται στο Πανεπιστήμιο. Για ποιο λόγο αξίζει να επενδύσει κανείς στη χώρα μας καθώς και ποια η σπουδαιότητα του πτυχίου που θα πάρει. Η Ελλάδα σίγουρα μπορεί να πάει μπροστά, παρόλα τα προβλήματα που αντιμετωπίζει, γιατί έχει καταρτισμένους και εξειδικευμένους ανθρώπους, σε όλα τα επίπεδα. Επίσης θα αναπτυχθεί ένα business plan το οποίο θα βασίζεται στην καινοτομία, κάτι που ακόμα στην Ελλάδα είναι σε πιλοτικά στάδια. Στην ομιλία θα παρουσιαστεί πρακτικά και εφαρμόσιμα. Τέλος, θα τονιστεί η σπουδαιότητα της προσωπικής ανάπτυξης σε σχέση με την επιχειρηματικότητα, καθώς και η σπουδαιότητα της Ηγεσίας, "Leadership Development''.

Σύντομο Βιογραφικό

Ο Γεράσιμος Τζαμαρέλος γεννήθηκε στην Αθήνα. Είναι κάτοχος Διδακτορικού τίτλου σπουδών στο Μάρκετινγκ Μάνατζμεντ και Πτυχιούχος στην Επικοινωνία και στην ψυχολογία του καταναλωτή. Πραγματοποίησε τη Διατριβή του στο Πανεπιστήμιο του McGill στον Καναδά.. Έχει εργαστεί ως Διευθυντής Μάρκετινγκ και Διαφήμισης σε Εκδοτικούς Οργανισμούς με κυριότερους τον Δ.Ο.Λ. και το Πρώτο Θέμα. Το 2008, Ίδρυσε την Διαφημιστική εταιρία Ϊgelma Advertising & Consulting. Έχει τιμηθεί για θέματα δημιουργικού σχεδιασμού. Έμπειρος και Εγκεκριμένος Καθηγητής επιχειρηματικών σεμιναρίων Πανεπιστημιακών ιδρυμάτων και Δημόσιων Οργανισμών, με εξειδίκευση σε θέματα Marketing και Επιχειρηματικότητας.

[PAPERS]
[Πρώτη συνεδρία: Κοινωνιοκεντρικά δεδομένα]

Σ1.1 Ποδηματά Χαρά και Λώλος Κωστής - Η ενσωμάτωση του Namecoin στο OpenBazaar

Σε αυτή την εργασία, αναλάβαμε να υλοποιήσουμε την ενοποίηση του open source project Open-Bazaar με το cryptocurrency namecoin. Το OpenBazaar είναι ένα project, ένα marketplace καλύτερα, το οποίο ως στόχο έχει την αγοραπωλησία προϊόντων μεταξύ των χρηστών, εξασφαλίζοντάς τους ευθείες συναλλαγές, χωρίς φόρους και χωρίς censorship. Το namecoin από την άλλη είναι ένα είδος cryptocurrency, το πρώτο αντίγραφο-παιδί του γνωστότερου Bitcoin και η βασική του διαφορά είναι ότι μπορούμε να αποθηκεύσουμε και data σε αυτό. Με την ενοποίηση αυτή αφενός δόθηκε η δυνατότητα στους χρήστες του OpenBazaar να δηλώσουν ένα μοναδικό όνομα με το οποίο να είναι γνωστό το κατάστημά τους, αφετέρου με την προσθήκη του Namecoin στα μηνύματα που ανταλλάσσουν οι κόμβοι του OpenBazaar ενισχύθηκε η ασφάλειά της επικοινωνίας μεταξύ τους.

Σ1.2 Δρακόπουλος Γεώργιος - Attacking DES with multilayer perceptrons

Η κρυπτογραφία και η κρυπτανάλυση αποτελούν διαχρονικά σημαντικά στοιχεία κάθε τηλεπικοινωνιακού συστήματος ανεξαρτήτως τεχνολογίας. Μέχρι την αρχαιότητα είχαν ήδη διανύσει τον δρόμο από τις απαρχές τους ως τέχνες σε καθεστώς μαθηματικής επιστήμης όπως σαφώς μαρτυρούν τόσο το μεταθετικό αλφάβητο του Ιούλιου Καίσαρα όσο και η σκυτάλη των Λακεδαιμονίων. Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, όπως υποδηλώνει και το όνομά τους, μιμούνται σε δομή και λειτουργία τις ανθρώπινες νευρικές οδούς επεξεργασίας πληροφορίας. Στο ευρύ φάσμα των επιστημονικών πεδίων όπου τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα έχουν βρει εφαρμογή συγκαταλέγονται η τεχνητή νοημοσύνη, η προσαρμοστική επεξεργασία σήματος, η προσέγγιση συναρτήσεων, και οι υπολογιστικές νευροεπιστήμες. Με έναυσμα τόσο την επίθεση στο DES, ένα κρυπτογραφικό σύστημα ιδιωτικού κλειδιού το οποίο αποτέλεσε επί σειρά ετών μια από τις ασφαλιστικές δικλείδες του πρώιμου Internet, με τεχνικές βιομοριακού υπολογισμού όσο και την πρόσφατη ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος η αρχιτεκτονική του οποίου βασίζεται σε ακιδωτά (spiking) νευρωνικά δίκτυα, η παρούσα εργασία παρουσιάζει τα πρώτα αποτελέσματα της επίθεσης στο DES ενός πολυεπίπεδου perceptron, μιας ειδικής κατηγορίας νευρωνικών δικτύων. Παράλληλα, αναπτύσσονται δύο πτυχές της εκπαίδευσης και της λειτουργίας των νευρωνικών δικτύων, η μάθηση ανωτέρας τάξεως και η σημασία της πυκνότητας των μηδενικών ή σχεδόν μηδενικών συναπτικών βαρών.

Σ1.3 Δρακόπουλος Γεώργιος και Μπαρουτιάδη Αικατερίνη - Implementing graph centrality measures for Neo4j

Οι γράφοι βρίσκονται σήμερα στο επίκεντρο έντονης έρευνας, καθώς θέτουν το θεωρητικό υπόβαθρο σε διαφορετικά πεδία τα οποία κυμαίνονται από τη συνδυαστική βελτιστοποίηση έως τις νευροεπιστήμες. Η κεντρικότητα των κορυφών ενός γράφου διαδραματίζει καίριο ρόλο στον τομέα της εξόρυξης, καθώς τις κατατάσσει ανάλογα με την σημαντικότητα τους σε ό,τι αφορά στην συνολική επικοινωνία του γράφου. Συγκεκριμένα, στο πλαίσιο της ανάλυσης των κοινωνικών δικτύων, η κεντρικότητα ανακαλύπτει την επιρροή μιας κορυφής, ενώ στον τομέα της βιοπληροφορικής η κεντρικότητα εντοπίζει την κυρίαρχη πρωτεΐνη στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ πρωτεϊνών. Τα τελευταία χρόνια, οι γραφοθεωρητικές βάσεις δεδομένων, τμήμα του ανερχόμενου κινήματος NoSQL, έχουν προστεθεί ως εργαλείο της ανάλυσης γράφων. Μια εφαρμογή της κεντρικότητας ιδιοδιανύσματος, ένα σημαντικό μέλος της ευρείας κατηγορίας των μετρικών κεντρικότητας, υλοποιήθηκε σε Java στο NetBeans για χρήση στη Neo4j, μια

σημαντική γραφοθεωρητική βάση, ενώ παρουσιάζονται και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή των ανωτέρω σε έναν πραγματικό κοινωνικό δίκτυο.

Σ1.4 Μάλλης Δημήτριος, Καλαματιανός Γεώργιος και Νικολαράς Δημήτριος - Συναισθηματική ανάλυση ελληνικών tweets και hashtags με χρήση λεξικού συναισθημάτων

Η ραγδαία ανάπτυξη των μέσων κοινωνικής δικτύωσης έχει καταστήσει την εξόρυξη απόψεων και συναισθημάτων των χρηστών (opinion and sentiment mining) ένα καινούργιο και σημαντικό πεδίο έρευνας της εποχής μας. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας ασχοληθήκαμε με την πλατφόρμα microblogging Twitter με σκοπό να εξάγουμε την διάθεση χρηστών ως προς διάφορες θεματικές κατηγορίες (hashtags). Η εξαγωγή του συναισθήματος των χρηστών γίνεται με χρήση ελληνικού sentiment lexicon. Η διαδικασία που προτείνουμε είναι ικανή να εντοπίσει το επικρατέστερο συναίσθημα των χρηστών και να εξάγει συμπεράσματα για την διάθεση τους στις θεματικές κατηγορίες που εξετάζονται, τόσο συνολικά όσο και για διακριτά χρονικά διαστήματα.

Σ1.5 Κουμπούρη Αθανασία, Αραβαντινού Χριστίνα, και Σιμάκη Βασιλική - Opinion Mining on Movie Reviews

Με τη ραγδαία ανάπτυξη του διαδικτύου κατά την τελευταία δεκαετία , γνώμες μπορούν τώρα να βρεθούν σχεδόν παντού - ιστοσελίδες, blogs , ιστοσελίδες κοινωνικής δικτύωσης, φόρουμ και ιστοσελίδες κριτικών . Οι άνθρωποι έχουν την τάση να γνωστοποιούν τη γνώμη, τις απόψεις, τα συναισθήματά τους στον «κοινωνικό ιστό», ο οποίος παρέχει αποτελεσματικούς τρόπους για να τα μοιράζονται με τους χρήστες του Παγκόσμιου Ιστού. Ως εκ τούτου, η ανάγκη να διερευνηθεί, να αναλυθεί και να οργανωθεί ένα συντριπτικό ποσοστό περιεχομένου που παράγεται από χρήστες (user-generated content) ήρθε στο προσκήνιο. Η σύλληψη της κοινής γνώμης σχετικά με κοινωνικές εκδηλώσεις , πολιτικά κινήματα , στρατηγικές εταιρειών , εκστρατείες μάρκετινγκ , και τις προτιμήσεις προϊόντων συγκεντρώνει αυξανόμενο ενδιαφέρον τόσο από την επιστημονική κοινότητα, όσο και από τον επιχειρηματικό κόσμο. Αυτή η κινητήρια ανάγκη έδωσε αφορμή για έρευνα στον αναδυόμενο τομέα της εξόρυξης γνώμης (opinion mining). Η κύρια πρόκληση σε αυτόν τον τομέα είναι η κατηγοριοποίηση της πολικότητας, στην οποία μια εκφραζόμενη γνώμη μπορεί να χαρακτηριστεί ως θετική ή αρνητική και μπορεί να έχει τη μορφή του εγγράφου ή της πρότασης ή χαρακτηριστικού. Στην παρούσα εργασία, προτείνουμε μια μεθοδολογία για την κατηγοριοποίηση εκραζόμενων απόψεων που αφορούν κριτικές ταινιών. Επιλέξαμε να χρησιμοποιήσαμε διαφορετικά σύνολα γνωρισμάτων και μέσω των πειραμάτων μας καταλήξαμε στο ποια από αυτά συνεισφέρουν και σε τι βαθμό στην κατηγοριοποίηση της εκφραζόμενης γνώμης με ακρίβεια.

Σ1.6 Σιμάκη Βασιλική, Αραβαντινού Χριστίνα και Κουμπούρη Αθανασία - Towards a knowledge-based approach for gender text classification

Οι θεωρητικές και εμπειρικές μελέτες αποδεικνύουν την ισχυρή επιρροή κοινωνικών παραγόντων όπως το φύλο, η ηλικία και η εκπαίδευση στις γλωσσικές επιλογές του κάθε ανθρώπου. Παρότι αυτές οι επιλογές είναι περισσότερο εμφανείς στο λόγο των ανθρώπων, μπορούμε να αναγνωρίσουμε κάποιες. Σε αυτή την εργασία, παρουσιάζουμε πώς τα διαφοροποιητικά χαρακτηριστικά του φύλου μπορούν να εντοπιστούν σε κείμενο από το διαδίκτυο, και ανιχνεύουμε το φύλο του συγγραφέα με μεγάλη ακρίβεια. Ύστερα από μια αρκετά εξαντλητική επισκόπηση θεωρητικών και εμπειρικών ερευνών, μετατρέψαμε τους γλωσσολογικούς δείκτες σε χαρακτηριστικά που θα μετρηθούν σε κείμενο που έχει παραχθεί από το χρήστη. Παρατηρούμε τα διαφοροποιητικά χαρακτηριστικά ανάμεσα στους άντρες και

τις γυναίκες στο γραπτό λόγο και χρησιμοποιούμε τα εμπειρικά ευρήματα που αφορούν τη γλώσσα των γυναικών σε μια διαδικασία κατηγοριοποίησης. Αυτή η προσπάθεια αποτελεί τη βάση για την απόδοση του φύλου σε ένα κείμενο άγνωστου συγγραφέα, και δοκιμάζει αποτελεσματικά να συνδυάσει γλωσσολογικές θεωρίες με το πεδίο της εξόρυξης κειμένου και τεχνικές κατηγοριοποίησης. Η εργασία μας αποδεικνύει ότι όντως οι γυναίκες και οι άντρες κάνουν διαφορετικές γλωσσικές επιλογές κατά τη διαδικτυακή τους δραστηριότητα.

Σ1.7 Αραβαντινού Χριστίνα, Σιμάκη Βασιλική, και Κουμπούρη ΑΘανασία - Associating named-entities with opinion expressing words

Ολοένα και περισσότεροι άνθρωποι χρησιμοποιούν το διαδίκτυο για να εκφράσουν τη γνώμη τους για διάφορα ζητήματα. Το αποτέλεσμα αυτής της δραστηριότητας πρέπει να χρησιμοποιηθεί αποδοτικά. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας έγινε ο συσχετισμός μεθόδων Αναγνώρισης Ονοματικών Οντοτήτων με τεχνικές Επίλυσης της Αναφοράς (Anaphora Resolution) και Εξόρυξης Γνώμης (Opinion Mining), με σκοπό να εντοπίσουμε τη γνώμη που εκφράζεται για κάθε ονοματική οντότητα σ' ένα κείμενο. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία, γιατί αν εξάγουμε μια γνώμη από μια πρόταση αλλά δε γνωρίζουμε σε τι αναφέρεται, τότε αυτή η γνώμη δεν μπορεί να οδηγήσει σε πολύ χρήσιμα συμπεράσματα. Το σύστημα που υλοποιήσαμε αναγνωρίζει τις ονοματικές οντότητες σ' ένα κείμενο και στη συνέχεια, καθορίζει την πολικότητά τους. Ο σχεδιασμός και η υλοποίηση του πρότυπου συστήματος συμπεριέλαβε τη μελέτη και αξιολόγηση ενός συνόλου έτοιμων γλωσσολογικών εργαλείων που είναι απαραίτητα για την πραγματοποίηση του ζητούμενου πειράματος. Μετά την επιλογή των εργαλείων, σχεδιάστηκε η πειραματική αξιολόγηση της μεθόδου με χρήση ενός συνόλου κειμένων που προέρχονται από online reviews, κατά την οποία υλοποιήθηκε μια εφαρμογή που περιλαμβάνει τα απαραίτητα υποσυστήματα και τα ολοκληρώνει σε ένα πρότυπο σύστημα, με αρκετά καλή απόδοση.

Σ1.8 Φακωτάκης Νικόλαος-Δημήτριος - Συνεργατικός Έλεγχος Διωκτών-Ρομπότ για Σύλληψη Εισβολέων-Ρομπότ

Στην εργασία αυτή αντιμετωπίζεται το πρόβλημα του συνεργατικού ελέγχου ρομπότ στην εξουδετέρωση εισβολέων ρομπότ, σε ελεγχόμενη περιοχή. Προτείνονται διαδικασίες και αλγόριθμοι, για τον εντοπισμό, την περικύκλωση και αιχμαλωσία των εισβολέων-ρομπότ από διώκτες-ρομπότ. Οι διώκτες-ρομπότ τοποθετούνται σε προκαθορισμένο σχήμα και κινούνται με τρόπο ώστε να μπορούν με βεβαιότητα και ταχύτητα να εντοπίσουν πιθανούς εισβολείς. Ακολουθεί κατάλληλος αλγόριθμος, που με δύο (2) κατ' ελάχιστο και οκτώ (8) κατά μέγιστο διώκτες αιχμαλωτίσουν όλους τους εισβολείς-ρομπότ σε πολυωνυμικό χρόνο. Η εργασία αυτή έγινε στα πλαίσια της διπλωματικής μου εργασίας, η οποία εκπονείται στο Εργαστήριο Ρομποτικής του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πατρών.

Σ1.9 Παπαργυρίου Μαρίνα, Παπουλίδης Ηλίας, Ιωάννου Ευάγγελος, Κουφούλης Παναγιώτης, και Χαραλαμπίδου Μαρία - Automations for the prevention of accidents in outdoor playgrounds

Η εργασία επικεντρώνεται στην ανάδειξη του προβλήματος και της ανάγκης ανάπτυξης αυτοματισμών ασφαλείας σε υπαίθριες παιδικές χαρές και παιδότοπους. Αρχικά έγινε η μελέτη και επισκόπηση από άποψη προτύπων ασφαλείας και νομοθεσίας και στη συνέχεια προτάθηκαν μία σειρά από αυτοματισμούς που προκύπτουν από τη μελέτη των αιτιών που προξενούν τα ατυχήματα. Η συνολική κατασκευή των αυτοματισμών αυτών και η ενσωμάτωσή τους στις παιδικές χαρές αποτελεί επέκταση και μελλοντική έρευνα για την ομάδα

εργασίας. Κατ' ελάχιστο βέβαια οι κατασκευές δεν μπορούν να αποκλίνουν από τις προδιαγραφές ασφαλείας που θέτουν τα πρότυπα και η νομοθεσία (στην Ελλάδα κατ' ελάχιστο το ΕΛΟΤ ΕΝ 1176 και το ΕΛΟΤ HD384).

[Δεύτερη συνεδρία: Ενέργεια]

Σ2.1 Τσιρούδης Ιωάννης και Αλειφέρης Σπυρίδων - Η Πηγή Αρνητικών Ιόντων Υδρογόνου (H-) "Προμηθέας Ι" – Παρουσίαση και Χαρακτηρισμός

Η παρούσα εργασία αφορά στην παρουσίαση και στον πρωταρχικό χαρακτηρισμό της πηγής αρνητικών ιόντων υδρογόνου (H-) "Προμηθέας Ι". Η παραγωγή του πλάσματος γίνεται από ένα δικτύωμα διπολικών πηγών Κυκλοτρονικού Συντονισμού Ηλεκτρονίων (Electron Cyclotron Resonance – ECR). Οι διαγνωστικές τεχνικές πλάσματος οι οποίες εφαρμόζονται είναι α) ηλεκτροστατικοί καθετήρες τύπου Langmuir, με τους οποίους μετρούνται ατομικές παράμετροι του πλάσματος (δυναμικό πλάσματος, αιωρούμενο δυναμικό, πυκνότητα και θερμοκρασία ηλεκτρονίων) και β) φωτοαπόσπαση (με Laser) ηλεκτρονίων από τα H-, με την οποία προσδιορίζεται η απόλυτη πυκνότητα των αρνητικών ιόντων H-.

Σ2.2 Τρουλλάκη Αικατερίνη και Λατούφης Κωνσταντίνος - Comparison of different magnetic materials for locally manufactured axial flux small wind turbine generators in off-grid applications

Σε αυτή την εργασία μελετώνται γεννήτριες αξονικής ροής μονίμων μαγνητών ως μέρη μικρών ανεμογεννητριών σε αυτόνομα συστήματα. Η πλειοψηφία των γεννητριών αυτών κατασκευάζονται σήμερα με μαγνήτες νεοδυμίου (NdFeB), οι οποίοι, αν και είναι εξαιρετικά ισχυροί μαγνήτες, έχουν συσχετιστεί με διάφορα προβλήματα οικονομικής, κοινωνικής, περιβαλλοντικής και λειτουργικής φύσεως. Για αυτούς τους λόγους, διερευνάται η αλλαγή του μαγνητικού υλικού της γεννήτριας και συγκεκριμένα η δυνατότητα αντικατάστασης των μαγνητών νεοδυμίου με κεραμικούς μαγνήτες (σκληροί φερρίτες). Σε πρώτο στάδιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από ερωτηματολόγιο που δημιουργήθηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας, σχετικά με τοπικά κατασκευασμένες μικρές ανεμογεννήτριες και βάσει αυτών και της βιβλιογραφικής έρευνας, αποφασίζεται η μελέτη γεννητριών με φερρίτες. Στη συνέχεια, σχεδιάζονται και προσομοιώνονται γεννήτριες με φερρίτες και γεννήτριες με μαγνήτες νεοδυμίου για τέσσερα μεγέθη ακτίνας πτερυγίων και αναζητούνται οι βέλτιστες διαστάσεις μαγνήτη για καθεμία από αυτές ώστε να βελτιστοποιούνται συγκεκριμένα κριτήρια. Αφού βρεθούν οι βέλτιστοι μαγνήτες για κάθε γεννήτρια, αναζητάται και ο βέλτιστος καθολικός μαγνήτης (ένας για κάθε μαγνητικό υλικό) που θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ικανοποιητικά για γεννήτριες σε όλο το εύρος ακτινών φτερωτής που μελετάμε. Για κάθε υλικό, ο καθολικός μαγνήτης συγκρίνεται με τους βέλτιστους μαγνήτες ανά ακτίνα φτερωτής καθώς και με τον πιο διαδεδομένο εμπορικό μαγνήτη της αγοράς.

Σ2.3 Κατσίφας Βασίλειος - Ενεργειακό δυναμικό του παλιρροϊκού ρεύματος του Ευρίπου

Η εργασία αναφέρεται στη δυνατότητα παραγωγής ενέργειας στην περιοχή του Ευρίπου κόλπου μέσω παλιρροϊκών ρευμάτων. Χρησιμοποιούνται στοιχεία και μετρήσεις ερευνών που έχουν διεξαχθεί στην περιοχή και επιχειρείται η εκτίμηση του ενεργειακού δυναμικού βάσει των ήδη εμπορικών παλιρροϊκών τουρμπινών. Παρουσιάζονται τέλος οι προϋποθέσεις, περιορισμοί και δυνατότητες και για την αξιοποίηση της παλιρροϊκής ενέργειας στην πόλη της Χαλκίδας.

Σ2.4 Σπαή Μάρθα και Πέππας Γεώργιος - Έλεγχος και μελέτη συστημάτων γείωσης κτιρίων πανεπιστημίου Πατρών

Η παρούσα εργασία ασχολείται με τον έλεγχο και την μέτρηση των γειώσεων από τα συστήματα αντικεραυνικής προστασίας των κτιρίων του πανεπιστημίου Πατρών. Σκοπός του συστήματος γείωσης είναι να υλοποιεί την απαγωγή και διάχυση του ρεύματος από τον κεραυνό μέσα στην γη χωρίς να δημιουργούνται επικίνδυνες υπερτάσεις που μπορεί να πλήξουν τον άνθρωπο ή τον εξοπλισμό. Λόγω της συχνότητας των κεραυνικών πληγμάτων οι συνέπειές τους και η αρχή λειτουργίας των αλεξικέραυνων αποτελούν ένα σημαντικό κομμάτι που καθορίζει αντίστοιχα και το κόστος των κατασκευών. Παρακάτω περιγράφονται βασικές έννοιες για το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας όπως είναι η σχεδίασή του, τα υλικά που απαιτούνται, και πως καθορίζεται η στάθμη προστασίας για την εκάστοτε κατασκευή και τόπο.

Σ2.5 Γκαϊδατζής Πασχάλης, Μπουχουράς Άγγελος, και Σγούρας Καλλισθένης - Εύρεση βέλτιστου αριθμού, θέσης και ισχύος μονάδων διανεμημένης παραγωγής με χρήση τεχνικής σμήνους σωματιδίων

Σε αυτήν την εργασία γίνεται μία καινοτόμος προσπάθεια προς την επίλυση του προβλήματος εύρεσης του βέλτιστου αριθμού, θέσης και εγκατεστημένης ισχύος Μονάδων Διανεμημένης Παραγωγής (Μ.Δ.Π.) στα Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ), με στόχο τη μείωση απωλειών ισχύος. Κατά τη διαδικασία επίλυσης λαμβάνονται υπόψιν ως περιορισμοί τα όρια τάσεων στους ζυγούς και το θερμικό όριο των γραμμών. Στην εργασία αυτή αναπτύσσεται κατάλληλο λογισμικό, που υλοποιεί τη μέθοδο βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων (Particle Swarm Optimization, PSO) σε περιβάλλον MATLAB και με τη χρήση του λογισμικού MATPOWER πραγματοποιούνται προσομοιώσεις σε ΣΗΕ 16 και 69 ζυγών (IEEE-16, IEEE-69) για την ανάδειξη της μεθόδου.

Σ2.6 Μάντζιαρης Αγησίλαος και Σγούρας Καλλισθένης - Μέθοδος επίλυσης ροής φορτίου με γραμμική πολυπλοκότητα

Η εργασία αυτή παρουσιάζει μία νέα μέθοδο επίλυσης της ροής φορτίου σε ακτινικά δίκτυα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας με μία τροφοδοσία. Σε αντίθεση με την πλειονότητα των μεθόδων, η λύση του προβλήματος προσεγγίζεται με μη επαναληπτικό τρόπο. Το βασικό της εργαλείο είναι ένα μοντέλο δύο ζυγών. Το μοντέλο αυτό στη συνέχεια επεκτείνεται σε μεγαλύτερα δίκτυα με μία γραφική μέθοδο σάρωσης δικτύων – δέντρων, η οποία αμελεί τις απώλειες ενεργού ισχύος επί των γραμμών του δικτύου, που οφείλονται στην απομακρυσμένη, από τη πηγή, εξυπηρέτηση φορτίων. Πειραματικά η μέθοδος αξιολογήθηκε σε δίκτυα υψηλής και μέσης τάσης και αποδείχθηκε ταχύτατη, με ελάχιστες απαιτήσεις σε υπολογιστικά μέσα και με αποτελέσματα μικρού σφάλματος.

Σ2.7 Χαλατσάκος Οδυσσέας - Design and real time control of a stellarator in development

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάπτυξης κάποιων μεθόδων για τον έλεγχο σε πραγματικό χρόνο μιας υπό-κατασκευή συσκευής ελέγχου ροής θερμού πλάσματος. Στο πρώτο στάδιο γίνεται μια προσεγγιστική εκτίμηση του μοντέλου της συσκευής με βάση ένα απλοποιημένο ηλεκτρικό κύκλωμα και επίλυση των βασικών διαφορικών εξισώσεων που το διέπουν. Στη συνέχεια, για την εξαγωγή ενός πιο αντιπροσωπευτικού μοντέλου της συσκευής χρησιμοποιείται η μέθοδος του "γκρι κουτιού". Το αποτέλεσμα της μεθόδου συγκρίνεται με την πραγματική απόκριση του συστήματος. Με βάση το προηγούμενο μοντέλο σχεδιάζονται δύο διαφορετικοί ελεγκτές για τον έλεγχο του ρεύματος και της τάσης της συσκευής. Οι ελεγκτές που σχεδιάζονται είναι ένας PID και ένας ελεγκτής πρόβλεψης μοντέλου (MPC) και σχεδιάζονται με κριτήρια τη γρήγορη απόκριση του συστήματος και την

εξάλειψη της υπερύψωσης. Οι ελεγκτές δοκιμάζονται με το πραγματικό σύστημα σε πραγματικό χρόνο. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο ελεγκτής MPC είναι πιο γρήγορος και αποδοτικός σε σχέση με τον ελεγκτή PID.

Σ2.8 Κωτίδης Αλέξανδρος, Σικερίδης Χαράλαμπος, Σπαθούλας Νικόλαος, Χατζηγεωργίου Γεώργιος, και Χαραλαμπίδου Μαρία - Φωτισμός ειδικών συνθηκών, ανάλυση φωτοτεχνικής μελέτης και αυτοματοποίηση εγκατάστασης

Στις μέρες μας, είναι κοινός τόπος η αναγκαιότητα της μελέτης φωτισμού ενός χώρου. Ειδικά δε, στην περίπτωση, όπου οι συνθήκες του χώρου είναι ιδιαίτερες (επιβαρυμένη ατμόσφαιρα, αυξημένη υγρασία χώρου, κλπ.), η ορθή μελέτη φωτισμού ενισχύει τόσο την ασφάλεια όσο και τη λειτουργικότητα του χώρου. Στην παρούσα εργασία, αναλύονται οι περιπτώσεις φωτισμού ειδικών συνθηκών και δίνονται οι αρχές της φωτοτεχνικής τους μελέτης. Ακολούθως, προτείνονται λύσεις αυτοματοποίησης της εγκατάστασης φωτισμού με χρήση κατάλληλων αισθητηρίων και ενεργοποιητών, με στόχο την αποδοτικότερη και οικονομικότερη λειτουργία της εγκατάστασης. Τέλος, παρατίθεται μία εφαρμογή εργαστηριακής κλίμακας μίας φωτοτεχνικής μελέτης φωτισμού ειδικών συνθηκών με χρήση μικροελεγκτή και εξάγονται τα συμπεράσματα και οι μελλοντικές κατευθύνσεις της εργασίας.

[Τρίτη συνεδρία: Σύγχρονα συστήματα]

Σ3.1 Ράπτης Δήμος - LCN - a prediction-based contention aware scheduler for multi-threaded applications

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η σχεδίαση και υλοποίηση ενός χρονοδρομολογητή που να μπορεί αφενός να εντοπίζει τον ανταγωνισμό μεταξύ διαφορετικών διεργασιών στους πόρους των υπολογιστικών συστημάτων και αφετέρου να δρομολογεί εφαρμογές, ώστε να μειώνει κατά τον βέλτιστο βαθμό αυτόν τον ανταγωνισμό, προκειμένου να βελτιώσει την συνολική επίδοση του συστήματος. Ο χρονοδρομολόγητης που υλοποιήθηκε συγκρίνεται με άλλους χρονοδρομολογητές επίγνωσης ανταγωνισμού προτεινόμενους από την πιο πρόσφατη ερευνητική βιβλιογραφία, καθώς και με τον χρονοδρομολογητή που χρησιμοποιείται σε σύγχρονα Λειτουργικά Συστήματα, όπως το Linux. Στη σημερινή εποχή, καθίσταται επιτακτική η ανάγκη βελτίωσης του λειτουργικού μέρους των σύγχρονων υπολογιστικών συστημάτων, προκειμένου να είναι ικανά να εκμεταλλευτούν την συνεχή πρόοδο που παρουσιάζεται στον τομέα του υλικού και της αρχιτεκτονικής των υπολογιστών. Η σύγκριση που έγινε μεταξύ του παρόντος χρονοδρομολογητή και των υπολοίπων βασίστηκε σε δύο κριτήρια, την συνολική απόδοση του συστήματος και την δικαιοσύνη μεταξύ των διαφορετικών διεργασιών. Επιτύχαμε να σχεδιάσουμε έναν χρονοδρομολόγητη, ο οποίος παρουσιάζει σημαντική βελτίωση στην συνολική απόδοση του συστήματος και ισάξια δικαιοσύνη, συγκρινόμενος με τον τρέχοντα χρονοδρομολογητή του λειτουργικού συστήματος Linux. Σε σύγκριση με τους καλύτερους χρονοδρομολογητές που έχουν προταθεί από προηγούμενη έρευνα, ο προτεινόμενος παρουσιάζει την καλύτερη συνολική απόδοση συστήματος, αλλά όχι βελτιωμένη δικαιοσύνη.

Σ3.2 Παπαϊωάννου Μαγδαληνή - Δημιουργία χάρτη βάθους σκηνής σε υπολογιστικά συστήματα παράλληλης επεξεργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη και υλοποίηση μεθόδων δημιουργίας του χάρτη βάθους μιας σκηνής από δύο φωτογραφίες της, χρησιμοποιώντας τεχνικές παράλληλης επεξεργασίας. Αρχικά η διαδικασία αναλύθηκε στους βασικούς της αλγορίθμους (την προεπεξεργασία των φωτογραφιών, την αντιστοίχιση περιοχών που περιέχουν την ίδια σκηνή

και τον υπολογισμό της απόστασης των αντικειμένων από το σημείο λήψης) και εξετάστηκε το κατά πόσο και με ποιόν τρόπο θα μπορούσαν αυτοί να παραλληλοποιηθούν. Ακολούθησε η υλοποίηση των μεθόδων χρησιμοποιώντας τις βιβλιοθήκες λογισμικού OpenCL και OpenCV, οι οποίες καθιστούν δυνατή την παραλληλοποίηση ενός αλγορίθμου υπολογιστικής όρασης. Πραγματοποιήθηκε επίσης αξιολόγηση της απόδοσης των αλγορίθμων ως προς την ταχύτητα και την ακρίβεια του παραγόμενου χάρτη βάθους. Η πειραματική διαδικασία εκτελέστηκε σε υπολογιστικό σύστημα με επεξεργαστή intel i7 1.8GHz και κάρτα γραφικών AMD Radeon HD 8850M. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι με χρήση ισχυρότερων υπολογιστικών συστημάτων μπορούν να υλοποιηθούν αλγόριθμοι εκτίμησης απόστασης με απόκριση πραγματικού χρόνου, γεγονός πολύ ενθαρρυντικό για μεγάλο πλήθος εφαρμογών.

Σ3.3 Παπουτσόγλου Ευαγγελία και Φαρμάκης Αριστοτέλης - Fractal animations με mapreduce

Στην παρούσα εργασία μελετάται το θέμα της κατασκευής ενός fractal animation με χρήση της προγραμματιστικής τεχνικής MapReduce του Hadoop. Αυτή μας επιτρέπει να κατανέμουμε, σε περισσότερα συστήματα, τόσο το υπολογιστικό φορτίο όσο και το κόστος εγγραφής στο δίσκο. Δίνεται, λοιπόν, έμφαση στο θέμα της απόδοσης, ιδίως από πλευράς χρόνου. Εξετάζουμε αν η επιλεγμένη τεχνολογία επιφέρει τις αναμενόμενες επιδόσεις, και καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η μία από τις δύο μεθόδους που προτείνουμε οδηγεί σε δραματική βελτίωση της διαδικασίας.

Σ3.4 Πλατυπόδη Μαρία - MVDR beamformer - Speech quality assessment in presence of background noise

Η εργασία αυτή έχει ως στόχο να αποκαλύψει τις δυνατότητες και τους εγγενής περιορισμούς στην απόδοση των ευρυζωνικών τεχνικών προσανατολισμένης λήψης σε σενάρια πραγματικών συνθηκών. Διαφορετικές εξομοιώσεις πραγματικών ακουστικών συνθηκών πραγματοποιούνται σύμφωνα με το πρότυπο ETSI EG 202 396-3. Το μη-ανηχοϊκό μοντέλο υιοθετείται και πραγματικά ακουστικά σήματα λαμβάνονται από γραμμικές διατάξεις μικροφώνων. Η τεχνική ελάχιστης παραμόρφωσης χρησιμοποιείται για την ανάθεση συντελεστών στάθμισης ανά μικρόφωνο. Επιπλέον, η τεχνική ημιτόνου εκθετικής σάρωσης χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της κρουστικής απόκρισης των N-ακουστικών καναλιών μέσα σε δωμάτιο ακουστικής. Τέλος, το μοντέλο 3-QUEST χρησιμοποιείται για την μέτρηση της ποιότητας ομιλίας σε θορυβώδη περιβάλλοντα. Το μοντέλο αυτό βασίζεται στο πρότυπο ETSI EG 202 396 – 3 και παρέχει υψηλή συσχέτιση σε σχέση με την υποκειμενική αντίληψη ποιότητας.

Σ3.5 Μήλας Νικόλαος - Σύστημα επιτήρησης και ελέγχου ηλεκτροκίνητου οχήματος με χρήση ηλεκτρονικού διαφορικού

Λόγω της υποβάθμισης του περιβάλλοντος, που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια, διάφορες φιλικές προς το περιβάλλον τεχνολογίες βρίσκονται στο επίκεντρο του επιστημονικού ενδιαφέροντος. Ως εκ τούτου πραγματοποιούνται εκτεταμένες προσπάθειες για νέα αποτελέσματα έρευνας στο πεδίο των ηλεκτρικών οχημάτων. Όμως, παρά το γεγονός ότι τα ηλεκτρικά οχήματα δεν προκαλούν άμεσα βλαβερές συνέπειες στο περιβάλλον, χρησιμοποιούν κατά κόρον συμβατικά συστήματα μετάδοσης με χαμηλό βαθμό απόδοσης και παθητική συμπεριφορά. Στην εργασία αυτή προτείνεται ένα σύστημα επιτήρησης και ελέγχου της συμπεριφοράς ενός ηλεκτροκίνητου οχήματος χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικό διαφορικό. Έχει σχεδιαστεί μία μικροϋπολογιστική διάταξη προκειμένου να συλλέγονται και να μεταδίδονται τα δεδομένα που απαιτούνται για αξιόπιστο έλεγχο του οχήματος. Η στιβαρή μετάδοση δεδομένων μέσα στο σύστημα επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός διαύλου CAN που χαρακτηρίζει

την παρούσα αρχιτεκτονική. Για την υλοποίηση του ηλεκτρονικού διαφορικού έχει δημιουργηθεί ένας αλγόριθμος που μιμείται τη λειτουργία του ελεύθερου μηχανικού διαφορικού, παρέχοντας την ίδια ποσότητα ροπής στους δύο κινητήριους τροχούς. Με βάση τον αλγόριθμο αυτό, δίνεται η δυνατότητα συγγραφής πολυπλοκότερων αλγορίθμων με σκοπό την ενεργητική συμπεριφορά του οχήματος σε ακραίες συνθήκες. Το προταθέν σύστημα έχει τοποθετηθεί σε ένα όχημα τύπου Buggy προκειμένου να αξιολογηθεί η αξιοπιστία του, συγκρίνοντας τις επιδόσεις του με τα θεωρητικά αποτελέσματα που προκύπτουν από τη γεωμετρία Ackermann.

Σ3.6 Μπόχαλης Χριστόδουλος και Φατούρος Οδυσσέας - Προσδιορισμός της θέσης πλοίου εντός δεξαμενής με τη χρήση σαρωτή τεχνολογίας LiDAR

Στην ρομποτική, η ακριβής γνώση της θέσης του ρομπότ είναι το σημαντικότερο πρώτο βήμα που πρέπει να γίνει ώστε ο μετέπειτα έλεγχος να είναι επιτυχής. Το ρομπότ μας είναι ένα μοντέλο φορτηγού πλοίου μήκους 1135mm και πλάτους 140mm. Στόχος μας είναι ο έλεγχος του πλοίου εντός δεξαμενής διαστάσεων 6m x 2m. Επιλέξαμε να λύσουμε αυτό το πρόβλημα χρησιμοποιώντας ένα σαρωτή LiDAR και ταιριάζοντας τις διαδοχικές σαρώσεις του χώρου ώστε να υπολογίσουμε την νέα θέση και το νέο προσανατολισμό του πλοίου.

Σ3.7 Ροντογιάννης Επαμεινώνδας - Ανακατασκευή θερμικών εικόνων υψηλής ανάλυσης από εικόνες χαμηλής ανάλυσης με τεχνικές compressed sensing

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η αύξηση της ανάλυσης (super resolution) σε θερμικές εικόνες χρησιμοποιώντας τεχνικές συμπιεσμένης καταγραφής (compressed sensing). Οι εικόνες εκφράζονται με αραιό τρόπο ως προς δυο υπερπλήρη λεξικά (ένα χαμηλής και ένα υψηλής ανάλυσης) και επιχειρούμε κατασκευή της εικόνας υψηλής ανάλυσης. Τα αποτελέσματα της μεθόδου αυτής συγκρίνονται με τα αποτελέσματα τεχνικών που χρησιμοποιούν image registration με ακρίβεια subpixel για την επίτευξη του super resolution.

Σ3.8 Τσίνγκας Ηλίας και Δημόπουλος Πέτρος - Serial communication over BLE - RS-232 cable replacement over Bluetooth Low Energy

Το Bluetooth είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο πρωτόκολλο ασύρματης μετάδοσης δεδομένων μεταξύ συσκευών χαμηλής κατανάλωσης. Στις προδιαγραφές του Bluetooth 4.0 μία νέα πτυχή του πρωτοκόλλου εισάγεται με στόχευση αυτόν τον τομέα, το Bluetooth Low Energy (BLE), επίσης γνωστό και ως Bluetooth Smart. Από τις νέες προδιαγραφές λείπει μία μέθοδος μεταφοράς μιας σταθερής ροής σειριακών δεδομένων, γνωστό κ ως RFCOM στις προηγούμενες εκδόσεις. Η προσέγγισή μας προσπαθεί να συμπληρώσεις το κενό και επιπροσθέτως να εισάγει μία ολοκληρωμένη υλοποίηση μίας διάταξης που θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αντικαταστάτης ενός RS-232 καλωδίου. Για να το πετύχει αυτό ένα μείγμα από ευρέως γνωστές τεχνικές όπως ο κυκλικός buffer, τα interrupt, μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων κλπ. χρησιμοποιούνται. Επιπλέον, η εφαρμογή υλοποιείται πάνω στο Bluetooth stack που παρέχεται από το Dialog Semiconductors Software Development Kit. Η προτεινόμενη υλοποίηση αξιολογείται βάση του μέγιστου throughput και της κατανάλωσης. Αυτές οι μετρήσεις λήφθηκαν με τη χρήση εργαλείων όπως ο logic analyzer για το μέγιστο throughput και ένα κύκλωμα μέτρησης ρεύματος για τον υπολογισμό της κατανάλωσης. Οι μετρήσεις έδειξαν ότι η υλοποίηση επιτυγχάνει μέγιστο throughput της τάξης των 10,9KB/sη οποία σχεδόν φέρνει σε κορεσμό το RS-232 κανάλι, ενώ ταυτόχρονα η κατανάλωση ισχύος θεωρείται ικανοποιητικά χαμηλή για μία φορητή εφαρμογή.

Σ3.9 Κασλής Κυριάκος - A photodiode sensing circuit for operation in harsh environments

Στην παρακάτω εργασία παρουσιάζεται ένα καινοτόμο οπτοηλεκτρονικό κύκλωμα ανίχνευσης ασθενών ρευμάτων φωτοδιόδου σε αντίξοες συνθήκες. Η απόδοση (A/W) των φωτοδιόδων μειώνεται συναρτήσει του χρόνου, ιδιαίτερα αν λειτουργούν σε ένα δυσμενές περιβάλλον. Σε αυτήν την εργασία, προτείνουμε μια ηλεκτρονική τοπολογία που συνδυάζει ένα κύκλωμα αποκοπής της σταθερής τάσης της φωτοδιόδου με ένα κύκλωμα μεταβλητής ενίσχυσης, ελεγχόμενης από τάση, του ωφέλιμου σήματος ώστε να αντισταθμιστεί η πτωτική απόδοση της φωτοδιόδου. Το τελικό σύστημα μπορεί να ανιχνεύει και να ενισχύει ρεύματα έντασης από 100 nA έως 10 μA, έχει υψηλό εύρος κέρδους και, σχετικά, μεγάλο εύρος ζώνης με αποτέλεσμα να είναι ιδανικό για χρήση σε πληθώρα πρακτικών εφαρμογών.

[Τέταρτη συνεδρία: Ανθρωποκεντρικά δεδομένα]

Σ4.1 Κοκκινόπουλος Κωνσταντίνος - Μελέτη της καταγραφής μονοφωνικής μουσικής σε πεντάγραμμο με WYSIWYG Scorewriter χρησιμοποιώντας πληκτρολόγιο χωρίς Numpad

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της διεπαφής χρήστη των What You See Is What You Get (WYSIWYG) προγραμμάτων καταγραφής μουσικής(scorewriters), τα προβλήματα που προκύπτουν από την έλλειψη αριθμητικού πληκτρολογίου και η αντιμετώπισή τους. Η εργασία εστιάζει στην καταγραφή μονοφωνικής μουσικής, με συμπεράσματα που μπορούν να γενικευθούν έως ένα βαθμό και στα υπόλοιπα είδη μουσικής.

Σ4.2 Πίππα Ευαγγελία και Μπόρας Ιωσήφ - Unsupervised analysis of EEG signals for the discovery of ictal patterns

Σε αυτή την εργασία, πραγματοποιήθηκε μη επιβλεπόμενη ανάλυση ηλεκτροεγκεφαλογραφικών σημάτων εξειδικευμένη για κάθε ασθενή με σκοπό την ανακάλυψη άγνωστων επιληπτικών προτύπων. Για την ανάλυση, βασιστήκαμε στον αλγόριθμο συσταδοποίησης k-means. Η προτεινόμενη μεθοδολογία όταν εφαρμόστηκε σε καταγραφές ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος από έναν επιληπτικό ασθενή αποκάλυψε πρότυπα που εμφανίζονται με σημαντικά μεγαλύτερη συχνότητα κατά τη διάρκεια των επιληπτικών κρίσεων. Τα πρότυπα που ανακαλύφθηκαν μπορούν να αξιοποιηθούν ως δείκτες των επιληπτικών περιόδων σε μια αυτοματοποιημένη προσέγγιση για την ανίχνευση των κρίσεων.

Σ4.3 Αμαραντίδης Λάμπρος, Θεοχαρίδης Χάρης και Χατζηκωνσταντίνου Χρήστος - Αναγνώριση συναισθήματος με χρήση ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος και στατιστικής ανώτερης τάξης.

Στην παρούσα μελέτη παρουσιάζεται μια προσπάθεια αναγνώρισης συναισθήματος με τη χρήση του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος και στατιστικής ανώτερης τάξης. Για την ταξινόμηση των σημάτων χρησιμοποιούμε τους αλγόριθμους ταξινόμησης Support Vector Machine (SVM), Quadratic Discriminant Analysis (QDA) και k-Nearest Neighbors (k-NN). Βέλτιστος αλγόριθμος αποδείχτηκε ο SVM με ποσοστό επιτυχίας 87,78 %. Η χρήση των ηλεκτροδίων των ινιακών και βρεγματικών λοβών φάνηκε να δίνει το βέλτιστο αποτέλεσμα.

Σ4.4 Κονταδάκης Γρηγόριος, Χασιούρας Δημήτριος, Πρωιμάκη Δέσποινα - Design of augmented reality 3D rehabilitation application using an inertial measurement unit

Στόχος της εργασίας είναι η υλοποίηση μιας αυτοματοποιημένης εφαρμογής φυσικοθεραπείας και αποκατάστασης για ασθενείς που έχουν κάνει ολική αρθροπλαστική γονάτου, σε συνεργασία με το Γενικό Νοσοκομείο Χανίων. Η εφαρμογή χρησιμοποιεί ένα αυτοσχέδιο κόμβο

που περιέχει αισθητήρα με ενσωματωμένο επιταχυνσιόμετρο και γυροσκόπιο για να βρει την περιστροφή του χειρουργημένου άκρου. Στόχος της εφαρμογής είναι να δώσει το κατάλληλο κίνητρο στον ασθενή ώστε με τη χρήση του αισθητήρα να πραγματοποιεί με ακρίβεια και ευχάριστα τις ασκήσεις αποκατάστασης γονάτου που απαιτείται μέσα από ένα τρισδιάστατο παιχνίδι. Το παιχνίδι προβάλει στην οθόνη την κίνηση του χειρουργημένου άκρου σαν μέλος μια τρισδιάστατης σκηνής και επιχειρεί να ταξινομήσει την άσκηση που έκανε σαν σωστή ή λάθος με βάση τα κριτήρια που έχουν συγκεκριμενοποιηθεί από το φυσικοθεραπευτή. Στόχος μας είναι η μείωση της φυσικής παρουσίας του φυσικοθεραπευτή βοηθώντας την αποδοτική υλοποίηση ασκήσεων στο σπίτι με ευκολία και χαμηλό κόστος. Προκειμένου να εκπαιδευτεί το σύστημα και να επιτευχθεί υψηλό ποσοστό αναγνώρισης ασκήσεων, μέθοδοι μηχανικής μάθησης πρέπει να χρησιμοποιηθούν. Ο αυτοσχέδιος κόμβος που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από ένα μικρό-υπολογιστή Raspberry Pi A+ και τον αισθητήρα MPU-9150 που χρησιμοποιείται σε πολλές εμπορικές συσκευές. Το τρέχον σύστημα υλοποιείται εξολοκλήρου στην γλώσσα Java με τη βοήθεια της μηχανής παιχνιδιού JMonkeyEngine και το σύστημα εξόρυξης δεδομένων Weka.

Σ4.5 Ανδρίκος Χρήστος και Ρασσιάς Γεώργιος - Real-time medical collaboration services over the Web

Η βαθμιαία μετατόπιση του κέντρου λήψης αποφάσεων στην ιατρική, από τον κλινικό γιατρό σε ομάδες πολλαπλών ειδικοτήτων (κατά τη βιβλιογραφία multidisciplinary teams), εγείρει την ανάγκη για συστήματα υποστήριξης απομακρυσμένων ιατρικών διαβουλεύσεων πραγματικού χρόνου. Στο πλαίσιο αυτό, παρουσιάζεται μια ολοκληρωμένη πλατφόρμα βασισμένη στις πιο σύγχρονες τεχνολογίες ιστού, η οποία προσφέρει ευφυή διαχείριση και ανταλλαγή ιατρικών δεδομένων, για την φιλοξενία υπηρεσιών συνεργασίας πραγματικού χρόνου μεταξύ ιατρικού προσωπικού. Πιο συγκεκριμένα, στην παρούσα εργασία εισάγεται η κατανεμημένη στους πελάτες (client-side) επεξεργασία ιατρικής εικόνας έναντι της έως τώρα κεντρικοποιημένης προσέγγισης εξυπηρετητή (server-side). Επιπλέον, προς αντιμετώπιση του τυπικού προβλήματος συμφόρησης και των γνωστών θεμάτων κλιμάκωσης των κεντρικοποιημένων αρχιτεκτονικών διαμοιρασμού δεδομένων, εισάγεται ένα σχήμα έμμεσης Κλήσης Απομακρυσμένης Διαδικασίας (RPC) βασισμένο στο συγχρονισμό αντικειμένων διαμέσου της νεοεισαχθείσας WebRTC τεχνολογίας.

Σ4.6 Λιάκης Ιωάννης - Gesture recognition for alphabet characters from fingertip motion trajectory using LRB hidden Markov models

Αυτή η αναφορά περιγράφει μια μέθοδο αναγνώρισης αλφαβητικών χαρακτήρων από μια ήδη εντοπισμένη και καταγεγραμμένη τροχιά της άκρης του δακτύλου, με τη χρήση HMM (κρυφά μοντέλα Markov). Για αυτόν τον σκοπό δημιουργήθηκε μία βάση δεδομένων από καταγεγραμμένες τροχιές. Ο προσανατολισμός των κινήσεων κβαντίζεται για να μετατραπεί σε κωδικο-λέξεις. Χρησιμοποιείται μια μονόδρομη αριστερά-δεξιά (Left-Right Banded) HMM τοπολογία με διαφορετικό αριθμό καταστάσεων που κυμαίνονται από 3 ως 10 και διαφορετικό αριθμό συμβόλων που κυμαίνονται από {8,12,18}. Η καλύτερη επίδοση επιτυγχάνεται με 5 καταστάσεις και 8 σύμβολα.

Σ4.7 Κανελλάκης Χριστόφορος, Κυρίτσης Γιώργος και Τσιλομήτρου Ουρανία - Ανάπτυξη διάταξης βιομηχανικής όρασης για προσδιορισμό θέσης και προσανατολισμού κινούμενων αντικειμένων και οδήγηση ρομποτικού βραχίονα

Ο στόχος αυτής της εργασίας είναι η υλοποίηση μίας βιομηχανικής διάταξης σε εργαστηριακή κλίμακα στην οποία συνεργάζονται ένα στερεοσκοπικό σύστημα και ένας ρομποτικός

βραχίονας. Η διαδικασία χωρίζεται σε δύο μέρη, την αναγνώριση στο χώρο των επιθυμητών αντικειμένων και την οδήγηση βάσει αυτής του ρομποτικού βραχίονα. Για το πρώτο μέρος γίνεται χρήση της βιβλιοθήκης ανοικτού κώδικα OpenCV και δύο παράλληλα διατεταγμένων καμερών. Στο δεύτερο μέρος χρησιμοποιείται ο ρομποτικός βραχίονας Katana s400 6M90G της εταιρίας Neuronics.

Σ4.8 Ζήκου Λήδα και Παπαχρήστος Χρήστος - Power-over-tether: A remote powering system for small unmanned aerial vehicles

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται ένα επίγειο σύστημα τροφοδοσίας για μικρά μη επανδρωμένα αεροσκάφη, με σκοπό την επίτευξη πτήσεων παρατεταμένης διάρκειας για την κάλυψη των ενδεχόμενων αναγκών πολιτικών εφαρμογών υψηλών απαιτήσεων. Για το σκοπό αυτό, αναπτύχθηκε ένα Power-over-Tether σύστημα με τοποθετημένη την τροφοδοσία του αεροσκάφους στο έδαφος, ενώ η ισχύς μεταφέρεται στο ίδιο μέσω ενός καλωδίου. Προκειμένου να παρέχεται η δυνατότητα στο αεροσκάφος να εκτελεί ελεύθερα κάθετες και διαμήκεις τροχιές στο χώρο, χρησιμοποιήθηκε καλώδιο μεγάλου μήκους τυλιγμένο γύρω από μία κυλινδρική βάση, έτσι ώστε να είναι δυνατή η ελευθέρωση και ανάκλησή του. Το Power-over-Tether σύστημα σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να λειτουργεί αυτόνομα, έχοντας την ικανότητα να "αισθάνεται" πότε το αεροσκάφος απαιτεί ελευθέρωση επιπλέον μήκους καλωδίου ώστε να κινηθεί προς την εκάστοτε επιθυμητή θέση, και πότε υπάρχει υπάρχει επιπλέον μήκος καλωδίου από αυτό που απαιτείται το οποίο και πρέπει να ανακληθεί, και εκτελεί την απαραίτητη λειτουργία αναλόγως. Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται αναλυτικά η δομή του συστήματος καθώς επίσης και ο έλεγχος που υλοποιήθηκε. Τέλος, διεξάγονται και εκτιμώνται τα πειραματικά αποτελέσματα της λειτουργίας, τα οποία αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου συστήματος.

[POSTERS]

Α1 Ντούτσος-Οικονόμου Κωνσταντίνος, Σάπικας Δημήτριος, Βασιλειάδης Νικόλαος, και Παντελής Δημήτριος-Νικόλαος - Athens Wireless Network Analysis

Στην σημερινή κοινωνία, το να είσαι συνδεδεμένος στο διαδίκτυο έχει γίνει πλέον ανάγκη, είτε για προσωπική χρήση είτε για επαγγελματική χρήση. Αυτό έγκειται κυρίως στο πόσο φορητή έχει γίνει η τεχνολογία πλέον. Σχεδόν όλοι έχον έναν φορητό υπολογιστή ή ένα smart phone σήμερα. Αυτό συνεπάγεται στο να είναι και το διαδίκτυο όσο «φορητό» γίνεται, κάτι που η ενσύρματη τεχνολογία δεν επιτρέπει. Για αυτό δημιουργήθηκε η ανάγκη ασύρματου πρωτοκόλλου επικοινωνίας. Το πιο διαδεδομένο διαδεδομένο από αυτά είναι το Wi-Fi, που μας επιτρέπει να συνδεθούμε ασύρματα σε ένα δίκτυο μέσω φορητού υπολογιστή, smart phone ή ακόμη και από άλλες συσκευές. Στην παρούσα έρευνα παρουσιάζουμε τι συνηθίζεται στα Wi-Fi της Αττικής από θέμα ασφάλειας, τεχνολογίας, αξιοπιστίας, τεχνικής και κατασκευάστριας εταιρίας.

Α2 Διαμαντίδου Ελένη και Ζυγκιρίδης Θεόδωρος - Λογισμικό Προσομοίωσης Χαρακτηριστικών Ιδιοτήτων Μεταϋλικών

Η εργασία που έχει αποσταλεί πραγματεύεται την υλοποίηση μιας γραφικής διεπιφάνειας σε προγραμματιστικό περιβάλλον Matlab (GUI) με θέμα την προσομοίωση χαρακτηριστικών ιδιοτήτων των μεταϋλικών.

Α3 Κοτοπούλη Ευαγγελία - Μελέτη γειώσεων ανεμογεννητριών με σκοπό την βελτίωση των βηματικών τάσεων

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των βηματικών τάσεων σε ένα σύστημα γείωσης ανεμογεννήτριας, με το ισοδύναμο ανθρώπινο κύκλωμα, μέσω της εξομοίωσης του με το λογισμικό EMTP-ATP, έχοντας συμπεριλάβει στους υπολογισμούς και το φαινόμενο του ιονισμού, ώστε να εκτιμηθούν οι βηματικές τάσεις στη βάση ανεμογεννήτριας σε περίπτωση πλήγματος κεραυνού. Η εξομοίωση γίνεται για δύο διατάξεις θεμελιακών γειώσεων και για τρεις διαφορετικές περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση τα συστήματα γείωσης υποβάλλονται σε κεραυνικό πλήγμα 100kA, με χρόνους 1.2/50μs, θεωρώντας ειδική αντίσταση εδάφους 50 Ωm και τιμή πεδίου ιονισμού 300 kV/m. Στην δεύτερη περίπτωση το κεραυνικό πλήγμα είναι 30kA,1.2/50 μs, με ειδική αντίσταση εδάφους στα 100Ωm και πεδίο ιονισμού 300 kV/m, ενώ στην τρίτη περίπτωση υποβάλλεται το σύστημα σε ρεύμα κεραυνού 10kA, με χρόνους 1.2/50μs, με ειδική αντίσταση εδάφους στα 100Ωm και σταθερή τιμή πεδίου ιονισμού στα 300kV/m.

Α4 Ποτσίκα Ηλιάνα, Σακέρογλου Ελένη, και Κορτσαρίδης Γεώργιος - Διαδικτυακό πληροφοριακό σύστημα διαχείρισης και καταγραφής παρουσιών iPresence

Σε αυτή την εργασία παρουσιάζουμε το iPresence, ένα εξειδικευμένο και ευέλικτο πληροφοριακό σύστημα για τη διατήρηση ενός "online" παρουσιολογίου, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλα τα εκπαιδευτικά ιδρύματα με στόχο τη διευκόλυνση της εκπαιδευτικής διαδικασίας. Τόσο οι καθηγητές, όσο και οι φοιτητές, μπορούν να χρησιμοποιήσουν τη συγκεκριμένη διαδραστική πλατφόρμα για την οργάνωση των παρουσιών ενός μαθήματος. Δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας και εκτύπωσης τεκμηρίων (tokens) με μοναδικούς κωδικούς, τα οποία διανέμονται στους φοιτητές και μέσω αυτών, καταγράφουν την παρουσία τους στην πλατφόρμα. Παρέχει, επίσης, ένα γρήγορο και εύχρηστο τρόπο καταγραφής παρουσιών μέσω μιας ειδικά σχεδιασμένης εφαρμογής Android, η οποία σαρώνει το barcode της φοιτητικής

ταυτότητας. Τα αποτελέσματα της χρήσης σε ένα μάθημα κορμού, ανέδειξαν τα οφέλη και για τους φοιτητές και για τους καθηγητές.

Α5 Βενιζέλου Βενιζέλος - Technoeconomic study of RES installations in hospital

Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι να παρουσιάσει μια ολοκληρωμένη πρόταση για εγκατάσταση ΑΠΕ στο Γενικό Νοσοκομείο Λεμεσού, το οποίο θεωρείται ως ένα από τα κτίρια με τη μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση. Αρχικά προσομοιώνεται ένα Φ/Β σύστημα διασυνδεδεμένο με το δίκτυο της Αρχής Ηλεκτρισμού Κύπρου (ΑΗΚ), χρησιμοποιώντας το λογισμικό PV * SOL. Στη συνέχεια μελετάμε ένα διασυνδεδεμένο υβριδικό και ένα υβριδικό αυτόνομο σύστημα, με τη χρήση του λογισμικού HOMER. Όλες οι τεχνοοικονομικές μελέτες βασίζονται σε ένα κύκλο ζωής διάρκειας 20 ετών. Στο τέλος, συγκρίνουμε τα τρία συστήματα για να ορίσουμε την πιο συμφέρουσα πρόταση.

Α6 Τσιμάρας Βασίλειος - Σχεδιασμός διάταξης μετατροπέα και κυκλώματος ελέγχου για οδήγηση αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων

Η απαγκίστρωση της ανθρώπινης δραστηριότητας από παραδοσιακές μορφές ενέργειας όπως τα ορυκτά καύσιμα έχει οδηγήσει τα τελευταία χρόνια στην ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών. Σημαίνουσα θέση στον τομέα αυτό καταλαμβάνει η συγκομιδή ηλιακής ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών panel. Ωστόσο, από την σκοπιά της ενεργειακής απόδοσης αυτής της μεθόδου δεν υπάρχει μέχρι σήμερα καθιερωμένη οδός εκμετάλλευσής της. Αντίθετα παρουσιάζεται ένας μεγάλος αριθμός προτεινόμενων τοπολογιών και αρχιτεκτονικών ελέγχου, η καθεμία εκ των οποίων προσφέρει διαφορετικά χαρακτηριστικά. Σε αυτήν την εργασία επιχειρείται η παρουσίαση ενός μοντέλου αποτελούμενο από έναν Cuk μετατροπέα και ενός νέου κυκλώματος ελέγχου αναφοράς τάσης, το οποίο εκτελεί αλγόριθμο όχλησης και παρατήρησης (P&O) για λειτουργία στο σημείο μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος. Η προαναφερθείσα διάταξη αναλαμβάνει την οδήγηση φορτίου χαμηλής ισχύος (60W) από φωτοβολταϊκό panel (60Wp). Το συνολικό σύστημα μοντελοποιείται η διάταξη με σκοπό να υπάρξουν πειραματικές μετρήσεις.

Α7 Δημήτρης Ενέα Μέλε, Ελσόν Μπεϊλέρι, Τσάκο Δουρίμ και Στεφάν Αλί - PANDORA: Παιχνιδοποιημένη εφαρμογή για την εκπαίδευση σε θέματα ηλεκτρικής ενέργειας

Η εργασία αυτή περιγράφει την δημιουργία μιας εφαρμογής για την εκπαίδευση χρηστών σε θέματα ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση της τεχνολογίας gamification. Στόχος της εφαρμογής Pandora, είναι η τροποποίηση της συμπεριφοράς του χρήστη σε θέματα ηλεκτρικής ενέργειας μέσα από την εκπαίδευση και την συναισθηματική εμπλοκή του με την εφαρμογή. Ο χρήστης εκπαιδεύεται μέσω μηχανισμών παιχνιδιού στον έλεγχο της κατανάλωσης, την εξοικονόμηση και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ξεκλειδώνοντας επίπεδα κτιριακών εγκαταστάσεων μαθαίνει να εφαρμόζει μεθόδους για την ενεργό και συνειδητή συμμετοχή του στις παραπάνω διαδικασίες μέσα από τα αποτελέσματα που έχουν οι κινήσεις και αποφάσεις του. Στα πλαίσια της εφαρμογής, του δίνεται επίσης η δυνατότητα να προσομοιώσει ή να μετρήσει τις πραγματικές καταναλώσεις των συσκευών του.

Α8 Μαθέ Ειρήνη - Assessment of user experience with a commerical BCI device

Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι η αξιολόγηση της εμπειρίας χρήσης μιας εμπορικής συσκευής διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή (Brain Computer Interface-BCI), και πιο συγκεκριμένα του Neurosky Mindwave Mobile. Η συσκευή αυτή έχει τη δυνατότητα να μετράει συγκεκριμένους τύπους εγκεφαλικών κυμάτων και να τους "μεταφράζει" σε ποσοτικές μετρήσεις της συγκέντρωσης (attention) και της χαλάρωσης (meditation) του χρήστη. Χρησιμοποιεί ένα ηλεκτρόδιο, το οποίο εφαρμόζεται στο μέτωπο του χρήστη με μη επεμβατικό τρόπο. Κατασκευάστηκε ένα πρωτότυπο όχημα βασισμένο στην πλατφόρμα Arduino και σε ένα

παιδικό παιχνίδι, το οποίο και ελέγχεται μέσω του BCI και για την αξιολόγηση της εμπειρίας χρήσης διεξάχθηκε ένα πείραμα με 20 χρήστες, για τους οποίους αποτέλεσε την πρώτη τους εμπειρία με μια συσκευή BCI.

A9 Μαρίνου Μαρία - Σύγχρονες εφαρμογές mHealth και μέθοδοι αξιολόγησης

Κατά την διάρκεια των τελευταίων ετών, η χρήση των έξυπνων κινητών συσκευών έχει εισχωρήσει ραγδαία σε μια πληθώρα καθημερινών λειτουργιών. Ο τομέας της Υγείας προσφέρει πολύπλευρες δυνατότητες ανάπτυξης ιατρικών εφαρμογών οι οποίες μπορούν να εκτελούν από απλές λειτουργίες λήψης και καταγραφής τυπικών κλινικών μετρήσεων ζωτικών σημάτων, έως να λειτουργούν ως υπολογιστικά συστήματα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων. Η υιοθέτηση της χρήσης των mHealth εφαρμογών θα συμβάλει ουσιαστικά καθώς θα βελτιώνει την ποιότητα ζωής των ασθενών και την πορεία της νόσου τους και θα αποτελεί κίνητρο για την αύξηση της ενημέρωσης και πρόληψης ενάντια σε ένα σύνολο ασθενειών. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται ένα τέτοιο πλαίσιο αξιολόγησης mHealth εφαρμογών που συμπεριλαμβάνει θέματα ασφάλειας και προστασίας του ιατρικού απορρήτου, μια τεχνική και εργονομική προσέγγιση αναφορικά με την χρηστικότητα των εφαρμογών, την ποιότητα του περιεχομένου τους, την διασυνδεσιμότητα, τον τύπο και την πλατφόρμα ανάπτυξης και το κόστος απόκτησης και λειτουργίας των εφαρμογών. Πρόκειται για έναν τομέα ο οποίος προσφέρεται να συνεισφέρει ζωογονητικά πλεονεκτήματα στους χώρους της Υγείας και της Ιατρικής και για αυτό δεν πρέπει να μείνει ακάλυπτος αλλά να εναγκαλιστεί από ένα γενικό πλαίσιο προσαρμοστικής αξιολόγησης.

A10 Σαψάνης Χρήστος - Capacitive Immunosensor to quantify C-reactive protein

Σε αυτή την εργασία αναφέρουμε έναν αισθητήρα ανοσοδοκιμασίας με βάση την ανοσοσυγκόλληση για τον ποσοτικό προσδιορισμό της C-αντιδρώσας πρωτεΐνης (CRP). Ο αναπτυχθέν αισθητήρας ανοσοδοκιμασίας απαιτεί περίπου 15 λεπτά ανά δείγμα και παρέχει ευαισθησία έως 0,5 mg/L. Μετράμε την ποσοτικοποίηση της συγκέντρωσης του δείγματος που προστίθεται μέσω της χωρητικότητας των χρυσών αλληλοσυμπλεκόμενων ηλεκτροδίων (IDEs). Στην παρούσα εργασία, είμαστε σε θέση να προσδιορίσουμε ποσοτικά τη συγκέντρωση της CRP, με πιο χαμηλή συγκέντρωση τα 0.5 mg / L και πιο υψηλή τα 10 mg/L. Με την ποσοτικοποίηση της CRP στον ορό, έχουμε αξιολογήσει εάν οι ασθενείς είναι επιρρεπείς σε καρδιακές παθήσεις και παρακολουθήσει τον κίνδυνο που συνδέεται με αυτές. Η δομή του αισθητήρα είναι απλή με χαμηλό κόστος. Αυτός ο τύπος αισθητήρα μπορεί να αποτελέσει μια πολλά υποσχόμενη εφαρμογή για ταχεία και ευαίσθητη ανίχνευση δεικτών νόσων σε point-of-care συσκευές.

[WORKSHOPS]

Λέσχη Ρομποτικής - Firefighter robot

Η Λέσχη Ρομποτικής (Robotics Club), λειτουργεί στο Πανεπιστήμιο Πατρών από το 2002 , στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών & Αεροναυπηγών. Η λειτουργία της υποστηρίζεται από την Ερευνητική Ομάδα Ρομποτικής του τμήματος. Απασχολεί φοιτητές κατά κύριο λόγο από τα τμήματα Μηχανολόγων , Ηλεκτρολόγων και Μηχανικών Η/Υ. Σκοπός της είναι η εξοικείωση των μελών της με τις πλέον σύγχρονες τεχνολογίες στην επιστήμη της Ρομποτικής, μέσω του σχεδιασμού, της κατασκευής και του προγραμματισμού ρομποτικών συστημάτων μικρού και μεσαίου μεγέθους. Τα τελευταία χρόνια τα μέλη της Λέσχης δραστηριοποιούνται επίσης σε τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης (3D Printing) και κατασκευής ηλεκτρονικών πλακετών (PCB Fabrication). Σε αυτή την παρουσίαση, μέλη της Λέσχης, θα παρουσιάσουν στοιχεία από διάφορες τεχνολογίες αισθητήρων και κινητήρων, και συνδυάζοντας τα παραπάνω με έναν μικροελεγκτή και κάποια εξαρτήματα εκτυπωμένα σε 3D-Printer, θα κατασκευάσουν ένα μικρό κινητό ρομπότ με τη δυνατότητα να ανιχνεύει αναμμένα κεριά στο περιβάλλον του και να τα σβήνει.

IEEE - Functional Programming

Functional programming is a computing paradigm relying on higher order function principles such as recursion and variable immutability. This workshop offers an introduction to functional programming using Scala, a multi-paradigm language supporting both functional and object-oriented programming running over JVM and interoperating fully with Java. Scala source code has garnered over a short time a strong reputation for brevity and efficiency. Emphasis will be placed on hands-on experience through code dealing with realistic programming tasks.

Accusonus - Audio source separation - Mixing DSP and math to unmix music and audio

Audio source separation has been an active research topic for many years. In the first part of this workshop we will define the problem and see how it arises in various applications. We will discuss the challenges it poses and review a number of methods that have been proposed in the literature to solve it. In the second part, we will focus on the renaissance of audio source separation that has been fueled by the powerful non-negative matrix factorization (NMF) technique. We will discuss how and why NMF works, why it's a great tool for audio applications and present several extensions that have been proposed in the literature. Throughout the workshop we will present several practical examples to provide insight and better understanding of the methods discussed.

[ΣΦΗΜΜΥ++]
[Παρουσιάσεις Startup]

UrboTour
Οι σύγχρονες τεχνολογίες της UrboTour (QR codes, Bluetooth 4.0 , Augmented Reality) μπορούν να δώσουν στους επαγγελματίες του τουρισμού καινούργια μέσα για την αναβάθμιση των υπηρεσιών τους. Η UrboTour παρέχει πρωτοποριακές λύσεις για ξενοδοχεία (δημιουργία QR code, εφαρμογής για smartphone,ιστοσελίδας), για μουσεία (οδηγός για smartphones), για ξεναγούς , για ταξί-ενοικιάσεις οχημάτων και για τον δήμο.

Clio Muse
Ένας Συντηρητής Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης, μια απόφοιτη του Οικονομικού Πανεπιστημίου Αθηνών και ένας Ηλεκτρολόγος Μηχανικός. Διαφορετικοί χαρακτήρες, με διαφορετική επιστημονική κατάρτιση. Αποφασισμένοι να φέρουν τον κόσμο πίσω στα μουσεία δημιούργησαν την εφαρμογή ξενάγησης Clio Muse. Συχνά στα Μουσεία συναντάμε εντυπωσιακά εκθέματα. Όμως, οι λεζάντες τους συνήθως μας κουράζουν. Η Clio Muse είναι μια εφαρμογή ξενάγησης που υπόσχεται να το αλλάξει αυτό, παρουσιάζοντας κάθε έκθεμα μέσα από συναρπαστικές, αληθινές, σύντομες, πολλαπλές και χρονομετρημένες ιστορίες.

Codebender
Το codebender είναι μια online πλατφόρμα για χρήστες Arduino που απλοποιεί τον τρόπο με τον οποίο γίνεται ο προγραμματισμός τους. Μέσω του codebender κάθε χρήστης μπορεί να ξεκινήσει γρήγορα και εύκολα με τα βασικά, γλυτώνοντας πολύτιμο χρόνο που απαιτείται για την εγκατάσταση, τη ρύθμιση, την αναβάθμιση προγραμμάτων, να αναπτύξει τα projects του και να συνεργαστεί με άλλους χρήστες. Στο codebender έχουν αναφερθεί διάφορα online media όπως το Techcrunch, το lifehacker κ.λπ.

[Παρουσιάσεις Ερευνητικών Ομάδων]

Applied Informatics in m-Health (AiM)
Η ερευνητική ομάδα AiM ιδρύθηκε το 2014 στην σχολή ηλεκτρολόγων μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, στον τομέα Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών. Στόχος της είναι η ανάπτυξη καινοτόμων εφαρμογών στο χώρο της φορητής υγείας (mHealth). Η AiM έχει πλούσιο συγγραφικό και ερευνητικό έργο το οποίο σχετίζεται με:
Α. Συμμόρφωση Ασθενών μέσω χρήσης κινητών συσκευών
Β. Τηλεϊατρική Επειγόντων Περιστατικών
Γ. Πλαίσιο Παροχής Υπηρεσιών Πρωτοβάθμιας Υγείας

UoP Racing Team
Η UoP έχει με επιτυχία λάβει μέρος σε 19 διαγωνισμούς στην διάρκεια της μέχρι σήμερα πορείας της. Είναι η πρώτη Ελληνική ομάδα που έλαβε μέρος στους διαγωνισμούς Formula Student και η πρώτη Ελληνική ομάδα που σχεδίασε και κατασκεύασε ένα εξολοκλήρου ηλεκτροκίνητο αγωνιστικό υψηλών προδιαγραφών. Το UoP4e , το πρώτο ηλεκτροκίνητο μονοθέσιο της

ομάδας, συμμετείχε σε δύο μεγάλους Ευρωπαϊκούς Διαγωνισμούς κατά την διάρκεια της τελευταίας αγωνιστικής μας περιόδου, αυτούς της FSUK και της FSCzech, όπου κατάφερε να συγκεντρώσει εξαιρετικά σχόλια από κριτές και ανταγωνιστές και να διακριθεί μέσω των αποτελεσμάτων τα οποία αποτελούν τα καλύτερα αποτελέσματα Ελληνικής Ομάδας μέχρι τώρα.

Aristotle University Racing Team Electric (ARIST.U.R.T.LE)

Η Aristotle University Racing Team Electric (ARIST.U.R.T.LE) είναι μια ερευνητική φοιτητική ομάδα του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Η ομάδα ιδρύθηκε τον Οκτώβριο του 2013, από ορισμένους προπτυχιακούς και μεταπτυχιακούς φοιτητές του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών και έχει ως στόχο το σχεδιασμό και την κατασκευή ενός ηλεκτροκίνητου αγωνιστικού μονοθέσιου αυτοκινήτου με στόχο τη συμμετοχή σε παγκόσμιους διαγωνισμούς της Formula Student FSAE. Για πρώτη φορά η ομάδα συμμετείχε, τον περασμένο Αύγουστο, στο διαγωνισμό της Ιταλίας, ATA 2014 σε στατικά αγωνίσματα κερδίζοντας την τέταρτη συνολικά θέση.

Centre for Doctoral Training (CDT)

The Centre for Doctoral Training (CDT), the first of its kind in Europe, addresses priority areas such as autonomous products, functional materials, high performance connected systems, data-to-knowledge solutions (e.g. digital healthcare), and engineering for industry, life and health. Its focus is to deliver well-trained, commercially aware, experienced graduates to alleviate the shortage of skilled professionals in the thematic areas of: Device design, Packaging & integration technologies, Software, Manufacturing solutions, Applications engineering, System Services. CDT-EI PhD students follow a bespoke industry-informed programme of training over a period of four years, including the EPSRC's acclaimed "Transition Zone" Training and Development programme, which is accredited by the Institute of Leadership and Management. Research expertise and support is drawn from 5 Schools at Loughborough University and over 30 industry collaborators who co-sponsor students during their studies.

Σύστημα Ψηφιακών Ψηφοφοριών Ζευς από το Εθνικό Δίκτυο Έρευνας και Τεχνολογίας

Το σύστημα Ζευς είναι ένα σύστημα διαχείρισης και διεξαγωγής εκλογών, το οποίο έχει αναπτυχθεί από το Εθνικό Δίκτυο Έρευνας και Τεχνολογίας. Βρίσκεται σε λειτουργία από το 2012 και έχει χρησιμοποιηθεί για πλήθος εκλογών, με δεκάδες χιλιάδες ψηφοφόρους. Οι εκλογές διεξάγονται μέσω διαδικτύου, ώστε οι ψηφοφόροι και οι διοργανωτές αλληλεπιδρούν μαζί του μέσω απλού προγράμματος πλοήγησης. Βασίζεται σε στιβαρές κρυπτογραφικές αρχές και πρωτόκολλα, έτσι ώστε να προσφέρει: (α) διασφάλιση ότι κάθε ψήφος καταμετράται σωστά στο αποτέλεσμα (β) πλήρη ανωνυμία στους ψηφοφόρους. Συγκεκριμένα, η αρχιτεκτονική του Ζευς είναι τέτοια ώστε οι ψηφοφόροι και η εφορευτική επιτροπή να μπορούν να είναι βέβαιοι ότι οι εκλογές διεξάγονται σωστά, χωρίς καν να χρειάζεται να εμπιστεύονται τους διαχειριστές του συστήματος, αν αυτοί συμπεριφερθούν με δόλιο τρόπο και προσπαθήσουν να αλλοιώσουν το αποτέλεσμα, αυτό θα γίνει αντιληπτό, ενώ δεν είναι σε θέση να παραβιάσουν το απόρρητο της ψήφου. Ο κώδικας του συστήματος Ζευς είναι ανοιχτός (http://github.com/grnet/zeus), έτσι ώστε οποιοσδήποτε μπορεί να μελετήσει και να αναλύσει την τρόπο λειτουργίας του.

[Συνεδρία Κοινωνικοκεντρικών Δεδομένων]

Ομιλητής Συνεδρίας: Πέτρος Μαραγκός (Ε.Μ.Π)
Προεδρείο: Ιωάννης Γαροφαλάκης (Παν. Πατρών)

1. Η ενσωμάτωση του Namecoin στο OpenBazaar – Ποδηματά Χαρά, Λώλος Κωστής
2. Attacking DES with multilayer perceptrons – Δρακόπουλος Γιώργος
3. Implementing graph centrality measures for Neo4j – Δρακόπουλος Γιώργος, Μπαρουτιάδη Αικατερίνη
4. Συναισθηματική ανάλυση ελληνικών tweets και hashtags με χρήση λεξικού συναισθημάτων – Μάλλης Δημήτριος, Καλαματιανός Γεώργιος, Νικολαράς Δημήτριος
5. Mining on movie reviews – Κουμπούρη Αθανασία, Αραβαντινού Χριστίνα, Σιμάκη Βασιλική
6. Towards a knowledge-based approach for gender text classification – Σιμάκη Βασιλική, Αραβαντινού Χριστίνα, Κουμπούρη Αθανασία
7. Associating named-entities with opinion expressing words – Αραβαντινού Χριστίνα, Σιμάκη Βασιλική, Κουμπούρη Αθανασία
8. Συνεργατικός έλεγχος διωκτών-ρομπότ για σύλληψη εισβολεών-ρομπότ – Φακωτάκης Νικόλαος-Δημήτριος
9. Automations for the prevention of accidents in outdoor playgrounds – Παπαργυρίου Μαρίνα, Παπουλίδης Ηλίας, Ιωάννου Ευάγγελος, Κουφούλης Παναγιώτης, Χαραλαμπίδου Μαρία

Η ενσωμάτωση του Namecoin στο OpenBazaar

Χαρά Ποδηματά*, Κωστής Λώλος†
*Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο - charapod@gmail.com
†Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο - lolos.kostis@gmail.com

Περίληψη—Σε αυτή την εργασία, αναλάβαμε να υλοποιήσουμε την ενοποίηση του **open source project OpenBazaar** με το **cryptocurrency namecoin**. Το **OpenBazaar** είναι ένα **project**, ένα **marketplace** καλύτερα, το οποίο ως στόχο έχει την αγοραπωλησία προϊόντων μεταξύ των χρηστών, εξασφαλίζοντάς τους ευθείες συναλλαγές, χωρίς φόρους και χωρίς ***censorship***. Το **namecoin** από την άλλη είναι ένα είδος **cryptocurrency**, το πρώτο αντίγραφο-παιδί του γνωστότερου **Bitcoin** και η βασική του διαφορά είναι ότι μπορούμε να αποθηκεύσουμε και **data** σε αυτό. Με την ενοποίηση αυτή αφενός δόθηκε η δυνατότητα στους χρήστες του **OpenBazaar** να δηλώσουν ένα μοναδικό όνομα με το οποίο να είναι γνωστό το κατάστημά τους, αφετέρου με την προσθήκη του **Namecoin** στα μηνύματα που ανταλλάσσουν οι κόμβοι του **OpenBazaar** ενισχύθηκε η ασφάλειά της επικοινωνίας μεταξύ τους.

Όροι Κλειδιά—**Namecoin, Bitcoin, OpenBazaar, Cryptography, Cryptocurrencies, Censorship**

I. Εισαγωγή

Το OpenBazaar ως project από μόνο του μπορεί να «επιλύσει» τα δύο από τα τρία ζητήματα από το τρίγωνο του Zooko: την αποκέντρωση και την ασφάλεια. Το namecoin μας βοηθά στο επιλύσουμε και το τρίτο ζήτημα: να είναι ανθρώπινα κατανοητό (human meaningful). Η εμπιστοσύνη πλέον που έχουμε στην «πιστοποίηση» του κάθε κόμβου δεν εξαρτάται από το GUID του κόμβου αυτού (μόνο) αλλά από το όνομα που έχει ορίσει ο κάθε χρήστης με βάση το Namecoin του και αυτό το όνομα δεν μπορεί να παραχαραχθεί. Συνεπώς, μπορούμε να επισκεφθούμε το ίδιο μαγαζί με το ίδιο όνομα στο μέλλον.

Παρακάτω εξηγούνται εκτενώς, τόσο το cryptocurrency Namecoin και ο «μπαμπάς» του, το bitcoin, όσο και το OpenBazaar. Για να εργαστούμε στο project αυτό χρειάστηκε να χρησιμοποιήσουμε το github καθώς το OpenBazaar είναι ένα open source project, το οποίο αναπτύσσεται από πολλούς developers από όλον τον κόσμο. Τα τεχνικά στοιχεία της εργασίας παρουσιάζονται παρακάτω.

II. Bitcoin

Α΄. Ένα ακόμη νόμισμα

Το Bitcoin είναι ένα ακόμη νόμισμα με το οποίο μπορεί κανείς σήμερα να αγοράσει αγαθά και υπηρεσίες. Είναι όμως λίγο διαφορετικό από τα υπόλοιπα νομίσματα. Το Bitcoin είναι στην πραγματικότητα ένα κατανεμημένο σύστημα πληρωμών ανοιχτού κώδικα, ένα κατανεμημένο ¨τραπεζικό σύστημα¨, το οποίο τρέχει στους υπολογιστές των χρηστών του.

Οι βάσεις για τη δημιουργία του τέθηκαν από τον Satoshi Nakamoto το 2008 [1], σε ένα άρθρο που περιέγραφε σε θεωρητικό επίπεδο τον τρόπο με τον οποίο θα λειτουργούσε ένα τέτοιο νόμισμα. Η πρώτη υλοποίησή του σε λογισμικό ακολούθησε μόλις ένα χρόνο αργότερα, ενώ έκτοτε έχει αναπτυχθεί και ένας μεγάλος αριθμός από άλλα αντίστοιχα νομίσματα τα οποία ανταγωνίζονται για μια θέση στα πορτοφόλια μας.

Το Bitcoin βέβαια αποτελεί το πιο διαδεδομένο από αυτά, με τη συνολική αξία των νομισμάτων που κυκλοφορούν να ξεπερνά τα 10 δισεκατομμύρια δολάρια το Νοέμβριο του 2014, ενώ ταυτόχρονα ο αριθμός των επιχειρήσεων οι οποίες πουλούν τα προϊόντα και τις υπηρεσίες τους σε αντάλλαγμα με Bitcoins συνεχώς αυξάνεται.

Β΄. Συναλλαγές μέσω *Bitcoin*

Ο κάτοχος ενός νομίσματός Bitcoin μπορεί να το μεταβιβάσει σε κάποιον παραλήπτη υπογράφοντας με το προσωπικό του κλειδί ένα hash της συναλλαγής από την οποία παρέλαβε το νόμισμα, μαζί με το δημόσιο κλειδί του παραλήπτη. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί οποιοσδήποτε να επιβεβαιώσει ότι ο παραλήπτης είναι πλέον κάτοχος του νομίσματος, αφού η συναλλαγή είναι υπογεγραμμένη από τον προηγούμενο ιδιοκτήτη, και επιπλέον έχει τη δυνατότητα να το ξοδέψει απλώς υπογράφοντας την επόμενη συναλλαγή με το προσωπικό του κλειδί.

Το πρόβλημα φυσικά με την παραπάνω ιδέα είναι ότι δεν αποτρέπεται με κάποιον τρόπο ο ιδιοκτήτης ενός Bitcoin από να το ξοδέψει σε περισσότερες από μία συναλλαγές. Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα, χρησιμοποιείται η ιδέα του block chain. Κάθε συναλλαγή που επικυρώνεται τοποθετείται σε έναν κρίκο μιας αλυσίδας από blocks, κάθε ένα από τα οποία περιέχει ένα hash του προηγούμενου. Έτσι, αφενός καθορίζεται με αδιαμφισβήτητο τρόπο η σειρά με την οποία πραγματοποιήθηκαν οι συναλλαγές, και αφετέρου αποτρέπεται οποιαδήποτε προσπάθεια παραποίησης κάποιας από αυτές, αφού κάτι τέτοιο θα συνεπαγόταν αλλαγή στα hash όλων των κρίκων που ακολουθούν. Η αλυσίδα δηλαδή αυτή αποτελεί μια απαραχάρακτη ιστορία των συναλλαγών που έχουν συμβεί.

Για να εξασφαλισθεί ότι δεν θα υπάρξουν δύο διαφορετικές (και αντικρουόμενες) εκδοχές της αλυσίδας, κάθε block που προστίθεται συνοδεύεται από μία απόδειξη ότι αυτός που το προσέθεσε έχει πραγματοποιήσει έναν μεγάλου υπολογιστικού κόστους υπολογισμό για να το κάνει. Η τελευταία αυτή ιδέα είναι γνωστή ως proof-of-work.

Βασιζόμενοι στο ότι η πλειοψηφία των χρηστών που θα συμμετάσχουν στο σύστημα θα είναι ειλικρινείς και δεν θα επιθυμούν την απαξίωσή του, αν για κάποιο λόγο υπάρξουν

δύο εκδοχές κάποιας αλυσίδας στο δίκτυο μπορούμε πάντα να θεωρούμε ως έγκυρη αυτή με το μεγαλύτερο πλήθος κρίκων. Εφόσον το πλήθος των κρίκων που αποτελούν την αλυσίδα συνεπάγεται αντίστοιχο υπολογιστικό όγκο για να κατασκευασθεί, είναι λογικό να υποθέσουμε ότι η μεγαλύτερη αλυσίδα κατασκευάσθηκε από την πλειοψηφία των χρηστών, η οποία κατέχει και τη μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ, και όχι από μια μειοψηφία η οποία προσπαθεί να εξαπατήσει το σύστημα.

Γ΄. Συμπεράσματα

Οι αλλαγές που επιφέρει το Bitcoin στην πράξη σε σχέση με τα παραδοσιακά νομίσματα είναι πολλές. Κατ΄ αρχάς, αφού το μόνο που χρειάζεται ένας χρήστης για να μεταβιβάσει ένα ποσό είναι το αντίστοιχο ιδιωτικό κλειδί, μπορεί σε κάθε συναλλαγή να χρησιμοποιεί ένα νέο κλειδί που δημιούργησε ειδικά για αυτή τη συναλλαγή. Έτσι, το Bitcoin παρέχει εκ των πραγμάτων ανωνυμία, αφού δεν μπορεί κάποιος να γνωρίζει ποιος είναι ο φυσικός κάτοχος ενός νέου δημοσίου κλειδιού, με τις θετικές και αρνητικές συνέπειες που κάτι τέτοιο συνεπάγεται.

Επιπλέον, το γεγονός ότι οι συναλλαγές πραγματοποιούνται από open-source κατανεμημένο λογισμικό και όχι τράπεζες του δίνει τη δυνατότητα να λειτουργεί με πολύ μικρότερες κρατήσεις ανά συναλλαγή. Αυτό, σε συνδυασμό με την έλλειψη φορολόγησης την οποία συνεπάγεται η ανωνυμία, κάνει το bitcoin ελκυστικό τρόπο πληρωμής για αρκετές επιχειρήσεις.

Τέλος, όπως είναι αναμενόμενο για ένα νέο και τόσο διαφορετικό νόμισμα, παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις στην τιμή του, πράγμα που το καθιστά μάλλον ανασφαλή αλλά ταυτόχρονα δυνητικά επικερδή επένδυση.

III. Namecoin

Α΄. Κάνοντας μια καλή ιδέα καλύτερη

Το πρώτο επίσημο ¨παιδί' του Bitcoin δημιουργήθηκε 3 χρόνια αργότερα, το 2011, και ονομάζεται Namecoin. Το Namecoin δε μοιράζεται απλώς ιδέες και χαρακτηριστικά με το Bitcoin, αλλά και το μεγαλύτερο μέρος του κώδικα που το υλοποιεί (αποτελεί το πρώτο fork του Bitcoin και η διαφορά των δύο είναι μόλις 400 γραμμές κώδικα).

Η ειδοποιός διαφορά μεταξύ των δύο είναι ότι το Namecoin δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες του να δεσμεύσουν ονόματα, και να αποθηκεύσουν πληροφορίες συσχετισμένες με αυτά στο Block Chain. Αυτό του επιτρέπει να λειτουργεί ως ένα κατανεμημένο σύστημα ονομάτων, αντίστοιχο του παραδοσιακού DNS, το οποίο όμως παρέχει την επιπλέον ασφάλεια, ανεξαρτησία, ευελιξία και ανωνυμία που ¨κληρονόμησε' από το Bitcoin.

Β΄. Διαφορές από το *Bitcoin*

Για να παρέχει τις υπηρεσίες του, το Namecoin χρησιμοποιεί ένα ανεξάρτητο block chain, καθώς και μια σειρά από νέες εντολές οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία και ανανέωση των ονομάτων που φιλοξενεί. Τα ίδια τα ονόματα αναπαρίστανται εσωτερικά ως ειδικοί τύποι νομισμάτων, οι οποίοι δεν μπορούν να ¨ξοδευτούν' για συνήθεις αγορές, αλλά μπορούν να μεταβιβασθούν όπως τα νομίσματα του Bitcoin.

Επιπλέον, για την αύξηση του κινήτρου που παρέχεται στους miners (έτσι ονομάζονται οι χρήστες που αναλαμβάνουν την εκτέλεση της υπολογιστικής εργασίας που απαιτείται για την κατασκευή ενός block για κάποιο block chain), το Namecoin τους επιτρέπει να ψάχνουν για hashes που προορίζονται για πολλαπλά block chains ταυτόχρονα, μια δυνατότητα γνωστή ως merged mining.

Παρόλα αυτά βέβαια, το Namecoin δεν παύει να είναι και το ίδιο ένα ανεξάρτητο νόμισμα, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αγοραπωλησίες αγαθών και υπηρεσιών όπως και το Bitcoin.

Γ΄. Το *domain .bit*

Ένα απαραίτητο συστατικό για τη λειτουργία του διαδικτύου είναι η ύπαρξη ενός domain name system το οποίο να αναλαμβάνει τη μετάφραση των εύκολα κατανοητών από τον άνθρωπο ονομάτων των ιστοσελίδων σε διευθύνσεις IP. Την ευθύνη για την ύπαρξη και λειτουργία αυτού του συστήματος αναλαμβάνει σήμερα ο διεθνής οργανισμός ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers), ο οποίος ασκεί έναν κεντρικό έλεγχο στον τρόπο που γίνεται η ονοματοδοσία στο διαδίκτυο, ρυθμίζοντας τη λειτουργία μερικών χιλιάδων DNS servers ανά τον κόσμο.

Μια από τις χαρακτηριστικότερες συνέπειες της δημιουργίας του Namecoin ήταν η δημιουργία ενός εναλλακτικού τρόπου για την επίτευξη αυτού του σκοπού. Αφού με το Namecoin ο κάθε χρήστης μπορεί να αποθηκεύσει στο Block Chain ονόματα και πληροφορίες, μπορεί το ίδιο το Block Chain να χρησιμοποιηθεί ως ένα κατανεμημένο και μη κεντρικά ελεγχόμενο Domain Name System. Το domain αυτό σήμερα υπάρχει και λειτουργεί κάτω από το όνομα .bit, βασιζόμενο πλήρως στην υποδομή του Namecoin.

Τα πλεονεκτήματα του domain αυτού είναι πολλά και σημαντικά. Οι πληροφορίες για τις διευθύνσεις των ιστοσελίδων στο .bit βρίσκονται μοιρασμένες και αποθηκευμένες στους υπολογιστές όλων των χρηστών, ενώ το συγχρονισμό και την ενημέρωσή τους αναλαμβάνει όχι μια κεντρική αρχή αλλά το κατανεμημένο δίκτυο του Namecoin. Έτσι, όχι απλά είναι πολύ δυσκολότερο για κάποιον να παραποιήσει κάποια πληροφορία για τη διεύθυνση μιας ιστοσελίδας, αφού δεν αρκεί να αποκτήσει πρόσβαση στα αρχεία κάποιου κεντρικού server, αλλά είναι επίσης και πολύ δυσκολότερο να ασκηθεί λογοκρισία σε κάποιον από τους χρήστες. Ακόμη, το γεγονός ότι οι πληροφορίες είναι αποθηκευμένες τοπικά στους υπολογιστές των χρηστών μειώνει κατά πολύ το χρόνο αναζήτησης ενός ονόματος, ενώ το ότι ολόκληρο το σύστημα βασίζεται σε open source κώδικα, του δίνει τη δυνατότητα να παρέχει κατά πολύ χαμηλότερο κόστος για τη δέσμευση ενός ονόματος.

IV. OpenBazaar

Α΄. Τι είναι το *OpenBazaar*

Το OpenBazaar είναι ένα project ανοιχτού κώδικα, με στόχο τη δημιουργία ενός αποκεντρωμένου δικτύου για

διαδικτυακό εμπόριο μεταξύ ισότιμων χρηστών (peer to peer) - χρησιμοποιώντας Bitcoin - το οποίο δεν έχει καθόλου φόρους και δεν μπορεί να ελεγχθεί. Για να το θέσουμε πιο απλά, το OpenBazaar είναι το παιδί του eBay και του BitTorrent.

Αυτή τη στιγμή, το διαδικτυακό εμπόριο είναι ταυτόσημο με μη-αποκεντρωμένες υπηρεσίες. Η eBay, η Amazon και άλλες μεγάλες εταιρείες εφαρμόζουν περιοριστικές πολιτικές και χρεώνουν φόρους για την διάθεση και την πώληση των αγαθών. Αποδέχονται, επίσης, μόνο τύπους πληρωμών που χρεώνουν τόσο τους πωλητές όσο και τους αγοραστές με χρήματα, όπως ας πούμε οι πιστωτικές ή οι προπληρωμένες (PayPal) κάρτες. Απαιτούν από τους χρήστες τους προσωπικές πληροφορίες, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει στο να κλαπούν οι πληροφορίες αυτές ή ακόμη και να πωληθούν σε άλλους με στόχο τη διαφήμιση και λοιπά. Οι αγοραστές και οι πωλητές δεν είναι πάντα ελεύθεροι να ανταλλάξουν αγαθά και υπηρεσίες μεταξύ τους, καθώς εταιρείες και κυβερνήσεις ελέγχουν όλες τις κατηγορίες εμπορίου.

Το OpenBazaar είναι μία διαφορετική προσέγγιση στο διαδικτυακό εμπόριο. Δίνει και πάλι τη δύναμη στα χέρια των χρηστών. Επειδή δεν παρεμβαίνει κανείς ως ενδιάμεσος στις δοσοληψίες, δεν υπάρχουν φόροι, κανείς δεν μπορεί να λογοκρίνει κάποια δοσοληψία και ο καθένας μπορεί να αποκαλύψει μόνο όσες πληροφορίες επιλέξει.

Β΄. Πώς δουλεύει το *OpenBazaar*

Ας υποθέσουμε ότι θέλετε να πουλήσετε το παλιό σας laptop. Χρησιμοποιώντας τον client του OpenBazaar (ένα πρόγραμμα που μπορεί να κατεβάσει ο καθένας), μπορεί κανείς να δημιουργήσει μία περιγραφή για το προϊόν αυτό, με ό,τι λεπτομέρειες θα ήθελε, ακριβώς όπως θα συνέβαινε με κάθε άλλη υπηρεσία ηλεκτρονικού εμπορίου. Η διαφορά είναι ότι η τιμή που θα ορίσει ο πωλητής, δεν θα είναι πλέον σε ευρώ ή σε δολλάρια, αλλά σε Bitcoin. Όταν δημοσιευτεί αυτή η περιγραφή της διαθεσιμότητας του προϊόντος, αυτή στέλνεται στο κατανεμημένο p2p δίκτυο που αποτελείται από τους υπόλοιπες χρήστες του OpenBazaar. Όποιος ψάξει για τις λέξεις-κλειδιά που έχετε χρησιμοποιήσει (πχ laptop, ηλεκτρονικά κλπ) θα βρει και την περιγραφή του δικού σας προϊόντος. Μπορούν τότε αυτοί να αποδεχτούν τη δική σας τιμή ή να ζητήσουν κάποια άλλη τιμή.

Εάν και οι δύο μεριές συμφωνήσουν σε μία τιμή, τότε η εφαρμογή του client δημιουργεί ένα συμβόλαιο μεταξύ των δύο, χρησιμοποιώντας τις ψηφιακές τους υπογραφές, και το στέλνει σε κάποιον τρίτο, που ονομάζεται συμβολαιογράφος (notary). Στην περίπτωση που υπάρχει κάποια διαμάχη, ένας διαιτητής (arbiter) μπορεί να έρθει και να συμμετάσχει στην διαδικασία της δοσοληψίας. Οι συμβολαιογράφοι και οι διαιτητές είναι και αυτοί χρήστες στο δίκτυο του OpenBazaar - θα μπορούσε να είναι ο γείτονάς μας ή κάποιος άγνωστος από άλλο μέρος του πλανήτη - τον οποίον τόσο ο πωλητής, όσο και ο αγοραστής εμπιστεύονται για την περίπτωση όπου υπάρξει διαμάχη. Οι τρίτοι αυτοί χρήστες βλέπουν το συμβόλαιο και δημιουργούν ένα Bitcoin (multisig Bitcoin account) που απαιτεί δύο από τους τρεις χρήστες που συμμετέχουν στη δοσοληψία να συμφωνήσουν προτού «απελευθερωθεί» το Bitcoin.

Γ΄. Και αν κάτι πάει στραβά;

Έστω ότι αγοράζουμε ένα συγκεκριμένο βιβλίο από έναν πωλητή, πληρώνουμε το multisig, και αυτοί μας στέλνουν είτε λάθος βιβλίο, είτε το σωστό βιβλίο σε κακή κατάσταση ή δεν μας στέλνουν καν κάποιο προϊόν.

Τότε είναι που παρεμβαίνει ο ενδιάμεσος. Θυμόμαστε ότι ένα multisig απαιτεί δύο από τους τρεις ανθρώπους να συμφωνήσουν προκειμένου να γίνει η μετακίνηση των Bitcoin. Αυτοί ελέγχουν το τρίτο κλειδί της πολυ-υπογραφής, ώστε τα κεφάλαια να μη μετακινηθούν μέχρι είτε οι πωλητής-αγοραστής έρθουν σε συμφωνία μεταξύ τους ή ο ενδιάμεσος συμφωνήσει με κάποιον από τους δύο (είτε με τον πωλητή, ή με τον αγοραστή).

Πώς μπορεί όμως κάποιος να εμπιστευτεί τον ενδιάμεσο; Ακόμη πιο γενικά, πώς μπορείς να εμπιστευτείς τον οποιονδήποτε σε ένα δίκτυο που φυλάσσει την ιδιωτικότητα των χρηστών, και συνεπώς επιτρέπει την ψευδο-ανωνυμία; Το OpenBazaar έχει σύστημα φήμης και βαθμολογίας που επιτρέπει σε όλους τους χρήστες να δώσουν πληροφορίες ανατροφοδότησης για άλλους χρήστες. Αν κάποιος χρήστης προσπαθήσει να κοροϊδέψει κάποιον άλλον, η φήμη του θα υποστεί πλήγμα και το ίδιο ακριβώς ισχύει για τους ενδιάμεσους. Όταν επιλέγει κάποιος χρήστης να αγοράσει ένα προϊόν και διαλέγει έναν ενδιάμεσο για να πιστοποιήσει τη συναλλαγή, μπορεί να δει τόσο τη φήμη όσο και τη βαθμολογία τους, ώστε να καταλάβει εάν η υπόλοιπη κοινότητα τους εμπιστεύεται ή όχι. Επιβεβαιώνοντας ότι αυτές οι βαθμολογίες είναι πραγματικές και το σύστημα φήμης δεν έχει «ξεγελαστεί» είναι δύσκολο σε ό,τι αφορά το τεχνικό κομμάτι και θα μιλήσουμε για αυτό στη συνέχεια.

Αυτά τα βήματα μπορεί να μοιάζουν περίπλοκα, αλλά τις λεπτομέρειες τις χειρίζεται ο ίδιος ο client. Ο στόχος των δημιουργών του OpenBazaar είναι τόσο οι πωλητές, όσο και οι αγοραστές να απολαμβάνουν καλύτερη εμπειρία χρησιμοποιώντας το OpenBazaar από ό,τι με τις παλαιότερες centralized πλατφόρμες.

Θα παρουσιάσουμε στη συνέχεια κάποιες πληροφορίες σχετικά με μία τεχνική που χρησιμοποιείται στο OpenBazaar, τα **Reputation Pledges**, τα οποία είναι μία υλοποίηση του **proof-of-burn**. Θα αναφερθούμε στο τι είναι το proof-of-burn, γιατί είναι αναγκαίο και πώς μπορεί κανένας να χρησιμοποιήσει τα Reputation Pledges.

Δ΄. *Proof-of-burn*

Ο όρος proof-of-burn χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει την εσκεμμένη και αποδεδειγμένη καταστροφή bitcoins για έναν συγκεκριμένο σκοπό. Όταν κάποιος συμφωνεί σε μια proof-of-burn, πρακτικά κεφάλαια μεταφέρονται σε μία διεύθυνση, από όπου, όμως, δεν γίνεται να επαναξοδευτούν. Δηλαδή, στην πραγματικότητα, έχουν εξαφανιστεί για πάντα!

Το ερώτημα τώρα που εύλογα γεννάται είναι το εξής: γιατί κάποιος να θέλει να καταστρέψει τα *bitcoins* του; Στο παρελθόν, αυτή η τεχνική χρησιμοποιούνταν κυρίως για να εκκινήσουμε μία cryptocurrency από μία άλλη (bootstrap). Η διανομή μίας νέας cryptocurrency μπορεί να καθοριστεί από ανθρώπους που «καίνε» τα νομίσματά τους, σε αντάλλαγμα για τα νέα νομίσματα.

Ε′. *Reputation Pledges*

Το OpenBazaar υλοποιεί το proof-of-burn με έναν κάπως διαφορετικό τρόπο. Στο δίκτυο του OpenBazaar, οι χρήστες μπορούν να διαλέξουν να είναι ψευδώνυμοι, δηλαδή να μη γνωρίζουν οι υπόλοιποι χρήστες την πραγματική τους ταυτότητα. Επομένως, πολύ συχνά είναι αρκετά δύσκολο να καθορίσουμε κατά πόσο είναι έμπιστοι ή θα έπρεπε να αποφεύγονται. Για το λόγο αυτό, ένα σύστημα φήμης είναι σημαντικό και αναγκαίο προκειμένου να ενημερώνονται οι χρήστες του δικτύου ως προς το ποιοι χρήστες έχουν ενεργήσει ειλικρινώς στο παρελθόν και ποιοι όχι. Το σύστημα φήμης του OpenBazaar έχει διάφορες όψεις και εξελίσσεται συνεχώς.

Κομμάτι αυτού του συστήματος αποτελούν και τα Reputation Pledges (σε μία πολύ κακή μετάφραση: «Όρκοι Φήμης» - θα χρησιμοποιείται ο όρος Reputation Pledges). Αυτό σημαίνει ότι ένας χρήστης έχει επιλέξει να αποδείξει την αφοσίωσή του στην ταυτότητά του στο OpenBazaar, «καίγοντας» μία συγκεκριμένη ποσότητα από bitcoins. Η κίνηση του «καψίματος» bitcoins δείχνει στο δίκτυο πόσο ένας χρήστης αφοσιώνεται στην ταυτότητά του στο OpenBazaar γιατί τώρα έχει επενδύσει πόρους στο ίδιο το σύστημα, πόρους οι οποίοι σε περίπτωση που αποκτήσει κακή φήμη, θα έχουν ξοδευτεί άσκοπα.

Για να καταλάβουμε απόλυτα τη σημασία των Reputation Pledges παραθέτουμε και το παράδειγμα το οποίο έχει χρησιμοποιήσει ένας εκ των lead developers. Οι πλανόδιοι πωλητές πολύ συχνά αντιμετωπίζονταν με σκεπτικισμό από τους κατοίκους των πόλεων που επισκέπτονταν. Εκτός από το ότι ήταν ενοχλητικό να τους χτυπάνε τα κουδούνια στα σπίτια τους, γιατί μπορεί ο κόσμος να ήταν διστακτικός στο να αγοράσει προϊόντα από ένα πλανόδιο πωλητή; Ο πρώτος λόγος είναι γιατί κανείς δεν μπορεί να εγγυηθεί για την ποιότητα των προϊόντων ενός πλανόδιου πωλητή, δεδομένου ότι οι προηγούμενοι πελάτες του δεν είναι εύκολο να εντοπιστούν. Ο δεύτερος λόγος είναι ότι και ο ίδιος ο πωλητής δεν έχει τίποτα απολύτως να χάσει σε περίπτωση που το προϊόν του δεν ικανοποιήσει τους πελάτες, καθώς δεν θα χαλάσει καθόλου η φήμη του!

Ακριβώς το ίδιο θα συνέβαινε και στο OpenBazaar. Αν δεν υπάρχει κόστος στο να δημιουργήσει κάποιος μία νέα ταυτότητα, τότε μπορείς να «πετάξεις» απλά την προηγούμενή σου ταυτότητα, σε περίπτωση που λάβεις αρνητική φήμη. Τα reputation pledges του OpenBazaar προσπαθούν να το αντιμετωπίσουν αυτό, βάζοντάς σε να «επενδύσεις» στο να αποκτήσεις και να συντηρήσεις μία καλή φήμη.

V. OpenBazaar - Namecoin Integration

Η ανάπτυξη του OpenBazaar γίνεται εξ′ ολοκλήρου στο Github, μια διαδικτυακή υπηρεσία που προσφέρει δυνατότητες συγχρονισμού και ελέγχου σε προγραμματιστικά projects, η οποία συνεργάζεται με το εργαλείο ελέγχου εκδόσεων Git. Στα πλαίσια αυτά, το έργο της ενσωμάτωσης του Namecoin στο Openbazaar είχε κατανεμηθεί σε μια σειρά από ”issues”, τα οποία ήταν τα βήματα που ήταν απαραίτητα για την υλοποίηση του έργου. Τα βήματα αυτά αναπτύσσονται αναλυτικότερα στη συνέχεια, συνοδευόμενα από χαρακτηριστικά σημεία του κώδικα στα οποία έγιναν παρεμβάσεις.

Α′. *Allow users to configure their user-friendly URL in the UI*

Το πρώτο βήμα ήταν η προσθήκη της δυνατότητας σε έναν χρήστη του Openbazaar να επιλέξει το Namecoin που επιθυμεί να δηλώνει ως όνομα του καταστήματός του. Το όνομα αυτό έπρεπε αυτοματοποιημένα να καταχωρείται και να ανακτάται από τη βάση δεδομένων μαζί με τα υπόλοιπα στοιχεία του χρήστη.

Επιπλέον, εφόσον το project ήταν ήδη σε λειτουργία, για να γίνει οποιαδήποτε αλλαγή στη βάση δεδομένων, θα έπρεπε να γραφεί ένα κατάλληλο script το οποίο να τροποποιεί τη βάση από την προηγούμενη έκδοση στην τρέχουσα και το αντίστροφο. Με αυτόν τον τρόπο κάποιος ο οποίος χρησιμοποιούσε την προηγούμενη έκδοση του OpenBazaar θα μπορούσε τρέχοντας το script αυτό να αναβαθμίσει τη βάση του στην τρέχουσα έκδοση, χωρίς να χρειαστεί να την ξαναδημιουργήσει από το μηδέν χάνοντας τα δεδομένα του.

```
<div class="form-group">
    <label for="inputNamecoin_id"
        class="col-sm-3 control-label">Namecoin id
    </label>
    <div class="col-sm-9">
        <input data-ng-model="settings.namecoin_id"
               data-ng-maxlength="39"
               data-ng-pattern="/^[a-z0-9\-]+$/"
               class="form-control"
               id="inputNamecoin_id"
               name="inputNamecoin_id"
               placeholder="Namecoin id"
        >
    </div>
</div>
```

```
def upgrade(db_path):
    with dbapi2.connect(db_path) as con:
        cur = con.cursor()

        # Use PRAGMA key to encrypt / decrypt database.
        cur.execute("PRAGMA key = 'passphrase';")

        try:
            cur.execute("ALTER TABLE settings "
                        "ADD COLUMN namecoin_id TEXT")
            print 'Upgraded'
            con.commit()
        except dbapi2.Error as e:
            print 'Exception: %s' % e
```

Β′. *Relay Namecoin id to other nodes*

Το OpenBazaar κατά τη λειτουργία του ανταλλάσσει μια σειρά από μηνύματα μεταξύ των κόμβων του, με σκοπό να ανταλλάξει πληροφορίες για γνωστούς κόμβους αλλά και να μεταβιβάσει αιτήματα μεταξύ τους. Επομένως, ένας κόμβος ο οποίος ισχυρίζεται ότι είναι κάτοχος ενός συγκεκριμένου ονόματος στο Namecoin, θα πρέπει να κοινοποιεί το όνομα αυτό στα μηνύματα που στέλνει. Πριν γίνει αυτό φυσικά, θα πρέπει να επαληθεύεται ότι το όνομα που λάβαμε από τη javascript που ελέγχει την ιστοσελίδα έχει ακολουθεί τους κανόνες ονομάτων του OpenBazaar, και στη συνέχεια να αποθηκεύεται στο κατάλληλο αντικείμενο Python ώστε να είναι άμεσα διαθέσιμο από τον κώδικα που αναλαμβάνει να στέλνει τα μηνύματα, αλλά και να αποθηκευθεί στη βάση δεδομένων.

Τέλος, έχοντας κάνει το παραπάνω, αρκεί να τροποποιήσουμε τον κώδικα που κατασκευάζει τα μηνύματα που αποστέλλονται προς άλλους κόμβους ώστε να περιλαμβάνουν το δηλωθέν Namecoin.

```
# Validate that the namecoin id received is well formed
if not re.match(r'^[a-z0-9\-]{1,39}$', msg['namecoin_id']):
    msg['namecoin_id'] = ''

# Update nickname and namecoin id
self.transport.nickname = msg['nickname']
self.transport.namecoin_id = msg['namecoin_id']

if 'burnAmount' in msg:
    del msg['burnAmount']
if 'burnAddr' in msg:
    del msg['burnAddr']

# Update local settings
self.db.updateEntries(
    "settings",
    msg,
    {'market_id': self.transport.market_id}
)
```

```
self.send_raw(
    json.dumps({
        'type': 'hello',
        'pubkey': self.transport.pubkey,
        'uri': self.transport.uri,
        'senderGUID': self.transport.guid,
        'senderNick': self.transport.nickname,
        'senderNamecoin': self.transport.namecoin_id,
        'v': constants.VERSION
    }),
    cb
)
```

```
# Include sender information and version
data['guid'] = self.guid
data['senderGUID'] = self.transport.guid
data['uri'] = self.transport.uri
data['pubkey'] = self.transport.pubkey
data['senderNick'] = self.transport.nickname
data['senderNamecoin'] = self.transport.namecoin_id
data['v'] = constants.VERSION
```

Γ′. *Validate claimed Namecoin id from data received*

Όταν ένας κόμβος εισέρχεται στο δίκτυο, το namecoin id που ως εκείνη την ώρα ισχυρίζεται ότι έχει, συνδέεται με τις υπόλοιπες πληροφορίες αυτού του κόμβου. Αυτές οι πληροφορίες, θα υπογραφούν ηλεκτρονικά μαζί με το $ECkey$ το οποίο συνδέεται με το GUID του κόμβου αυτού.

Αναλυτικότερα, συμπεριλαμβάνοντας το namecoin id του αποστολέα στο αρχικό μήνυμα, πετυχαίνουμε την αλληλοαναφορά της κρυπτογράφησης και την ψηφιακής υπογραφής του μηνύματος για το σχήμα sign-then-encrypt που χρησιμοποιεί το OpenBazaar [3]. Ο παραλήπτης δηλαδή μπορεί να ανακτήσει από το block chain του Namecoin το GUID του κόμβου που συνέταξε και υπέγραψε το μήνυμα, και να πιστοποιήσει ότι αυτός που κρυπτογράφησε και αυτός που υπέγραψε το μήνυμα είναι το ίδιο πρόσωπο.

Όταν λοιπόν ένας κόμβος παραλαμβάνει ένα μήνυμα από κόμβο ο οποίος ισχυρίζεται ότι είναι κάτοχος ενός ονόματος στο Namecoin, θα πρέπει να ψάξει το όνομα αυτό στο block chain, και να εξακριβώσει ότι τα στοιχεία τα οποία είναι καταχωρημένα εκεί συμβαδίζουν με αυτά που ισχυρίζεται ο κόμβος αυτός.

Η αναζήτηση στο block chain του Namecoin γίνεται με τη βοήθεια της εφαρμογής Python ανοιχτού κώδικα pydnschain. Τα δεδομένα αποθηκεύονται στο block chain σε μορφή JSON, ενώ χρησιμοποιείται ο χώρος ονομάτων id/. Η εφαρμογή pydnschain αναλαμβάνει τη μετατροπή του JSON string που παραλαμβάνει από το block chain σε ένα Python dictionary, το οποίο και επιστρέφει. Αφού το τελευταίο παραληφθεί με επιτυχία πραγματοποιείται ο έλεγχος, ο οποίος επιτυγχάνει αν η εγγραφή στο Namecoin έχει πεδίο με όνομα 'openbazaar', το οποίο έχει τιμή ίση με το GUID του κόμβου με τον οποίο επικοινωνούμε.

```
def _on_message(self, msg):

    # here goes the application callbacks
    # we get a "clean" msg which is a dict holding whatever

    pubkey = msg.get('pubkey')
    uri = msg.get('uri')
    guid = msg.get('senderGUID')
    nickname = msg.get('senderNick', '')[:120]
    msg_type = msg.get('type')
    namecoin = msg.get('senderNamecoin')

    # Checking for malformed URIs
    if not network_util.is_valid_uri(uri):
        self.log.error('Malformed URI: %s', uri)
        return

    # Validate the claimed namecoin in DNSChain
    if not trust.is_valid_namecoin(namecoin, guid):
        msg['senderNamecoin'] = ''

    self.log.info(
        'Received message type "%s" from "%s" %s %s',
        msg_type, nickname, uri, guid
    )
    self.log.datadump('Raw message: %s',
            json.dumps(msg, ensure_ascii=False))
    self.dht.add_peer(uri, pubkey, guid, nickname)
    self.trigger_callbacks(msg['type'], msg)
```

```
def is_valid_namecoin(namecoin, guid):
    if not namecoin or not guid:
        return False

    server = DNSChainServer.Server(
        constants.DNSCHAIN_SERVER_IP, ""
    )
    _log.info("Looking up namecoin id: %s", namecoin)
    try:
        data = server.lookup("id/" + namecoin)
    except (DNSChainServer.DataNotFound,
            DNSChainServer.MalformedJSON):
        _log.info(
            'Claimed remote namecoin id not found: %s',
            namecoin
        )
        return False

    return data.get('openbazaar') == guid
```

Τέλος, το OpenBazaar χρησιμοποιεί ένα αυτοματοποιημένο εργαλείο για τη διαχείριση των βιβλιοθηκών που χρειάζεται για να εκτελεστεί, το οποίο είναι γνωστό ως pypi. Το εργαλείο αυτό, αναλαμβάνει κατά τη διάρκεια του configuration να κατεβάσει και να εγκαταστήσει τις απαραίτητες βιβλιοθήκες που χρειάζεται ένα project, και στη συνέχεια φροντίζει ώστε να είναι διαθέσιμες κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης, ανεξάρτητα του τι άλλο υπάρχει εκείνη τη στιγμή εγκατεστημένο στον υπολογιστή. Επομένως, για να γίνει χρήση του εργαλείου DNSChain, έγινε η προσθήκη του στα requirements του pypi.

Δ′. *Display remote namecoin id name*

Εφόσον το όνομα ενός κόμβου μέσω του οποίου επικοινωνούμε έχει επικυρωθεί με τη διαδικασία του προηγούμενου issue, θα πρέπει ένας χρήστης ο οποίος βλέπει τις λεπτομέρειες ενός μαγαζιού να βλέπει και το όνομα αυτό. Σε αυτή την περίπτωση το Namecoin παίζει το ρόλο του user friendly ονόματος μέσω του οποίου ο χρήστης θα ξέρει ένα μαγαζί.

Επομένως, η πληροφορία μεταφέρεται στον κώδικα html που παράγεται, και εμφανίζεται στον browser του χρήστη ως «Store URL».

```
<tr data-ng-show="page.senderNamecoin">
    <td class="col-xs-3">Store URL</td>
    <td style="word-wrap:break-word">
        {{page.senderNamecoin}}
    </td>
</tr>
```

Ε′. *Test a basic complete request/response*

Όπως είδαμε παραπάνω, για την πρόσβαση στο DNSChain έγινε χρήση του εργαλείου pydnschain, το οποίο είναι και το ίδιο ένα project ανοιχτού κώδικα το οποίο βρίσκεται αυτή τη στιγμή υπό κατασκευή. Στα πλαίσια λοιπόν της εργασίας, για να εξασφαλισθεί η ορθότητα του κώδικα του OpenBazaar, υλοποιήθηκαν δύο issues τα οποία εκκρεμούσαν σε αυτό το project, τα οποία σχετίζονταν με τον έλεγχο της ορθότητας των ερωτημάτων που πραγματοποιεί.

Το πρώτο ζήτημα αφορούσε τη δημιουργία ενός test το οποίο να πραγματοποιεί ερωτήματα για γνωστές εγγραφές στο block chain του Namecoin, και να ελέγχει ότι οι τιμές που πήραμε πίσω ήταν οι αναμενόμενες. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το framework για unit testing της python που ονομάζεται unittest. Το framework αυτό παρέχει πολλές και ισχυρές δυνατότητες για την απομόνωση και τον έλεγχο ενός κομματιού κώδικα με αυτοματοποιημένο τρόπο.

```
class TestDNSChainLookup(unittest.TestCase):

    def setUp(self):
        self.dnschain_server = Server(
            "192.184.93.146",
            "NOTYETIMPLEMENTED"
        )
        self.test_cases = {
            "id/dionyziz": "dionyziz@gmail.com",
            "id/greg": ["contact@taoeffect.com",
                        "hi@okturtles.com"]
        }
        self.responses = {}
        for name in self.test_cases:
            self.responses[name] = \
                self.dnschain_server.lookup(name)

    def test_valid_JSON(self):
        for response in self.responses.itervalues():
            try:
                json.dumps(response)
            except:
                self.fail("Response was not valid JSON")

    def test_contains_email(self):
        for response in self.responses.itervalues():
            self.assertIn("email", response)

    def test_correct_email(self):
        for name in self.test_cases:
            if "email" not in self.responses[name]:
                self.skipTest(
                    'Response does not contain key "email"'
                )
            self.assertEqual(self.test_cases[name],
                             self.responses[name]["email"])
```

Γράψαμε λοιπόν για αυτό τρεις ελέγχους, οι οποίοι εκτελούνται σε ονόματα της επιλογής μας τα οποία γνωρίζουμε ότι υπάρχουν στο block chain. Ο πρώτος από αυτούς ελέγχει ότι όντως πήραμε δεδομένα από το Namecoin, και ότι αυτά έχουν το αναμενόμενο JSON format. Ο δεύτερος ελέγχει ότι τα δεδομένα περιλαμβάνουν πεδίο ”email”, ενώ ο τρίτος ότι το email που περιέχουν είναι το γνωστό email που αναμένουμε. Οι έλεγχοι πλέον αυτοί εκτελούνται αυτοματοποιημένα μαζί με όλους τους υπόλοιπους αντίστοιχους ελέγχους εκτελώντας την εντολή ”nosetests”, και τα αποτελέσματά τους εμφανίζονται με συνοπτικό τρόπο. Ο σχετικός κώδικας φαίνεται παρακάτω.

Ϛ′. *Make travis run the tests*

Ο λόγος για τον οποίο θέλουμε να πραγματοποιούμε τον έλεγχο του κώδικά μας αυτοματοποιημένα είναι να μπορούμε να τον εκτελούμε εύκολα κάθε φορά που κάνουμε κάποια αλλαγή. Το Github υποστηρίζει για αυτό το σκοπό το εργαλείο Travis CI, το οποίο αναλαμβάνει να εκτελέσει αυτόματα όλους τους ελέγχους που έχουν γραφτεί για ένα project κάθε φορά που αλλάζει κάτι σε αυτό.

Για να ενεργοποιήσουμε λοιπόν την αυτόματη εκτέλεση των ελέγχων, αυτό που έπρεπε να κάνουμε ήταν αφού ρυθμιστεί το repository στο Github (μέσω του interface) ώστε να καλεί το Travis, να γράψουμε ένα configuration file το οποίο να λέει στο Travis τι ακριβώς να εκτελέσει. Δεδομένου όμως ότι χρησιμοποιούσαμε ήδη το framework ελέγχου που εξηγήσαμε στο προηγούμενο issue, το μόνο που έμενε να κάνουμε ήταν να πούμε στο Travis να εκτελέσει την εντολή ”nosetests”. Έτσι, κάθε φορά που κάποιος πραγματοποιεί ένα Pull Request στο pydnschain εκτελούνται αυτόματα όλοι οι σχετικοί έλεγχοι και εμφανίζονται τα αποτελέσματα μαζί με το Pull Request.

```
language: python

python:
  - "2.7"

script:
  - nosetests
```

Αναφορές

[1] Satoshi Nakamoto: *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*, 2008.

[2] Dionysis Zindros: *A pseudonymous trust system for a decentralized anonymous marketplace*, 2014
https://gist.github.com/dionyziz/e3b296861175e0ebea4b

[3] Don Davis: *Defective Sign & Encrypt in S/MIME, PKCS#7, MOSS, PEM, PGP, and XML*, 2001

[4] Greg Slepak: *DNSChain + okTurtles*, April 26, 2014

[5] OpenBazaar: *A decentralized marketplace*
https://openbazaar.org/
https://blog.openbazaar.org/
https://github.com/OpenBazaar/OpenBazaar

[6] pydnschain: *Python library for looking up blockchain data via DNSChain*
https://github.com/okTurtles/pydnschain

[7] Bitcoin: *An innovative payment network and a new kind of money*
https://bitcoin.org/en/
Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Bitcoin

[8] Namecoin: *A decentralized open source information registration and transfer system based on the Bitcoin cryptocurrency*
http://namecoin.info/
Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Namecoin

Attacking DES with multilayer perceptrons: A proof of concept

Georgios Drakopoulos*
* IEEE Graduate Student Member
Multidimensional Data Analysis and Knowledge Management Lab
Computer Engineering and Informatics Department
University of Patras, Patras 26500, Hellas
drakop@ceid.upatras.gr

***Abstract*—Cryptography and cryptanalysis have both historically been crucial communications components. Undoubdtedly originating as delicate arts, they had already obtained science status during ancient European times as both the Cæsar substitute cipher and the Spartan *scytale* clearly indicate. Artificial neural networks, as their name suggests, have been inspired by human information processing neural pathways. Applications of artificial neural networks include diverse fields such as artificial intelligence, adaptive signal processing, function approximation, and brain sciences. Motivated by biomolecular computation attacks to DES symmetric cryptographic scheme and by the recent development of a chip whose architecture is based on artificial neural networks, this work presents an attack mounted on DES through the man-in-the-middle approach by a feedforward multilayer perceptron utilizing backpropagation training. This paper also explores aspects of the training procedure such as higher order characteristics and synaptic weight absolute and effective sparsity. In order to promote reproducible research, the source code used in this paper is freely available from GitHub.**

***Keywords*-Feedforward multilayer perceptrons; Synaptic weight sparsity; Higher order computation; DES; Private key cryptography; Man-in-the-middle attack**

I. Introduction

Cyptography is the science (or, arguably, the art) of delivering a series of messages to a friendly party over an open channel possibly monitored by one or more hostile parties possessing at least equal computational power with that of the message originator. Since antiquity diplomatic services and military leaders emphasized the importance of safe communications. Prominent examples include the Cæsar substistute cipher and the Spartan *scytale* as described by poet Archilochus. The German *Enigma Maschine* is now an almost iconic cryptographic system utilized extensively during WWII.

Since its introduction by the US Government [28] the Data Encryption Standard or DES has been the target of broad range of attacks, inspiring and frustrating cryptography professionals and cryptanalysis enthusiasts alike [25]. DES has been long replaced by Advanced Encryption Standard or AES [29] as the former provides insufficient protection against modern supercomputers. Nonetheless, DES is an excellent vehicle for a proof of concept like the one presented in this paper.

This paper summarizes the author's diploma thesis at the Computer Engineering and Informatics Department of the University of Patras.

This work has been inspired by both theoretical and technological developments, namely the field of biomolecular computation and the very recent creation of a chip whose architecture is based on spiking neural networks. More information is provided in section II. This paper is part of a broader framework intended to outline the properties of various types of artificial neural networks including the spiking and feedback networks, to illustrate their computational power, and to highlight their applications to brain studies. To this end, DES is used as a vehicle as it still poses at least medium difficulty both in practice and in theory.

The contributions of this paper are the following: The computational power of feedforward multilayer perceptrons is demonstrated by using them in order to mount a man-in-the middle attack on DES. Moreover, the notions of absolute and effective synaptic weight sparsity are explored. Finally, a note on the higher order computational nature of multilayer perceptrons is provided. Although MATLAB has a specialized neural network toolbox [9], the multilayer perceptron used in this paper has been implemented. This was deemed necessary as the synaptic weights had to be monitored in each training step for reasons stated in section VII while the MATLAB toolbox functions operate in a black box fashion.

Table I contains the most common symbols used in this work. Throughout the text, the terms *neural network* and *networks* both refer to the artificial neural networks, as there is no reference to human neural pathways. The reader is assumed to be familiar with multilayer perceptrons and backpropagation training [16]. The rest of this paper is organized as follows: The literature in cryptography and neural networks is overviewed in section II and the inspiration for this paper is outlined. A high level description of DES is provided in section III. The higher order nature of computation performed by neural networks is commented in section IV. The architecture of the actual network implemented as well as selected implementation points are explained in section V. The results obtained by attacking DES with this network are described in section VI. Finally, future research directions are presented and discussed in section VII.

Symbol	Meaning
$\triangleq$	Equality by definition
$\leftrightarrow$	Fourier transform pair
$\underline{\mathbf{w}}$	Neuron synaptic weights
θ_0	Neuron threshold
η	Neuron learning parameter
$g\left(x;\mu_0,\sigma_0^2\right)$	Gaussian kernel
$\phi\left(x;\beta_0\right)$	Logistic or sigmoid function
$\psi\left(x;\beta_0\right)$	Hyperbolic tangent function
$\operatorname{sign}\left(x\right)$	Signum function

TABLE I
SYMBOLS USED IN THIS PAPER.

II. Inspiration and Related Work

Broadly speaking, cryptography systems can be divided into two main categories. DES belongs to private key or symmetric systems. They have been the predominant encryption systems until the relatively recently and they correspond to our intuitive notion of data security. In a symmetric system the same key is used both to encrypt and decrypt the data [10]. In contrast, with the advent of public key or asymmetric systems as described in the seminal [31] this no longer needs to be the case. Number theory made possible the use of one key for data encryption and another for data decryption [25], further facilitating the secure communication between two parties. Currently most widespread cryptography systems are asymmetric. Within a cryptographic context, initial or unencrypted data in general are referred to as *plaintext*, whereas encrypted data are called *ciphertext*.

Literature abounds with descriptions of attacks to cryptographic systems in general and to DES in particular. These have been mounted from various attack vectors, inspiring a number of complexity- or number theory related concepts and theorems. Among these are exhaustive key search, exhaustive key search with time-memory tradeoff [19], differential cryptanalysis [4], and linear cryptanalysis [23]. It is believed that these are in fact galactic algorithms[1]. These attacks shall not be discussed here further and the interested reader is referred to the appropriate original sources. As a general remark, today DES is considered insecure as a brute force attack utilizing dedicated hardware built by EFF can break it in a relatively small amount of time [11].

A particular type of brute force attack was based on biomolecular computation [2][6]. As its name suggests, the latter aims to manipulate biological macromolecules like DNA molecules exploiting their ability to assemble in even bigger molecules. This was in part inspired by the seminal [12]. By treating macromolecules as self-sticking strings, massive parallelism can be harvested, at least in theory [1][5]. Although biomolecular computation and neural networks have little in common in theory and practice, the former served as an inspiration regarding how nature-based computational models can solve difficult problems. Notice that there are also other biology-inspired computational tools like genetic algorithms [8][27].

Since their inception, neural networks have been attracting considerble research interest because of their mathematical elegance and their connection to the human neural system [16]. They are also considered to be crucial in the effort to unravel the functions of human brain [20][7][14]. It has been announced recently the manifacturing of a prototype chip whose architecture is based on spiking neural networks [26], a special type of neural networks [13][17]. This has led to a resurgent interest in neural networks as well as in efficient implementations thereof.

[1]The term *galactic algorithm* was coined by R.J.Lipton and K.Regan to refer to algorithms that have good asymptotic behavior but would never be used in practice.

III. Data Encryption Standard

Data Encryption Standard or DES operates by transforming plaintext bit blocks of constant size to an equal number of ciphertext bit blocks of equal size. Its function is outlined in algorithm 1 and depicted in figure 1. Figure 2 clarifies the concept of S-box used in DES.

Algorithm 1 Data Encryption Standard (ECB mode)

Require: A private key of 56 bits.
Ensure: Plaintext blocks are transformed to ciphertext ones.

```
Permute key using table PC1.
Create 16 pairs C_n D_n of 48 bits long each.
From C_n D_n and table PC2 obtain subkeys K_n.
for all plaintext blocks P of 64 bits each do
    Permute P using table IP and obtain L_0 and R_0.
    for i ← 1 to 16 do
        L_i ← R_{i-1} ; R_i ← L_{i-1} + f_{s,p}(R_{i-1}, K_i)
    end for
    Create block R_16 L_16 and obtain C from table IP^{-1}.
end for
return Ciphertext blocks C
```

The DES mode described in algorithm 1 is named Electronic Code Book (ECB) and operates individually on plaintext blocks of 64 bits. There are two other modes, namely Chain Block Coding (CBC) and Cipher Feedback (CFB), which depend on both current and past plaintext blocks using xor operations. In all three modes function $f_{s,p}$ depends on subkeys K_i as well as on P- and S-boxes which are defined in [28].

IV. Higher Order Computation

This section describes the inherent higher order nature of computation taking place in multilayer perceptrons, namely computation whose primary characteristics include high nonlinearity, non-trivial inforation flow, strong dependency on higher order auto- and/or cross-correlation between data, and possibly memory effects in the form of past inputs or outputs contributing directly to current output [3]. Secondary characteristics may as well include distributed or parallel processing, communication schemes between computing units, and

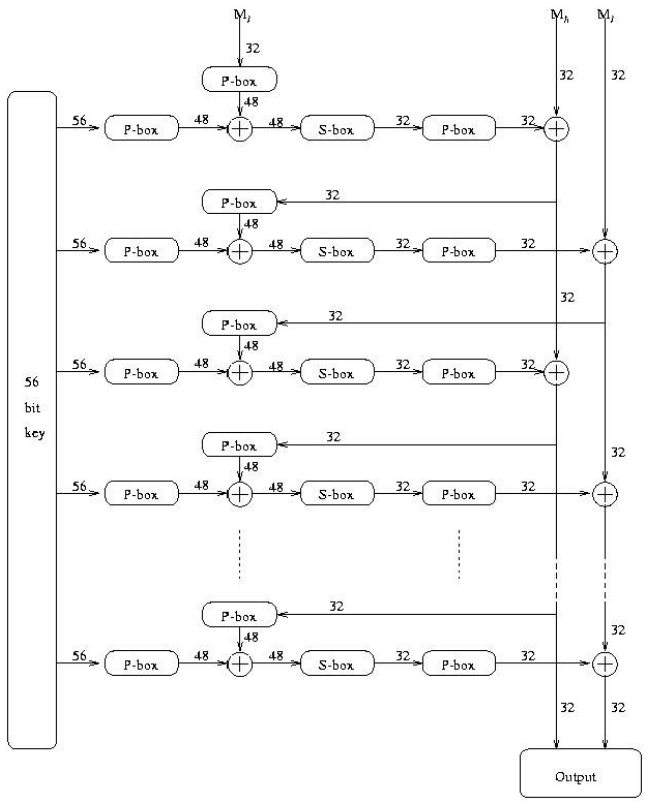


Fig. 1. DES implementation block diagram.

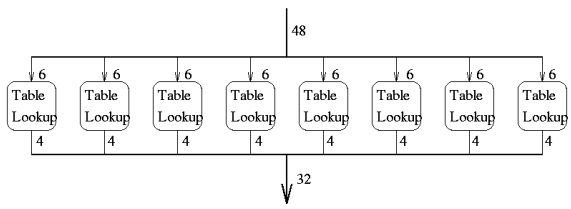


Fig. 2. S-Box function in DES.

dimensionality reduction and input preprocessing algorithms. The above are required in the interconnected, high speed and high volatility of the big data era [21]. Notice that it is possible to have memoryless higher order computation, as for instance any function of this form suggests

$$f(x) = x^p \quad x \in \mathbb{R}, p \in \mathbb{Z}^+ \tag{1}$$

or any Taylor univariate function expansion for that matter.

High order phenomena appear in three ways in neural networks in general and in multilayer perceptrons in particular, namely higher order structure, signal non-linearity, and synaptic weight sparsity. Higher order structure refers to the way inputs and intermediate data in general flow throughout a neural network [9]. There are two primary factors contributing to a higher order structure, cycles and long paths, ie paths of length equal to or more than three edges. Viewed as a graph, any neural network has weighted paths connecting input layers to hidden neurons and eventually to the output layer neurons. This applies to feedforward networks with cycles or to feedback networks, since they contain cycles by definition. It is worth mentioning that using cycles as a complexity indicator has been used in cyclotomic complexity software quality metric [24]. Long paths require considerable graph traversal and signal correlation along such paths is treated either through spectral [18] or structural methods [32]. The latter is remniscient of the higher order graph traversal methods used in graph databases [32][30].

Intermediate non-linear activation functions are essential, since otherwise the hidden layers would easily reduce to a single linear neuron. Therefore, it is possible to approximate a wide range of functions by selecting the appropriate activation functions as builduing blocks [16]. Each leyer or each individual neuron may as well have its own activation function, allowing a given function to be decomposed in various forms as appropriate.

Absolute synaptic weight sparsity, ie how many and which synaptic weights are zero, is a very important higher order parameter with a twofold role. From a computational standpoint, zero weights ease the burden caused by signal flow among neurons. This effect is especially desired in hardware implementations [16]. From an algorithmic view, synaptic weight sparsity refines the data processing model by indicating which connections actually contribute to the result. Naturally, this varies with the task performed by the network. A similar property is that of effective synaptic weight sparsity where weights whose absolute values are equal to or less than a predetermined threshold τ_0 are treated as zero. Effective sparsity is more flexible than its absolute counterpart, as it allows network examination at multiple levels as τ_0 varies. Moreover, it may be more indicative as to which is the unerlying connectivity configuration since a very small synaptic weight, either of positive or negative sign, does not actually contribute to the network output.

V. Network Implementation

This section discusses the major aspects of the feedforward multilayer perceptron training using the backpropagation training algorithm (see algorithm 2), a distributed version of steepest descent optimization technique. This algorithm is repeated here for clarity but the reader, as stated in section I, is assumed to be familiar with both the network and the learning procedure.

The network arcitecture is the following:

- There is an input layer of 64 neurons.
- There is one hidden layer of variable size.
- There is an optional hidden layer of variable size.
- There is an outpt layer of 64 neurons.

Each input layer neuron reads one ciphertext bit and each output neuron computes one potential plaintext bit which is compared to the corresponding actual one. Each neuron of the hidden and output layers receives signals from each neuron of the preceding layer and in turn sends its outpt to each neuron of the next layer. The network is coded so that additional hidden

layers can be added, giving extra flexibility to the end user. With flexibility come additional functions as well as increased computational cost and, after some point, overmodeling issues and the Occam razor phenomenon [16].

The synaptic weights are initialized with random values in the interval

$$\left[-\frac{2.4}{n_o}\,,\,\frac{2.4}{n_o}\right] \tag{2}$$

where n_o is the number of outgoing connections for each neuron. In this particular case, n_o is the same for all neurons of the same layer and equls the number of neurons of the next layer.

The learning parameter $\eta[k]$ can take any of the following four customizable forms:

$$\eta[k] \;=\; \begin{cases} \eta_0 & \text{constant} \\ \eta_0(\tau_0+\tau_1 k)^{-1} & \text{inverse linear decay} \\ \eta_0\, e^{-\gamma_0 k}, \quad \gamma_0>0 & \text{exponential decay} \\ \eta_0\, k^{-\delta_0}, \quad \delta_0>0 & \text{power law decay} \end{cases} \tag{3}$$

where η_0, τ_0, τ_1, γ_0, and δ_0 are programmable parameters. $\eta[k]$ is decaying since initially large steps in the synaptic weight search space need to be done. When the training procedure, however, approaches the global minimum, then small steps are needed. In practice, a constant or a linearly decaying parameter is selected during early epochs while a faster decaying one is chosen for later epochs. For this reason, when $\eta[k]$ is a constant η_0, this is small, typically one order of magnitude less than twice the inverse of the maximum eigenvalue of the input vector autocorrelation matrix [16].

The network can use three common neuron activation functions. The first is the logistic function defined as

$$\phi\left(x;\beta_0\right) \triangleq \frac{1}{1+e^{-\beta_0 x}} \tag{4}$$

where $\beta_0>0$ is a scaling parameter controlling the curvature of the characteristic **S**-like shape of $\phi\left(x;\beta_0\right)$ [16]. When $\beta_0\to+\infty$, then $\phi\left(x;\beta_0\right)$ tends to the signum function sign. A negative value for β_0 would result in $\phi\left(-x;|\beta_0|\right)$. An important property of $\phi\left(x;\beta_0\right)$ is that

$$\phi\left(x;\beta_0\right)+\phi\left(-x;\beta_0\right) \;=\; 1 \tag{5}$$

An important property of the logistic function is that $\phi\left(x;\beta_0\right)$ and its first derivative $\phi^{(1)}\left(x;\beta_0\right)$ are realted through the equation

$$\phi^{(1)}\left(x;\beta_0\right) \;=\; \beta_0\left(1-\phi\left(x;\beta_0\right)\right)\phi\left(x;\beta_0\right) \tag{6}$$

In fact, (6) can be used to derive a similar polynomial relation between $\phi\left(x;\beta_0\right)$ and its n-th order derivative $\phi^{(n)}\left(x;\beta_0\right)$ for any order n. This property is especially useful in hardware implementations of multilayer perceptrons since very little circuitry is necessary in order to compute $\phi^{(1)}\left(x_0;\beta_0\right)$ given only $\phi\left(x_0;\beta_0\right)$ at a point x_0.

A closely related activation function is the hyperbolic tangent function defined as

$$\psi\left(x;\beta_0\right) \triangleq \frac{e^{\beta_0 x}-e^{-\beta_0 x}}{e^{\beta_0 x}+e^{-\beta_0 x}} \;=\; \tanh\left(\beta_0 x\right) \;=\; \frac{\sinh\left(\beta_0 x\right)}{\cosh\left(\beta_0 x\right)} \tag{7}$$

where β_0 plays the same scaling role as in (4). $\psi\left(x;\beta_0\right)$ is both the Bayes and the linear unbiased estimator of a single bipolar variable in the presence of additive white Gaussian noise. The hyperbolic trigonometric functions owe their name to the fact that

$$\cosh^2\left(\beta_0 x\right)-\sinh^2\left(\beta_0 x\right) \;=\; 1 \tag{8}$$

The hyperbolic tangent function is closely related to the logistic one as the next theorem shows.

Theorem 1: The hyperbolic tangent function is a scaled and translated version of the logistic function.

Proof: From the hyperbolic tangent definition it follows almost imemdiately that

$$\begin{aligned} \psi\left(x;\beta_0\right) &= \tanh\left(\beta_0 x\right) \\ &= \frac{e^{\beta_0 x}-e^{-\beta_0 x}}{e^{\beta_0 x}+e^{-\beta_0 x}} \\ &= \frac{e^{\beta_0 x}}{e^{\beta_0 x}+e^{-\beta_0 x}}-\frac{e^{-\beta_0 x}}{e^{\beta_0 x}+e^{-\beta_0 x}} \\ &= \frac{1}{1+e^{-2\beta_0 x}}-\frac{1}{1+e^{2\beta_0 x}} \\ &= \phi\left(x;2\beta_0\right)-\phi\left(-x;2\beta_0\right) \\ &= 2\phi\left(x;2\beta_0\right)-1 \end{aligned}$$

■

The third option is the Gaussian kernel, used among others in radial basis networks. It is defined as

$$g\left(x;\mu_0,\sigma_0^2\right) \triangleq \frac{1}{\sigma_0\sqrt{2\pi}}\, e^{-\frac{(x-\mu_0)^2}{2\sigma_0^2}} \tag{9}$$

where now μ_0 is a location parameter and σ_0 is a scale parameter. Radial basis functions have been used in order to approximate arbitrary functions. Gaussian kernel is the eigenfunction of the Fourier transform, meaning that [15][18]

$$\frac{1}{\sigma_0\sqrt{2\pi}}\, e^{-\frac{(x-\mu_0)^2}{2\sigma_0^2}} \;\leftrightarrow\; e^{-\frac{\omega^2\sigma_0^2}{2}}\, e^{-i\mu_0\omega} \tag{10}$$

with $\sqrt{\pi}$ being the corresponding eigenvalue. This fact allows the construction of networks operating in the frequency domain. Notice that equation (10) displays both the scaling and the translation property of Fourier transform. The Gaussian kernel is the basis of the MSK modulation scheme [18] whereas the related Gabor and Morlet functions are common wavelet choices [22]. Also

$$g^{(1)}\left(x;\mu_0,\sigma_0^2\right) \;=\; -\left(\frac{x-\mu_0}{\sigma_0^2}\right) g\left(x;\mu_0,\sigma_0^2\right) \tag{11}$$

The objective function at epoch k is the mean square error

$$J\left(k\right) \;=\; \frac{1}{p\,\ell_p}\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{\ell_p}\left(p_j[i]-y_j[i]\right)^2 \tag{12}$$

where p is the number of plaintext desired output vectors, ℓ_p is their length, p_j is the $j-th$ plaintext vector, and y_j is the network output vector when the j-th ciphertext vector is used as input.

Algorithm 2 Backpropagation Training Algorithm

Require: A feedforward multilayer perceptron $\mathcal{N}$.
Require: A learning parameter function $\eta[k]$.
Ensure: Network $\mathcal{N}$ is trained.

```
repeat
    for layer ← 1 to n do
        Compute each neuron output.
    end for
    for all output layer neurons do
        Compute local error gradient and fix weights.
    end for
    for layer ← (n − 1) to 1 with step −1 do
        Estimate error gradient and fix weights.
    end for
until training converges
return Trained network N.
```

VI. Results

In this section the results of this work are presented. Table II summarizes the average probability of the network recovering a ciphertext bit q_0 after learning to operate like an approximate inverse DES black box. Notice that the more q_0 deviates from $q' = 0.5$ the better the network performs, the reason being that q' is the global maximization argument of the binary entropy function $H(q)$ defined as

$$H(q) \triangleq q \log_2\left(\frac{1}{q}\right) + (1-q)\log_2\left(\frac{1}{1-q}\right), \quad 0 \leq q \leq 1 \tag{13}$$

Notice that $H(q)$ is symmetric around q', ie $H(q) = H(q'-q)$, meaning that any cryptanalytic system can possibly be improved by flpping zeros to ones and vice versa.

Network	p	η_0	η_1	η_2	η_3
62 : 32 : 64	10	0.4997	0.4812	0.4982	0.5002
62 : 32 : 64	20	0.4493	0.4891	0.5492	0.5103
62 : 32 : 64	30	0.5010	0.4942	0.4886	0.5252
62 : 32 : 64	40	0.4901	0.4710	0.4961	0.4992
64 : 32 : 32 : 64	10	0.4993	0.5000	0.4009	0.5201
64 : 32 : 32 : 64	20	0.4834	0.5804	0.5101	0.4946
64 : 32 : 32 : 64	30	0.4987	0.4012	0.5074	0.5352
64 : 32 : 32 : 64	40	0.4949	0.5099	0.4482	0.5253

TABLE II
Average probability of recovering a single plaintext bit.

Entry p of table II denotes the number of training vectors available. Notice that they are much fewer than typical training sets. This is because in the man-in-the-middle attack a third party is assumed to having obtained a small number of plaintext-ciphertext pairs. Therefore, it would be unrealistic to use more training vectors. The four learning parameter options were the following:

$$\eta_0 = 10^{-2}, \eta_1 = 10^{-3}, \eta_2[k] = \frac{1}{1+k}, \eta_3[k] = 0.5\, e^{-0.2\,k} \tag{14}$$

where k is the training epoch. Another observation is that the network does not actually recover the DES key. Instead, it attempts to recover plaintext directly from ciphertext. In other words, the key is progressively incorporated into the synaptic weights, making thus the network the key in a sense.

Tables III and IV summarize the effective weight sparsity when the threshold equals $\tau_0 = 0.1$ and 0.2 respectively. The thresholds have been normalized for each neuron, ie the maximum weight has been mapped to 1 and the rest have been expressed as a percentage of the maximum weight.

Network	p	Minimum	Average	Maximum
64 : 32 : 64	10	0.0521	0.0555	0.0569
64 : 32 : 64	20	0.0519	0.0529	0.0565
64 : 32 : 64	30	0.0611	0.0617	0.0630
64 : 32 : 64	40	0.0580	0.0582	0.0588
64 : 32 : 32 : 64	10	0.0599	0.0601	0.0612
64 : 32 : 32 : 64	20	0.0501	0.0521	0.0544
64 : 32 : 32 : 64	30	0.0499	0.0509	0.0512
64 : 32 : 32 : 64	40	0.0533	0.0604	0.0612

TABLE III
Effective sparsity for normalized $\tau_0 = 0.1$.

Network	p	Minimum	Average	Maximum
64 : 32 : 64	10	0.0624	0.0629	0.0645
64 : 32 : 64	20	0.0600	0.0609	0.0622
64 : 32 : 64	30	0.0599	0.0611	0.0644
64 : 32 : 64	40	0.0706	0.0724	0.0753
64 : 32 : 32 : 64	10	0.0614	0.0621	0.0640
64 : 32 : 32 : 64	20	0.0655	0.0684	0.0712
64 : 32 : 32 : 64	30	0.0809	0.0822	0.0899
64 : 32 : 32 : 64	40	0.0701	0.0712	0.0729

TABLE IV
Effective sparsity for normalized $\tau_0 = 0.2$.

VII. Conclusions and Future Work

This is the first of a series of papers describing theoretical aspects as well as applications of spiking and multilayer artificial neural networks. Of primary interest are the inherently higher order computation offered by multilayer perceptrons, a popular category of neural networks. The primary characteristics of this type of computation are higher order structure, signal non-linearity, and synaptic weight sparsity. Depending on network architecture, memory effects may be present, though this is not the case with feedforward multilayer perceptrons. These characteristics are appealing for mining

the complex datasets of the big data era. As a vehicle for demonstrating the above, the DES symmetric cryptographic system has been selected. A feedforward multilayer perceptron mounted a man-in-the-middle attack on it and the results obtained were positive despite the limited training set size.

Future research directions include the use of matrix structure and effective sparsity discovery techniques for partitioning the synaptic weights. Graph theoretic tools can be also useful in this direction. Meaningful weight thresholds, either task-independent and based on information theoretic or machine learning criteria or task-specific, should be sought in order to better understand weight sparsity patterns. These tools can be also applied to other network types such as spiking neural networks or to networks operating in the frequency domain. Finally, other higher order tasks such as biomedical and social dynamics data processing should be considered.

As a closing remakrk, the MATLAB source code is available from GitHub in order to encourage reproducible research.

APPENDIX

Theorem 2: The Gaussian kernel is an eigenfunction of the Fourier transform. The corresponding eigenvalue is $\sqrt{\pi}$.

Proof: Using the definition of the Fourier trasnform

$$\begin{aligned}
\tilde{g}\left(\omega;\mu_0,\sigma_0^2\right) &= \int_{-\infty}^{+\infty} g\left(x;\mu_0,\sigma_0^2\right) e^{-i\omega x} dx \\
&= \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\sigma_0\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu_0)^2}{2\sigma_0^2}} e^{-i\omega x} dx \\
&= \frac{1}{\sigma_0\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{x^2-2x\left(\mu_0-i\omega\sigma_0^2\right)+\mu_0^2}{2\sigma_0^2}} dx \\
&= \frac{1}{\sigma_0\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{x^2-2x\left(\mu_0-i\omega\sigma_0^2\right)+\mu_0^2}{2\sigma_0^2}} \\
&\times e^{-\frac{\pm\left(\mu_0-i\omega_0\sigma_0^2\right)^2+\mu_0^2}{2\sigma_0^2}} dx \\
&= \frac{1}{\sigma_0\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{\mu_0^2-\left(\mu_0-i\omega\sigma_0^2\right)^2}{2\sigma_0^2}} \\
&\times e^{-\frac{x^2-2x\left(\mu_0-i\omega\sigma_0^2\right)+\left(\mu_0-i\omega\sigma_0^2\right)^2}{2\sigma_0^2}} dx \\
&= e^{-\frac{\omega^2\sigma_0^2+2i\omega\mu_0\sigma_0^2}{2}} \\
&\times \underbrace{\frac{1}{\sigma_0\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{\left(x-\left(\mu_0-i\omega\sigma_0^2\right)\right)^2}{2\sigma_0^2}} dx}_{=1} \\
&= e^{-i\mu_0\omega}\, e^{-\frac{\omega^2\sigma_0^2}{2}} \qquad (15)
\end{aligned}$$

■

Observe that the above relationship demonstrates and combines two important propoerties of the Fourier transform, namely a translation by μ_0 and scaling by σ_0^2.

REFERENCES

[1] L. Adleman. Biomolecular computation of solutions to combinatorial problems. *Science*, 266(5187):1021–1024, November 1994.

[2] L. Adleman, P. Rothemumd, S. Roweis, and E. Winfree. On applying molecular computation to the Data Encryption Standard. *Journal of computational biology*, 6(1):53–63, 1999.

[3] M. Barnathan. *Mining complex high-order datasets*. PhD thesis, Temple University, 2010.

[4] E. Biham and A. Shamir. *Differential cryptanalysis of the Data Encryption Standard*. Springer-Verlag, August 1993.

[5] D. Boneh, C. Dunworth, and R. Lipton. Breaking DES using a molecular computer. In *Proceedings of the DIMACS workshop on DNA computing*, 1995.

[6] D. Boneh, C. Dunworth, L. Richard, and J. Sgall. Making DNA computers error resistant. In *Proceedings of the second annual DIMACS conference on DNA computing*, 1996.

[7] E. Bullmore and O. Sporns. Complex brain networks: Graph theoretical analysis of structural and functional systems. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(3):186–198, March 2009.

[8] D. J. Cavvicchio Jr. *Adaptive search using simulated evolution*. PhD thesis, The University of Michigan, 1970.

[9] H. Demuth, M. Beale, and M. Hagan. *Neural network toolbox 5 user's guide*. The MathWorks Inc., 2007.

[10] W. Diffie and M. E. Hellman. New directions in cryptography. *IEEE Transactions on Information Theory*, 22(6):644–654, September 1976.

[11] Electronic Frontier Foundation. DES cracker project Web page, January 2015.

[12] R. P. Feynman. There's plenty of room at the bootom. In A. J. G. Hey, editor, *Feynman and computation*, chapter There's plenty of room at the bottom, pages 63–76. Perseus Books, Cambridge, MA, USA, 1999.

[13] D. Goodman and R. Brette. Brian: A simulator for spiking neural networks in Python. *Frontiers in neuroinformatics*, 2(5):1–10, November 2008.

[14] M. D. Greicius, B. Krasnow, A. L. Reiss, and V. Menon. Functional connectivity of the resting brain: A network analysis of the default mode hypothesis. *PNAS*, 100(1):253–258, January 2003.

[15] M. Hayes. *Statistical digital signal processing and modeling*. Wiley, April 1996.

[16] S. Haykin. *Neural networks and learning machines*. Prentice Hall, 3rd edition, November 2008.

[17] E. Izhikevich. Simple model of spiking neurons. *IEEE transactions on neural networks*, 14(6):1569–1572, November 2003.

[18] S. M. Kay. *Fundamentals of statistical signal processing: Estimation theory*. Prentice Hall, 1993.

[19] J. Kilian and P. Rogaway. How to protect DES against exhaustive key search - An analysis of DESX. *Journal of Cryptology*, 14(1):17–35, 2001.

[20] S. H. Koslow and S. Subramaniam, editors. *Databasing the brain: From data to knowledge*. Wiley, March 2005.

[21] J. Leskovec, A. Rajaraman, and J. Ullman. *Mining of massive datasets*. Cambridge University Press, 2nd edition, December 2014.

[22] S. Mallat. *A wavelet tour of signal processing: The sparse way*. Academic Press, 3rd edition, December 2008.

[23] M. Matsui. Linear cryptanalysis method for DES cipher. In *Workshop on the Theory and Application of Cryptographic Techniques on Advances in Cryptology*, EUROCRYPT '93, pages 386–397, Secaucus, NJ, USA, 1994. Springer-Verlag.

[24] T. J. McCabe. A complexity measure. *IEEE Transactions on Software Engineering*, SE-2(4):308–320, December 1976.

[25] A. J. Menezes, P. C. van Oorschot, and S. A. Vanstone. *Handbook of applied cryptography*. CRC Press, October 1996.

[26] P. A. Merolla and et al. A million spike-neuron integrated circuit with a scalable communication network and interface. *Science*, 345(6197):668–673, August 2014.

[27] M. Mitchell. *An introduction to genetic algorithms*. Complex adaptive systems. Bradford books, February 1998.

[28] NIST. Data Encryption Standard (FIPS 46-3), 1999.

[29] NIST. Advanced Encryption Standard (FIPS 197), 2001.

[30] O. Panzarino. *Learning Cypher*. PACKT publishing, May 2014.

[31] R. L. Rivest, A. Shamir, and L. Adleman. A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems. *Communications of the ACM*, 21(2):120–126, February 1978.

[32] I. Robinson, J. Webber, and E. Eifrem. *Graph Databases*. O'Reilly, June 2013.

Implementing graph centrality measures for Neo4j

Georgios Drakopoulos* and Aikaterini Baroutiadi†
* IEEE Graduate Student Member
Multidimensional Data Analysis and Knowledge Management Lab
Computer Engineering and Informatics Department
University of Patras, Patras 26500 Hellas
drakop@ceid.upatras.gr
† Informatics of Life Sciences Graduate Programme
University of Patras, Patras 26500 Hellas
kbaroutiadi@upatras.gr

***Abstract*—Graphs are currently the epicenter of intense research as they lay the theoretical groundwork in diverse fields ranging from combinatorial optimization to computational neuroscience. Vertex centrality plays a crucial role in graph mining as it ranks them according to their contribution to overall graph communication. Specifically, within the social network analysis context centrality identifies influential indivduals, whereas in the bioinformatics field centrality locates dominant proteins in protein-to-protein interaction. In recent years graph databases, part of the rising NoSQL movement, have been added to the graph analysis toolset. An implementation of eigenvector centrality, a prominent member of the broad class of spectral centrality, in Java and NetBeans designed for use with Neo4j, a major schemaless graph database, is outlined and the findings resulting from its application to a real world social graph are discussed.**

***Keywords*-Graph databases; Graph mining; Social network analysis; Centrality metrics; High order data; Neo4j; NetBeans**

I. Introduction

A connected age is starting. The driving factors behind this trend are many. Graphs form the algorithmic cornerstone of several recently developed fields including, among others, the semantic web and ontology [23][2], machine learning and artificial intelligence [13], big data [4] and distributed computing [14].

Social network analysis also relies heavily on graphs, as their analysis allows conclusions to be reached to regarding social coherence [10], expansion [15], or information flow [22]. Among the foundational concepts of social network analysis is that of centrality, which aims to discover influential individuals in the network according to certain prespecified criteria. In turn, those criteria depend on features of the graph representing the social network.

Graph databases such as Neo4j, a prominent member of the NoSQL database movement, are often the preferred front- or back-end media where actual information regarding social graphs is stored to. Moreover, not only do graph databases provide a natural means for graph storage, but they also offer graph analytics such as link prediction and minimum spanning trees [21][19].

The main contribution of this work is the implementation of eigenvalue centrality, an established vertex centrality metric based on the spectral characteristics of the adjacency matrix associated with a graph, in Java using NetBeans for Neo4j and the validity of this approach is confirmed by comparing the results with those obtained by MatLab. Moreover, a brief overview of the rising trend of graph databases and their properties is given. A third contribution is the synopsis of two prominent subclasses of spectral vertex centrality metrics, namely the power series subclass and the eigenvector subclass. Finally, there are two theoretical notes regarding graphs. The first pertains to the inherent high order nature of graphs in terms of their information content and the second involves the important role of the adjacency matrix, which allows their representation and handling through linear algebra in addition to combinatorics.

Table I contains the notation used throughout this paper, regarding mostly vectors and matrices. It should be noted that K_n refers to undirected graphs. The rest of this paper is structured as follows. Section II summarizes the brief history of graph databases and social network analysis. An overview of the main characteristics of graph databases is provided in section III. The high order nature of graphs and its relation to vertex centrality metrics, including the eigenvalue metric, are outlined in section IV. Section V describes certain implementation aspects and the results of applying eigenvector centrality to established datasets. Finally this work is concluded in section VI where its main points are recapitulated and future research directions are explored.

II. Related Work

Sociologists at least as early as the 1950s at least had also similar interests in social network analysis as outlined in the semimal work of Katz [8] and others. It was not however before the advent of computer networks and their widespread adoption on behalf of the general population that allowed the study of massive and reliable data collected from daily, ordinary interaction between users in social media. Even more, it has been gradually realized that the Web is evolving into a mirror of our own society.

This sparkled an interest in social network analysis from both sociologists and computer scientists alike. The latter could build upon their own experience derived from earlier

Symbol	Meaning
$\triangleq$	Equality by definition
$\mathbf{I}_n$	Identity $n \times n$ matrix
$\{x_k\}$	Set comprised by x_k
$\langle \underline{\mathbf{g}} \rangle$	Sequence of vectors $\underline{\mathbf{g}}$
$\underline{\mathbf{g}}^{[k]}$	k-th vector of an iterative process
$\underline{\mathbf{g}}[k]$	k-th component of vector $\underline{\mathbf{g}}$
$\underline{\mathbf{g}}_1 \odot \underline{\mathbf{g}}_2$	Elementwise multiplication of $\underline{\mathbf{g}}_1$ and $\underline{\mathbf{g}}_2$
$\sqrt[\odot]{\underline{\mathbf{g}}}$	Elementwise square root of vector components
K_n	Complete graph with n vertices and $\binom{n}{2}$ edges

TABLE I
SYMBOLS USED IN THIS PAPER.

research on fundamental graph problems such as persistence [9] and lazy evalutation in functional progamming languages such as Haskel [6] among others. Moreover, Thus, onwards since circa 2008 there has been rising and intese activity in this crossdisciplinary area which has already bore fruit in a multitude of forms including outling large graph properties [12], graph modeling and synthetic graph generation [11], opinion mining and trolling detection [22], as well as information diffusion and dissemination [10].

III. Graph Databases

This section is dedicated to a brief overview of NoSQL and graph databases in general in subsection III-A and of Neo4j in particular in subsection III-B.

A. Beyond or Along Relational Databases?

Relational database management systems (RDBMS) or simply relational databases are based on the pioneering work of Codd [5] and today are operational mainstays in a typical business environment. However, the advent of modern Web with the almost continuous, unstructured or semistructured, and high order data has highlighted the need for new approaches in the database world. The recent movement of NoSQL databases aspires to fill this gap. It has four primary independent technologies, namely [21]

- Graph databases. Data is stored in property graphs, allowing interconnections between features to be represented in a natural way.
- Key-value databases. Data is stored in associative arrays, allowing the construction of complex maps between sets of objects.
- Document databases. Data is stored in JSON documents, allowing large document collections to be handled efficiently.
- Column family databases. Data is stored in tables with very long rows which are groupped into column families, allowing efficient row operations.

The above NoSQL branches all share the schemaless property, a major departure from the relational world. Moreover, the four ACID requirements (**A**tomicity, **C**onsistency, **I**solation, **D**urability) have been replaced by the three BASE requirements [21]:

- **B**asic **A**vailability. The database is operational most of the time. The percentage of downtime depends on the local operational requirements.
- **S**oft state. The database does not have to be write consistent. Also replicas do not have to be mutually consistent sometimes.
- **E**ventual consistency. The database does become consistent at later point.

Notice that NoSQL databases like every software tool are not panacea. Therefore, although originally thought as a replacement for relational databases (”No SQL”), they are expected to coexist with the latter, at least in the foreseeable future (”Not only SQL”).

B. Property Graph Model and Query Languages

The property graph model is the primary conceptual data model supported by Neo4j and offered to a high level user typically through the Cypher querying language [21][19]. Its main characteristics are:

- Graph comprises of vertices, edges, and properties.
- Vertices represent objects.
- Vertices contain properties in key-value pairs.
- Edges represent connections.
- Edges have directions and labels.
- Edges have a start and an end vertex.
- Edges contain properties in key-value pairs.

Notice that these characteristics can be extended in a number of ways. For instance, an edge can be allowed to connect a vertex to two or more vertices resulting in a property multigraph. The latter can serve as a data model in situations where relationships can be clustered or when a higher level but lower resolution view of the original property graph is desired. This paper addresses simple property graphs only.

Neo4j supports a querying language named Cypher operating at the highest conceptual database level. Moreover, it supports three programmatic user-facing APIs. From higher to lower abstraction level these are the traverser, the core, and the kernel API. The proposed approach of this paper was based on the core API, which is fully integrated into the Neo4j NetBeans extension library.

IV. Spectral Centrality

This section focuses on an area of vertex centrality termed spectral centrality because the associated algorithms rely on the spectral properties of the graph adjacency matrix. Specifically, subsection IV-A discusses the need for high order vertex centrality metrics, subsection IV-B outlines a popular scheme based on adjacency matrix power series, based indirectly on the adjacency matrix eigenpairs, and subsection IV-C describes the eigenvector centrality method which depends directly on the adjacency matrix primary eigenvector. Throughout this section graphs are assumed to be simple, unweighted, and directed.

A. A High Order Metric

A basic concept in social network analysis is vertex centrality. As its name suggests, it identifies influential individuals in a particular network in two distinct yet parallel senses. From a structural viewpoint the centrality of a given vertex v_k quantifies its contribution to graph connectivity. Alternatively, from a spectral perspective centrality is a measure of information that v_k reveals about the graph.

Literature abounds with vertex centrality metrics. Historically among the first ones was Katz centrality model [8]. It is worth mentioning that most known successful centrality metrics, either structural or spectral, rely heavily on the connectivity properties not only of the vertices under consideration but also on the connectivity properties of their neighbors at various distances. The families of algorithms in subsequent subsections illustrate this point.

A direct consequence is that graphs contain information of inherently high order, in terms of edges that need to be crossed, partly at least due to their distributed and connection-oriented nature. Therefore, graph processing should be of analogous nature, if useful information is to be extracted from a graph.

A manifestation of higher order graph nature in the particular yet significant case of vertex centrality is that degree centrality, a first order metric, identifies only some of the important vertices and its success depends on the topology of the graph under consideration [16][3]. On the contrary, the number of closed triangles and the number of open ones a given vertex participates to, both third order metrics, combine to yield clustering coefficient, a reliable centrality indicator [17][26]. For undirected graphs, a closed triangle is one where all three edges exist between its three vertices, in other words an instance of K_3, whereas in an open triangle any of these three edges is absent. These notions generalize in more than one ways for directed graphs. From the viewpoint of higher order processing, the above make perfect senese.

B. Power Series Centrality

A broad class of vertex centrality metrics which take into account the higher order nature employ the fact that by its very definition the adjacency matrix is square, hinting to the possibility of building matrix power series [7]. Computationally, if $\mathbf{A}$ denotes the adjacency matrix of a any given graph, then the first step is to select a member of the power series family

$$\gamma_0\mathbf{I}+\gamma_1\mathbf{A}+\gamma_2\mathbf{A}^2+\gamma_3\mathbf{A}^3+\ldots \;=\; \sum_{k=0}^{+\infty}\gamma_k\mathbf{A}^k \;=\; f(\mathbf{A}) \quad (1)$$

Then the centrality of v_k is defined as the k-th diagonal element of $f(\mathbf{A})$. The rationale behind this approach is that the k-th diagonal element of $\mathbf{A}^\ell$ is the number of closed paths of length ℓ originating from v_k. In general $\mathbf{A}^\ell[i,j]$ contains the number of paths of length ℓ from v_i to v_j. Thus progressive powers of $\mathbf{A}$ codify concisely the number of paths of various lengths without having actually to traverse these paths in the actual stored graph. Although matrix multiplication is by no means a cheap operation especially for large graphs, $\mathbf{A}$ can be and most often is sparse and this sparsity is to be taken advantage of [12].

Obviously, different choices of coefficients $\{\gamma_k\}$ in equation (1) essentially assign different weights to yield a different centrality measure. However, notice that the convergence of 1 to a matrix function does not depend on $\{\gamma_k\}$ alone but also on the eigenpairs of $\mathbf{A}$. To see why, let us consider the case where the geometric and the algebraic multiplicity of each of the eigenvalues of $\mathbf{A}$ coincide. Then, the spectral eigendecomposition of $\mathbf{A}$ is

$$\mathbf{A} \;=\; \mathbf{U}\,\mathbf{\Lambda}\,\mathbf{U}^H \quad (2)$$

where matrix $\mathbf{U}$ is unitary and contains the eigenvectors of $\mathbf{A}$ while $\mathbf{\Lambda}$ is diagonal containing the corresponding and possibly distinct eigenvalues of $\mathbf{A}$. It is easy to verify, assuming function f is analytic, that

$$f(\mathbf{A}) \;=\; \mathbf{U}\,f(\mathbf{\Lambda})\,\mathbf{U}^H \quad (3)$$

where $f(\mathbf{\Lambda})$ denotes that function f is now applied to each of the eigenvalues of $\mathbf{A}$ separately resulting in a new diagonal matrix containing the transformed spectrum.

The role of spectrum to series convergence is illustrated in the Neumann metric defined as

$$\mathbf{W}_n \triangleq \mathbf{I}+\mathbf{A}+\mathbf{A}^2+\ldots \;=\; \sum_{k=0}^{+\infty}\mathbf{A}^k \;=\; (\mathbf{I}-\mathbf{A})^{-1} \quad (4)$$

since (4) converges if and only if the spectral radius of $\mathbf{A}$ is strictly less than one. Note that this is a strict requirement placed on $\mathbf{A}$.

On the other hand, the Estrada index [7] is based on the series

$$\mathbf{W}_e \triangleq \mathbf{I}+\mathbf{A}+\frac{1}{2!}\mathbf{A}^2+\frac{1}{3!}\mathbf{A}^3+\ldots \;=\; \sum_{k=0}^{+\infty}\frac{1}{k!}\mathbf{A}^k \;=\; e^{\mathbf{A}} \quad (5)$$

which exists for every $\mathbf{A}$. $e^{\mathbf{A}}$ denotes the matrix exponential of $\mathbf{A}$. In this metric longer paths contribute little to vertex centrality because of the inverse factorial weight. In practice $e^{\mathbf{A}}$ is not computed through (5) as power series are expensive and rather inaccurate in this sort of computations [18]. A viable approach for matrix exponentials relies on the property

$$e^{\mathbf{A}t} \;=\; \mathcal{L}^{-1}\left[(s\mathbf{I}-\mathbf{A})^{-1}\right] \quad (6)$$

where $\mathcal{L}^{-1}[\cdot]$ denotes the inverse Laplace transform.

In a similar manner, the Estrada centrality can be modified in order to exclude the effect of even sized closed paths yielding

$$\mathbf{W}_s \triangleq \mathbf{A}+\frac{1}{3}\mathbf{A}^3+\ldots \;=\; \sum_{k=0}^{+\infty}\left(\frac{1}{2k+1}\right)\mathbf{A}^{2k+1} \;=\; \sinh(\mathbf{A}) \quad (7)$$

which is known as the odd Estrada centrality. The grounds for ignoring even lengths are that they mostly contain multiple crossings of a single edge. Similar to series (5), (7) always

converges to matrix hyperbolic sinus.

The Mercator centrality moves a step further and assigns negative weights to the paths of even length, leading to

$$\mathbf{W}_m \triangleq \mathbf{A} - \frac{1}{2}\mathbf{A}^2 + \frac{1}{3}\mathbf{A}^3 - \ldots = \sum_{k=1}^{+\infty} \frac{(-1)^k}{k}\mathbf{A}^k = \ln(\mathbf{A}+\mathbf{I}) \tag{8}$$

Finally, a more general vertex centrality metric relies on the matrix power series

$$\mathbf{W}_r \triangleq \mathbf{I} + z\mathbf{A} + z^2\mathbf{A}^2 + \ldots = \sum_{k=0}^{+\infty} (z\mathbf{A})^k = (\mathbf{I} - z\mathbf{A})^{-1} \tag{9}$$

yielding the resolvent centrality. In (9) $z \in \mathbb{C}$.

C. Eigenvector and Gell-point Centrality

Another common vertex centrality metric whose success highlights the high order nature of graphs is eigenvector centrality. As its name suggests, it is based on the computation of the adjacency matrix primary eigenvector $\underline{\mathbf{g}}_1$, namely the eigenvector corresponding to the largest eigenvalue. Then, $\underline{\mathbf{g}}_1[k]$ is assigned as a centrality indicator to vertex v_k and sorting $\underline{\mathbf{g}}_1$ in descending order provides a vertex ranking [15]. It is of interest to notice that, according to empirical studies [12][4], the components of $\underline{\mathbf{g}}_1$ follow a Zipf law.

Power method is a straightforward way of generating a sequence $\langle \underline{\mathbf{g}}^{[k]} \rangle$ whose limit under mild conditions is the principal eigenvector $\underline{\mathbf{g}}_1$ of $\mathbf{A}$. As algorithm 1 illustrates, it is an iterative method requiring only the matrix-vector multiplication $\mathbf{A}\underline{\mathbf{g}}_1$ at step 4 in each iteration. Therefore, it belongs to the class of matrix free algorithms, meaning that the explicit matrix-vector product can be replaced by a function computing it indirectly. This is attractive both from computational and memory view as matrices representing social graphs are sparse [10]. Notice that the distribution used

Algorithm 1 Power method

Require: Valid adjacency matrix $\mathbf{A}$.
Require: Positive threshold τ_0.
Ensure: $\underline{\mathbf{g}}^{[k]}$ is a principal eigenvector approximation.

1: Initialize $\underline{\mathbf{g}}^{[0]}$ with random values.
2: $k \leftarrow 1$
3: **repeat**
4: $\quad \underline{\mathbf{g}}^{[k]} \leftarrow \mathbf{A}\underline{\mathbf{g}}^{[k-1]} \,/\, \left\|\mathbf{A}\underline{\mathbf{g}}^{[k-1]}\right\|_1$
5: $\quad k \leftarrow k+1$
6: **until** $\left\|\underline{\mathbf{g}}^{[k]} - \underline{\mathbf{g}}^{[k-1]}\right\|_1 \leq \tau_0$
7: **return** $\underline{\mathbf{g}}^{[k]}$

in step 1 of algorithm (1) is irrelevant as eventually the vector sequence $\langle \underline{\mathbf{g}}^{[k]} \rangle$ converges to $\underline{\mathbf{g}}_1$, provided that $\underline{\mathbf{g}}^{[0]}$ contains a component of $\underline{\mathbf{g}}_1$. Norm selection is also a matter of choice since $\|\cdot\|_1$, $\|\cdot\|_2$, and $\|\cdot\|_\infty$ are equivalent in $\mathbb{R}^n$ in the sense that for any vector $\underline{\mathbf{w}} \in \mathbb{R}^n$ and for any dimension n there are fixed constants η_0 and η_1 independent of $\underline{\mathbf{w}}$ such that

$$\eta_0 \|\underline{\mathbf{w}}\|_X \leq \|\underline{\mathbf{w}}\|_Y \leq \eta_1 \|\underline{\mathbf{w}}\|_X \quad X, Y \in \{1, 2, \infty\} \tag{10}$$

Gell-point centrality can be thought of as a concept analogous to eigenvalue centrality for directed graphs. Indeed, it is based in a simple manner on both the primary $\underline{\mathbf{g}}_1$ and the left primary $\underline{\mathbf{q}}_1$ eigenvectors of $\mathbf{A}$ [25], ie the primary eigenvectors of $\mathbf{A}$ and $\mathbf{A}^T$. Contrary to symmetric adjacency matrices, a nonsymmetric one in the general case has complex spectrum and the left eigenvectors do not coincide with their right counterparts.

Once $\underline{\mathbf{g}}_1$ and $\underline{\mathbf{q}}_1$ are computed, the elementwise product

$$\underline{\mathbf{w}} = \sqrt[\odot]{\underline{\mathbf{g}}_1 \odot \underline{\mathbf{q}}_1} \tag{11}$$

is formed and in a similar manner to eigenvalue centrality $\underline{\mathbf{w}}[k]$ is used as the score of v_k. The square root is also applied elementwise. Ranking then is a simple issue of ordering scores in descending order. According to Perron-Frobenius theorem, since $\mathbf{A}$ is a nonnegative matrix, $\underline{\mathbf{g}}_1$ and $\underline{\mathbf{q}}_1$ can be nonnegative too.

V. Experiments

A. Datasets

Table II summarizes some basic information regarding the dataset used in this paper, namely the anonymized Facebook egonet collection from [24]. It is undirected, so that the primary eigenvector can be used as a centrality indicator, and of average size, three orders of magnitude smaller compared to real, large scale graphs. In table II density is the ratio of edges to vertices, an approximation to the average degree, and completeness is the ratio of the edges to the number of edges of K_n, where n is the number of vertices.

Feature	Yeast
Type	Undirected
Vertices	4039
Edges	88234
Density	21.3127
Completeness	0.0108
Triangles	1612010

TABLE II
Overview of the dataset.

B. Results

Figure 1 shows the scree plot of the primary eigenvector components, groupped in ten bins. This eigenvector has been computed entirely in Java and it has been compared to the results obtained by the MatLab function `eig`. The vertex rankings were the same and this demonstrates the capability of integrating at least some graph analytics at the application level.

In a similar manner, figure 2 shows the logarithmic scree plot of primary eigenvector components as well as the ideal line connecting the ends of the log scree plot. The rationale behind that is that in log scale a power law becomes a linear relationship.

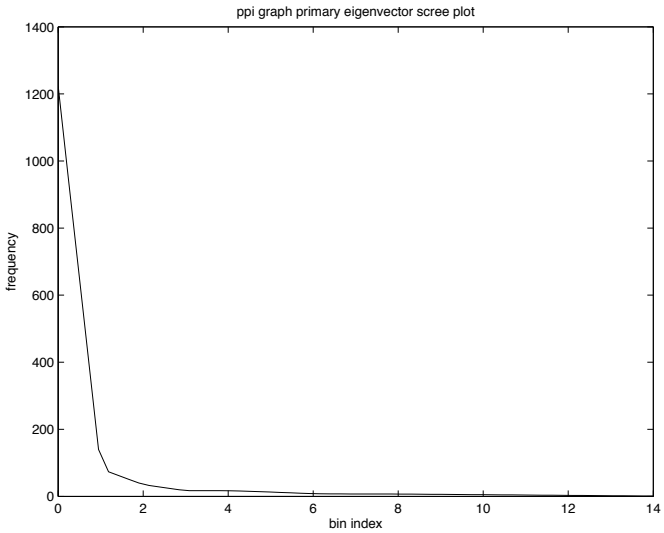


Fig. 1. Scree plot

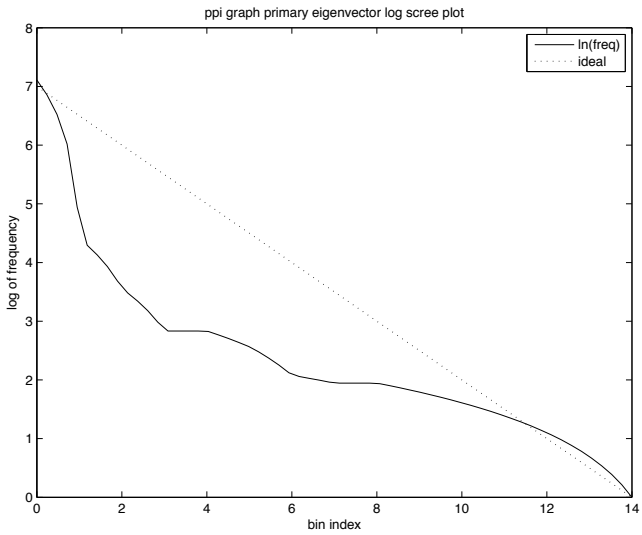


Fig. 2. Logarithmic scree plot

VI. Conclusions and Future Work

This paper presented the Java implementation utilizing the Neo4j low level API in the NetBeans environment of the eigenvector centrality metric for undirected graphs using the power method. The anonymized Facebook egonet collection from SNAP [24] has been used to verify the correctness of the proposed implementation. The rankings computed by the Java code have been compared to those produced by MatLab and no mismatches have been found. The time required in Java was within reasonable bounds, implying that for medium size graphs at least some analytics can be computed at the application level, offering a first insight to the final user without the need for external applications. Notice that this approach can be used in graphs from other fields.

Research on efficient graph tools remains to be done. One possible research path at the system level lies in the direction of combining a graph database with a streaming system. Thus the underlying graph would need to be updated in almost real time. In turn graph analytics would have to take this fact into account and adjust accordingly, perhaps sacrificng a degree of accuracy in favor of speed. Such scenaria are expected to be commonplace in the emerging IoT.

Graph modeling is another aspect of current analysis strategies. In situations where real graphs are inacessible, synthetic ones are employed in their place. Synthetic graphs obey certain laws that their real counterparts do, in the sense that they have similar structural and spectral characteristics [12]. Structural models include the Aiello family [1], while spectral models include the Kronecker model [11]. A suit of synthetic graph generators could be a useful part of Neo4j API.

One last possible research alternative would be to extend existing graph analytics and graph models to fuzzy graphs. In a fuzzy graph edges exist with a certain probability, paving the way for new definitions of path length and, consequently, of vertex centrality. Very recently a fuzzy version of Cypher has been developed based on a fuzzy alebra for graph querying [20], indicating research interest towards this direction.

References

[1] W. Aiello, F. Chung, and L. Lu. A random graph model for massive graphs. In *Proceedings of the Thirty-second Annual ACM Symposium on Theory of Computing*, STOC '00, pages 171–180, New York, NY, USA, 2000. ACM.

[2] G. Antoniou. *A semantic web primer*. The MIT Press, 2004.

[3] M. Benzi and P. Boito. Quadrature rule-based bounds for functions of adjacency matrices. *Linear Algebra and its Applications*, 433(3):637–652, 2010.

[4] Z. Bi, C. Faloutsos, and F. Korn. The "dgx" distribution for mining massive, skewed data. In *Proceedings of the Seventh ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, KDD '01, pages 17–26, New York, NY, USA, 2001. ACM.

[5] E. F. Codd. Relational database: A practical foundation for productivity. In *Turing award lectures*. ACM, November 1981.

[6] M. Erwig. Fully persistent graphs: Which one to choose? In C. Clack, K. Hammond, and T. Davie, editors, *Implementation of Functional Languages*, volume 1467 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 123–140. Springer Berlin Heidelberg, 1998.

[7] E. Estrada and D. J. Higham. Network properties revealed through matrix functions. *SIAM Rev.*, 52(4):696–714, Nov. 2010.

[8] L. Katz. A new status index derived from sociometric analysis. *Psychometrika*, 18(1):39–43, March 1953.

[9] S. Kontopoulos and G. Drakopoulos. A space efficient scheme for graph representation. In *Proceedings of the 26th International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, ICTAI 2014, pages 299–303. IEEE, November 2014.

[10] J. Leskovec. Social media analytics: Tracking, modeling and predicting the flow of information through networks. In *Proceedings of the 20th International Conference Companion on World Wide Web*, WWW '11, pages 277–278, New York, NY, USA, 2011. ACM.

[11] J. Leskovec, D. Chakrabarti, J. Kleinberg, C. Faloutsos, and Z. Ghahramani. Kronecker graphs: An approach to modeling networks. *J. Mach. Learn. Res.*, 11:985–1042, Mar. 2010.

[12] J. Leskovec, J. Kleinberg, and C. Faloutsos. Graphs over time: densification laws, shrinking diameters and possible explanations. In *Proceedings of the eleventh ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery in data mining*, KDD05, pages 177–187, New York, NY, USA, 2005. ACM.

[13] Y. Low, J. Gonzalez, A. Kyrola, D. Bickson, C. Guestrin, and J. M. Hellerstein. GraphLab: A new parallel framework for machine learning. In *Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI)*, Catalina Island, California, July 2010.

[14] G. Malewicz, M. H. Austern, A. J. Bik, J. C. Dehnert, I. Horn, N. Leiser, and G. Czajkowski. Pregel: a system for large-scale graph processing. In *Proceedings of the 2010 ACM SIGMOD International Conference on Management of data*, SIGMOD '10, pages 135–146, New York, NY, USA, 2010. ACM.

[15] F. D. Malliaros and V. Megalooikonomou. Expansion properties of large social graphs. In *Proceedings of the 16th international conference on Database systems for advanced applications*, pages 311–322. Springer, 2011.

[16] F. D. Malliaros, V. Megalooikonomou, and C. Faloutsos. Estimating robustness in large social graphs. *Knowledge and Information Systems: An International Journal*.

[17] F. D. Malliaros, V. Megalooikonomou, and C. Faloutsos. Fast robustness estimation in large social graphs: Communities and anomaly detection. In *Proceedings of the SIAM International Conference on Data Mining*, 2012.

[18] C. Moler and C. V. Loan. Nineteen dubious ways to compute the exponential of a matrix. *SIAM Review*, 20:801–836, 1978.

[19] Onofrio Panzarino. *Learning Cypher*. PACKT publishing, May 2014.

[20] O. Pivert, V. Thion, H. Jaudoin, and G. Smits. On a fuzzy algebra for querying graph databases. In *Proceedings of the 26th International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, ICTAI 2014, pages 748–755. IEEE, November 2014.

[21] I. Robinson, J. Webber, and E. Eifrem. *Graph Databases*. O'Reilly, June 2013.

[22] M. A. Russell. *Mining the social web: Analyzing data from Facebook, Twitter, LinkedIn, and other social media sites*. O'Reilly, 2nd edition, October 2013.

[23] N. Shadbolt, W. Hall, and T. Berners-Lee. The semantic web revisited. *Intelligent Systems, IEEE*, 21(3):96–101, 2006.

[24] SNAP, February 2015.

[25] H. Tong, B. A. Prakash, T. Eliassi-Rad, M. Faloutsos, and C. Faloutsos. Gelling and melting large graphs by edge manipulation. In *Proceedings of the 21st ACM international conference on Information and knowledge management*, CIKM12, pages 245–254, New York, NY, USA, 2012. ACM.

[26] C. E. Tsourakakis. Fast counting of triangles in large real networks without counting: Algorithms and laws. In *ICDM*, pages 608–617, 2008.

Συναισθηματική Ανάλυση Ελληνικών Tweets και Hashtags με χρήση Λεξικού Συναισθημάτων

Δημήτριος Μάλλης, Γεώργιος Καλαματιανός, Δημήτριος Νικολαράς, Αυγερινός Αραμπατζής
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Πολυτεχνική Σχολή, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Ξάνθη 67 100, Ελλάδα
dimimall1@ee.duth.gr, georkala3@ee.duth.gr, diminiko4@ee.duth.gr, avi@ee.duth.gr

***Abstract*—Η ραγδαία ανάπτυξη των μέσων κοινωνικής δικτύωσης έχει καταστήσει την εξόρυξη απόψεων και συναισθημάτων των χρηστών (opinion and sentiment mining) ένα καινούργιο και σημαντικό πεδίο έρευνας της εποχής μας. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας ασχοληθήκαμε με την πλατφόρμα microblogging Twitter με σκοπό να εξάγουμε την διάθεση χρηστών ως προς διάφορες θεματικές κατηγορίες (hashtags). Η εξαγωγή του συναισθήματος των χρηστών γίνεται με χρήση ελληνικού sentiment lexicon. Η διαδικασία που προτείνουμε είναι ικανή να εντοπίσει το επικρατέστερο συναίσθημα των χρηστών και να εξάγει συμπεράσματα για την διάθεση τους στις θεματικές κατηγορίες που εξετάζονται , τόσο συνολικά όσο και για διακριτά χρονικά διαστήματα.**

Index Terms*— *Εξόρυξη Συναισθήματος, Κοινωνικά Δίκτυα, Twitter, Λεξικό Συναισθημάτων, Εξόρυξη Άποψης

I. Εισαγωγη

Η διάθεση των ανθρώπων ως προς διάφορα ζητήματα ενδιαφέροντος αποτελεί σημαντική πληροφορία τόσο ως προς τις κοινωνικές όσο και ως προς τις πολιτικοοικονομικές της προεκτάσεις. Οι παραδοσιακές μέθοδοι εκτίμησης άποψης ή/και συναισθήματος περιλαμβάνουν μη αυτοματοποιημένη αξιολόγηση δεδομένων από διάφορες πηγές όπως δημοσκοπήσεις, έρευνες κ.α., διαδικασίες οι οποίες είναι χρονοβόρες και δεν δίνουν άμεσα αποτελέσματα. Κατά συνέπεια, είναι υπαρκτή η ανάγκη αυτοματοποιημένων λύσεων στο παραπάνω πρόβλημα. Η έξαρση χρήσης των κοινωνικών δικτύων στο Διαδίκτυο καθιστά τον τομέα της αυτόματης εξαγωγής συναισθήματος έναν σημαντικό και αναπτυσσόμενο κλάδο της εξόρυξης και ανάκτησης πληροφορίας.

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μαθήματος Προχωρημένα Θέματα Βάσεων Δεδομένων, 2014-2015, του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης. Οι συντάκτες είναι οι:

Μάλλης Δημήτριος, Καλαματιανός Γεώργιος και Νικολαράς Δημήτριος, προπτυχιακοί φοιτητές του τμήματος Ηλεκτρολόγων μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης.

Αραμπατζής Αυγερινός, Επίκουρος Καθηγητής του τμήματος Ηλεκτρολόγων μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης, και διδάσκοντας του μαθήματος Προχωρημένα Θέματα Βάσεων Δεδομένων στα πλαίσια του οποίου υλοποιήθηκε η εργασία.

Μια κλασσική προσέγγιση στο πρόβλημα της εξαγωγής συναισθήματος αποτελεί το “affective text”, δηλαδή η ανάλυση του συναισθηματικού περιεχομένου λέξεων και τμημάτων κειμένου. Η λογική αυτή χρησιμοποιήθηκε στο SemEval-2007 [1] με σκοπό τον προσδιορισμό του συναισθήματος που προκαλούν στον αναγνώστη διάφοροι τίτλοι ειδήσεων. Μια πιο σύγχρονη προσέγγιση είναι το Latent Dirichlet Allocation (LDA) [2], το οποίο αποτελεί ένα θεματικό μοντέλο που επιχειρεί να εξάγει διαφορετικό συναίσθημα για κάθε λέξη ανάλογα με το συγκείμενο και το θεματικό πλαίσιο.

Ακολουθώντας τη λογική του “affective text”, σε αυτή την εργασία εξετάζονται δεδομένα κειμένου, που συλλέχθηκαν από την πλατφόρμα microblogging Twitter, ως προς το συναισθηματικό τους περιεχόμενο. Τα δεδομένα αυτά (στο εξής θα αναφέρονται ως tweets) είναι όλα στην ελληνική γλώσσα. Οι στόχοι μας είναι οι εξής:

- Η δημιουργία μιας μεθόδου η οποία βαθμολογεί συναισθηματικά τα ελληνικά tweets, για πολλαπλά είδη συναισθημάτων όπως θυμός, φόβος, χαρά, έκπληξη, κ.α.
- Η δημιουργία μιας μεθόδου για την συναισθηματική αξιολόγηση θεματικών κατηγοριών (hashtags), με χρήση των βαθμολογημένων tweets,
- Η ανάλυση της μεταβολής των συναισθημάτων που περιέχουν οι διάφορες κατηγορίες (hashtags) στο χρόνο.

Οι αξιολογήσεις των συναισθημάτων γίνονται με χρήση ελληνικού λεξικού συναισθημάτων (Greek Sentiment Lexicon) [3].

Η διαφοροποίηση μας από τις προϋπάρχουσες προσεγγίσεις έγκειται αρχικά στην χρήση της ελληνικής γλώσσας η οποία δεν έχει εξεταστεί μέχρι τώρα με παρόμοιες διαδικασίες εξόρυξης, τουλάχιστον στην βιβλιογραφία που εξετάσαμε. Ακόμα, η μέθοδος που προτείνεται είναι αρκετά απλή και αποδοτική κατά την εκτέλεση, γεγονός που την καθιστά εύκολα εφαρμόσιμη σε μεγάλες συλλογές δεδομένων. Τέλος, εξάγουμε γενικότερο συμπέρασμα για τον τρόπο που χρησιμοποιούν οι Έλληνες χρήστες το twitter και προσδιορίζουμε τα συναισθήματα που εκφράζουν συνηθέστερα μέσα από αυτό.

Στη συνέχεια της εργασίας ακολουθείται η παρακάτω δομή. Τα δεδομένα, οι πόροι που χρησιμοποιούνται και η μεθοδολογία αναλύονται στο μέρος II. Τα πειράματα και η εξαγωγή των αποτελεσμάτων παρουσιάζονται στο μέρος III. Στο μέρος IV συζητάμε διάφορες παρατηρήσεις που κάναμε κατά την εκτέλεση των πειραμάτων. Τέλος, παρουσιάζουμε τα συμπεράσματα και τις προτάσεις μας για περαιτέρω έρευνα στο μέρος V.

II. Συναισθηματικη Αναλυση Tweets και Hashtags

A. Συλλογή Δεδομένων

Για τη συλλογή των δεδομένων έγινε χρήση του Streaming API του Twitter μέσω της γλώσσας προγραμματισμού Python. Η τακτική που ακολουθήθηκε ήταν η σε βάθος αναζήτηση του social graph του twitter (Depth First Search). Ξεκινώντας από έναν αυθαίρετα ορισμένο χρήστη, επιλέξαμε να χτίσουμε μια λίστα χρηστών προς αναζήτηση, τοποθετώντας σε αυτή τους χρήστες που ακολουθούν ("followers") τον πρώτο χρήστη. Στη συνέχεια εξετάσαμε επαναληπτικά τους χρήστες που περιέχονται στην λίστα, συλλέγοντας τα tweets τους αλλά και τα ids των followers τους, ώστε να εξεταστούν στο μέλλον. Μερικές παρατηρήσεις είναι:

1. Η επιλογή των "followers" αντί των "following" χρηστών, έγινε με σκοπό να αποφευχθεί, όσο είναι δυνατόν, η συχνή ανάκτηση δημοσίων προσώπων οι οποίοι ακολουθούνται ("followed") από μεγάλο αριθμό χρηστών.
2. Στη λίστα αναζήτησης προστίθενται μόνο followers χρηστών με ελληνικούς χαρακτήρες στα tweets τους, ώστε να περιορίσουμε όσο το δυνατόν την αναζήτηση μας σε Έλληνες χρήστες.
3. Δεν προσθέτουμε στη λίστα προς αναζήτηση τους followers όλων των χρηστών που εξετάζονται. Αφενός γιατί το πλήθος των χρηστών είναι πολύ μεγάλο και το μέγεθος της λίστας θα αυξανόταν σημαντικά. Αφετέρου γιατί οδηγεί σε παραπάνω αχρείαστα αιτήματα στο API του twitter, το οποίο έχει περιορισμό σε 180 αιτήματα ανά 15 λεπτά από κάθε εφαρμογή.
4. Τα tweets που ανακτήθηκαν περιείχαν ελληνικούς χαρακτήρες του Unicode.
5. Η συλλογή των δεδομένων διήρκεσε μεγάλο χρονικό διάστημα λόγω πάλι του περιορισμού του API. Από κάθε χρήστη που εξετάστηκε ανακτήθηκαν τα τελευταία 200 tweets αλλά και η χρονική στιγμή που πραγματοποιήθηκε το καθένα από αυτά.

Στο Table I παρουσιάζονται στατιστικά της συλλογής των tweets που δημιουργήθηκε και στο Figure 1 το «σύννεφο» με τα 100 πιο δημοφιλή hashtags όπου τα πιο συχνά-εμφανιζόμενα hashtags εμφανίζονται με μεγαλύτερη γραμματοσειρά. Το Figure 2 δίνει την κατανομή των tweets που συλλέχθηκαν ανά μέρα.

TABLE I
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ DATASET

Μέγεθος Dataset	832.1 MB
Αριθμός Tweets	4,373,197
Αριθμός Χρηστών	30,778
Αριθμός Hashtags	54,354
Hashtags με >1000 tweets	41
Χρονικό Διάστημα	24-04-2008 εώς 29-11-2014

Figure 1. Τα 100 πιο δημοφιλή Hashtags

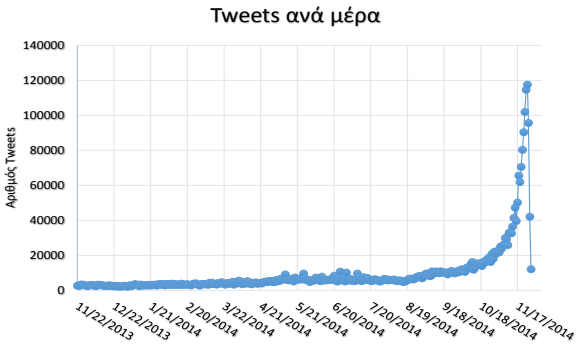


Figure 2. Tweets ανά ημέρα

B. Λεξικό Συναισθημάτων

Το λεξικό συναισθημάτων που χρησιμοποιήθηκε είναι το Greek Sentiment Lexicon [2], το οποίο περιέχει 2,315 λήμματα αξιολογημένα κατά τα εξής έξι συναισθήματα: anger (θυμός), disgust (απέχθεια), fear (φόβος), happiness (χαρά), sadness (λύπη), surprise (έκπληξη).

Το λεξικό περιλαμβάνει συναισθηματική αξιολόγηση των λημμάτων από τέσσερεις ανεξάρτητους βαθμολογητές. Είναι σαφές ότι το συναίσθημα που αντιλαμβάνεται κάποιος για μια λέξη είναι υποκειμενικό. Στην εργασία αυτή επιλέχθηκε ο μέσος όρος των τεσσάρων βαθμολογιών ώστε να προκύψουν οι τελικές βαθμολογίες κάθε λήμματος.

Στο λεξικό περιέχονται ακόμα κάποιες γλωσσολογικές πληροφορίες που αφορούν τα λήμματα ,όπως μέρος του λόγου, αντικειμενικότητα της κάθε λέξης όπως αξιολογήθηκε

από τον κάθε βαθμολογητή, ενώ περιέχεται ένα ακόμα πεδίο με σχόλια που διευκρινίζουν την χρήση του όρου. Οι παραπάνω πληροφορίες δεν λάβαμε υπόψιν στην παρούσα εργασία.

C. Προεπεξεργασία Δεδομένων

Η προεπεξεργασία των δεδομένων έγινε με χρήση Hadoop [5] και της προγραμματιστικής τεχνικής MapReduce [6], λόγω του μεγάλου όγκου των δεδομένων. Συγκεκριμένα:

- Χωρίσαμε τα tweets σε αρχεία ανάλογα με το hashtag που τα περιγράφει. Ακόμα ενώσαμε παρόμοια hashtags αφαιρώντας μη αλφαριθμητικούς χαρακτήρες και κάνοντας τα κεφαλαία γράμματα πεζά. Για παράδειγμα το hashtag #wcgr14 και #WCgr14 ομαδοποιήθηκαν στην ίδια κατηγορία. Επιλέξαμε να εξετάσουμε μόνο τα hashtags που εμφανίζονται σε πάνω από 1000 tweets, ώστε να έχουμε αρκετά δεδομένα προς αξιολόγηση σε κάθε θεματική κατηγορία. Λόγω της συνήθης πρακτικής των χρηστών του twitter να χρησιμοποιούν μεγάλο πλήθος hastags στα tweets τους, ένα tweet μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε παραπάνω από ένα hashtags. Ακόμα επιλέξαμε να κρατήσουμε και τις αναδημοσιεύσεις tweets από άλλους χρήστες εφόσον θεωρήσαμε ότι συμφωνούν με το συναίσθημα που εκφράζουν χρήστες αυτοί.
- Αφαιρέσαμε από τα tweets λέξεις από μια λίστα 627 ελληνικών stop-words, για μείωση του χώρου και υπολογιστικού φόρτου.
- Αντικαταστήσαμε τους τονισμένους χαρακτήρες με τους αντίστοιχους μη τονισμένους, και κάναμε κεφαλαία τα γράμματα για να έχουν την ίδια μορφοποίηση με το λεξικό και με τον stemmer που χρησιμοποιήθηκε (στο επόμενο βήμα).
- Εφαρμόσαμε τόσο στα δεδομένα όσο και στο λεξικό έναν ελληνικό stemmer [4] για να αυξήσουμε την αντιστοίχιση σε ομόριζες λέξεις.

D. Μεθοδολογία Συναισθηματικής Αξιολόγησης Tweet

Για κάθε λήμμα του λεξικού που εντοπίζεται σε ένα συγκεκριμένο tweet, δημιουργούμε ένα διάνυσμα $\overrightarrow{W}$ με 6 συνιστώσες, μία για κάθε ένα από τα συναισθήματα που μελετάμε. Τελικά έχουμε N διανύσματα $\overline{W_j}$

$$\overline{W_j} = [\mathrm{w}_{1_j} \quad \mathrm{w}_{2_j} \quad \mathrm{w}_{3_j} \quad \mathrm{w}_{4_j} \quad \mathrm{w}_{5_j} \quad \mathrm{w}_{6_j}]$$

όπου $\mathrm{j} = 1 \ldots \mathrm{N}$ και N είναι το πλήθος λέξεων που εντοπίζονται στο tweet.

Στη συνέχεια εξάγουμε ένα διάνυσμα 6 συνιστωσών $\overrightarrow{T}$

$$\overline{T} = [t_1 \quad t_2 \quad t_3 \quad t_4 \quad t_5 \quad t_6]$$

όπου κάθε συνιστώσα προκύπτει από την σχέση

$$t_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{N} w_{i_j}^2}{N}} \qquad i = 1 \ldots 6 \qquad (1)$$

με i να αποτελεί το πλήθος των συνιστωσών του $\overline{T}$. Η σχέση (1) είναι ο τετραγωνικός μέσος (quadratic mean) των λημμάτων $\overrightarrow{W}$ που εντοπίστηκαν σε κάθε tweet. Ο μέσος αυτός επιλέχθηκε αντί του απλού αριθμητικού μέσου, λόγω της ιδιότητας του να δίνει μεγαλύτερες τιμές για περιπτώσεις συνιστωσών με μεγάλη διασπορά. Με αυτόν τον τρόπο πετυχαίνει να αναδεικνύει τα λήμματα που έχουν υψηλή τιμή σε κάποια από τις συνιστώσες τους.

E. Μεθοδολογία Συναισθηματικής Αξιολόγησης Hashtags

Στη συνέχεια συνδυάσαμε τα διανύσματα των tweets t_j κάθε hashtag $\overrightarrow{H}$,

$$\overline{H} = [h_1 \quad h_2 \quad h_3 \quad h_4 \quad h_5 \quad h_6]$$

πάλι με τον quadratic mean, ώστε να εξάγουμε τελικό συμπέρασμα για κάθε κατηγορία.

$$h_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{M} t_{i_j}^2}{M}} \qquad i = 1 \ldots 6 \qquad (2)$$

και M είναι το πλήθος των tweets που εντοπίστηκαν να περιέχουν συναίσθημα για κάθε hashtag.

F. Μεθοδολογία Μέτρησης της Συναισθηματικής Μεταβολής Hashtag στον Χρόνο

Σε κάθε ένα από τα αρχεία hashtag που επιλέξαμε να μελετήσουμε, ταξινομήσαμε αρχικά τα περιεχόμενα τους κατά αύξοντα χρόνο.

Στην συνέχεια, τηρώντας διαστήματα μίας ημέρας υπολογίσαμε το μέσο συναίσθημα για εκείνη την ημέρα σύμφωνα με την διαδικασία που περιγράφεται στην προηγούμενη ενότητα.

Εξετάσαμε μόνο τα αποτελέσματα των ημερών που συγκέντρωναν αριθμό tweets μεγαλύτερο του 60, κρίνοντας ότι ημέρες με λιγότερα από 60 tweets ανά hashtag θα εισήγαν θόρυβο στο συνολικό χρονοδιάγραμμα.

III. ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ

A. Συναισθήματα Μεμονωμένων Tweets

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η επίδοση του αλγόριθμου σε συγκεκριμένα tweets ώστε να γίνει καλύτερα αντιληπτή η λειτουργία του σε μικρή κλίμακα.

***#kalokairipantou**: Καλημέρα αγαπημένοι μου! Μου λείψατε εχθές... Ετοιμαζόμαστε για το #KalokairiPantou και σας ταξιδεύουμε στους Παξούς.*

***# panellinies2014**: προτιμω να χαραμισω τα μορια μου παρα τη ζωη μου #panellinies2014 #apotelesmata*

***#vouli**: Πεστε την αληθεια εκει στην #vouli κανετε ψηφοφοριες για να σχολιαζουμε εμεις.*

***#eurovisiongr**: Καλημέρα..... Καλή εβδομάδα.... Πάλι δουλειά... Αλλά... Το βράδυ έχει party... #madtv #eurovisiongr #eurosong*

Figure 3. Παραδείγματα tweets

Η βαθμολόγηση όπως προέκυψε για τα παραπάνω τέσσερα tweets δίνεται στον Πίνακα ΙΙ.

TABLE II
ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

#	Anger	Disgust	Fear	Happiness	Sadness	Surprise
1	1.00	1.00	1.00	4.75	1.00	2.75
2	3.50	3.50	1.00	1.00	1.00	2.50
3	2.58	2.00	0.79	0.79	0.95	1.63
4	1.00	1.00	1.00	3.75	1.00	2.50

Βλέπουμε ότι ο αλγόριθμος είναι ικανός να εντοπίσει την διάθεση του χρήστη στις παραπάνω περιπτώσεις. Για το πρώτο και τέταρτο tweet έχει εξάγει πιο έντονο συναίσθημα χαράς, ενώ για το δεύτερο και τρίτο tweet συναίσθημα θυμού και απέχθειας, αποτελέσματα το οποία συμβαδίζουν με την κοινή αντίληψη.

B. Συναισθήματα των Hashtags

Στον Πίνακα ΙΙΙ παρουσιάζονται συνολικά αποτελέσματα για κάποιες από τις θεματικές κατηγορίες που εξετάστηκαν.

TABLE III
ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ HASHTAGS

#	Anger	Disgust	Fear	Happi-ness	Sadness	Surprise
#wc14gr	1.3910	1.2862	0.9512	1.3604	0.8412	1.4552
#ekloges14	1.1627	1.1676	0.8180	1.1456	0.7219	1.2885
#kalokairipantou	0.7930	0.9158	0.7739	2.1856	0.7570	2.1084
#skouries	1.0608	1.0460	0.9399	1.0603	0.7337	1.1197
#panellinies2014	1.3900	1.3374	0.9810	1.4521	0.8153	1.4659
#vouli	1.3040	1.2608	0.7832	1.1767	0.7419	1.3122
#ert	1.0892	1.0757	0.8065	1.0242	0.6694	1.1292
#mb14gr	1.3948	1.2742	0.9510	1.3451	0.8041	1.4225
#eurovisiongr	1.3464	1.2957	0.7933	1.3533	0.7599	1.4092
#enikos	1.3189	1.2866	0.8195	1.1918	0.7616	1.3551

Παρατηρούμε ότι ο αλγόριθμος που κατασκευάστηκε είναι ικανός να βγάλει συμπέρασμα ως προς το συναισθηματικό περιεχόμενο των θεματικών κατηγοριών που πάλι ανταποκρίνεται στη διαίσθηση μας. Πράγματι, οι κατηγορίες όπως Παγκόσμιο Κύπελλο Ποδοσφαίρου (#wc14gr), Καλοκαίρι Παντού (#kalokairipantou) και Eurovision (#eurovisiongr) εξάγουν ένα συναίσθημα χαράς, σε αντίθεση με πολιτικά ζητήματα όπως η βουλή (#vouli), το κλείσιμο της ΕΡΤ (#ert) και το ζήτημα στις Σκουριές (#skouries), όπου μεγαλύτερη τιμή παίρνουν τα συναισθήματα του θυμού και της απέχθειας.
Συγκριτικά για τις διάφορες κατηγορίες μπορούμε να πούμε ακόμα, ότι το sadness και fear παίρνουν μεγάλες τιμές για το hashtag #panellinies2014, γεγονός που ταιριάζει στην συγκεκριμένη θεματική κατηγορία.

C. Μεταβολή Συναισθημάτων Hashtags στον Χρόνο

Στη συνέχεια εξάγουμε το συναίσθημα των χρηστών ως προς δύο χαρακτηριστικά hashtags, ανά χρονική περίοδο μίας μέρας. Παρακάτω παρουσιάζονται τα συνολικά αποτελέσματα για τις συνιστώσες της χαράς και του θυμού:

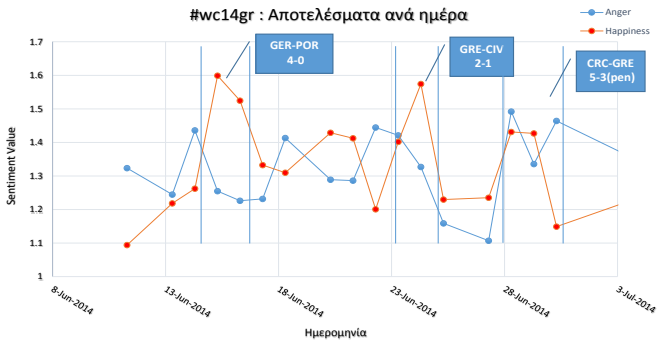


Figure 5. #wc14gr: Αποτελέσματα ανά ημέρα

Όσον αφορά στα πειράματα που εξετάζουν τα hashtags σε βάθος χρόνου, παρατηρούμε ότι είναι ικανά να εντοπίσουν κορυφές στις τιμές συναισθημάτων που μπορούν να συσχετιστούν με επίκαιρα γεγονότα. Για παράδειγμα, το θετικό αποτέλεσμα του αγώνα ποδοσφαίρου μεταξύ Ελλάδας και Ακτής Ελεφαντοστού συμπίπτει χρονικά με μεγάλες τιμές χαράς και μικρές τιμές θυμού. Ακόμα και το παιχνίδι ανάμεσα στην Γερμανία και την Πορτογαλία το οποίο συγκέντρωσε το ενδιαφέρον του ελληνικού κοινού εμφανίζει μεγάλες τιμές χαράς κάτι που γίνεται αντιληπτό όταν εξετάσει κάποιος τα

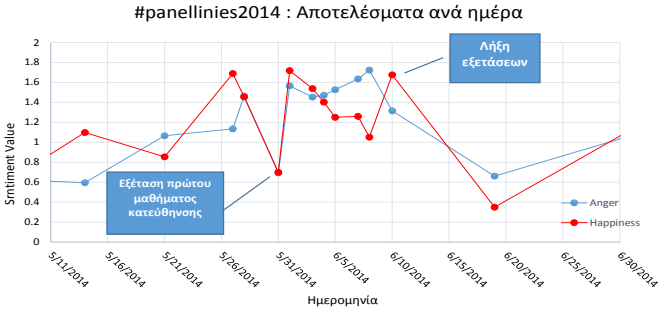


Figure 4. #panellinies2014: Αποτελέσματα ανά ημέρα

tweets που αναφέρονται σε αυτό.

Τέλος, στην περίπτωση των πανελληνίων εξετάσεων μπορούμε να εντοπίσουμε χαμηλές τιμές και στα δύο συναισθήματα που μετριούνται, πριν την εξέταση των---κατά κοινή ομολογία---δυσκολότερων μαθημάτων κατεύθυνσης, αλλά και υψηλές τιμές στο συναίσθημα της χαράς την ημέρα της λήξης των εξετάσεων.

IV. Παρατηρησεις

Κατά τη υλοποίηση της εργασίας αυτής έγιναν οι εξής παρατηρήσεις:

- Η προσέγγιση αυτή δεν είναι ικανή να αξιολογήσει tweets που περιέχουν ειρωνικά σχόλια και διφορούμενα νοήματα, τα οποία υπάρχουν σε πληθώρα στην συγκεκριμένη πλατφόρμα, αλλά tweets με ξεκάθαρο συναισθηματικό περιεχόμενο.
- Παρατηρείται ότι συναισθήματα όπως Anger και Disgust αλλά και Happiness και Surprise εμφανίζουν παραπλήσιες τιμές στις ίδιες κατηγορίες, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να διαχωριστούν. Θεωρούμε ότι το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο μεγάλο βαθμό συσχέτισης που έχουν ανά δύο τα παραπάνω συναισθήματα στο λεξικό που χρησιμοποιείται. Όντος κάτι τέτοιο είναι εμφανές στον πίνακα όπου παρουσιάζονται οι τιμές της μετρικής linear correlation μεταξύ όλων των ζευγαριών όλων των συναισθημάτων που εξετάζονται.

TABLE IV
LINEAR CORRELATION ΣΥΝΑΙΣΘΗΜΑΤΩΝ

	Anger	**Disgust**	**Fear**	**Happiness**	**Sadness**	**Surprise**
Anger		**0.827**	0.500	0.002	0.384	0.465
Disgust	**0.827**		0.427	-0.105	0.370	0.403
Fear	0.500	0.427		0.205	0.530	0.549
Happiness	0.002	-0.105	0.205		0.196	**0.558**
Sadness	0.384	0.370	0.530	0.196		0.425
Surprise	0.465	0.403	0.549	**0.558**	0.425	

- Ενδιαφέρουσα παρατήρηση αποτελεί το γεγονός ότι στη περίπτωση των αποτελεσμάτων ανά ημέρα για το hashtag #wc14gr το συναίσθημα της χαράς έχει αντίθετες μεταβολές σε σχέση με το συναίσθημα του θυμού. Αντίθετα στο #panellinies2014 οι αυξομειώσεις εμφανίζουν μεγαλύτερη ομοιότητα. Γενικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι στην περίπτωση ενός ποδοσφαιρικού κυπέλλου τα συναισθήματα αυτά δεν κυριαρχούν ταυτόχρονα, ενώ στα πλαίσια των πανελληνίων εξετάσεων είναι λογικό να είναι ανάμεικτα για ίδιες χρονικές στιγμές.

- Στη συλλογή μας δεν εμφανίζεται μεγάλος αριθμός από εικονίδια emoticons τα οποία περιέχουν ξεκάθαρη συναισθηματική πληροφορία. Από το υλικό που έχουμε μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι Έλληνες χρήστες δεν τα χρησιμοποιούν σε μεγάλο βαθμό.

- Το λεξικό που χρησιμοποιήσαμε δεν είναι σχεδιασμένο για διαδικτυακό λόγο και δεν περιέχει μεγάλο αριθμό λέξεων που εμφανίζονται συχνά στα tweets με αποτέλεσμα να μην είναι το ιδανικότερο για αυτή τη δουλειά. Μετρήσαμε ότι μόνο το 11.7% των λέξεων που εξετάζονται περιέχονται στο λεξικό. Παρόλα αυτά, οι μέθοδοι που προτείνουμε φαίνεται να δουλεύουν ικανοποιητικά.

- Γενικά παρατηρήθηκε ότι η συνιστώσες του φόβου και της λύπης παίρνουν μικρότερες τιμές σε σχέση με τις υπόλοιπες. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται τόσο στο ότι γλωσσολογικά είναι πιο δύσκολο να προσδιοριστούν μέσω του κοινού λόγου του διαδικτύου, όσο και στο ότι ο μέσος χρήστης δεν προτιμά τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης για να εκφράσει τέτοιου είδους συναισθήματα.

V. Συμπερασματα- Προτασεις για Βελτιωσεις

Η διαδικασία που προτείνουμε δίνει ενθαρρυντικά αποτελέσματα και μπορούμε να πούμε ότι είναι εφικτό να εξάγουμε το συναίσθημα χρηστών ως προς διάφορες κατηγορίες με τη χρήση λεξικού συναισθημάτων. Τα αποτελέσματά μας φαίνονται να είναι σωστά ως προς τα συναισθήματα Anger και Happiness ενώ για τα υπόλοιπα συναισθήματα η εικόνα δεν είναι πάντα τόσο ξεκάθαρη.

Ως προτάσεις για βελτίωση της μεθόδου που προτείνουμε αναφέρουμε:

- Χρήση λεξικού ειδικά κατασκευασμένου για διαδικτυακή εφαρμογή.
- Αξιοποίηση γλωσσολογικών δεδομένων όπως, πχ, το μέρος του λόγου κάθε λήμματος.
- Επέκταση σε εφαρμογή πραγματικού χρόνου ώστε να γίνει εφικτή η εξαγωγή αποτελεσμάτων για δεδομένα που αφορούν τρέχοντα ζητήματα.

VI. Ευχαριστιες

Ευχαριστούμε τον υποψήφιο διδάκτορα του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης, Συμεών Συμεωνίδη, για τη καθοδήγηση του κατά την πραγματοποίηση της εργασίας.

References

[1] Carlo Strapparava and Rada Mihalcea (2007 June), SemEval-2007 Task 14: Affective Text, Presented at SemEval [Online]. Available: http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1621487

[2] D.M. Blei, A.Y. Ng, M.I. Jordan, Latent dirichlet allocation, J. Mach. Learn. Res. 3 (2003) 993–1022.

[3] Adam Tsakalidis, "Greek Sentiment Lexicon". Available online: http://socialsensor.eu/results/datasets/147-greek-sentiment-lexicon

[4] Georgios Ntais, "Development of a Stemmer for the Greek Language", Master Thesis at Stockholm University / Royal Institute of Technology, Department of Computer and Systems Sciences, February 2006 Link: http://deixto.com/greek-stemmer/

[5] Tom White, “Hadoop: The definitive guide” 2nd editions, O’Reilly.

[6] Jeffrey Dean, Sanjay Ghemawat, “MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters”, 6th Symposium on Operating System Design and Implementation (OSDI 2004), San Francisco, California, December 6-8, 2004.

[7] Yanghui Rao, Qing Li, Xudong Mao, Liu Wenyin, “Sentiment topic models for social emotion mining”, *Information Sciences*, Vol 266, pages 90-100, 10 May 2010. Elsevier.

Opinion Mining on Movie Reviews

Athanasia Koumpouri
Computer Engineering &
Informatics Department
University of Patras
26500 Rio, Greece
Email: koumpour@ceid.upatras.gr

Christina Aravantinou
Computer Engineering &
Informatics Department
University of Patras
26500 Rio, Greece
Email: aravantino@ceid.upatras.gr

Vassiliki Simaki
Computer Engineering &
Informatics Department
University of Patras
26500 Rio, Greece
Email: simaki@ceid.upatras.gr

***Abstract*—With the advent of Web 2.0 and popularity of social media where focus shifted to user generated content, the way people express opinion has changed dramatically. Opinions can now be found almost everywhere - websites, blogs, social networking sites, forums and review sites. Hence, the need for understanding the opinions of the general public and consumers toward social events, political movements, company strategies marketing campaigns, and product preferences emerge. Opinion mining is a process to automatically detect and extract opinion of writers about some particular product, topic or problem. The main challenge in this area is the polarity classification in which an opinion stated in text document can be labelled as positive or negative and can be in the form of document or sentence or feature. In this paper, we propose a polarity detection framework aiming to detect the expressed opinion (positive or negative) in online movie reviews.**

Keywords: Opinion Mining, Sentiment Classification, Feature Extraction

I. Introduction

With the rapid growth of the web over the last decade, opinions can now be found almost everywhere - websites, blogs, social networking sites, forums and review sites. People tend to make their opinion, views, sentiment widely known on the "social web", which provides efficient ways to share them with everyone connected to the World Wide Web. As a result, the need to explore, analyse and organize an overwhelming amount of user-generated content came to the fore. Capturing public opinion about social events, political movements, company strategies, marketing campaigns, and product preferences is garnering increasing interest from the scientific community (for the exciting open challenges), and from the business world (for the remarkable marketing fall outs and for possible financial market prediction) [1]. This motivating need gave rise to research in the emerging field of opinion mining.

Opinion mining is a process to automatically detect and extract opinion of writers about some particular product, topic or problem. The main challenge in this area is the polarity classification in which an opinion stated in text document can be labelled as positive or negative and can be in the form of document or sentence or feature. It stands between data mining and natural language processing (NLP), combining and using techniques from both fields to retrieve and extract opinions from web?s tremendous textual information. Opinion mining has gained a considerable deal of attention from the research community in the past few years due to abundant challenging research problems and practical applications both in commerce and academic areas.

Companies use opinion mining to gather information about their products or services from the Web that can be utilized in marketing research. They can improve the quality of their supplied product and develop or change marketing strategies based on users reviews. Government, as well as companies, can utilize opinion mining to feel the public pulse on a topic and identify both critics and favorables over it by mining the prevailing opinions on public policy. For example, opinion mining makes it efficient to detect the impact of an upcoming legislation in society by monitoring people reactions in forums, blogs, social networking sites etc. Similarly, individuals can use opinion mining for their benefit. Nowadays, it is a common practice to review and share experience about a product or service. Moreover, while purchasing a product or service, people can easily evaluate other's opinion and experience about it and also can compare with competing brands from more than one source. Furthermore, opinion mining enables detection of "flames" (overly heated or antagonistic language) in newsgroup and forums, blogs and social media and makes opinion spam detection possible by labelling textual content as "spam" and "not spam" and preventing people from misleading content.

In this paper, an opinion classification framework is proposed. We experimented with a large variety of features derived from our dataset aiming towards the best set of features in order to predict more accurately the expressed opinion. The remainder is organized as follows. In Section II, we present an representative research related to opinion extraction. In Section III, we present in detail the framework used for opinion detection. Section IV offers a description of the data used, the achieved experimental results and the evaluation of our system's performance. Finally, in Section VI we conclude this work.

II. Related Work

Many researchers have worked on mining words bearing opinion and identifying their semantic orientations, positive or negative. Hatzivassiloglou and Mckeown [2] proposed an algorithm to determine the polarity of adjectives. Popescu and Etzioni [3] and Ding et al. [4] extended and improved this approach. Researchers, such as Hu and Liu [5] and Kim and Hovy [6], have proposed an approach based on bootstrapping using a small set of seed opinion words to find their synonyms and antonyms in WordNet. Some authors suggested a dictionary approach which is based on a prebuilt dictionary that contains opinion polarities of words, such as

the General Inquirer [7] and the SentiWordNet [8], which is the most popular dictionary today. This approach is endorsed by many researchers such as [4], [5]. Another main research topic of opinion mining is opinion classification at document level which considers the whole document as the basic information unit and classifies it as positive or negative. Most existing techniques for document-level sentiment classification are based on supervised learning, although there are also some unsupervised methods. Pang et al. [9], Wiebe and Riloff [10], Liu et al. [11] , Hu and Li [12] and many others followed this approach to classify review document into two classes, positive and negative. Similarly to document-level classification techniques can also be applied to individual sentences. Several researchers also studied sentence level sentiment classification among them Hatzivassiloglou and Wiebe [13] and Popescu and Etzioni [3] and Pang et al. [9] aiming to classify each sentence as expressing a positive or a negative opinion. More thorough surveys on opinion mining and sentiment analysis are presented by Pang and Lee [14] and Liu and Zhang [15].

III. Methodology

In the present framework for opinion detection, we assume as input data collected from IMDb, an online database of information related to films. During pre-processing, each review was split into sentences with lowercase normalization, with an average of 30 sentences per document and each line corresponding to a single sentence. We propose a system that is able to decide whether the expressed opinion is either positive or negative based on three categories of features (statistical, POS tag, language model) extracted from our dataset.

A. Feature Extraction

Our corpus consists of a collection of labeled documents depending on the expressed opinion of the writer. Each movie review, D_i, is a down-cased text file which is labeled as "positive" or "negative". As shown in Figure 1, in order to extract statistical, POS tag and language model based features we processed each movie review by using feature extraction algorithms. The statistical features can be briefly described as features extracted from text without any further processing and independently from writing language. Pos tag features derived after part-of-speech tagging (pos tagging) words in each movie review based on their definition and content. Finally, language model based features where extracted after building two unigrams language models, one for each expressed opinion. The above applied techniques ensures that we get as much possible information from our data. Hence, the estimated feature vectors for each movie review D_i are the statistical feature vector, F_i^{ST}, the POS tag feature vector, F_i^{POS}, and the language model feature vector, F_i^{LM}.

For each of the 2000 movie reviews, we extracted three categories of features: statistical, POS tag and language model based features. In details, statistical features are statistical data values extracted from text without any kind of preprocessing and include number of (i) characters, (ii) words, (iii) sentences and (iv) paragraphs. In addition, number of (v) numbers, (vi) punctuation, (vii) special characters, (viii) white spaces, (ix) capitalized words, (x) emoticons and (xi) acronyms were computed. Apart from these, we used the percentage of the (v - xi) parameters as features (xii - xix). Furthermore, four features considering the length of words in each movie review were calculated. These are: (xx) the mean, (xxi) the standard deviation, (xxii) minimum and (xxiii) maximum value. POS tag features, which mainly represent a particular part of speech for every word in a given text were computed. These are: (xxiv) nouns, (xxv) proper nouns, (xxvi) adjectives, (xxvii) prepositions, (xxviii) articles, (xxix) pronouns, (xxx) verbs, (xxxi) adverbs and (xxxii) interjections. Finally, we built unigram language models from the training sets and applied them to test sets resulting in four additional features: (xxxiii) loglikelihood for positive, (xxxiv) loglikelihood for negative and (xxxv - xxxvi) their normalized values.

After the decomposition of our data to feature vectors V_i, where $V_i = F_i^{ST}$ or $V_i = F_i^{POS}$ or $V_i = F_i^{LM}$, the sequence of feature vectors is processed by a classification algorithm C.

B. Opinion Detection

During the training phase, a subset of our data (training data) with given labels, i.e. with a-priori annotated opinion labels, is used to estimate one model, M_k, with $1 \leq k \leq 3$, for each of our three estimated feature vectors. At the test phase, the unlabeled data (test data) will be pre-processed and decomposed to feature vectors as in the training phase.

For the classification of the feature vectors we investigated the applicability of various machine learning techniques. In particular, we used a a C4.5 decision tree learner, J48, a multilayer perceptron neural network, MLP, trained with 50000 iterations and support vector machines, SVM, implemented with sequential minimal optimization, SMO, algorithm, using radial basis kernel (RBF) and polynomial kernel (poly). Furthermore, we employed Adaboost.M1 (J48), which is a boosting algorithm combined with decision trees and a bagging algorithm using decision trees, Bagging (J48). We made use of the Weka implementations of these algorithms with the default values of all parameters, which are not specified here. The classification algorithm C will compare each test vector V_j,with $1 \leq j \leq J$, against each model M_k in order to decide the corresponding opinion class, i.e. $d_j = max\{C(V_j, M_k)\}$, where d_j is the opinion class label (positive or negative) assigned to the j-th movie review of our test data.

IV. Experimental Evaluation

In this section, we describe the database used in the present study and we present our experimental results.

A. Corpus

The dataset used was Polarity Dataset v2.0, which is distributed as a fully labeled dataset, and the classes indicate whether a movie review is positive or negative. The dataset has become a benchmark for many studies since the work of Pang and Lee [16]. It consists of 1000 positive and 1000 negative movie reviews drawn from the IMDB movie archive. During pre-processing, each review was split into sentences with lowercase normalization, with an average of 30 sentences per document and each line corresponding to a single sentence.

To conduct experimental evaluations we split the dataset in half, having two subsets of 1000 labeled reviews, with 500 positive and 500 negative reviews in each. We chose to

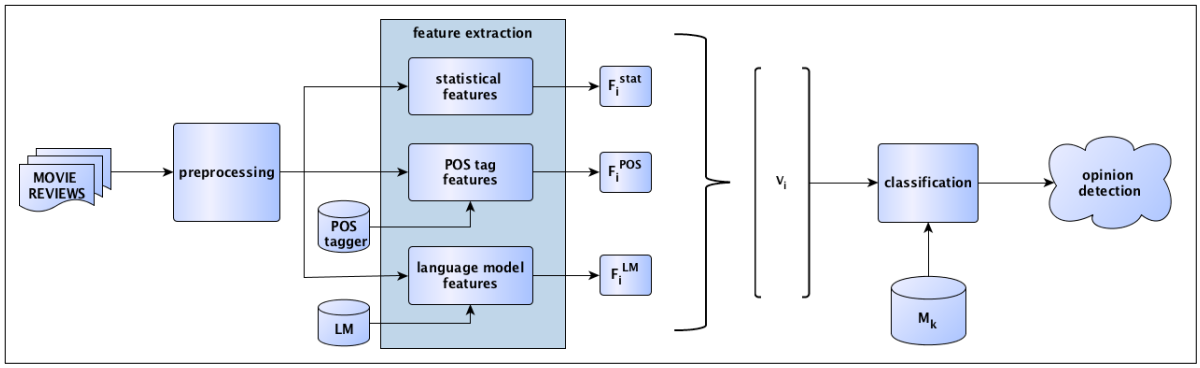


Fig. 1: Opinion Detection Framework

TABLE I: Accuracy per feature vector and classification algorithm

	MLP	J48	SMO rbf	SMO poly	Bagging	AdaBoost
V^{ST}	56.20%	53.25%	53.80%	60.15%	56.40%	55.20%
V^{POS}	57.40%	55.80%	52.60%	59.50%	54.20%	56.20%
V^{VLM}	79.10%	78.60%	79.85%	80.05%	77.85%	77.85%

use these subsets as training set and test set interchangeably, repeating our experimental procedure two times, one for each of the two combination of training and test set. Each time we ran a 10-fold cross validation for the training set and in order to calculate classification accuracy we used the average of correctly classified movie reviews from both times.

B. Experimental Results

A common experimental protocol was followed during the evaluation of all classifiers. The experimental results, in percentages, for the five evaluated classification algorithms and for each of the 3 feature vectors which are shown in Table I.

As can be seen in Table I, SVM using polynomial kernel (poly) achieved the best accuracy for all evaluated feature vectors, outperforming all other models. The advantage of the SVM algorithm is probably owed to the high dimensionality of the feature space in combination with the amount of evaluated data, since SVMs do not suffer from the curse of dimensionality. The performance varies from 51.70% to 80.05%. This range is owed to the significant impact of the language model features on the prediction accuracy. The evaluation results showed that V^{LM} achieves an improvement of nearly 20% in accuracy compared to V^{ST} and V^{POS} which achieved barely 60.15% and 59.50% respectively.

V. Conclusion

In this work, we present a polarity detection framework based online movie reviews. We experimented with three categories of features (statistical, POS tag, language model) extracted from our dataset. The experimental results indicated a major impact of language model features on the prediction accuracy with performance ranging from 59.50% to 80.05%. In the future, we plan to improve those results by experimenting with additional features and classification algorithms. Moreover, we intend to use additional datasets in order to verify the cross-domain reliability of our framework.

Acknowledgment

The auhors would like to thank Prof. Vasileios Megalooikonomou and Dr. Iosif Mporas for their useful comments and guidance on the present work.

References

[1] E. Cambria, B. Schuller, Y. Xia, and C. Havasi, "New avenues in opinion mining and sentiment analysis," *IEEE Intelligent Systems*, vol. 28, no. 2, pp. 15–21, Mar. 2013.

[2] V. Hatzivassiloglou and K. R. McKeown, "Predicting the semantic orientation of adjectives," in *Proceedings of the 35th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics and Eighth Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics*, ser. ACL '98. Stroudsburg, PA, USA: Association for Computational Linguistics, 1997, pp. 174–181.

[3] A.-M. Popescu and O. Etzioni, "Extracting product features and opinions from reviews," in *Proceedings of the Conference on Human Language Technology and Empirical Methods in Natural Language Processing*, ser. HLT '05. Stroudsburg, PA, USA: Association for Computational Linguistics, 2005, pp. 339–346.

[4] X. Ding, B. Liu, and P. S. Yu, "A holistic lexicon-based approach to opinion mining," in *Proceedings of the 2008 International Conference on Web Search and Data Mining*, ser. WSDM '08. New York, NY, USA: ACM, 2008, pp. 231–240.

[5] M. Hu and B. Liu, "Mining and summarizing customer reviews," in *Proceedings of the Tenth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, ser. KDD '04. New York, NY, USA: ACM, 2004, pp. 168–177.

[6] S.-M. Kim and E. Hovy, "Determining the sentiment of opinions," in *Proceedings of the 20th International Conference on Computational Linguistics*, ser. COLING '04. Stroudsburg, PA, USA: Association for Computational Linguistics, 2004.

[7] P. Stone, "The general inquirer: a computer approach to content analysis," *Journal of Regional Science*, vol. 8, no. 1, 1968.

[8] A. Esuli and F. Sebastiani, "Sentiwordnet: A publicly available lexical resource for opinion mining," in *In Proceedings of the 5th Conference on Language Resources and Evaluation (LREC06)*, 2006, pp. 417–422.

[9] B. Pang, L. Lee, and S. Vaithyanathan, "Thumbs up?: Sentiment classification using machine learning techniques," in *Proceedings of the ACL-02 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing - Volume 10*, ser. EMNLP '02. Stroudsburg, PA, USA: Association for Computational Linguistics, 2002, pp. 79–86.

[10] J. Wiebe and E. Riloff, "Creating subjective and objective sentence classifiers from unannotated texts," in *Proceedings of the 6th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Text Processing*, ser. CICLing'05. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2005, pp. 486–497.

[11] B. Liu, M. Hu, and J. Cheng, "Opinion observer: Analyzing and comparing opinions on the web," in *Proceedings of the 14th International Conference on World Wide Web*, ser. WWW '05. New York, NY, USA: ACM, 2005, pp. 342–351.

[12] Y. Hu and W. Li, "Document sentiment classification by exploring description model of topical terms," *Comput. Speech Lang.*, vol. 25, no. 2, pp. 386–403, Apr. 2011.

[13] V. Hatzivassiloglou and J. M. Wiebe, "Effects of adjective orientation and gradability on sentence subjectivity," in *Proceedings of the 18th Conference on Computational Linguistics - Volume 1*, ser. COLING '00. Stroudsburg, PA, USA: Association for Computational Linguistics, 2000, pp. 299–305.

[14] B. Pang and L. Lee, "Opinion mining and sentiment analysis," *Found. Trends Inf. Retr.*, vol. 2, no. 1-2, pp. 1–135, Jan. 2008.

[15] B. Liu and L. Zhang, "A survey of opinion mining and sentiment analysis," in *Mining Text Data*, C. C. Aggarwal and C. Zhai, Eds. Springer US, 2012.

[16] B. Pang and L. Lee, "A sentimental education: Sentiment analysis using subjectivity summarization based on minimum cuts," in *Proceedings of the 42Nd Annual Meeting on Association for Computational Linguistics*, ser. ACL '04. Stroudsburg, PA, USA: Association for Computational Linguistics, 2004.

Towards a Knowledge-based Approach for Gender Text Classification

Vasiliki Simaki
Computer Engineering and Informatics Department
University of Patras
Patras, Greece
simaki@ceid.upatras.gr

Christina Aravantinou
Computer Engineering and Informatics Department
University of Patras
Patras, Greece
aravantino@ceid.upatras.gr

Athanasia Koumpouri
Computer Engineering and Informatics Department
University of Patras
Patras, Greece
koumpour@ceid.upatras.gr

***Abstract*— Theoretical and empirical studies have proven the strong influence of social factors, such as gender, age and education into the linguistic choices that every person makes. Although these choices are more obvious in people's speech, we can identify some of them in written too. In this paper, we present how gender indicators can be detected into online text, and we identify the author's gender with a high accuracy. We conducted a quite exhaustive study in theoretical and empirical researches, and we adjusted linguistic indices to features in user's text. We observe differential features between women and men in written language and we use the empirical findings about the women's language through a classification process. This effort lays the groundwork for the attribution of user's gender to his unsigned online text, and tries to effectively connect linguistic theories to text mining and categorization techniques. Our study eventually proves that women and men make diversified linguistic choices in their online activity.**

Keywords— Natural Language Processing; text classification; gender identification;

I. Introduction

People use the web not only to gratify their informational needs but also to provide information, share opinions, sentiments and communicate with other users. In recent years, online social media, where millions of users develop interpersonal relations, are expanded. The online user's attitude can be observed and explained from a social perspective and his "digital traces" [1] may be very informative about current trends in any domain and leaves several elements about his identity. The user, consciously or not, provides us useful information about his social status, about his gender and age, his educational level, profession, etc. In our first effort in the field, we propose an interdisciplinary methodology for the detection of the user's gender, based in the automated computation of linguistic knowledge.

Sociolinguistics is an active research field of linguistics observing the relation between the society and the language. Theories prove the strong influence of social factors into the linguistic attitude of every person. Factors as gender, age, education, etc, delimitate the linguistic diversity, the choices that people and social groups make in everyday life. These choices can be observed in many linguistic levels and they differentiate the speaker's attitude from the official language (*norm*) according to the given communicative occasion [2]. In our study, we try to observe differential features between women and men in written and more precisely in users' text on web, in order to automatically extract their gender.

Detecting the user's gender after his online activity is an interesting task not only for social science studies. Our findings could improve e-commerce services, where market analysts and advertisers observe a product's or a service's impact to women and men, in order to personalize it to the most receptive audience. In our work, we try a novel approach, combining theoretical data and computational techniques. We have done a quite exhaustive study around the theoretical and empirical findings of the sociolinguistic research about the women's language. The characteristics observed are collected, in order to become measurable features that can be detected in user's textual information.

The remainder of this paper is organized as follows. Section II surveys researches related to automatic gender identification and the theoretical basis for our work in language and gender research. In Section III we describe our methodology, and corpus. In Section IV we present the experiments and our results, and we discuss the classification accuracy. We close our paper (Section V) with the final conclusions and discussions for further work.

II. Background Knowledge

A. *Automatic detection of user's gender*

User's gender detection is perceived as a text classification issue, where machine learning techniques are used to identify the author's gender ([3], [4]). [5] proposes text classification methods to extract the author's gender from formal texts, using features such as n-grams and function words that are more usual in authorship attribution. This research combines stylometric and text classification techniques, in order to extract the author's gender. In a subsequent study, [6] by applying factor analysis and machine learning techniques,

contribute with gender and age information in texts mined from the blogosphere. [7] uses frequency counting of tokens, tf-idf and POS-tags to find the gender of blog authors. For gender recognition in Twitter, [8] exploits the content of the tweet combined with the username and other information related to the user.

Many recent studies around gender estimation ([9], [10], [11], [12]) deal with social media and propose methods detecting the gender and, in some cases, age of web users. The researchers implement their experiments, taking into account features, such as gender-polarized words, POS tags, sentence length, in order to obtain best classification results. An interesting work is the one of [13], which performs a comparative study of gender attribution, without taking into account the topic or the genre of the selected text. [14] applied machine learning techniques using a feature vector containing word counts, in order to detect the author's gender of Facebook statuses. [15] introduced a set of stylistic features to extract the gender and age of authors, using a large set of documents from the social web written in Spanish, whereas [16] focused on detecting the best feature set towards age and gender prediction in social media.

B. Language and Gender

In this section, we introduce the basic concepts of sociolinguistics and more specifically the gender linguistic variation. The relation between language and society may exist, in the sense that social relations are registered in language. Sociolinguistics is the domain of linguistics observing the relation between the society and the language. Sociolinguistic research examines the bidirectional and systematic relations between different linguistic systems and the social environment they are used [17]. The study of language in real conditions highlights the social characteristics causing linguistic variation. These factors, the linguistic variables [18], are the language items which have more than two performances when associating to other social variations. These variations at different levels (intonation, phonological, morphological, syntactic), are perceived as a socially different but linguistically equal way to say the same thing [9]. It is considered that they behave as markers of social characteristics either of the speakers (gender, age, education, etc.) or the communicative situation (formal, informal, spontaneous, etc.).

A long chapter in the sociolinguistic research concerns the differences between men's and women's language, the gender attribution. Men and women are not just two different biological categories but they constitute two different social groups. The participation in each social group implies different duties and privileges and by extension, different linguistic attitudes. The gender is the social sex, emphasizing in social and cultural distinction between sexes.

A general opinion about the women's language is that, statistically, women tend to use standard types of language. The only occasion they slip the norm, is when they adapt socially prestigious changes, local linguistic elements, indirection, and under specific communicative situations. From another aspect [19] in their Belfast research support that gender is a non-homogeneous category in each community. They associate the women's linguistic attitude more with the social class they belong than the gender itself (*social network*).

We made a quite exhaustive study around the language of women, and we summarize below the characteristics observed in standard researches ([20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27]). The cited references identify the knowledge and use of refined color gradations in women's talk. Compared to men discourse, women tend to use more analytical ways to describe a specific color tone (e.g. cherry blossom pink, salmon orange, mint green, etc.). We should not overlook, however, that this characteristic is more frequent in text associated to topics around fashion, makeup, etc., domains that attract the female interest.

Another important characteristic in women's talk is the frequent use of empty adjectives, which carry a metaphorical sense of admiration and/or approval. Women tend to make different compliments than men by using adjectives such as sweet, divine, stunning, lovely, etc.. Women also prefer a more 'gentle' way of conversation, by using questions in place of statements. This genre lays the ground for the conversation's opening and/or continuation. A statement like 'this car is not of a nice color' may not open a conversation, when 'do you like the car's color?' needs an answer at least.

Besides specific lexical choices that women do unlike men (use of norm types, avoid bad words, etc.), researchers observe their effort in many cases to decline the illocutionary force of their utterances. This phenomenon is achieved by using palliative forms like tag-questions (e.g. he is a good boy, isn't he?), interrogative intonation instead of affirmations (e.g. I should go now?), extension of requests (e.g. hey dad, will you drive me please to the movies, if you can?) and hedges of uncertainty (e.g. I'm not so sure, I don't know, etc.).

In the following section, we describe how these characteristics constitute the basis for the classification's feature set. The originality of our method relies on the extraction of standard theoretical and empirical linguistic markers concerning the gender detection and their automatic measurement in online texts.

III. A KNOWLEDGE-BASED CLASSIFICATION APPROACH

Our objective was to make an interdisciplinary study, which would exploit theoretical knowledge and computational techniques. This combination was a challenging task, due to previous studies in the field of gender attribution which are either theoretical/empirical or statistical. The sociolinguistic researches conducted by linguists observe even the finest differential characteristic and result to precise empirical results. They confirm existing theories and they create new rules, but they are time consuming, and it is not always easy to work with different data collections. On the other hand, systems based on machine learning methods examine rapidly the collected data, which can be easily updated, although the statistical approaches used do not always achieve high classification accuracy.

In our study, we tried to combine the sociolinguistic knowledge with machine learning techniques in a way that standard theories are turned into measurable data. As a first step, we collect all possible features for the categorization process. The quantification of the female linguistic characteristics results our feature set and it can be described as follows.

The characteristic of women of avoiding using disapproving exclamations, slang and insulting words, is perceived as two different features to be considered. We created a list of bad words that can be detected in our data, and a list with abbreviations and slang, often used in social media interaction. In order to identify automatically palliative elements in women's language in online user's text, we detect the tag-questions using n-grams, and the punctuation other than structural, when there are more than one contiguous punctuation tags (ex. ??, …, !?!?!, etc.). We also created a list with all basic colors, and using n-grams (ex. JJ + basic color from list: light blue) we are able to detect fine color gradations. The use of empty adjectives and adverbs is detected by the overall measurement of adjectives and adverbs used. We do not use a separate list of empty adjectives and adverbs, because the more frequent use of adjectives and adverbs implies the use of empty adjectives and adverbs. Additionally, we detect the emoticons in texts, which are non-linguistic items, but they carry sentimental weight and they are frequently used by women instead of the words they describe.

For our experiments, we created a corpus with users' forum comments about various topics[1], such as health, fashion, sports and cars, containing 344 comments of men and women (172 for each gender, 189.596 words in total). In the following section we present the classification process and we discuss the experimental results. We intentionally collected this type of text, whose genre is not formal, but more spontaneous and non-designed. It is a corpus constituted by medium and small textual blocks, in which we can detect social traits.

IV. Experimental Setup and Results

After collecting the features that we described in the previous section, we have to reduce the feature space and keep only the most important features. The criterion for selecting the features is how well they discriminate the data, during the classification process. In order to perform the evaluation of the features, we used several methods (information gain, chi square test, ReliefF algorithm). The five features that had the highest ranking scores in all the methods mentioned above were the following: number of adjectives, number of emoticons, number of punctuation occurrences, number of adverbs and number of abbreviation occurrences, therefore these are the features that we used to perform the classification.

For the classification we relied on five well known classification algorithms, which are the support vector machines (SVMs), a multilayer perceptron (MLP) neural network, the C4.5 (J48) decision tree, Random Tree and Random Forest. All classifiers were implemented using the WEKA machine learning toolkit software [28].

For our experiments, we used the corpus described in Section 3 and we also created a second dataset, which consists of user comments in news websites[2], in order to examine the gender features in two different text genres (spontaneous and non-designed VS neutral and pre-designed). This corpus contains 100 comments written by women and 100 comments written by men.

From the first corpus we created the training set and two discrete tests sets, in order to evaluate the performance of the classifiers for each gender separately. The first test set contains only female comments and the second only male comments. The tests sets are completely disjoint from the training set. We used the same training and test sets for all the classification algorithms. For the training, we used a corpus with users' forum comments about various topics, such as health, fashion, sports and cars.

However, we used four different test sets. The first two test sets consisted of users' forum comments about various topics, similar to the training set. The third and fourth test set are derived from the second corpus that we described above (news websites). The third test set contains only female comments and the fourth only male comments. We chose to add the two latter test sets to our implementation, because we wanted to investigate whether the users' personal style in written is maintained even when they write about rather neutral topics, such as news topics, which are not related to their preferences or hobbies. TABLE I presents the classification accuracy for the first and second test set and TABLE II shows the classification accuracy for the third and fourth test set, for all the classification algorithms.

TABLE I. The classification results for the first and second test set

	SVM	**MLP**	**J48**	**Random Tree**	**Random Forest**
1st test set(female)	62.00%	66.20%	63.40%	70.40%	**74.60%**
2nd test set(male)	**63.40%**	52.11%	49.30%	62.00%	45.00%
Overall	62.70%	59.10%	56.35%	**66.20%**	59.80%

TABLE II. The classification results for the third and fourth test set

	SVM	**MLP**	**J48**	**Random Tree**	**Random Forest**
3rd test set(female)	21.00%	21.00%	21.00%	34.00%	**45.00%**
4th test set(male)	**97.00%**	96.00%	**97.00%**	70.00%	61.00%
Overall	49.00%	48.50%	49.00%	52.00%	**53.00%**

[1] http://uk.askmen.com/, http://carforum.net/, http://backwoodshome.com/, http://www.makeuptalk.com/, http://www.thefootballforum.net/, http://forums.menshealth.com/

[2] http://www.theguardian.com/

As we can see in TABLE I, Random Tree is the algorithm that achieved the best overall performance (66.2%) among all the classification algorithms. Also, we can observe that the female comments are classified more accurately than the male ones, achieving accuracy up to 74.6% with Random Forest algorithm. This was a rather expected result, since the features we chose are based on female behavior in written.

In TABLE II we present the classification results of the second and fourth test set. Our implementation using these test sets doesn't achieve as high results as those appeared in TABLEI. This is mainly caused by the fact that the training set we used in both cases is much more similar to the first two test sets, than to the third and fourth test set. Thus, we can presume that the classification is domain specific and it gives better results when there is an association between the training and the test set. The male comments are classified more accurately than the female ones, achieving accuracy up to 97% with SVM and J48.

V. Discussion

The initial idea that inspired this research was the substantial conjunction of a theoretical and a computational science. We wanted to perform an interdisciplinary study, respecting the principles of the implicating sciences. The goal was to implement an automatic text classification in terms of gender, without though departing from the linguistic characteristics. These characteristics are the results of numerous and important researches in the field of sociolinguistics, and they constitute the most accurate markers of gender variation. In this paper, we described how we transformed these markers into measurable features, in order to ameliorate the automatic text classification, and gain a higher accuracy.

Our interdisciplinary effort after the exhaustive sociolinguistic study around the women's language, proposed the alteration of the linguistic indices into the categorization features. This proves that a real convergence of two different scientific domains is possible, and we can benefit the sociolinguistic knowledge for classification issues.

In a future task, we could train more data, from various sources, in order to achieve higher classification accuracy. We could also enrich the proposed feature sets, or try more combinations. It would be interesting in a further study to expand our work in more categories, such as age and/or education, by selecting features after sociolinguistic characteristics for these classes.

ACKNOWLEDGMENT

The auhors would like to thank Prof. Vasileios Megalooikonomou and Dr. Iosif Mporas for their useful comments and guidance on the present work.

References

[1] Lazer, D., Pentland, A., Adamic, L., Aral, S., Barabási, A.-L., Brewer, D., Christakis, N., Contractor, N., Fowler, J., Gutmann, M., Jebara, T., King, G., Macy, M., Roy, D., and Van Alstyne, M. 2009. Computational Social Science. In *Science*, vol. 323, February 2009: 721-723.

[2] Archakis, A. and Kondyli, M. 2004. *Introduction to sociolinguistic issues*. Athens: Nisos(in Greek)

[3] Cheng, N., Chandramouli, R., Subbalakshmi, K.P. 2011. Author gender identification from text. In *The International Journal of Digital Forensics & Incident Response,* Volume 8 Issue 1, July 2011, pp. 78-88.

[4] Soler, J., Wanner, L. 2014. How to Use Less Features and Reach Better Performance in Author Gender Identification. In *Proceedings of LREC 2014*.

[5] Koppel, M., Argamon, S., and Shimoni, A. R. 2003. Automatically categorizing written texts by author gender. In *Literary and Linguistic Computing*, 17: 401–12

[6] Argamon, S., Koppel, M., Pennebaker, W., and Schler, J. 2007. Mining the Blogosphere: Age, gender and the varieties of self-expression. First Monday. 12, 9 (September 2007). DOI=Http://www.uic.edu/htbin/cgiwrap/bin/ojs/index.php/fm/article/view/2003.

[7] Ansari, Y.Z., Azad, S.A., Akhtar, H. 2013. Gender Classification of Blog Authors. International Journal of Sustainable Development and Green Economic, ISSN No.: 2315-4721, V-2, I-1, 2, 2013.

[8] Burger, J., Henderson, J., Kim, G., Zarrella, G. 2011. Discriminating gender on Twitter. In *Proceedings of the Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing* (EMNLP '11). Association for Computational Linguistics, Stroudsburg, PA, USA, 1301-1309.

[9] Kobayashi, D., Matsumura, N., and Ishizuka, M. 2007. Automatic Estimation of Bloggers' Gender. In *Proceedings of International Conference on Weblogs and Social Media*. Boulder: Omnipress.

[10] Zhang, C., and Zhang, P. 2010. *Predicting gender from blog posts*. Technical Report. University of Massachusetts Amherst, USA.

[11] Mukherjee, A. and Liu, B. 2010. Improving gender classification of blog authors. In *Proceedings of the 2010 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*. EMNLP'10. DOI=http:/www.aclweb.org/anthology/D10-1021.

[12] Peersman, C., Daelemans, W., and Van Vaerenbergh, L. 2011. Predicting Age and Gender in Online Social Networks. In *Proceedings of the 3rd Workshop on Search and Mining User-Generated Contents*. SMUC'11, Glasgow, UK.

[13] Sarawgi, R., Gajulapalli, K., and Choi, Y. 2011. Gender Attribution: Tracing Stylometric Evidence Beyond Topic and Genre. In *Proceedings of the Fifteenth Conference on Computational Natural Language Learning* (Portland, USA, 9 – 24 June, 2011). Association for Computational Linguistics, Stroudsburg, PA, USA, 78 – 86.

[14] Holmgren, J., Shyu, E. 2013. Gender Classification of Facebook Posts.

[15] Rangel, F., Rosso, P. 2013. Use of Language and Author Profiling: Identification of Gender and Age. In *Proceedings of the Tenth International Workshop on Natural Language Processing and Cognitive Science* (Marseille, France, October 2013).

[16] Marquardt, J., Farnadi, G., Vasudevan, G., Moens, M., Davalos, S., Teredesai, A., De Cock, M. 2014. Age and Gender Identification in Social Media. *Author Profiling Task at PAN 2014*.

[17] Trudgill, P. 2000. Sociolinguistics: An Introduction to Language and Society. London: Penguin

[18] Labov, W. 1972. *Sociolinguistic Patterns*. Philadelphia: University of Pennsylvania Press.

[19] Milroy, J. and Milroy, L. 1985. Linguistic change, social network and speaker innovation. In *Journal of Linguistics* 21(2): 339-84.

[20] Labov, W., 1990. The intersection of sex and social factors in the course of language change. In *Language Variation and Change* 2: 205-54.

[21] Lakoff, R. 1975. *Language and Women's Place*. New York: Harper and Row.

[22] Bucholtz, M. 1999. You da man: Narrating the racial other in production of white masculinity. In *Journal of Sociolinguistics* 3: 443-460.

[23] Bucholtz, M., Liang, A., and Sutton, L. 1999. *Reinventing identities: The gendered Self in Discourse*. New York: Oxford University Press

[24] Fishman, P. 1983. Interaction: The work women do. In *Language, Gender and Society*, 89-102. Rowley, Mass.: Newbury House.

[25] Cameron, D. 1998. Gender, Language and discourse: A review. In *Journal of women, Culture and Society* 23(4): 945-60.

[26] Cameron, D. 2005. Language, Gender and Sexuality: Current Issues and New Directions. In *Applied Linguistics* 26/4: 482-502. DOI=10.1093/applin/ami027.

[27] Makri-Tsilipakou, M. (2010). 'Women's language' and the language of women. In *Gender and Social Sciences in Modern Greece*, ed. Kantsas, V., Moutafis, V. & Papataxiarchis, E.. pp. 119-146. Athens: Alexandreia Editions (in greek).

[28] Hall, M., Frank, E., Holmes, G., Pfahringer, B., Peter, R., & Witten, I. H. (2009). The weka data mining software: An update. *SIGKDD Explorations, 11*(1).

Associating Named-Entities with Opinion Expressing Words

Christina Aravantinou
Computer Engineering &
Informatics Department
University of Patras
26500 Rio, Greece
Email: aravantino@ceid.upatras.gr

Vasiliki Simaki
Computer Engineering &
Informatics Department
University of Patras
26500 Rio, Greece
Email: simaki@ceid.upatras.gr

Athanasia Koumpouri
Computer Engineering &
Informatics Department
University of Patras
26500 Rio, Greece
Email: koumpour@ceid.upatras.gr

***Abstract*—A constantly increasing number of people use the Web as a means to express their opinion about different topics. The user generated content that comes of this activity must be utilized effectively. In this paper, we combine Opinion Mining techniques with Named-Entity Recognition and Anaphora Resolution methods, in order to detect the opinion expressed for each named-entity in a document. This is very important, because if we mine an opinion from a sentence, but we do not know where it refers to, then this opinion is not very useful. The system that we implemented recognizes the named-entities in a text and then determines their polarity. We accomplished this task by using a set of tools (JavaRAP[1], NLTK[2] and SentiWordNet[3]). Finally, we tested our system using a large number of reviews, with promising experimental results.**

Keywords*— *Named-Entity Recognition, Opinion Mining, Anaphora Resolution

I. Introduction

In recent years, the Web has significantly expanded. As a result, a constantly increasing number of people use it as a way to publicly express their opinion about political, religious and other issues in social media. They also write reviews about products, movies, music and books. The User Generated Content (UGC) provides information that we must efficiently make use of. The users' opinion is very important, because it can be used as a reference for other users. Also, many companies study the user reviews in order to find out the public opinion for their products.

It is, therefore, essential to be able to detect the opinion expressed about an issue or an object. Opinion Mining (also known as Sentiment Analysis) is the scientific field that recognizes subjective words, opinions and sentiments in a document and includes a wide range of research studies. Most of them assume that a document refers to one subject only and try to extract the associated opinion.

An issue that is quite interesting to study is the recognition of the named-entities (people, locations, organizations etc) of a document, after having resolved the anaphoras and finally, their association with opinion words. In our study, we wanted to find out the polarity of each named-entity in a document.

This process has many applications, including e-commerce and e-government services. At first, it could be used to design an opinion search engine that classifies reviews by product/service and by features. This way, the potential clients will have more detailed and precise search results about other users' comments on a product/service. In addition, it can categorize the articles that appear on the Web and in newspapers based on their negative and positive comments about a topic. This method can also be applied in polls, where the issue is to extract the public opinion about politicians.

In our method we combine Opinion Mining techniques with Named-Entity Recognition and Anaphora Resolution methods. We examined how standard systems as JavaRAP, NLTK and SentiWordNet work as successive parts of the same system and we evaluated their performance. We tested our system using a large number of reviews for music, movies, books, cars, computers and telephones from Epinions[4].

The remainder of this paper is organized as follows. In section II we present some representative research related to opinion extraction for each named-entity in a document. In section III we describe the method that we implemented to associate named-entities with opinion expressing words. Finally, in section IV we present our experimental results and the evaluation of our system's performance.

II. Related Work

Opinion Mining has a wide range of applications [1]. The problem that we try to solve is the recognition of the entities that have been mentioned in a sentence and then, the extraction of the opinion expressed for them [2].

In [3] they rely on the observation that nouns and noun phrases that appear many times in a document are more likely to be features. They detect the most frequent features by extracting the word associations and then, they apply pruning techniques.

In [4] they discover nouns and noun phrases that are product features and imply an opinion. If a feature's context expresses a positive (negative) opinion, then it will be considered positive (negative). If a feature can be associated with both positive and negative adjectives, then it will not be considered as an opinion expressing adjective.

[1] http://wing.comp.nus.edu.sg/~qiu/NLPTools/JavaRAP.html
[2] http://nltk.org/
[3] http://sentiwordnet.isti.cnr.it/
[4] http://www.epinions.com/?sb=1

[5] describes a semi-supervised method to extract product names that appear in a sentence. They focus on forum and blog discussions, in which the participants refer to many entity names and they compare them. Sometimes, the entity name is implied and it is necessary to define it. The next step is to mine the opinion expressed for the discovered named-entities.

In [6] they associate named-entities and their features with adjectives. Their semi-supervised system extracts new named-entities and polarity words using already extracted named-entities and polarity words. When a Named-entity or a polarity word is extracted based on a seed word, it will be assigned the same polarity as the seed word, unless there are opposition words between them.

[7] introduces OPINE, an unsupervised information extraction system. OPINE uses product reviews from the Web to build a model that includes product features and the opinions that have been expressed for them, categorized based on the strength of the opinions.

III. Methodology

We created a system that is able to detect the named-entities mentioned in a document and then to associate them with emotionally charged words, in order to define the opinion expressed for these named-entities.

Our goal is to resolve the anaphora, to detect the named-entities of a document, to associate them with emotionally charged words (adjectives) and to estimate their polarity. We chose to associate the named-entities with adjectives because adjectives are often used to describe an opinion about something or to express an emotion and they usually have positive or negative polarity. Existing research on polarity classification mainly focuses on adjectives to identify subjectivity ([8], [9], [10], [11]). The system's input can be one or more documents.

A. Anaphora Resolution

The first step is to resolve the anaphora in each document. An anaphoric expression may consist of a pronoun (anaphoric, reflexive etc) referring to an entity that has been mentioned before the pronoun (antecedent). When we detect the antecedent of an anaphoric expression, we replace the anaphoric expression with its antecedent. This way, we are able to associate more adjectives with the named-entities.

We use the tool JavaRAP [12] to resolve the anaphora. It is an implementation of the Resolution of Anaphora Procedure [13]. It resolves third person pronouns, lexical anaphors and identifies pleonastic pronouns.

In our implementation, in the cases where the documents were rather short and included properly capitalized words, JavaRAP extracted the anaphors and their antecedents properly.

B. Text Pre-Processing

We use a simple information extraction system architecture for text pre-processing. All of the steps of this stage are implemented using NLTK, a Python package for Natural Language Processing applications.

At first, the raw text of the document is split into sentences and each sentence is subdivided into words using a tokenizer. Then, each tokenized sentence is tagged using a part-of-speech tagger. This task is necessary for our next step, named-entity recognition.

C. Named-Entity Recognition

NLTK provides a classifier that has already been trained to recognize named-entities. At first, the sentences are chunked. Each chunked sentence can be represented by a tree. We search its leaves for proper names which represent named-entities. If a proper name is a named-entity, it will be tagged as "NE".

Named-entities are definite noun phrases, which refer to organizations, people, dates, locations etc. The types of the named-entities recognized, are the following: PERSON, ORGANIZATION, LOCATION, GPE (geo-political entities).

D. Associating named-entities with emotionally charged words

The next task is to associate named-entities with adjectives. We look for adjectives that can be associated with the named-entities, only in the sentences that contain named-entities.

The first issue is to deal with negations. A negation occurs when the word "not" precedes an adjective. In this case, we cannot use the adjective without any transformation, because this will affect the polarity of the named-entity associated with it. Negation can be formed in the following ways:

- Not/ n't + such + word + adjective. For example, "Maria isn't such a good person", "Anne is not such a popular student".
- Not/ n't + word + adjective. For example, "Maria isn't a polite girl".
- Not/ n't + adjective. For example, "Maria isn't nice at all".

If we come across any of the previous cases, we replace the adjective with one of its antonyms. We get the list of the antonyms of an adjective using WordNet, a large lexical database of English. If this list is empty, then we simply add the prefix "not" to the adjective.

In order to associate named-entities with adjectives, we must segment the sentences in a way that each sentence will contain one named-entity and after that, we can apply sentence chunking. Chunking segments and labels multi-token sequences.

When we chunk a sentence, we look for word sequences which match a certain part-of-speech sequence. This sequence is called grammar and consists of many rules which indicate how the sentences will be segmented. Our goal is to detect noun phrases which contain named-entities and adjectives and to extract as many adjectives as possible. More specifically, we search for:

- Sequences which contain an adjective before or after the named-entity (chunk grammar 1).
- Sequences in which there is a named-entity, then a verb and then one or more adjectives (chunk grammar 2).

- Sequences which search for a named-entity followed by one or more adjectives (chunk grammar 3).
- Sequences in which one or more adjectives precede the verb and then, a named-entity follows (chunk grammar 4).

The next step is to create the chunk parser, which will apply the rules of our grammar to the sentences. This gives the following correspondence: [named-entity i] - [word sequence which contains named-entity i]. One or more word sequences may correspond to one named-entity. Finally, we modify each word sequence, so that it will only contain adjectives.

E. Polarity estimation for each named-entity

Now, we must estimate the polarity of each named-entity, using the tool SentiWordNet [14]. According to the scores assigned to each word by SentiWordNet, if the word is positive or negative, we assume that it expresses an opinion, but if it is objective, it does not express any opinion.

Based on these scores, we create a list which contains the named-entities and the adjectives associated with them, sorted in three categories: positive, negative and objective. We call "uncategorized" the adjectives that were not recognized by SentiWordNet.

After that, we sum all the positive and negative polarity scores of the adjectives that are associated with each named-entity, in order to obtain an overall positive and negative score for all the named-entities. If the positive (negative) score is higher, we assume that the named-entity has a positive (negative) polarity. If these scores are equal, then the named-entity has an objective polarity.

IV. Experimental Evaluation

In this section we will describe the corpus that we used and we will present our experimental results.

A. Corpus

The corpus that we used is SFU Review Corpus[5] and it is written in English. It contains reviews, which were collected in 2004 from Epinions website. These reviews are about books, cars, computers, cookware, hotels, movies, music and telephones. Each category contains 25 positive and 25 negative reviews. The classification into positive and negative was based on the "recommended" or "not recommended" tag that the reviewer provided.

We divided the documents of the corpus in two categories. The first category contains reviews for music, movies and books and we called it FUN. The second contains reviews for telephones, computers and cars and we called it PRODUCTS.

B. Experimental Results

We used the four different chunk grammars described in section IIID, in order to test the efficiency of our system. For each grammar we performed two experiments. Each of these experiments corresponds to the two corpus categories (FUN and PRODUCTS).

[5]http://www.sfu.ca/~mtaboada/research/SFU_Review_Corpus.html

TABLE I. Comparative results for adjectives - PRODUCTS.

	ASSOC.	POS.	NEG.	OBJ.
GRAM.1	995	130	40	480
GRAM.2	1477	201	79	593
GRAM.3	2365	270	143	981
GRAM.4	3598	401	241	1419

FUN category includes 8084 adjectives, 3562 proper nouns and 2139 named-entities and PRODUCTS category includes 9173 adjectives, 2349 proper nouns and 1382 named-entities. The rate of the named-entities on the proper nouns is 60% for FUN category and 59% for the PRODUCTS category for all the chunk grammars.

With the first chunk grammar, PRODUCTS category has a smaller number of associated adjectives, although it contains more adjectives overall. The associated adjectives in both categories are few, compared to the total number of adjectives. More specifically, the associated adjectives are the 13% of the total number of adjectives for "FUN" category and the 11% for PRODUCTS category. Also, few negative adjectives have been extracted, while objective and uncategorized adjectives are quite a lot.

Due to the second chunk grammar, the number of associated adjectives increased in both categories. More specifically, the associated adjectives are the 21% of the total number of adjectives for FUN category and the 16% for PRODUCTS category. Objective and uncategorized adjectives are more than positive and negative adjectives.

The number of associated adjectives increased in both categories, when we used the third chunk grammar. More specifically, the associated adjectives are the 35% of the total number of adjectives for FUN category and the 26% for PRODUCTS category. However, the number of objective and uncategorized adjectives also increased, while the number of positive and negative adjectives showed no significant increase.

Using the fourth chunk grammar, the number of associated adjectives increased in both categories. More specifically, the associated adjectives are the 57% of the total number of adjectives for FUN category and the 40% for PRODUCTS category. However, the number of objective and uncategorized adjectives also increased, while the number of positive and negative adjectives slightly increased. Figure 1 shows comparative results for both categories, for the fourth chunk grammar.

The fourth chunk grammar has the best performance among the four chunk grammars, because it associates many adjectives with the named-entities. The rules of this chunk grammar are accurate and placed in a reasonable sequence. SentiWordNet did not classify the majority of the adjectives of our corpus and it also assigned a high objective score to a lot of them. That is the main reason that positive and negative adjectives are much less than the objective and uncategorized adjectives. Tables I and II show comparative results for the four grammars, for PRODUCTS and FUN category respectively.

The efficiency of our system depends on the rules of the chunk grammar. The order of the rules, as well as the part-of-speech sequences that the rules contain can create many variations in the number of the associated adjectives. Also, our

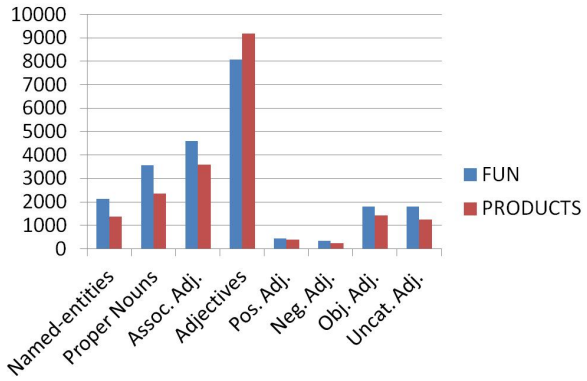


Fig. 1. Comparative results for chunk grammar 4

TABLE II. COMPARATIVE RESULTS FOR ADJECTIVES - FUN.

	ASSOC.	POS.	NEG.	OBJ.
GRAM.1	1052	109	68	450
GRAM.2	1684	207	113	695
GRAM.3	2842	280	221	1069
GRAM.4	4609	444	340	1803

system is affected by the text genre. Finally, the tools that we used to implement our system, affect its performance, because a wrong assignment in one of them, will propagate to the rest of the stages.

V. CONCLUSION

This paper presented a practical system that recognizes the named-entities that are mentioned or implied in a document and associates them with adjectives, in order to extract the opinion expressed for each named-entity, as well as their polarity. Our experimental results show that the proposed method is effective.

In the future, we plan to improve the accuracy of our system. This can be accomplished in several ways. At first, it would be useful to merge all the proper nouns that refer to the same named-entity, using the same name. For example, the proper nouns "Barack Obama" and "President Obama" should be considered as the same named-entity. Moreover, we plan to extract collocations, nouns, verbs and adverbs that may contain polarity, in order to estimate the polarity of the named-entities more accurately.

ACKNOWLEDGMENT

The auhors would like to thank Professor Vasileios Megalooikonomou and Dr. Iosif Mporas for their useful comments and their guidance on the present work.

REFERENCES

[1] B. Pang and L. Lee, "Opinion mining and sentiment analysis," *Found. Trends Inf. Retr.*, vol. 2, no. 1-2, pp. 1–135, Jan. 2008. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1561/1500000011

[2] M. Marrero, J. Urbano, S. Sánchez-Cuadrado, J. Morato, and J. M. Gómez-Berbís, "Named Entity Recognition: Fallacies, Challenges and Opportunities," *Computer Standards & Interfaces*, vol. 35, no. 5, pp. 482–489, 2013.

[3] M. Hu and B. Liu, "Mining opinion features in customer reviews," in *Proceedings of the 19th national conference on Artificial intelligence*, ser. AAAI'04. AAAI Press, 2004, pp. 755–760. [Online]. Available: http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1597148.1597269

[4] L. Zhang and B. Liu, "Identifying noun product features that imply opinions," in *ACL (Short Papers)'11*, 2011, pp. 575–580.

[5] X. Ding, B. Liu, and L. Zhang, "Entity discovery and assignment for opinion mining applications," in *KDD '09: Proceedings of the 15th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*. New York, NY, USA: ACM, 2009, pp. 1125–1134.

[6] G. Qiu, B. Liu, J. Bu, and C. Chen, "Opinion word expansion and target extraction through double propagation," *Comput. Linguist.*, vol. 37, no. 1, pp. 9–27, Mar. 2011. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1162/coli_a_00034

[7] A.-M. Popescu and O. Etzioni, "Extracting product features and opinions from reviews," in *Proceedings of the conference on Human Language Technology and Empirical Methods in Natural Language Processing*, ser. HLT '05. Stroudsburg, PA, USA: Association for Computational Linguistics, 2005, pp. 339–346. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.3115/1220575.1220618

[8] V. Hatzivassiloglou and K. R. McKeown, "Predicting the semantic orientation of adjectives," in *Proceedings of the 35th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics and Eighth Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics*, ser. ACL '98. Stroudsburg, PA, USA: Association for Computational Linguistics, 1997, pp. 174–181. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.3115/976909.979640

[9] J. Wiebe, "Learning subjective adjectives from corpora," in *Proceedings of the Seventeenth National Conference on Artificial Intelligence and Twelfth Conference on Innovative Applications of Artificial Intelligence*. AAAI Press, 2000, pp. 735–740. [Online]. Available: http://dl.acm.org/citation.cfm?id=647288.721121

[10] P. D. Turney, "Thumbs up or thumbs down?: Semantic orientation applied to unsupervised classification of reviews," in *Proceedings of the 40th Annual Meeting on Association for Computational Linguistics*, ser. ACL '02. Stroudsburg, PA, USA: Association for Computational Linguistics, 2002, pp. 417–424. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.3115/1073083.1073153

[11] P. Chesley, B. Vincent, L. Xu, and R. Srihari, "Using verbs and adjectives to automatically classify blog sentiment," in *AAAI Symposium on Computational Approaches to Analysing Weblogs (AAAI-CAAW)*, 2006, pp. 27–29.

[12] L. Qiu, M.-Y. Kan, and T.-S. Chua, "A public reference implementation of the rap anaphora resolution algorithm," *CoRR*, vol. cs.CL/0406031, 2004.

[13] S. Lappin and H. J. Leass, "An algorithm for pronominal anaphora resolution," *Comput. Linguist.*, vol. 20, no. 4, pp. 535–561, Dec. 1994. [Online]. Available: http://dl.acm.org/citation.cfm?id=203987.203989

[14] A. Esuli and F. Sebastiani, "Sentiwordnet: A publicly available lexical resource for opinion mining," in *In Proceedings of the 5th Conference on Language Resources and Evaluation (LREC06)*, 2006, pp. 417–422.

Συνεργατικός Έλεγχος Διωκτών-Ρομπότ για Σύλληψη Εισβολέων-Ρομπότ

Νίκος-Δημήτριος Φακωτάκης
Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής

Σύνοψη

Στην εργασία αυτή αντιμετωπίζεται το πρόβλημα του συνεργατικού ελέγχου ρομπότ στην εξουδετέρωση εισβολέων ρομπότ, σε ελεγχόμενη περιοχή. Προτείνονται διαδικασίες και αλγόριθμοι, για τον εντοπισμό, την περικύκλωση και αιχμαλωσία των εισβολέων-ρομπότ από διώκτες-ρομπότ. Οι διώκτες-ρομπότ τοποθετούνται σε προκαθορισμένο σχήμα και κινούνται με τρόπο ώστε να μπορούν με βεβαιότητα και ταχύτητα να εντοπίσουν πιθανούς εισβολείς. Ακολουθεί κατάλληλος αλγόριθμος, που με δύο (2) κατ΄ ελάχιστον και οκτώ (8) κατά μέγιστων διώκτες αιχμαλωτίσουν όλους τους εισβολείς-ρομπότ σε πολυωνυμικό χρόνο. Η εργασία αυτή έγινε στα πλαίσια της διπλωματικής μου εργασίας, η οποία εκπονείται στο Εργαστήριο Ρομποτικής του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πατρών*.

Λέξεις κλειδιά: pursuer, evader, encirclement, capturing

1 Εισαγωγή

Το Pursuit- Evasion πρόβλημα απασχολεί το χώρο των μαθηματικών και της Επιστήμης των Υπολογιστών. Στο πρόβλημα αυτό οι διώκτες-ρομπότ δημιουργούν και ακολουθούν στρατηγικές με στόχο τον εντοπισμό και τη σύλληψη των εισβολέων-ρομπότ (evaders). Συστηματική έρευνα ξεκίνησε το 1976 όταν ο Torrence Parsons [1] εισήγαγε πρώτος την αναζήτηση των αντιπάλων σε γράφους. Μπορούμε να ισχυριστούμε ότι το πρόβλημα αυτό μπορεί να αναπαρασταθεί είτε σε συνεκτικό γράφο, είτε σε επιφάνεια με κελιά. Παρόμοια άρθρα έχουν δημοσιευτεί από τους Marcos A.M. Viera, et.al.[2], Borie, R., et.al.[3], V. Isler, et.al. [4], Deepak Bhadauria, et.al. [5], D. Bhadauria and V. Isler [6], K. Klein and S. Suri [7], Sergiopoulos, J., and Tzes, A. [8]. Στην υπάρχουσα βιβλιογραφία τα άρθρα διαχωρίζονται με βάση τα ακόλουθα κριτήρια: το χώρο στον οποίο εκτυλίσσεται το παίγνιο (δηλαδή αν βρισκόμαστε σε γράφημα ή σε συνεχή χώρο όπως ο γεωμετρικός χώρος), τη σχέση μεταξύ του πλήθους των δύο αντίπαλων ομάδων ρομπότ, την ορατότητα των διωκτών-ρομπότ, τα εμπόδια στο επίπεδο, το σχήμα του επιπέδου και την ταχύτητα των ρομπότ.

Στο συγκεκριμένο άρθρο, ως προς την ορατότητα, το κάθε ρομπότ γνωρίζει τη θέση των υπολοίπων. Οι διώκτες έχουν πλήθος $2 \leq N \leq 8$, διότι με τη χρήση λιγότερων των 2, δεδομένου ότι υπάρχει πλήρης ορατότητα, δεν μπορούν να συλληφθούν τα αντίπαλα ρομπότ, ενώ περισσότερα των 8 είναι πλεονασμός. Η επιφάνεια πάνω στην οποία εξελίσσεται το παίγνιο είναι σχήματος τετραγώνου και δεν περιέχει εμπόδια. Ολοκληρώνοντας, στο κεφάλαιο 2 γίνεται μια εκτενής παρουσίαση του προβλήματος. Στο κεφάλαιο 3, παρουσιάζεται και αναλύεται ο αλγόριθμος για τον εντοπισμό και σύλληψη των εισβολέων. Τέλος στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται συμπερασματικά το σύνολο της εργασίας.

2 Ορισμός Προβλήματος

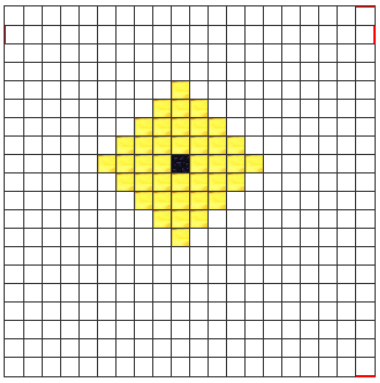
Το πρόβλημα αναφέρεται σε δισδιάστατη επιφάνεια τετραγωνικού σχήματος μεγέθους $M \times M$ (Σχήματα 1) με ορατά όρια. Σε κάθε σημείο της επιφάνειας μπορεί να βρίσκεται το πολύ ένα (1) ρομπότ κάθε χρονική στιγμή και το σημείο αυτό καθορίζεται βάσει τετμημένης και τεταγμένης, δηλαδή, η θέση ενός ρομπότ, έστω i, είναι η (x_i, y_i) σε συγκεκριμένο χρόνο. Τα ρομπότ κινούνται είτε οριζόντια, είτε κάθετα, με βήμα 1, ή 0, κάθε χρονική στιγμή. Για διαφοροποίηση, σε άρτιες χρονικές στιγμές κινείται ο εισβολέας ρομπότ ενώ σε περιττές χρονικές στιγμές όλοι οι διώκτες-ρομπότ. Οι ρομπότ-εισβολείς (evader) τοποθετούνται στην επιφάνεια του παιγνίου με τυχαίο τρόπο, ενώ οι διώκτες

ρομπότ είναι τοποθετημένοι σε συγκεκριμένες θέσεις και κινούνται με προκαθορισμένο τρόπο, όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 3. Η χρονική στιγμή τερματισμού συμβαίνει όταν το αντίπαλο ρομπότ βρεθεί σε γειτονικό κελί ενός διώκτη-ρομπότ.

Στην συνέχεια, παρουσιάζεται (αναλύεται) ο προτεινόμενος αλγόριθμος, που εντοπίζει τις συντεταγμένες του αντίπαλου-ρομπότ και καταλήγει με βεβαιότητα σε επιτυχή τερματισμό, σε πολυωνυμικό χρόνο χειρότερης περίπτωσης, O(n).

3 Εντοπισμός

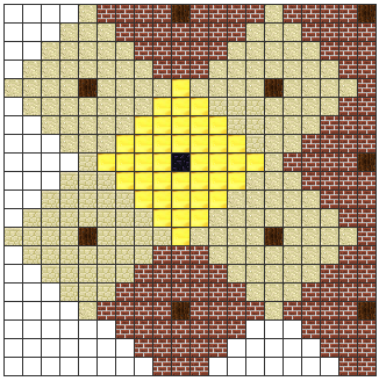
Κάθε διώκτης έχει ένα εύρος ευαισθησίας (sensing range) που ορίζεται ως η επιφάνεια της οποίας τα κελιά έχουν απόσταση ίση ή μικρότερη της απόστασης ευαισθησίας S. Η απόσταση ευαισθησίας δίνεται παραμετρικά στην αρχή του προγράμματος. Ως απόσταση μεταξύ δύο κελιών ορίζεται το άθροισμα των απόλυτων τιμών των διαφορών των τετμημένων και των τεταγμένων των δύο σημείων ($d = |x_i - y_i| + |x_j - y_j|$). Το εύρος ευαισθησίας για κάθε διώκτη, δεδομένης της ρομβοειδούς του μορφής, μπορεί να υπολογιστεί ως $E = S^2 + 2S + 1$ κελιά . Στο Σχήμα 1 δίνεται το εύρος ευαισθησίας ενός διώκτη με απόσταση ευαισθησίας S=4.



Σχήμα 1: Το εύρος ευαισθησίας Ε ενός διώκτη με απόσταση ευαισθησίας S=4.

Στην δυσδιάστατη τετραγωνική επιφάνειαM×M τοποθετούμε τους διώκτες σε θέσεις που να μπορούν να παρέχουν τη βέλτιστη εποπτεία της περιοχής. Για τον περιορισμό του πλήθους των διωκτών η τοποθέτησή τους στο χώρο θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε η επικάλυψη των περιοχών ευαισθησίας τους να είναι η ελάχιστη.

Αρχικά οι P διώκτες τοποθετούνται σε συγκεκριμένες θέσεις και κάνουν προγραμματισμένες κινήσεις προκειμένου να εντοπίσουν τους πιθανούς εισβολείς, με βεβαιότητα στον ελάχιστο δυνατό χρόνο. Ο ελάχιστος αριθμός διωκτών-ρομπότ P, για τον βέβαιο εντοπισμό εισβολέα είναι $P = M/(2S + 1)$, που τοποθετούνται σε μία στήλη και σε απόσταση $dist = 2S + 1$ μεταξύ τους. Οι P διώκτες μετακινούνται ταυτόχρονα από τη μια άκρη του χώρου στην άλλη, έως τον εντοπισμό εισβολέα για να ξεκινήσει η διαδικασία της καταδίωξης. Ο μέγιστος αριθμός βημάτων που απαιτούνται, με το ελάχιστο πλήθος διωκτών, για τον εντοπισμό εισβολέα είναι ίσος με το μήκος της τετραγωνικής επιφάνειας (M). Για να περιορίσουμε τον αριθμό των βημάτων (ταχύτερος εντοπισμός) αυξάνουμε τον αριθμό των διωκτών (P) δημιουργώντας έτσι ένα πλέγμα από ελεγχόμενα κελιά που σαρώνει το επίπεδο (Σχήμα 2).



Σχήμα 2: Πλέγμα από ελεγχόμενα κελιά

4 Σύλληψη Εισβολέα

Γνωρίζοντας τις συντεταγμένες του εισβολέα-ρομπότ (evader), σε κάθε θέση του, έχει τα ακόλουθα παραμετρικά χαρακτηριστικά (8 νοητά ευθύγραμμα τμήματα-Σχήμα 3):

- Το πρώτο ευθύγραμμο τμήμα είναι κάθετο, με αρχή το κελί του εισβολέα και τέλος σε κελί του πάνω οριζόντιου ορίου της τετραγωνικής επιφάνειας.

- Το δεύτερο είναι κάθετο, με αρχή το κελί του εισβολέα και τέλος σε κελί του κάτω οριζόντιου ορίου της τετραγωνικής επιφάνειας.

- Το τρίτο είναι οριζόντιο, με αρχή το κελί του εισβολέα και τέλος σε κελί του δεξιού κάθετου ορίου της επιφάνειας.

- Το τέταρτο είναι οριζόντιο, με αρχή το κελί του εισβολέα και τέλος σε κελί του αριστερού κάθετου ορίου της επιφάνειας.

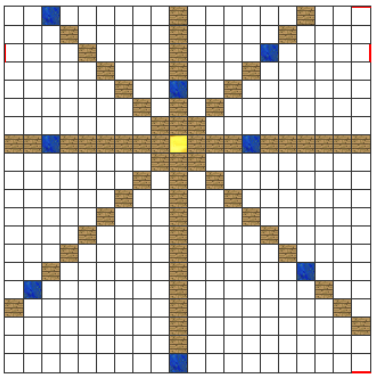
- Το πέμπτο είναι διαγώνιο, με αρχή το κελί του εισβολέα και προεκτείνεται στο πρώτο τεταρτημόριο, αν θεωρήσουμε αρχή νοητών αξόνων το κελί στο οποίο βρίσκεται ο εισβολέας, έως το όριο.

- Το έκτο είναι διαγώνιο, με αρχή το κελί του εισβολέα και προεκτείνεται στο τρίτο τεταρτημόριο, έως το όριο.

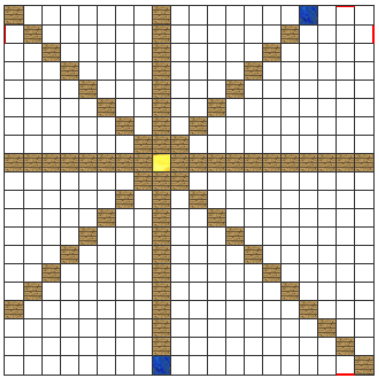
- Το έβδομο διαγώνιο, με αρχή το κελί στο οποίο βρίσκεται ο εισβολέας και προεκτείνεται στο δεύτερο τεταρτημόριο, έως το όριο.

- Τέλος το όγδοο, έχει αρχή το κελί του εισβολέα και προεκτείνεται στο τέταρτο τεταρτημόριο, έως το όριο.

Ως εκ τούτου με την κάθε κίνηση του εισβολέα-ρομπότ αλλάζει και η θέση των ευθύγραμμων τμημάτων, διότι κάθε χρονική στιγμή τα ευθύγραμμα τμήματα έχουν ως αρχή το κελί που βρίσκεται ο εισβολέας. Στο Σχήμα 3, φαίνεται τμήμα της δισδιάστατης τετραγωνικής επιφάνειας, πάνω στην οποία εξελίσσεται η διαδικασία του παιγνίου. Με τα διαφορετικά χρώματα απεικονίζονται οι παράμετροι στις οποίες αναφέρθηκα πιο πάνω. Στο σχήμα (α) βλέπουμε την κατάκτηση και των οχτώ (8) ευθυγράμμων τμημάτων από τους 8 διώκτες ρομπότ. Αυτό σημαίνει ότι οι διώκτες κινήθηκαν με τη λογική της συνάρτησης reachTheLinearParts (αναλύεται παρακάτω) και κατέκτησαν όλα τα τμήματα. Μετά από αυτό θα περάσουν στη εκτέλεση της δεύτερης συνάρτησης reachTheEvader (αναλύεται παρακάτω). Στο σχήμα (β) μόνο δύο (2) διώκτες έχουν κατακτήσει δυο από τα οχτώ ευθύγραμμα τμήματα, τα οποία δεν έχουν κοινό άξονα και μετά την κατάκτηση τους θα περάσουν στη δεύτερη φάση δηλαδή την τακτική κινήσεων μέσω της συνάρτησης reachTheEvader.



(α)



(β)

Σχήμα 3: Δισδιάστατη επιφάνεια τετραγωνικού σχήματος, με: εισβολέα-ρομπότ (evader -κίτρινο χρώμα), διώκτες-ρομπότ (pursuers-μπλε χρώμα). Καφέ χρώμα: κελί ευθύγραμμου τμήματος.

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος χωρίζεται σε δύο τακτικές (δύο μέρη). Στην πρώτη τακτική (Πίνακας 1) έχουμε τη συνάρτηση reachTheLinearParts() που κινεί τους διώκτες κατά τέτοιον τρόπο ώστε μετά από πολυωνυμικό χρόνο να βρεθούν πάνω στα νοητά ευθύγραμμα τμήματα του εισβολέα, που αναφέραμε παραπάνω. Αυτό επιτυγχάνεται με κινήσεις τέτοιες ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη μείωση της μέσης απόστασης του διώκτη από τα διαθέσιμα ευθύγραμμα τμήματα. Δηλαδή:

$$\text{αν } \overline{d_{old}} = \frac{d_1+d_2+..+d_n}{n},\ \overline{d'_{new}} = \frac{d'_1+d'_2+..+d'_n}{n}$$

με d_i η απόσταση του διώκτη από το i διαθέσιμο ευθύγραμμο τμήμα, θα εκτελέσουμε κίνηση τέτοια ώστε να μεγιστοποιήσουμε τη διαφορά $\overline{d_{old}} - \overline{d_{new}}$.

```
reachTheLinearParts()
for i = 1 to numberOfPursuers do
  if pursuerHasAPart[i] == False then
    d̄ ← AverageDistanceFromEveryAvailableLinearPart
    { pursuerHasAPart[i]==False means that pursuer [i] has not reached any evader's linear part yet}
    move[i] ← 0 {moving up by default}
    d̄New ← NewAverageDistanceFromEveryAvailable LinearPartAfterThisSpecificMove
    max ← d̄ − d̄New
    for j = 1 to 3 do
      d̄New ← NewAverageDistanceFromEveryAvailable LinearPartAfterThisSpecificMove
      maxNew ← d̄ − d̄New
      if maxNew >= max then
        max ← maxNew
        move[i] ← j
      end if
    end for
  end if
end for
return move[i]
```

Πίνακας 1. Πρώτο μέρος του αλγορίθμου σε Ψευδοκώδικα- συνάρτηση reachTheLinearParts().

Ο μέγιστος αριθμός διωκτών που χρειάζεται για την επίτευξη του πρώτου μέρους του διμερούς στόχου είναι N=8 διώκτες, ώστε να κατακτήσουν ένα διαφορετικό ευθύγραμμο τμήμα ο καθένας, δηλαδή σε κάποιο χρονικό διάστημα να βρεθούν πάνω σε κελί που ανήκει στο τμήμα. Ο ελάχιστος αριθμός διωκτών είναι N=2 και ο περιορισμός βρίσκεται στο ότι θα κατακτήσουν ένα ευθύγραμμο τμήμα το κάθε ένα με βασική προϋπόθεση ότι τα συγκεκριμένα τμήματα δε θα έχουν κοινό άξονα.

Από τη στιγμή που θα ολοκληρωθεί για κάποιο ρομπότ το πρώτο μέρος, δηλαδή θα έχει κατακτήσει ένα ευθύγραμμο τμήμα (είτε βρίσκεται σε αυτό, είτε βρίσκεται σε απόσταση ένα (1) από αυτό εάν είναι η σειρά κίνησης των διωκτών), περνά στη δεύτερη φάση, στο δεύτερο μέρος του αλγορίθμου (Πίνακας 2).

```
reachTheEvader()
for i = 1 to numberOfPursuers do
  if pursuerHasAPart[i] == True then
    if part[i] == (horizontal or vertical linear part) then
      if pursuer[i] is at part[i] then
        move[i] ← moveclosertoevader
      else if pursuer[i] has distance 1 from part[i] then
        move[i] ← moveatpart[i]
      end if
    else if part[i] == (diagonal linear part) then
      if pursuer[i] is at part[i] then
        move[i] ← donothing
      else if pursuer[i] has distance 1 from part[i] then
        move[i] ← ((moveatpart[i])AND (moveclosertoevader))
      end if
    end if
  end if
end for
return move[i]
```

Πίνακας 2. Δεύτερο μέρος του αλγορίθμου σε Ψευδοκώδικα, συνάρτηση reachTheEvader().

Τώρα, όσοι διώκτες έχουν κατακτήσει ευθύγραμμο τμήμα κινούνται με βάση τη συνάρτηση reachTheEvader(), ενώ όλοι οι υπόλοιποι με την κλήση της συνάρτησης του πρώτου μέρους. Η reachTheEvader() κινεί τους επιλεγμένους διώκτες-ρομπότ έτσι ώστε:

- εάν βρίσκονται πάνω σε οριζόντιο ή κάθετο ευθύγραμμο τμήμα να κινούνται προς το κελί που μειώνει την απόσταση από τον εισβολέα κατά ένα (1),
- εάν βρίσκονται σε διαγώνιο σε απόσταση ένα (1) να μένουν ακίνητοι,
- εάν βρίσκονται σε απόσταση ένα (1) από οριζόντιο ή κάθετο να μετακινούνται πάνω σε αυτό, ενώ
- εάν βρίσκονται σε απόσταση ένα (1) από διαγώνιο ευθύγραμμο τμήμα, να κινούνται σε κελί που βρίσκεται πάνω στο ευθύγραμμο τμήμα και μειώνεται η απόσταση από τον εισβολέα κατά ένα (1).

Ο συνδυασμός των δύο μερών του αλγορίθμου εξασφαλίζει με επιτυχία την εξουδετέρωση των

εισβολέων-ρομπότ, ενεργοποιώντας κάθε φορά τον ελάχιστο αριθμό διωκτών-ρομπότ. Ο ελάχιστος αριθμός διωκτών-ρομπότ που χρειάζονται για τη βέβαιη σύλληψη των αντιπάλων σε πολυωνυμικό χρόνο χειρότερης περίπτωσης είναι N=2, ενώ ο μέγιστος για την ταχύτερη αιχμαλώτιση του εισβολέα είναι οχτώ (8).

5 Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή, παρουσιάστηε μια προσέγγιση για την αντιμετώπιση του προβλήματος του συνεργατικού έλεγχου ρομπότ, στην αντιμετώπιση εισβολέα. Αναπτύχτηκε σχετικός αλγόριθμος ο οποίος με επιτυχία, ανιχνεύει, εντοπίζει και εξουδετερώνει εισβολέα ρομπότ σε ελεγχόμενη περιοχή. Ο εντοπισμός του εισβολέα ρομπότ γίνεται από τους διώκτες ρομπότ σε βήματα που εξαρτώνται από το πληθος τους, ενώ για την αιχμαλώτιση του εισβολέα απαιτούνται κατ' ελαχιστό 2 και κατα μέγιστο 8 διώκτες, σε πολυωνυμικό χρόνο. Η εργασία αυτή αναπτύχθηκε εξόλοκλήρου σε γλώσσα προγραμματισμού python.

6 Αναφορές

[1] Parsons, T. D.(1976). "Theory and Applications of Graphs"
[2] Marcos A. M. Vieira and Ramesh Govindan and Gaurav S. Sukhatme;. "Scalable and Practical Pursuit-Evasion with Networked Robots". Journal of Intelligent Service Robotics Special Issue on Networked Robots
[3] Borie R., Tovey C., Koenig S. (2009) \Algorithms and Complexity Results for Pursuit-Evasion Problems"
[4] V. Isler, S. Kannan, and S. Khanna. \Randomized pursuit-evasion in a polygonal environment."
[5] Deepak Bhadauria, Kyle Klein, Volkan Isler and Subhash Suri . \Capturing and Evader in Polygonal Environments with Obstacles: The Full Visibility Case"
[6] D. Bhadauria and V. Isler. Capturing an evader in a polygonal environment with obstacles. In International Joint Conference on Artificial Intelligence, 2011.
[7] K. Klein and S. Suri. Complete information pursuit evasion in polygonal environments. In Proceedings of the 25th Conference on Artificial Intelligence (AAAI), pages 1120-1125, 2011.
[8] Stergiopoulos, J., Tzes, A., "Voronoi-based Coverage Optimization for Mobile Networks with Limited Sensing Range - A Directional Search Approach" Proc of the 2009 American Contro Conference Missouri, USA, 2009, pp. 2642-2647.

*Θέλω θερμά να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες καθηγητές μου, κ. Αντώνη Τζε και κ. Κώστα Μπερμπερίδη, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν αναθέτοντάς μου την διπλωματική εργασία πάνω στην οποία βασίζεται η δημοσίευση αυτή.

Automations for the Prevention of Accidents in Outdoor Playgrounds

Marina Papargyriou, Ilias Papoulidis, Evangelos Ioannou, Panagiotis Koufoulis and Maria Charalampidou*
D.E.C.E., DUTH, Xanthi, Greece
*Corresponding author: macharal@ee.duth.gr

***Abstract*— In recent years, it is estimated that there have been more than 200,000 injuries annually on public playgrounds across the USA for which emergency room treatment was required. The study of 2,691 playground equipment-related incidents reported to the U.S. Consumer Product Safety Commission CPSC from 2001-2008 indicated that falling is the most common hazard pattern (44% of injuries) followed by equipment-related hazards, such as breakage, tip over, design, and assembly (23%). Other hazard patterns involved entrapment and colliding other children or stationary equipment. Playground-related deaths reported to the Commission involved entanglement of ropes, leashes, or clothing; falls; and impact from equipment tip over or structural failure. In this paper a number of automations have been developed and proposed in order to address playground related injuries and deaths. More specifically, the aforementioned automations were based on the current European and national legislative and aim to reduce accidents that are caused by the lack of technology in games such as slides, Merry-go-rounds and swings.**

***Index Terms* — accident prevention, automations, mechatronics, outdoor playground, safety, standards.**

I. Introduction

Playgrounds are exciting, fun places for children. They can help to build dexterity, and they are a great place to make friends. Kids are marvelously inventive and use playground equipment in many different ways not intended by the manufacturers. According to CPSC's study there were more than 200,000 injuries annually on public playgrounds across the USA [5]. At the same time, the Greek Centre for Research and Prevention of Injuries records falling as the third leading cause of accidents involving children and the first cause of death as compared to any other cause[1]. Many of the accidents in outdoor spaces, kindergartens and playgrounds are caused mostly because of the lack of modern and safe equipment. Despite the measures that are taken and the standards established, the number of injuries continues to be high. This occurs due to carelessness and non-implementation of rules and standards. These accidents can be reduced with the use of technology. The aim of this paper is to investigate the causes and failures of children accidents and to propose improvements based on automations [1].

There are several standards to follow when designing, equipping and maintaining an outdoor play area for a regulated child care center. The intent behind these standards is to create safe, secure and appropriate outdoor play areas that provide a range of opportunities for the social, cognitive, physical and emotional development of children.

II. Playground Safety Standards

A standard is a document that provides requirements, specifications, guidelines or characteristics that can be used in order to ensure that materials, products, processes and services are fit for their purpose. As far as the playground safety standards are concerned, the international attention is not sufficiently high and concentrates only on the blind obedience of guidelines. However, the obedience of standards does not automatically create a safe play area. Safety standards mostly focus on building safe game structures and not for example on the way that the games should be placed on the playground. Specifically, the legal framework for the members of the European Union (E.U.) follow the recent adoptees for playground safety standards of European Normalization (EN). Additionally, the USA standards arising from the American Society for Testing and Material (ASTM International)[2], an independent factor on standards development, are specializing in the assessment of equipment. It is worth mentioning here that the Greek legal framework is given by ELOT[3] (Hellenic Organization for Normalization).

From our scope of view the research on standardization of equipment worldwide is similar in all countries, with slight variations. Of course there are shortcomings such as the lack of standards in undeveloped countries. Recently, the International Standards Organization (ISO) was approached to create a global security standard for playgrounds, but has not created one so far [2].

III. Frequent Accidents

From our research in the field, the main cause of accidents in kindergartens and playgrounds is the lack of modern and safe equipment as well as the fact that a part of playground equipment is not even recommended for use on playgrounds. Another cause is that is not taken into account the age range of children who will use the playground. And this is important

[1] http://www.keppa.gr/

[2] http://www.astm.org/

[3] http://www.elot.gr/default_en.aspx

because it is very crucial to know the age range of the children when selecting playground equipment. Another parameter that needs to be considered is that of the floor materials and the perimeter of the playground, since it may well affect the likelihood of life-threatening head injuries.

This work deals with accidents and injuries that take place in kindergartens and playgrounds. More specifically the paper analyzes accidents related to:

- Mechanical stressed points of the equipment
- Traps
- Sharp Points, Corners and Edges
- Clustering Area Depending on the Solar Group
- Construction Materials
- Equipment Maintenance
- Common Equipment

A. Mechanical stressed points of the equipment

Many parts of the equipment become more stressed. As a result, these parts are very likely to break and cause injuries during the game. Accidents can be caused by parts that move relative to each other or relative to a fixed point in the course of a normal cycle of use. Such examples are: axis of the seesaw and the stress between the axis of the mill and the moving part.

B. Traps

Another risk of injury of a child on the playground is due to the possible trapping of body parts [5]. A child's head may become entrapped if the child enters an opening either feet first or head first. Head entrapment by head-first entry generally occurs when children place their heads through an opening in one orientation, turn their heads to a different orientation, and eventually they are unable to get themselves out. Thus, when selecting materials, the manufacturer should take account of the entrapment risks that may arise due to the deformation of the material during use.

C. Sharp Points, Corners and Edges

Projections on playground equipment should neither be able to entangle children's clothing nor be large enough to impale [5]. Consequently there shouldn't be protruding ends, ropes, nails, sharp parts or parts with sharp edges in any accessible part of the equipment should not exist, because the children's may be injured [3].

D. Clustering Area Depending on the Solar Group

Young children have not developed full comfort in motion, they have a small radius of action and enjoy the game and the equipment that helps develop their social relationships. The older children want more space to move and to run at higher speeds [5]. It is obvious that the design of the area must agree with the needs of the age group. During the design of the playground we must choose which age group will use the equipment, such as 2-5 years, 6-12 years, or both, and there must be a specific signage depending on the age of the children.

E. Construction Materials

The materials which are used must be suitable for the construction of the playground equipment and must comply with the European Normalization or with the ASTM International [5]. The materials must be non-toxic to the environment, nonflammable, ecological, must withstand to heavy use and weather conditions and should be easily maintained. Finally, they should be safe for all users, be integrated in sustainable environmental culture and participate in highly aesthetic presentation.

F. Equipment Maintenance

According to the specifications of ELOT for the maintenance of children's equipment, the usual visual inspection, the functional test and the annual main inspection are required. A comprehensive maintenance program should be developed for each playground. All areas and facilities of the playground should be inspected for excessive wear and possible risks. Particular attention should be paid to moving parts and other components that are accessible to children [3].

G. Common Equipment

Slide. During construction of the slide, we must avoid the use of bare metal in the individual segments, because when they are exposed to direct sunlight their temperature may be increased significantly and may cause serious burns even touch of seconds. Insulating materials can be used that can reduce the temperature of the surface, such as plastic or coated metal. However, during the summer months the temperature in the slide zone remains high and may result in burns to the user due to friction (Fig. 1a).

(a) (b) (c)

Fig. 1. (a) Slide. (b) Merry-go-rounds. (c) Swing

Merry-go-rounds. Merry-go-rounds are the most common rotating equipment found on public playgrounds. Children usually sit or stand on the platform while other children or adults push the merry-go-round to make it rotate. In addition, children often get on and off the merry-go-round while it is in motion. Merry-go-rounds may present a physical hazard to preschool-age children who have little or no control over such products once they are in motion (Fig. 1b).

Swing. Children of all ages generally enjoy the sensations created while swinging. Although most of them usually sit on the swings as they are supposed to, however, it is common to see children standing on the seats and jumping off them. More over younger children also tend to swing on their stomachs. To prevent injuries, these behaviors should be discouraged. Swings may be divided into two distinct types:

Type A: Single axis. Sometimes it is called a to-fro swing. A single-axis swing is intended to swing back and forth in a single plane and generally consists of a seat supported by at

least two suspending members, each of which is connected to a separate pivot on an overhead structure (Fig. 1c).

Type A: Multi-axis. A multi-axis swing consists of a seat (generally a tire) suspended from a single pivot that permits it to swing in any direction.

IV. Preventing Automations

In order to prevent accidents caused by playground equipment failures a number of automations are proposed and analyzed in this paragraph.

A. Slide

The automation that is proposed aims to protect children from potential burns on the sliding zone. For this reason a temperature and a weight sensor, can be used in order to activate warning devices (lights, buzzer) and a controlled mechanism (ramp). The temperature sensor is placed on the slide zone of the slide, while a servomotor is placed on the bench and the warning devices in obvious positions. During normal temperature conditions the warning device is out of order, the entrance is open and the slide is accessible to children. When the temperature of the slide zone increases dangerously, warning lights turn on and the entrance remains accessible. When the temperature rises above 40 °C, the flashing frequency of the light increases without shuttering the entrance. Eventually, when the temperature reaches or exceeds the threshold of 50 °C, the light is continuously on, while the servomotor drives the door and closes the entrance of the slide taking into account whether a child is at this point at the bench by using a weight sensor (Fig. 4).

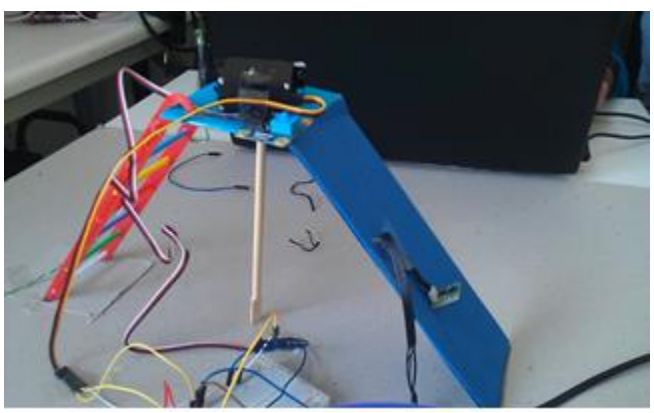


Fig 4. Slide automation.

B. Merry-go-rounds

With regard to children's safety when using the merry-go-rounds an automation for slowing down the speed is proposed and discussed. For the construction of this automation a tachometer, a deceleration device (mechanical brake) and an alarm device (such as a warning light) are required. The tachometer and the deceleration device are placed in the rotation axis while the alarm device is placed on an obvious position. In normal operation of the merry-go-rounds, where the speed is low, both the warning light and the deceleration device are deactivated. When the speed of the merry-go-rounds increases, the light starts flashing without enabling the deceleration device. However, whenever the speed exceeds (normal at about 25 per minute), the lights is continuously activated and the deceleration device regulates the speed to the permissible limits (Fig. 5).

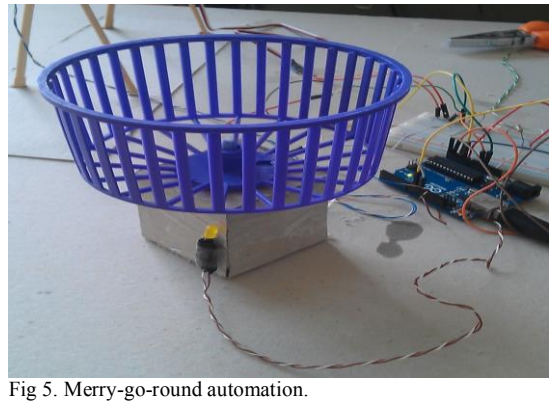


Fig 5. Merry-go-round automation.

C. Swing

The swing automation that is proposed aims to protect children from possible fall because of the large amplitude of oscillation. The automation consists of an alarm device (such as a warning light), a position sensor (such as an Inductive Proximity Sensor), and a deceleration device (mechanical brake). The position sensor is placed at a fixed point relative to the drive shaft, while the deceleration device is placed at the moving part and the alarm device is placed in obvious position. In normal operation, while the amplitude of oscillation is small the warning light and the deceleration device remains off. When the amplitude of oscillation increases and the position of the swing exceeds the upper acceptable limit, the deceleration device and the warning lights are activated. The slowdown of the swing is set to be smooth until the amplitude of turns to be within the acceptable range (Fig. 6).

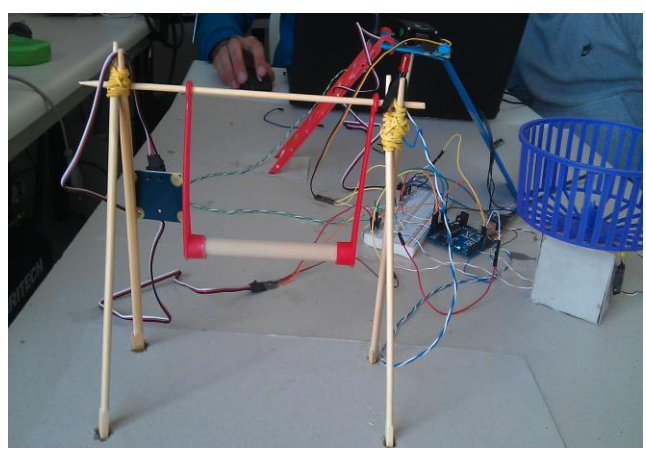


Fig 6. Swing automation

V. Laboratory Model

A laboratory model of all above proposed playground automations is developed. For the automation of the slide (Fig. 4) a LED, a weight sensor, a temperature sensor and a servomotor are used. When the sensor detects temperature above 50o C, the LED turns on and the servomotor is activated

in order to close the entrance of the slide. If the weight sensor detects a child being present at the time of closing the entrance, the servomotor lifts the door and waits until the child moves away. For the development of automation of the Merry-go-round (Fig. 5), a photo resistor and a LED are used. The photo resistor acts as a tachometer, because the photo resistor may change the value depending on the light detected. In each round of the mill the value of the photo resistor changes two times. When the speed exceeds the 2 rounds per second the LED turns on as a warning. Finally, for the swing automation (Fig. 6) a touch sensor and a LED are used. When the sensor detects any obstacle, the LED turns on as a warning.

The above mentioned automations were controlled via an Arduino microcontroller platform.

VI. Flowchart

The flowchart explains the code of the automation that is used (Fig. 6). At first, we declare and initialize the variables. The main program consists of three parts, which run simultaneously, one for each automation.

The first part refers to the slide automation. Whenever the temperature is above the threshold, the warning led turns on. If additionally the value of the force sensor is zero, which means that there are no children on the bench, the door of the slide closes, otherwise it remains open for as long as the child stands on the bench.

The second part refers to the swing. In case the value of the touch sensor is nonzero, which means that the upper limit is reached, the warning led is on.

The last part refers to the Merry-go-round. If the value of the tachometer (combination of led and photoresistor) is above the velocity limit we turn on the warning led.

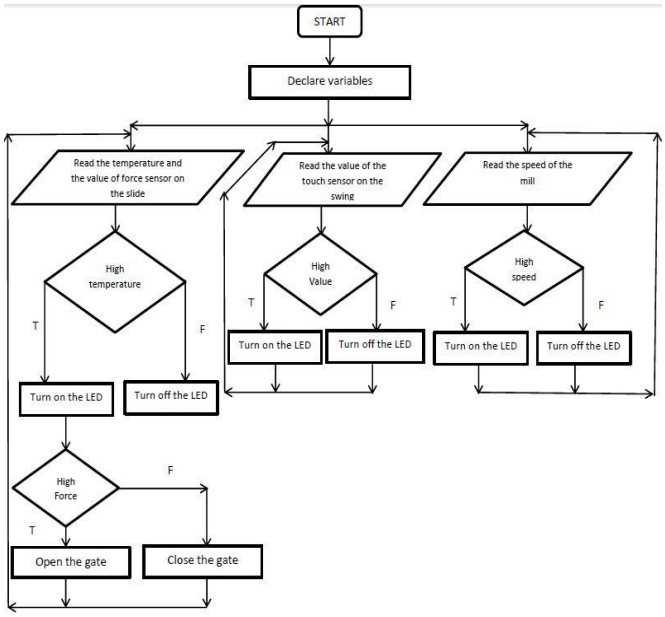


Fig 6. Flowchart

VII. Conclusion

This paper investigates accidents that have occurred in outdoor playgrounds. The regulations and standards that apply worldwide are analyzed in respect to the causes of the accidents. Afterwards a number of automations that can act as a deterrent and help reduce accidents in playgrounds are proposed. Finally, a laboratory model of such automations is given as well as the algorithm and the flowchart of the application. The real implementation of these automations in playgrounds and the export of key results in real conditions is the basic perspective of this work.

VIII. Acknowledgment

The authors would like to extend their thanks to Professor Spyridon G. Mouroutsos for his generous advices, inspiring guidance and encouragement throughout the research and development of this project.

IX. References

[1] Petridou E., Terzidis A., "Accidents in playgrounds: dimension of the problem and prevention strategies," (30 March 2005), Research-Center Children's Accident Prevention, Department of Hygiene and Epidemiology, Medical School University of Athens, Athens.

[2] Christiansen M., "Playground Safety Around The World, Parks & Recreation" (April 2001)

[3] Greek Standard-ELOT, (2003-04-04), Playground Equipment, Part 1: General safety requirements and test methods (EN 1176-1+AC+A1)

[4] Greek Standard-ELOT, (2003-04-08), Playground Equipment, Part 5: Additional specific safety requirements and test methods for mills, (EN 1176-2+AC+A1)

[5] Handbook for Public Playground Safety,U.S. Consumer Product Safety Commission, 4330 EAST WEST HIGHWAY BETHESDA, MD 20814, pp. 1-16.

[Συνεδρία Συστημάτων Ενέργειας]

Ομιλητής Συνεδρίας: Γιώργος Παπαϊωάννου (ΑΔΜΗΕ)
Προεδρείο: Αντώνιος Αλεξανδρίδης (Παν. Πατρών)

1. Η πηγή αρνητικών ιόντων υδρογόνου (H-) «Προμηθέας Ι» Παρουσίαση και χαρακτηρισμός – Τσιρούδης Ιωάννης, Αλειφέρης Σπυρίδων
2. Comparison of different magnetic materials for locally manufactured axial flux small wind turbine generators in off-grid applications – Τρουλλάκη Αικατερίνη, Λατούφης Κωνσταντίνος
3. Εύρεση βέλτιστου αριθμού, θέσης και ισχύος μονάδων διανεμημένης παραγωγής με χρήση τεχνικής σμήνους σωματιδίων – Γκαϊδατζής Πασχάλης, Μπουχαουράς Άγγελος, Σγούρας Καλλισθένης
4. Μέθοδος επίλυσης ροής φορτίου με γραμμική πολυπλοκότητα – Μάντζιαρης Αγησίλαος, Σγούρας Καλλισθένης
5. Design and real time control of a stellarator in development – Χαλατσάκος Οδυσσέας
6. Φωτισμός ειδικών συνθηκών, ανάλυση φωτοτεχνικής μελέτης και αυτοματοποίηση εγκατάστασης – Κωτίδης Αλέξανδρος, Σικερίδης Χαράλαμπος, Σπαθούλας Νικόλαος, Χατζηγεωργίου Γεώργιος, Χαραλαμπίδιου Μαρία

Η Πηγή Αρνητικών Ιόντων Υδρογόνου (H^-) "Προμηθέας Ι" – Παρουσίαση και Χαρακτηρισμός

Ιωάννης Τσιρούδης, Σπυρίδων Αλειφέρης

Περίληψη **- Η παρούσα εργασία αφορά στην παρουσίαση και στον πρωταρχικό χαρακτηρισμό της πηγής αρνητικών ιόντων υδρογόνου (H^-) "Προμηθέας Ι". Η παραγωγή του πλάσματος γίνεται από ένα δικτύωμα διπολικών πηγών Κυκλοτρονικού Συντονισμού Ηλεκτρονίων (Electron Cyclotron Resonance – ECR). Οι διαγνωστικές τεχνικές πλάσματος οι οποίες εφαρμόζονται είναι α) ηλεκτροστατικοί καθετήρες τύπου Langmuir, με τους οποίους μετρούνται ατομικές παράμετροι του πλάσματος (δυναμικό πλάσματος, αιωρούμενο δυναμικό, πυκνότητα και θερμοκρασία ηλεκτρονίων) και β) φωτο-απόσπαση (με Laser) ηλεκτρονίων από τα H^-, με την οποία προσδιορίζεται η απόλυτη πυκνότητα των αρνητικών ιόντων H^-.**

Λέξεις κλειδιά **— Ψυχρό πλάσμα, Πηγή αρνητικών ιόντων, Κυκλοτρονικός συντονισμός ηλεκτρονίων, Ηλεκτροστατικοί καθετήρες, Φωτο-απόσπαση ηλεκτρονίων με Laser**

I. Εισαγωγη

Η αβεβαιότητα όσον αφορά στην παραγωγή ενέργειας στο μέλλον, καθιστά επιτακτική την ανάγκη για εναλλακτικές μεθόδους παραγωγής αυτής. Μία από τις πιο ελκυστικές μεθόδους είναι η θερμοπυρηνική σύντηξη, η οποία δυνητικά θα μπορούσε να δώσει ανεξάντλητα ποσά ενέργειας με φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο. Έτσι, σε παγκόσμιο επίπεδο το αντικείμενο αυτό μελετάται τόσο θεωρητικά όσο και πειραματικά, κι ειδικά η θερμοπυρηνική σύντηξη με μαγνητικό περιορισμό. Προς επίτευξη αυτής, το πλάσμα πρέπει να περιορισθεί από ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο και να οδηγηθεί σε θερμοκρασία πολλών εκατομμυρίων βαθμών Kelvin. Η θέρμανση του πλάσματος σε τέτοια επίπεδα θερμοκρασίας επιτυγχάνεται με διάφορους τρόπους, με την αποδοτικότερη τεχνική να είναι η έγχυση ουδετέρων σωματιδίων υψηλής ενέργειας στο εσωτερικό του θερμοπυρηνικού αντιδραστήρα.

Ο κ. Ιωάννης Τσιρούδης είναι στο Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων, 26504 Ρίον, Πάτρα
ece7140@students.ece.upatras.gr
Ο κ. Σπυρίδων Αλειφέρης είναι στο Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων, 26504 Ρίον, Πάτρα

Η χρήση ουδετέρων σωματιδίων έναντι φορτισμένων καθίσταται αναγκαία λόγω της παρουσίας των ισχυρών μαγνητικών πεδίων για περιορισμό του πλάσματος, τα οποία θα εξέτρεπαν τα φορτισμένα σωματίδια. Ωστόσο, η αύξηση της ενέργειας της δέσμης των ουδετέρων σωματιδίων μέσω ηλεκτροστατικού πεδίου είναι αδύνατη λόγω μη αλληλεπίδρασης, κι έτσι αυτά θα πρέπει πρώτα να ιονισθούν, κατόπιν να επιταχυνθούν και τελικά να ουδετεροποιηθούν λίγο πριν την είσοδό τους στον αντιδραστήρα σύντηξης. Όμως, η αποδοτικότητα της ουδετεροποίησης εξαρτάται σθεναρά από το είδος των επιταχυνόμενων ιόντων και την ενέργεια της δέσμης αυτών. Εδώ έγκειται κι η μεγάλη σημασία της παραγωγής αρνητικών ιόντων H^- και D^-. Ενώ η ουδετεροποίηση δεσμών θετικών ιόντων έχει εξαιρετικά χαμηλή απόδοση για ενέργεια μεγαλύτερη από 100 keV/πυρήνα, για τα αρνητικά ιόντα η απόδοση αυτή παραμένει περίπου 60% ακόμα στην περιοχή των MeV/πυρήνα [1]. Βάσει αυτών, τα αρνητικά ιόντα εμφανίζονται ως η μόνη βιώσιμη επιλογή για συστήματα ουδετέρων δεσμών τα οποία προορίζονται για τη θέρμανση του πλάσματος αντιδραστήρων σύντηξης.

II. Παραγωγη Αρνητικων Ιοντων

Μέχρι σήμερα έχουν απομονωθεί δύο δυνατοί μηχανισμοί παραγωγής αρνητικών ιόντων H^-: παραγωγή ιόντων στον κύριο όγκο του πλάσματος και παραγωγή ιόντων στις επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με το πλάσμα. Με βάση τον παραπάνω διαχωρισμό, η πηγή "Προμηθέας Ι" έχει σχεδιασθεί για παραγωγή H^- στον όγκο του παραγόμενου πλάσματος υδρογόνου ή δευτερίου.

Συγκεκριμένα, λαμβάνοντας κανείς υπόψη τους μηχανισμούς παραγωγής και καταστροφής των αρνητικών ιόντων H^-, όπως αναλυτικά παρουσιάζονται στην αναφορά [2], καθίσταται φανερή η ανάγκη διαχωρισμού της πηγής σε δύο ζώνες. Η πρώτη είναι η ζώνη οδήγησης όπου παγιδεύεται ο κύριος πληθυσμός των ενεργητικών ηλεκτρονίων (θερμά/hot), κι η δεύτερη είναι η ζώνη παραγωγής όπου υπερτερούν οι πληθυσμοί ηλεκτρονίων χαμηλότερης ενέργειας (ψυχρά/cold) και δονητικών διεγερμένων μορίων (προερχόμενων είτε από την πρώτη ζώνη είτε από επιφάνειες [2]). Αντιδράσεις μεταξύ αυτών των δύο πληθυσμών οδηγούν στο σχηματισμό αρνητικών ιόντων H^-. Ο διαχωρισμός σε ζώνες επιτυγχάνεται με μαγνητικά φίλτρα.

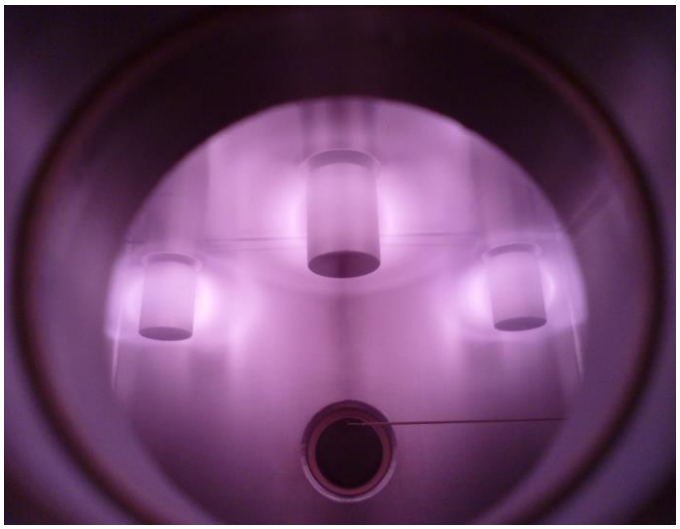
Η παραπάνω θεώρηση ερμηνεύει την επιλογή χρήσης στοιχειωδών πηγών Κυκλοτρονικού Συντονισμού Ηλεκτρονίων (ECR) [3] προς σχηματισμό ενός δικτυώματος ECR στην πηγή "Προμηθέας Ι", αφού αυτές εμφανίζουν διττό ρόλο. Ο πρώτος σχετίζεται με την παραγωγή πλάσματος μέσω μικροκυματικής ακτινοβολίας, η οποία απορροφάται κυρίως στη ζώνη όπου πληρείται η συνθήκη ECR, δηλ.

$$B_0 = 2\pi(\frac{m_e}{e})\,\mathrm{f}_0 \qquad (1)$$

όπου f_0 = 2.45 GHz κι άρα B_0 = 875 G, κι ο δεύτερος ρόλος σχετίζεται με το σχηματισμό του προαναφερθέντος μαγνητικού φίλτρου, το οποίο δημιουργείται από τους ανεξάρτητους μόνιμους μαγνήτες που είναι προσαρμοσμένοι στα άκρα των στοιχειωδών πηγών ECR (ένας ανά στοιχειώδη πηγή).

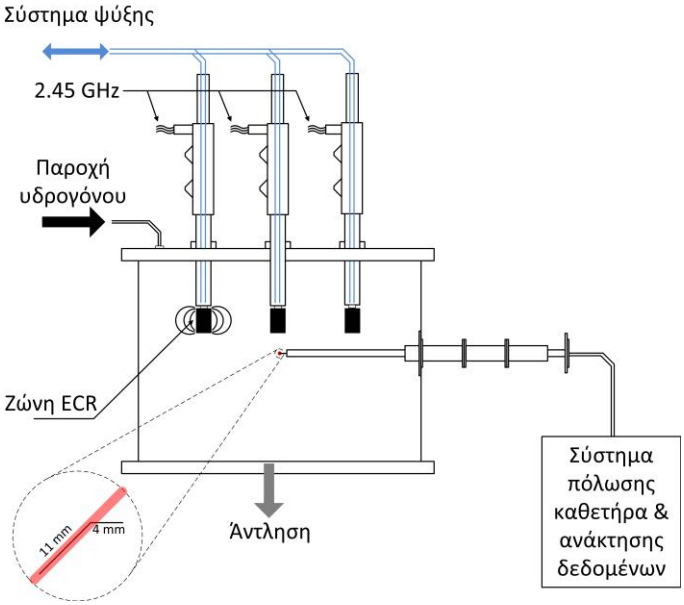
III. Παρουσιαση Της Πηγης "Προμηθεας Ι" & Διαγνωστικες Τεχνικες

Το κύριο μέρος της πηγής συνίσταται σε έναν κυβικό θάλαμο υπερυψηλού κενού (ακμής 240 mm) από ανοξείδωτο ατσάλι, στον οποίο προσαρμόζονται πέντε στοιχειώδεις πηγές πλάσματος ECR. Τυπική μορφή των σχηματιζόμενων ζωνών συντονισμού φαίνεται στη φωτογραφία του **Σχ. 1**, ενώ το δομικό διάγραμμα των κύριων τμημάτων της πειραματικής διάταξης δίνεται στο **Σχ. 2**.

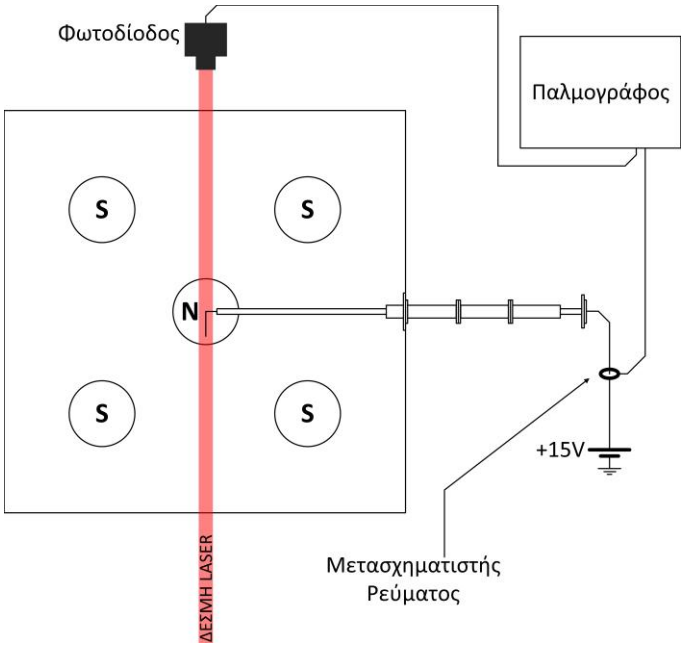


Σχήμα 1. Φωτογραφία του πλάσματος που παράγεται στην πηγή "Προμηθέας Ι" από τη μήτρα των πέντε στοιχειωδών πηγών ECR (μόνο οι τρεις εκ των πέντε είναι ορατές μέσω του συγκεκριμένου παράθυρου της πηγής) [4] (5x180 W, 10 mTorr)

Εν συντομία, η κάθε πηγή (βλέπε [3] για τεχνικές λεπτομέρειες) αποτελείται από έναν κυματοδηγό, στην άκρη του οποίου βρίσκεται ένας μαγνήτης τύπου Sm_2Co_{17}, έχων μόνιμη μαγνήτιση 10.5 kG. Ο κάθε κυματοδηγός τροφοδοτείται με μικροκύματα 2.45 GHz (0-180 W) από ένα τροφοδοτικό στερεάς κατάστασης. Η ψύξη των πηγών και των τροφοδοτικών γίνεται μέσω ενός κλειστού συστήματος κυκλοφορίας νερού. Η πίεση βάσης του θαλάμου είναι 3×10^{-7} Torr και το χρησιμοποιούμενο αέριο είναι H_2(N50) παρεχόμενο μέσω ενός ελεγκτή ροής μάζας (MKS 1179B).



Σχήμα 2α. Χονδρικό σχηματικό διάγραμμα της πηγής "Προμηθέας Ι".

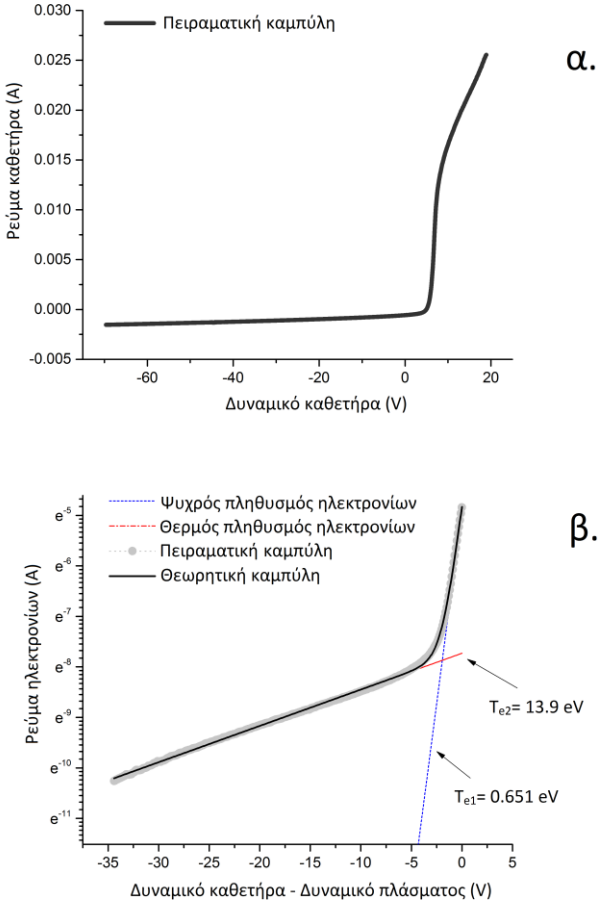


Σχήμα 2β. Διάταξη για τη διεξαγωγή της τεχνικής της φωτο-απόσπασης ηλεκτρονίων με Laser.

Η πίεση λειτουργίας (1–20 mTorr) επιτηρείται με ακρίβεια μέσω ενός μετρητή απόλυτης πίεσης (MKS Baratron 627D).

Για την τεχνική ηλεκτροστατικών καθετήρων τύπου Langmuir χρησιμοποιήθηκε σύρμα βολφραμίου Ø0.25 mm, σχήματος 'Γ', με μήκος έκθεσης στο πλάσμα 15 mm, τοποθετημένο 95 mm κάτω από το επίπεδο που διέρχεται από το μέσο των ζωνών ECR. Η πόλωση του καθετήρα καθώς κι η ανάκτηση των δεδομένων (καμπύλες V-I) έγινε με αυτοματοποιημένο σύστημα μετρήσεων ιδιοκατασκευής [5]. Η επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων έγινε με βάση

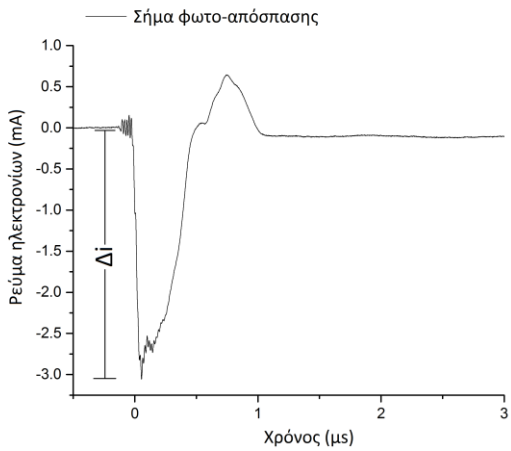
την κλασσική θεωρία ηλεκτροστατικών καθετήρων, με τη βοήθεια επίσης ιδιοαναπτυγμένου λογισμικού βασισμένου σε Matlab™. Τυπικό παράδειγμα ειλημμένης καμπύλης V-I κι επακόλουθης επεξεργασίας παρουσιάζεται στο **Σχ. 3α** και **3β**, αντίστοιχα. Εδώ (**Σχ. 3β**) είναι εμφανής η ύπαρξη δύο διαφορετικών πληθυσμών ηλεκτρονίων (κυρίως ψυχρών n_{cold} = 2.96x10^{10} cm^{-3} και δευτερευόντως θερμών n_{hot} = 3.74x10^{8} cm^{-3}).



Σχήμα 3. Τυπική καμπύλη V-I του καθετήρα στο κέντρο της πηγής πριν (**α**) και μετά (**β**) την επεξεργασία αυτής (5x120 W, 16 mTorr).

Κατά τη διαδικασία της φωτο-απόσπασης, το πλάσμα διαταράσσεται τοπικά με μια δέσμη Laser, με ενέργεια φωτονίων ικανή να αποσπάσει τα επιπλέον ηλεκτρόνια των αρνητικών ιόντων στα οποία προσπίπτει, και τα οποία ηλεκτρόνια συλλέγονται εν συνεχεία τοπικά από τον ηλεκτροστατικό καθετήρα που είναι πολωμένος σε δυναμικό αρκετά υψηλότερο από αυτό του πλάσματος [6] (εδώ πόλωση καθετήρα = +15 V). Στη φωτο-απόσπαση δε μετριέται άμεσα η πυκνότητα αρνητικών ιόντων, αλλά το πλάτος Δ*i* του παλμού ρεύματος των φωτο-αποσπασθέντων ηλεκτρονίων που συλλέγει ο καθετήρας (**Σχ. 2 και 4**). Με δεδομένα το πλάτος αυτό και τις μετρημένες παραμέτρους του πλάσματος (πυκνότητα ηλεκτρονίων n_e και DC ρεύμα I_e του καθετήρα στο δυναμικό πόλωσης) εξάγεται η απόλυτη πυκνότητα n_{H^-} των αρνητικών ιόντων H$^-$ από τη σχέση (2):

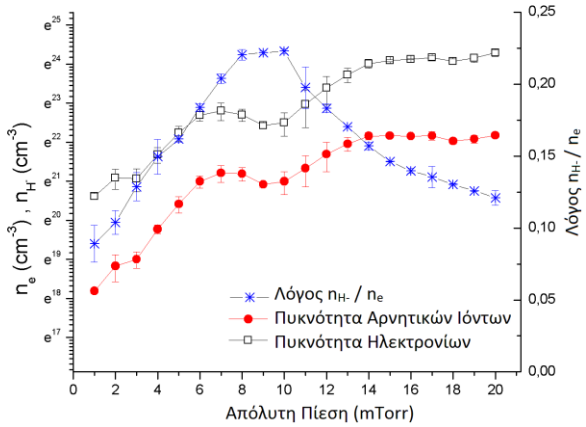
$$n_{H^-} = \frac{\Delta i}{I_e} \cdot n_e \qquad (2)$$



Σχήμα 4. Τυπικό σήμα φωτο-απόσπασης στο κέντρο της πηγής (5x120 W, 16 mTorr).

Στην πηγή "Προμηθέας Ι" χρησιμοποιείται Laser Nd:YAG 1064 nm (Quantel-Brilliant EaZy) με εύρος παλμού 5 ns και μέγιστη ενέργεια 330 mJ/παλμό. Η δέσμη του Laser είναι ευθυγραμμισμένη με τον καθετήρα (**Σχ. 2**) κι η διάμετρός της είναι 6 mm. Η ενέργεια δέσμης βελτιστοποιήθηκε, κατόπιν βαθμονόμησης [6], στα 70 mJ/cm^2 ώστε να είναι ικανή να αποσπά τα επιπλέον ηλεκτρόνια από όλα τα ιόντα στον όγκο που προσπίπτει, χωρίς να επάγει σοβαρές διαταραχές στο πλάσμα. Επίσης, ο καθετήρα πολώνεται σε δυναμικό υψηλότερο του δυναμικού πλάσματος (+15 V) ώστε να εξασφαλισθεί η συλλογή όλων των φωτο-αποσπασθέντων ηλεκτρονίων. Ο προκύπτον παλμός καταγράφεται με μετασχηματιστή ρεύματος (Pearson Electronics, 6585 Bandwidth 40 Hz – 250 MHz) σε ευρυζωνικό ψηφιακό παλμογράφο (LeCroy WaveSurfer 104Xs-A, 1 GHz – 5 GSamples/s).

IV. Πρωταρχικος Χαρακτηρισμος



Σχήμα 4. Τυπικές πυκνότητες βασικών πληθυσμών πλάσματος στο κέντρο της πηγής "Προμηθέας Ι" συναρτήσει της πίεσης λειτουργίας (5x120 W). Δίνονται οι μέσες τιμές κι οι τυπικές αποκλίσεις από δύο ανεξάρτητες σειρές μετρήσεων.

Το **Σχ. 4** συνοψίζει τη μεταβολή κύριων πυκνοτήτων του πλάσματος στο κέντρο της πηγής, όπως μετρήθηκαν με τις παραπάνω τεχνικές, ως συνάρτηση της πίεσης του μοριακού υδρογόνου. Αν κι αυτά τα αποτελέσματα δεν αντιστοιχούν στις βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας της πηγής, καταδεικνύεται η αποδότικότητά της στην παραγωγή αρνητικών ιόντων H^-.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[1] R. S. Hemsworth, T. Inoue, "*Positive and Negative Ion Sources for Magnetic Fusion*", IEEE T. Plasma Sci. **33(6)** (2005) 1799

[2] M. Bacal, *"Physics Aspects of Negative Ion Sources"*, Nucl. Fusion **46** (2006) 250

[3] A. Lacoste, T. Lagarde, S. Béchu, Y. Arnal, J. Pelletier, "*Multi-dipolar plasmas for uniform processing: physics, design and performance*", Plasma Sources Sci. T. **11** (2002) 407

[4] S. Aleiferis, P. Svarnas, I. Tsiroudis, S. Béchu, M. Bacal, A. Lacoste, "*H^- Negative Ion Production From a 2D Network of ECR Dipolar Plasma Sources*", IEEE T. Plasma Sci. **42(10)** (2014) 2828

[5] S. Aleiferis, P. Svarnas, "*Automated Electrostatic Probe Device of High Resolution and Accuracy"*, Rev. Sci. Instrum. **85(12)** (2014) 123504

[6] M. Bacal, "*Photodetachment Diagnostic Techniques for Measuring Negative Ion Densities and Temperatures in Plasmas"*, Rev. Sci. Instrum. **71** (11) (2000) 3981

Comparison of different magnetic materials for locally manufactured axial flux small wind turbine generators in off-grid applications

Aikaterini Troullaki
Graduate Electrical and Computer Engineer
Electric Power Systems Department
National Technical University of Athens (NTUA)
Athens, Greece
katerina88tr@gmail.com

Kostas Latoufis
PhD candidate
Graduate Electrical and Computer Engineer
Imperial College of London
Athens, Greece
latoufis@power.ece.ntua.gr

Abstract— **In this paper the performance of coreless axial-flux permanent magnet (AFPM) generators built using neodymium and ferrite permanent magnets is compared and evaluated. The generators are studied as parts of small wind turbines (SWTs) in off-grid systems. The evaluation is performed by designing, simulating and optimizing generators of four sizes of blade rotor radii using finite element analysis, as well as by bench testing two 850W generators –one using ferrite and one using neodymium magnets. It is shown that it is possible to construct ferrite generators with efficiency similar to that of neodymium generators. Moreover, for each PM material, the optimal magnets that were found for the four sizes of blade rotor radii are compared with the most common commercial magnet in the market and with an optimal "universal magnet".**

Keywords - small wind turbines, permanent magnet, ferrites, axial flux, off-grid, optimization, questionnaire, intermediate technology

I. INTRODUCTION

During the last years there is an increasing interest on axial flux permanent magnet (AFPM) generators for wind power applications and especially for small wind turbines. The vast majority of these generators are manufactured today with neodymium magnets (NdFeB), which, although extremely powerful magnets, have been associated with various problems of economic, social, environmental and functional nature.

First of all, the price of rare earth metals like neodymium (Nd) and dysprosium (Dy) that are contained in the NdFeB magnets is highly unstable. The price for Nd specifically increased more than 1000% from August 2009 to August 2011 [1]. In addition, while China is actually holding a monopoly on the world's rare earth elements (97% of the world's production in 2010) and is reducing or even ceasing the exports at will, the wind power business that uses permanent magnet generators is left with large insecurity.

There are two more substantial problems about rare earth magnets. The one is the severe environmental and social impact induced by the techniques used to extract and refine these metals, causing great damage to people's safety and health and the ecological environment. The other problem is that neodymium magnets have serious corrosion issues. Especially in warm, humid environments it is frequently reported by SWT users that corrosion makes these magnets swell and fall off the rotors or rub the stator and consequently cause the wind turbine to stop operating. For all the above reasons, it seems necessary to rethink our reliance on rare earth metals and look for alternative PM materials.

In this paper, the change of the magnetic material of AFPM generators for small wind turbines is investigated. Based on literature research on magnetic materials, as well as on the results of a questionnaire that was created, it is decided to examine the possibility of replacing neodymium magnets with ceramic magnets (hard ferrites) –the aim being to achieve equivalent efficiency in the generators using ferrites. The chosen topology is a double rotor single stator coreless machine. The rotor consists of two steel discs where magnets are mounted. The absence of an iron core in the stator and the choice of a double layer non overlapping winding, simplifies the initial design process.

Ferrite generators and neodymium generators are designed and simulated for four sizes of blade rotor radii and the magnet dimensions for each of them are optimized according to criteria of cost and efficiency. Having found the optimal magnets for each generator, we seek the optimal universal magnet (one for each magnetic material) that can be satisfactorily used for generators throughout the range of radii that we study. For each material, the universal magnet is compared with the optimal magnets per rotor radius and with the most common commercial magnet in the market.

Finally, a 850W ferrite generator -designed to operate with a 2.4 m rotor diameter- is manufactured, and its performance is compared in the lab with the performance of an equivalent power typical generator with neodymium magnets.

II. QUESTIONNAIRE ADDRESSED TO USERS AND MANUFACTURERS OF LOCALLY MANUFACTURED SWTS

As part of this project an online survey addressed to users, constructors and designers of locally manufactured SWTs was conducted.

The questionnaire created was composed of ten groups of questions concerning mainly the manufacture, operation and

general evaluation of a homemade SWT that the respondent has manufactured and/or operated.

Some statistic results based on 34 responses to the questionnaire are presented below. All the results can be found on the website of the Electrical Energy Systems laboratory of the National Technical University of Athens (NTUA), http://rurerg.net/survey.

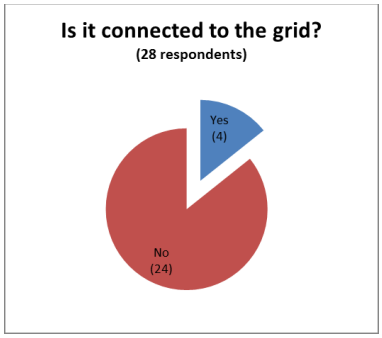


Figure 1. "Is it connected to the grid?"

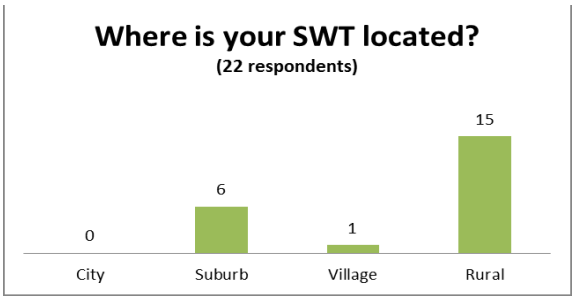


Figure 2. "Where is your SWT located?"

Figures 3 and 4 present the questions that affected the most the direction of this project as they pointed at specific problems that the users face. Figure 3 depicts the causes of failures in the SWTs, their annual rate and the downtime in days.

Corrosion of the generator's magnets and design miscalculations showed up as the most common causes of failures, both of which having a 20% annual rate. In Figure 4, the year of operation that the failures occurred is depicted. It is interesting that the most common cause of failure in the first year of operation is corrosion of the magnets.

Moreover, as shown in Figure 5, the majority of failures result in loss of production and breakdown of the SWT, which renders it important to investigate their causes and the ways to prevent them.

Trying to investigate the problem of magnet corrosion in SWTs we focused our research in the generators' magnetic material.

We decided to replace the controversial neodymium magnets with ceramic magnets or hard ferrites. These ferrite magnets are known to have very high resistance to corrosion and, in fact, don't corrode since they already consist of iron oxides ($MO \times 6(Fe_2O_3)$). Furthermore, they are low-cost, easily produced, highly available magnets and are made of cheap and accessible materials.

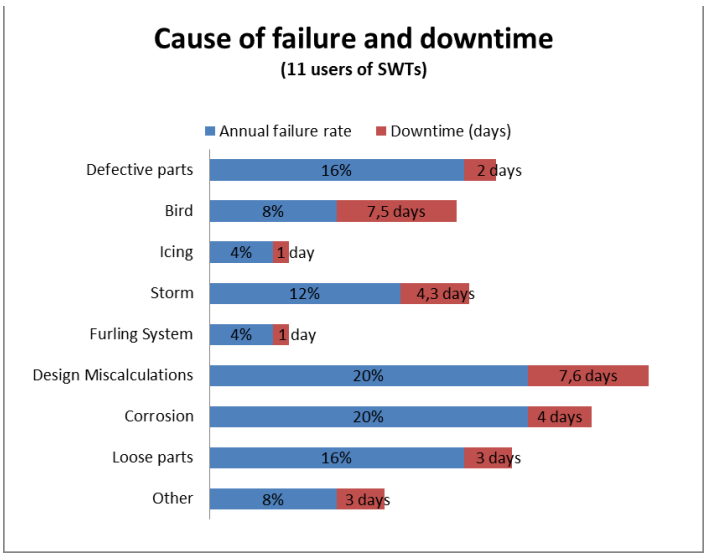
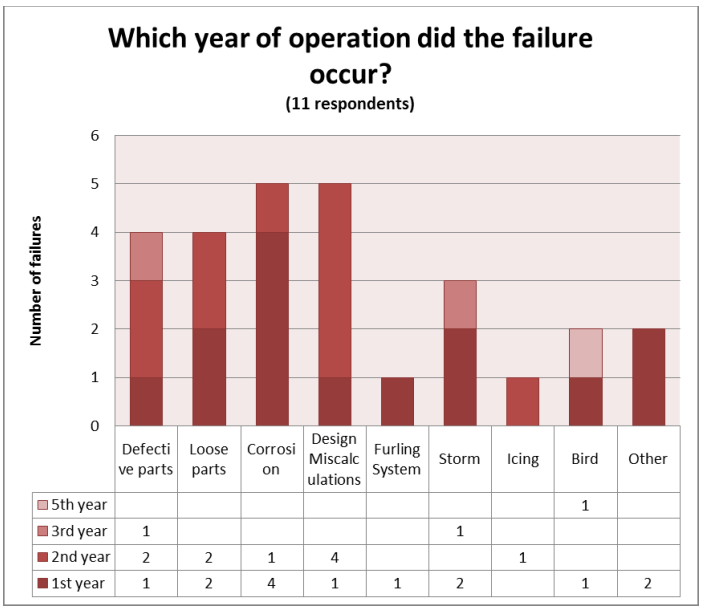


Figure 3. Cause of failure and downtime



	Defective parts	Loose parts	Corrosion	Design Miscalculations	Furling System	Storm	Icing	Bird	Other
5th year								1	
3rd year	1					1			
2nd year	2	2	1	4			1		
1st year	1	2	4	1	1	2		1	2

Figure 4. "Which year of operation did the failure iccur?"- Number of failures

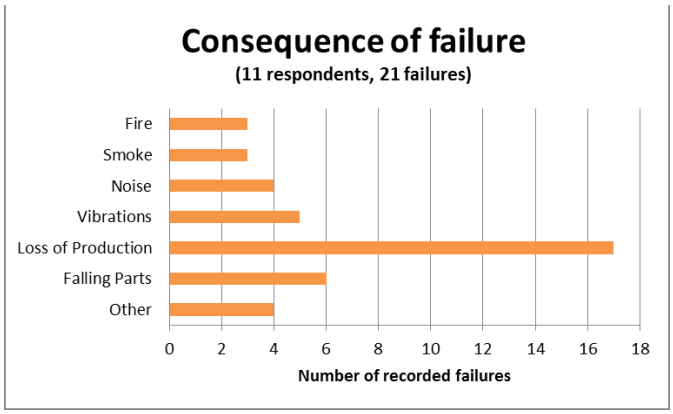


Figure 5. Consequense of failure

III. FERRITE GENERATOR DESIGN

The neodymium and ferrite generators studied in this project followed the design explained in [2]. However, in the ferrite generator design two basic modifications were made.

In order to achieve efficiency equivalent to that of the neodymium generators we increased the number of poles, e.g. if the equivalent neo generator was designed with 12 poles, 16 poles were chosen for the ferrite generator. This would allow the ferrite generator to develop a specific power with less turns per coil, resulting in fewer losses and thus, better efficiency of the generator.

Because pole pairs and frequency are related with equation (1) in a synchronous generator increasing the number of poles resulted in increased frequency as well, but this was not a significant problem for the current design [3].

$$n_{nom} = \frac{120f}{p} \rightarrow p = \frac{120f}{n_{nom}} \qquad (1)$$

In addition, since ferrite magnets are significantly weaker than neodymium magnets, it was decided to increase the magnet thickness h_m. This would allow the ferrite generator to develop a strong magnetic field without further reducing the air gap.

IV. SIMULATION AND OPTIMIZATION OF GENERATORS

The design of the generators was simulated with the use of MATLAB and Finite Element Method Magnetic (FEMM) software. Generators with two different magnetic materials – C8 ferrite and N40 neodymium magnets- and for four different blade rotor radii were simulated – resulting in eight different configurations of AFPM generators.

These configurations were optimized using criteria of high efficiency and minimum cost -in accordance with low cost intermediate technology applications and with an attitude of effective utilization of materials. Eventually, a combinational criterion of cost and efficiency was selected and a simple objective function to be optimized was formed:

$$Output = efficiency*1000 - totalcost \qquad (2)$$

which can be translated as "an efficiency increase of 0.1 is valued as much as 100€". It should be noted that the chosen weights are subjective and can be modified according to priorities.

The variables chosen to be optimized were the magnets' width w_m and length l_a. A simple algorithm altered the value of these variables with a step of 1 mm in the domain of 20-100 mm and calculated each time the value of the objective function.

Furthermore, a few constraints were introduced in the process, which resulted in the rejection of the designs that didn't satisfy them. Specifically, there were three construction constraints [3]:

$$2 \cdot \pi \cdot R_{in} < w_m \cdot p \qquad (3)$$

$$\frac{t_w}{w_c} < 0.35 \qquad (4)$$

$$w_{1in} < 5 \qquad (5)$$

The optimal magnet dimensions that were selected for the two materials and the four different blade rotor radii are shown in Table 1.

	C8		N40	
R_{turb}	w_m	l_a	w_m	l_a
1200mm	49mm	45mm	34mm	36mm
1500mm	60mm	52mm	39mm	43mm
1800mm	55mm	57mm	36mm	44mm
2100mm	63mm	66mm	39mm	52mm

Table 1. Optimal C8 and N40 magnets per blade rotor radius

Apparently, when using ferrite magnets we need bigger magnets to achieve optimal operation. Also, as expected, for bigger blade rotor radii, bigger magnets are needed.

In the figures below the generators using the optimal C8 and the optimal N40 magnets are compared regarding their efficiency, cost, mass and volume.

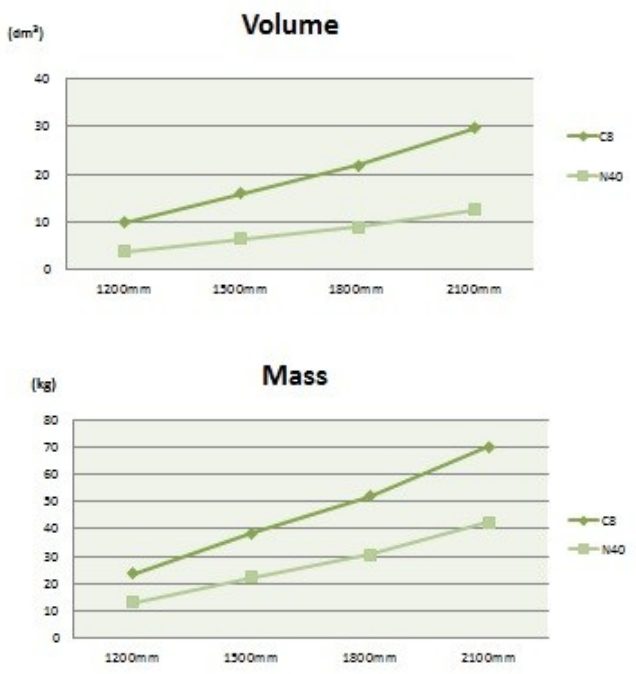


Figure 6. Comparison of generators using the optimal C8 and the optimal N40 magnets

It can be seen that the optimal ferrite generators have slightly lower efficiency and slightly lower cost but much greater volume and mass. This was expected because in the ferrite generator design the number of poles was increased which, in turn, increased the generator's diameter. As can be observed also in Table 1, the optimization algorithm selected bigger magnet dimensions for the ferrite generators which increases further the generator's diameter and weight.

After having specified the optimal magnets per blade rotor radius, we also searched for the dimensions of a "universal" optimal magnet for each magnetic material, which can be used effectively in all the range of blade rotor radii that we studied.

The use of only one magnet for different sizes of generators is desirable as it will reduce its cost of production and, consequently, its price in the market. Also, the higher demand that such a magnet will have will increase the possibility to find it instantly available in the market.

Magnetic material	**C8**	**N40**
Width (w_m)	55mm	39mm
Length (l_a)	62mm	49mm

Table 2. Universal optimal magnet dimensions

The configurations using the universal C8 magnet (55x62mm) were compared with the configurations using the optimal magnets per blade rotor radius. It was indicated that the universal magnet can be used effectively in the whole range of blade rotor radii instead of the optimal magnets, as it results in very similar generators regarding cost, efficiency, mass and volume.

	Universal magnet (wm=55, la=62)	Output = eff*1000-cost	Efficiency	Cost (€)
C8	1200mm	549.9	0.86	310.1
	1500mm	483.7	0.865	381.3
	1800mm	380.6	0.865	483.4
	2100mm	234.9	0.845	610.1
	Optimal magnets per R_{turb}	Output = eff*1000-cost	Efficiency	Cost (€)
	1200mm (49x45)	589.9	0.846	256
	1500mm (60x52)	484.1	0.859	374.9
	1800mm (55x57)	381.3	0.859	477.7
	2100mm (63x66)	237	0.863	626

Table 3. Comparison of ferrite generators using the universal magnet with those using the optimal magnets per R_{turb}

Similar conclusions were drawn for the universal N40 magnet (39x49 mm) as well. Whether the neo generators used the optimal magnets or the universal magnet, there were only small variations in their cost, efficiency, mass and volume.

Furthermore, for each magnetic material we compared the performance of generators using the universal magnet and the "commercial magnet" -that is the magnet which is most available in the market. For each material the magnets that are currently most commercial are depicted in Figure 7.

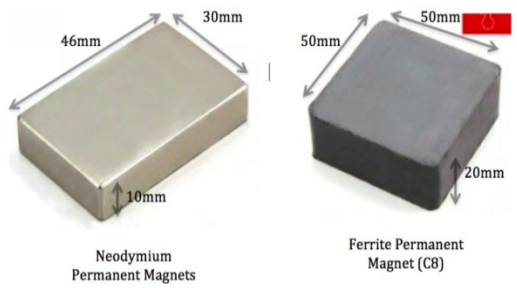
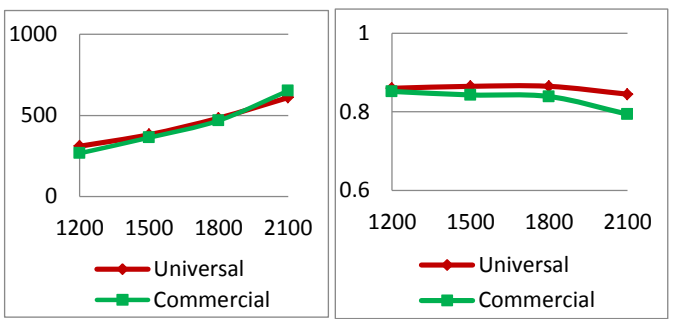
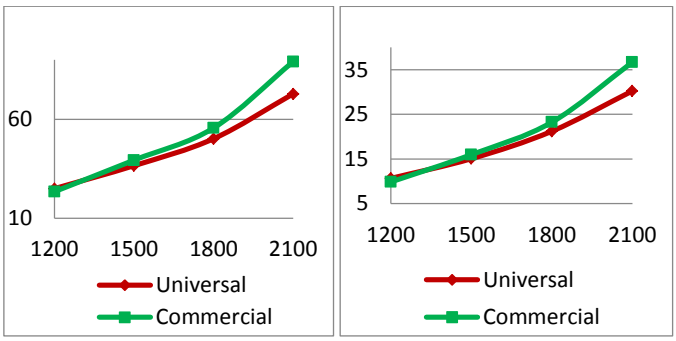


Figure 7. Commercial N40 (46x30mm) and C8 magnet (50x50mm)



(a) (b)



(c) (d)

Figure 8. Comparison of universal and commercial C8 magnet: (a)Cost in €, (b)Efficiency, (c)Mass in kg, (d)Volume in dm^3.

The comparative results for ferrite generators are shown in Figure 8. It was indicated that the universal magnet achieves higher efficiency, lower mass and lower volume, especially as the blade rotor radius increases.

For the generator with R_{turb} = 2.1 m in particular, the currently commercial magnet (50x50 mm) would be inappropriate, as it results in a generator too heavy (>35 kg per rotor) and too bulky (R_{out} > $R_{turb}/6$) to handle by an average person.

Similarly, for the N40 magnets it was indicated that the universal magnet results in better configurations than the currently commercial magnet, especially for the bigger blade rotor radii.

V. CONSTRUCTION OF A FERRITE GENERATOR FOR A 2.4M ROTOR DIAMETER

At this stage, an 850W ferrite generator for a 2.4 m rotor diameter (R_{turb} = 1.2 m) was constructed. The commercial 50x50 mm C8 magnet was used, as it was the closest to the optimal-for-this-configuration C8 magnet that could be found available in the market. Figure 9 shows some parts of the construction process, which was equal to 84 working hours. The construction process is described in detail in [3] and generally followed the guidelines of [4]. A few modifications that were made are briefly explained here.

Since the ferrite generator was going to come out with a larger diameter and possibly would not be properly ventilated, we decided to open six large holes on the rotor disks in order to provide better cooling to the generator. Furthermore, the rotor and stator are typically casted in polyester resin for better mechanical support. However, this time vinyl ester resin was used instead, since it has been proved in many previous experiences that polyester does not adhere well to metals – often cracking and letting moisture come through. In addition, inside the resin and around the magnets a metal wire was placed for extra reinforcement of the structure. Finally, when casting the stator the ends of the coils were intentionally left out of the resin so that later during testing different connections could be performed.

Figure 9. Parts of the construction process of the ferrite generator.

VI. COMPARISON OF A NEODYMIUM AND A FERRITE GENERATOR

Once the construction was completed, it was time to test the ferrite generator in comparison with a neo generator of the same rated power. The neo generator used was also designed to operate with a 2.4 m rotor diameter and its design was based on [4] and described analytically in [5]. Table 4 presents the basic characteristics of the generators that were compared.

Magnetic Material	**NdFeB N40**	**Ferrite C8**
Rated Power	850 W	850 W
Number of poles	12	16
Number of coils	9	12
Magnet dimensions	30x46x10mm	50x50x20mm
Design cut-in	215 RPM	215 RPM
Battery Voltage	48 V	48 V
Total Mass	12.47 kg	25.77 kg
Total Volume	3.9 dm^3	10.7 dm^3
Total Cost	328 €	219 €
Magnets' cost	240 €	99 €

Table 4. Basic characteristics of the neo and ferrite generator

To compare the technical performance of the neodymium and ferrite generators, the following tests were performed on both generators: open circuit voltage, load test (3-phase resistive and battery), measurement of the stator's resistance and stator's temperature.

For both generators, the resistance of each phase in the stator was measured at room and operating temperature and then the average 3-phase resistance was calculated. It was indicated that the ferrite generator has a 56% higher stator resistance.

During the stator's temperature test the generators were connected to a battery bank and operated at rated power. The increase in temperature was recorded every 30 seconds for a total of 15 minutes using an infra-red thermometer.

In Figure 10 it can be seen that the ferrite generator operates in lower temperature, even though it has higher stator resistance (thus more thermal losses) and larger diameter. This proves that the large holes that were opened on its rotors for better cooling were effective.

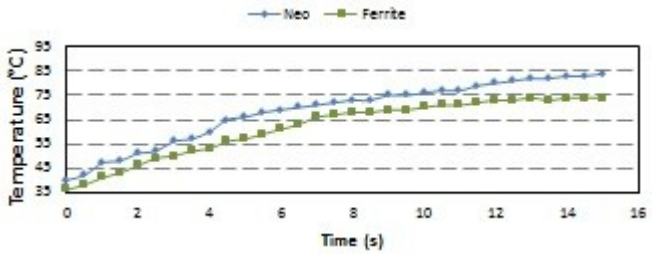


Figure 10. Measurement of the stators' temperature.

Additionally, the open circuit voltage was measured for both generators and it was found that the generators have a similar open circuit behavior, even though the neodymium generator induced a slightly higher voltage, and thus developed the cut-in voltage in less RPM. Specifically, while both generators were designed to cut-in at 215 RPM, the neo generator had n_{cutin}= 210 RPM and the ferrite generator n_{cutin}= 222 RPM, which is further explained in [3].

Subsequently, each generator was connected via a rectifier to a 48V battery bank. The RPMs were increased to the point that current started to flow to the batteries and then until the nominal current was measured. In this manner, the power curve of the generator could be calculated.

Figure 11 shows the power curves of the two generators where it can be seen that the ferrite generator produces the rated power at higher rpm.

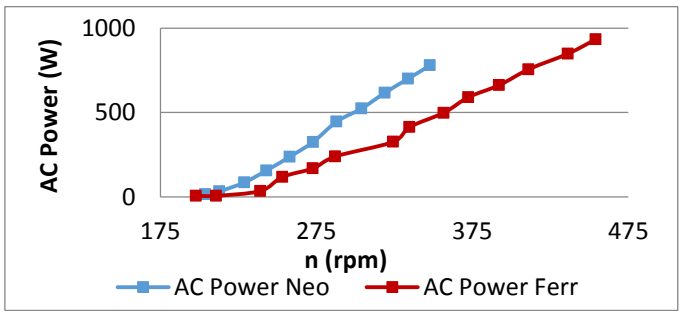


Figure 11. Power Curves of Neodymium and Ferrite generator.

This is relevant to the ferrite generator's higher stator resistance. A generator with higher resistance has lower current flow and thus lower torque at given RPM. However, this is not necessarily a problem, since these generators are studied as part of SWTs without pitch control. On the one hand, low torque (caused by high resistance) can cause the blades of the wind turbine to speed up too much, resulting in λ bigger than the optimal. On the other hand, high torque in low RPM can cause the blades to stall even in low wind speeds, preventing them from benefiting from the wind's kinetic energy.

Therefore, in order to operate with λ_{opt} most of the times (at the site's average wind speed) it is important to determine the most appropriate total resistance that the generator together with the cable to the rectifier should have.

Finally, in Figure 12, the efficiency of the generators is depicted against their produced electric power. Here, without the effect of the RPM, it can be observed that the ferrite generator can achieve efficiency per produced power equivalent to that of the neodymium generator.

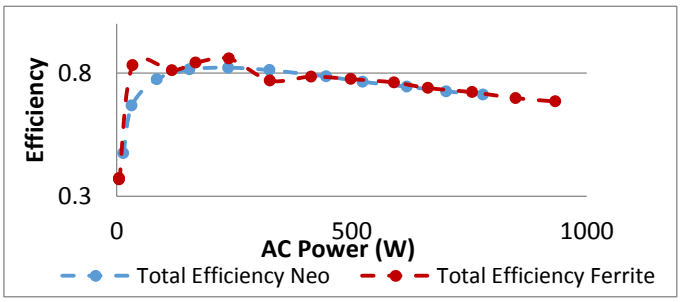


Figure 12. The generators' efficiency against their produced electric power.

List of Symbols

f - frequency (Hz)
h_m - magnet thickness (m)
l_a - active length (m)
n – generator RPM
p – number of pole pairs
R_{in} – inner radius (m)
R_{turb} – wind turbine radius (m)
t_w – stator axial thickness (m)
w_{1in} – inner coil side (m)
w_c – coil side width (m)
w_m – magnet radial witdth (m)
λ_{opt} – optimum tip speed ratio

REFERENCES

[1] S. Eriksson, H. Bernhoff, "Rotor Design for PM Generators Reflecting the Unstable Neodymium Price", In Proceedings of the 2012 XXth International Conference on Electrical Machines, IEEE, France, 2012.

[2] K.C. Latoufis, G.M. Messinis, P.C. Kotsampopoulos and N.D. Hatziargyriou, 'Axial Flux Permanent Magnet Generator Design for Low Cost Manufacturing of Small Wind Turbines', National Technical University of Athens, Reprinted from Wind Engineering, 2012.

[3] Aikaterini Troullaki, "A study of different magnetic materials for locally manufactured axial flux small wind turbine generators used in rural electrification applications", Diploma Thesis, NTUA, 2014.

[4] H. Piggott, "A wind turbine recipe book", 2009.

[5] Panos Kotsampopoulos, "Analysis, construction and simulation of the operation of an axial flux small wind turbine", Diploma Thesis, NTUA, 2010.

Εύρεση Βέλτιστου Αριθμού, Θέσης και Ισχύος Μονάδων Διανεμημένης Παραγωγής με χρήση Τεχνικής Σμήνους Σωματιδίων.

Πασχάλης Α. Γκαϊδατζής, Άγγελος Σ. Μπουχουράς, Καλλισθένης Ι. Σγούρας.

***Περίληψη*— Σε αυτήν την εργασία γίνεται μία καινοτόμος προσπάθεια προς την επίλυση του προβλήματος εύρεσης του βέλτιστου αριθμού, θέσης και εγκατεστημένης ισχύος Μονάδων Διανεμημένης Παραγωγής (Μ.Δ.Π.) στα Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ), με στόχο τη μείωση απωλειών ισχύος. Κατά τη διαδικασία επίλυσης λαμβάνονται υπόψιν ως περιορισμοί τα όρια τάσεων στους ζυγούς και το θερμικό όριο των γραμμών. Στην εργασία αυτή αναπτύσσεται κατάλληλο λογισμικό, που υλοποιεί τη μέθοδο βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων (Particle Swarm Optimization, PSO) σε περιβάλλον MATLAB και με τη χρήση του λογισμικού MATPOWER πραγματοποιούνται προσομοιώσεις σε ΣΗΕ 16 και 69 ζυγών (IEEE-16, IEEE-69) για την ανάδειξη της μεθόδου.**

***Λέξεις – Κλειδιά* — Βέλτιστος Αριθμός, Βέλτιστη Θέση και Διαστασιολόγηση, Διανεμημένη Παραγωγή, Μείωση Απωλειών Ισχύος, Τεχνική Σμήνους Σωματιδίων.**

I. Εισαγωγη

Η Εφαρμογή της Διανεμημένης Παραγωγής (Δ.Π.), μέσω Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.), ή άλλων συμβατικών μονάδων, έχει οδηγήσει στην αλλαγή νοοτροπίας τόσο στο σχεδιασμό, όσο και στη λειτουργία των ΔΔΗΕ. Επίσης, έχει αναδείξει και κάποιες ευεργετικές συνέπειες όπως μείωση απωλειών ισχύος [1], βελτίωση αξιοπιστίας συστήματος [2], βελτίωση του προφίλ της Τάσης του δικτύου [3] κ.α., κατά τον βέλτιστο δυνατό τρόπο. Η εγκατάσταση μονάδων Δ.Π. μπορεί να συνεισφέρει στη μείωση των απωλειών ισχύος ενός ΔΔΗΕ καθώς εγκαθίστανται εγγύτερα στο φορτίο. Ωστόσο, η χωρίς πρόβλεψη και σχεδιασμό τοποθέτηση μονάδων Δ.Π. μπορεί να οδηγήσει σε ανεπιθύμητα αποτελέσματα, όπως αύξηση των απωλειών [1], αντίστροφη ροή ισχύος [4], ανύψωση τάσης [5] κ.α. Επομένως, η αναζήτηση λύσης στο πρόβλημα δεν θα πρέπει να γίνεται με τυχαία χωρική κατανομή των μονάδων, αλλά αντίθετα θα πρέπει να εξασφαλίζεται η βέλτιστη λύση που θα συμπεριλαμβάνει τόσο τη θέση, όσο και την ισχύ των μονάδων. Προς αυτή την κατεύθυνση, έχει γίνει τα τελευταία χρόνια έντονη ερευνητική δραστηριότητα. Έχουν εφαρμοστεί αναλυτικές μέθοδοι [6]-[8], ευριστικές [9]-[11], ή συνδυασμοί αυτών που προσεγγίζουν τμηματικά το πρόβλημα βρίσκοντας πρώτα τη βέλτιστη θέση και έπειτα την βέλτιστη ισχύ, [12]-[16]. Ωστόσο, στη πλειοψηφία τους, το πρόβλημα περιορίζεται στην εγκατάσταση μίας μονάδας [6], [7], [9], ενός προκαθορισμένου αριθμού μονάδων [10], [11], [14], στην σειριακή τοποθέτησή τους [8], [15], [16], ή βαθμονομώντας τους ζυγούς του δικτύου, με σκοπό την ιεράρχησή τους για την εγκατάσταση σε αυτούς μονάδων ΔΠ. [13].

Σε αυτή τη μελέτη, αναπτύσσεται μία μεθοδολογία που προσεγγίζει το ζήτημα τόσο της βέλτιστης θέσης και ισχύος των μονάδων, όσο και του βέλτιστου αριθμού, ταυτόχρονα. Η προσέγγιση γίνεται από τη πλευρά του ΔΔΗΕ και με στόχο τη μείωση απωλειών, ενώ η διαδικασία επίλυσης γίνεται με χρήση της Τεχνικής Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων (Particle Swarm Optimization, PSO) και πιο συγκεκριμένα της τοπικής εκδοχής του (Local-PSO-Variant, L-PSO-V, [17]). Ως περιορισμοί λαμβάνονται υπόψιν τεχνικές παράμετροι ενός ΔΔΗΕ, όπως τα όρια τάσης στους ζυγούς και τα θερμικά όρια των γραμμών. Η απαιτούμενη Ανάλυση Ροής Φορτίου (ΑΡΦ) γίνεται με τη χρήση του λογισμικού MATPOWER.

II. Μοντελοποιηση Προβληματος

A. Συνάρτηση Στόχου

Ως Συνάρτηση Στόχου ορίζεται το άθροισμα των απωλειών ισχύος του ΔΔΗΕ, δηλαδή:

$$F_{loss} = min \sum_{i=1}^{n_l} g_{i,j}\left(V_i^2 + V_j^2 - 2V_iV_j\cos(\theta_i - \theta_j)\right) \qquad (1)$$

όπου:

F_{loss} : η συνάρτηση απωλειών,
$g_{i,j}$: η Αγωγιμότητα του κλάδου i-j,
n_l : ο αριθμός των κλάδων του δικτύου,
V_i : το πλάτος της Τάσης του ζυγού i,
V_j : το πλάτος της Τάσης του ζυγού j,
θ_i : η γωνία της Τάσης του ζυγού i,
θ_j : η γωνία της Τάσης του ζυγού j.

Οι κκ. Πασχάλης Α. Γκαϊδατζής, και Καλλισθένης Ι. Σγούρας αποτελούν μεταπτυχιακούς φοιτητές του Εργαστηρίου Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Αριστοτελείου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης και ο κ. Άγγελος Σ. Μπουχουράς απόφοιτο του ιδίου Τμήματος, 54124, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα (e-mails: pgkaidat@auth.gr , abouchou@auth., ksgouras@ee.auth.gr)
.

B. Περιορισμοί

Ως *Εξισωτικοί Περιορισμοί* ορίζονται οι εξισώσεις της Ανάλυσης Ροής Φορτίου, δηλαδή:

$$g_P(V,\theta,P_g) = P_{bus}(V) + P_d - C_g P_g = 0 \quad (2)$$

$$g_Q(V,\theta,Q_g) = Q_{bus}(V) + Q_d - C_g Q_g = 0 \quad (3)$$

όπου:

$P_{bus}(V)$: Διάνυσμα - Η υπολογισμένη από ΑΡΦ Ενεργός ισχύς των ζυγών, διαστάσεων $n_b \times 1$,

P_d : Διάνυσμα - Η Ενεργός ισχύς των φορτίων των ζυγών, διαστάσεων $n_b \times 1$,

C_g : Αραιός Πίνακας όπου το $(i,j)^{\text{στο}}$ στοιχείο είναι 1 αν η γεννήτρια j είναι στο ζυγό i, αλλιώς 0, διαστάσεων $n_b \times n_g$,

P_g : Διάνυσμα – Η ενεργός ισχύς των γεννητριών, διαστάσεων $n_g \times 1$,

$Q_{bus}(V)$: Διάνυσμα - Η υπολογισμένη από ΑΡΦ Άεργος ισχύς των ζυγών, διαστάσεων $n_b \times 1$,

Q_d : Διάνυσμα - Η Άεργος ισχύς των φορτίων των ζυγών, διαστάσεων $n_b \times 1$,

Q_g : Διάνυσμα – Η ενεργός ισχύς των γεννητριών, διαστάσεων $n_g \times 1$,

n_b : ο αριθμός των ζυγών του Δικτύου,

n_g : ο αριθμός των γεννητριών του Δικτύου.

Ως *Ανισωτικοί Περιορισμοί* ελήφθησαν τα όρια τάσης των ζυγών και τα όρια φόρτισης των γραμμών, δηλαδή:

$$V_i^{min} < V_i < V_i^{max} \quad (4)$$

$$S_{line\ j} < S_{line\ j}^{max} \quad (5)$$

όπου, V_i^{min}, V_i^{max} τα κάτω και άνω όρια των τάσεων, τα οποία συνήθως είναι ίσα με 0,95 και 1,05 p.u., αντίστοιχα και $S_{line\ j}^{max}$ το όριο φόρτισης της γραμμής.

III. Τεχνικη PSO

Η μείωση απωλειών αποτελεί ένα μη-γραμμικό πρόβλημα βελτιστοποίησης, υποκείμενο σε αρκετούς περιορισμούς, ενώ και οι διαστάσεις του χώρου λύσεων μπορεί να αυξηθούν σημαντικά. Οι αναλυτικές μέθοδοι επίλυσής του μπορεί να γίνουν πολύπλοκες και χρονοβόρες [18]. Για αυτό και στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιείται η τεχνική PSO, η οποία θεωρείται μία αποτελεσματική τεχνική επίλυσης τέτοιων προβλημάτων, χάρη στην ικανότητά της να παρέχει αποτελεσματικά λύσεις, απαιτώντας σχετικά μικρή υπολογιστική ισχύ και εντός αποδεκτών χρονικών ορίων. Προτάθηκε αρχικά το 1995 από τους Eberhart & Kennedy [19], εμπνεόμενοι από τη κοινωνική συμπεριφορά σμηνών πουλιών και κοπαδιών ψαριών. Αρκετές εκδοχές της έχουν προταθεί μέχρι σήμερα [9], [11],[20]-[22]. Σε αυτή τη εργασία εφαρμόζεται η λεγόμενη τοπική εκδοχή (Local PSO Variant, L-PSO-V) [17], και με χρήση τοπολογίας δακτυλίου, λόγω της δυνατότητας που προσφέρει αναφορικά με την εξερεύνηση του χώρου λύσεων και την αποτροπή εγκλωβισμού σε τοπικά ελάχιστα.

Στην εν λόγω τεχνική, ένα πληθυσμός σωματιδίων εξερευνά το χώρο λύσεων. Η θέση τους αλλάζει με τη πάροδο του χρόνου και με κριτήρια την προσωπική εμπειρία (προσωπικό βέλτιστο - γνωστική συνιστώσα), αυτή των γειτόνων τους (κοινωνικό βέλτιστο - συνιστώσα), όπως και την κεκτημένη ταχύτητά τους. Δηλαδή:

$$v_i(t+1) = wv_i(t) + c_1R_1(P_i(t) - X_i(t)) + c_2R_2(P_g(t) - X_i(t)) \quad (6)$$

$$X_i(t+1) = X_i(t) + v_i(t+1) \quad (7)$$

όπου $i = 1,2,\dots,N$, όπου N ο αριθμός των σωματιδίων και:

$X_i(t)$: Η τρέχουσα θέση του σωματιδίου i,

$X_i(t+1)$: η επόμενη θέση του,

$v_i(t)$: η τρέχουσα ταχύτητά του,

$v_i(t+1)$: η επόμενη ταχύτητά του,

$P_i(t)$: το προσωπικό βέλτιστό του,

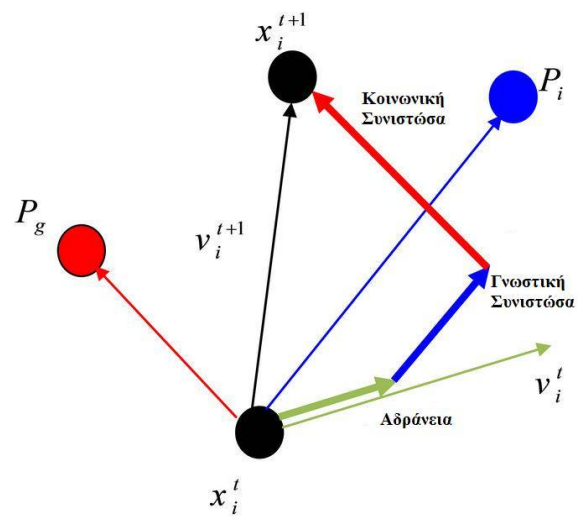
$P_g(t)$: το βέλτιστο της γειτονιάς του,

w : Όρος αδράνειας γραμμικώς μειούμενος με το χρόνο t,

c_i : συντελεστές βαρύτητας,

R_i : μεταβλητές τυχαίων τιμών βάσει ομοιόμορφης κατανομής.

Στην Εικόνα 1 δίνεται μία αποτύπωση της κίνησης ενός σωματιδίου, ενώ στην Εικόνα 2 παρουσιάζεται το λογικό διάγραμμα του αλγορίθμου.

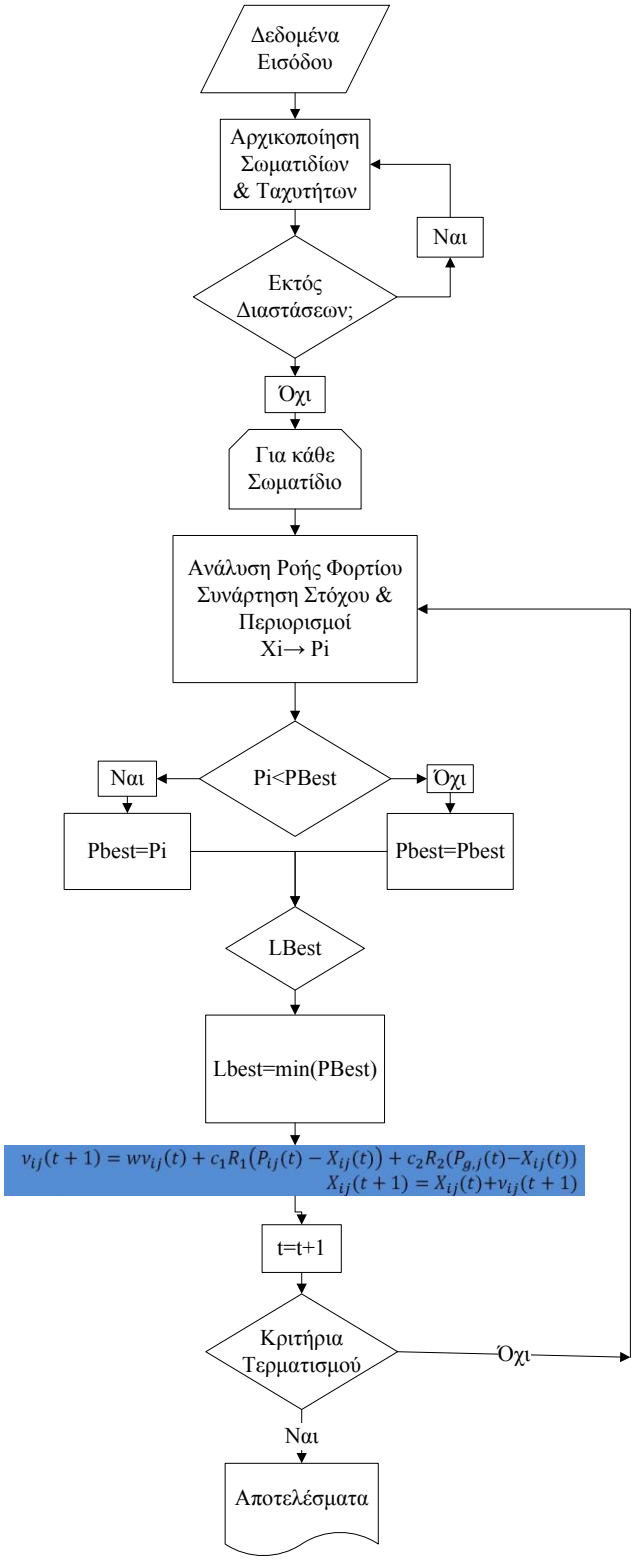


Εικ. 1. Διανυσματικό Διάγραμμα κίνησης σωματιδίου.

IV. Αποτελεσματα

Για την ανάδειξη των ικανοτήτων της μεθόδου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, όπως αυτά προέκυψαν από την εφαρμογή της σε ΣΗΕ 69 ζυγών, IEEE-69 [23], όπως και ΣΗΕ 16 ζυγών, IEEE-16 [24], με το οποίο μάλιστα γίνεται και σύγκριση αποτελεσμάτων με άλλες μελέτες για καλύτερη

εκτίμησή της. Και τα δύο ΣΗΕ είναι ακτινικά, με συνολικό φορτίο 3,8+j2,69 MVA για το IEEE-69, και 28,7+j5,9 MVA για το IEEE-16. Η εφαρμογή της μεθόδου έχει γίνει και σε άλλα ΣΗΕ, όπως 30, 33, και 118 ζυγών.



Εικ. 2. Λογικό Διάγραμμα Αλγορίθμου.

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή στο δίκτυο IEEE-69 φαίνονται στο Πίνακα ΙΙ. Διαπιστώνεται σημαντική μείωση των απωλειών. Ακόμη, τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου στο IEEE-16, δίνονται στον Πίνακα ΙΙΙ, μαζί με τα αποτελέσματα άλλων μεθόδων. Πιο συγκεκριμένα, στη Μελέτη #1 [6] εφαρμόζεται μία αναλυτική μέθοδος, ονόματι βελτιωμένη αναλυτική (Improved Analytical, IA), με χρήση συντελεστών ευαισθησίας (Sensitivity factors). Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι ερευνάται η εγκατάσταση μίας μόνο μονάδας. Στη Μελέτη #2 [8], εφαρμόζεται πάλι αναλυτική μέθοδος αυτή τη φορά όμως ερευνάται η εγκατάσταση τριών μονάδων. Και στις δύο μελέτες προκαθορίζεται ένας συγκεκριμένος αριθμός μονάδων. Αυτό αποτελεί ένα σημαντικό μειονέκτημα στην προσπάθεια εξεύρεσης της βέλτιστης λύσης, διότι μία βασική παράμετρος του προβλήματος (ο βέλτιστος αριθμός των μονάδων ΔΠ) προκαθορίζεται και συνεπώς δεν εξασφαλίζεται η βέλτιστη λύση. Αντίθετα, στην προτεινόμενη μεθοδολογία, στην παρούσα εργασία, ο αλγόριθμος αφήνεται ελεύθερος να βρει τον πραγματικά βέλτιστο αριθμό, ταυτόχρονα με την θέση και την ισχύ των μονάδων. Διαπιστώνεται ότι με τη προτεινόμενη λύση τα αποτελέσματα είναι βελτιωμένα σε σημαντικό βαθμό.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΣΤΟ IEEE-69

Αρχικές Απώλειες [MW]	0,2298		
Τελικές Απώλειες [MW]	0,0084	Μείωση κατά [%]	96,34
Βέλτιστη Θέση	Ενεργός Ισχύς [MW] (+ παραγωγή, - κατανάλωση)	Άεργος Ισχύς [MVAr] (+ παραγωγή, - κατανάλωση)	
9	0	0,1886	
12	0,5029	0,2789	
19	0,3815	0,2523	
53	1,6739	1,1774	
Βέλτιστος Αριθμός	Συνολικά Εγκατεστημένη Ενεργός Ισχύς [MW]	Συνολικά Εγκατεστημένη Άεργος Ισχύς [MVAr]	
4	2,5582	1,8972	

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙΙ
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΣΤΟ IEEE-16

Μέθοδος	Μελέτη #1	Μελέτη #2	Προτεινόμενη
Μείωση Απωλειών [%]	68,21	86,7	98,99
Βέλτιστη Θέση	9	6 9 15	3 4 5 6 7 10 11 12 13
Αριθμός μονάδων	1	3	9
Συνολικά Εγκατεστημένη Ενεργός Ισχύς [MW]	13,04	22,75	27,84
Συνολικά Εγκατεστημένη Άεργος Ισχύς [MVAr]	1,86	3,24	17,16

V. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή γίνεται μία προσπάθεια επίλυσης του προβλήματος εύρεσης τόσο των βέλτιστης θέσης και ισχύος μονάδων Δ.Π. σε ΔΔΗΕ, όσο και του βέλτιστου αριθμού αυτών, ταυτόχρονα. Αποδεικνύονται τα οφέλη από την βέλτιστη τοποθέτηση των μονάδων, όπως και τα πλεονεκτήματα της μεθόδου, μέσω σύγκρισης με άλλες προσεγγίσεις.

Ειδικότερα, επιτυγχάνεται σημαντική μείωση των απωλειών, λόγω αναζήτησης βέλτιστης λύσης, το οποίο σημαίνει περισσότερη ωφέλιμη παραγόμενη ενέργεια και μικρότερο κόστος για το Διαχειριστή του ΔΔΗΕ, όπως και κάποια από τα υπόλοιπα οφέλη εγκατάστασης Δ.Π. (βελτίωση του Προφίλ της Τάσης, μείωση της φόρτισης των γραμμών του Δικτύου κ.α.).

Επίσης, διαπιστώνεται ότι με τη προσθήκη και της εύρεσης βέλτιστου αριθμού στην επίλυση, επιτυγχάνεται ακόμη καλύτερη λύση, συγκριτικά με την εύρεση μόνο βέλτιστης θέσης και ισχύος των μονάδων Δ.Π. Συνεπώς, επρόκειτο για μία πραγματικά βέλτιστη λύση, που επιτυγχάνεται με πλήρη ελευθερία του αλγορίθμου προς την εξεύρεσή της.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] S. Kansal, B. Sai, B. Tyagi, and V. Kumar, "Optimal placement of distributed generation in distribution networks," *Int. J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 3, pp. 47–55, 2011.

[2] a. a. Abou El-Ela, S. M. Allam, and M. M. Shatla, "Maximal optimal benefits of distributed generation using genetic algorithms," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 80, no. 7, pp. 869–877, 2010.

[3] S. Vijayant, Sharma, "Voltage Stability Analysis of Distribution System," *Int. J. Emerg. Trends Eng. Dev.*, vol. 2, no. 3, pp. 56–66, 2013.

[4] V. H. Méndez Quezada, J. Rivier Abbad, and T. Gómez San Román, "Assessment of energy distribution losses for increasing penetration of distributed generation," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 21, no. 2, pp. 533–540, 2006.

[5] Θ. Κόρλος, "Αντιμετώπιση Φαινομένου Ανύψωσης Τάσης Λόγω Διείσδυσης Φωτοβολταϊκών στη Χαμηλή Τάση", Διπλωματική Εργασία, ΣΗΜΜΥ ΕΜΠ, Αθήνα, 2012.

[6] D. Q. Hung, N. Mithulananthan, and R. C. Bansal, "Analytical expressions for DG allocation in primary distribution networks," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 25, no. 3, pp. 814–820, 2010.

[7] T. Gözel and M. H. Hocaoglu, "An analytical method for the sizing and siting of distributed generators in radial systems," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 79, pp. 912–918, 2009.

[8] D. Q. Hung and N. Mithulananthan, "Multiple distributed generator placement in primary distribution networks for loss reduction," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no. 4, pp. 1700–1708, 2013.

[9] T. Kumar and T. Thakur, "Comparative Analysis of Particle Swarm Optimization Variants on Distributed Generation Allocation For Network Loss Minimization," *First Int. Conf. Networks Soft Comput.*, pp. 0–4, 2014.

[10] G. Celli, E. Ghiani, S. Mocci, and F. Pilo, "A multiobjective evolutionary algorithm for the sizing and siting of distributed generation," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 20, no. 2, pp. 750–757, 2005.

[11] W. Prommee, W. , Ongsakul, "Optimal multiple distributed generation placement in microgrid system by improved reinitialized social structures particle swarm optimization," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 20, no. May 2010, pp. 1–6, 2009.

[12] . S. Abu-Mouti and M. E. El-Hawary, "Heuristic curve-fitted technique for distributed generation optimisation in radial distribution feeder systems," *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 5, no. December 2009, p. 172, 2011.

[13] P. Mahat, W. Ongsakul, and N. Mithulananthan, "Optimal placement of wind turbine DG in primary distribution systems for real loss reduction," *Proc. Energy Sustain. Dev. Prospect. Issues Asia, Phuket*, no. 4, 2006.

[14] M. H. Moradi and M. Abedini, "A combination of genetic algorithm and particle swarm optimization for optimal DG location and sizing in distribution systems," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 34, no. 1, pp. 66–74, 2012.

[15] M. P. Lalitha, V. C. V. Reddy, and V. Usha, "Optimal DG Placement for Minimum Real Power Loss in Radial Distribution Systems using PSO," *J. Theor. Appl. Inf. Technol.*, vol. 13, pp. 107 – 116, 2010.

[16] P. S. Rani and A. L. Devi, "Sizing and placement of multi distributed generation using exact loss formula" *Int. J. Adv. Res. Electr. Electron. Instrum. Eng.*, vol. 2, no. 11, pp. 5741–5746, 2013.

[17] K. E. Parsopoulos and M. N. Vrahatis, *Particle Swarm Optimization and Intelligence*. Hershey PA: Information Science Reference, 2010.

[18] Y. Del Valle, G. K. Venayagamoorthy, S. Mohagheghi, J.-C. Hernandez, and R. G. Harley, "Particle Swarm Optimization: Basic Concepts, Variants and Applications in Power Systems," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 12, no. 2, pp. 171–195, 2008.

[19] R. Eberhart and J. Kennedy, "A new optimizer using particle swarm theory," *MHS'95. Proc. Sixth Int. Symp. Micro Mach. Hum. Sci.*, pp. 39–43, 1995.

[20] Y. Shi and R. Eberhart, "A modified particle swarm optimizer," *1998 IEEE Int. Conf. Evol. Comput. Proceedings. IEEE World Congr. Comput. Intell. (Cat. No.98TH8360)*, pp. 69–73, 1998.

[21] X. Hu, Y. Shi, and R. Eberhart, "Recent advances in particle swarm," *IEEE Congr. Evol. Comput. 2004 CEC2004*, vol. 1, pp. 90–97, 2004.

[22] Mendes, R., Kennedy, J., & Neves, J. "Watch thy neighbor or how the swarm can learn from its environment" Swarm Intelligence Symposium, 2003. SIS'03. Proceedings of the 2003 IEEE, 2003.

[23] S. Soudi, "Distribution System Planning With Distributed Generations Considering Benefits and Costs," *Int. J. Mod. Educ. Comput. Sci.*, vol. 5, no. October, pp. 45–52, 2013.

[24] S. Civanlar, J. J. Grainger, H. Yin, and S. S. H. Lee, "Distribution feeder reconfiguration for loss reduction," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 3, no. 3, pp. 1217–1223, 1988.

Μέθοδος Επίλυσης Ροής Φορτίου με Γραμμική Πολυπλοκότητα

Αγησίλαος Χ. Μάντζιαρης, Καλλισθένης Ι. Σγούρας

***Περίληψη*— Η εργασία αυτή παρουσιάζει μία νέα μέθοδο επίλυσης της ροής φορτίου σε ακτινικά δίκτυα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας με μία τροφοδοσία. Σε αντίθεση με την πλειονότητα των μεθόδων, η λύση του προβλήματος προσεγγίζεται με μη επαναληπτικό τρόπο. Το βασικό της εργαλείο είναι ένα μοντέλο δύο ζυγών. Το μοντέλο αυτό στη συνέχεια επεκτείνεται σε μεγαλύτερα δίκτυα με μία γραφική μέθοδο σάρωσης δικτύων – δέντρων, η οποία αμελεί τις απώλειες ενεργού ισχύος επί των γραμμών του δικτύου, που οφείλονται στην απομακρυσμένη, από τη πηγή, εξυπηρέτηση φορτίων. Πειραματικά η μέθοδος αξιολογήθηκε σε δίκτυα υψηλής και μέσης τάσης και αποδείχθηκε ταχύτατη, με ελάχιστες απαιτήσεις σε υπολογιστικά μέσα και με αποτελέσματα μικρού σφάλματος.**

***Λέξεις κλειδιά*— ακτινικά δίκτυα, γραμμική πολυπλοκότητα, ροή φορτίου**

I. Εισαγωγη

Η ροή φορτίου είναι η λύση του προβλήματος της στάσιμης κατάστασης λειτουργίας ενός δικτύου μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Η λύση του προβλήματος αναφέρεται στον υπολογισμό κατά μέτρο και φάση των τάσεων και των ρευμάτων, των ροών ενεργού και άεργου ισχύος καθώς και των απωλειών ενεργού ισχύος σε όλα τα σημεία του δικτύου κάτω από πραγματικές ή υποτιθέμενες συνθήκες λειτουργίας.

Για την επίλυση αυτού του προβλήματος έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι με διαφορετικά χαρακτηριστικά και διαφορετικές δυνατότητες εφαρμογής [1],[2]. Τα κριτήρια επιλογής της καταλληλότερης μεθόδου, για την επίλυση ενός προβλήματος ροής φορτίου, είναι η ακρίβεια και η ταχύτητα των υπολογισμών της, η διαθεσιμότητα σε υπολογιστικά μέσα και το κόστος της εφαρμογής. Το εύρος των μεθόδων που έχουν αναπτυχθεί οφείλεται στα τρία αυτά κριτήρια, τα οποία συνδέονται άρρηκτα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του προς επίλυση δικτύου, όπως η τοπολογία του, το μέγεθός του, ο αριθμός των πηγών του, το είδος των φορτίων του (μοντελοποίηση P-Q, P-V) και το επίπεδο της τάσης. Συνεπώς η σύγκριση των απαιτήσεων του δικτύου με τις επιδόσεις των αλγορίθμων οδηγεί στην επιλογή της κατάλληλης μεθόδου για την επίλυση του προβλήματος. Οι μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί είναι κατά βάση επαναληπτικής φύσεως και στοχεύουν στη σύγκλιση των αποτελεσμάτων τους σε οριακές τιμές, οι οποίες είναι και οι ζητούμενες λύσεις του προβλήματος.

Α. Μία σύντομη ιστορική αναδρομή

Το πρόβλημα της ροής φορτίου είναι ένα κλασσικό θέμα μελέτης και έρευνας από τις απαρχές της δημιουργίας των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας. Οι πρώτες μέθοδοι επίλυσης εμφανίστηκαν στη βιβλιογραφία το 1956. Μία από αυτές ήταν και η μέθοδος Newton – Raphson [3], η οποία είχε πολύ υψηλές δυνατότητες σύγκλισης αλλά κρινόταν αρκετά χρονοβόρα σε υπολογιστικό χρόνο. Η εξέλιξη όμως των υπολογιστικών μέσων βελτίωσε σημαντικά την ταχύτητά της, καθιστώντας την ευρέως χρησιμοποιούμενη και επομένως βάση σύγκρισης με όλες τις υπόλοιπες που αναπτύχθηκαν μεταγενέστερα. Πολλές βελτιωμένες εκδοχές της στηρίχθηκαν στα πλεονεκτήματα της τοπικής υπεργραμμικής σύγκλισής της και στη δυνατότητά της να αυτοδιορθώνεται [4],[5].

Το βασικό μειονέκτημά της είναι ότι ο υπολογιστικός χρόνος της αυξάνεται εκθετικά σε σχέση με την αύξηση του μεγέθους του δικτύου. Παρατήρηση που περιόρισε την εφαρμογή της στο δίκτυο μεταφοράς, διότι στο δίκτυο διανομής, που είναι ακτινικής μορφής, ο μεγάλος αριθμός των προς εξέταση κόμβων, την καθιστούσε υπολογιστικά ασύμφορη. Συνεπώς αναπτύχθηκαν νέες μέθοδοι για το χειρισμό του δικτύου διανομής με βασικότερη τη Back-Forward sweep method [6]−[8].

Αργότερα η διείσδυση της διανεμημένης παραγωγής στο δίκτυο προκάλεσε την ανάπτυξη μίας σειράς από τροποποιημένες μεθόδους με βάση τις προηγούμενες για τη βέλτιστη αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος [9]−[14]. Τέλος η στοχαστικότητα της παραγωγής ενέργειας των φωτοβολταϊκών μονάδων και των ανεμογεννητριών έδωσε το ερέθισμα για ανάπτυξη πιθανοτικών μοντέλων για τη επίλυση της ροής φορτίου [15],[16].

II. Παρουσιαση της Μεθοδου των Δυο Σημειων

Στόχος της εργασίας αυτής είναι να προσεγγιστεί το πρόβλημα με ένα τρόπο που δεν επιδιώκει τη σύγκλιση των αποτελεσμάτων μέσω μίας επαναληπτικής διαδικασίας. Έγινε λοιπόν, μία προσπάθεια να αναπτυχθεί ένα μοντέλο που οι μεταβλητές εισόδου του θα έχουν γραμμική εξάρτηση με τις μεταβλητές εξόδου του. Ερέθισμα για αυτή τη προσέγγιση αποτέλεσε η μελέτη του Renato Cespedes G. [17], στην οποία

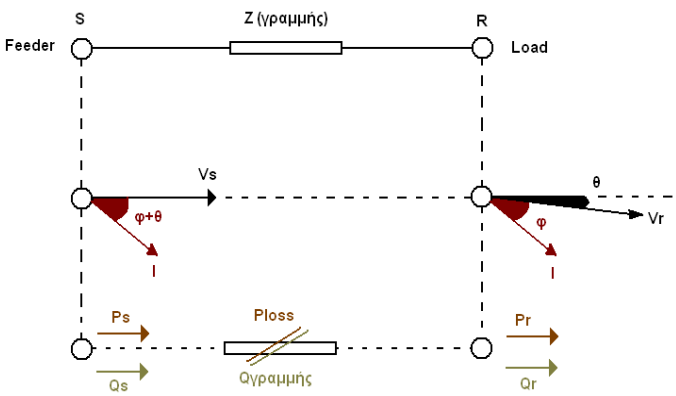
Αγησίλαος Χ. Μάντζιαρης, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124 Θεσσαλονίκη (e-mail: amantziaris24@gmail.com).

Καλλισθένης Ι. Σγούρας, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124 Θεσσαλονίκη (e-mail: ksgouras@ee.auth.gr).

η λύση υπολογίζονταν με τη χρήση μόνο των μέτρων των τάσεων του δικτύου, αλλά με επαναληπτικό τρόπο.

Πιο συγκεκριμένα καταστρώθηκε μία μέθοδος δύο σημείων στην οποία έχει απαλειφθεί ο παράγοντας του ρεύματος και οι υπολογισμοί της στρέφονται γύρω από την εύρεση των διαφορών φάσης των τάσεων, ενώ τα φορτία που μελετήθηκαν θεωρήθηκαν σταθερής ισχύος (P, cosθ).

Έστω το παρακάτω δίκτυο δύο σημείων όπως φαίνεται στην Εικ. 1.



Εικ. 1. Υποθετικό δίκτυο δύο ζυγών

Όπου: $Z_{\gamma\rho\alpha\mu\mu\acute{\eta}\varsigma} = R + jX = |Z| < y$

Με γνωστή τη τάση του ζυγού τροφοδοσίας S, η τάση στο άκρο R δίνεται από τη σχέση:

$$V_R = V_S \frac{[Xcos(\varphi+\theta) - Rsin(\varphi+\theta)]}{[Xcos(\varphi) - Rsin(\varphi)]} \quad (1)$$

Οι εξισώσεις που περιγράφουν τις ροές ισχύος από το άκρο S προς το άκρο R είναι [18]:

$$P_{S\to R} = \frac{V_S V_R}{Z_{\gamma\rho\alpha\mu\mu\acute{\eta}\varsigma(SR)}} cos(y-\theta) - \frac{V_R^2}{Z_{\gamma\rho\alpha\mu\mu\acute{\eta}\varsigma(SR)}} cos(y) \quad (2)$$

$$Q_{S\to R} = \frac{V_S V_R}{Z_{\gamma\rho\alpha\mu\mu\acute{\eta}\varsigma(SR)}} sin(y-\theta) - \frac{V_R^2}{Z_{\gamma\rho\alpha\mu\mu\acute{\eta}\varsigma(SR)}} sin(y) \quad (3)$$

Αντικαθιστώντας την εξίσωση (1) στις εξισώσεις (2) και (3) και λύνοντας στη συνέχεια με τη βασική τριγωνομετρική ταυτότητα $cos^2(\theta) + sin^2(\theta) = 1$ καταλήγουμε στην εξής δευτεροβάθμια εξίσωση:

$$cos^2(2\theta)[\alpha^2 + \beta^2] - 2\alpha\gamma * cos(2\theta) + \gamma^2 - \beta^2 = 0 \quad (4)$$

Όπου: $\alpha = -\frac{\lambda}{tan(\varphi)}$, $\beta = \lambda_1$, $\gamma = \frac{P_{SR}Z}{V_S^2} - \frac{\lambda}{tan(\varphi)}$

Ενώ: $\lambda_1 = \frac{Xsin(\varphi+y)+Rcos(\varphi+y)}{2[Xcos(\varphi)-Rsin(\varphi)]}$, $\lambda_2 = -\frac{(X^2+R^2)sin(y)}{2[Xcos(\varphi)-Rsin(\varphi)]^2}$

Με: $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2$

Η επίλυση αυτής της δευτεροβάθμιας δίνει δύο λύσεις:

$$cos(2\theta)_{1,2} = \frac{\alpha\gamma \pm |\beta|\sqrt{\alpha^2+\beta^2-\gamma^2}}{\alpha^2+\beta^2} \quad (5)$$

Από αυτές τις δύο, πειραματικά αποδεικνύεται ότι μόνο η μία έχει φυσική σημασία και αυτή είναι η:

$$\boldsymbol{cos(2\theta)_1 = \frac{\alpha\gamma + |\beta|\sqrt{\alpha^2+\beta^2-\gamma^2}}{\alpha^2+\beta^2}} \quad (6)$$

η οποία είναι και η διαφορά φάσης μεταξύ των τάσεων του ζυγού τροφοδοσίας S και του φορτίου R. Η αντικατάσταση τώρα της φάσης $\boldsymbol{\theta}$ στην εξίσωση (1) μας δίνει και το μέτρο της ζητούμενης τάσης.

Παρατηρήσεις:

- Ο παράγοντας $\boldsymbol{\beta}$ είναι ο ελεγκτής της φάσης της τάσης του ζυγού φορτίου R. Δηλαδή αν $\boldsymbol{\beta} > 0$ η τάση $\boldsymbol{V_R}$ έπεται σε φάση της τάσης $\boldsymbol{V_S}$. Ενώ αν $\boldsymbol{\beta} < 0$ η φάση της προηγείται.
- Η διακρίνουσα $\sqrt{\boldsymbol{\alpha^2+\beta^2-\gamma^2}}$ καθορίζει εάν το συγκεκριμένο πρόβλημα έχει λύση.

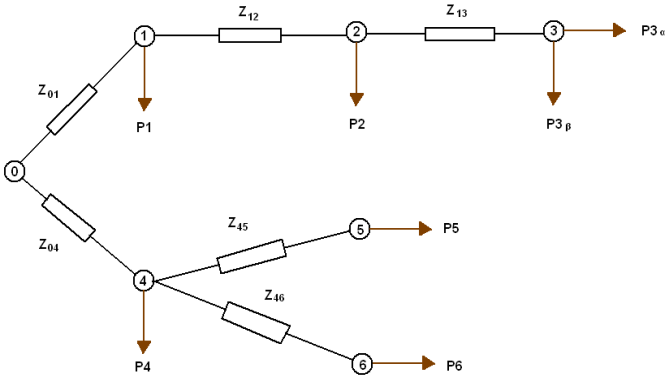
Σημείωση:

Με τις ήδη υπάρχουσες μεθοδολογίες η μη ύπαρξη λύσης διαπιστώνεται με τη μη σύγκλιση των αποτελεσμάτων ύστερα από έναν αριθμό επαναλήψεων.

III. Εφαρμογη της Μεθοδου σε Δικτυα

Η παραπάνω μέθοδος πέτυχε να δώσει μία εξίσωση στην οποία εισάγονται οι γνωστές μεταβλητές και λαμβάνεται απ' ευθείας το ζητούμενο αποτέλεσμα, δηλαδή της τάσης του ζυγού του φορτίου. Αυτή η εξίσωση θα είναι η μήτρα όλων των υπολογισμών που θα γίνουν για την εύρεση των τάσεων όλων των ζυγών ενός ολοκληρωμένου ακτινικού δικτύου με μία τροφοδοσία.

Έστω το παρακάτω δίκτυο, όπως φαίνεται στην Εικ. 2.



Εικ. 2. Υποθετικό ακτινικό δίκτυο 7 ζυγών με μία τροφοδοσία

Προκειμένου να επιλυθεί η ροή φορτίου στο δίκτυο, εφαρμόζεται η μεθοδολογία της βήμα-βήμα σάρωσής του, από τη θεωρία των γράφων, με κατεύθυνση από τη πηγή προς τους καταληκτικούς κόμβους. Πιο συγκεκριμένα ο κάθε κόμβος του δικτύου επιλύεται με τη μέθοδο των δύο σημείων θεωρώντας όμως ότι σε αυτόν συνδέεται το σύνολο των φορτίων που εξυπηρετούνται από το υποδίκτυο που αυτός ορίζει. (Για παράδειγμα, για να βρούμε τη τάση του κόμβου 1 θεωρούμε ότι σε αυτόν συνδέονται και τα φορτία P_2, P_{3a}, P_{3b}.) Στη συνέχεια ο κόμβος αυτός γίνεται ο κόμβος αναφοράς και

η διαδικασία προχωράει προς τους καταληκτικούς κόμβους με όμοιο τρόπο. Οι τάσεις που υπολογίζονται σε κάθε κόμβο, σε κάθε βήμα της διαδικασίας, είναι και οι ζητούμενες παράμετροι του προβλήματος της ροής φορτίου.

ΠΙΝΑΚΑΣ I
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ.

Βήμα 1: Είσοδος δεδομένων (Αριθμός κόμβων N, Τάση τροφοδοσίας, R,X γραμμών, P,Q φορτίων)
Βήμα 2: Έλεγχος ύπαρξης λύσης
Βήμα 3: $i = i + 1$
Βήμα 4: Άθροισμα των φορτίων που εξυπηρετούνται από το υποδίκτυο που ορίζει ο κόμβος i.
Βήμα 5: Υπολογισμός της τάσης του κόμβου i με τη μέθοδο των δύο σημείων
Βήμα 6: Αν $\boldsymbol{i < N}$ πήγαινε στο **Βήμα 3**.
Βήμα 7: Εμφάνιση αποτελεσμάτων

Παρατηρήσεις:

- Η μέθοδος ανιχνεύει την ύπαρξη λύσης της ροής φορτίου στο σύστημα επίλυσης πριν την έναρξη των υπολογισμών της. Σε αντίθεση με όλες τις επαναληπτικές μεθόδους που το διαπιστώνουν στο τέλος των υπολογισμών τους, εξ' αιτίας της μη σύγκλισης των αποτελεσμάτων τους. Ο έλεγχος γίνεται μέσω της διακρίνουσας της εξίσωσης (4) για τους κόμβους που συνδέονται απ' ευθείας στο ζυγό τροφοδοσίας – πηγή του δικτύου.
- Η διερεύνηση αυτή, εντοπίζει το τμήμα του δικτύου που οδηγεί σε αστάθεια το σύστημα επίλυσης, διευκολύνοντας την εύρεση του κόμβου-φορτίου που φορτίζει τη γραμμή πέραν του επιτρεπτού ορίου.
- Οι υπολογισμοί που απαιτούνται είναι απλοί, δεν χρησιμοποιούνται μεγάλοι πίνακες σ' αυτούς και δεν απαιτείται ενδιάμεση αποθήκευση των αποτελεσμάτων, με αποτέλεσμα το υπολογιστικό κόστος της μεθόδου να είναι ιδιαίτερα χαμηλό.
- Οι υπολογισμοί που απαιτούνται έχουν γραμμική εξάρτηση με τα δεδομένα του δικτύου.

Αριθμός υπολογισμών = Αριθμός των κλάδων του δικτύου

IV. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Οι επιδόσεις της μεθόδου αξιολογήθηκαν σε ακτινικά δίκτυα υψηλής και μέσης τάσης με πολύ ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Η υλοποίηση έγινε στο MATLAB και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με το πρόγραμμα MATPOWER 4.1 (επίσης στο MATLAB), το οποίο χρησιμοποιεί για την επίλυση του προβλήματος τη μέθοδο Newton – Raphson.

Ενδεικτικά παρατίθενται τα συγκριτικά αποτελέσματα για δύο πρότυπες τοπολογίες δικτύων μέσης τάσης της βιβλιοθήκης του MATPOWER 4.1:

1. Case 33: Επίπεδο Τάσης: 11KV
   Ισχύς Βάσης : 10 MVA
2. Case 16: Επίπεδο τάσης: 11KV
   (14 ζυγοί) Ισχύς Βάσης: 93.1 MVA

ΠΙΝΑΚΑΣ II
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

	Μέθοδος	MATPOWER
1	12,660 < 0°	12,660 < 0°
2	12,624 < 0,01°	12,622 < 0,01°
3	12,453 < 0,09°	12,443 < 0,09°
4	12,363 < 0,15°	12,348 < 0,16°
5	12,274 < 0,21°	12,254 < 0,23°
6	12,047 < 0,12°	12,02 < 0,13°
7	12,004 < -0,11°	11,976 < -0,09°
8	11,834 < -0,26°	11,802 < -0,25°
9	11,756 < -0,33°	11,722 < -0,32°
10	11,682 < -0,4°	11,648 < -0,39°
11	11,672 < -0,39°	11,637 < -0,38°
12	11,653 < -0,38°	11,618 < -0,37°
13	11,575 < -0,47°	11,54 < -0,46°
14	11,547 < -0,55°	11,511 < -0,54°
15	11,529 < -0,59°	11,493 < -0,58°
16	11,511 < -0,61°	11,475 < -0,61°
17	11,485 < -0,69°	11,449 < -0,68°
18	11,478 < -0,7°	11,442 < -0,69°
19	12,618 < 0,002°	12,615 < 0,003°
20	12,572 < -0,07°	12,57 < -0,06°
21	12,563 < -0,08°	12,561 < -0,08°
22	12,555 < -0,11°	12,553 < -0,1°
23	12,408 < 0,06°	12,398 < 0,06°
24	12,324 < -0,03°	12,313 < -0,02°
25	12,282 < -0,07°	12,271 < -0,07°
26	12,023 < 0,16°	11,996 < 0,17°
27	11,992 < 0,21°	11,963 < 0,23°
28	11,849 < 0,29°	11,818 < 0,31°
29	11,746 < 0,37°	11,714 < 0,39°
30	11,701 < 0,48°	11,669 < 0,5°
31	11,649 < 0,39°	11,617 < 0,41°
32	11,637 < 0,37°	11,605 < 0,39°
33	11,634 < 0,36°	11,601 < 0,38°

α) Case 33. Τάσεις ζυγών σε kV

	Μέθοδος	MATPOWER
1	11,000 < 0°	11,000 < 0°
2	10,863 < -0,29°	10,855 < -0,32°
3	10,819 < -0,42°	10,799 < -0,49°
4	10,781 < -0,58°	10,773 < -0,61°
5	10,768 < -0,59°	10,76 < -0,62°
6	10,678 < -0,43°	10,71 < -0,39°
7	10,509 < -0,9°	10,548 < -0,81°
8	10,653< -0,44°	10,807 < -0,18°
9	10,499 < -0,94°	10,796 < -0,51°
10	10,436 < -1,13°	10,476 < -1°
11	10,887 < -0,11°	10,861 < -0,12°
12	10,866 < -0,15°	10,816 < -0,18°
13	10,832 < -0,23°	10,806 < -0,24°
14	10,817 < -0,26°	10,791 < -0,26°

β) Case 16. Τάσεις ζυγών σε kV

Απόκλιση	case 16 (11KV)		case 33 (12,66 KV)	
	Μέτρο	Φάση	Μέτρο	Φάση
Μέση	56 V	0,087°	30,9 V	0,0095°
%	0,50%	0,03%	0,24%	0,003%
Μέγιστη	296 V	0,43°	35,9 V	0,019°
%	2,70%	0,12%	0,28%	0,01%

γ) Συγκριτικά αποτελέσματα

Ταχύτητα	Μέθοδος	MATPOWER
case 16	0,014 sec	0,08 sec
case 33	0,018 sec	0,14 sec

δ) Χρόνοι εκτέλεσης

A. Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

- Η ταχύτητα της μεθόδου επιβεβαιώνεται και από τα πειραματικά αποτελέσματα. Στο δίκτυο των 14 ζυγών (case16) η επίλυση επιτυγχάνεται σε χρόνο πολύ μικρότερο σε σχέση με το MATPOWER (σχεδόν 6 φορές μικρότερο). Ενώ στο δίκτυο των 33 ζυγών (case 33) αυτή η διαφορά γίνεται ακόμα πιο αισθητή. Συνεπώς η επιρροή του μεγέθους του δικτύου στη ταχύτητα επίλυσης, είναι μικρότερη στην προτεινόμενη μέθοδο απ' ότι στη μέθοδο Newton – Raphson , η οποία ούτως ή άλλως είναι πιο χρονοβόρος εξ' αιτίας των επαναλήψεων. Συγκεκριμένα και στις δύο περιπτώσεις η σύγκλιση των αποτελεσμάτων επιτεύχθηκε μετά από 3 επαναλήψεις για τη μέθοδο Newton – Raphson.
- Στο σενάριο των 14 ζυγών το μέσο σφάλμα για το μέτρο της τάσης είναι σε ικανοποιητικά επίπεδα (<1%). Όμως παρατηρείται ένα μέγιστο σφάλμα της τάξης του 2,7% στους πιο απομακρυσμένους κόμβους του δικτύου. Το σφάλμα αυτό οφείλεται στη προσέγγιση της μεθόδου, η οποία αμελεί τις απώλειες ενεργού ισχύος που οφείλονται στην απομακρυσμένη, από τη πηγή, εξυπηρέτηση φορτίων.

- Στο σενάριο των 33 ζυγών όμως το σφάλμα αυτό μειώνεται ιδιαίτερα. Αποτέλεσμα που οφείλεται στο υψηλότερο επίπεδο τάσης. Όσο μεγαλύτερο είναι το επίπεδο τάσης τόσο μικρότερες είναι και οι απώλειες ενεργού ισχύος, με αποτέλεσμα το σφάλμα της προτεινόμενης μεθόδου, που τις αμελεί, να ελαχιστοποιείται.
- Το σφάλμα στη φάση των τάσεων είναι γενικά σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Εξαρτάται και αυτό από το επίπεδο της τάσης άλλα και από το μέγεθος των φορτίων. Όσο μεγαλύτερα είναι τα απομακρυσμένα φορτία που εξυπηρετούνται τόσο πιο αισθητό θα γίνεται και το σφάλμα στις φάσεις, όπως βέβαια και στα μέτρα των τάσεων.

V. Συνοψη

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μία εναλλακτική μέθοδος επίλυσης του προβλήματος της ροής φορτίου, η οποία διαφοροποιείται κυρίως στο ότι προσεγγίζει τη λύση χωρίς επαναλήψεις. Η μέθοδος εντοπίζει την ύπαρξη λύσης στο πρόβλημα πριν την έναρξη των υπολογισμών της και ανιχνεύει το τμήμα του δικτύου που οδηγεί σε αστάθεια το σύστημα. Οι υπολογισμοί εκτελούνται ιδιαίτερα γρήγορα, επειδή χρησιμοποιούνται απλές πράξεις και δεν είναι απαραίτητη η δέσμευση μνήμης κατά την υλοποίηση για την ενδιάμεση αποθήκευση των αποτελεσμάτων της μεθόδου. Το σφάλμα των υπολογισμών της είναι μεν μικρό αλλά όχι αμελητέο σε ορισμένες περιπτώσεις και ιδιαίτερα σε χαμηλά επίπεδα τάσης. Όμως ο συσχετισμός των πλεονεκτημάτων της προτεινόμενης μεθόδου και ιδιαίτερα της ταχύτητάς της, επιτρέπει σημαντικά περιθώρια περαιτέρω ανάπτυξης και βελτίωσής της.

References

[1] B. Stott, "Review of load-flow calculation methods," *Proc. IEEE*, vol. 62, no. 7, pp. 916–929, 1974.

[2] M. R. G. Al-Shakarchi, "Nodal iterative load flow," M. Sc. thesis, University of Manchester Institute of Science and Technology, U.K., 1973.

[3] H. Yang, F. Wen, and L. Wang, "Newton-Raphson on Power Flow Algorithm and Broyden Method in the Distribution System," in *Proc. IEEE 2nd Int. Power and Energy Conf.*, 2008, pp. 1613–1618.

[4] G. Leoniopoulos, "Efficient starting point of load-flow equations ," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 16, no. 6, pp. 419–422, 1994.

[5] J. Nanda, D. Kothari, and S. Srivastava, "Some important observations on fast decoupled load flow algorithm," *Proc. IEEE*, vol. 75, no. 8714151, pp. 732–733, 1987.

[6] L. Wei, N. Wen-hui, and H. Dong-shan, "A modified power flow calculation method for radial distribution system," in *Proc. China Int. Conf. on Electricity Distribution*, 2008, vol. 1, pp. 1–5.

[7] L. Zhang, W. Tang, and H. Guan, "The back/forward sweep-based power flow method for distribution networks with DGs," in *Proc. 2nd Int. Conf. on Power Electronics and Intelligent Transportation System (PEITS)*, 2009, pp. 145–149.

[8] G. X. Luo and a. Semlyen, "Efficient load flow for large weakly meshed networks," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 5, no. 4, pp. 1309–1316, 1990.

[9] M. Srinivas, "Distribution load flows: A brief review," in *Proc. IEEE Power Eng. Soc. Winter Meeting*, 2000, vol. 2, pp. 942–945.

[10] A. G. Esposito and E. Ramos, "Reliable load flow technique for radial distribution networks," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 14, no. 3, pp. 1063–1069, 1999.

[11] U. Eminoglu and M. H. Hocaoglu, "A new power flow method for radial distribution systems including voltage dependent load models," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 76, pp. 106–114, 2005.

[12] A. Losi and M. Russo, "Object-Oriented Load Flow for Radial and Weakly Meshed Distribution Networks," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 18, no. 4, pp. 1265–1274, 2003.

[13] S. Ghosh and D. Das, "Method for load-flow solution of radial distribution networks," *IEE Proc. - Gener. Transm. Distrib.*, vol. 146, p. 641, 1999.

[14] T. Ochi, Y. Nonaka, D. Yamashita, K. Koyanagi, and R. Yokoyama, "Reliable power flow calculation with improved convergence characteristics for distribution systems," *IEEE PES Innov. Smart Grid Technol.*, pp. 1–6, May 2012.

[15] Z. Hu and X. Wang, "A probabilistic load flow method considering branch outages," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 21, no. 2, pp. 507–514, 2006.

[16] P. Chen, Z. Chen, and B. Bak-Jensen, "Probabilistic load flow: A review," in *Proc. 3rd Int. Conf. on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies*, 2008, pp. 1586 – 1591.

[17] R. G. Cespedes, "New method for the analysis of distribution networks," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 5, no. 1, pp. 391–396, 1990.

[18] Δ. Λαμπρίδης, Π. Ντοκόπουλος, και Γ. Παπαγιάννης, *Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας - Τόμος Α΄*. Εκδόσεις Ζήτη, 2006.

Design and Real Time Control of a Stellarator in Development

Odysseas Chalatsakos

Phone: +306978595155, email: codyssea@auth.gr
School of Electrical and Computer Engineering, Aristotle University of Thessaloniki

***Abstract*— The purpose of this study is to create an efficient control system for a stellarator in development. The study takes place in the Laboratory of Automation and Control, UPV/EHU, Bilbao, Spain. Initially the analytical model of the stellarator is calculated. Based on this analytical model, we can use System Identification toolbox of Matlab, so that a grey box model of the system, with adequate representativeness of the real plant, is available. This model is used for the design of the controllers. Two different controllers are designed and tested, PID and model predictive controller. The controllers are tested in real time both with the estimated grey box model and the real stellarator and and their efficiency is compared.**

***Keywords*— Model predictive control, PID control, Real time control, Stellarator, Simulink Real Time, System Identification**

I. Introduction

A stellarator is a toroidal apparatus which purpose is to produce controlled fusion reactions in hot plasma. The current is induced by external windings which act as the primary circuit of a transformer, while the plasma is the secondary circuit. The external windings are two pairs of circular planar coils. The induced current in the coils creates the magnetic field that confines the plasma. This field is created in toroidal direction by the external coils. Another magnetic field is also created by the plasma current and is perpendicular to the field in the coils. As a result the magnetic lines of these two fields are combined and compose the resultant magnetic field. With the presence of this magnetic field the particles can pass both by external and internal areas of the torus.

The size of the magnetic field strength, combined with the size of the neutral pressure, is able to successfully create magnetic surfaces and, as a result, macroscopically stable pure electron plasmas. The magnetic surface topology allows these pure electron plasmas to reside in an equilibrium that is a minimum energy state rather than a maximum energy equilibrium state. Pure electron plasmas are created in the stellarator by thermionic emission from heated filaments placed inside the magnetic surfaces.

The magnetic field that is used for the confinement of plasma has to be externally controlled so that experiments and tests can be held. In what follows, the design of two different controllers, PID and model predictive controller, will be presented. These controllers will be tested in real time, on a real stellarator which is being developed in the Laboratory of Automation and Control, in the University of the Basque Country, in the city of Bilbao. Because of the fact that the stellarator is under development, only the primary circuit of the coils will be used as the controlled system and not the plasma. The plasma is supposed to be replaced by the second pair of coils. The same procedure for the design of the controllers, which is described in the next sections, would be followed in case of the presence of plasma in the stellarator.

Initially, the controlled system is identified. Because of the topology of the stellarator the electrical characteristics of the circuit cannot be measured. As a result, system identification methods are used for this purpose. When the system is identified one PID and one model predictive controller are designed. These controllers are tested with the real stellarator. Finally these controllers are compared with each other.

The stellarator is supplied by a DC, 15KW power supply. The power supply communicates with one target computer, where the controlling software runs, through a data acquisition device. The data acquisition device is capable of carrying both the controlling and the feedback signal. The target computer is connected with the host computer, where the controlling software is developed. A target computer is used so that the full capacity of its CPU is exploited and therefore the controlling system is able to operate in real time.

II. System Modeling

A. Analytical model

The stellarator can be approximated with the following simplified circuit.

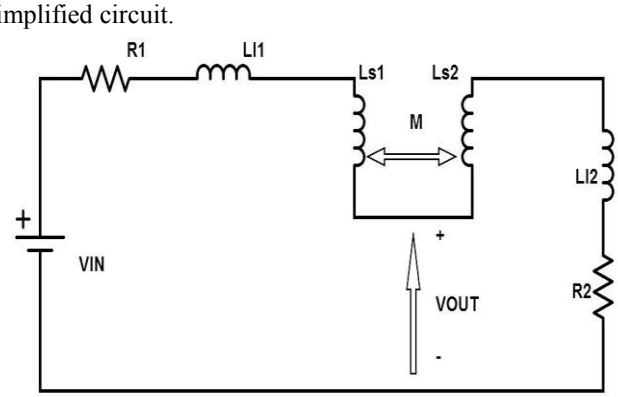


Figure 1. Approximated circuit of the stellarator

Resistors and inductors with index 1 refer to the first coil and those with index 2 refer to the second coil. The total resistance of the circuit is R and the total inductance is K.

$$R = R_1 + R_2$$

$$K = L_{l1} + L_{s1} + L_{l2} + L_{s1} \pm M$$

The two basic equations which govern the circuit are

$$V_{IN} = I(R_1 + R_2) + K\frac{dI}{dt} \qquad (1)$$

$$V_{OUT} = I \cdot R_2 + (L_{s2} + L_{l2})\frac{dI}{dt} \qquad (2)$$

with I being the current of the circuit and V_{IN} and V_{OUT} being shown in the figure.

In order to create a state space model two state variables are used.

$$x_1 = I \qquad (3)$$

$$x_2 = \dot{x_1} = \frac{dI}{dt} \qquad (4)$$

From equations "(1)" and "(3)" results the following equation

$$\dot{x_1} = \frac{dI}{dt} = -\frac{(R_1 + R_2)}{K}I + \frac{1}{K}V_{IN} \qquad (5)$$

And from equation "(5)" results the following

$$\dot{x_2} = \frac{d^2I}{dt^2} = -\frac{(R_1 + R_2)}{K}\frac{dI}{dt} = -\frac{(R_1 + R_2)}{K}x_2 \qquad (6)$$

According to equations "(2)", "(5)" and "(6)" the state space model of the system can be built in the following form.

$$\begin{bmatrix}\dot{x_1}\\ \dot{x_2}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}-\frac{(R_1 + R_2)}{K} & 0\\ 0 & -\frac{(R_1 + R_2)}{K}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_1\\ x_2\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}\frac{1}{K}\\ 0\end{bmatrix}V_{IN}$$

$$\begin{bmatrix}I_{OUT}\\ V_{OUT}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}1 & 0\\ R_2 & L_{s2} + L_{l2}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_1\\ x_2\end{bmatrix}$$

The elements of the matrixes of this state space model have to be estimated so that the system is completely identified. In the first step, calculations are held with the use of the differential equations "(5)" and "(6)", and data from the real system. The solutions of the differential equations "(5)" and "(6)" are:

$$x_1(t) = I(t) = \frac{V_{IN}}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{K}t}\right) \qquad (7)$$

$$x_2(t) = \frac{dI}{dt} = \frac{V_{IN}}{K}e^{-\frac{R}{K}t} \qquad (8)$$

One set of real data is used to for the calculation of the parameters of these solutions. A step voltage is used as input to the circuit. In a random moment, during the transient response, the values of voltage output and current are measured. Moreover the steady state current in the circuit is measured, so that the total resistance of the circuit is being calculated with the Ohm's law. The set of data and the results are shown in table 1 and table 2 respectively.

TABLE 1
Set of Measured Data

$t(s)$	$V_{IN}(V)$	$I_{ss}\ (A)$	$I_{t=0.05}(A)$	$V_{OUT_{t=0.05}}(V)$
0.05	6	25.73	10.94	2.47

TABLE 2
Calculated Parameters

$R(\Omega)$	$K(H)$	$R_1(\Omega)$	$L_{s2} + L_{l2}(H)$
0.2332	0.021	0.1166	0.00728

In this case the state space model is the following with the calculated values.

$$\begin{bmatrix}\dot{x_1}\\ \dot{x_2}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}-11.1 & 0\\ 0 & -11.1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_1\\ x_2\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}47.62\\ 0\end{bmatrix}V_{IN}$$

$$\begin{bmatrix}I_{OUT}\\ V_{OUT}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}1 & 0\\ 0.1166 & 0.00728\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_1\\ x_2\end{bmatrix}$$

B. Grey box model estimation

A grey box model may be constructed based on both insight into the system and experimental data. In this section the model of the system will be estimated with Matlab. The information acquired from the theoretical model will determine the form of the estimated system. However, the estimation of the elements of the state space matrices is based on real data and the system identification algorithms. This identified model is validated with real data and the result of this validation show how well does this model matches the real system.

A Matlab script is used for the creation of a state space model with the specific form that matches the form of the theoretical model. The command *idss* is used to create an identifiable state space model. The initial values of the matrices of the model are being set in the following way.

$$A = \begin{bmatrix}-1 & 0\\ 0 & -1\end{bmatrix},\ B = \begin{bmatrix}1\\ 0\end{bmatrix},\ C = \begin{bmatrix}1 & 0\\ 1 & 1\end{bmatrix},\ D = 0$$

It is already known that some elements of the matrixes have to keep these initial values and not to change during the estimation process. These are the elements which are initiated with 0 and the element C [1, 1], which is initiated with 1. The other elements are free to change during the estimation. Moreover restrictions as far as the sign of the free elements have to be taken into account during this initialization. These restrictions are carried out with the following commands in Matlab.

```
A = [-1 0; 0 -1];
B = [1; 0];
C = [1 0; 1 1];
D = 0;
K = eye (2);

systest = idss(A,B,C,D,K);

systest.Structure.a.Free(1,2) = false;
systest.Structure.a.Free(2,1) = false;
systest.Structure.b.Free(2,1) = false;
systest.Structure.c.Free(1,1) = false;
systest.Structure.c.Free(1,2) = false;
systest.Ts=0;
systest.Structure.a.Maximum(1,1) = 0;
systest.Structure.a.Maximum(2,2) = 0;
systest.Structure.b.Minimum(1,1) = 0;
systest.Structure.c.Minimum(2,1) = 0;
systest.Structure.c.Minimum(2,2) = 0;
```

In the following step, the set of real data, which is used for the estimation of the free elements of the initial system, is being created. Measurements of output current and output voltage are saved for a specific value of voltage input. This measurement procedure is repeated three times, so that three sets of data are available.

The command *ssest* is used for the estimation of the free parameters of the initial system, according to the set of real data measurements. The outcome of the estimation process is a state space model with the values of the estimated parameters shown in the following system.

$$\begin{bmatrix} \dot{x_1} \\ \dot{x_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -15.5 & 0 \\ 0 & -15.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 69.3 \\ 0 \end{bmatrix} V_{IN}$$

$$\begin{bmatrix} I_{OUT} \\ V_{OUT} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0.111 & 0.00632 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

From this system the estimated values of the physical circuit can be calculated.

$$\frac{1}{K} = 69.3 \rightarrow K = 0.0144\ H$$

$$-\frac{R}{K} = -15.5 \rightarrow R = 0.2236\ \Omega$$

$$R_2 = 0.111\ \Omega$$

$$L_{s2} + L_{l2} = 6.32\ mH$$

Comparing the calculated values of the theoretical model and the estimated values which are based in real data, they seem to be similar enough. The two other sets of data, which were created, are now used to validate the estimation. For the validation process the System Identification Toolbox of MATLAB is used. The results of the validation process, with each of the two validation data sets, are shown in the following figures, both for current output and voltage output. It seems that the response of the estimated system fits the response of the real system at a percentage of 74.2% for voltage output and 84.3% for current output.

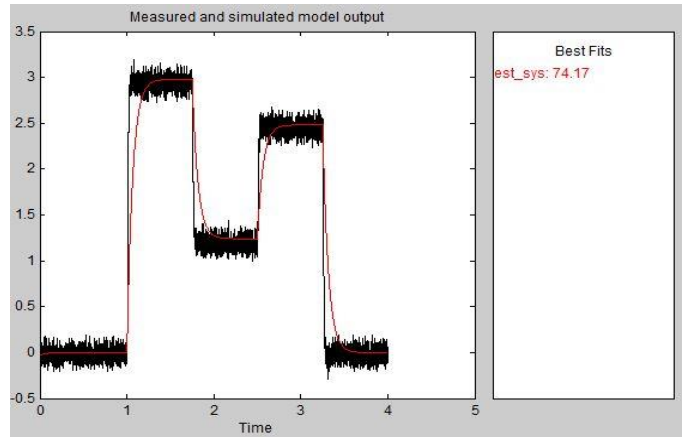


Figure 2. Fit percentage for voltage output in grey box model

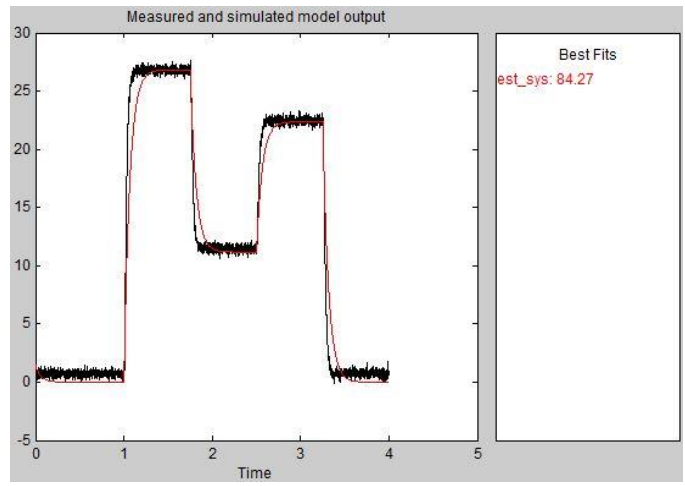


Figure 3. Fit percentage for current output in grey box model

III. Controller Design

The estimated grey box model is used for the design and tuning of a discrete PID controller and a model predictive controller.

A. PID Design and Tuning

The first controller, which is being designed, is a discrete PID. The "PID Tuner" tool in Matlab is used for this purpose. The comparison of the tuned response of the system with the initial response, according with PID Tuner tool of Matlab, is shown in figure 4. The parameters of the tuned PID controller, as well as the characteristics of the tuned system are shown in figure 5.

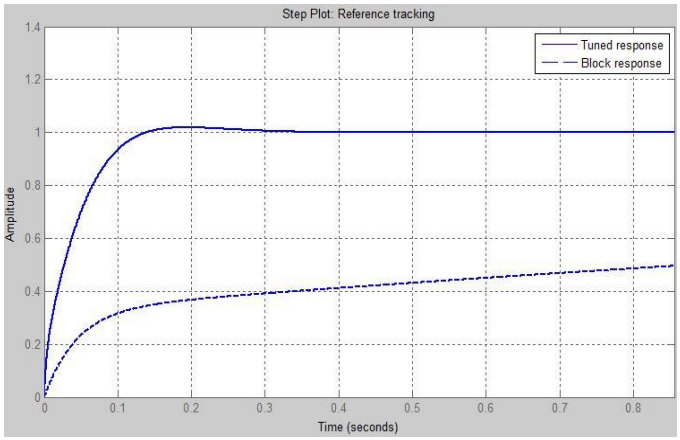


Figure 4. Initial block response and tuned response with PID

Controller Parameters

	Tuned	Block
P	2.9772	1
I	58.228	1
D	0.018578	0
N	238.0415	100

Performance and Robustness

	Tuned	Block
Rise time	0.0862 seconds	5.65 seconds
Settling time	0.122 seconds	10.4 seconds
Overshoot	1.87 %	0 %
Peak	1.02	0.998
Gain margin	42.8 dB @ 1.26e+04 ra...	60.3 dB @ 1.26e+04 ra...
Phase margin	89 deg @ 23.4 rad/s	118 deg @ 0.571 rad/s
Closed-loop stability	Stable	Stable

Figure 5. Controller parameters and performance characteristics of initial and controlled system

The results show that performance of the system is very much improved. The tuned system has a very fast response with settling time of only 0.122 s and rise time of 0.0862 s, compared to the initial values of 10.4 s and 5.65 s respectively. Moreover some overshoot appears in the tuned system, but it can be acceptable, as it is only 1.87%.

The simulation of this controller with the estimated model is shown in figure 6.

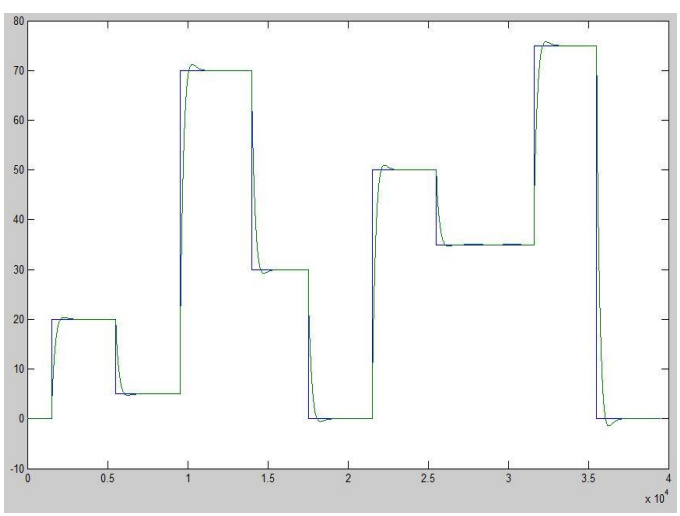


Figure 6. Reference tracking for voltage of the grey box model, when running in target computer

B. Model predictive controller design and tuning

The model predictive controller is designed with the use of the "Control and Estimation manager" tool. For this experiment the prediction horizon is set to 10 and the control horizon is set to 6. The weight of the manipulated variable is 0 and the weight rate is set to 0.0225. The weight of the output variable is set to 4.

C. Real time testing and comparison of the results

"Simulink Real Time" toolbox of Matlab is used for testing the designed controllers in real time with the stellarator. A target computer is set up so that the software can use all the capacity of its kernel during the real time testing. Moreover a NI PCI-6122 data acquisition device is used for establishing the communication between the software and the real plant. For this experiment the sample time is set 0.25ms.

The results of the real time testing with PID and model predictive controller are shown in figures 7 and 8. The estimated grey box model is also simulated in real time, so that its response can be compared with this of the real plant.

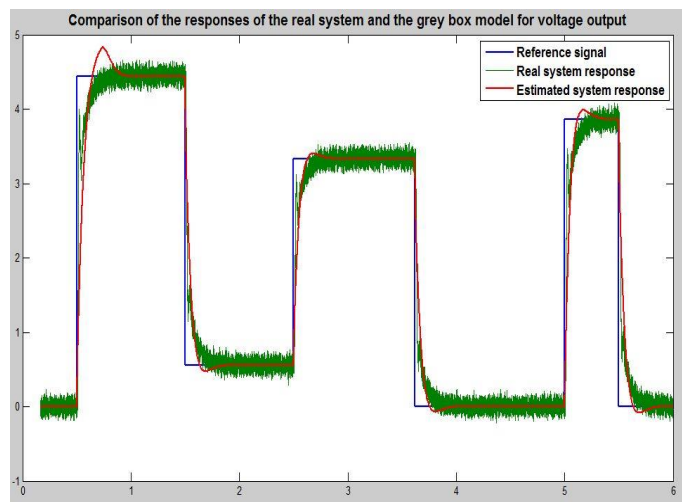


Figure 7. Comparison of real plant and grey box model responses for voltage output with PID controller

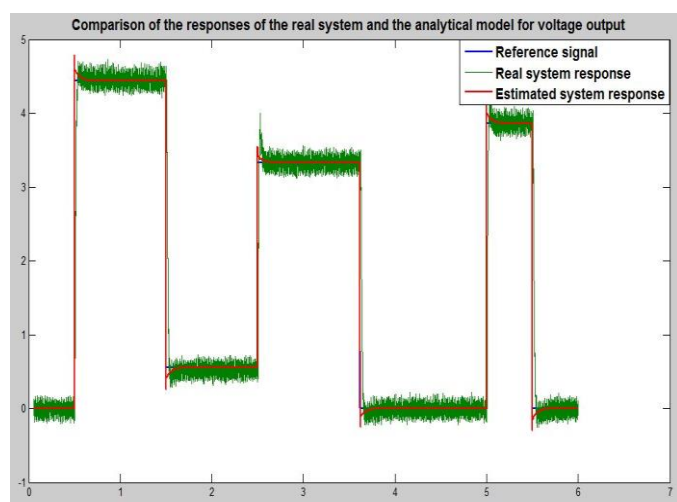


Figure 8. Comparison of the responses of the real system and the analytical model for voltage output with the model predictive controller

Finally the two designed controllers are being tested with the same reference input signal so that they can be compared. The comparison is shown in figure 9.

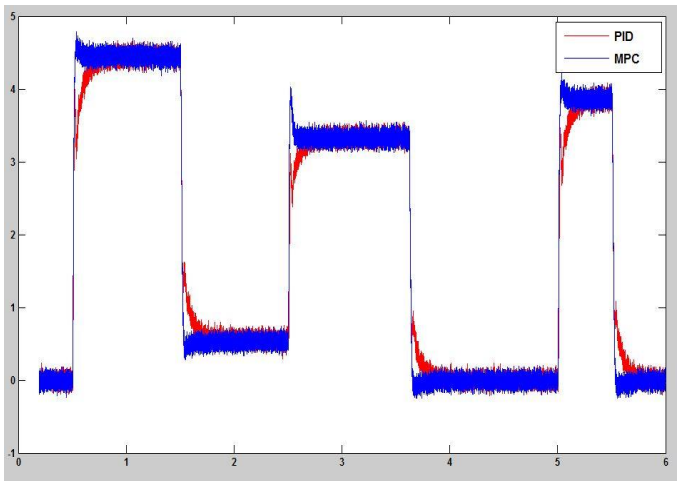


Figure 9. Comparison of PID controller and MPC for voltage output

It seems from the results that the model predictive controller is faster and more accurate than the PID. However, a small overshoot appears with this controller. On the other hand the PID controller is slower and with no overshoot.

IV. CONCLUSION

It seems that the estimated grey box model is a good simplified approximation of the real stellarator in development. The controllers that are designed based on this estimated model seem to be quite efficient, with the model predictive controller to be faster and with very small overshoot. Because of the fact that this stellarator is still under development and is not fully functional, this study can be used, in a later stage, for the design and real time control of the fully developed stellarator.

REFERENCES

[1] Thomas Sunn Pedersen, John W. Berkery, Allen H. Boozer, Paul W. Brenner, Benoit Durand de Gevigney, Michael S. Hahn, Quinn R. Marksteiner, and Haruhiko Himura, "*Dynamics of electrons-rich plasmas in the CNT stellarator",* Proceedings of ITC/ISHW, 2007.

[2] X. Sarasola, T. Sunn Pedersen, J. P. Kremer, R.G. Lefrancois, Q. Marksteiner, "Field Line Mapping Results in the CNT Stellarator", UC Berkeley, Berkeley, CA, USA, 2004

[3] Garrido, I., Garrido, A.J., Sevillano, M.G., Romero, J.A., "Robust sliding mode control for tokamaks", (2012) Mathematical Problems in Engineering, 2012, art. no. 341405.

[4] Mathworks R2014 Documentation, The Mathworks, Inc, 2014.

[5] Katsuhiko Ogata (2009), Model Control Engineering (5th edition) [Online], Available: http://www.petronet.ir.

[6] Izaskun Garrido, Jesús Antonio Romero, Aitor J. Garrido, Davide Lucchin, Edorta Carrascal, Goretti Sevillano-Berasategui: Internal Inductance Predictive Control for Tokamaks. Presented at World Automation Congress(WAC), Waikoloa HI, 3-7 Aug. 2014.

Φωτισμός Ειδικών Συνθηκών, Ανάλυση Φωτοτεχνικής Μελέτης Και Αυτοματοποίηση Εγκατάστασης

Κωτίδης Αλέξανδρος, Σικερίδης Χαράλαμπος, Σπαθούλας Νικόλαος, Χατζηγεωργίου Γεώργιος
Χαραλαμπίδου Μαρία*, ΤΜΗΜΜΥ, ΔΠΘ, Ξάνθη, Ελλάδα
*Συγγραφέας επικοινωνίας: macharal@ee.duth.gr

***Περίληψη*— Στις μέρες μας, είναι κοινός τόπος η αναγκαιότητα της μελέτης φωτισμού ενός χώρου. Ειδικά δε, στην περίπτωση, όπου οι συνθήκες του χώρου είναι ιδιαίτερες (επιβαρυμένη ατμόσφαιρα, αυξημένη υγρασία χώρου, κλπ.), η ορθή μελέτη φωτισμού ενισχύει τόσο την ασφάλεια όσο και τη λειτουργικότητα του χώρου. Στην παρούσα εργασία, αναλύονται οι περιπτώσεις φωτισμού ειδικών συνθηκών και δίνονται οι αρχές της φωτοτεχνικής τους μελέτης. Ακολούθως, προτείνονται λύσεις αυτοματοποίησης της εγκατάστασης φωτισμού με χρήση κατάλληλων αισθητηρίων και ενεργοποιητών, με στόχο την αποδοτικότερη και οικονομικότερη λειτουργία της εγκατάστασης. Τέλος, παρατίθεται μία εφαρμογή εργαστηριακής κλίμακας μίας φωτοτεχνικής μελέτης φωτισμού ειδικών συνθηκών με χρήση μικροελεγκτή και εξάγονται τα συμπεράσματα και οι μελλοντικές κατευθύνσεις της εργασίας.**

***Λέξεις κλειδιά*— Φωτοτεχνική μελέτη, ειδικές συνθήκες, ρύποι, στεγανότητα, τεχνητός φωτισμός, υγρασία, αισθητήρια.**

I. Εισαγωγη

Το φως είναι ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Ερεθίζει τον οπτικό βολβό, παράγει διά μέσου φωτοχημικών μηχανισμών το νευρικό ερέθισμα, και αυτό με τη σειρά του, κατάλληλα επεξεργασμένο, μεταφέρεται δια μέσου του οπτικού νεύρου στον εγκέφαλο, δημιουργώντας την οπτική αίσθηση. Επιπλέον, το φως είναι πηγή ζωής, καθώς αποτελεί απαραίτητο συστατικό στη διαδικασία της φωτοσύνθεσης των φυτικών οργανισμών. Στις σημερινές τεχνολογικά ανεπτυγμένες κοινωνίες, το φως κρίνεται απολύτως απαραίτητο σε κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα. Ταυτόχρονα όμως, γεννάται η ανάγκη του ποιοτικού φωτισμού. Ο ποιοτικός φωτισμός κρίνεται αναγκαίος ώστε να επιτυγχάνεται:

- αύξηση της λειτουργικότητας
- αύξηση της παραγωγικότητας
- βελτίωση της ασφάλειας του χώρου
- καλαισθησία
- πρόληψη και μείωση των εργατικών ατυχημάτων.

Η μελέτη φωτισμού ή φωτοτεχνική μελέτη, είναι ο σχεδιασμός ενός συστήματος φωτισμού για την επίτευξη του βέλτιστου αποτελέσματος σε ένα συγκεκριμένο χώρο. Τα δεδομένα αλλάζουν όταν στον υπό μελέτη χώρο επικρατούν ειδικές συνθήκες, όπως υψηλό ποσοστό υγρασίας, ακραίες θερμοκρασίες, υψηλή συγκέντρωση χημικών παραγόντων, ρύπων ή σκόνης κτλ. Στην περίπτωση αυτήν, η μελέτη φωτισμού είναι αναγκαίο να διέπεται από ορισμένους κανόνες και να καθορίζεται από συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Κι αυτό, διότι, οι ειδικές συνθήκες επιβάλλουν τη χρήση φωτιστικών σωμάτων συγκεκριμένου βαθμού προστασίας (Ingress Protection-IP) ανάλογα με την εφαρμογή και τους υπολογισμούς [1]. Σήμερα, μία μελέτη φωτισμού ειδικών συνθηκών κρίνεται αναγκαία σε εφαρμογές σε βιομηχανικούς χώρους και γραμμές παραγωγής, χειρουργικές αίθουσες, σπήλαια, μνημεία και έργα τέχνης και μνημεία εκτεθειμένα στις καιρικές συνθήκες, ενυδρεία, θερμοκήπια, τοποθεσίες φυσικού κάλλους, σε έργα υποδομής -όπως σε υποθαλάσσιες σήραγγες-, σε κολυμβητήρια και πισίνες κτλ. Αναλυτικότερα, στις παραπάνω εγκαταστάσεις, ειδική συνθήκη φωτισμού μπορεί να θεωρηθεί η ύπαρξη υψηλών ρύπων και χημικών παραγόντων, η υψηλή συγκέντρωση υγρασίας, οι ακραίες θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια της παραγωγικής εργασίας, οι καιρικές συνθήκες που επικρατούν, καθώς και το μικροκλίμα γύρω από την εγκατάσταση. Ακολούθως, παρατίθενται παραδείγματα περιπτώσεων όπου απαιτείται φωτοτεχνική μελέτη ειδικών συνθηκών.

Στο χώρο της υγείας, και ειδικά στις αίθουσες χειρουργείων, η φωτοτεχνική μελέτη επιτάσσει τη χρήση φωτιστικών σωμάτων υψηλής χρωματικής απόδοσης, μέγιστης φωτεινότητας και κατά το δυνατό λιγότερη υπέρυθρη ακτινοβολία [3]. Ένα άλλο παράδειγμα, αποτελούν οι ειδικές συνθήκες που επικρατούν στα έργα υποδομής. Για παράδειγμα, ο σχεδιασμός φωτισμού σε σήραγγες, απαιτεί λαμπτήρες ανθεκτικούς σε υψηλή συγκέντρωση ρύπων, σκόνη, ακραίες θερμοκρασίες και υγρασία, ενώ στα αεροδρόμια, απαιτείται επιπλέον τα φωτιστικά σώματα να μπορούν να υπομείνουν τις δονήσεις που προκαλούνται κατά την απογείωση και την προσγείωση των αεροσκαφών [3]. Επιπλέον, ως χώροι φωτισμού ειδικών συνθηκών θεωρούνται και τα σπήλαια, κυρίως λόγω της υψηλής υγρασίας που επικρατεί, αλλά και λόγω τις πανίδας (νυχτερίδες) που φιλοξενείται. Αξίζει, εδώ, να αναφερθεί η μελέτη αντικατάστασης των λαμπτήρων του σπηλαίου του Διρού, με λαμπτήρες LED χαμηλότερης ισχύος κατάλληλοι ώστε να προσφέρουν τον επιθυμητό αρχιτεκτονικό φωτισμό αλλά και να αποτρέψουν την ανάπτυξη της «πράσινης αρρώστιας» των σπηλαίων (Malattia Verde) [4]. Μία ακόμη εφαρμογή ειδικών συνθηκών, είναι οι μεταλλοβιομηχανίες και ειδικότερα τα χυτήρια μετάλλων, λόγω των υψηλών

θερμοκρασιών που αναπτύσσονται κατά τη διαδικασία της ρευστοποίησης των μετάλλων και της χύτευσης. Τέλος, ο φωτισμός μίας πισίνας πρέπει να ακολουθεί τόσο τους κανόνες της φωτοτεχνίας και της αισθητικής όσο και τους νομικούς κανόνες για τους υγρούς χώρους [3].

II. Μελετη Φωτισμου

Μια μελέτη φωτισμού μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους. Είτε με υπολογισμούς, λαμβάνοντας υπόψη τη μέθοδο της φωτεινής ροής του J.W. Favie, είτε με τη βοήθεια ειδικών λογισμικών (DIALux, RELUX κ.α.). Συγκεκριμένα, με τη χρήση λογισμικών απλοποιείται η διαδικασία υπολογισμών και προσφέρεται ταυτόχρονα στο χρήστη η δυνατότητα γραφικής απεικόνισης του χώρου της μελέτης.

Για τη διεξαγωγή μιας μελέτης κρίνεται απαραίτητη η μελέτη των βασικών αρχών φωτισμού. Η φωτοτεχνική μελέτη λαμβάνει υπόψη το σκοπό χρήσης του χώρου, τις ειδικές απαιτήσεις φωτισμού συνολικά και επί μέρους σε σημεία του χώρου, το φυσικό φωτισμό που υπάρχει καθώς και δευτερεύοντες παράγοντες όπως τις οικονομικές απαιτήσεις, τη συχνότητα χρήσης του χώρου και το προφίλ των χρηστών (φύλο, ηλικία, κλπ.).

Τα βασικά φωτομετρικά μεγέθη που λαμβάνονται υπόψη (Πίνακας 1) είναι η φωτεινή ροή, η λαμπρότητα και η θάμβωση. Ως φωτεινή ροή ορίζουμε τη συνολική ποσότητα φωτός που εκπέμπεται ανά δευτερόλεπτο από μία πηγή φωτός και μετριέται σε Lumen (lm). Η φωτεινής ροή που διέρχεται μέσα από μία στερεά γωνία ορισμένης διεύθυνσης ονομάζεται φωτεινή ένταση και μετριέται σε Candela (cd). Ως λαμπρότητα ή φωτεινότητα ορίζεται το ποσό φωτεινής ενέργειας που πέφτει πάνω σε μια μοναδιαία επιφάνεια, (που έχει δηλαδή εκληφθεί ως μονάδα μέτρησης), ανά δευτερόλεπτο και μετριέται σε Lux (lx). Τέλος, η θάμβωση δημιουργείται όταν οι συνθήκες ορατότητας είναι τέτοιες ώστε να προκαλούν όχληση και μείωση της ευκρίνειας των αντικειμένων. Οφείλεται στην ανομοιόμορφη κατανομή της λαμπρότητας, λόγω υπερβολικών αντιθέσεων και μετριέται σε επί τις εκατό, σύμφωνα με την (1).

$$\frac{L\max - L\min}{L\min} \leq 10\% \qquad (1)$$

Επιπλέον, για τη φωτοτεχνική μελέτη, είναι απαραίτητη η μελέτη των βαθμών προστασίας που αφορούν φωτιστικά σώματα και τις συσκευές. Οι Βαθμοί προστασίας κατά EN 60529, δίνονται υπό τη μορφή «IPXY», όπως για παράδειγμα IP 21, IP 44, IP 54 [1]. Η σημασία του πρώτου αριθμού X αφορά την είσοδο ξένων σωμάτων ή την επαφή με το ανθρώπινο σώμα και του δεύτερου αριθμού Y αφορά την είσοδο νερού στην ίδια τη συσκευή.

Στις μέρες μας όμως, η ανάγκη εξοικονόμησης ενέργειας και η αδυναμία εκπλήρωσης των σύγχρονων απαιτήσεων από συμβατικές ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις, οδήγησαν στο σχεδιασμό και την υλοποίηση ειδικά εξελιγμένων αυτοματοποιημένων συστημάτων διαχείρισης φωτισμού με νέες αυξημένες δυνατότητες. Η τεχνολογική ανάπτυξη, κάνει δυνατή την ενσωμάτωση των βασικών λειτουργιών κάθε συστήματος διαχείρισης φωτισμού σε μεγαλύτερα και πιο ευέλικτα συστήματα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, σημαντικά διευρυμένες ευκαιρίες για εξοικονόμηση ενέργειας, ευελιξία, αξιοπιστία και ενσωμάτωση συσκευών από διαφορετικούς κατασκευαστές, στις ήδη υπάρχουσες εγκαταστάσεις. Ο αυτοματισμός αυτός, επιτρέπει τη μείωση της πιθανότητας δυσλειτουργιών από αβέβαιες ανθρώπινες ενέργειες και συμβάλει στη μείωση του λειτουργικού κόστους, ενώ παράλληλα παρέχει αυξημένες ανέσεις και ασφάλεια. Τα κυριότερα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται στα συστήματα αυτόματου ελέγχου φωτισμού είναι το KNX/EIB [5], το DALI [3], το C-bus [6], και το x10 [7].

ΠΙΝΑΚΑΣ I
ΒΑΣΙΚΑ ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

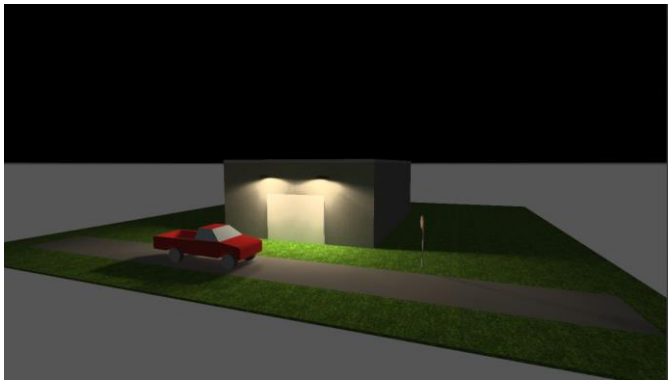
Σύμβολο	Ελληνικός όρος	Αγγλικός όρος	Ορισμός	Μονάδα SI
Φν	Φωτεινή ροή	Luminous flux	$\Phi v = K_m \int_{\lambda} \Phi_{e,\lambda} V(\lambda) d\lambda$	Lm
I	Φωτεινή ένταση ή Φωτοβολία	Luminous Intensity	$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$	$Cd = Lm * Sr^{-1}$
B	Φωτισμός	Illuminance	$B = \frac{d\Phi}{dA}$	$Lx = Lm * m^{-2}$
L	Φωτεινότητα	Luminance	$Lv = \frac{d^2\Phi}{d\Omega dA \cos\theta}$	$Cd * m^{-2} = Lm * Sr^{-1} * m$
M	Φωτεινή σχετική ικανότητα	Luminance exitance	$B = \frac{d\Phi}{dA}$	$Lm * m^{-2}$
Q	Φωτεινή ενέργεια	Luminous energy	$Q = \int_{\Delta t} \Phi(t) dt$	$Lm * \sec$
Φολ	Ολική φωτεινή ροή	Total luminous Flux	$\Phi_{ol} = \int_{\Omega} I d\Omega$	Lm

Οι φωτοτεχνικές μελέτες της παρούσας εργασίας αφορούν μία βιομηχανική αποθήκη και σε μία κολυμβητική δεξαμενή (πισίνα), κι εκπονήθηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος υπολογισμών DIALux EVO. Αρχικά, έγινε ο τρισδιάστατος σχεδιασμός των χώρων και ο καθορισμός των απαιτήσεων του φωτισμού σε lux. Στη συνέχεια, επιλέχθηκαν και τοποθετήθηκαν τα κατάλληλα φωτιστικά, και αφού έγιναν οι αντίστοιχοι υπολογισμοί, εξήχθηκαν τα αποτελέσματα των μελετών.

III. Μελετη Περιπτωσης Βιομηχανικης Αποθηκης

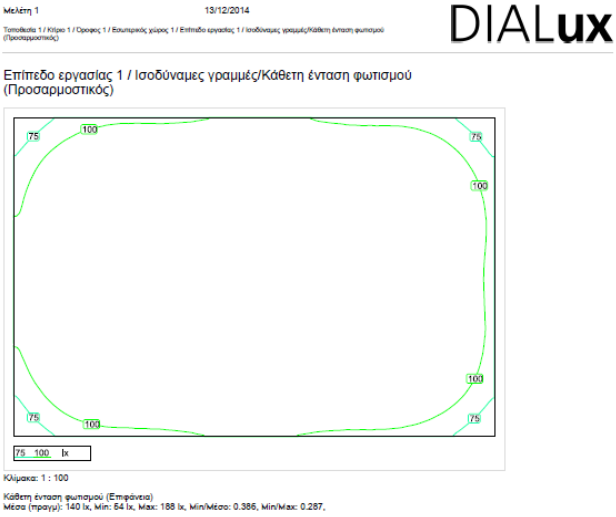
Πρωταρχικός στόχος κάθε μελέτης φωτισμού είναι η πλήρης ικανοποίηση τόσο των γενικών όσο και των ειδικών αναγκών σε φωτισμό όσων εργάζονται σε ένα χώρο , με την ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση της ενέργειας που καταναλώνεται. Στην προκειμένη περίπτωση της βιομηχανικής αποθήκης ο σωστός και επαρκής εσωτερικός φωτισμός εξυπηρετεί πέρα από τους πρωτεύοντες λειτουργικούς λόγους, την ασφάλεια των εργαζομένων στο χώρο, προκειμένου να αποφευχθούν κατά το δυνατόν τα εργατικά ατυχήματα. Ακόμα, συνεργεί στην αύξηση της παραγωγικότητας, καθώς αποφεύγονται τα λάθη και αυξάνεται η ταχύτητα εκτέλεσης των εργασιών. Επιπρόσθετα, εάν η αποθήκη διαθέτει και εξωτερικό φωτισμό (Εικ. 1), αποθαρρύνονται βανδαλισμοί, διαρρήξεις και άλλου είδους ανεπιθύμητες ενέργειες από τρίτους. Οι παραδοχές σχεδιασμού της μελέτης είναι οι εξής: το επιθυμητό επίπεδο έντασης φωτισμού στο εσωτερικό της αποθήκης είναι 100 lux,

ενώ οι ειδικές συνθήκες του χώρου έχουν ως εξής: η εγκατάσταση βρίσκεται παραθαλάσσια όπου υπάρχει μεγάλο ποσοστό υγρασίας ενώ λόγω της βιομηχανικής δραστηριότητας στο χώρο υπάρχει αυξημένο ποσοστό χημικών ρύπων και σκόνης. Για την πλήρωση των προαναφερθέντων απαιτήσεων στη μελέτη μας, επιλέχθηκαν 6 φωτιστικά Highbay, σε γραμμική διάταξη και ίση απόσταση μεταξύ τους. Τα φωτιστικά στοιχεία είναι ισχύος 70 W, βιομηχανικού τύπου καμπάνας με IP65, της εταιρείας LG (Εικ. 2). Επιπλέον, τοποθετήθηκαν προβολείς εξωτερικού χώρου πάνω από την πόρτα εισόδου ως προβολείς ασφαλείας, μοντέλου Martini 23 medium ισχύος 153W, με IP54 της εταιρείας Lingman. Η διάταξη και η επιλογή των προαναφερθέντων φωτιστικών αποτρέπει την ύπαρξη σκοτεινών σημείων στο εσωτερικό της αποθήκης, παρόλα αυτά υπάρχει και πρόβλεψη για τοπικό φωτισμό σε περίπτωση που κάποια εργασία απαιτεί μεγαλύτερα επίπεδα φωτισμού. Τα αποτελέσματα της φωτοτεχνικής μελέτης φαίνονται στις Εικ. 3 και 4, όπου γίνεται αντιληπτό ότι η κατανομή του φωτός είναι ομοιογενής στα 100 lux κατά μέσο όρο στο μεγαλύτερο μέρος του χώρου, καλύπτοντας πλήρως τις ανάγκες φωτισμού, σύμφωνα με τις αρχικές παραδοχές (Εικ. 3 και Εικ. 4). Το ποσοστό της θάμβωσης στο χώρο ανέρχεται στο 4% και σύμφωνα με τις θεωρητικές αρχές είναι αποδεκτό.

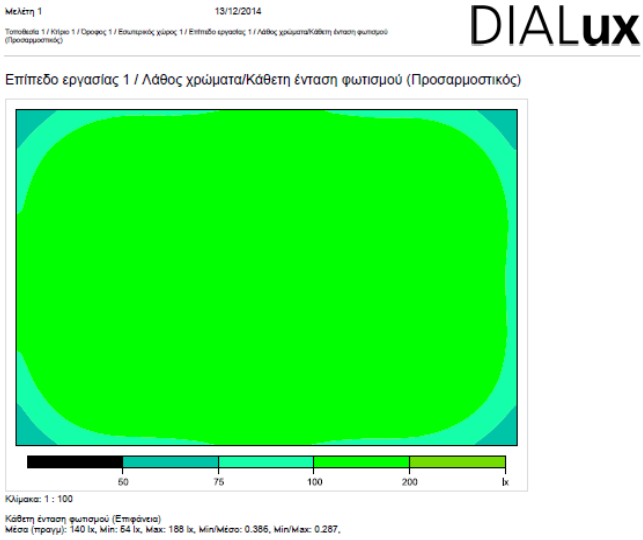


Εικ. 1. Εξωτερικός χώρος αποθήκης.

Εικ. 2. Εσωτερικός χώρος αποθήκης



Εικ. 3. Ισοδύναμες γραμμές/κάθετη ένταση φωτισμού



Εικ. 4. Λάθος χρώματα/Κάθετη ένταση φωτισμού

IV. Μελετη Περιπτωσης Οικιακης Εσωτερικης Πισινας

Οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούνται για την παροχή τεχνητού φωτισμού μιας πισίνας εσωτερικού χώρου πρέπει να πληρούν πέρα από τους βασικούς φωτοτεχνικούς κανόνες, τους αυστηρούς νομικούς κανονισμούς που επιβάλλονται για χώρους υγρούς (βρεγμένους), ενώ η επιλογή των υλικών και των φωτιστικών σωμάτων πρέπει να γίνεται με κριτήριο την υψηλή αντοχή τους σε φθορές και διαβρώσεις. Πολύ σημαντικό στοιχείο για την καλή χρήση και καλαισθησία της πισίνας αποτελεί η ομοιομορφία του φωτισμού στην επιφάνεια του νερού.

Μια πλήρης εγκατάσταση του τεχνητού φωτισμού μιας πισίνας αποτελείται από δύο μέρη:

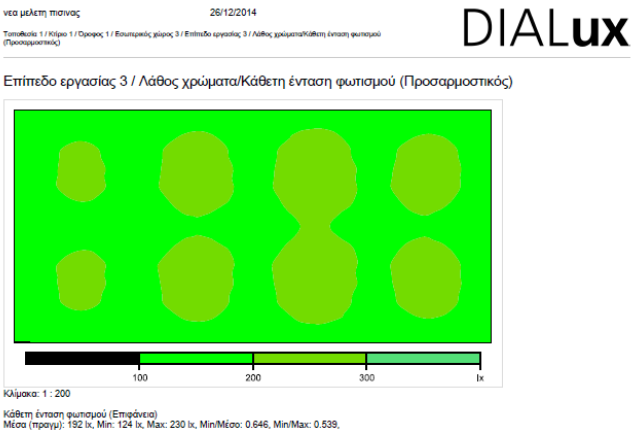
- Το γενικό πίνακα χειρισμού και προστασίας
- Τις γραμμές τροφοδοσίας που συνδέονται με τους λαμπτήρες φωτισμού [2]

Για τις ανάγκες του σεναρίου μελετήθηκε μια πισίνα

διάστασης 250m^2 οικιακής χρήσης τοποθετημένη σε κλειστό χώρο χωρίς παράθυρα (Εικ. 5). Η φωτοτεχνική μελέτη έγινε με τη χρήση του λογισμικού DIALuxEVO.Το επιθυμητό επίπεδο έντασης φωτισμού στο χώρο της πισίνας ορίστηκε στα 200lux. Συγκεκριμένα, τα 200 lux αφορούν τους διαδρόμους περιμετρικά της πισίνας και την επιφάνεια αυτής. Έπειτα, επιλέχθηκαν τα φωτιστικά σώματα που τοποθετήθηκαν στο εσωτερικό της δεξαμενής, τα οποία είναι κατάλληλα για μόνιμη βύθιση στο νερό, αλλά και φωτιστικά οροφής με κριτήριο τη στεγανότητα και το επίπεδο φωτεινότητας που προσφέρουν. Τέλος, έγιναν όλοι οι απαραίτητοι υπολογισμοί και η εξαγωγή των διαγραμμάτων, τα οποία δίνουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με την κατά τόπους κατανομή και ένταση του φωτισμού στο χώρο. Παρατηρούμε ότι ο φωτισμός είναι εντονότερος σε σημεία κάτω από τα φωτιστικά οροφής, παρόλα αυτά κρίνεται επαρκής και ομοιόμορφος για το σύνολο του χώρου [Εικόνα 6,7]. Τέλος, το ποσοστό της θάμβωσης στο χώρο ανέρχεται στο 8% και είναι κι αυτό αποδεκτό.

Εικ. 5. Εσωτερικός χώρος πισίνας

Εικ. 6. Ισοδύναμες γραμμές/κάθετη ένταση φωτισμού



Εικ. 7. Λάθος χρώματα/ κάθετη ένταση φωτισμού

V. Αυτοματοποιηση Εγκαταστασης Φωτισμου

Και στις δύο εγκαταστάσεις η αυτοματοποίηση του φωτισμού εξυπηρετεί τις ανάγκες της αύξησης της λειτουργικότητας του χώρου και της εξοικονόμησης ενέργειας στοχεύοντας στη δημιουργία ενός χώρου εύχρηστου και περιβαλλοντικά φιλικού. Το κριτήριο λειτουργίας του φωτισμού και στις δύο εγκαταστάσεις είναι η ανθρώπινη παρουσία. Συγκεκριμένα, ο αυτοματισμός ενεργοποιεί το φωτισμό μόνο στην περίπτωση που ανιχνευθεί ανθρώπινη παρουσία. Για ικανοποίηση του κριτηρίου χρησιμοποιήθηκαν παθητικά αισθητήρια υπερύθρων που συνδέθηκαν σε μικροελεγκτή. Το PIR Sensor ανιχνεύει την κίνηση μέχρι και 6 μέτρα μακριά, χρησιμοποιώντας ένα φακό Fresnel και ένα στοιχείο ευαίσθητο στην υπέρυθρη ακτινοβολία. Το αισθητήριο ανιχνεύει τις μεταβαλλόμενες τιμές των παθητικών υπέρυθρων που εκπέμπονται από τα αντικείμενα σε κοντινή απόσταση (Εικ. 8) [8]. Επιπρόσθετα, στο χώρο της αποθήκης, ελέγχεται αυτόματα και η ενεργοποίηση του εξωτερικού φωτισμού με τη χρήση αισθητηρίου ημέρας-νύκτας (φωτοαντίσταση), ο οποίος καταμετρά τη φωτεινότητα του χώρου. Οι φωτοαντιστάσεις είναι αντιστάσεις οι οποίες κατασκευάζονται από ημιαγωγούς των οποίων η αντίσταση ελαττώνεται, όταν στην επιφάνεια τους προσπέσει φως κατάλληλου μήκους κύματος (Εικ. 8) [9]

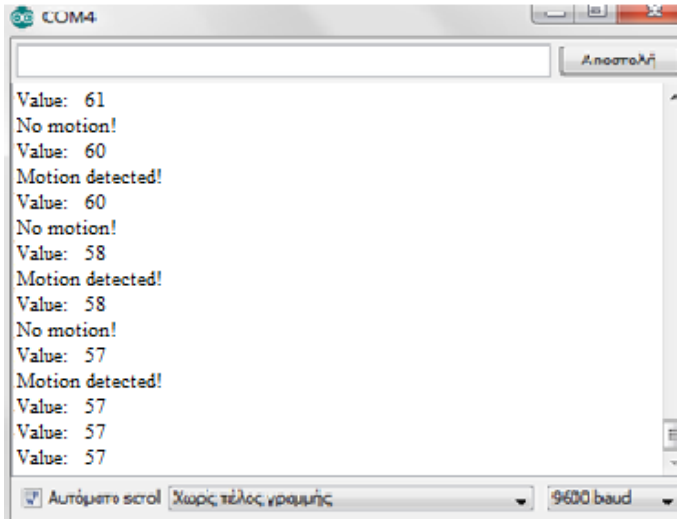
(α) **(β)**

Εικ. 8.(α). Αισθητήριο παθητικών υπέρυθρων. (β). Φωτοαντίσταση.

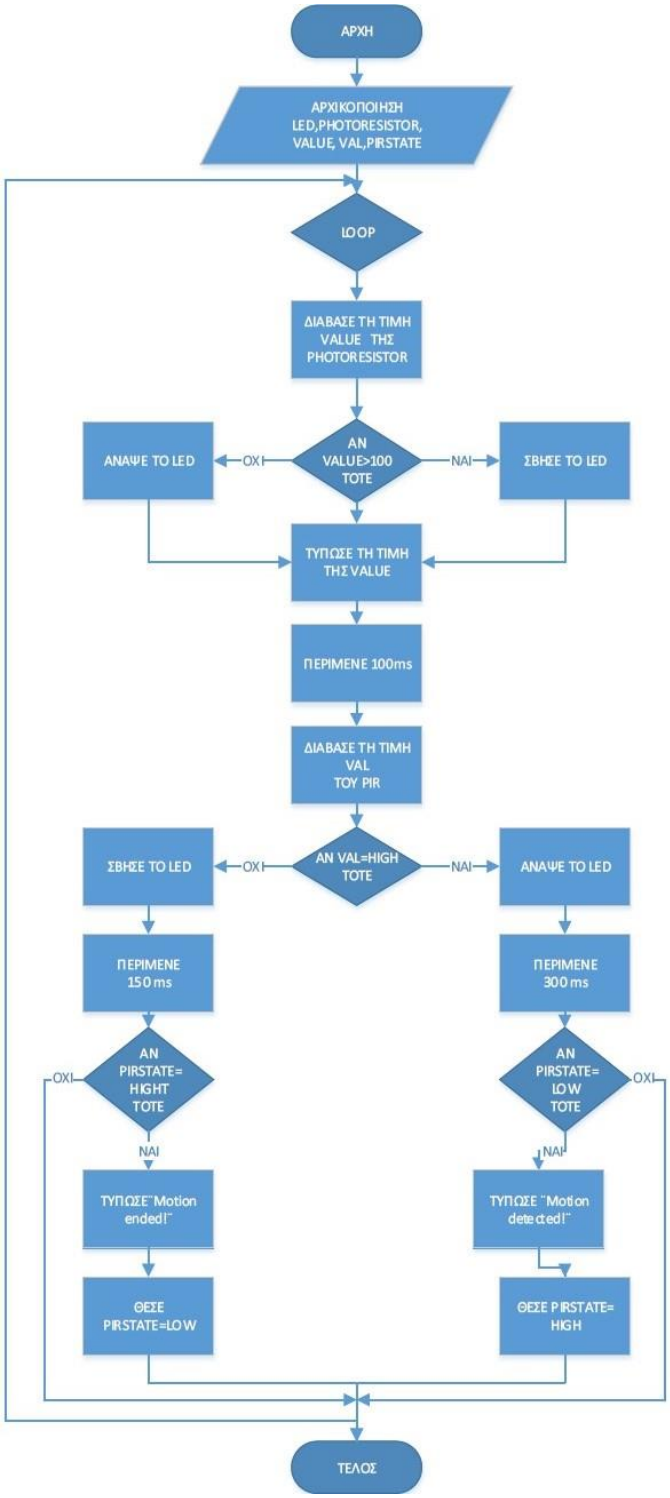
VI. Εργαστηριακη Εφαρμογη

Για την εργαστηριακή εφαρμογή, κατασκευάστηκε μακέτα (Εικ. 9) ως μοντέλο της βιομηχανικής αποθήκης που μελετήθηκε και η υλοποίηση του αυτοματισμού έγινε με τη χρήση του μικροελεγκτή Arduino (Εικ. 12). Αρχικά, χρησιμοποιούμε ένα κίτρινο led για να προσομοιώσουμε τον εξωτερικό φωτισμό της αποθήκης (φώτα ασφαλείας) και μία φωτοαντίσταση (photoresistor) που μετρά το επίπεδο φωτεινότητας στο χώρο. Σύμφωνα με τον αλγόριθμο ελέγχου του φωτισμού (Εικ. 11), όταν η τιμή της λαμπρότητας που καταμετράται από τη φωτοαντίσταση είναι μικρότερη ενός κατωφλιού, ενεργοποιείται το εξωτερικό led, ενώ παράλληλα γίνεται καταγραφή των τιμών της φωτεινότητας (Εικ. 10). Για την ενεργοποίηση του εσωτερικού φωτισμού, χρησιμοποιούμε έναν ψηφιακό παθητικό ανιχνευτή κίνησης υπερύθρων PIR (passive infrared radiator) (Εικ. 11). Αν η τιμή του αισθητηρίου είναι HIGH, δηλαδή αν ανιχνευθεί κίνηση από τον αισθητήρα, τότε ενεργοποιείται ο εσωτερικός φωτισμός και εμφανίζεται ένα μήνυμα ανίχνευσης κίνησης “Motion detected” (Εικ. 10), ενώ αν η τιμή είναι LOW, δεν ανιχνεύεται κίνηση, τότε ο φωτισμός της αποθήκης σβήνει και εμφανίζεται στη σειριακή οθόνη το μήνυμα “No motion” (Εικ. 10).

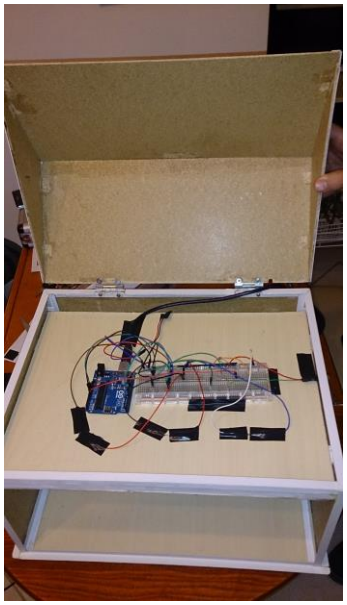
Εικ. 9. Προοπτική άποψη της μακέτας



Εικ. 10. Αποτελέσματα μετρήσεων



Εικ. 11. Διάγραμμα ροής



Εικ. 12. Τοποθέτηση Arduino

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν οι περιπτώσεις φωτισμού χώρων ειδικών συνθηκών και προσομοιώθηκε μία τέτοια εγκατάσταση, αυτοματοποιημένη, σε εργαστηριακή κλίμακα. Ειδικότερα, μελετήθηκε η φωτοτεχνική μελέτη σε βιομηχανική αποθήκη με υψηλή συγκέντρωση χημικών παραγόντων και ρύπων, αυξημένη υγρασία και σκόνη και η μελέτη σε εσωτερική πισίνα, όπου λήφθηκαν υπόψη τόσο οι κανόνες φυτοτεχνίας και καλαισθησίας όσο και το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο. Όπως προκύπτει από τις μελέτες, καθοριστικό ρόλο για το σωστό φωτισμό των εγκαταστάσεων , είναι η επιλογή των κατάλληλων λαμπτήρων ώστε να τηρούν τις προδιαγραφές αλλά και η ορθή διάταξή τους στο χώρο ώστε να διασφαλίζεται η ομοιομορφία του φωτισμού και η ελάχιστη θάμβωση. Επιπλέον, με την υλοποίηση της εργαστηριακής εφαρμογής γίνεται πρακτικά αντιληπτή η ανάγκη της αυτοματοποίησης των εγκαταστάσεων φωτισμού τόσο ως μοχλός αύξησης της προσαρμοστικότητας της εγκατάστασης στις εκάστοτε λειτουργικές ανάγκες όσο και ως βασικός παράγοντας μείωσης του λειτουργικού κόστους, που αφορά το φωτισμό. Η μελλοντική έρευνα ως προς το φωτισμό ειδικών συνθηκών στοχεύει στη μελέτη των εγκαταστάσεων σε πραγματική κλίμακα.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς θα ήθελαν να εκφράσουν τις ευχαριστίες τους προς τον καθηγητή Σπυρίδωνα Γ Μουρούτσο, για τις συμβουλές και την καθοδήγησή του, καθώς και την ενθάρρυνση που προσέφερε στην ομάδα σε όλη τη διάρκεια της έρευνας και ανάπτυξης της εργασίας.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[1] «ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΩΝ», Ά Έκδοση, Πέτρος Ντοκόπουλος, εκδόσεις Ζήτη, 2005, σσ. 447-460

[2] «ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΙΣΙΝΑΣ» Juan de Cusa Ramos, εκδόσεις 'κλειδάριθμος', 1998, σσ. 220-240

[3] Ιστότοπος εταιρείας osram: http://osram.gr last accessed@15/01/2015

[4] Άρθρο για το σπήλαιο του Διρού: http://www.econews.gr/2015/01/14/led-spilaio-dirou-119912/ last accessed@16/01/2015

[5] Ιστότοπος του πρωτοκόλλου knx: http://www.knx.gr/ last accessed@16/01/2015

[6] Ιστότοπος του πρωτοκόλλου cbus: http://www.cbus-enabled.com/cbus-open.htm last accessed@16/01/2015

[7] Ιστότοπος του πρωτοκόλλου X10: https://www.princeton.edu/~achaney/tmve/wiki100k/docs/X10_%28industry_standard%29.html last accessed@16/01/2015

[8] Τεχνικά χαρακτηριστικά αισθητηρίου PIR: http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/105636/ETC/KC7786.html last accessed 1/2/2015

[9] Τεχνικά χαρακτηριστικά φωτοαντίστασης: http://www.datasheetarchive.com/photo%20resistor%20LDR%2007-datasheet.html last accessed1/2/2015

[Συνεδρία Σύγχρονων Συστημάτων]

Ομιλητής Συνεδρίας: Βάιος Λάππας (University of Surrey)
Προεδρείο: Αντώνιος Τζες (Παν. Πατρών)

1. LCN – a prediction-based contention aware scheduler for multithreaded applications – Δήμος Ράπτης
2. Δημιουργία χάρτη βάθους σκηνής σε υπολογιστικά συστήματα παράλληλης επεξεργασίας – Παπαϊωάννου Μαγδαληνή
3. Fractal animations με MapReduce – Παπουτσόγλου Ευαγγελία, Φαρμακάκης Αριστοτέλης
4. MVDR beamformer – Speech quality assessment in presence of background noise – Πλατυπόδη Μαρία
5. Σύστημα επιτήρησης και ελέγχου ηλεκτροκίνητου οχήματος με χρήση ηλεκτρονικού διαφορικού – Μήλας Νικόλαος
6. Προσδιορισμός της θέσης πλοίου εντός δεξαμενής με τη χρήση σαρωτή τεχνολογίας LiDAR – Μπόχαλης Χριστόδουλος, Φατούρος Οδυσσέας
7. Ανακατασκευή θερμικών εικόνων υψηλής ανάλυσης από εικόνες χαμηλής ανάλυσης με τεχνικές compressed sensing – Ροντογιάννης Επαμεινώνδας
8. Serial communication over BLE – RS-232 cable replacement over Bluetooth Low Energy – Τσίνγκας Ηλίας, Δημόπουλος Πέτρος
9. A photodiode sensing circuit for operation in harse enviroments – Κασλής Κυριάκος

LCN : A prediction-based contention-aware scheduler for multithreaded applications

Dimos - Dimitrios Raptis

Abstract

In this paper, we present a contention-aware scheduler for multi-threaded applications that is based on predictions regarding the scalability of applications. Our approach is comprised of 3 components : a classification scheme, a prediction model and a scheduling algorithm. The classification scheme is used to detect which resources of the system are primarily affected by contention, thus limiting the scalability of the application. A different prediction model for each class is used to predict the optimum allocation of resources, which results in the best tradeoff between scaling and resource management. The scheduling algorithm uses the prediction results to schedule the applications in a way that the performance degradation due to contention is minimized. The proposed scheduler is compared with other state-of-the-art schedulers in terms of throughput and fairness, since it is simple and easily integratable in modern operating systems.

Keywords

Operating Systems, Scheduling, Contention, Resource Management, Multithreaded applications

Dimos Raptis is with the Department of Electrical and Computer Engineering, National Technical University of Athens, Greece. *Manuscript received February 2, 2015; revised February 21, 2015.*

1. Introduction

The technological progress in the field of computer hardware has been rapidly increasing during the last decades. However, the exponential difference between the progress of the computing power and the memory speed imposes a bottleneck in the ways we can leverage the bigger amount of available processing power [5]. The dominance of chip multi-processors (CMPs) has been followed by initiatives to take advantage of the various forms of parallelism, such as instruction-level parallelism or thread-level parallelism. This has been achieved through various frameworks, like openMP, Cilk, openMPI etc. Nonetheless, the shared memory hierarchy enforces various limitations to those attempts. Some problems arise due to memory bandwidth limitations and are handled by methods, such as improving data locality or improved prefetching [6], but as long as the working-set size of a job exceeds the size of the on-chip cache, the effectiveness of such approaches is quite limited. Another cause of performance degradation is the cache contention between different applications. Applications allocated to different cores of the same chip interfere with each other and the result of this interference on the overall performance depends on the data sharing patterns between the applications. Hardware or software-based methods have tried to analyse and improve data-sharing patterns, such as Utility Cache Partitioning [4] or Page Colouring [3]. However, the feasibility of those methods on modern

operating systems are somewhat limited due to their requirement of additional hardware support or non-trivial changes to the virtual memory management system.

So, attempts are focused on implementing contention-aware schedulers that can detect and mitigate resource contention, since the current schedulers of modern operating systems are contention-unaware. Similar approaches handle applications either as single-threaded applications or as multi-threaded applications, where the allocation of resources is already predefined and the scheduler does not contribute to this step. Our approach handles applications as black boxes without having any knowledge regarding required resources, since the definition of the optimum amount of resources that should be allocated for ideal scaling is predicted by a component of the scheduler. Most contention-aware schedulers consist of 2 parts : a classification scheme defining performance degradation for combinations of co-scheduled application and a scheduling policy using those estimations to schedule the corresponding workload. Our approach follows this philosophy, but it also contains a prediction model as intermediate step, where the optimum number of resources that should be allocated to each application to avoid resource contention is estimated.

The classification scheme categorizes applications in categories based on whether they are memory-intensive or CPU-instensive. If the applications are memory-intensive, they are further categorized according to the memory hierarchy domain where contention is mainly observed. Afterwards, according to the class of each application, the suitable relationships of the prediction model are used to estimate an optimum number of cores that should be allocated in order to achieve the best tradeoff between scaling and resource management. The classification scheme has been implemented based on observations of previous research [1], showing that this classification is theoretically grounded and presents better results than other classification schemes, like animal classes [16] or color classes [17].

Table 1. Sandy Bridge Architecture

Cores	8
L1	Data Cache: private, 32KB Instruction Cache: private, 32KB
L2	private, 256KB
L3	shared, 32MB
Memory	64GB, DDR3, 1333MHz
OS	Debian Linux 6.0.6 with kernel 3.7.10

This scheduler has been tested with a workload of 17 applications spread amongst all categories. The various schedulers are implemented in user space using a pluggable infrastructure that allows for switching between different scheduling algorithms. The control group infrastructure provided by the Linux kernel is used to implement the scheduling decisions. In particular, we implement space scheduling via the cpuset [10] library and time scheduling via the freezer control group [11]. The results of the scheduler are compared with those of other state-of-the-art contention-aware schedulers, like LLC-MRB [13], [15] and LBB schedulers [13], [14] proposed by previous research, and with the current scheduler of Linux (CFS), which is contention-unaware. The schedulers are compared using total throughput and fairness as main criteria, with our approach presenting the best overall throughput. Furthermore, the prediction model has also been verified in a Nehalem architecture CMP for further validation. The architectures of the 2 systems used for experimentation can be seen in tables 1,2.

The rest of the paper is organized as follows : in Section 2 we define our classification scheme and analyse the interference between applications of different classes. Section 3 presents our prediction model and statistics regarding its correctness. Our scheduling al-

Table 2. Nehalem Architecture

Cores	8
L1	Data Cache: private, 32KB Instruction Cache: private, 32KB
L2	private, 256KB
L3	shared, 32MB
Memory	64GB, DDR3, 1333MHz
OS	Debian Linux 6.0.6 with kernel 3.7.10

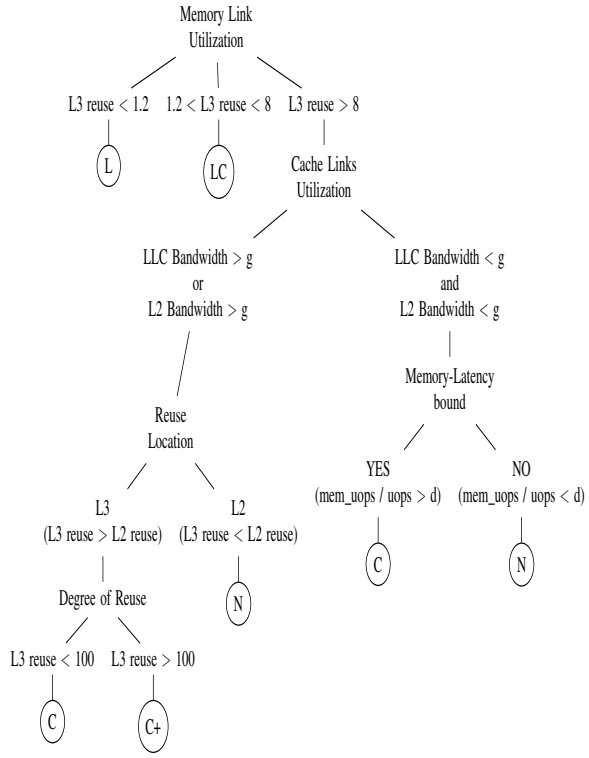
gorithm and the statistical comparison between other schedulers are described in Section 4. Finally, Section 5 concludes the paper and proposes ideas for future research.

2. Classification Scheme

The purpose of our classification scheme is primarily to locate contention on private caches, shared last-level cache and memory link and secondarily to depend only on information that can be collected during the application's execution from the existing monitoring facilities of modern processors without requiring additional hardware enhancements. The applications are categorised in the following 4 main classes:

- Class L: applications with high usage of memory link, consuming a high percentage of memory bandwidth
- Class LC: applications that combine significant activity in last-level cache with considerable usage of memory link
- Class C: applications with really high usage of the last-level cache. Specifically, class C+ is a subcategory, where applications distribute their data usage between the shared and the private part of the memory hierarchy.
- Class N: applications whose activity is focused either in the private caches or within the core.

Figure 1. Classification Scheme's Decision Tree



The applications are categorised based on specific hardware performance counters monitored during their execution. More specifically, the used counters are UNHLT_CORE_CYCLES, INSTR_RETIRED, LLC_MISSES, L1_LINES.IN, L2_LINES.IN, MEM_UOP_RETIRED.ALL and UOPS_RETIRED.ALL. Furthermore, we use OFFCORE_REQUESTS (0xB7, 0x01; 0xBB, 0x01) together with Intel's Performance Counter Monitor [9] utility to acquire information regarding bandwidth usage. The decision tree that is used for the classification scheme can be seen in Fig. 1.

where the equations 1-7 have been used:

$$(1) Memory\ bandwidth = (per_core_bw * 64)/(10^6)(GB/sec)$$
$$(2) LLC\ bandwidth = (l2_lines_in * 64)/(10^6)(GB/sec)$$
$$(3) L2\ bandwidth = (l1_lines_in * 64)/(10^6)(GB/sec)$$
$$(4) L3\ reuse = LLC\ bandwidth/Memory\ bandwidth$$
$$(5) L2\ reuse = L2\ bandwidth/LLC\ bandwidth$$
$$(6) g = 0.35 * MaximumMemoryBandwidth$$
$$(7) d = 0.25$$

3. Prediction Model

The next step after classifying an application is to use our prediction model in order to make an estimation of the maximum resources that can be allocated in an application without provoking resource contention and performance degradation. The design of the prediction model was based on statistical investigation described below combined with theoretic validation of the results. For each class of applications, a specific ratio of counters and a threshold value are defined. We accept as optimum the number of cores that when allocated to the application, this ratio gets the maximum possible value without surpassing the threshold value.

For applications belonging to class L, contention is mainly observed in the memory link, so the memory bandwidth is the crucial factor. The maximum memory bandwidth of the system has to be known and it can be measured using stream benchmark [7], as we did in our approach. If the memory bandwidth of the application when executed with 1 core has value Mem_1, then the used ratio is defined by equation 8 and the threshold value is $T = 1.15$. This is based on the fact that when allocating more cores to an L-class application, the memory bandwith consumed can be approximated from simple multiplication with the number of cores. However, this fact is quite valid, since class-L applications have low L3 reuse, so different cores of the application fetch data continuously from the memory. The threshold value is chosen after investigation, since performance degradation is observed after the memory link is fully occupied.

$$(8) R_p = (Mem_1 * p)/(Maximum\ Memory\ Bandwidth)$$
$$(9) p_{optimum} = max\{p\},\ R_p < 1.15$$

After experimentation with the linear regression model, we discovered that the completion rate of applications belonging to classes C, C+, LC are linearly correlated with specific counters relative to the corresponding part of the memory hierarchy that suffers contention in each class. Completion rate is the ratio between the execution time with p cores and the execution time with 1 core . So, we examined all the related counters and for each class we found a combination that had a high correlation coefficient, reaching values around 0.95, which led us to create the following prediction relations. For LC applications, f_{LC}, defined by equation 12, is correlated to the scaling of the application, while for C and C+ applications f_C, defined by equation 13, is the corresponding correlated combination. A theoretic explanation lies behind each combination for each class. LC applications that scale well should have a combination of low L2 RFO (Read-For-Ownership) requests and high L3 reuse, so that data are not invalidated between different cores and those few that are invalidated are fetched from LLC cache and not from memory, where a bigger penalty would occur. C applications that scale well should have low L2 shared lines proportionally to the instructions retired, so that there is low cache thrashing when allocating more cores. After examining a bunch of random applications, we ended up with 7 linear relationships for each class, one for each dfferent number of cores. By executing an application with 1 core and deriving the needed f_i, we can predict the scaling for p cores by using the pth relationship. The used ratio is $R = (Scaling_{ideal}/Scaling) * 100$ and the

threshold value is $T = 70$. It can be argued that the threshold value is chosen somewhat arbitrarily, but it is theoretically ground meaning that the scaling must be between 30 percent divergence from the ideal. The ideal scaling is calculated as $Scaling_{ideal} = 1/p$. For instance, with 3 cores allocated the ideal scaling would be $1/3 = 0.333$. The threshold value can be set higher if we want to be stricter regarding the optimal scaling and contrariwise.

$$(10) Completion(LC)_p = [-0.252533 * log(p) + 0.6407058] + [0.0139536 * log(p) + 0.0090562] * f_{LC}$$

$$(11) Completion(C)_p = [-0.25468 * log(p) + 0.6397947] + [0.2151318 * log(p) + 0.2239032] * f_C$$

$$(12) f_{LC} = L2\ RFO\ Requests/L3\ reuse$$

$$(13) f_C = L2\ shared\ allocated\ lines/Instructions\ Retired$$

$$(14) Ideal_Completion_p = 1/p$$

$$(15) R_p = (Ideal_Completion_p/Completion_p) * 100$$

$$(16) p_{optimum} = max\{p\},\ R_p > 70$$

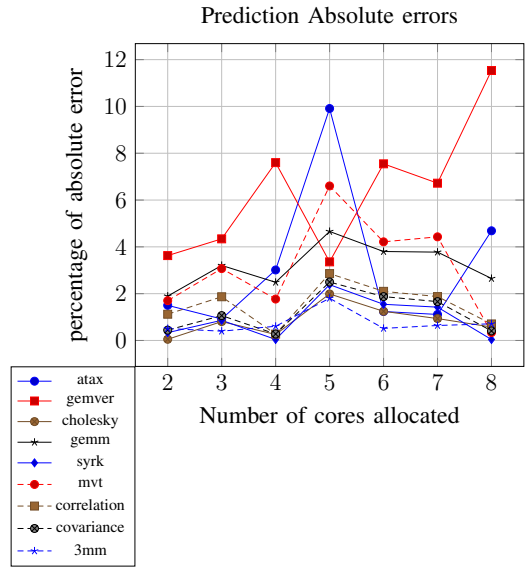
The relations have also been validated in a Nehalem architecture successfully. In Fig. 2 we can see the errors in prediction for various benchmarks belonging to those 3 classes (LC,C,C+). We can notice that absolute errors do not exceed 15%, which is a quite optimistic number.

As expected, N-class applications do not present significant resource contention and scale up to maximum resources allocated, since these applications restrict their activity either to the private part of the memory hierarchy or within the core, so the additional allocated cores do not interfere creating performance degradation. So, for N-class applications the maximum number of cores has been defined as optimum (8 in Sandy Bridge, 4 in Nehalem) and there was no deviation from this conclusion in the measurements.

4. Scheduling Policy

The final step of the suggested scheduler is the algorithm used to co-schedule the applications. After having completed the first 2 steps for all the applications that need to be scheduled, each application is classified and the number of cores that should be allocated to it is defined. So, applications are separated in 4 lists, one for each class. Then, the following algorithm is used to co-schedule the applications. We have made the realistic assumption that no more than 2 applications can be co-scheduled, so the algorithm attempts to co-schedule the applications solely in pairs. However, it can easily be extended to co-schedule using bigger combinations.

Figure 2. Relative errors in predicted completion times for L,C,C+ applications



Listing 1. Co-Scheduling algorithm

```
Input: L,LC,C,N lists of applications

    for(i=0;i<N.length;i++){
        N[i].cores = N[i].cores/2;
        N.add(N[i]);
    }

    for(i=0;i < N.length;i++){
        x = N[i];
        y = popMatchFromTheEnd(C,L,LC,N);
        if(y != null)  coSchedule(x,y);
    }
    for(i=0;i < LC.length;i++){
```

```
        x = LC[i];
        y = popMatchFromTheEnd(C,LC,L);
        if(y != null)  coSchedule(x,y);
    }
    for(i=0;i < L.length;i++){
        x = L[i];
        y = popMatchFromTheEnd(L);
        if(y != null)  coSchedule(x,y);
    }
    for(i=0;i < C.length;i++){
        x = C[i];
        y = popMatchFromTheEnd(C);
        if(y != null)  coSchedule(x,y);
    }
```

The lists of the algorithm contain all the applications of each class and the optimal number of cores that should be allocated to each one. This algorithm iterates over each list of applications and for each application attempts to find a matching application (through method $popMatchFromTheEnd()$), so that the total number of allocated cores do not exceed the available cores of the current package. The function $coSchedule()$ increases, if possible, the cores of applications x and y equally, so that the sum is equal to the number of available cores of the system. Note that only for N-class applications, we select to allocate the half cores and schedule the applications 2 times, since their total performance will not degrade due to their cpu-bound profile. It is evident from the algorithm that some matches are attempted to be avoided, because the contention is aggravated. We need to avoid as much as possible the co-execution of L-C, L-L, L-LC pairs of applications, since the interaction between the different sources of contention creates serious performance degradation. The interference of co-execution between all possible combinations of applications is explained in detail in [1]. All the applications that will be left in the end of the algorithm, will execute with all the cores of the package allocated, so that there are no cores left idle. To take full advantage of the cores of the system, the lists of the applications are sorted with the applications requiring the least cores in the beginning and the function $popMatchFromTheEnd()$ searches all the lists given as parameters, starting from the end, to find one that can be co-scheduled with x. In this way, it is guaranteed that the cores that will be given in the end to the remaining applications will be the least possible.

A workload has been created with 17 applications from the Polyhedral Benchmark Suite [8], so that we have enough applications from all classes. The whole workload is executed for 1 hour, with quantums of 1 second, as stated before and when an application finishes, it gets respawned to execute again. Our scheduler is compared to LLC-MRB, LBB, the default Linux scheduler and a naive Gang scheduler.

In the ***Gang scheduler***: all available cores (8) are allocated to each application and each application is executed alone.

In the ***default Linux scheduler***: the optimum number of cores as defined from the prediction model are allocated to each application and then the applications are left to be scheduled by CFS. This means that threads of the same applications might not be co-scheduled.

In ***LLC-MRB*** and ***LBB***: the number of allocated cores for each application is defined by the prediction model, but applications are co-scheduled using a sorted list by LLC misses or memory bandwidth correspondingly and combining applications from the beginning of the list with applications from the end.

In our scheduler, called ***LCN***: the number of allocated cores are defined by the prediction model except from N applications, which are allocated the half cores and scheduled twice as described above. The

workload is divided into pairs and alone applications using the previous algorithm.

In the following table, we can see the number of times each applications has been completed during the execution of the workload from the different schedulers. The schedulers can be compared in terms of overall throughput using 2 criterias : (i) the total number of times all the applications have been completed (ii) the total number of applications for which the scheduler has managed to achieve the biggest number of completions. The schedulers can also be compared in terms of fairness using the covariance between the completion-times number of each application and the corresponding completion-times number of the Gang scheduler. Green colour is used to point where a scheduler has managed to achieve the most completions for an application and yellow colour is used if there are multiple schedulers that have reached the maximum number. As it is evident, our scheduler outperforms CFS and the other state-of-the-art contention-aware schedulers in terms of overall throughput using both criteria. In terms of fairness, it seems that the other contention-aware schedulers are better with LLC-MRB being the best. However, this is not a clear conclusion, since it may not mean that some applications are unfairly treated by our scheduler, but instead that some applications are highly favoured.

Investigating the schedulers from a theoretic perspective, we can explain their difference in total throughput. CFS scheduler, being contention-unaware, cannot locate resource contention and has also the disadvantage that it does not attempt to schedule threads of the same applications together. So, the benefits of the parallel programming are somewhat lost, when threads containing sharing data are scheduled in different quantums. On the other side, both LLC-MRB and LBB cannot differentiate between class N and C applications, since they both exhibit low LLC misses and memory link usage [1]. As a result, they co-schedule class L applications with class C, thus creating more contention. However, our scheduler can tell them apart through the classification scheme and limits the contention even more.

Table 3. Comparison between schedulers

Benchmarks	Gang	CFS	LLC-MRB	LBB	LCN
2mm(1024)	54	101	92	92	101
cholesky(1024)	55	124	92	92	136
jacLR	13	15	13	16	17
stream_d0	31	34	32	30	34
stream_d1	31	34	21	32	21
trmm(3000)	54	75	69	69	69
dynprog(700,350)	54	22	36	53	36
mvt(600)	43	31	39	34	30
syr2k(900)	72	80	92	92	92
atax(8000)	27	20	25	19	22
gemver(9000)	54	38	69	69	39
gemm(1150)	72	85	55	55	92
cholesky(4096)	43	49	55	55	55
atax(18000)	43	25	46	21	39
correlation(1500)	43	62	55	55	55
covariance(1500)	43	62	55	55	55
2mm(1500)	72	79	92	92	92
Total exec.	804	936	938	931	985
Most Improved	-	5	7	5	8
Covariance	-	0.46	0.30	0.32	0.46

5. Conclusion - Future Work

We implemented a contention-aware scheduler that can be easily incorporated in a real-life scheduling environment. To make this scenario feasible, 2 approaches can be followed. According to the first approach, each application that is inserted in the scheduling queue is initially executed for a really short period (around 2-3 quantums) to acquire the necessary HPC counters for the first 2 steps and then the application is re-inserted in the final queue classified and attached to its prediction. The other approach

is to start scheduling the applications with minimal resources and dynamically monitor the HPC counters during the first quantums in order to dynamically adapt their resources afterwards. The dunamic adaptation of the scheduling is attainable, since the control group infrastructure can handle programs that create threads dynamically [10]. After the classification and the definition of resource allocation for each application, the final scheduling algorithm is executed in the current queue to create the optimal combinations.

The granularity of the prediction model can be significantly improved in the future by using stepwise regression models to add more hardware counters into the relationships. Machine learning methods can also be used to improve the accuracy of the prediction model relationships on different architectures. The suggested scheduler is implemented to function in NUMA architectures with only 1 package. However, it can be extended to multiple packages using thread migrations between different memory domains only when beneficial, since similar research has been conducted in the field of contention-aware thread migrations[12]. Furthermore, in future research, more focus could be given in the overhead added by the contention-aware component, because our framework was not implemented in kernel-space so as to make direct comparison with CFS.

Acknowledgments

The author would like to thank the Computing Systems Laboratory of National Technical University of Athens for providing the necessary infrastructure for completing the required experiments and specifically Alexandros Haritatos, Georgios Goumas and Nectarios Koziris for continuous supporting, consulting and guiding this research.

References

[1] A.Haritatos, G.Goumas, N.Anastopoulos, K.Nikas, K.Kourtis and N.Koziris. LCA: a memory link and cache-aware co-scheduling approach for CMPs. In Proceedings of the 23rd international conference on Parallel architectures and compilation,pages 469-470, New York, NY, USA, 2010. ACM.

[2] S.Blagodurov, S.Zhuravlev, A.Fedorova. Contention-Aware Scheduling on Multicore Systems, Journal ACM Transactions on Computer Systems (TOCS), Article No. 8, New York, NY, USA, 2010, ACM.

[3] Xiao Zhang, Sandhya Dwarkadas, Kai Shen. Towards practical page coloring-based multicore cache management. In Proceedings of the 4th ACM European conference on Computer systems, pages 89-102, New York, NY, USA, 2009, ACM.

[4] Moinuddin K. Qureshi, Yale N. Patt. Utility-Based Cache Partitioning: A Low-Overhead, High-Performance, Runtime Mechanism to Partition Shared Caches. In Proceedings of the 39th Annual IEEE/ACM International Symposium on Microarchitecture, pages 423-432, Washington, DC, USA, 2006, IEEE Computer Society Washington.

[5] Wm. A. Wulf, Sally A. McKee. Hitting the memory wall: implications of the obvious. ACM SIGARCH Computer Architecture News, pages 20-24, Volume 23 Issue 1, March 1995, New York, NY, USA, 1995, ACM

[6] E. Ebrahimi, O. Mutlu, and Y. N. Patt. Techniques for bandwidth-efficient prefetching of linked data structures in hybrid prefetching systems. In HPCA-15, 2009.

[7] Stream benchmark. https://www.nersc.gov/users/computational-systems/cori/nersc-8-procurement/trinity-nersc-8-rfp/nersc-8-trinity-benchmarks/stream.

[8] The Polyhedral Benchmark suite. http://web.cse.ohio-state.edu/~pouchet/software/polybench.

[9] Intel Performance Counter Monitor - A better way to measure CPU utilization. http://software.intel.com/en-us/articles/intel-performance-counter-monitor.

[10] Cpusets: Processor and Memory Placement for Linux 2.6 kernel based systems. http://oss.sgi.com/projects/cpusets/.

[11] The freezer subsystem. https://www.kernel.org/doc/Documentation/cgroups/freezer-subsystem.txt.

[12] Kishore Kumar Pusukuri, David Vengerov, Alexandra Fedorova, Vana Kalogeraki. FACT: a framework for adaptive contention-aware thread migrations. In Proceedings of the 8th ACM International Conference on Computing Frontiers, Article No. 35, New York, NY, USA 2011, ACM.

[13] Major Bhadauria and Sally A. McKee. An approach to resource-aware co-scheduling for CMPs. In Proceedings of the 24th ACM International Conference on Supercomputing, ICS '10, pages 188-199, New York, NY, USA, 2010. ACM.

[14] Andreas Merkel, Jan Stoess and Frank Bellosa. Resource-conscious scheduling for energy efficiency on multicore processors. In Proceedings of the 5th European conference on Computer systems, EuroSys '10, pages 153-166, 2010, ACM.

[15] Andreas Merkel, Jan Stoess, and Frank Bellosa. Resource-conscious scheduling for energy efficiency on multicore processors. In Proceedings of the 5th European conference on Computer systems, EuroSys '10, pages 153-1666, New York, NY, USA, 2010. ACM.

[16] Yuejian Xie and Gabriel Loh. Dynamic classification of program memory behaviors in CMPs. In Proceedings of the 2nd Workshop on Chip Multiprocessor Memory Systems and Interconnects, 2008.

[17] Jiang Lin, Qingda Lu, Xiaoning Ding, Zhao Zhang, Xiaodong Zhang, and P. Sadayappan. Gaining insights into multicore cache partitioning: Bridging the gap between simulation and real systems. In International Symposium on High Performance Computer Architecture, pages 367378, 2008.

Δημιουργία Χάρτη Βάθους Σκηνής σε Υπολογιστικά Συστήματα Παράλληλης Επεξεργασίας

Μαγδαληνή Παπαϊωάννου
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Πατρών
papaioannoumel@gmail.com

***Περίληψη*—Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη και υλοποίηση μεθόδων δημιουργίας του χάρτη βάθους μιας σκηνής από δύο φωτογραφίες της, χρησιμοποιώντας τεχνικές παράλληλης επεξεργασίας.**

Αρχικά η διαδικασία αναλύθηκε στους βασικούς της αλγορίθμους (την προεπεξεργασία των φωτογραφιών, την αντιστοίχιση περιοχών που περιέχουν την ίδια σκηνή και τον υπολογισμό της απόστασης των αντικειμένων από το σημείο λήψης) και εξετάστηκε το κατά πόσο και με ποιόν τρόπο θα μπορούσαν αυτοί να παραλληλοποιηθούν. Ακολούθησε η υλοποίηση των μεθόδων χρησιμοποιώντας τις βιβλιοθήκες λογισμικού OpenCL και OpenCV, οι οποίες καθιστούν δυνατή την παραλληλοποίηση ενός αλγορίθμου υπολογιστικής όρασης. Πραγματοποιήθηκε επίσης αξιολόγηση της απόδοσης των αλγορίθμων ως προς την ταχύτητα και την ακρίβεια του παραγόμενου χάρτη βάθους.

Η πειραματική διαδικασία εκτελέστηκε σε υπολογιστικό σύστημα με επεξεργαστή intel i7 1.8GHz και κάρτα γραφικών AMD Radeon HD 8850M.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι με χρήση ισχυρότερων υπολογιστικών συστημάτων μπορούν να υλοποιηθούν αλγόριθμοι εκτίμησης απόστασης με απόκριση πραγματικού χρόνου, γεγονός πολύ ενθαρρυντικό για μεγάλο πλήθος εφαρμογών.

Λέξεις-κλειδιά: διοφθαλμική όραση, υπολογιστική όραση, χάρτης βάθους, OpenCL, OpenCV

I. Εισαγωγη

Η ανακατασκευή τρισδιάστατων μοντέλων από πολλαπλές, διαφορετικής οπτικής γωνίας εικόνες της ίδιας σκηνής αποκτά στις μέρες μας όλο και περισσότερες εφαρμογές: τη χρήση σε γραφικά ταινιών, την αυτόματη πλοήγηση αυτοκινήτων, την ιατρική χειρουργική, τις τηλεπικοινωνίες, κ.α.

Η ανακατασκευή του χώρου που βασίζεται στις λήψεις απλών φωτογραφικών μηχανών είναι η οικονομικότερη μέθοδος και συνεπώς τείνει να επικρατήσει.

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε και παρουσιάζεται η υλοποίηση της παραπάνω μεθόδου, τόσο σε θεωρητικό, όσο και σε πειραματικό επίπεδο.

II. Θεωρητικη αναλυση

Στο παρόν τμήμα της εργασίας γίνεται η θεωρητική ανάλυση της δημιουργίας του οπτικού χάρτη βάθους για τα αντικείμενα που βρίσκονται στο οπτικό πεδίο δύο απλών φωτογραφιών, η οποία απαιτεί την υλοποίηση τεσσάρων διαδοχικών επεξεργασιών: την αντιστοίχιση των χρωματικών διαφορών ανάμεσα στις δύο φωτογραφίες, την αντιστοίχιση των εικονοστοιχείων που περιγράφουν το ίδιο αντικείμενο, την παρεμβολή δεδομένων (όπου αυτή απαιτείται) και τον τελικό υπολογισμό της απόστασης των αντικειμένων από το σημείο λήψης των φωτογραφιών.

Α΄. Στεροσκοπική όραση

Οι εικόνες που προσλαμβάνουν κάθε στιγμή τα μάτια μας δεν είναι ακριβώς ίδιες. Τις διακρίνει μια μικρή διαφορά προοπτικής. Όσο πιο κοντά βρίσκεται ένα αντικείμενο, τόσο περισσότερο φαίνεται να έχει μετακινηθεί. Αυτή η διαφορά δε γίνεται αντιληπτή, γιατί ο εγκέφαλός μας τη μετατρέπει στην αίσθηση του βάθους [1].

Αντίστοιχα, χρησιμοποιώντας δύο λήψεις παράλληλα τοποθετημένων φωτογραφικών μηχανών και απλή Ευκλείδεια γεωμετρία, μπορούμε να υπολογίσουμε πόσο μακριά από τη μηχανή βρίσκεται το κάθε αντικείμενο που εμφανίζεται στις δύο φωτογραφίες, αν γνωρίζουμε τη μεταβολή της θέσης του σ' αυτές, την σχετική θέση των καμερών και το φυσικό μέγεθος του κάθε εικονοστοιχείου. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται τριγωνοποίηση *(triangulation)* [2].

Β΄. Εξοπλισμός

Δύο πανομοιότυπες κάμερες με γνωστά χαρακτηριστικά και συγχρονισμένη λήψη τοποθετούνται παράλληλα, σε γνωστή και σταθερή απόσταση μεταξύ τους, συνήθως ίση με την απόσταση των ματιών του ανθρώπου (6,35cm). Για την απλοποίηση της διαδικασίας λήψης υπάρχουν ειδικές «στέρεο κάμερες» με δύο ξεχωριστούς φακούς οι οποίοι προβάλλουν τις δύο εικόνες στον ίδιο φωτο-ηλεκτρικό μετατροπέα [3].

Γ΄. Χρωματική αντιστοίχιση

Βάσει των [4] [5] [6] η CIB (Constant Image Brightness) θεώρηση, κατά την οποία οι απεικονίσεις των αντικειμένων στις δύο εικόνες της ίδιας σκηνής έχουν πανομοιότυπη απόχρωση, είναι λανθασμένη. Αυτό γιατί οι σύγχρονες κάμερες έχουν μηχανισμούς αυτόματης κανονικοποίησης της φωτεινότητας και της χρωματικής απεικόνισης της εικόνας (brightness normalization και color constancy).

Αυτό μπορεί να μειώσει την αποτελεσματικότητα των αλγορίθμων αντιστοίχισης των σημείων των εικόνων, που είναι συνήθως πολύ ευαίσθητοι σε τέτοιου είδους διαφορές. Γι' αυτό και κρίνεται απαραίτητη η τεχνητή επιβολή της CIB. Η πρακτική ονομάζεται color mapping ή color transfer και έχει ως στόχο να εξομαλύνει τυχόν χρωματικές διαφορές μεταξύ δύο φωτογραφιών μέσω μιας διαδικασίας αντιστοίχισης.

Ο κλασικός αλγόριθμος υπολογισμού της συνάρτησης χρωματικής αντιστοίχισης ονομάζεται histogram matching, και έχει ως στόχο να ελαχιστοποιήσει την διαφορά των συναρτήσεων πυκνότητας πιθανότητας του χρώματος των δύο φωτογραφιών [7]. Ένας αποτελεσματικότερος εκτιμητής της συνάρτησης χρωματικής αντιστοίχισης είναι ο exact histogram matching, ο οποίος εκτελεί την ίδια διαδικασία λαμβάνοντας παράλληλα υπ' όψιν τη χωρική πληροφορία των φωτογραφιών.

Δ΄. Αντιστοίχιση των σημείων των εικόνων

Δεδομένου ενός σημείου στην αριστερή εικόνα δεν είναι απαραίτητο να ψάξουμε ολόκληρη τη δεξιά εικόνα για να βρούμε το αντίστοιχό του. Τα αντίστοιχα σημεία θα βρίσκονται πάνω στη ίδια νοητή ευθεία, η οποία ονομάζεται epipolar ευθεία [8].

Στην περίπτωση που οι φακοί είναι παράλληλοι και στο ίδιο ύψος, η epipolar ευθεία είναι οριζόντια και συνεχίζει από τη μία εικόνα στην άλλη. Στην περίπτωση που κάτι από αυτά δεν ισχύει, θα πρέπει οι εικόνες να μετασχηματιστούν πριν γίνει προσπάθεια αντιστοίχισης των σημείων τους [9] [1]. Οι Loop και Zhang στο [10] προτείνουν μια αποτελεσματική μέθοδο γι αυτό το σκοπό.

1) Αντιστοίχιση όλων των εικονοστοιχείων: Η μέθοδος αυτή αντιστοιχίζει ΟΛΑ τα εικονοστοιχεία της μιας εικόνας στα εικονοστοιχεία της άλλης. Ελέγχει το κόστος αντιστοίχισης του ενός εικονοστοιχείου της πρώτης εικόνας με το κάθε ένα από τα εικονοστοιχεία της δεύτερης εικόνας που βρίσκονται πάνω στην ίδια epipolar ευθεία, και επιλέγει ως αντίστοιχο το εικονοστοιχείο για το οποίο προκύπτει το βέλτιστο κόστος [8].

Ο αλγόριθμος θεωρεί ένα τετράγωνο παράθυρο συγκεκριμένου μεγέθους γύρω απ' το κάθε εικονοστοιχείο, και υπολογίζει το κόστος αντιστοίχισης αξιοποιώντας την πληροφορία που βρίσκεται εντός αυτού του παραθύρου [9]. Υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι ορισμού του κόστους αντιστοίχισης. Οι πιο συνηθισμένοι είναι: Το άθροισμα τετραγωνικών διαφορών φωτεινότητας των εικονοστοιχείων (sum of squared differences-SSD) και η συσχέτιση (correlation) [1].

Αν και τέτοιου είδους αλγόριθμοι είναι γενικά αργοί, δημιουργούν ένα πυκνό πλέγμα αντιστοιχίσεων από το οποίο μπορεί να εξαχθεί άμεσα ο χάρτης βάθους.

2) Αντιστοίχιση χαρακτηριστικών σημείων (feature matching): Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, εντοπίζεται σε κάθε εικόνα πεπερασμένο πλήθος χαρακτηριστικών σημείων (feature extraction). Αν αυτά τα σημεία επιλεγούν προσεκτικά, μπορεί η αντιστοίχισή τους να δώσει ακέραιη την απαιτούμενη πληροφορία για την δημιουργία του χάρτη βάθους, με πολύ μικρότερο υπολογιστικό κόστος [11].

Απαραίτητα κριτήρια για να επιλεγεί ένα σημείο ως χαρακτηριστικό, είναι η εμφάνισή του και στις δύο εικόνες, καθώς και η δυνατότητα στιβαρής ανίχνευσής του από κάποιον αλγόριθμο [13]. Είναι σημαντικό επίσης τα χαρακτηριστικά να οδηγούν σε μονοσήμαντες αντιστοιχίσεις [14]. Τα βασικά είδη χαρακτηριστικών είναι οι ακμές, οι γωνίες, τα ridges, και τα blobs [12].

Οι αλγόριθμοι ανίχνευσης χαρακτηριστικών ονομάζονται detectors. Συνήθως χαρακτηρίζουν δυαδικά κάθε εικονοστοιχείο (ως προς το αν θεωρείται η όχι χαρακτηριστικό), ενώ σε μερικές παραλλαγές τους δίνουν αριθμητικές τιμές βεβαιότητας στα εικονοστοιχεία με σκοπό τη μεγαλύτερη ανοχή στο θόρυβο [15].

Για να επιτύχουμε ικανοποιητικής ακρίβειας αντιστοίχιση μεταξύ των χαρακτηριστικών απαιτείται χωρική πληροφορία. Η χωρική πληροφορία συλλέγεται από τους *descriptors χαρακτηριστικών*, σε τετράγωνα παράθυρα, μέσω ολοκληρωτικών μετασχηματισμών ανθεκτικών στο θόρυβο και σε απλές χωρικές παραμορφώσεις. Οι πιο διαδεδομένοι descriptors είναι ο *MOPS* (Multiscale Oriented Patches) ή ο *SIFT descriptor* (Scale Invariant Feature Transform descriptor) [14]. Η χρήση του SIFT descriptor κρίνεται ως η πιο αποτελεσματική μέθοδος σύμφωνα με τις συγκριτικές έρευνες [16].

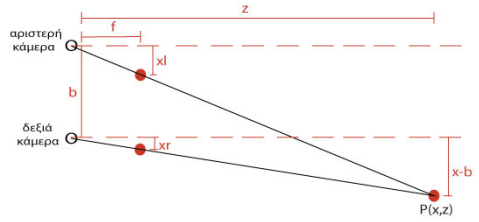
Για την αντιστοίχιση των χαρακτηριστικών, ομοίως με την αντιστοίχιση των εικονοστοιχείων, ορίζεται μια συνάρτηση απόστασης μεταξύ των descriptors των δύο εικόνων, και επιλέγεται ως καταλληλότερη αντιστοιχία εκείνη που ελαχιστοποιεί την απόσταση. Η πιο διαδεδομένη συνάρτηση απόστασης είναι το κόστος SSD [14].

Ε΄. Παρεμβολή δεδομένων (Data interpolation)

Κατά τη μέθοδο αντιστοίχισης χαρακτηριστικών υπολογίζονται οι αντιστοιχίσεις ενός μικρού πλήθους εικονοστοιχείων. Για τη δημιουργία ενός λεπτομερούς χάρτη βάθους απαιτούνται περισσότερες αντιστοιχίσεις, οι οποίες προκύπτουν με την εφαρμογή παρεμβολής δεδομένων, μέσω της οποίας ανακατασκευάζονται νέα σημεία ανάμεσα στα ήδη υπάρχοντα [17]. Οι βασικές κατηγορίες μεθόδων παρεμβολής δεδομένων περιγράφονται στο [18]. Για τη βελτίωση των αποτελεσμάτων των κλασικών μεθόδων έχουν αναπτυχθεί διάφοροι επαναληπτικοί ή στοχαστικοί αλγόριθμοι, όπως οι [19] και [20].

ΣΤ΄. Ανάκτηση του βάθους - Δημιουργία του χάρτη βάθους

Έχοντας αντιστοιχίσει όλα τα σημεία της μίας εικόνας στα σημεία της δεύτερης, γνωρίζουμε πλέον το disparity για κάθε ζευγάρι σημείων, δηλαδή τη διαφορά της θέσης του ίδιου σημείου του χώρου στην κάθε εικόνα: $d = x_{left} - x_{right}$



Σχήμα 1. Τριγωνοποίηση

Με δεδομένο το disparity μπορούμε να βρούμε την απόσταση του σημείου από την κάμερα, μέσω της μεθόδου

της τριγωνοποίησης (triangulation) [2] αν γνωρίζουμε επίσης την εστιακή απόσταση (f) της κάθε κάμερας, καθώς και την απόσταση των δύο καμερών μεταξύ τους (b). Βάσει των ομοίων τριγώνων, όπως φαίνονται στο σχήμα 1, προκύπτει το βάθος:

$$z = \frac{f \cdot b}{x_l - x_r} = \frac{f \cdot b}{d}$$

Ο χάρτης βάθους είναι μία εικόνα δύο διαστάσεων στην οποία απεικονίζεται το βάθος του κάθε εικονοστοιχείου ως τρίτη διάσταση, μέσω χρωματικής κλίμακας. Γνωρίζοντας το βάθος του κάθε σημείου του χώρου, δημιουργούμε το χάρτη βάθους της εικόνας χρωματίζοντας ανάλογα το κάθε εικονοστοιχείο.

III. OpenCL - OpenCV

Η OpenCL (Open Computing Language) είναι ένα framework για τη δημιουργία προγραμμάτων που μπορούν να εκτελεστούν σε ετερογενείς υπολογιστικές πλατφόρμες, οι οποίες αποτελούνται από πολλούς και διαφορετικούς μεταξύ τους επεξεργαστές, όπως CPUs, GPUs, DSPs κ.α. Το σύνολο των επεξεργαστικών μονάδων, οι οποίες ονομάζονται devices, συνδέονται άμεσα με έναν κεντρικό επεξεργαστή που καλείται host.

Το framework περιλαμβάνει ένα API, μια γλώσσα ειδικού σκοπού και έναν OpenCL C compiler. Το (API) δίνει τη δυνατότητα διαχείρισης της συνολικής πλατφόρμας μέσω του host. Έτσι, εντολές που τρέχουν στον host μπορούν να εκτελούν προγράμματα στις devices και να διαχειρίζονται τη μνήμη τους. Τα προγράμματα αυτά καλούνται πυρήνες (kernels) και μπορούν να εκτελούνται παράλληλα, εφόσον το hardware το επιτρέπει. Η γλώσσα ειδικού σκοπού εξυπηρετεί στη συγγραφή των πυρήνων, και βασίζεται στη C99 [22]. Ο OpenCL C compiler μεταγλωττίζει τους πυρήνες κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του προγράμματος (compiled at run-time), ούτως ώστε οι εφαρμογές να είναι φορητές μεταξύ διαφορετικών πλατφορμών. Πρόκειται για ένα ανοικτό πρότυπο, το οποίο αναπτύσσεται και συντηρείται από το μη κερδοσκοπικό τεχνολογικό όμιλο Khronos Group, ο οποίος ιδρύθηκε και λειτουργεί με σκοπό την ανάπτυξη ανοικτού standard APIs για τη δημιουργία ή/και την αναπαραγωγή πολυμέσων μέσω ενός ευρέος φάσματος συσκευών [23]. Υποστηρίζεται από τους περισσότερους μεγάλους κατασκευαστές επεξεργαστών [21].

Η OpenCV (Open Source Computer Vision Library) είναι μία ανοιχτού λογισμικού βιβλιοθήκη η οποία κυκλοφορεί υπό BSD άδεια [26], κάτι που σημαίνει πως είναι ελεύθερη προς προσωπική και εμπορική χρήση [24]. Περιλαμβάνει πληθώρα υλοποιήσεων αλγορίθμων υπολογιστικής όρασης, και έχει σχεδιαστεί με στόχο την υψηλή υπολογιστική αποδοτικότητα. Όντας γραμμένη σε βελτιστοποίημενη C/C++, η βιβλιοθήκη μπορεί να εκμεταλλευτεί την πολυπύρηνη επεξεργασία. Επιπλέον, ενσωματώνοντας κλήσεις του API της OpenCL στις συναρτήσεις της, όπου αυτό είναι δυνατό, επιταχύνει τις διαδικασίες μέσω hardware [25]. Έχει σπονδυλωτή δομή [26]. Διαθέτει διεπαφές για τις γλώσσες C, C++, Python και Java, και υποστηρίζει τα επικρατέστερα λειτουργικά συστήματα για προσωπικούς υπολογιστές και smartphones. Γύρω από την OpenCV έχει αναπτυχθεί μία κοινότητα 47.000 ενεργών χρηστών, ενώ υπολογίζεται πως πάνω από 9.000.000 προγραμματιστές την έχουν χρησιμοποιήσει κάποια στιγμή [25].

IV. Υλοποιηση και αποτελεσματα

Μετά τη μελέτη της θεωρίας, αναπτύχθηκε κώδικας για την εξαγωγή του χάρτη βάθους ενός ζευγαριού φωτογραφιών, με χρήση της C++, του OpenCL framework και της OpenCV. Οι φωτογραφίες εισόδου, διαστάσεων 320x240, φαίνονται στο σχήμα 2.

Σχήμα 2. Αρχικές Φωτογραφίες

Α΄. Color mapping

Αρχικά υλοποιήθηκε ο αλγόριθμος histogram matching, τμήματα του οποίου παραλληλοποιήθηκαν μέσω της OpenCL. Το ζευγάρι εικόνων εισόδου, μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου, φαίνεται στο σχήμα 3. Η διαφορά απόχρωσης έχει μειωθεί σημαντικά. Η εκτέλεση του αλγορίθμου διαρκεί περίπου **0.9 δευτερόλεπτα** διότι τα τμήματα της ταξινόμησης της φωτεινότητας και της ισοστάθμιση ιστογράμματος δεν μπορούν να παραλληλοποιηθούν. Επίσης, η πολλαπλή προσπέλαση της μνήμης επιβραδύνει τους υπολογισμούς.

Σχήμα 3. Οι αρχικές φωτογραφίες μετά το color mapping

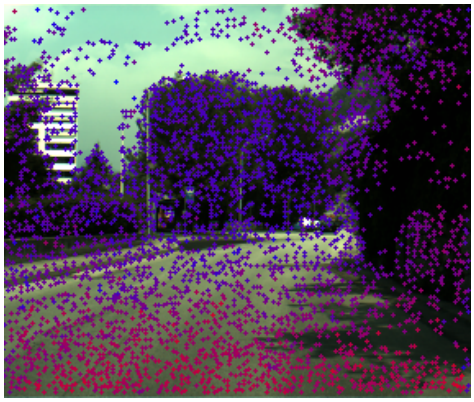
Β΄. Αντιστοίχιση εικονοστοιχείων

Για την αντιστοίχιση των σημείων υλοποιήθηκαν 5 διαφορετικές μέθοδοι, με διαφορετικούς συνδυασμούς συναρτήσεων της OpenCV. Στις τρεις πρώτες μεθόδους οι εικόνες εισόδου μετατράπηκαν σε ασπρόμαυρες, μετά το color mapping.

Μέθοδος 1: Τα χαρακτηριστικά εικονοστοιχεία εντοπίστηκαν μέσω των κλάσεων DynamicAdapted FeatureDetector και AdjusterAdapter, που ανήκουν στο features2d τμήμα της OpenCV. Η εξαγωγή των descriptors έγινε μέσω της κλάσης DescriptorExtractor, επίσης του features2d τμήματος, και η αντιστοίχιση των σημείων μέσω της ocl:: BruteForceMatcher _OCL _base κλάσης του ocl τμήματος.

Η χρονική διάρκεια των υπολογισμών για τα τρία στάδια της διαδικασίας είναι 7,5 δευτερόλεπτα, χρόνος ικανοποιητικός λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι τα δύο από τα τρία (ιδιαίτερα πολύπλοκα) βήματα εκτελούνται σειριακά, και μάλιστα ο εντοπισμός των σημείων επαναλαμβάνεται κάποιες φορές μέχρι να αναδειχθεί ικανοποιητικός αριθμός χαρακτηριστικών σημείων. Το αποτέλεσμα της μεθόδου, αφού υπολογιστούν οι αποστάσεις από την κάμερα, απεικονίζεται στο σχήμα 4 και κρίνεται αρκετά ικανοποιητικό.

(Σημειώνεται πως στην παρούσα μελέτη δε δημιουργήθηκε ο πλήρης χάρτης βάθους των αντικειμένων της σκηνής διότι δεν εφαρμόστηκε κάποια μέθοδος data interpolation.)

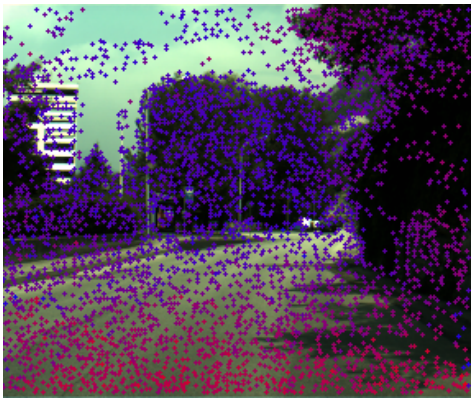


Σχήμα 4. Ενδεικτικό αποτέλεσμα του χάρτη βάθους για τις μεθόδους 1,2,3.

Μέθοδος 2: Ο εντοπισμός και η εξαγωγή descriptors των σημείων γίνεται μέσω των ίδιων κλάσεων με την πρώτη μέθοδο, αλλά για την αντιστοίχιση χρησιμοποιείται η κλάση DescriptorMatcher του features2d τμήματος, οι μέθοδοι της οποίας εκτελούνται σειριακά. Ο χρόνος εκτέλεσης αυξάνεται στα 8.2 δευτερόλεπτα περίπου, αλλά αυτή η διαφορά είναι μικρότερη από την αναμενόμενη. Η αντιστοίχιση των σημείων φαίνεται να έχει την ίδια αποτελεσματικότητα με τη match μέθοδο της ocl:: BruteForceMatcher _OCL _base κλάσης.

Μέθοδος 3: Παρόμοια με την δεύτερη μέθοδο, με τη διαφορά πως αντί της μεθόδου match για την αντιστοίχιση των σημείων, κάνει χρήση της μεθόδου knnMatch της κλάσης DescriptorMatcher, η οποία για κάθε descriptor της μίας φωτογραφίας βρίσκει τους k πιο κοντινούς descriptors της άλλης, για να επιλεγεί στη συνέχεια ο καταλληλότερος με χωροταξικά κριτήρια. Ο χρόνος εκτέλεσης αναμένεται να αυξηθεί, καθώς αυτή τη φορά η κάθε νέα απόσταση θα πρέπει να συγκρίνεται, όχι μόνο με την ως τώρα μικρότερη, αλλά με τις $k-n$ ως τώρα μικρότερες. Πράγματι ο χρόνος εκτέλεσης αυξήθηκε, ως τα 12.5 δευτερόλεπτα. Παρά την αύξηση της πολυπλοκότητας ο χάρτης βάθους δε φαίνεται να βελτιώνεται.

Μέθοδος 4: Όμοια με την μέθοδο 1, με τη διαφορά πως οι φωτογραφίες είναι έγχρωμες. Οπως αναμενόταν ο χρόνος υπολογισμών μειώνεται στα 6.9 δευτερόλεπτα, εφόσον παραλείπεται το βήμα μετατροπής των εικόνων εισόδου από έγχρωμες σε ασπρόμαυρες, και η ακρίβεια των αντιστοιχίσεων αυξάνεται.



Σχήμα 5. Χάρτης βάθους, ως αποτέλεσμα της μεθόδου 4.

Μέθοδος 5: Χρησιμοποιούνται αποκλειστικά παράλληλοι αλγόριθμοι σε έγχρωμες φωτογραφίες. Συγκεκριμένα, η κλάση SURF_OCL του nonfree τμήματος χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό και την εξαγωγή descriptors των σημείων, ενώ η ocl:: BruteForceMatcher _OCL _base κλάση εκτελεί την αντιστοίχιση. Η εκτέλεση διαρκεί λιγότερο από 0.1 δευτερόλεπτο.

Δυστυχώς όμως δεν πρόκειται για κάποια τεράστια επιτυχία του παραλληλισμού δεδομένων. Μέσω της κλάσης SURF_OCL δε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον επαναληπτικό αλγόριθμο Dynamic Adapted Feature Detector. Έτσι γλιτώνουμε τον χρόνο των επαναλήψεων του feature detector, αλλά την ίδια στιγμή αποτυγχάνουμε στο να εντοπίσουμε τον αναγκαίο αριθμό χαρακτηριστικών σημείων ούτως ώστε να επιτύχουμε έναν αξιοπρεπή χάρτη βάθους, κάτι που βέβαια έχει ως αποτέλεσμα και πολύ μικρότερο χρόνο αντιστοίχισης των σημείων. Συνεπώς ο χρόνος μπορεί να μειώνεται δραστικά, αλλά αναλόγως μειώνεται και η ποιότητα του αποτελέσματος. Αυτή η μέθοδος λοιπόν απορρίπτεται ως μη αποτελεσματική.

Σχήμα 6. Μη επιτυχημένος χάρτης βάθους, ως αποτέλεσμα της μεθόδου 5.

V. Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τα παραπάνω, στην παρούσα εργασία επετεύχθη η δημιουργία ενός στοιχειώδους χάρτη βάθους

μίας σκηνής από δύο φωτογραφίες της, μέσω παράλληλης επεξεργασίας. Τα αποτελέσματα ήταν ιδιαίτερα ενθαρρυντικά ως προς την ακρίβεια αλλά και ως προς το χρόνο εκτέλεσης. Με τη χρήση ισχυρότερων υπολογιστικών συστημάτων και την παραλληλοποίηση μεγαλύτερου ποσοστού του αλγορίθμου, κρίνεται δυνατή η χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου σε συστήματα με απαιτήσεις επιδόσεων πραγματικού χρόνου.

Η παρούσα μελέτη εκπονήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής μου εργασίας, στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών του πανεπιστημίου Πατρών, με επιβλέποντα τον κ. Ευάγγελο Δερματά.

Ο κώδικας της εργασίας είναι διαθέσιμος στο github.

Αναφορές

[1] Computer vision course by the University of Washington. Year: 2013. Lecture: Stereo. Instructor: Ali Farhadi

[2] Triangulation (computer vision) article by wikipedia, as on May 2014

[3] Stereo camera article by wikipedia, as on May 2014

[4] I.J. Cox and S. Roy. Dynamic histogram warping of image pairs for constant image brightness. *Proceedings of International Conference on Image Processing.*, 2, 1995.

[5] R.C. Bolles, H.H. Baker, M.J. Hannah. The JISCT stereo evaluation *DARPA Image Understanding Workshop*, 1993

[6] R. Correala, G. Pajaresa, J.J. Ruzb. Automatic expert system for 3D terrain reconstruction based on stereo vision and histogram matching. *Expert Systems with Applicationsp*, 2014

[7] Histogram matching article by wikipedia, as on May 2014

[8] Computer vision course by the University of Washington. Year: 2009. Lecture: Stereo and 3D vision. Instructor: Rajesh Rao

[9] Computer vision course by the University of Washington. Year: 2005. Lecture: Stereo and 3D vision. Instructors: S. Seitz and R. Szelinsky

[10] Charles Loop and Zhengyou Zhang. Computing Rectifying Homographies for Stereo Vision. *Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.*, 1, 125–131, 06 1995.

[11] Feature extraction article by wikipedia, as on May 2014

[12] Feature detection (computer vision) article by wikipedia, as on May 2014

[13] Foundations of Computer Vision. A course by the University of Toronto. Year: 2014. Lecture: Feature Descriptors, Detection and Matching. Instructor: Kyros Kutulakos

[14] Computer vision course by the University of Washington. Year: 2009. Lecture: Features and Image Matching. Instructor: Rajesh Rao

[15] Feature (computer vision) article by wikipedia, as on May 2014

[16] Krystian Mikolajczyk and Cordelia Schmid. A performance evaluation of local descriptors. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 27, (10): 1615–1630, 2005.

[17] Interpolation article by wikipedia, as on May 2014

[18] Richard Franke. Scattered Data Interpolation: Tests of Some Methods. *Mathematics of computation*, 38, 157, 01 1982.

[19] L. De-Maeztu. Efficient aggregation via iterative block-based adapting support-weights. International Conference on 3D Imaging (IC3D), 1–5 2011.

[20] D. Geiger and F. Girosi. Mean field theory for surface reconstruction Proceedings of a workshop on Image understanding workshop, 617–630, 1989.

[21] OpenCL article by wikipedia, as on December 2014

[22] C99 article by wikipedia, as on December 2014

[23] Khronos group article by wikipedia, as on December 2014

[24] BSD licenses article by wikipedia, as on December 2014

[25] http://opencv.org/

[26] OpenCV documentation introduction, as on December 2014

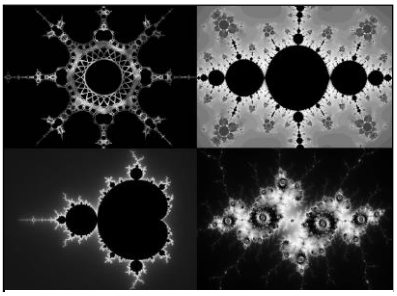
Fractal Animations με MapReduce

Ευαγγελία Παπουτσόγλου, Αριστοτέλης Φαρμάκης, Αυγερινός Αραμπατζής
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Πολυτεχνική Σχολή, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
Ξάνθη 67 100, Ελλάδα
evanpapo1@ee.duth.gr, arisfarm@ee.duth.gr, avi@ee.duth.gr

Abstract: Στην παρούσα εργασία μελετάται το θέμα της κατασκευής ενός fractal animation με χρήση της προγραμματιστικής τεχνικής MapReduce του Hadoop. Αυτή μας επιτρέπει να κατανέμουμε, σε περισσότερα συστήματα, τόσο το υπολογιστικό φορτίο όσο και το κόστος εγγραφής στο δίσκο. Δίνεται, λοιπόν, έμφαση στο θέμα της απόδοσης, ιδίως από πλευράς χρόνου. Εξετάζουμε αν η επιλεγμένη τεχνολογία επιφέρει τις αναμενόμενες επιδόσεις, και καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η μία από τις δύο μεθόδους που προτείνουμε οδηγεί σε δραματική βελτίωση της διαδικασίας. [keywords: mapreduce, fractals, fractal animation, hadoop, distributed filesystem]

I. Εισαγωγη

Μια εικόνα fractal (ελλ. μορφόκλασμα ή μορφοκλασματικό σύνολο) είναι παράγωγο μαθηματικών πράξεων, και παρουσιάζει αυτό-περιεχόμενες δομές σε μια ποικιλία κλιμάκων. Με λιγότερο αυστηρή ορολογία, fractal θα ονομάζαμε ένα γεωμετρικό σχήμα, του οποίου η δομή επαναλαμβάνεται σε ολοένα και μικρότερες ή μεγαλύτερες κλίμακες, δηλαδή μια γεωμετρική δομή που εμφανίζει αυτό-ομοιότητα υπό αλλαγή κλίμακας. Αρκετές είναι μάλιστα οι περιπτώσεις που ένα fractal μπορεί να δημιουργηθεί από ένα πρότυπο, εάν αυτό επαναλαμβάνεται επ' άπειρο μέσω κάποιας επαναληπτικής διαδικασίας [1,2]. Μερικά δημοφιλή δισδιάστατα fractals απεικονίζονται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1: Δισδιάστατα fractals

Στη σύγχρονη εποχή τα fractals έχουν πολλές εφαρμογές σε επιστημονικούς τομείς, όπως ο τομέας ανάλυσης δεδομένων, καθώς και στην τέχνη. Παρ' όλα αυτά, οι παραδοσιακές μέθοδοι είναι συχνά υπερβολικά χρονοβόρες για τον υπολογισμό ενός ικανοποιητικού όγκου αυτών των εικόνων. Συνεπώς, σε αυτήν την εργασία επιλέγουμε το MapReduce [3], ένα μοντέλο κατανεμημένης επεξεργασίας μεγάλου όγκου δεδομένων. Έτσι, επιχειρούμε να διαμοιράσουμε το φόρτο που προκύπτει, να επιταχύνουμε τη διαδικασία παραγωγής πολλών εικόνων fractal, και εν τέλει να επιτύχουμε τη συνένωσή τους σε ένα video.

Το θέμα της κατασκευής fractal έχει προσεγγιστεί κατά καιρούς με διαφορετικούς τρόπους, καθώς προκαλούν έντονο ενδιαφέρον ως ελκυστικές οπτικοποιήσεις μαθηματικών συμπεριφορών. Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στο θέμα της απόδοσης. Ο υπολογισμός των εικονοστοιχείων που συγκροτούν μια εικόνα fractal εμπλέκει στο σύνολό του ένα μεγάλο αριθμό πράξεων, ωστόσο αυτές είναι στην πλειοψηφία τους απλές, και ο χρόνος που τους αφιερώνεται από την υπολογιστική μονάδα μάλλον είναι κατά πολύ ελαττωμένος σε σχέση με αυτόν που απαιτείται για την εγγραφή των νέων πληροφοριών στο μέσο αποθήκευσης.

Στο σενάριο που μελετάται, όπου είναι επιθυμητή η παραγωγή ενός animation με fractal, είναι προφανές ότι η επιβάρυνση στους υπολογιστικούς πόρους πολλαπλασιάζεται. Θα διερευνήσουμε εάν είναι δυνατή η επίτευξη κάποιας επιτάχυνσης στη διαδικασία αυτή. Το MapReduce ενδείκνυται για εφαρμογές η απόδοση των οποίων περιορίζεται από τις ταχύτητες εγγραφής και ανάγνωσης της δευτερεύουσας αποθηκευτικής μνήμης (πχ σκληρός δίσκος) όταν αυτές εκτελούνται σε ένα μόνο σύστημα. Επιδιώκουμε το διαμοιρασμό του φόρτου για την εγγραφή σε περισσότερες μονάδες, και έτσι τη μείωση του καθολικού χρόνου παραγωγής του fractal animation.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί η μεθοδολογία που ακολουθείται για το σκοπό μας. Προτείνονται δύο μέθοδοι με τις οποίες επιδιώκουμε να περιορίσουμε τη χρονική διάρκεια παραγωγής ενός βίντεο-fractal animation. Περιλαμβάνονται ο αλγόριθμος παραγωγής fractal, οι προγραμματιστικές ιδιαιτερότητες και επιπλέον ρυθμίσεις απαραίτητες για την προσαρμογή των αλγορίθμων στο πλαίσιο της MapReduce, και τέλος τα αποτελέσματα του εγχειρήματός μας και τα σχετικά συμπεράσματα.

II. Σχετικες Λυσεις/Μεθοδοι

Αναζητώντας αρχικά το πλαίσιο της εργασίας αυτής, δεν καταφέραμε να βρούμε βιβλιογραφία απόλυτα σχετική με το θέμα. Εάν όμως κοιτάξουμε την προσπάθειά μας από την πλευρά του μηχανικού και σπάσουμε το θέμα μας σε μικρότερα τμήματα, διαπιστώνουμε πως παρόμοιας φιλοσοφίας ερωτήματα έχουν ερευνηθεί.

Ενδεικτικά, ας δούμε το αντικείμενο της παραγωγής εικόνας fractal με παραλληλία. Η δημοσίευση [4], παρόλο που ασχολείται με παράλληλη κατασκευή εικόνων fractal, δεν άπτεται του ίδιου ακριβώς αντικειμένου μελέτης, καθώς ασχολείται γενικότερα με το ζήτημα της αύξησης της ταχύτητας του υπολογισμού σειριακών δεδομένων εφαρμόζοντας παράλληλους αλγορίθμους. Προσπαθεί δηλαδή να εφαρμόσει ό,τι χρειάζεται για να παραχθεί τελικά κάποιος αποδοτικός, παράλληλος αλγόριθμος, ο οποίος θα κατανέμει

ίσα το φορτίο στους επεξεργαστές και θα παράγει στο τέλος ένα σειριακό αποτέλεσμα. Για τη μελέτη αυτή, ως παράδειγμα, χρησιμοποιείται η παραγωγή εικόνας fractal. Έμφαση ωστόσο δίνεται κυρίως στη μέθοδο σχεδιασμού του αλγορίθμου και στην προσπάθεια επίτευξης παραλληλίας, αντίθετα με την παρούσα εργασία που αναλύει το αντικείμενο της παραγωγής ενός animation με fractal, εφαρμόζοντας τις μεθόδους που προτείνονται σε ένα Hadoop cluster υπολογιστών, και όχι τοπικά. Ακολουθεί η σύγκριση και τελικά ο σχολιασμός και τα συμπεράσματα των νέων μεθόδων.

Επιπρόσθετα, αναζητώντας τους τομείς όπου έχει σημειωθεί χρήση μεθόδων παραλληλίας και μάλιστα της πλατφόρμας του Hadoop, φαίνεται ότι ο χώρος της συμπίεσης εικόνων fractals έχει βρει απήχηση, όπως φαίνεται στη δημοσίευση [5]. Μάλιστα η *Μελέτη Άρτιας Απόδοσης Εικόνας Fractal και Επίτευξη Συμπίεσης* φαίνεται να συνδέονται στενά. Ωστόσο δε σχετίζεται άμεσα με την έρευνα της παρούσας εργασίας. Τα παραδείγματα της συμπίεσης ασχολούνται σχεδόν αποκλειστικά με τη φωτορεαλιστική απεικόνιση εικόνων υψηλής ευκρίνειας σε περιορισμένο χρόνο, ενώ στόχος μας είναι η πιο αποδοτική παραγωγή ενός animation με fractal.

III. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας ασχοληθήκαμε μόνο με fractals από το σετ του Mandelbrot. Σε αυτά, το κάθε pixel υπολογίζεται ανεξάρτητα από άλλα, βάσει του αναδρομικού τύπου $z_{n+1} = z_n^2 + c$. Ο μιγαδικός c είναι σταθερός για κάθε pixel, και προκύπτει από τις συντεταγμένες του στην εικόνα. Εξετάζουμε έτσι αν το μέτρο του μιγαδικού z ξεπερνά το 2, μετά από N επαναλήψεις. Με το κριτήριο αυτό αποφασίζουμε αν υπάρχει ή όχι σύγκλιση για το τρέχον pixel.

Το μοντέλο της MapReduce βασίζεται στη διάσπαση μεγάλων όγκων δεδομένων, και παράλληλη επεξεργασία των τμημάτων τους σε ένα κατανεμημένο σύστημα. Χωρίζεται στις φάσεις της Map, όπου γίνεται μια αρχική επεξεργασία της εισόδου, και εκπομπή πληροφορίας κατά ζεύγη key-value. Ακολουθεί η φάση της Reduce, όπου τα ζεύγη με όμοια κλειδιά συγκεντρώνονται στον ίδιο κόμβο για να παράξουν την έξοδο. Προαιρετικά, ένας Combiner μπορεί να εκτελεστεί μετά από την Map και στον ίδιο κόμβο, για να συντήξει τα δεδομένα και να μειώσει τον όγκο προς μεταφορά στη Reduce.

Προτείνουμε δύο εναλλακτικές μεθόδους στην παραδοσιακή σειριακή: Η πρώτη περιλαμβάνει τις φάσεις της Map και της Reduce, ενώ η δεύτερη προσθέτει έναν Combiner και παραλείπει τη φάση της Reduce.

Ως πιο φυσικός τρόπος για την αρχική κατανομή φόρτου, όσον αφορά την παραγωγή του υλικού, θεωρήθηκε η διαίρεση με τα frames ως βασική μονάδα: σε κάθε Mapper ανατίθεται η κατασκευή ενός συνόλου από αυτά. Πίσω από την επιλογή αυτή κρύβεται η προσδοκία πως ένα fractal animation θα αποτελείται από έναν υψηλό αριθμό frames, οπότε η χρήση υποδιαιρέσεών τους σε επίπεδο εικονοστοιχείων δεν θα μπορούσε να συνεισφέρει περαιτέρω. Σε ένα τέτοιο σενάριο θα έπρεπε να συνυπολογιστεί ο φόρτος ανασυγκρότησης της κάθε εικόνας, αφού οι σχετικές Map ολοκληρωθούν, αλλά και η επιβάρυνση στο δίκτυο καθώς τα υποσύνολα μιας εικόνας θα συμπιέζονταν λιγότερο αποδοτικά από ότι ένα frame ολόκληρο.

Με στόχο την αποφυγή των πρώιμων εγγραφών σε αρχεία, τα παραγόμενα frames μεταβιβάζονται από τη φάση της Map στη φάση της Reduce μόνο ως μια ακολουθία χαρακτήρων. Για την ευκολότερη διασφάλιση της ακεραιότητας της πληροφορίας σε επίπεδο byte, τη διακίνηση πληροφορίας υποστηρίζει η κωδικοποίηση Base64, η οποία μπορεί επίσης να προσφέρει περαιτέρω μείωση του όγκου δεδομένων που διακινείται στο δίκτυο. Εκτός αυτού, καθίσταται ευκολότερη η προσθήκη και άλλων στοιχείων στο αλφαριθμητικό string που εκπέμπεται από το Mapper, και στη συνέχεια η απομόνωση του κάθε μέρους, αφού μπορούμε να τα διαχωρίσουμε βάσει χαρακτήρων που δεν ανήκουν στο σύνολο τιμών της κωδικοποίησης Base64.

Ένα τέτοιο στοιχείο είναι το ID του κάθε frame, που προσδιορίζει μοναδικά τη χρονική θέση του σε σχέση με τα άλλα frames στο τελικό animation. Πρόκειται για έναν αύξοντα αριθμό N ψηφίων, όπου το N προσδιορίζεται από το αρχείο εισόδου που θα παρέχεται ως είσοδος στη διαδικασία. Και οι δυο υλοποιήσεις δέχονται ένα αρχείο κειμένου, κάθε γραμμή του οποίου παρέχει όλη την πληροφορία για την κατασκευή του κάθε frame. Με τη σειρά εμφάνισής τους, οι παράμετροι είναι:

- το ID του frame με τη μορφή frameXXXXX
- οι διαστάσεις της εικόνας (width, height)
- παράγοντας μεγέθυνσης
- μέγιστος αριθμός επαναλήψεων για τον αναδρομικό τύπο
- οριζόντια και κάθετη μετατόπιση της εικόνας

Για παράδειγμα, μια έγκυρη σειρά θα ήταν:

frame00001:800,600,200,570,400,300

Έτσι, μετατοπίζοντας και μεγεθύνοντας με μικρά βήματα μπορούμε να «περιηγηθούμε» κατά βούληση σε ένα fractal, παράγοντας ένα animation.

Την κατασκευή των frames ακολουθεί, μετά τη Map, η διαδικασία Reduce. Εφόσον τα αρχεία εξόδου θα είναι ισάριθμα με τους Reducers που θα εκτελεστούν και επίσης δεν επιθυμούμε να λάβουμε ως έξοδο το τελικό animation τμηματικά διαχωρισμένο σε διαφορετικά αρχεία, ορίζουμε πως θα τρέξει μόνο ένας Reducer. Ορίζουμε ακόμα παντού το ίδιο κλειδί, ώστε όλα τα frames να υποστούν επεξεργασία κατά την ίδια διαδικασία. Θα μπορούσε να παραληφθεί επομένως ο ρητός προσδιορισμός του αριθμού των Reducers, αφού σε κάθε περίπτωση, τα key-value pairs με κοινό κλειδί κατευθύνονται μόνο προς έναν. Η εκλογή του κλειδιού με την παραπάνω φιλοσοφία είναι που καθιστά επιτακτική την ανάγκη ενσωμάτωσης πληροφορίας όπως αυτή του frame ID στην πλευρά του value.

Στη φάση της Reduce, τώρα, γίνεται η ταξινόμηση των frames με τη βοήθεια του ID τους, ο διαχωρισμός και η αποκωδικοποίηση των δεδομένων εικόνας. Ακολουθεί η ένταξή τους σε ένα βίντεο. Με κύρια έννοια τη διατήρηση όλης της παραχθείσας πληροφορίας, το animation υποβάλλεται σε συμπίεση χωρίς απώλειες. Επιλέχθηκε η συμπίεση σε μορφή H.264 για λόγους συμβατότητας, ευχρηστίας, και εύκολης παραμετροποίησης της κωδικοποίησης. Τελικά, το

βίντεο μεταφέρεται στο κατανεμημένο σύστημα, όπου είναι εύκολα προσβάσιμο από όλους τους κόμβους του cluster.

Η δεύτερη εκδοχή της διαδικασίας, η οποία περιλαμβάνει και το στάδιο του Combiner, αποτελεί προσπάθεια μείωσης, τόσο της επιβάρυνσης μεταφοράς δεδομένων μέσω του δικτύου, όσο και του μη κατανεμημένου υπολογιστικού φόρτου. Ο φόρτος αυτός διαφορετικά περιορίζεται αποκλειστικά στη μονάδα που αναλαμβάνει τον ένα Reducer στην αντίστοιχη φάση. Τα προϊόντα του κάθε Mapper απορροφώνται από έναν Combiner, που συγκεντρώνει τα frames σε ένα σύντομο βίντεο, που θα αποτελέσει ένα κομμάτι, μόνο, του τελικού. Η κλάση που αναλαμβάνει αυτή τη διεργασία λειτουργεί όμοια με το Reducer της πρώτης εκδοχής. Αυτό συντελεί και στη βελτίωση από άποψης χρόνου, αφού δεν είναι απαραίτητη η λήξη όλων των διαδικασιών Mapper προτού αρχίσει οποιαδήποτε διαδικασία συμπίεσης σε βίντεο.

Οι παραπάνω προσεγγίσεις επιχειρούν, αμφότερες, να βελτιώσουν την απόδοση των διεργασιών, μειώνοντας τους χρόνους εγγραφής και ανάγνωσης στο δίσκο. Ξεκινήσαμε εξάλλου με την υπόθεση ότι ο χρόνος παραγωγής και επεξεργασίας των πληροφοριών που επιθυμούμε είναι σημαντικά λιγότερος από το χρόνο πρόσβασης στο δίσκο.

Συνοψίζοντας, στις μεθόδους μας κερδίσαμε υπολογιστικό χρόνο μειώνοντας την ανταλλαγή δεδομένων με τα πιο αργά αποθηκευτικά μέσα. Στην πρώτη περίπτωση, οι Mapper κατασκευάζουν τα frames, που στο σύνολό τους κατευθύνονται και συνενώνονται στο Reducer. Στη δεύτερη το ρόλο του Reducer αναλαμβάνουν οι combiners, καθένας από τους οποίους κατασκευάζει ένα μικρό βίντεο (μέρος του τελικού).

IV. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ

Συμβολισμοί:

Θεωρούμε ότι έχουμε σχετική ομοιογένεια στο κάθε μέγεθος, και οι τιμές δεν διαφέρουν δραματικά. Ο υπολογισμός του κόστους γίνεται παντού σε μονάδες χρόνου.

- **X** ο αριθμός των frames προς παραγωγή
- **Y** το μέσο μέγεθος ενός frame
- **P** ο χρόνος υπολογισμού του ενός frame
- **C** το μέσο κόστος ενσωμάτωσης ενός frame στο video
- **W** η ταχύτητα εγγραφής στο τοπικό σύστημα
- **Bw** η χωρητικότητα του δικτύου του cluster
- **N** ο αριθμός των κόμβων στο cluster
- **cf** ο μέσος παράγοντας συμπίεσης (compression factor): εδώ λαμβάνεται ως ο σχετικά σταθερός λόγος του μεγέθους του συνόλου των frames, προς το μέγεθος του τελικού (συμπιεσμένου) βίντεο, χάριν απλότητας.

Σύγκριση μεθόδων

A. Μέθοδος 0: χωρίς καμία παραλληλία, τοπικά

Θεωρείται πως έχουμε μια διαδικασία παραγωγής ενός fractal animation σε έναν υπολογιστή desktop. Ένας κόμβος παράγει όλα τα frames και τα ενώνει σε ένα βίντεο.

Παραγωγή όλων των frames: $P \cdot X$
όπου X ο συνολικός αριθμός των frames που παράγονται, και P το μέσο υπολογιστικό κόστος για το κάθε frame. Εδώ, ελλείψει οποιασδήποτε παραλληλίας, τα frames όλα υπολογίζονται σειριακά, το ένα μετά το άλλο, στην ίδια επεξεργαστική μονάδα.

Σύνθεση όλων των frames σε ένα βίντεο: $X \cdot C$,
όπου τα frames αριθμού X ενώνονται σε ένα βίντεο με υπολογιστικό κόστος C για την επεξεργασία-ενσωμάτωση στο βίντεο ανά frame. Το αποτέλεσμα είναι ένα βίντεο μεγέθους $X \cdot Y / \mathrm{cf}$.
Αποθήκευση του βίντεο στο τοπικό σύστημα: $(X \cdot Y) / (\mathrm{cf} \cdot W)$,
όπου δεδομένα όγκου $X \cdot Y / \mathrm{cf}$ περνούν στο αποθηκευτικό μέσο με ταχύτητα εγγραφής W.

Δηλαδή:

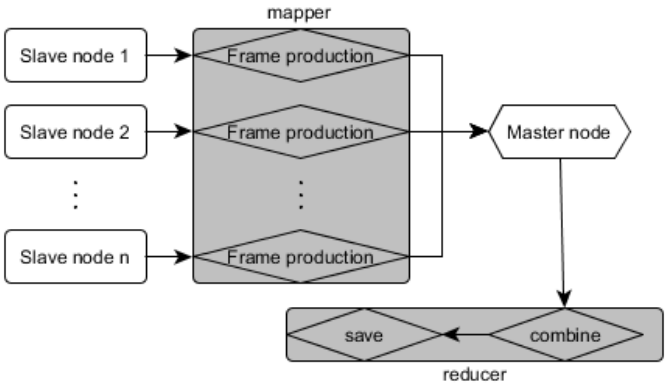
$$\text{Κόστος } 0 = P \cdot X + X \cdot C + \frac{X \cdot Y}{\mathrm{cf} \cdot W} = X \cdot \left(P + C + \frac{Y}{\mathrm{cf} \cdot W} \right)$$

B. Μέθοδος 1

Η παραπάνω MapReduce τρέχει τώρα σε ένα cluster των N κόμβων: Το κάθε node παράγει έναν αριθμό frames, καθένα από τα οποία μεταφέρεται ως ένα key-value pair στο reducer. Εκεί ενώνονται στο τελικό βίντεο. Αυτό απεικονίζεται στο **Διάγραμμα 1**.

Παραγωγή frames σε ένα node: $X \cdot P / N$
αφού για X frames και N nodes, το μερίδιο του κάθε node θα είναι X/N.
Ακολουθεί η εγγραφή των παραχθέντων ζευγών key-value (δηλαδή των δεδομένων των frames) στο τοπικό σύστημα: $(X \cdot Y) / (N \cdot W)$,
και η μεταφορά των δεδομένων των frames στο reducer: $X \cdot Y / \mathrm{Bw}$, αφού όλα τα δεδομένα των frame πρέπει να μεταφερθούν μέσω του δικτύου από τους mapper στον reducer. Τα δεδομένα θα είναι όγκου $X \cdot Y$, για X frames, Y μέσο όγκο δεδομένων ανά frame, και Bw εύρος καναλιού.

Σύνθεση όλων των frames σε ένα βίντεο: $X \cdot C$.
Αποθήκευση του βίντεο στο τοπικό σύστημα: $(X \cdot Y) / (\mathrm{cf} \cdot W)$
όπου δεδομένα όγκου $X \cdot Y / \mathrm{cf}$ περνούν στο αποθηκευτικό μέσο με ταχύτητα εγγραφής W. Το cf πρόκειται για τον παράγοντα συμπίεσης.



Διάγραμμα 1: διαγραμματική περιγραφή της μεθόδου 1

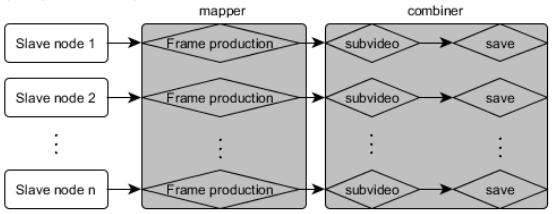
Δηλαδή Κόστος 1 =

$$\frac{P \cdot X}{N} + \frac{X \cdot Y}{N \cdot W} + \frac{X \cdot Y}{\mathrm{Bw}} + X \cdot C + \frac{X \cdot Y}{\mathrm{cf} \cdot W} = X \cdot \left(\frac{P}{N} + \frac{Y}{N \cdot W} + \frac{Y}{\mathrm{Bw}} + C + \frac{Y}{\mathrm{cf} \cdot W} \right)$$

C. Μέθοδος 2

Τώρα εξετάζεται η περίπτωση μιας MapReduce με combiners: Το κάθε node παράγει ένα σύνολο frame στον mapper, και ο combiner τα ενώνει σε ένα βίντεο που θα αποτελέσει μέρος του τελικού. Όλα τα υποβίντεο περνούν στο reducer, όπου συγχωνεύονται σε ένα ολοκληρωμένο βίντεο. Αυτό φαίνεται στο **Διάγραμμα 2**.

Παραγωγή frames σε ένα node: $X \cdot P / N$.
Σύνθεση των frames κάθε node σε ένα υπο-βίντεο: $X \cdot C / N$.
Τα υπο-βίντεο θα έχουν συνολικό όγκο $(X \cdot Y) / (N \cdot \mathrm{cf})$.
Το καθένα εγγράφεται στο τοπικό σύστημα: $(X \cdot Y) / (N \cdot \mathrm{cf} \cdot W)$.



Διάγραμμα 2: διαγραμματική περιγραφή της μεθόδου 2

<u>Σύγκριση κόστους ανά frame:</u>

Κόστος 0 ανά frame = $P + C + \frac{Y}{\mathrm{cf} \cdot W}$

Κόστος 1 ανά frame = $\frac{P}{N} + \frac{Y}{N \cdot W} + \frac{Y}{\mathrm{Bw}} + C + \frac{Y}{\mathrm{cf} \cdot W}$

Κόστος 2 ανά frame = $\frac{1}{N} \cdot \left(P + C + \frac{Y}{\mathrm{cf} \cdot W} \right)$

Γίνεται αντικατάσταση στους παραπάνω τύπους με τα παρακάτω (συντηρητικά) μεγέθη:
X = 1000 frames, Y = 100KB, P = 0.5ms, C = 0.02ms,
W = 100 MB/s, Bw = 1Gb/s, N = 100, cf = 2.

Κόστος 0 ανά frame = $1.02ms$
Κόστος 1 ανά frame = $1.365ms$
Κόστος 2 ανά frame = $0.0102ms$

Τα κόστη 0 και 1 έχουν κοινούς τους δύο τελευταίους τους όρους, άρα τους παραλείπουμε. Επομένως θα παρατηρούσαμε βελτίωση όταν:

$$P > \frac{P}{N} + \frac{Y}{N \cdot W} + \frac{Y}{\mathrm{Bw}}.$$

Θεωρώντας τους όρους που περιλαμβάνουν το N στον παρονομαστή αμελητέους, φαίνεται ότι δεν έχουμε επιτύχει ακόμα βελτίωση. Η ταχύτητα μεταφοράς ενός frame στο δίκτυο θα είναι πάντα κατά τάξεις πιο αργή από το χρόνο που χρειάζεται ο επεξεργαστής για να παράγει ένα frame.

Ακριβώς σε αντίθετο αποτέλεσμα καταλήγουμε όμως συγκρίνοντας τα κόστη 0 και 2. Είναι ξεκάθαρο ότι

$$\text{Κόστος } 2 = \frac{\text{Κόστος } 0}{\mathrm{N}},$$

πράγμα που σημαίνει ότι σίγουρα έχουμε επιτύχει βελτίωση, και μάλιστα *γραμμική* προς τον αριθμό των κόμβων στο cluster.

Η μέθοδος 2 ελαχιστοποιεί το φόρτο στο σύστημα, και κατανέμει το υπολογιστικό φορτίο. Θεωρείται πως πρόκειται για μια κατά πολύ βελτιωμένη έκδοση της πρώτης μεθόδου, καθώς διατηρεί το πλεονέκτημα του διαμοιρασμού των υπολογισμών που απαιτούνται για την παραγωγή των frames, και το επαυξάνει κατανέμοντας επίσης τη συμπίεσή τους σε βίντεο.

V. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Κατόπιν έρευνας και πειραματισμού, φαίνεται πως είναι εφικτή μια αναμφισβήτητα αποδοτική επιτάχυνση της διαδικασίας παραγωγής ενός animation με fractals, με τη χρήση μεθόδων της φιλοσοφίας της MapReduce. Η συγκριτική ανάλυση των δύο μεθόδων και ο σχολιασμός των συμπερασμάτων που απορρέουν, βοηθούν στην ενίσχυση αυτού του συμπεράσματος. Είναι φανερό πως η παραγωγή fractals (με εξαιρέσεις) είναι πράγματι μια απόλυτα και εύκολα παραλληλοποιήσιμη διαδικασία.

Η πειραματική εφαρμογή των τελικών μεθόδων που αναπτύξαμε πραγματοποιείται σε ένα Hadoop cluster υπολογιστών, επιτυγχάνοντας έτσι πραγματική παραλληλία. Αντιμετωπίζει ταυτόχρονα ένα πρόβλημα που –αν και αρχικά φαίνεται αρκετά εξειδικευμένο– απαιτεί τις τελευταίες εξελίξεις σε εφαρμογές που αναζητούν ολοένα και αποδοτικότερες υλοποιήσεις. Είναι εξάλλου ένα πραγματικά απτό και οπτικά συναρπαστικό παράδειγμα χρήσης μιας ανερχόμενης λογικής για τη βελτιστοποίηση προγενέστερων υλοποιήσεων.

Είναι βέβαια φανερό πως και τα ίδια τα fractals έχουν πολυποίκιλες εφαρμογές Άρα μια μέθοδος—υπολογισμού εικονοστοιχείων fractals και τελικά παραγωγής τους με τρόπο αποδοτικότερο από άλλες, σίγουρα μπορεί να βρει εφαρμογές σε τομείς όπως, ενδεικτικά, αυτός της ιατρικής απεικόνισης.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[1] Briggs J. και Peat F.D., Ο ταραγμένος καθρέφτης, Αθήνα, Εκδόσεις Κάτοπτρο, 1996.
[2] Feder J., Fractals, New York, Plenum Press, 1988.
[3] Rajaraman A. και Ullman JD, Mining of Massive Datasets, Cambridge University Press, 2011
[4] Book M., Parallel Fractal Image Generation: A Study of Generating Sequential Data With Parallel Algorithms, The University of Montana, Missoula, 2001
[5] Li Wei, Fractal Image Compression Implemented on Hadoop Platform, Automation, Xi'an University of Posts and Telecommunications, 2014 (αγγλική μετάφραση)

MVDR Beamformer: Speech Quality Assessment in Presence of Background Noise

Maria Platypodi, post-graduate student, Computer Engineering & Informatics Department

***Abstract*—This paper aims to reveal the potentials and the limitations in the performance of broadband beamforming techniques in real-world scenarios. Different real-world acoustic scenarios are simulated according to ETSI EG 202 396-3 standard. In the simulations, the reverberant model is assumed and real audio signals are captured by a linear microphone array. The coefficients of the spatial filter are estimated via the minimum variance distortionless response (MVDR) criterion. Moreover, acoustic impulse responses measurements are presented and applied for the construction of the steering vector. The speech quality in presence of background noise is measured by the 3-QUEST (3-fold Quality Evaluation of Speech in Telecommunications) model. This model is based on ETSI EG 202 396-3 and provides high correlation to the quality perceived subjectively.**

***Index Terms*— Diffuse noise, impulse response measurements, minimum variance distortionless response (MVDR), multi-microphone speech enhancement, speech quality measurements.**

I. Introduction

IN many practical environments desired speech is degraded by non-stationary (e.g. competing speakers) and stationary interfering signals. In order to improve the listening comfort and keep the high quality audio speech enhancements are required. Multi-channel microphone arrays [1] are superior to single–channel systems since they incorporate both spatial and temporal information of the sound field.

Multi-channel microphone arrays are formulated in a way that the spatial information is well captured. This spatial diversity is represented by the acoustic impulse responses from a radiating source to the sensors. These acoustic channels, are modeled as finite impulse response (FIR) filters. Thus, defining properly the coefficients of this spatial filter we can amplify and attenuate signals from specific directions. The algorithms that define the filter coefficients are well-known as beamforming techniques. In terms of speech signals, efficient broadband beamforming techniques [2] must be used.

In this paper, the broadband beamforming structure is presented and the filter coefficients are computed using the minimum variance distortionless response (MVDR) criterion.

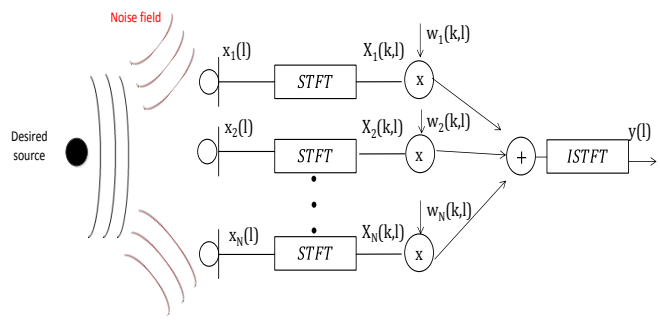


Fig. 1. Frequency domain broadband beamforming structure.

Moreover, the reverberant model is assumed and different real-world acoustic scenarios are simulated according to ETSI EG 202 396-3 standard. Finally, the 3-QUEST (3-fold Quality Evaluation of Speech in Telecommunications) model is used to provide high correlation to the quality perceived subjectively.

This paper is organized as follows: Section II describes the broadband beamforming structure. In section III the minimum variance distortionless response (MVDR) criterion is used for the computation of the filter's coefficients. In section IV the reverberant model is presented. In section V the N acoustic impulse responses are measured. The experimental setup and results are shown in section VI and conclusions are drown in section VII.

II. Problem Formulation

We consider the N-microphone system as shown in Fig.1. The microphones receive the desired speech contaminated by noise and interfering signals. The implementation of the broadband beamforming techniques in the frequency domain is adopted due to reduced computational complexity. A short-time fast Fourier transform (STFT) is used for that purpose.

The received signals in the microphone array are expressed as

$$x_n = g_n * s + v_n, \quad n = 1, \dots, N$$

where s is the desired speech signal, g_n is the acoustic impulse response of the nth microphone and v_n is the interference-plus-noise signal. The above equation can be rewritten in the frequency domain as

$$X_n(k,l) = G_n(k)S(k,l) + V_n(k,l)$$

09/02/15. This work was supported by Signal Processing & Communications Lab of the Computer Engineering & Informatics Department, University of Patras. The room acoustics and the equipment were provided by the company Dialog Semiconductor Hellas A.E.

Maria Platypodi is with the Computer Engineering & Informatics Department, University of Patras, Greece, (e-mail: platypodi@ceid.upatras.gr).

where k is the frequency bin index and l is the frame index of a short-time segment of input data, $G_n(k)$ denotes the acoustic impulse response of the nth microphone, $S(k,l)$ and $V_n(k,l)$ denotes the transformed desired speech signal and the interference-plus-noise signal, respectively.

The beamformer output, in matrix notation, is given as

$$Y(k,l) = \boldsymbol{w}^H(k,l)\boldsymbol{x}(k,l)$$

where

$$\boldsymbol{w}(k,l) = [W_1(k,l), W_2(k,l), \dots, W_N(k,l)]$$
$$\boldsymbol{x}(k,l) = [X_1(k,l), X_2(k,l), \dots, X_N(k,l)]$$

are the spatial filter coefficients and the array output respectively, and $(\cdot)^H$ denotes the Hermitian transpose. The computation of the coefficients using the_minimum variance distortionless response (MVDR) criterion is presented in the next section.

III. Minimum Variance Distortionless Response Filter

To find the optimum coefficients, the minimum variance distortionless response (MVDR) filter [1] is formulated such that to minimize the total output signal power at each frequency bin, while assuming unity signal response with zero phase shift for the desired signal. Mathematical this constrained optimization problem can be expressed as

$$\min_{\boldsymbol{w}} \boldsymbol{w}^H \boldsymbol{R}_{xx} \boldsymbol{w} \ \ subject\ to\ \boldsymbol{w}^H \boldsymbol{g} = 1,$$

where $\boldsymbol{R}_{xx}$ is the correlation matrix of the array output signal. The indexes k and l are omitted for the sake of conciseness. The closed-form solution is given as

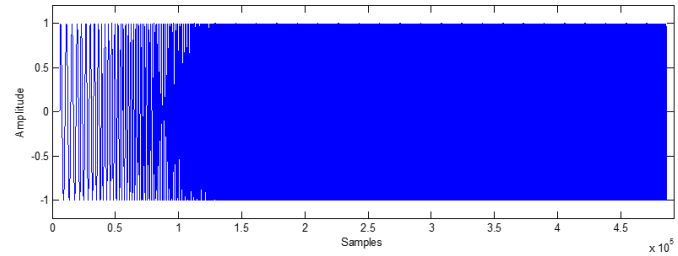
$$\boldsymbol{w} = \frac{\boldsymbol{R}_{xx}{}^{-1}\boldsymbol{g}}{\boldsymbol{g}^H \boldsymbol{R}_{xx}{}^{-1}\boldsymbol{g}}$$

IV. Room Acoustic Environment

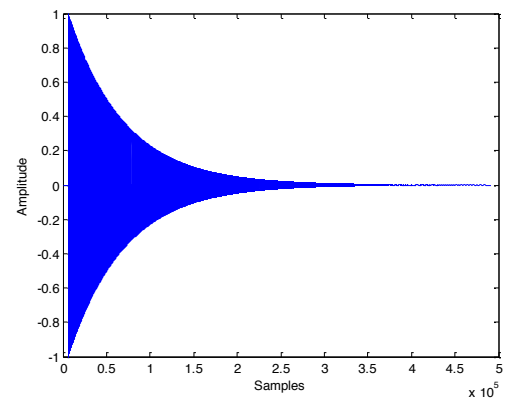
Depending on the construction of the room acoustic environment, different mathematical model must be used. In our experiment the reverberant model was used [1]. The reverberant model assumes that each sensor receives a large number of echoes due to reflections of the wavefront from objects and room boundaries. In this model, the received signal are expressed as

$$x_n = g_n * s + g_n * u_n$$

where s is the desired signal, g_n is the acoustic impulse response of the nth microphone and u_n is the noise signal to the nth microphone. The diffuse noise is produced from the convolution of the noise signal with the acoustic impulse response of the diffused point (position of the desired source). For the time alignment of the received signals in the microphone array, accurate estimation of the N acoustic impulse responses is needed.



(a)



(b)

Fig. 2. Time representation of (a) the excitation signal and (b) the inverse filter.

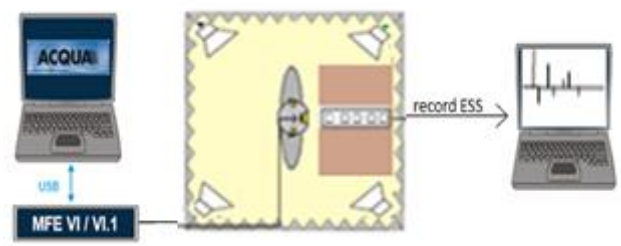


Fig. 3. Experimental setup for extraction of the acoustic impulse responses.

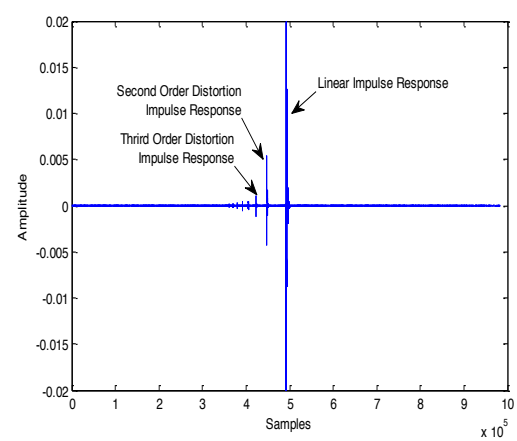


Fig. 4. The acoustic impulse response of the nth microphone using the ESS method.

V. Acoustic Impulse Response Measurements

Assuming fixed locations for the source and the microphone array, the acoustic channels can be modeled as a LTI system, which is totally characterized by an impulse response. The

impulse response can be recovered by knowing the test signal and the measured system output.

Different types of test signals have been developed [3], providing good immunity to background noise and easy deconvolution of the impulse response. However, according to [4] in very quiet rooms (SNR>80dB), an Exponential Sine Sweep (ESS) is proved to be the more appropriate test signal. In the next subsections the ESS method and the measurement process are presented.

A. ESS Method

The ESS method [5] uses an ESS signal for the excitation of the acoustic channel and non-circular deconvolution for the desired impulse response extraction from the response that was recorded.

The ESS signal is generated as

$$x(t) = \sin\left[K\left(e^{-\frac{t}{L}} - 1\right)\right]$$

where

$$K = \frac{T\omega_1}{\ln\frac{\omega_1}{\omega_2}} \quad and \quad L = \frac{T}{\ln\frac{\omega_1}{\omega_2}}$$

ω_1 and ω_2 are the initial and final radian frequency of the sweep duration T.

In order to perform acoustical measurements on all the audible range, the ESS signal should be span from 20 Hz up to 20 kHz. Since the transients must be excluded of this range, the initial and the final frequency of the excitation signal are defined at 10Hz and 22 kHz respectively. Fig. 2a shows the time representation of the initial ESS.

The inverse filter is obtained from the time-reversal of the initial ESS signal divided by the square of the magnitude spectrum of the initial ESS. The time representation of the inverse filter corresponding to the ESS signal (Fig.2a) is given on Fig.2b.

The desired impulse response is produced by the convolution of the record ESS signal with the inverse filter. The result of the convolution is a signal characterized by a perfectly linear phase (pure delay).

B. Experimental Setup & Results

The experimental setup for the extraction of the N acoustic impulse responses is presented in Fig.3. The initial ESS signal is reproduced by the artificial mouth and is record by the microphone array. Then, in MATLAB, is performed the convolution of the record ESS with the inverse filter. The result of the convolution is presented in Fig.4. It is apparent that the deconvolution of the ESS signal separates the 'linear impulse response' from the harmonic distortion. In the construction of the steering vector only the 'linear impulse response' is used.

VI. Experimental Results

The simulations took place in a low-reverberant room (RT_{60}=90ms). The construction of the acoustic room is represented in Fig.3. It consists of four loudspeakers placed at the corners of the audio room. The loudspeakers are driven from individual equalizers followed by amplifiers. The room equalization is made to create a diffuse noise field at the center of the room, which is the position of the desired source.

TABLE I
Measurement Settings

Reverberation time (RT_{60})	90 ms
Microphone spacing	[1.5 3.5 3.5 1.5] cm
Array length	10 cm
Speech signal	fr_3quest_p501
Noise signal	Nature1_Forrest_Noise_binaural, Shopping_Center_binaural, Mensa_63dB, Train_Station_binaural, Kindergarten_Noise1_binaural
Source position	Endfire
Angles	Desired source at 0^0

TABLE II
Experimental Results

	S1 Forrest	S2 Shopping Center	S3 Mensa	S4 Train	S5 Kinder-garten
SMOS	4.7	3.6	3.7	2.9	2.3
NMOS	5	2.6	1.7	1.3	1.2
GMOS	3.8	2.8	2.6	1.8	1.4
SNR_{un}	11.95dB	13.48dB	5.9dB	-4.19dB	0.22dB
SNR_p	17.8dB	15.47dB	8.05dB	0.71dB	5.02dB
DSNR	55.86dB	1.99dB	2.15dB	4.9dB	4.8dB

The desired speech is driven from the loudspeaker placed at the mouth of the artificial head. A 5-channel linear acoustic array is used to capture the audio signal. Its characteristic is summarized to Table I. The acoustic impulse responses were accurately measured with the ESS method [5].

The performance of the MVDR beamformer was examined under different real-world acoustic scenarios. An audio database comprising speech and noise recordings were used according to ETSI EG 202 396-3 [6].

In our experiment, the speech quality in presence of background noise is measured by the 3-QUEST (3-fold Quality Evaluation of Speech in Telecommunications) model [14]. This model is based on ETSI EG 202 396-3 [6] and provide high correlation to the quality perceived subjectively. The 3-QUEST model determines three MOS scores for the speech, the noise and the overall quality: SMOS, NMOS and GMOS respectively. The MOS scores range from 1 (poor quality) to 5 (good quality).

Table II summarizes the 3-QUEST values for the different background noise simulations. It is apparent how the nature of the acoustical environment affects the performance of the broadband beamforming techniques. In low non-stationary

environments, S1, the MVDR beamformer increase the SNR up to 6dB, while it ensures high speech quality(SMOS=4.7). On the other hand, in highly non-stationary environments the SNR improvement is more limited, depending on the high/low SNR, and is occurs in expense of speech quality.

VII. Conclusion

In this paper the MVDR beamformer was presented and its performance in presence of background noise was examined. For that purpose, real audio signals were used and microphone array impulse responses were measured. The simulations took place in a semi-anechoic room, where different real-world acoustic scenarios were simulated according to ETSI EG 202 396-3 [6]. The real audio signals were captured by a 5-channel linear acoustic array and then were processed in the MATLAB environment.

Simulations prove that the performance of the MVDR beamformer is limited due to the diffuse noise field. In a relatively quiet environment (S1), the SNR improvement goes up to 6dB while high audio quality is achieved (SMOS=4.7). In high non-stationary environments (S2-S5), the SNR improvement is 2dB and 5dB for high and low SNR respectively. In these scenarios the audio quality is degraded, as it is indicated from the SMOS scores. Less speech distortion and higher noise reduction can be achieved with advanced post-filers [8-10].

Acknowledgment

This work was supported by Signal Processing & Communications Laboratory of the Computer Engineering & Informatics Department, University of Patras. The room acoustics and the equipment were provided by the company Dialog Semiconductor Hellas A.E.

References

[1] J. Benesty, J. Chen, Y. Huang, “Microphone Array Signal Processing,” *Springer*, Berlin, 2008.

[2] S. Weiss and I.K. Proudler, “Comparing efficient broadband beamforming architectures and their performance trade-offs”, International Conference on Digital Signal Processing, Santorini, Greece, July 2002, vo. 1, pp.417-423.

[3] G.Stan,J. Embrechts, and D. Archambeau, "Comparison of different impulse response measurement techniques," Journal of the AudioEngineering Society, vol. 50,no.4,2002.

[4] Farina, A., “Advancements in impulse response measurements by sine sweeps”, Presented at the122ed AES Convention, Vienna, Austria, May 2007.

[5] A. Farina, “Simultaneous measurements of impulse response and distortion with a swept-sine technique”, 108th AES Convention, Paris, France, February 2000.

[6] ETSI EG 202 396-3, Speech and multimedia Transmission Quality (STQ): Speech Quality performance in the presence of background noise

[7] HEAD acoustics Application Note, 3QUEST: 3-fold Evaluation of Speech in Telecommunications

[8] Y. Ephraim, and D.Malah, “Speech enhancement using a minimum mean-square error short-time spectral amplitude estimator,” IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. 32, pp. 1109–1121, Dec. 1984.

[9] P. J. Wolfe, and S. J. Godsill, “Efficient alternatives to the Ephraim and Malah suppression rule for audio signal enhancement,” *EURASIP Journal on Appl. Sig. Processing*, vol. 10, pp. 1043–1051, 2003.

[10] T. Lotter, and P. Vary, “Noise Reduction by Joint Maximum a Posteriori Spectral Amplitude and Phase Estimation with Super-Gaussian Speech Modelling,” in *Proc. EUSIPCO 2004*, Vienna, Austria, Sept. 4-8, 2004, pp. 1447–1460.

Σύστημα επιτήρησης και ελέγχου ηλεκτροκίνητου οχήματος με χρήση ηλεκτρονικού διαφορικού

Νικόλαος Θ. Μήλας

***Abstract*— Λόγω της υποβάθμισης του περιβάλλοντος, που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια, διάφορες φιλικές προς το περιβάλλον τεχνολογίες βρίσκονται στο επίκεντρο του επιστημονικού ενδιαφέροντος. Ως εκ τούτου πραγματοποιούνται, εκτεταμένες προσπάθειες για νέα αποτελέσματα έρευνας στο πεδίο των ηλεκτρικών οχημάτων. Όμως, παρά το γεγονός ότι τα ηλεκτρικά οχήματα δεν προκαλούν άμεσα βλαβερές συνέπειες στο περιβάλλον, χρησιμοποιούν κατά κόρον συμβατικά συστήματα μετάδοσης με χαμηλό βαθμό απόδοσης και παθητική συμπεριφορά. Στην εργασία αυτή προτείνεται ένα σύστημα επιτήρησης και ελέγχου της συμπεριφοράς ενός ηλεκτροκίνητου οχήματος χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικό διαφορικό. Έχει σχεδιαστεί μία μικροϋπολογιστική διάταξη προκειμένου να συλλέγονται και να μεταδίδονται τα δεδομένα που απαιτούνται για αξιόπιστο έλεγχο του οχήματος. Η στιβαρή μετάδοση δεδομένων μέσα στο σύστημα επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός διαύλου CAN που χαρακτηρίζει την παρούσα αρχιτεκτονική. Για την υλοποίηση του ηλεκτρονικού διαφορικού έχει δημιουργηθεί ένας αλγόριθμος που μιμείται τη λειτουργία του ελεύθερου μηχανικού διαφορικού, παρέχοντας την ίδια ποσότητα ροπής στους δύο κινητήριους τροχούς. Με βάση τον αλγόριθμο αυτό, δίνεται η δυνατότητα συγγραφής πολυπλοκότερων αλγορίθμων με σκοπό την ενεργητική συμπεριφορά του οχήματος σε ακραίες συνθήκες. Το προταθέν σύστημα έχει τοποθετηθεί σε ένα όχημα τύπου Buggy προκειμένου να αξιολογηθεί η αξιοπιστία του, συγκρίνοντας τις επιδόσεις του με τα θεωρητικά αποτελέσματα που προκύπτουν από τη γεωμετρία Ackermann.**

***Index Terms*— Ηλεκτρονικό διαφορικό, γεωμετρία Ackermann, CAN bus, ηλεκτρικό όχημα.**

I. Εισαγωγη

Η υποβάθμιση του περιβάλλοντος που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια έχει προκαλέσει την ανάγκη για μη συμβατικούς τρόπους μετακίνησης [1]. Τα ηλεκτροκίνητα οχήματα, που εμφανίστηκαν στο προσκήνιο το 1828 [2], αποτελούν ένα υποσχόμενο πεδίο έρευνας για εξοικονόμηση ενέργειας στις καθημερινές μετακινήσεις. Όμως, στα διαθέσιμα εμπορικά ηλεκτρικά οχήματα συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται συμβατικά συστήματα μετάδοσης με μηχανικό κιβώτιο ταχυτήτων και διαφορικό [3]. Τα συστήματα αυτά, παρουσιάζουν χαμηλό βαθμό απόδοσης και έχουν υψηλό βάρος, γεγονός που επιβαρύνει το κόστος και την πολυπλοκότητα του οχήματος. Επιπρόσθετα, τα συμβατικά συστήματα μετάδοσης λειτουργούν παθητικά και δεν είναι εύκολα εφικτό να προσαρμοστεί η λειτουργία τους σε επικίνδυνες συνθήκες.

Διάφορα συστήματα επιτήρησης και ελέγχου έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία [4][5]. Ένα σύστημα επιτήρησης χρησιμοποιώντας δίαυλο Controller Area Network (CAN) υλοποιήθηκε στην [6]. Επιπλέον, άλλες διατάξεις ηλεκτροκίνητων οχημάτων που χρησιμοποιούν CAN είναι οι [7][8]. Σχετικά καινούριο πεδίο έρευνας αποτελούν τα ηλεκτρονικά διαφορικά. Ένα σύστημα με ηλεκτρονικό διαφορικό, χρησιμοποιώντας άμεσο έλεγχο ροπής και την τεχνική ελέγχου ολίσθησης προτάθηκε από [9]. Μια έκδοση που βασίζεται στη λειτουργία του ελεύθερου μηχανικού διαφορικού πραγματοποιήθηκε από [10]. Οι πιο πολλές εργασίες σε ηλεκτρονικά διαφορικά βασίζονται στη γεωμετρία Ackermann [11][12]. Η χρήση διαύλου CAN για μετάδοση σημάτων από το ηλεκτρονικό διαφορικό έχει εφαρμοστεί στην [13].

Παρατηρείται ότι οι περισσότερες εργασίες επάνω στο θέμα των ηλεκτρονικών διαφορικών δεν προτείνουν ένα ολοκληρωμένο σύστημα που να συνδυάζει την επιτήρηση της συνολικής κατάστασης του οχήματος και την καταγραφή των σχετικών με την κίνηση δεδομένων.

Στην εργασία αυτή σχεδιάζεται και κατασκευάζεται μια ολοκληρωμένη μικροϋπολογιστική διάταξη με ηλεκτρονικό διαφορικό για τον έλεγχο ενός ηλεκτροκίνητου οχήματος πόλης (Εικόνα 1), στο οποίο χρησιμοποιούνται για την κίνησή του δύο ηλεκτρικοί κινητήρες μόνιμου μαγνήτη, ένας για κάθε οπίσθιο τροχό. Το προταθέν ηλεκτρονικό διαφορικό μιμείται τη λειτουργία του ελεύθερου μηχανικού διαφορικού. Επιπλέον, η μετάδοση των δεδομένων εσωτερικά της διάταξης επιτυγχάνεται με τη χρήση διαύλου CAN.

Εικόνα 1. Το ηλεκτροκίνητο όχημα στο οποίο εγκαταστάθηκε η διάταξη.

Ο Ν. Θ. Μήλας, είναι διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και τεχνολογίας Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 26504. Επιτέλεσε τη διπλωματική του εργασία στο εργαστήριο Ηλεκτρομηχανικής Μετατροπής Ενέργειας. (e-mail: nickmilas12@hotmail.com)

II. Αναλυση λειτουργιας ηλεκτρονικου διαφορικου

Στα συμβατικά αυτοκίνητα είναι απαραίτητη η ύπαρξη του μηχανικού διαφορικού το οποίο ανήκει στο σύστημα μετάδοσης και επιτελεί δύο σημαντικές λειτουργίες. Η πρώτη είναι η μετάδοση της ισχύος από τον κινητήρα στους κινητήριους τροχούς. Η δεύτερη, και σημαντικότερη, λειτουργία του είναι ότι επιτρέπει στους κινητήριους τροχούς να κινούνται με διαφορετική ταχύτητα, πράγμα απαραίτητο όταν το όχημα πρέπει να αλλάζει κατεύθυνση (στροφές).

A. Γεωμετρία Ackermann

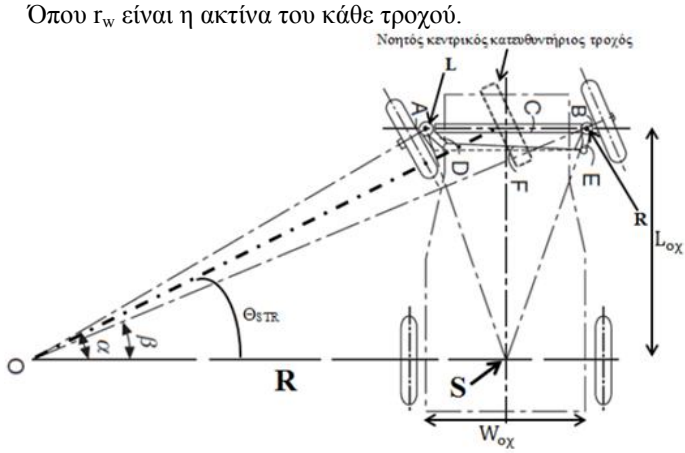
Κατά τη στροφή ενός αυτοκινήτου, ακολουθείται η γεωμετρία Ackermann [14]. Η γεωμετρία Ackermann, που αναφέρεται και ως "True Ackermann" ή "Pure Ackermann", έρχεται να δώσει λύση στο πρόβλημα των διαφορετικών ταχυτήτων που χρειάζονται να έχουν οι τροχοί ενός οχήματος κατά τη διάρκεια της στροφής, με σκοπό να αποφευχθεί η ολίσθηση των τροχών. Η λύση του προβλήματος έγκειται στο γεγονός ότι οι άξονες όλων των τροχών πρέπει να βρίσκονται νοητά στις ακτίνες κύκλων, οι οποίοι έχουν κοινό κέντρο σε προκαθορισμένο σημείο του επιπέδου (Εικόνα 2). Για τη σωστή κίνηση του οχήματος, απαιτείται διαφορετική γωνία στροφής των εμπρόσθιων τροχών για δεδομένη γωνία στροφής του οχήματος, που ταυτίζεται με τη γωνία στροφής ενός νοητού κεντρικού κατευθυντήριου τροχού. Η μελέτη γίνεται ως προς το σημείο S που θεωρείται ότι βρίσκεται στο μέσο του οπίσθιου άξονα. Το σημείο αυτό εκτελεί ομαλή κυκλική κίνηση ακτίνας R γύρω από το σημείο O.

Έστω $L_{o\chi}$ το μήκος και $W_{o\chi}$ το πλάτος του οχήματος, θ η γωνία στροφής και $v_{o\pi,\varepsilon\xi}$, $v_{o\pi,\varepsilon\sigma}$ οι γραμμικές ταχύτητες του οπίσθιου εξωτερικού και εσωτερικού τροχού αντίστοιχα. Επίσης, θέτονται ως $\omega_{o\pi,\varepsilon\xi}$, $\omega_{o\pi,\varepsilon\sigma}$ οι γωνιακές ταχύτητες του οπίσθιου εξωτερικού και εσωτερικού τροχού αντίστοιχα.

$$\omega_{o\pi,\varepsilon\sigma} = \frac{v_{o\pi,\varepsilon\sigma}}{r_W} = \omega_{ref} \cdot \left(1 - \frac{W}{2L_{o\chi}} tan\theta\right) \quad (a)$$

$$\omega_{o\pi,\varepsilon\xi} = \frac{v_{o\pi,\varepsilon\xi}}{r_W} = \omega_{ref} \cdot \left(1 + \frac{W}{2L_{o\chi}} tan\theta\right) \quad (b)$$

Όπου r_w είναι η ακτίνα του κάθε τροχού.



Εικόνα 2. Περιγραφή της γεωμετρίας Ackermann.

Για να περιστρέφεται το όχημα με μια ορισμένη γωνιακή ταχύτητα γύρω από το κέντρο της στροφής, πρέπει τα σημεία που βρίσκονται προς το εξωτερικό μέρος να έχουν μεγαλύτερη γραμμική ταχύτητα από αυτά που βρίσκονται προς το εσωτερικό, συνεπώς οι εξωτερικοί τροχοί πρέπει να κινούνται πιο γρήγορα από ότι οι εσωτερικοί. Η γεωμετρία Ackermann ικανοποιείται σε συνθήκες χαμηλής ταχύτητας, όπου απουσιάζει η ανάπτυξη πλευρικών δυνάμεων στους τροχούς. Οι τροχοί σε αυτές τις συνθήκες περιστρέφονται χωρίς ολίσθηση και τα ελαστικά θεωρείται ότι δεν παραμορφώνονται. Σε υψηλές ταχύτητες, η επίδραση των πλευρικών δυνάμεων είναι έντονη, με αποτέλεσμα την εφαρμογή άλλων γεωμετριών για την ασφαλή κίνηση του οχήματος [15].

B. Η μεθοδολογία του ηλεκτρονικού διαφορικού

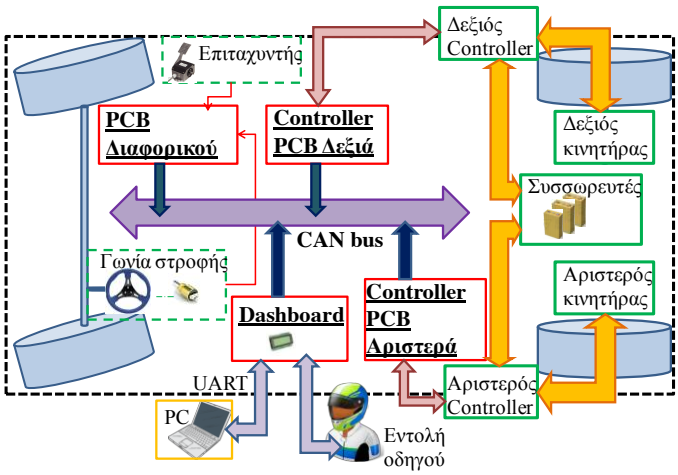
Η μεθοδολογία του ηλεκτρονικού διαφορικού που εφαρμόζεται στην παρούσα εργασία μιμείται τη λειτουργία του ελεύθερου μηχανικού διαφορικού, που είναι η πλέον διαδεδομένη διάταξη. Η ροπή που παρέχεται, είναι όμοια για κάθε χρονική στιγμή και για τους δύο κινητήριους τροχούς [14]. Η μικροϋπολογιστική διάταξη αναλαμβάνει να μεταδώσει τις κατάλληλες αναφορές ροπής προς του ελεγκτές (Controller) των κινητήρων και να συλλέξει δεδομένα σχετικά με την κίνηση, μέσω κατάλληλων αισθητήρων που είναι τοποθετημένοι στο όχημα. Ένας κωδικοποιητής θέσης είναι τοποθετημένος στο τιμόνι και αισθητήρες τύπου Hall είναι ενσωματωμένοι στους κινητήρες. Με τον τρόπο αυτό, αξιολογείται η συμπεριφορά του κινητήριου συστήματος και οι υπολογίζονται οι αποκλίσεις των ταχυτήτων από το γεωμετρικό μοντέλο Ackermann. Κατά την εκπόνηση της εργασίας αυτής διερευνήθηκαν και οι δυνατότητες των Controller σχετικά με τον έλεγχο ταχύτητας, που παρέχουν ως εργοστασιακή λειτουργία, και κρίθηκαν ανεπαρκείς. Για το λόγο αυτό το σύστημα περιορίστηκε στη λειτουργία ως ελεύθερο διαφορικό. Επιπλέον αισθητήρες όπως ρεύματος και θερμοκρασίας παρέχουν πρόσθετες πληροφορίες.

III. Κατασκευη πρωτοτυπου

A. Δομή συστήματος

Η διάταξη που υλοποιήθηκε στην παρούσα εργασία έχει εγκατασταθεί σε ένα όχημα τύπου Buggy που κατασκευάστηκε στο Εργαστήριο Ηλεκτρομηχανικής Μετατροπής Ενέργειας του Πανεπιστημίου Πατρών [2].

Συγκεκριμένα, η μικροϋπολογιστική διάταξη αποτελείται από τέσσερις πλακέτες τυπωμένου κυκλώματος και αναλαμβάνει να συλλέξει, με τη χρήση ηλεκτρονικών αισθητήρων, μετρήσεις σχετικές με την κίνηση του οχήματος. Η διάταξη αποτελείται από την πλακέτα του ηλεκτρονικού διαφορικού, την πλακέτα αλληλεπίδρασης με τον οδηγό και τις πλακέτες λήψης και αποστολής εντολών προς τους ελεγκτές (Controller) του κινητήρα του αριστερού και του δεξιού τροχού αντίστοιχα (Εικόνα 3). Στόχος είναι η εξαγωγή των απαραίτητων αναφορών ροπής από το ηλεκτρονικό διαφορικό, που πρέπει να λάβουν οι κινητήρες για να κινηθεί το όχημα με ασφάλεια σε συνθήκες ευθείας και στροφής. Ιδιαίτερα, η υλοποίηση του ηλεκτρονικού διαφορικού επαληθεύεται με τη γεωμετρία Ackermann στην οποία βασίζονται και τα συμβατικά οχήματα. Επιπλέον της εξαγωγής των αναφορών ροπής για τους δύο κινητήρες, η διάταξη μετρά τη γωνία στροφής και τις ταχύτητες των κινητήριων τροχών. Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα συλλογής των δεδομένων από ηλεκτρονικό υπολογιστή, μέσω σειριακής επικοινωνίας UART.



Εικόνα 3. Η αρχιτεκτονική της διάταξης.

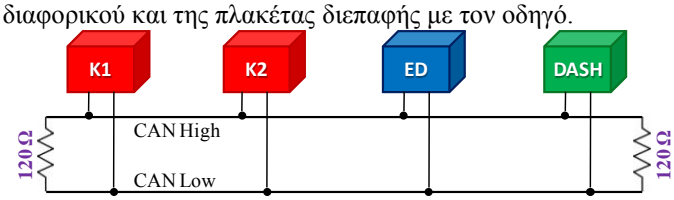
Τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού κινητήριου συστήματος παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

ΠΙΝΑΚΑΣ I
ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Ισχύς κινητήρων	2x5kW
Μέγιστη ροπή κινητήρων	38Nm (0,13Nm/1A)
Τάση λειτουργίας κινητήρων	24V-48V
Μέγιστο ρεύμα κινητήρων	300A
Χωρητικότητα συσσωρευτών	6,912kWh
Τάση συσσωρευτών	76.8V
Ρεύμα συσσωρευτών	45A
Μέγιστο ρεύμα συσσωρευτών	<270A
Σχέση μετάδοσης	1/3,5
Βάρος	~370kg

B. Περιγραφή του διαύλου CAN bus

Η μετάδοση των δεδομένων εσωτερικά της μικροϋπολογιστικής διάταξης πραγματοποιείται με τη χρήση του προτύπου CAN [16]. Το CAN είναι ένα πρότυπο διαύλου σειριακής επικοινωνίας που προτάθηκε το 1986 από την εταιρία Robert Bosch GmbH και υποστηρίζει αποδοτικό έλεγχο πραγματικού χρόνου με υψηλό επίπεδο αξιοπιστίας [17]. Λόγω της απλότητας και στιβαρότητάς του χρησιμοποιείται σε πληθώρα εφαρμογών, με κύρια τα ηλεκτρονικά συστήματα αυτοκινήτων. Επιπλέον, το CAN παρέχει παρέχει μεγάλη ευελιξία κατά τη σύνδεση νέων κόμβων και ταχύτητες μετάδοσης έως 1Mbps. Για τους παραπάνω λόγους, η χρήση του έχει υιοθετηθεί στην παρούσα εργασία. Κάθε ένας από τους μικροελεγκτές της διάταξης αποτελεί ένα κόμβο στο δίαυλο (Εικόνα 4). Ως K1 και K2 συμβολίζονται οι κόμβοι διεπαφής των δύο Controller. Ενώ ως ED και DASH συμβολίζονται οι κόμβοι του ηλεκτρονικού διαφορικού και της πλακέτας διεπαφής με τον οδηγό.



Εικόνα 4. Η αρχιτεκτονική του διαύλου CAN.

Τα πακέτα δεδομένων που μεταδίδονται στο δίαυλο, οι χαρακτηριστικοί τους αριθμοί και οι κόμβοι αποστολείς παρουσιάζονται στον Πίνακα 2 . Τα πακέτα που ακολουθούνται από τον χαρακτηρισμό "ERROR" αποτελούν πακέτα ελέγχου/ σφάλματος. Το πακέτο "SPEEDREF" περιλαμβάνει τις αναφορές ροπής προς τους δύο κινητήρες, τα υπόλοιπα πακέτα περιλαμβάνουν τα μετρούμενα μεγέθη που επεξεργάζεται ο μικροελεγκτής κάθε κόμβου. Η ταχύτητα μετάδοσης του έχει τεθεί στα 500kbps. Προκειμένου να μην υπερφορτίζεται ο δίαυλος, ο κόμβος ED αποστέλλει δεδομένα κάθε φορά που δέχεται νέο πακέτο μέτρησης από τον K1 ή τον K2. Η περίοδος αποστολής μηνύματος του ED έχει μετρηθεί 23ms ενώ η περίοδος αποστολής μηνύματος από το DASH έχει προκαθοριστεί στα 100ms.

ΠΙΝΑΚΑΣ II
ΤΑ ΠΑΚΕΤΑ ΠΟΥ ΜΕΤΑΔΙΔΟΝΤΑΙ ΣΤΟ ΔΙΑΥΛΟ

ΠΑΚΕΤΟ	IDENTIFIERS HEXADECIMAL				ΑΠΟΣΤΟΛΕΑΣ &ΜΕΓΕΘΟΣ
EDERROR	0	0	4	1	ED (2Bytes)
K1ERROR	0	0	4	4	K1 (2Bytes)
K2ERROR	0	0	4	5	K2 (2Bytes)
DASHERROR	0	0	4	6	DASH (2Bytes)
SPEEDREF	0	0	4	9	ED (8Bytes)
EDMEAS1	0	0	4	8	ED (8Bytes)
MEAS1	0	0	4	F	K1 (8Bytes)
MEAS2	0	0	4	E	K2 (8Bytes)

IV. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν προκειμένου να αξιολογηθούν οι επιδόσεις του οχήματος σε διάφορες τροχιές και η γεωμετρική ανάλυση κατά Ackermann. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις των ταχυτήτων των οπίσθιων τροχών και η γωνία στροφής των εμπρόσθιων τροχών. Παρουσιάζοντας τις ταχύτητες των τροχών και τη γωνία στροφής, μελετάται η συμπεριφορά του οχήματος όταν αυτό επιτελεί διαφορετικά είδη κινήσεων. Επιπλέον, αξιολογείται η εφαρμογή της γεωμετρίας Ackermann στην κίνηση με χαμηλές ταχύτητες.

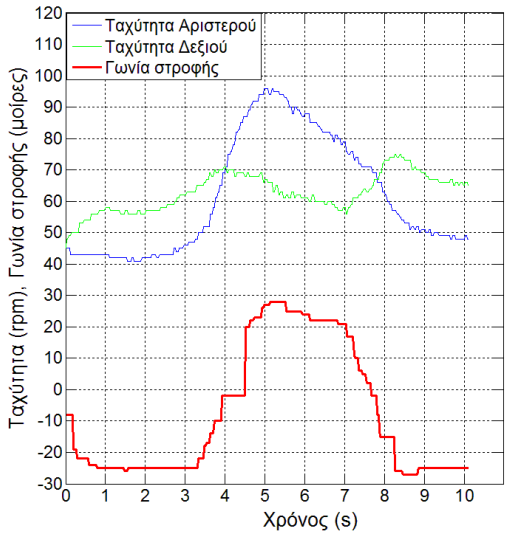
A. Περιγραφή πειραματικών μετρήσεων

Κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων, πραγματοποιήθηκαν κινήσεις του οχήματος σε διαφορετικές τροχιές με έναν ή δύο επιβάτες. Ενδεικτικά παρουσιάζεται ένα διάγραμμα για κίνηση 'σλάλομ' με έναν επιβάτη (Εικόνα 5).

B. Περιγραφή μεθόδου αξιολόγησης και αποτελέσματα

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν μέσω σειριακής μετάδοσης κατά την κίνηση του οχήματος, εισήχθησαν σε πρόγραμμα MATLAB για να συγκριθούν με υπολογισμούς που βασίζονται στη γεωμετρία Ackermann και να εξαχθούν γραφικές παραστάσεις. Με δεδομένη την πραγματική γωνιακή ταχύτητα του αριστερού κινητήριου τροχού, υπολογίστηκε η θεωρητική ταχύτητα του δεξιού τροχού σύμφωνα με τη

γεωμετρία Ackermann. Τελικά, πραγματοποιήθηκε σύγκριση της θεωρητικής και πραγματικής γωνιακής ταχύτητας του δεξιού τροχού και υπολογίστηκε η απόκλιση τους (Πίνακας 3).



Εικόνα 5. Γραφική παράσταση ταχυτήτων και γωνίας στροφής.

ΠΙΝΑΚΑΣ III
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

Είδος τροχιάς	**Μέγιστη Απόκλιση %**	
	1 Επιβάτης	**2 Επιβάτες**
Ευθεία	3,8	1,8
Δεξιόστροφη	10,1	4,2
Αριστερόστροφη	2,6	3

V. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ

Στην εργασία αυτή, παρουσιάστηκε ένα σύστημα επιτήρησης και ελέγχου ηλεκτροκίνητου οχήματος με χρήση ηλεκτρονικού διαφορικού. Το σύστημα αυτό μιμείται τη λειτουργία του ελεύθερου μηχανικού διαφορικού. Από τις μετρήσεις κατά τη διάρκεια της κίνησης, αξιολογήθηκε η θεωρητική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη γεωμετρία Ackermann.

Εξομοιώνοντας τη λειτουργία του ελεύθερου διαφορικού, εφαρμόζοντας την ίδια ροπή και στους δύο τροχούς, μπορούμε να αξιολογήσουμε θετικά τη θεωρητική ανάλυση συγκρίνοντας τις πραγματικές ταχύτητες με αυτές που προκύπτουν θεωρητικά. Οι αποκλίσεις κατά τις αριστερές στροφές που υπολογίστηκαν μέχρι και 3% και οι αποκλίσεις κατά τις δεξιές στροφές που υπολογίστηκαν μέχρι και 4,2% (για 2 επιβάτες) υποδεικνύουν σύγκλιση της θεωρητικής ανάλυσης με τα πειραματικά αποτελέσματα. Επίσης παρατηρήθηκε ότι η κατανομή βάρους σε ένα μικρό και ελαφρύ όχημα έχει ορατή επίδραση στη συμπεριφορά κατά την οδήγηση.

Ως προέκταση της εργασίας αυτής, προτείνεται η εφαρμογή ελέγχου με χρήση εξωτερικού κλειστού βρόχου ταχύτητας μέσα από τη μικροϋπολογιστική διάταξη. Με την εφαρμογή τέτοιου ελέγχου, θα επιτυγχάνεται η τήρηση της γεωμετρίας Ackermann σε όλες τις συνθήκες. Επιπλέον, η υλοποίηση αλγορίθμων που θα αντιλαμβάνονται την πιθανότητα απώλειας ελέγχου του οχήματος και θα κάνουν το σύστημα να λειτουργεί ενεργητικά, είναι στους άμεσους στόχους, ώστε να προβλεφθούν επικίνδυνες καταστάσεις για τους επιβάτες και για να γίνει η οδήγηση πιο άνετη μεταθέτοντας ελέγχους και έγνοιες από τον οδηγό στο σύστημα ελέγχου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια των διπλωματικών εργασιών του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών Πάτρας στο Εργαστήριο Ηλεκτρομηχανικής Μετατροπής Ενέργειας. Θερμές ευχαριστίες αποδίδονται στον επιβλέποντα Καθηγητή Δρ.-Μηχ. Εμμανουήλ Τατάκη το συνεπιβλέποντα Επίκουρο Καθηγητή Δρ.-Μηχ. Επαμεινώνδα Μητρονίκα, καθώς και στον Υ.Δ. κ. Γεώργιο Χρηστίδη για τις πολύτιμες συμβουλές τους.

REFERENCES

[1] Ν. Θ. Μήλας, “Βελτιστοποίηση λειτουργίας ηλεκτρονικού διαφορικού για μικρό ηλεκτροκίνητο όχημα”, Διπλωματική εργασία 380, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, 2014.

[2] Δ. Γ. Βιδιαδάκης και Ν. Β. Τσιάρα, "Μελέτη και κατασκευή οχήματος πόλης με διαφορικό ηλεκτροκινητήριο σύστημα", Διπλωματική εργασία 348, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, 2012.

[3] Wikipedia. (2014), List of modern production plug-in electric vehicles. [Online].Available:http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_modern_production_plug-in_electric_vehicles.

[4] R. Merzouki, M.A. Djeziri, B. Ould-Bouamama, "Intelligent monitoring of electric vehicle," on Advanced Intelligent Mechatronics, 2009. AIM 2009. IEEE/ASME International Conf., Singapore, 2009, pp. 797-804.

[5] H. Liu, J. Wu, L. Chu, "Design of remote monitoring and fault diagnosis system for electric vehicle," on Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology (EMEIT), 2011 International Conf., Harbin, 2011, pp. 1079-1082.

[6] R. Li, C. Liu, F. Luo, "A design for automotive CAN bus monitoring system," in Vehicle Power and Propulsion Conf., Harbin, 2008, pp. 1-5.

[7] S. Qiang, W. Zaizhou, S. Jianjun," Design of test system for electric vehicle driving motor based on CAN bus," in Vehicle Power and Propulsion Conf., Harbin, 2008, pp. 1-4.

[8] L. Ran, W. Juenfeng, W. Haiying, L. Gechen, "Design method of CAN BUS network communication structure for electric vehicle," on Strategic Technology (IFOST), 2010 International Forum, Ulsan, 2010, pp. 326-329.

[9] S. Gair κ.ά., "Electronic differential with sliding mode controller for a direct wheel drive electric vehicle," in Mechatronics ICM, 2004, pp. 98-103.

[10] G. Magallan κ.ά., "A neighborhood electric vehicle with electronic differential traction control," in Industrial Electronics Conf., Orlando, FL, 2008, pp. 2757-2763.

[11] B. Tabbache κ.ά., "An Adaptive Electric Differential for Electric Vehicles Motion Stabilization," in Vehicular Technology on IEEE Transactions, vol. 60, no. 1, pp. 104-110, 2011.

[12] A. Drau, "Electronic differential speed control for two in-wheels motors drive vehicle," in Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG) on Fourth International Conf., Istanbul, 2013, pp. 764-769.

[13] L. Zhai and D. Shouquan, "Electronic differential speed steering control for four in-wheel motors independent drive vehicle," in Intelligent Control and Automation (WCICA) on 9th World Congr., Taipei, 2011, pp. 780-783.

[14] T. D. Gillespie, *Fundamendals of Vechicle Dynamics*, 1η Έκδοση. Pittsburgh, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers Inc, 1992.

[15] Κ. Ν. Σπέντζας και Μ. Demic, Θεωρία Κινήσεως Τροχοφόρων Οχημάτων. Αθήνα, Ελλάδα: Σειρά Συγγραμμάτων του Εργαστηρίου Οχημάτων του Ε.Μ. Πολυτεχνείου, 2004.

[16] Bosch Semiconductors and Sensors. (1991), CAN Specification Version 2.0. [Online]. Available: http://www.bosch-semiconductors.de/media/pdf_1/canliteratur/can2spec.pdf

[17] CAN in Automation (Cia). (2015), CAN Milestones [Online]. Available: http://www.can-cia.org/index.php?id=522.

Προσδιορισμός της θέσης πλοίου εντός δεξαμενής με τη χρήση σαρωτή τεχνολογίας LiDAR .

Μπόχαλης Χριστόδουλος, Οδυσσέας Φατούρος
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Πατρών

***Abstract* - Στην ρομποτική, η ακριβής γνώση της θέσης του ρομπότ είναι το σημαντικότερο πρώτο βήμα που πρέπει να γίνει ώστε ο μετέπειτα έλεγχος να είναι επιτυχής. Το ρομπότ μας είναι ένα μοντέλο φορτηγού πλοίου μήκους 1135mm και πλάτους 140mm. Στόχος μας είναι ο έλεγχος του πλοίου εντός δεξαμενής διαστάσεων 6m x 2m. Επιλέξαμε να λύσουμε αυτό το πρόβλημα χρησιμοποιώντας ένα σαρωτή LiDAR και ταιριάζοντας τις διαδοχικές σαρώσεις του χώρου ώστε να υπολογίσουμε την νέα θέση και το νέο προσανατολισμό του πλοίου.**

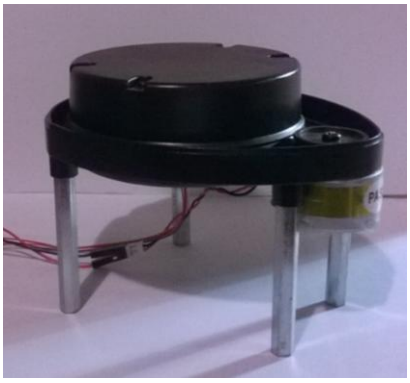
***Index Terms* - Position and Orientation Estimation, Scan Matching, Correlation**

I. Εισαγωγη

Ο χώρος που κινείται το πλοίο είναι μια δεξαμενή διαστάσεων 6m x 2m. Η δεξαμενή αυτή βρίσκεται στο κτίριο των Πολιτικών Μηχανικών στο Πανεπιστήμιο Πατρών σε ένα χώρο με πολλές μεταλλικές κατασκευές οι οποίες μας αποτρέπουν από το να χρησιμοποιήσουμε μαγνητόμετρο για τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης και του προσανατολισμού. Μια προηγούμενη προσπάθεια για την εύρεση της θέσης του πλοίου έγινε με τη χρήση τεχνικών επεξεργασίας εικόνας, όμως τα αποτελέσματα δεν ήταν ικανοποιητικά έχοντας μικρή ακρίβεια και μεγάλη υπολογιστική πολυπλοκότητα. Επιλέξαμε λοιπόν να χρησιμοποιήσουμε ένα φθηνό σαρωτή LiDAR για να λύσουμε αυτό το πρόβλημα. Οι διαδοχικές σαρώσεις του χώρου γίνονται με μεγάλη ταχύτητα και επομένως ο χρόνος για τον υπολογισμό της θέσης και του προσανατολισμού εξαρτάται αποκλειστικά από την μέθοδο που θα εφαρμόσουμε.

II. Σαρωτης LIDAR

Ένας σαρωτής LiDAR μετράει τον χρόνο πτήσης της ακτίνας laser που εκπέμπει και υπολογίζει την απόσταση από τα διάφορα εμπόδια στο χώρο. Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες όμως είναι αρκετά ακριβοί λόγω των μετρητικών οργάνων του χρόνου πτήσης της ακτίνας laser. Η εταιρία Neato κατάφερε να υλοποιήσει έναν αισθητήρα τεχνολογίας LiDAR τον οποίο τοποθέτησε στην ρομποτική σκούπα που κατασκευάζει. Το κόστος της ρομποτικής σκούπας είναι αισθητά μικρότερο από



Εικ. 1 Ο αισθητήρας LiDAR που βρίσκεται εντός της ρομποτικής σκούπας Neato XV-11

ένα εξειδικευμένο σύστημα LiDAR. Συγκεκριμένα εμείς χρησιμοποιήσαμε τον αισθητήρα από το μοντέλο Neato XV-11 τον οποίο αποκτήσαμε με μόλις 100 €. Η εταιρεία κατάφερε να ελατώσει το κόστος κατασκευής του αισθητήρα χρησιμοποιώντας τριγωνοποίηση αντί για την μέτρηση του χρόνου πτήσης της ακτίνας laser. Συγκεκριμένα μετράει την γωνία της ανακλώμενης ακτίνας με τη βοήθεια των όμοιων τριγώνων που δημιουργούνται από την εκπεμπόμενη και την ανακλώμενη ακτίνα. [1]

A. Χαρακτηριστικά του αισθητήρα LiDAR

Μια πλήρη περιστροφή του αισθητήρα επιστρέφει 360 μετρήσεις και μπορεί να μετρήσει αποστάσεις από 0.2m έως 6m. Η ταχύτητα περιστροφής και κατ'επέκταση ο ρυθμός σάρωσης ρυθμίζεται μέσω του PWM σήματος που στέλνουμε στον κινητήρα. Ο ρυθμός σάρωσης λοιπόν μπορεί να πάρει τιμές από 2Hz έως 10Hz. Στην περίπτωση μας επιλέξαμε να έχουμε έναν ρυθμό σάρωσης 5Hz, έτσι έχουμε διαθέσιμες 1800 μετρήσεις το κάθε δευτερόλεπτο.

Ο αισθητήρας είναι μικρός σε μέγεθος και επομένως είναι εύκολο να τοποθετηθεί σε μικρά ρομπότ και κατ'επέκταση στο μοντέλο πλοίου που χρησιμοποιούμε. Συγκεκριμένα έχει πλάτος 96mm, μήκος 115mm και ύψος 52mm.

Η διάταξη του αισθητήρα σε πλήρη λειτουργία απαιτεί 200mA και λειτουργεί με τροφοδοσία 5V.

B. Περιγραφή της πειραματικής διάταξης

Στην παρούσα φάση του πειράματος οι μετρήσεις στέλνονται με Bluetooth στον υπολογιστή όπου και γίνεται η επεξεργασία τους. Ο κινητήρας ελέγχεται με έναν motor controller με παλμούς PWM και η ταχύτητα περιστροφής διατηρείται σταθερή με έλεγχο κλειστού βρόγχου. Ο αισθητήρας επιστρέφει την τρέχουσα ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα την οποία και χρησιμοποιούμε για τον έλεγχο. Όλη η διάταξη τροφοδοτείται από μια Li-Po μπαταρία 7.4V με χωρητικότητα 1000mAh.

Εικ. 2 Το πλοίο εντός της δεξαμενής με τον αισθητήρα τοποθετημένο στη μέση του πλοίου

III. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΥΡΕΣΗΣ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΜΕ 2-D ΣΑΡΩΤΕΣ

Η εκτίμηση της θέσης του πλοίου γίνεται με το ταίριασμα δυο πλήρων σαρώσεων του χώρου που επιστρέφει ο αισθητήρας. Η πρώτη σάρωση θα είναι η σάρωση αναφοράς. Για τη δεύτερη σάρωση θα πρέπει να βρούμε την διαφορά στην μετατόπιση και στον προσανατολισμό ώστε να ταιριάζει πλήρως με την σάρωση αναφοράς. Το αποτέλεσμα σε συνδυασμό με την τρέχουσα θέση του ρομπότ στο χώρο θα μας δώσει την νέα θέση του. Υπάρχουν τρεις βασικοί τρόποι να ταιριάξουμε δυο δυσδιάστατες σαρώσεις του ίδιου χώρου και η επιλογή τους εξαρτάται από την μορφολογία του χώρου που θα κινείται το πλοίο.

A. Ταίριασμα σημείο με σημείο

Αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται σε χώρους που δεν χρειάζεται να έχουν κάποια συγκεκριμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά όπως για παράδειγμα πολυγωνικά περιβάλλοντα. Η μέθοδος ονομάζεται IDC [2] και για να ευθυγραμμίσει τις δυο σαρώσεις πραγματοποιεί αντιστοίχιση των σημείων της μιας με τα σημεία της άλλης βάση μεθόδων όπως η μέθοδος του πλησιέστερου σημείου. Η πολυπλοκότητα του IDC ειναι $O(n^2)$ και είναι η μεγαλύτερη μεταξύ των 3 μεθόδων.

B. Ταίριασμα σημείων με ευθύγραμμα τμήματα

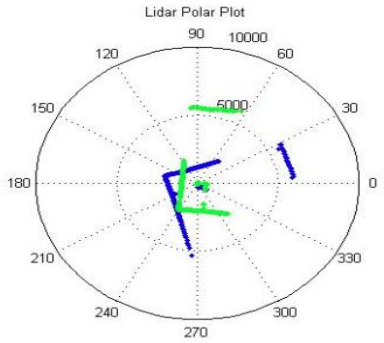
Αυτή η μέθοδος προτάθηκε αρχικά απο τον Cox [3] και ταιριάζει τα σημεία της κάθε σάρωσης με ένα μοντέλο του χώρου που κινείται το ρομπότ, αποτελούμενο από ευθύγραμμα τμήματα. Για να λειτουργήσει η μέθοδος θα πρέπει ο χώρος να είναι κυρίως πολυγωνικός, όπως είναι στην περίπτωση μας η δεξαμενή. Η μέθοδος έχει μικρή πολυπλοκότητα και εξαρτάται κυρίως από το πλήθος των ευθειών που αποτελούν τον χάρτη. Δεν χρησιμοποιήσαμε αυτή την μέθοδο αλλά θα μπορούσε να εφαρμοστεί με ευκολία στην περίπτωση της δεξαμενής, όπως και η επόμενη μέθοδος.

C. Ταίριασμα με χρήση της συνάρτησης συσχέτισης

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην χρήση της συνάρτησης συσχέτισης [4]. Οι σαρώσεις αναπαριστώνται από ιστογράμματα και ευθυγραμμίζονται μεταξύ τους βρίσκοντας το μέγιστο της συνάρτησης συσχέτισης. Η μέθοδος αυτή λειτουργεί μόνο σε πολυγωνικούς χώρους και δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα όταν υπάρχουν κάθετα τμήματα στον χάρτη, όμως μπορεί εύκολα να παραμετροποιηθεί ώστε να λειτουργεί με κάθε είδους πολυγωνικά περιβάλλοντα. Είναι γρήγορη μέθοδος και ένα πλεονέκτημα της είναι το γεγονός ότι χάρτης αναφοράς είναι ουσιαστικά μια σάρωση του χώρου στην οποία αντιστοιχίζουμε τις υπόλοιπες σαρώσεις.

IV. Η ΔΙΚΗ ΜΑΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε την μέθοδο με την χρήση της συνάρτησης συσχέτισης καθώς η δεξαμενή είναι ένας ορθογώνιος χώρος διαστάσεων 6m x 2m. Εφαρμόσαμε την μέθοδο με κάποιες παραμετροποιήσεις ώστε να επιτύχουμε μεγαλύτερη ακρίβεια και μικρότερη ταχύτητα. Θα παρουσιάσουμε την μέθοδο εφαρμόζοντας την σε πραγματικές μετρήσεις εντός της δεξαμενής.



Εικ. 3 Με πράσινο είναι η σάρωση αναφοράς και με μπλε χρώμα μια επόμενη σάρωση με διαφορετική περιστροφή και μικρή μετατόπιση.

Παρατηρούμε στην Εικ.3 ότι ο χώρος έχει 2 μεγάλα κενά σε δυο απέναντι πλευρές. Το μεγάλο κενό είναι δικαιολογημένο καθώς η δεξαμενή στην πραγματικότητα έχει μήκος 12m και επομένως η πλευρά αυτή βρίσκεται εκτος της εμβέλειας του αισθητήρα. Το μικρότερο κενό ίσως να δημιουργείται λόγω της πολύ μικρής γωνίας πρόσπτωσης της ακτίνας laser στα σημεία εκείνα αλλά ακόμα δεν έχουμε δώσει

επαρκή εξήγηση. Παρόλ'αυτα οι ανωτέρω σαρώσεις μας επιτρέπουν να βρούμε με ευκολία την διαφορά στην μετατόπιση και τον προσανατολισμό μεταξύ των τους.

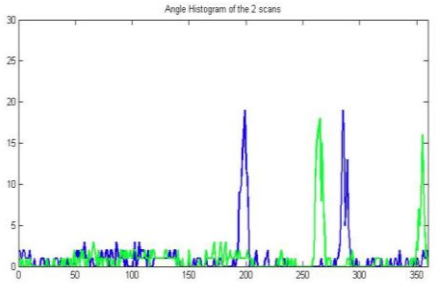
A. Υπολογισμός περιστροφής

Για να υπολογίσουμε την διαφορά στην περιστροφή μεταξύ δυο σαρώσεων, πρέπει να φτιάξουμε μια αναπαράστασή τους που είναι ανεξάρτητη της όποιας μετατόπισης. Αν λοιπόν υποθέσουμε ότι δυο διαδοχικά σημεία σε μια σάρωση αναπαριστούν μια γραμμή, τότε μπορούμε να υπολογίσουμε την γωνία αυτής της γραμμής με μια προκαθορισμένη διεύθυνση. Αν το κάνουμε αυτό για όλα τα διαδοχικά σημεία τότε θα δημιουργήσουμε μια κατανομή των γωνιών που εμφανίζονται σε μια σάρωση. Προφανώς σε συγκεκριμένες γωνίες θα εμφανίζονται τοπικά μέγιστα και οι γωνίες αυτές θα αντιπροσωπεύουν τις κύριες διευθύνσεις στον χάρτη. Η κατανομή που δημιουργείται ονομάζεται "ιστόγραμμα γωνιών", και είναι ανεξάρτητη της μετατόπισης μεταξύ δυο σαρώσεων.

Δημιουργούμε λοιπόν το ιστόγραμμα γωνιών για την σάρωση αναφοράς και την τρέχουσα σάρωση της δεξαμενής. Η διαφορά φάσης μεταξύ των δύο ιστογραμμάτων θα βρεθεί μέσω της συνάρτησης συσχέτισης:

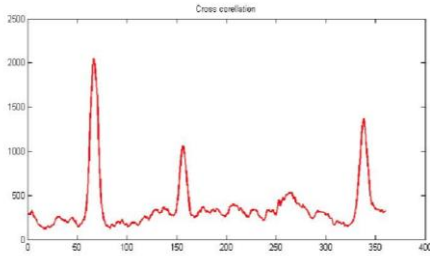
$$c(i) = \sum_{j=1}^{n} hist_1(j) hist_2(i+j)$$

Η συνάρτηση αυτή παρουσιάζει τοπικά μέγιστα στα σημεία που το ένα ιστόγραμμα "ταιριάζει" με το άλλο. Συνήθως το μεγαλύτερο τοπικό μέγιστο είναι και η ζητούμενη διαφορά φάσης αλλά γενικά εκτιμούμε το σωστό αποτέλεσμα βάση της προηγούμενης θέσης.

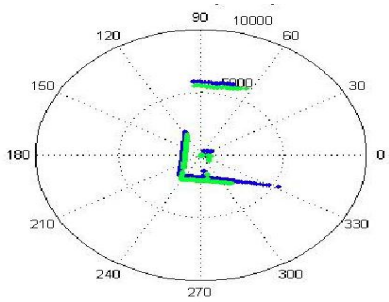


Εικ. 4 Τα ιστογράμματα γωνιών των μετρήσεων της Εικ.3. Εύκολα διακρίνουμε τις κύριες κατευθύνσεις των τοιχωμάτων της δεξαμενής και τη διαφορά φάσης μεταξύ τους που αντιστοιχεί στην περιστροφή.

Επιλέξαμε να δημιουργούμε το ιστόγραμμα γωνιών θεωρώντας ότι ένα σημείο σχηματίζει μια ευθεία ακόμα και με το τέταρτο σημείο στην σειρά των μετρήσεων. Έτσι μειώσαμε αισθητά τον χρόνο δημιουργίας του ιστογράμματος, χωρίς να χάσουμε σε ακρίβεια αφού η δεξαμενή αποτελείται από δύο κύριες μεγάλες διυθύνσεις με τα σημεία επαρκώς κατανεμημένα σε αυτές.



Εικ. 5 Το αποτέλεσμα της συνάρτησης συσχέτισης μεταξύ των ιστογραμμάτων της Εικ.4. Το μέγιστο εμφανίζεται στις 66° που είναι και το σωστό αποτέλεσμα



Εικ. 6 Για περιστροφή 66° της τρέχουσας σάρωσης βλέπουμε ότι ταιριάζει στον προσανατολισμό με την σάρωση αναφοράς.

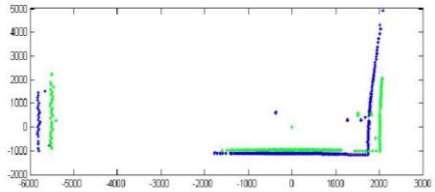
B. Υπολογισμός μετατόπισης

Για να βρούμε την μετατόπιση στην x και y διεύθυνση θα σχηματίσουμε τα x και y ιστογράμματα από τις μετρήσεις και έπειτα με την συνάρτηση συσχέτισεις θα βρούμε όπως και προηγουμένως τις μετατοπίσεις.

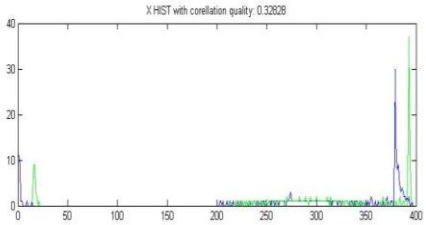
Το πρώτο βήμα είναι να περιστρέψουμε την τρέχουσα σάρωση με την γωνία που βρήκαμε προηγουμένως ώστε να έχει τον ίδιο προσανατολισμό με την σάρωση αναφοράς. Έπειτα θα δημιουργήσουμε τα ιστογράμματα τοποθετώντας τις μετρήσεις σε αυτά. Το εύρος των διαστημάτων στα οποία θα τοποθετήσουμε κάθε μέτρηση είναι κύριο σημείο του αλγορίθμου, καθώς πρέπει να είναι τέτοιο ώστε το ιστόγραμμα που θα προκύπτει να αναπαριστά σωστά την κάθε πλευρά. Για παράδειγμα εαν επιλέξουμε εύρος 20mm τότε οι μετρήσεις που έχουν x συνιστώσα με διαφορά μεταξύ τους <20mm θα τοποθετούνται αθροιστικά στο ίδιο σημείο του ιστογράμματος.

Το πρόβλημα που προκύπτει με τα ιστογράμματα αυτά αφορά περιπτώσεις που οι σαρώσεις δεν έχουν τα τοιχώματα τους παράλληλα με τους x-y άξονες και επομένως δεν μπορούν να δημιουργηθούν τα ζητούμενα μέγιστα στα ιστογράμματα. Για την αντιμετώπιση του μπορούμε να επιλέξουμε την σάρωση αναφοράς να έχει τα τοιχώματα παράλληλα με τους άξονες και έτσι μετά τον υπολογισμό και την περιστροφή της τρέχουσας σάρωσης, οι μετρήσεις θα έχουν την ζητούμενη μορφή. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος που η μέθοδος αυτή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί με την ίδια

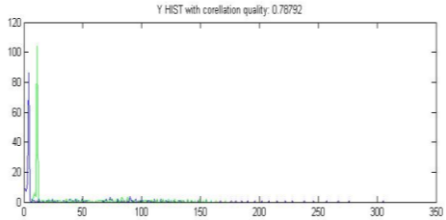
αποτελεσματικότητα σε χώρους που δεν έχουν κάθετες πλευρές.



Εικ. 7 Στο σχήμα βλέπουμε τις δύο σαρώσεις που έχουν περιστραφεί ώστε να είναι παράλληλες με τους άξονες.



Εικ. 8 Στο σχήμα βλέπουμε το x ιστόγραμμα. Ειναι φανερό ότι έπρεπε να εμφανίζονται δύο κύριες κατευθυνσεις το οποίο και γίνεται.



Εικ. 9 Στο σχήμα βλέπουμε το y ιστόγραμμα. Εμφανίζεται μόνο μια κατεύθυνση όπως αναμενόταν.

Τα αποτελέσματα της συσχέτισης των ιστογραμμάτων δίνουν τα εξής αποτελέσματα:

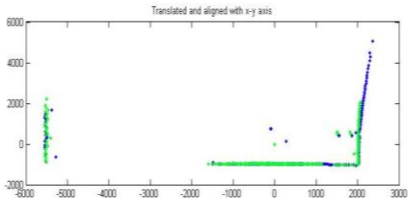
$$dx = -280mm$$
$$dy = -140mm$$

Μετρήσαμε για το συγκεκριμένο πείραμα την ακριβή θέση του αισθητήρα εντός της δεξαμενής και βρήκαμε:

$$dx(actual) = -282mm$$
$$dy(actual) = -140mm$$

Ο συνολικός χρόνος εκτέλεσης του αλγορίθμου είναι 50msec στον Intel Core i5 @ 3.20GHz αλλά με αρκετό περιθώριο για βελτίωση.

Επομένως γνωρίζοντας την μετατόπιση και την περιστροφή μεταξύ των δυο σαρώσεων μπορούμε να ακολουθήσουμε την κίνηση του πλοίου εντός της δεξαμενής.



Εικ. 10 Στο σχήμα βλέπουμε το αποτέλεσμα του αλγορίθμου στο ταίριασμα των δυο σαρώσεων.

V. ΕΠΟΜΕΝΑ ΒΗΜΑΤΑ

Τα επόμενα βήματα στα οποία θα επικεντρωθούμε θα είναι τα εξής:

1. Θέλουμε η επεξεργασία των μετρήσεων να γίνεται σε ενσωματωμένο επεξεργαστή πάνω στο πλοίο, επομένως είναι σημαντική η βελτιστοποιηση του αλγορίθμου.

2. Πολύ σημαντική επίσης θα είναι η συμπεριφορά του αλγορίθμου όταν το πλοίο βρίσκεται εν κινήσει εντός της δεξαμενής και επομένως οι μετρήσεις δεν θα είναι πάνω στο ίδιο επίπεδο κάθε φορά λόγω της ταλάντωσης του νερού. Αυτή η ανισορροπία θα πρέπει να αναιρεθεί ώστε να έχουμε σωστά αποτελέσματα.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[1] Kurt Konolige, Joseph Augenbraun, Nick Donaldson,Charles Fiebig and Pankaj Shah - A Low-Cost Laser Distance Sensor in 2008 IEEE International

[2] F. Lu. - Shape Registration using Optimization for Mobile Robot Navigation. PhD thesis, University of Toronto, 1995.

[3] I. Cox. Blanche – an experiment in guidance and navigation of an autonomous robot vehicle. IEEE Trans. on Robotics and Automation, 7(2):193–204, April 1991.

[4] G. Weiss and E. Puttkamer - A map based on laserscans without geometric interpretation. In U. R. et al., editor, Intelligent Autonomous Systems, pages 403–407. IOS Press, 1995.

Ανακατασκευή θερμικών εικόνων υψηλής ανάλυσης από εικόνες χαμηλής ανάλυσης με τεχνικές compressed sensing

Επαμεινώνδας Ροντογιάννης[1]

***Περίληψη*— Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η αύξηση της ανάλυσης (*super resolution*) σε θερμικές εικόνες χρησιμοποιώντας τεχνικές συμπιεσμένης καταγραφής (*compressed sensing*). Οι εικόνες εκφράζονται με αραιό τρόπο ως προς δυο υπερπλήρη λεξικά (ένα χαμηλής και ένα υψηλής ανάλυσης) και επιχειρούμε κατασκευή της εικόνας υψηλής ανάλυσης. Τα αποτελέσματα της μεθόδου αυτής συγκρίνονται με τα αποτελέσματα τεχνικών που χρησιμοποιούν *image registration* με ακρίβεια subpixel για την επίτευξη του super resolution.**

***Λέξεις Κλειδιά*— super resolution, compressed sensing, thermal imaging, sparse representations**

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σήμερα, πληθώρα εφαρμογών απαιτούν εικόνες υψηλής ανάλυσης (*high resolution (HR)*). Η υψηλή ανάλυση συνεπάγεται περισσότερη πληροφορία και στις θερμικές εικόνες θα μπορούσε, για παράδειγμα, να μας βοηθήσει να ανιχνεύσουμε καλύτερα και ακριβέστερα μια διαρροή θερμότητας σε ένα κτήριο ή την περιοχή που κρύβεται ένα άτομο σε συνθήκες απόλυτου σκοταδιού. Ως θερμικές, ορίζονται εκείνες οι εικόνες που λαμβάνονται με κατάλληλο τρόπο, ώστε να απεικονίζουν την υπέρυθρη περιοχή του φάσματος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ($9 - 14\mu m$) για μια χωρική σκηνή. Ενδεικτικές και ιδιαίτερα διαδεδομένες χρήσεις των θερμικών εικόνων είναι σε στρατιωτικές επιχειρήσεις για αυτόματο εντοπισμό στόχων, σε επιχειρήσεις διάσωσης για εντοπισμό ατόμων σε συνθήκες περιορισμένης ορατότητας καθώς και σε επιχειρήσεις ανίχνευσης απωλειών θερμότητας από κτήρια.

Σαν διατάξεις καταγραφής οι θερμικές κάμερες δε διαφέρουν από τις οπτικές κάμερες, ωστόσο έχουν σημαντικές διαφορές ως προς την κατασκευή των αισθητήρων και των οπτικών συστημάτων τους, με τα τελευταία να αποτελούν φυσικά πολωτικά φίλτρα που επιτρέπουν την καταγραφή του υπέρυθρου φάσματος. Οι θερμικοί αισθητήρες καταγραφής κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο που δεν είναι δυνατή η ολοκλήρωσή τους σε πολύ μεγάλη κλίμακα δίνοντας ταυτόχρονα μεγάλη ανάλυση, όπως γίνεται στους αισθητήρες οπτικών εικόνων. Ενδεικτικά, μια καλή ανάλυση για τις θερμικές κάμερες σήμερα είναι της τάξης των 320x240 pixels, ενώ για παραπάνω ανάλυση έχουμε δυσανάλογη αύξηση του κόστους. Μια τέτοια ανάλυση για εφαρμογές οπτικών εικόνων μόνο καλή δε θεωρείται πλέον (ενδεικτικά, κινητά τηλέφωνα που κυκλοφορούσαν το 2004 μας έδιναν διπλάσια ανάλυση από αυτή) ενώ σήμερα πολλές εφαρμογές μπορεί να απαιτούν ανάλυση ultra high definition (4K).

Η αύξηση της ανάλυσης με τεχνικές *super resolution (SR)* δεν είναι ένα καινούριο πρόβλημα. Σε πάρα πολλές περιπτώσεις, όταν εκ των πραγμάτων δεν είναι δυνατόν να πάρουμε υψηλότερη ανάλυση από τους αισθητήρες καταγραφής που χρησιμοποιούμε, καταφεύγουμε σε τέτοιες τεχνικές και χρησιμοποιούμε τις εικόνες χαμηλής ανάλυσης (*low resolution (LR)*) που έχουμε στη διάθεσή μας. Ήδη από τη δεκαετία του '90 εμφανίστηκαν οι πρώτες τεχνικές, οι οποίες με την πάροδο των χρόνων πολλαπλασιάστηκαν. Μια γενική παρουσίαση των μεθόδων αυτών υπάρχει στο [1] και μερικές από τις προσσεγγίσεις των τεχνικών είναι:single frame SR, multiple frame SR, τεχνικές που λειτουργούν στο χωρικό πεδίο (*spatial domain*) και τεχνικές που λειτουργούν στο πεδίο της συχνότητας (*freguency domain*).

Στο χώρο του πεδίου συχνότητας, η πρώτη σημαντική τεχνική δημοσιεύθηκε το 1984 από τους Tsai και Huang [12] και βασίζεται στις ιδιότητες μετατόπισης και αναδίπλωσης του συνεχούς και διακριτού μετασχηματισμού Fourier. Στη συνέχεια εξελίχθηκε [13] χρησιμοποιώντας την προσέγγιση recursive least squares (RLS) ώστε να συμπεριλάβουν θόρυβο και θόλωμα (blurring).

Στο χωρικό πεδίο, οι πρώτες μέθοδοι βασίζονται στο Iterative Back-Projection (IBP) ([2], [3], [4]). Πέραν αυτών, υπάρχουν και άλλες μέθοδοι που βασίζονται σε στοχαστικά μοντέλα ([5], [6], [7]), καθώς και μέθοδοι που βασίζονται στη θεωρία του Projection Onto Convex Sets (POCS), όπως η εργασία [8].

Όσον αφορά το SR για θερμικές εικόνες, υπάρχουν πολύ λίγες εργασίες στο χώρο αυτό και ακολουθούν την multiple frame προσέγγιση. Ενδεικτικές εργασίες είναι οι: [9], [10] και [11] .

Η δική μας προσέγγιση για SR στις θερμικές εικόνες ακολουθεί την προσέγγιση single image χρησιμοποιώντας τεχνικές συμπιεσμένης καταγραφής (*compressed sensing*) και βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε αντίστοιχη δουλειά που έχει γίνει [14] στην περιοχή των οπτικών εικόνων. Το μεγάλο πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής συγκριτικά με τις προαναφερθείσες, είναι ότι χρησιμοποιεί μόνο μία εικόνα (αντί για πολλές - προσέγγιση multiple frame SR). Οι τεχνικές συμπιεσμένης καταγραφής χρησιμοποιούνται για να ανακατασκευάσουν σήματα από πολύ λιγότερα δείγματα απ' αυτά που απαιτούνται απ' το θεώρημα *Shannon-Nyquist*. Για να είναι δυνατή η ανακατασκευή, θα πρέπει να καταφέρουμε να εκφράσουμε ένα σήμα με πολύ λίγους όρους ως προς μια βάση.

Στην επόμενη ενότητα θα αναλυθεί το μαθηματικό

[1]Ο Επαμεινώνδας Ροντογιάννης είναι φοιτητής στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Πατρών. e-mail: ece6842 at upnet.gr

υπόβαθρο του *compressed sensing* καθώς και της τεχνικής *shift-add fusion* (multiple frame SR). Στην ενότητα III θα παρουσιαστεί η μέθοδος compressed sensing που χρησιμοποιούμε για SR στις θερμικές εικόνες και θα ακολουθήσει πειραματική αξιολόγηση στην ενότητα IV καθώς και συμπεράσματα στην ενότητα V.

Στο υπόλοιπο της εργασίας, θα συμβολίζουμε ως $\boldsymbol{X}$ μια εικόνα HR και $\boldsymbol{x}$ κομμάτια της εικόνας αυτής, $\boldsymbol{Y}$ μια εικόνα LR και $\boldsymbol{y}$ κομμάτια της εικόνας αυτής, $\boldsymbol{Y}_i$ το σύνολο εικόνων LR, $\boldsymbol{D}$ τα λεξικά για τις αραιές καταγραφές, με έντονα μικρά γράμματα θα συμβολίζουμε τα διανύσματα, ενώ με απλή γραφή θα συμβολίζουμε βαθμωτά μεγέθη και με έντονα κεφαλαία θα συμβολίζουμε τους πίνακες, όπως για παράδειγμα το $\boldsymbol{S}$ συμβολίζει τον πίνακα υποδειγματοληψίας.

II. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Στην ενότητα αυτή αρχικά παρουσιάζεται η μέθοδος shift-add fusion η οποία επιτυγχάνει την ανακατασκευή της εικόνας υψηλής ανάλυσης χρησιμοποιώντας ένα σετ από εικόνες χαμηλής ανάλυσης. Έπειτα παρουσιάζεται το μαθηματικό υπόβαθρο του compressed sensing για να μπορέσουμε να παρουσιάσουμε στην επόμενη ενότητα την κύρια τεχνική με την οποία ασχολείται η εργασία αυτή.

Α΄. Μέθοδος shift-add fusion/Multiple Image SR

Οι μέθοδοι αυτοί προσπαθούν να προσεγγίσουν μια εικόνα υψηλής ανάλυσης χρησιμοποιώντας ένα σύνολο από εικόνες χαμηλής ανάλυσης.

Όταν λαμβάνουμε εικόνες από μια φυσική σκηνή χρησιμοποιώντας μια κάμερα, θεωρούμε ότι οι εικόνες που παίρνουμε έχουν υποστεί κάποια *μετακίνηση* (είτε λόγω μετακίνησης του παρατηρητή, είτε λόγω μετακίνησης του αντικειμένου της φυσικής σκηνής) καθώς και κάποιο θόλωμα (*blurring*) λόγω του οπτικού συστήματος της κάμερας. Επιπλέον, ο αισθητήρας καταγραφής εισάγει κάποιο *θόρυβο* στις μετρήσεις και η δειγματοληψία γίνεται σε χαμηλή χωρική συχνότητα. Για μια εικόνα υψηλής ανάλυσης $\boldsymbol{X}$ (την οποία θα προσπαθήσουμε να ανακατασκευάσουμε), μπορούμε να αναπτύξουμε το παραπάνω μοντέλο ως εξής:

$$\boldsymbol{Y}_i = \boldsymbol{S}_i\boldsymbol{T}_i\boldsymbol{H}_i\boldsymbol{X} + n_i \tag{1}$$

όπου ορίζουμε για την i-οστή εικόνα χαμηλής ανάλυσης $\boldsymbol{Y}_i$ τους τελεστές που ενεργούν στην $\boldsymbol{X}$: $\boldsymbol{S}_i$ για υποδειγματοληψία, $\boldsymbol{T}_i$ για μετατόπιση, $\boldsymbol{H}_i$ για blurring και n_i για προσθετικό θόρυβο. Οι υποθέσεις που κάνουμε είναι ότι το blurring είναι ίδιο σε όλο το χώρο και είναι γνωστό στον αλγόριθμο super resolution, ο θόρυβος είναι λευκός Gaussian με την ίδια διασπορά σε όλες τις εικόνες χαμηλής ανάλυσης και ότι ο γεωμετρικός μετασχηματισμός αφορά μόνο την καθολική μετατόπιση. Οι μετατοπίσεις στην εικόνα υψηλής ανάλυσης οδηγούν σε μετατοπίσεις επιπέδου subpixel στις εικόνες χαμηλής ανάλυσης λόγω της υποδειγματοληψίας που εφαρμόζεται. Αν και η λογική του super resolution είναι ευκολότερα αντιληπτή στο πεδίο συχνοτήτων [12], υπάρχουν πολλές μέθοδοι που λειτουργούν στο χωρικό πεδίο με χαμηλότερη υπολογιστική πολυπλοκότητα.

Η λογική της μεθόδου *shift-add fusion* είναι η εξής: Η εκτίμηση των μετατοπίσεων για ένα σετ από εικόνες χαμηλής ανάλυσης μας φανερώνει τη θέση από την οποία προέρχεται κάθε pixel χαμηλής ανάλυσης από την εικόνα υψηλής ανάλυσης. Οι μετατοπίσεις μπορεί να είναι εκ των προτέρων γνωστές (αν λάβουμε τις εικόνες με κατάλληλη διάταξη), είτε μπορούν να εκτιμηθούν με κάποιο αλγόριθμο για motion estimation (π.χ. RANSAC[28]). Συγκεκριμένα, η αντιστρεψιμότητα του τελεστή $\boldsymbol{S}_i$ της σχέσης (1) και η εκτίμηση του τελεστή $\boldsymbol{T}_i$ συνεπάγονται ότι ο τελεστής $\boldsymbol{S}_i\boldsymbol{T}_i$ αντιστοιχεί κάθε pixel χαμηλής ανάλυσης σε μια και μόνο θέση της εικόνας υψηλής ανάλυσης. Η διαδικασία αυτή φαίνεται στον Αλγόριθμο 1, όπου θεωρούμε τα: $\boldsymbol{dx}$, $\boldsymbol{dy}$ ως τις εκτιμήσεις μετατοπίσεων για κάθε εικόνα, W, H ως τις διαστάσεις της high resolution εικόνας, $\boldsymbol{Y}_i$ ως το σετ με τις low resolution εικόνες, N ως το πλήθος των low resolution εικόνων και $\boldsymbol{S}$ ως τον παράγοντα scaling. Η συγκεκριμένη εκδοχή του αλγορίθμου δε λαμβάνει υπόψη της την παρουσία θορύβου ή και blurring.

Data: $\boldsymbol{dx}$, $\boldsymbol{dy}$, $\boldsymbol{Y}_i$, N, W, $\boldsymbol{H}$, S
Output: High resolution reconstructed $\boldsymbol{X}$
$\boldsymbol{X} \leftarrow 0$;
for $n \leftarrow 1$ ***to*** N **do**
  $\tilde{\boldsymbol{Y}} \leftarrow \boldsymbol{Y}_i$;
  $\boldsymbol{i} \leftarrow 1 : W/S$;
  $\boldsymbol{j} \leftarrow 1 : H/S$;
  $\boldsymbol{px} = \boldsymbol{i} * S + \boldsymbol{dx}_n$;
  $\boldsymbol{py} = \boldsymbol{j} * S + \boldsymbol{dy}_n$;
  $\boldsymbol{X}_{px,py} = \tilde{\boldsymbol{Y}}_{i,j}$;
end

Αλγόριθμος 1: Ανακατασκευή shift-add fusion

Β΄. Μέθοδος compressed sensing/Single Image SR

Η γενική ιδέα του compressed sensing επιδιώκει ακριβή ανακατασκευή σημάτων υψηλής ανάλυσης από τις εκφράσεις τους σε χαμηλή ανάλυση μέσω γραμμικών σχέσεων [15], [16]. Αν και το πρόβλημα του super resolution σε αυτήν την περίπτωση είναι ιδιαίτερα *ασθενώς ορισμένο (ill-posed)*, καθιστώντας την ακριβή ανακατασκευή ακατόρθωτη, θα δούμε εντούτοις κάτω από ποιες προϋποθέσεις μπορούμε να λύσουμε το πρόβλημα αυτό αποδοτικά παίρνοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Θεωρούμε ένα υπερπλήρες λεξικό K στοιχείων, $\boldsymbol{D} \in \mathbb{R}^{n\times K}$, $(K > n)$ και υποθέτουμε πως ένα σήμα $\boldsymbol{x} \in \mathbb{R}^{n\times N}$ μπορεί να εκφραστεί ως ένας αραιός γραμμικός συνδυασμός όρων ως προς το $\boldsymbol{D}$. Έτσι, μπορούμε να γράψουμε, $\boldsymbol{x} = \boldsymbol{D}\boldsymbol{\alpha}_0$, όπου το $\alpha_0 \in \mathbb{R}^K$ αποτελεί ένα διάνυσμα με πολύ λίγους μη-μηδενικούς όρους ($\ll n$). Αν έχουμε στη διάθεσή μας περιορισμένες τιμές του $\boldsymbol{x}$ (π.χ. λόγω υποδειγματοληψίας) τότε μπορούμε να εκφράσουμε τις τιμές αυτές ως

$$\boldsymbol{y} \doteq \boldsymbol{L}\boldsymbol{x} = \boldsymbol{L}\boldsymbol{D}\boldsymbol{\alpha}_0$$

όπου το $\boldsymbol{L} \in \mathbb{R}^{k\times n}, k < n$, αποτελεί έναν πίνακα προβολής, ο οποίος όταν εφαρμοστεί σε έναν άλλο πίνακα μας δίνει

(*προβάλει*) συγκεκριμένα μόνο στοιχεία του. Στην περίπτωση των εικόνων, μπορούμε να θεωρήσουμε το $\boldsymbol{x}$ ως ένα κομμάτι (*patch*) της εικόνας HR ενώ το $\boldsymbol{y}$ είναι το αντίστοιχο LR patch που λαμβάνουμε. Η υπερπληρότητα του $\boldsymbol{D}$ καθιστά τη σχέση $\boldsymbol{x} = \boldsymbol{D\alpha}$ ασθενώς ορισμένη για τους άγνωστους συντελεστές του $\boldsymbol{\alpha}$ και τη σχέση $\boldsymbol{y} = \boldsymbol{LD\alpha}$ ακόμη περισσότερο ασθενώς ορισμένη. Παρόλα αυτά, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες η πιο αραιή λύση $\boldsymbol{\alpha}_0$ θα είναι μοναδική. Έτσι, αν το $\boldsymbol{D}$ είναι σχεδόν ορθοκανονικό όταν εφαρμόζεται σε αραιά διανύσματα, τότε για διάφορους πίνακες $\boldsymbol{L}$ οποιαδήποτε αραιή αναπαράσταση από ένα κομμάτι μιας HR εικόνας $\boldsymbol{x}$ ως προς το $\boldsymbol{D}$ μπορεί να ανακτηθεί σχεδόν τέλεια από ένα κομμάτι μιας LR εικόνας [17].

Στην εργασία αυτή δε θα υπολογιστεί απ' ευθείας η αραιή αναπαράσταση του HR κομματιού της εικόνας. Αντιθέτως, θα δουλέψουμε με 2 *συζευγμένα (coupled)* λεξικά $\boldsymbol{D}_h$ για τα κομμάτια HR εικόνων και $\boldsymbol{D}_l$ για τα κομμάτια LR εικόνων. Πρακτικά, το "ταίριασμα" των λεξικών συνεπάγεται μια αντιστοίχιση μεταξύ των όρων τους, με την έννοια ότι ο πρώτος όρος του HR λεξικού αντιστοιχεί στον 1ο όρο του LR λεξικού και ούτω καθεξής. Έτσι αραιή αναπαράσταση του LR κομματιού χρησιμοποιείται απ' ευθείας για τον υπολογισμό του HR κομματιού μέσω του λεξικού $\boldsymbol{D}_h$ καθώς το "ταίριασμα" που περιγράφηκε πιο πάνω μας εξασφαλίζει πως οι όροι που συμμετέχουν για την έκφραση της LR εικόνας ως προς το LR λεξικό, θα 'ναι οι ίδιοι που θα συμμετέχουν και για την έκφραση της HR εικόνας ως προς το HR λεξικό.

Τα λεξικά που χρησιμοποιούνται, χτίζονται με ένα στατιστικό τρόπο [20]. Για να εξασφαλίσουμε την κοινή έκφραση των LR και HR κομματιών ως προς τα λεξικά, κατά τη διαδικασία εκμάθησής γίνεται κατάλληλη κανονικοποίηση των όρων τους.

Τέλος, αξίζει να αναφέρουμε πως οι αραιές αναπαραστάσεις δε χρησιμοποιούνται μόνο στην επίλυση του προβλήματος του super resolution, αλλά και σε διάφορα άλλα προβλήματα στο χώρο της επεξεργασίας εικόνας, όπως *denoising* [18] και *restoration* [19].

III. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΛΥΣΗ

Οι θερμικές και οι οπτικές εικόνες αντιμετωπίζονται διαφορετικά από τη διαδικασία ανακατασκευής μέσω αραιών αναπαραστάσεων λόγω του ότι η μέθοδος ενεργεί επάνω στη συνιστώσα της φωτεινότητας *intensity* των εικόνων. Οι raw θερμικές εικόνες (χωρίς ψευδοχρωματισμό), ουσιαστικά αποτελούν grayscale εικόνες και έτσι μπορούμε να δουλέψουμε απ' ευθείας επάνω στη συνιστώσα του intensity. Ωστόσο, οι οπτικές εικόνες έχουν τρεις συνιστώσες *(R,G,B)* κι αν θέλουμε να δουλέψουμε σε αυτές θα πρέπει να κάνουμε κάποιο κατάλληλο μετασχηματισμό και να τις μεταφέρουμε σε κάποιο άλλο πρότυπο το οποίο να μας δίνει συνιστώσα παρόμοια με το intensity (π.χ. Y,Cb,Cr).

Για την ανακατασκευή μιας θερμικής HR εικόνας από μια LR εικόνα μέσω αραιών αναπαραστάσεων θα πρέπει να λάβουμε υπόψη δυο απαιτήσεις:

1) Συνέπεια ανακατασκευής: Η HR εικόνα που θα λάβουμε θα πρέπει να είναι συνεπής ως προς την LR εικόνα. Γι' αυτό, χρησιμοποιείται το μοντέλο που μας δίνει μια LR εικόνα $\boldsymbol{Y}$ ως μια θολωμένη *(blurred)* και με λιγότερα δείγματα *(downsampled)* έκφραση της HR εικόνας:

$$\boldsymbol{Y} = \boldsymbol{SHX} \tag{2}$$

2) Αραιότητα αναπαράστασης: Ο παραπάνω περιορισμός δεν είναι αρκετός για να λυθεί το πρόβλημα ανακατασκευής καθώς για κάθε LR εικόνα $\boldsymbol{Y}$ υπάρχουν άπειρες εικόνες HR $\boldsymbol{X}$ που ικανοποιούν την παραπάνω σχέση. Λόγω αυτού, εισάγουμε σαν δεύτερο περιορισμό για την επίλυση του προβλήματος, τα κομμάτια $\boldsymbol{x}$ της HR εικόνας $\boldsymbol{X}$ να μπορούν να εκφραστούν μέσω αραιών αναπαραστάσεων ως προς ένα λεξικό HR εικόνων $\boldsymbol{D}_h$, ως

$$\boldsymbol{x} \approx \boldsymbol{D}_h\boldsymbol{\alpha}, \text{ όπου } \boldsymbol{\alpha} \in \mathbb{R}^K \text{ και } \|\boldsymbol{\alpha}\|_0 \ll K \tag{3}$$

Το $\boldsymbol{\alpha}$ για το κομμάτι της HR εικόνας θα βρεθεί μέσω της αντίστοιχης αραιής αναπαράστασης του κομματιού της LR εικόνας ως προς το λεξικό $\boldsymbol{D}_l$.

Η επίλυση του προβλήματος ξεκινάει με την έκφραση όλων των κομματιών της LR εικόνας ως προς το λεξικό $\boldsymbol{D}_l$ και στη συνέχεια γίνεται περαιτέρω επεξεργασία των αποτελεσμάτων, ώστε να ικανοποιούν και το (2). Έτσι, για να φτάσουμε στο τελικό αποτέλεσμα, εργαζόμαστε πρώτα *τοπικά* σε κομμάτια της εικόνας και στη συνέχεια δουλεύουμε *καθολικά* σε όλη την εικόνα. Αυτό βοηθά στο να κάνουμε διάφορες εξομαλύνσεις και να αφαιρέσουμε τυχόν ατέλειες που προκύπτουν από τη διαδικασία ανακατασκευής, βελτιώνοντας έτσι τη συνοχή και τη φυσικότητα της ανακατασκευασμένης εικόνας.

Α΄. Εφαρμογή τοπικού μοντέλου

Στο στάδιο αυτό, ξεκινώντας απ' την επάνω αριστερά γωνία χωρίζουμε τη LR εικόνα $\boldsymbol{Y}$ σε κομμάτια 3x3 (υποπεριοχές) $\boldsymbol{y}$, τα οποία έχουν αλληλοεπικάλυψη κατά 1 pixel σε κάθε κατεύθυνση. Σε κάθε κομμάτι αφαιρούμε απ' όλα τα pixels τη μέση τιμή m του κομματιού, ώστε η πληροφορία που περιέχεται τελικά να εκφράζει την υφή της εικόνας.

Για κάθε κομμάτι υπολογίζεται η αραιή αναπαράστασή του ως προς το $\boldsymbol{D}_l$, η οποία μας δείχνει και τους όρους που συμμετέχουν από το $\boldsymbol{D}_h$ για το αντίστοιχο HR κομμάτι, απ' τη στιγμή που τα λεξικά είναι *συζευγμένα*. Η εύρεση της αραιότερης αναπαράστασης για ένα LR κομμάτι $\boldsymbol{y}$, γράφεται ως

$$\min \|\boldsymbol{\alpha}\|_0 \text{ s.t. } \|F\boldsymbol{D}_l\boldsymbol{\alpha} - F\boldsymbol{y}\|_2^2 \leq \epsilon \tag{4}$$

όπου το F αποτελεί ένα γραμμικό τελεστή εξαγωγής χαρακτηριστικών (π.χ. ακμές) και θα δούμε στη συνέχεια περισσότερα γι' αυτό.

Το πρόβλημα που διατυπώνεται στην εξίσωση (4) είναι NP-hard. Αν όμως το διάνυσμα $\boldsymbol{\alpha}$ είναι επαρκώς αραιό, τότε μπορούμε να προσεγγίσουμε τη λύση του προβλήματος αυτού [22],[23] και να βρούμε το $\boldsymbol{\alpha}$ ελαχιστοποιώντας την ℓ_1 νόρμα, ως

$$\min \|\boldsymbol{\alpha}\|_1 \text{ s.t. } \|F\boldsymbol{D}_l\boldsymbol{\alpha} - F\boldsymbol{y}\|_2^2 \leq \epsilon \tag{5}$$

Οι πολλαπλασιαστές Lagrange μας δίνουν μια διαφορετική έκφραση της παραπάνω σχέσης, ως

$$\min_{\alpha} \|F\boldsymbol{D}_l\boldsymbol{\alpha} - F\boldsymbol{y}\|_2^2 + \lambda\|\boldsymbol{\alpha}\|_1 \tag{6}$$

όπου η παράμετρος λ ελέγχει την αραιότητα της λύσης καθώς και την πιστότητα της προσέγγισης στο $\boldsymbol{y}$.

Η επίλυση της (6) για κάθε κομμάτι της εικόνας δε μπορεί να μας εγγυηθεί ότι 2 γειτονικά κομμάτια θα είναι συμβατά μεταξύ τους. Τα κομμάτια της LR εικόνας "σαρώνονται" από αριστερά προς τα δεξιά και από πάνω προς τα κάτω [24] και, για να εξασφαλίσουμε "συμβατότητα" μεταξύ γειτονικών κομματιών, τροποποιούμε την (4), ώστε η κάθε ανακατασκευή $\boldsymbol{D_h\alpha}$ των κομματιών $\boldsymbol{y}$ να συμφωνεί με τα γειτονικά της κομμάτια:

$$\begin{aligned} \min \|\boldsymbol{\alpha}\|_1 \text{ s.t. } & \|F\boldsymbol{D}_l\boldsymbol{\alpha} - F\boldsymbol{y}\|_2^2 \leq \epsilon_1 \\ & \|P\boldsymbol{D}_h\boldsymbol{\alpha} - \boldsymbol{w}\|_2^2 \leq \epsilon_2 \end{aligned} \tag{7}$$

όπου ο πίνακας P απομονώνει την περιοχή επικάλυψης του τρέχοντος κομματιού με το προηγούμενο κομμάτι και το $\boldsymbol{w}$ περιέχει τις τιμές της αμέσως προηγούμενης ανακατασκευασμένης HR εικόνας στην περιοχή επικάλυψης. Η σχέση (7) μπορεί να γραφεί ως

$$\min_{\alpha} \|\tilde{\boldsymbol{D}}\boldsymbol{\alpha} - \tilde{\boldsymbol{y}}\|_2^2 + \lambda\|\boldsymbol{\alpha}\|_1 \tag{8}$$

όπου $\tilde{\boldsymbol{D}} = \begin{bmatrix} F\boldsymbol{D}_l \\ \beta P\boldsymbol{D}_h \end{bmatrix}$ και $\tilde{\boldsymbol{y}} = \begin{bmatrix} F\boldsymbol{y} \\ \beta\boldsymbol{w} \end{bmatrix}$ όπου το β ελέγχει την απόκλιση που θα έχει το υπό ανακατασκευή HR κομμάτι με τα γειτονικά του. Θεωρώντας στην εργασία αυτή το $\beta = 1$, η βέλτιστη λύση του $\boldsymbol{\alpha^*}$ δίνεται ως $\boldsymbol{x} = \boldsymbol{D}_h\boldsymbol{\alpha^*}$.

Β΄. Εφαρμογή καθολικού μοντέλου

Οι (5) και (7) δεν απαιτούν πιστότητα μεταξύ του $\boldsymbol{y}$ και $\boldsymbol{D_l\alpha}$ και λόγω ύπαρξης θορύβου, μπορεί η εκτίμηση της HR εικόνας $\boldsymbol{X}_0$ να μη συμφωνεί με το μοντέλο ανακατασκευής (2). Για να λύσουμε αυτό το πρόβλημα, ελαχιστοποιούμε τις διαφορές του $\boldsymbol{X}_0$ από το $\boldsymbol{X}$ προβάλλοντάς το στο χώρο της (2):

$$X^* = \arg\min_{X} \|\boldsymbol{SHX} - \boldsymbol{Y}\|_2^2 + c\|\boldsymbol{X} - \boldsymbol{X}_0\|_2^2 \tag{9}$$

Το πρόβλημα (9) μπορεί να λυθεί με μια τεχνική *gradient descent*, όπου μετασχηματίζεται στην επαναληπτική διαδικασία:

$$\boldsymbol{X}_{t+1} = \boldsymbol{X}_t + \nu[\boldsymbol{H^T S^T}(\boldsymbol{Y} - \boldsymbol{SHX}_t) + c(\boldsymbol{X_t} - \boldsymbol{X}_0)] \tag{10}$$

όπου το $\boldsymbol{X}_t$ είναι η εκτίμηση της HR εικόνας μετά τη t-οστή επανάληψη και ν είναι το βήμα της μεθόδου gradient descent. Το αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας είναι η HR εικόνα $\boldsymbol{X}^*$ η οποία είναι όσο πιο πιστή γίνεται στην αρχικά εκτιμημένη HR εικόνα $\boldsymbol{X}_0$ ικανοποιώντας ταυτόχρονα την (2), όπως φαίνεται στον Αλγόριθμο 2.

Data: $\boldsymbol{D}_h$, $\boldsymbol{D}_l$, $\boldsymbol{Y}$
Output: High resolution reconstructed $\boldsymbol{X}^*$
for *each* 3×3 *patch* $\boldsymbol{y} \in \boldsymbol{Y}$ **do**
  Compute mean pixel value of $\boldsymbol{y}$;
  Solve $\min_\alpha \|\tilde{\boldsymbol{D}}\boldsymbol{\alpha} - \tilde{\boldsymbol{y}}\|_2^2 + \lambda\|\boldsymbol{\alpha}\|_1$;
  Compute $\boldsymbol{x} = \boldsymbol{D}_h\boldsymbol{\alpha}^*$;
  Compute $\boldsymbol{x} + m$ and store it in $\boldsymbol{X}_0$;
end
Solve gradient descent problem:
$\boldsymbol{X}_{t+1} = \boldsymbol{X}_t + \nu[\boldsymbol{H^T S^T}(\boldsymbol{Y} - \boldsymbol{SHX}_t) + c(\boldsymbol{X_t} - \boldsymbol{X}_0)]$

Αλγόριθμος 2: SR via sparse representations

Γ΄. Εξαγωγή χαρακτηριστικών για τα LR κομμάτια

Στη σχέση (4) χρησιμοποιούμε τον τελεστή F ώστε το περιεχόμενο της HR εικόνας να συμφωνεί όσο το δυνατόν περισσότερο με αυτό της LR εικόνας. Το F συνήθως επιλέγεται σαν ένα υψιπερατό φίλτρο, καθώς οι υψηλές συχνότητες συνεισφέρουν σε λεπτομέρειες και συνιστούν τις πιο "ευαίσθητες" πληροφορίες μιας εικόνας.

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις ως προς την επιλογή του F, όπως στην [25] όπου επιλέγεται υψιπερατό φίλτρο για εξαγωγή πληροφοριών σχετικά με τις ακμές, στην [26] όπου επιλέγονται Gaussian derivative φίλτρα για εξαγωγή των τροχιών σε μια εικόνα, καθώς και στην [27] όπου εφαρμόζονται πρώτης και δεύτερης τάξης βαθμώσεις για εξαγωγή ακμών. Την προσέγγιση αυτή ακολουθήσαμε κι εδώ, χρησιμοποιώντας τα φίλτρα

$$\begin{aligned} \boldsymbol{f}_1 &= [-1, 0, 1], & \boldsymbol{f}_2 &= \boldsymbol{f}_1^T \\ \boldsymbol{f}_3 &= [1, 0, -2, 0, 1], & \boldsymbol{f}_4 &= \boldsymbol{f}_3^T \end{aligned}$$

Τα παραπάνω φίλτρα εφαρμόζονται σε κάθε κομμάτι μιας LR εικόνας και μας δίνουν 4 διανύσματα τα οποία συνενώνονται σε ένα σαν την τελική αναπαράσταση του LR κομματιού.

Τόσο το χτίσιμο των λεξικών όσο και η έκφραση των κομματιών με αραιό τρόπο ως προς τα λεξικά γίνονται ως προς τα αποτελέσματα που παίρνουμε από την εφαρμογή των βαθμώσεων πρώτης και δεύτερης τάξης.

IV. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

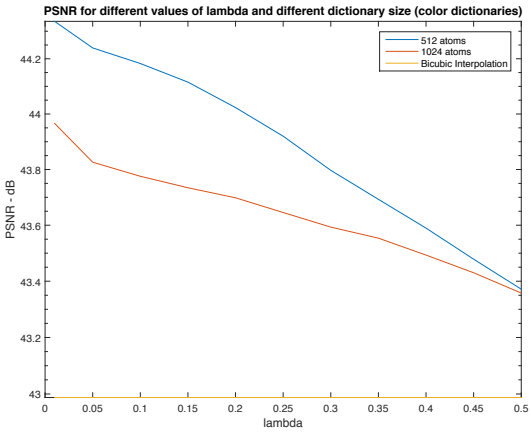
Για λόγους πληρότητας, πρέπει να αναφέρουμε πως θεωρούμε δεδομένα τα λεξικά $\boldsymbol{D}_h, \boldsymbol{D}_l$ στο υπόλοιπο της εργασίας. Περισσότερες πληροφορίες για τη δημιουργία τους παρέχονται στο [21].

Α΄. Μέθοδος compressed sensing

Για τη μέθοδο super resolution μέσω αραιών αναπαραστάσεων χρησιμοποιούμε 4 διαφορετικά λεξικά που έχουν παραχθεί είτε από θερμικές είτε από οπτικές εικόνες και περιέχουν είτε 512 είτε 1024 όρους και υποδειγματοληψία κατά έναν παράγοντα 2. Για τη μέθοδο super resolution μέσω image registration, εξετάζουμε τα αποτελέσματά της βάσει του *confidence* των σημείων ταιριάσματος (*feature points*) της μεθόδου RANSAC που χρησιμοποιείται για υπολογισμό του motion estimation. Τα αποτελέσματα που παίρνουμε συγκρίνονται ως προς τις

μετρικές *PSNR* και *MSE*, οι οποίες αποτελούν καταξιωμένες τεχνικές μέτρησης ποιότητας, με την πρώτη να συναντάται αρκετά σε περιπτώσεις ανακατασκευής σημάτων.

Εικ. 1: *Εικόνα δοκιμών (*320 × 240*). Κτήριο στην Πανεπιστημιούπολη της Πάτρας.*



Εικ. 2: *PSNR για ανακατασκευή με λεξικό οπτικών εικόνων.*

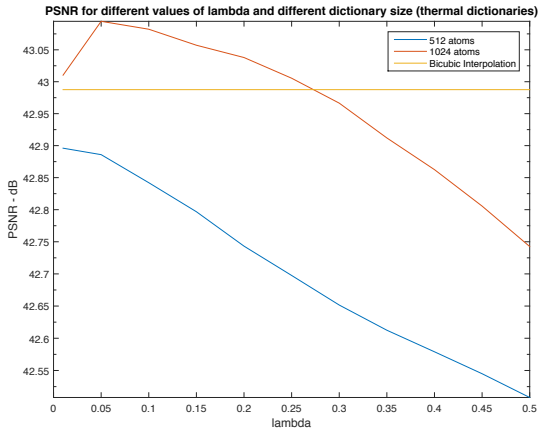
ΠΙΝΑΚΑΣ I: PSNR/MSE για λεξικά οπτικών εικόνων. Αριστερά: 512 όροι, Δεξιά: 1024 όροι.

λ	PSNR *dB*	MSE	PSNR *dB*	MSE
0.01	**44.34**	**2.40**	**43.97**	**2.61**
0.05	44.24	2.45	43.83	2.69
0.1	44.18	2.48	43.78	2.72
0.15	44.11	2.52	43.73	2.75
0.2	44.02	2.57	43.70	2.77
0.25	43.92	2.64	43.65	2.80
0.3	43.80	2.71	43.59	2.84
0.35	43.69	2.78	43.55	2.87
0.4	43.59	2.85	43.49	2.90
0.45	43.48	2.92	43.43	2.95
0.5	43.37	2.99	43.36	3.00

Οι τιμές σε PSNR και MSE της *Bicubic Interpolation* είναι: **PSNR:** 42.99 dB, **MSE:** 3.27 .

Παρατηρούμε ότι οι τιμές που παίρνουμε από τη μέθοδο αραιών αναπαραστάσεων είναι βελτιωμένες σε όλες τις περιπτώσεις και ειδικά στο PSNR το οποίο αποτελεί λογαριθμικό μέγεθος.

Χρησιμοποιώντας λεξικά που έχουν *εκπαιδευτεί* από οπτικές εικόνες έχουμε καλύτερα αποτελέσματα, πράγμα



Εικ. 3: *PSNR για ανακατασκευή με λεξικό θερμικών εικόνων.*

ΠΙΝΑΚΑΣ II: PSNR/MSE για λεξικά θερμικών εικόνων. Αριστερά: 512 όροι, Δεξιά: 1024 όροι.

λ	PSNR *dB*	MSE	PSNR *dB*	MSE
0.01	**42.90**	**3.34**	**43.01**	**3.19**
0.05	42.89	3.34	43.09	3.20
0.1	42.84	3.38	43.08	3.22
0.15	42.80	3.42	43.06	3.23
0.2	42.74	3.46	43.04	3.25
0.25	42.70	3.49	43.01	3.25
0.3	42.65	3.53	42.97	3.28
0.35	42.61	3.56	42.91	3.32
0.4	42.58	3.59	42.86	3.36
0.45	42.54	3.62	42.80	3.41
0.5	42.50	3.55	42.74	3.46

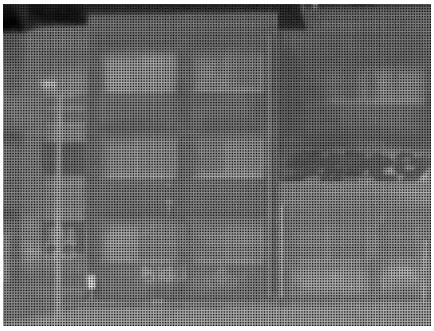
αναμενόμενο καθώς τα λεξικά χτίζονται με βάση τις *ακμές* των εικόνων, όπως είδαμε στο III-Γ΄. Οι οπτικές εικόνες περιέχουν πολύ περισσότερες ακμές συγκριτικά με τις θερμικές και αποτελούν καλύτερη πηγή για training data.

Β΄. Μέθοδος shift-add fusion

Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου *shift-add fusion* εξαρτάται αποκλειστικά από την ακρίβεια με την οποία θα ανιχνευθούν τα subpixel shifts από τη μέθοδο που έχουμε επιλέξει για *motion estimation*. Αν ανιχνευθούν σωστά οι μετατοπίσεις των LR εικόνων, τότε θα έχουμε απολύτως ακριβή αναπαράσταση, αλλά αυτό είναι αρκετά δύσκολο καθώς πολλές φορές μπορεί να υπάρχει θόρυβος που δυσκολεύει τις εκτιμήσεις, ή, εκτός της μετατόπισης να έχουμε και rotation, scaling, κλπ, τα οποία καθιστούν την ακριβή εκτίμηση των μετατοπίσεων αρκετά δύσκολη.

Όταν η εκτίμηση δεν είναι ακριβής, τότε παρατηρούμε *κενά* στην HR εικόνα, καθώς λόγω της λανθασμένης εκτίμησης η μέθοδος δεν είναι σε θέση να γνωρίζει σε ποια θέση της HR εικόνας αντιστοιχεί το κάθε pixel της κάθε LR εικόνας. Ένα τέτοιο παράδειγμα βλέπουμε στην Εικ. 4, όπου κατά την ανίχνευση των μετατοπίσεων χρησιμοποιήθηκε μικρός αριθμός από *feature points* στις LR εικόνες. Για την εικόνα αυτή έχουμε **PSNR:** 11.18 dB, ενώ η Bicubic Interpolation κατά τη μεγέθυνση μιας από τις LR εικόνες δίνει **PSNR:** 38.52 dB. Συμπληρώνοντας τα κενά με βάση

τις τιμές των γειτονικών τους pixels, παίρνουμε για την ανακατασκευασμένη εικόνα **PSNR:** 27.83 dB.



Εικ. 4: *Shift-add fusion reconstruction*

V. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συγκρίνοντας τις δύο μεθόδους ως προς τις μετρικές των HR εικόνων που παράγουν, παρατηρούμε πως η μέθοδος αραιών αναπαραστάσεων υπερτερεί σε κάθε περίπτωση στην ανακατασκευή δίνοντας σαν καλύτερη τιμή PSNR: 44.34 dB, τη στιγμή που η Bicubic δίνει 42.99 dB και η shift-add fusion δίνει στην καλύτερη περίπτωση (με συμπλήρωση κενών) 27.83 dB. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ξανά πως η μέθοδος compressed sensing απαιτεί μόλις μια LR εικόνα για να λειτουργήσει, ενώ η μέθοδος shift-add fusion απαιτεί ένα σετ από LR εικόνες.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΕΡΓΑΣΙΑ

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στα πλαίσια διπλωματικής εργασίας στο Εργαστήριο Επεξεργασίας Σημάτων και Τηλεπικοινωνιών του Τμήματος Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής (ΤΜΗΥΠ). Την παρούσα εργασία επέβλεπαν οι Καθηγητές Κωνσταντίνος Μπερμπερίδης (ΤΜΗΥΠ) και Αθανάσιος Στουραΐτης (ΤΗΜΤΥ) καθώς και ο Διδάκτωρ του ΤΜΗΥΠ Ευάγγελος Βλάχος.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[1] S. C. Park, M. K. Park, and M. G. Kang, "Super-resolution image reconstruction: A technical overview," IEEE Signal Processing Magazine, vol. 20, no. 3, pp. 21–36, May 2003.

[2] D. Keren, S. Peleg, and R. Brada, "Image sequence enhancement using subpixel displacements," in IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, June 1988, pp. 742–746.

[3] M. Irani and S. Peleg, "Improving resolution by image registration," CVGIP : Graphical Models and Image Process., vol. 53, no. 3, pp. 231–239, May 1991.

[4] S. Mann and R. W. Picard, "Virtual bellows: Constructing high quality stills from video," in IEEE International Conference of Image Processing, vol. 1, 1994, pp. 363–367.

[5] R. Schultz and R. Stevenson, "Extraction of high-resolution frames from video sequences," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 5, no. 6, pp. 996–1011, June 1996.

[6] R. Hardie, K. Barnard, and E. Armstrong, "Joint MAP registration and high resolution image estimation using a sequence of undersampled images," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 6, no. 12, pp. 1621–1633, December 1997.

[7] B. Tom and A. Katsaggelos, "Reconstruction of a high-resolution image by simultaneous registration, restoration and interpolation of low-resolution images," in IEEE International Conference on Image Processing, Washington, DC, vol. 2, 1995, pp. 539–542.

[8] A. Patti, M. Sezan, and A. Tekalp, "High-resolution image reconstruction from a low-resolution image sequence in the presence of time-varying motion blur," in Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing, Austin, TX, vol. 1, 1994, pp. 343–347.

[9] R. C. Hardie, K. J. Barnard, J. G. Bognar, E. E. Armstrong, and E. A. Watson, "High resolution image reconstruction from a sequence of rotated and translated frames and its application to an infrared imaging system," Optical Engineering, vol. 37, no. 1, pp. 247–260, January 1998.

[10] M. S. Alam, J. G. Bognar, R. C. Hardie, and B. J. Yasuda, "Infrared image registration and high-resolution reconstruction using multiple translationally shifted aliased video frames," IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 49, no. 5, pp. 923–915, October 2000.

[11] R. S. Wagner, D. E. Waagen, and M. L. Cassabaum, "Image super-resolution for improved automatic target recognition," in Proc. SPIE, Automatic Target Recognition XIV, F. A. Sadjadi, Ed., vol. 5426, September 2004, pp. 188–196.

[12] R. Y. Tsai and T. S. Huang, "Multiframe image restoration and registration," in Advances in Computer Vision and Image Processing: Image Reconstruction from Incomplete Observations, T. S. Huang, Ed., vol. 1. London: JAI Press, 1984, pp. 317–339.

[13] N. K. Bose, H. C. Kim, and H. M. Valenzuela, "Recursive total least squares algorithm for image reconstruction from noisy undersampled frames," Multidimensional Systems and Signal Processing, vol. 4, no. 3, pp. 253–268, July 1993.

[14] J. Yang, J. Wright, T. Huang, and Yi Ma. Image super-resolution via sparse representation. IEEE Transactions on Image Processing (TIP), vol. 19, issue 11, 2010.

[15] Compressive sensing, vol. 3, 2006.

[16] D. L. Donoho, "Compressed sensing," IEEE Transactions on Information Theory, vol. 52, no. 4, pp. 1289–1306, 2006.

[17] H. Rauhut, K. Schnass, and P. Vandergheynst, "Compressed sensing and redundant dictionaries," IEEE Transactions on Information Theory, vol. 54, no. 5, May, 2008.

[18] M. Elad and M. Aharon, "Image denoising via sparse and redundant representations over learned dictionaries," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 15, pp. 3736–3745, 2006.

[19] J. Mairal, G. Sapiro, and M. Elad, "Learning multiscale sparse representations for image and video restoration," Multiscale Modeling and Simulation, vol. 7, pp. 214–241, 2008.

[20] H. Lee, A. Battle, R. Raina, and A. Y. Ng, "Efficient sparse coding algorithms," in Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS), 2007.

[21] Jianchao Yang, Zhaowen Wang, Zhe Lin, and Thomas Huang. Coupled dictionary training for image super-resolution. IEEE Transactions on Image Processing (TIP), vol. 21, issue 8, pages 3467-3478, 2012.

[22] D. L. Donoho, "For most large underdetermined systems of linear equations, the minimal ℓ_1-norm solution is also the sparsest solution," Communications on Pure and Applied Mathematics, vol. 59, no. 6, pp. 797–829, 2006.

[23] "For most large underdetermined systems of linear equations, the minimal ℓ_1-norm near-solution approximates the sparsest near-solution," Communications on Pure and Applied Mathematics, vol. 59, no. 7, pp. 907–934, 2006.

[24] W. T. Freeman, T. R. Jones, and E. C. Pasztor, "Example-based superresolution," IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 22, pp. 56–65, 2002.

[25] W. T. Freeman, E. C. Pasztor, and O. T. Carmichael, "Learning lowlevel vision," International Journal of Computer Vision, vol. 40, no. 1, pp. 25–47, 2000.

[26] J. Sun, N. N. Zheng, H. Tao, and H. Shum, "Image hallucination with primal sketch priors," in IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), vol. 2, 2003, pp. 729–736.

[27] H. Chang, D.-Y. Yeung, and Y. Xiong, "Super-resolution through neighbor embedding," in IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Classification (CVPR), vol. 1, 2004, pp. 275–282.

[28] Martin A. Fischler and Robert C. Bolles (June 1981). "Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography". Comm. of the ACM 24 (6): 381–395

Serial Communication over BLE

RS-232 cable replacement over Bluetooth Low Energy

Ilias N. Tsingkas
Integrated Hardware and Software Systems Program
Department of Electrical and Computer Engineering
University of Patras
Patras, Greece

Petros G. Dimopoulos
Integrated Hardware and Software Systems Program
Department of Electrical and Computer Engineering
University of Patras
Patras, Greece

***Abstract*— Bluetooth is the most used wireless protocol to transfer data between low power devices. In the Bluetooth 4.0 specification a new concept of the protocol is introduced targeting this area: Bluetooth Low Energy (BLE) also known as Bluetooth Smart. The new specification lacks a method to transfer a constant stream of serial data, known as RFCOM in previous versions. Our approach is trying to fill the gap and additionally introduce a complete implementation of a drop-in replacement of a physical RS-232 cable. In order to accomplish that a mix of widely known technics like cyclic buffers, interrupts, state machines etc. are used. Also, the application is implemented on the provided Bluetooth stack by Dialog Semiconductors Software Development Kit. The proposed implementation is evaluated based on the maximum throughput and energy consumption. These measurements are taken with the use of additional tools such as a logic analyzer for the throughput and a current sensing circuit for the power consumption. Measurements show that implementation is achieving a maximum throughput of 10.9 KB/s which is almost saturating the RS-232 channel. On the other hand, power consumption is considered adequately low for a mobile application.**

Keywords—BLE; GATT; UART

I. Introduction

Bluetooth is a wireless technology standard that uses UHF radio waves (2.4 MHz to 2.485 MHz) for exchanging data over short distances. It is used from fixed and mobile devices to build personal area networks (PANs). Originally used as an alternative to RS-232 data cable link, can establish several connections over different devices managing synchronization issues.

Radio frequency band is divided in 1 MHz channels (a total of 79 channels) and since Bluetooth 4.0 it uses 2 MHz which allows 40 channels. Uses adaptive frequency hopping technology performing 1600 hops per second. Gaussian frequency-shift keying (GFSK) modulation, $\pi/4$-DQPSK and 8DPSK modulation schemes are used allowing data rates of 1, 2 and 3 Mbit/s respectively. Bluetooth is a packet based protocol with a master-slave structure.

Protocol describes the use of various profiles, which are definitions of possible applications and behaviors that devices use to communicate with other connected devices. There is a wide variety of Bluetooth profiles that describe many different types of applications or use cases for devices.

In Bluetooth classic there is a serial port profile (SPP) that emulates a serial port over air. For Bluetooth Low Energy there is no such profile and thereby no standardized way of transferring generic data over the air. A custom service over GATT is described in our approach, which emulates a serial cable communication. It provides a simple substitute for RS-232 connections, including the familiar software flow control logic.

II. BLE Stack

A software solution that describes the Bluetooth implementation is consisted of the protocol stack with services and profiles. The stack is a single mode Bluetooth Low Energy (BLE) protocol stack which contains all the protocol layers (HCI, L2CAP, ATT and SMP) including profiles (GATT, GAP). The protocol stack is provided with a reference Host Controller Interface (HCI) driver and with a small and efficient Real Time Operating System (RTOS), offering task management, inter-task communications, message (queues and events) management and timing management [1]. On the other side the application layer describes the possible applications supported and specifies the use cases and the behavior of the device as they appear to other Bluetooth low power devices.

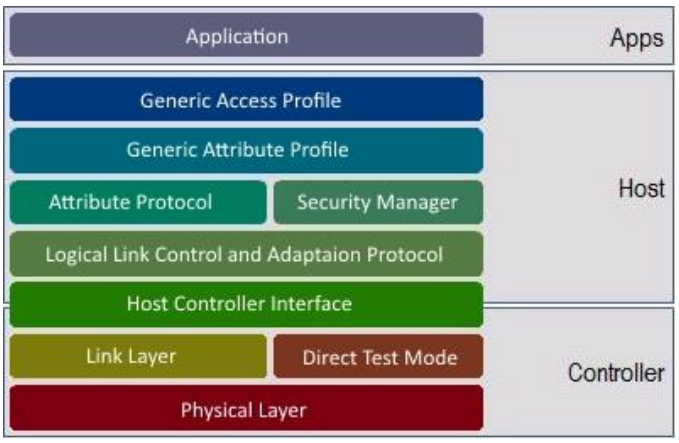


Fig. 1: BLE Stack

In a bottom up approach, the Bluetooth stack is consisted of the following layers [2, 3]:

- Physical layer is responsible for the transmission/reception of bits.
- Link layer is responsible for packet transfer and radio control.
- HCI is the interface between host and controller.
- L2CAP (Logical Link Control and Adaption Protocol) is the multiplexing layer for the BLE controlling two basic concepts L2CAP channels and L2CAP signaling commands.
- ATT (Attribute protocol) is the data access protocol.
- GATT (Generic Attribute protocol) is responsible of the data organization.
- GAP (Generic Access Profile) is responsible for tasks such as device discovery and connections
- Profiles define application specific data and access rules.

III. Service Description

The custom service creates and uses a custom profile that is used to send and receive data and flow control signals through a BLE connection. Also an application layer is created in order to scan for a device, establish and control connection and also handle exceptions (e.g. disconnect due to signal loss etc.)

Software is tested and evaluated on DA14580 Expert Development Kit (DK) by Dialog Semiconductors.

A. Hardware setup

The application is developed and tested on two DA14580 Expert DK. Each of them provide a daughterboard with the DA14580 IC and a motherboard with the necessary circuitry for the functionality of the chip. It also has an FTDI 2232 chip which provides two RS-232 physical links to USB. The RS-232 besides the Rx/Tx signals has the RTS/CTS control signals which are required for the hardware control [4].

Data is transferred from the PC through the FTDI chip to the DA14580 chip in physical layer. In software layer, data originated from the PC's console is transferred to the FTDI driver, is converted in RS-232 signals and fed to the DA14580. The chip sends data through the BLE protocol and our service profile to the connected device, which can be either another DA14580 chip or a generic BLE device, such as an Android or iOS mobile device, also using our service profile.

B. Application features

BLE stack declares two basic roles for the devices that use it. A device can be either a Master (or Central) device or a Slave (or Peripheral) device. The peripheral device creates and keeps the database and it enables the attributes. It notifies the connected central of the value changes and flow control messages. And finally, receives write commands of the data attribute or the flow control attribute.

Slave advertises its Bluetooth Address and the Unique Numeric ID (UUID) of the custom profile. It waits for connection requests by a listening Master and when a request arrives it initializes connection. Master scans for advertising devices and connects to the first with the profile's UUID in the advertising string by sending a connection request.

C. Profile Description

Our profile is a custom profile and therefore a 128 bit UUID is used. Standard profiles use prefixed 16 bit UUIDs and a random 128 bit UUID is generated and used as a base to the attributes of the database.

The BLE database is consisted of one service which contains three characteristics. Server_TX and Server_RX characteristics, which are used for transmitting and receiving data respectively from the server's perspective and also the Flow_CTRL attribute which is used to exchange flow control messages in both directions while having the size is a single byte. The size of the Server_TX and Server_RX characteristics is 160 bytes which the maximum of the data that the application can transmit in a single GATT command. As outlined in "TABLE I" service has a read property, Server_TX a notify property, Server_RX a write property and Flow_CTRL has both write and notify.

TABLE I. Device Service/Characteristics

Service/Characteristic	Properties	Size (B)
Service	READ	-
Server TX	NOTIFY	160
Server RX	WRITE_NO_RESPONSE	160
Flow CTRL	WRITE_NO_RESPONSE NOTIFY	1

D. UART Driver

The UART driver controls the UART peripheral module of the DA14580 and manages the serial connection between the DA14580 and the external host processor. It uses an interrupt based transmission and reception scheme requiring minimal CPU resources. It provides both software (XON/XOFF) and hardware (RTS/CTS) flow control methods to indicate to the connected device if data can be received in the internal buffers.

The driver also supports some of the most commonly used baud rates which can be selected at compile time: 9600, 19200, 38400, 57600 and 115200 bit/s enabling a maximum throughput of 11.25 KB/s.

Also, for the software flow control method, bytes with value 0x11 and 0x13 are used to indicate flow on and flow off respectively. The use of software flow control prohibits the transfer of binary data and printable characters can be transferred. On the other hand, hardware flow control enables the transfer of binary data because of the use of two additional lines to indicate the flow on and flow off signals.

E. BLE

The communication link is completed with the BLE radio, including the embedded hardware and also the given drivers from the DA14580 Expert DK that enable the ease of use of the hardware. All lower layers of the Bluetooth stack are

written and provided with a thorough interface of using them following the BLE protocol standards. Our profile is using GATT messages to and from the stack to pass information and data to control the BLE's state, get information of the connected device, explore the supported attributes, update their values etc.

Between the application and the profile a message queue mechanism is used to provide a flexibility of communication between layers. Such a mechanism requires a lot of information to be parsed in every message about the sender, the receiver and the type of the message and additionally inserts a delay in performance. That is the reason why our application chooses to initiate a data transfer in the application layer by sending a message to the profile but after that the profile auto triggers itself in sending the following data until the buffer is lower that a threshold.

F. Data scheduling and flow control

In an embedded device with limited processing and power resources, the chosen scheme of functionality becomes more important than on other devices. In order to utilize minimum resources an event driven scheme is chosen. This is accomplished by not polling peripherals for data but by using interrupts to trigger events to the MPU. Then the interrupt handlers, depending on the interrupt triggered, initiate the appropriate task by calling the respective Interrupt Service Routine (ISR) function. ISR functions have to be as short as possible because normal execution is paused in order to service the interrupt and it must be resumed to continue the normal execution flow.

Another aspect of the data scheduling is the cyclic FIFO buffers that are used. In order to achieve a high throughput and have a constant flow of data in both directions, two cyclic FIFOs are implemented. The UART driver pushes the data received from the UART interface into the "UART to BLE" buffer, while the profile state machine pushes the data received via the BLE interface into the "BLE to UART" buffer. The scheduling of data transmission is performed using the following methods:

- For the data received over the UART interface, an asynchronous process checks the presence of pending data in the UART to BLE buffer and if there is no data transfer ongoing it initiates it. It schedules transmission of the data at the head of the FIFO to the BLE interface, via a data streaming mechanism and the corresponding profile characteristic. Then a completion event message in profile service task is used to schedule the subsequent data transmission.
- The scheduling of data transmission to the UART is initiated in the process of pushing the data into the "BLE to UART" buffer, performed by the service. When the UART interface path is already busy, the check of pending data in the FIFO is performed again upon completion of the active UART transmit process.

A High Watermark (HWM) and a Low Watermark (LWM) margins are defined in order to control the data transfer. The application turns off the incoming flow by sending a flow off when HWM is reached in the cyclic buffer. If BLE to UART cyclic buffer's HWM is reached then a flow off signal is sent to the connected device via the BLE connection and the Flow_CTRL characteristic. If the LWM is reached then a flow on is sent to re-enable the incoming data flow. The same will happen when the "UART to BLE" buffer's HWM and LWM are reached with the difference that the flow off and flow on signals will be sent through the UART driver, and converted accordingly to the selected configuration to XON/XOFF signals or RTS/CTS signals.

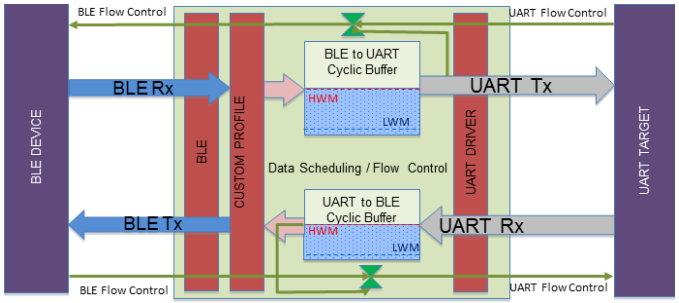


Fig. 2: Data and Flow Control

IV. MEASUREMENTS

To measure the throughput of the set-up with the two DA14580 expert devices a series of tests were conducted. Measurements were conducted on half duplex on both data flow directions as well as on full duplex. Measurements depend on the Maximum Transmission Unit (MTU) and connection interval, which is negotiated at the connection phase. In our implementation selected MTU, connection interval and maximum write command size is presented in "TABLE II". The maximum write command size refers to the maximum data written in a single GATT command.

TABLE II. THROUGHPUT MEASUREMENTS

Measurements	***Units***	***Value***
MTU	octets	>130
Connection interval	msec	11.25
Max write command size	bytes	128
Central TX (half duplex)	Kbytes/sec	10.9
Peripheral TX (half duplex)	Kbytes/sec	10.9
Full duplex	Kbytes/sec	10.9

Another important aspect of an embedded application is power consumption. Our application uses the "Extended Sleep" state provided by the DA14580 Expert DK drivers to achieve lower average currents. To measure current a circuit on the DA14580 Expert DK motherboard was used. Average current varies with the state of the device (transferring or idling). As presented in "TABLE III", when DA14580 IC is connected and idle, it consumes an average current of 0.1926mA in one connection interval of 11.25 milliseconds.

When transferring data, it consumes an average current of 1.0256mA. When transferring data, device is always active in order to keep the UART interface enabled.

TABLE III. CURRENT MEASUREMENTS

DA14580 state	***Units***	***Value***
Idle	mA	0.1926
Transferring	mA	1.0256

V. CONCLUSION

To conclude, the proposed implementation was successfully evaluated in the areas of maximum throughput and power consumption. Measurements showed that it can be a used as an RS-232 cable replacement as it provides full capabilities of the serial interface including software and hardware flow control. Measurements showed that implementation can achieve a maximum throughput of 10.9 KB/s which is almost saturating the RS-232 channel. Additionally, power consumption is considered adequately low for a mobile application with low power demands.

VI. AKNOWLEDGEMENT

This work has been performed in the framework of a joint R&D project between the University of Patras (Communication and Embedded Systems Group - COMES) and the Dialog Semiconductor Hellas.

VII. REFERENCES

[1] Dialog Semiconductor, “User manual DA14580 Software architecture UM-B-015”, unpublished.

[2] Robin Heydon , “Bluetooth Low Energy, The developer’s handbook”.

[3] Bluetooth SIG, “Bluettoth specification version 4.0”, vol 0.

[4] Dialog Semiconductor, “User manual DA14580 Bluetooth® Smart Development Kit – Expert UM-B-014”, unpublished.

A photodiode sensing circuit for operation in harsh environments

Kyriakos Kaslis, and Kyriakos Vlachos
Computer Engineering and Informatics dept. University of Patras, GR26500, Rio, Greece

≥

***Abstract*—In this paper we present a novel design of a optoelectronic circuit capable of sensing small photodiode currents suitable for harsh environments. Photodiode performance in such harsh environments continuously deteriorates, exhibiting large leakage current and a low responsitivity (A/W). In this paper, we propose a combined DC cancellation circuit together with a voltage controlled amplifier stage to trade off these performance degradation. The proposed opto-electronic circuit can sense currents from 100nA to 10uA, has a wide range of variable gain and, relatively, high bandwidth, thus making it suitable for a variety of applications.**

***Index Terms*—variable gain amplifier, transimpedance amplifier, photodiode, DC cancellation**

I.INTRODUCTION

Photodiodes are being used in a number of different applications and environments. Lately, there has been an increased interest in optoelectronic circuits that can function reliably in extreme conditions (e.g. outer space). These systems must be carefully designed to be immune in large changes of temperature and/or radiation. It is necessary to balance performance degradation ie appearance of leakage currents and/or a slow deterioration of photodiode responsitivity. In this paper, we propose a novel opto-electronic circuit for sensing photodiodes currents that combines a DC cancellation circuit and a voltage controlled, variable gain amplifier. We introduce a transimpedance amplifier that can convert the current coming out of a photodiode to voltage and, at the same time, suppress the DC signal associated with it. Then, the AC signal is being amplified through an amplifier, whose gain can be controlled. In this way, a form of automatic gain control can be achieved, but its exact implementation will not be discussed in this paper. In what follows, the operation of the circuit is thoroughly analyzed and its advantages, disadvantages and potential improvements are examined.

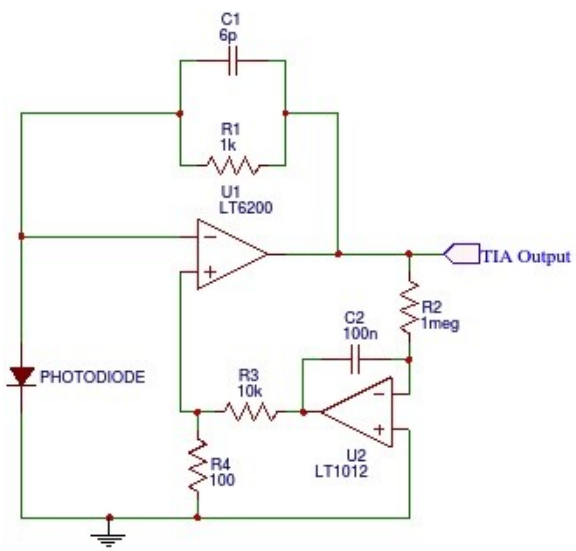
≥ This paper was submitted for review on February 9, 2015

Kyriakos Kaslis and Kyriakos Vlachos are with the Computer Engineering and Informatics Department, University of Patras, 26500 Patras, Greece(e-mail:kaslis@ceid.upatras.gr, kvlachos@ceid.upatras.gr)

II.DESIGN AND OPERATION

DC cancellation circuit utilizing a Transimpedance Amplifier

Every optoelectronic receiver contains a sub-circuit that converts the photodiode's output current to an appropriate voltage. Since we feed this circuit with a small current and take out a voltage orders of magnitude larger, we call it "transimpedance amplifier" (TIA). Similarly, the circuits that receive a voltage and produce a current are called "transcoductance amplifiers". The TIA used in this paper can be seen in Figure 1. It is a slightly altered version of the circuit used in [1], [2] and its theory of operation will be presented shortly. Assume that the non-inverting input of U1 is in AC ground and that the photodiode's equivalent circuit is an ideal



[FIG1] A Transimpedance Amplifier circuit with DC Cancellation capability.

current source with intensity Ip. Capacitor C1 and resistor R1 form an impedance Z1 which is equal to

$$Z1=\frac{R1}{(1+R1sC1)} \quad (1)$$

where $s=j\omega$ is the complex frequency. If the frequency of operation is low enough that the denominator is close to 1, then Z1 is approximately equal to R1. Since the inverting input acts like a virtual ground the output voltage is equal to

$$Vout=IpZ1\approx IpR1 \quad (2)$$

It is evident that the resistance R1 sets how much voltage we get in exchange for a particular amount of current. It is tempting to increase the R1 as much as possible, but that extra gain is not for free. The circuit's bandwidth will drop and its noise will increase (Johnson noise). The reason why the capacitor C1 has been added in parallel with R1, even though we will neglect it in our calculations, is to ensure the amplifier's stability. In reality, the photodiode has a parallel parasitic capacitance and, also, there is a frequency where the amplifier adds a 90 degree phase shift between the input and the output. In addition, there is already a 180 degree phase difference between the input and the output because of the negative feedback. So, the total phase shift can reach a full circle and oscillations might occur. C1 makes sure that the feedback gain will not be sufficient for the circuit to sustain oscillations, thus retaining its normal operation.

The TIA uses a widely known DC cancellation mechanism that has appeared in literature before, for example in [3]. If there is any DC offset at the output of U1 it will appear at the other side of R2 because the capacitor and the inverting input of U2 are DC open circuits. However, that will force U2 to either increase or drop its output voltage, thus slowly charging capacitor C2. The voltage change will stabilize when the U2's non-inverting and inverting inputs become equal in voltage, which leads to the cancellation of U1's output offset.

If our only concern was the offset voltage, then, at least in theory, U2 would be the only component needed in this schematic. Nevertheless, the other parts are truly necessary for a proper operation to be achieved. Firstly, without R2 the feedback op amp would null the AC signals as well. Instead, by adding R2 and assigning it a value in the Mohm range we block the AC signal from interfering with the DC cancellation, hence validating the assumption made about U1's non-inverting input being in AC ground. Secondly, capacitor C2 and the voltage divider consisted by resistors R3 and R4 ensure a smooth transition when an offset is present. If R3 and R4 were absent, oscillations would likely occur because U2's maximum output voltages would instantly appear at U1's input.

The U2 operational amplifier must be a precision, low offset op amp. In this paper, the performance of LT1012 has been assessed and found to be adequate for the needs of our circuit. More precisely, according to its datasheet [4], the manufacturer guarantees a maximum offset voltage of 25 μV.

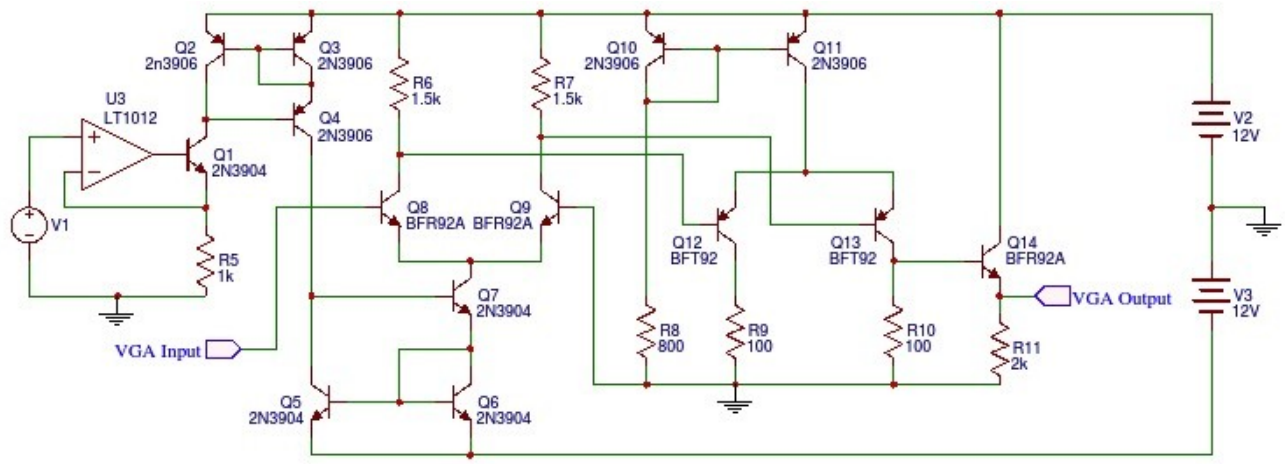
A. The Variable Gain Amplifier

As mentioned above, the photodiode's responsivity decreases when used in harsh enviroments. In order to balance this decrease in Watt-to-Ampere conversion, we used a voltage gain controlled amplifier has been designed to control/increase photodiode output at will. The design circuit uses solely discrete components available from major semiconductor manufacturers and its schematic can be seen in Figure 2. It consists of three amplifier stages, namely two emitter couples differential pairs and an emitter follower. The principle of operation is relatively simple. According to [5], the differential mode gain of the differential pair is

$$A_{dm}=-g_m R_C=\frac{-I_C}{V_T}R_C \quad (3)$$

where I_C is the collector current, R_C is the collector resistance and V_T is the thermal voltage. That means we can alter the gain of the amplifier by modifying the collector current.

This is exactly what has been done with the



[FIG2] Voltage Controlled Amplifier

U3 op amp and the Q1-Q7 transistors. U3 and Q1 form a high fidelity current source and the collector current of Q1 is forced by U3 to be

$$I_{C1}=\frac{V1}{R5} \tag{4}$$

There is, however, one limitation. The U3's output is one base-emitter voltage drop (*Vbe*) above *V1* and Q1's collector voltage is two *Vbe* below the positive power supply. Consequently, *V1* cannot exceed about 10 Volts. Again, the LT1012 was used because of its high precision.

Q2-Q7 form two Wilson current mirrors. The main advantage of that current mirror versus a conventional one is its output resistance, which is increased due to the negative feedback that it implements and the higher mirror ratio it provides. By choosing that particular topology we have achieved to mirror Q1's collector current to the emitters of the input differential pair. In other words, the collector current of Q8 and Q9 is

$$I_{C8}=I_{C9}=\frac{I_{C1}}{2} \tag{5}$$

The tricky part in designing an amplifier of this kind is to find the proper DC operating point. Obviously, we want the control voltage V1 to vary as much as possible in order to achieve a wide range of gain. On the other hand, that will affect the DC voltage of Q8-Q9 collectors. To make things worse, according to [6] and [7] in order to achieve a high frequency of operation we must establish high intensity currents. In other words, the collector resistors (and the gain) have to be small, otherwise the collector voltages would exceed the allowed range of values they can take.

Q10 and Q11 form a current source that establishes the bias current of the Q12-Q13 differential pair. The resistor R8 has been chosen such that the base of Q14 to be approximately one *Vbe* above ground and that leads the amplifier's output offset voltage to be, roughly, zero. The most important feature of the second differential pair is not so much its contribution to the total gain as its function as buffer between the input amplifier, which has a variable operating point, and the output amplifier, which must have a stable operating point. The gain equation of the whole amplifier, as a function of the control voltage V1, can now be derived.

We mentioned earlier, that the differential gain of the differential pair depends on the collector current and the collector resistor. The former is known, since it is set by an outside source through V1, and the latter has to be calculated. The total resistance seen from the collector of Q8 or Q9 is R6 or R7 in parallel with the input resistance of the next amplifier stage, namely the r_π, whose value is been given by the next formula

$$r_\pi=\frac{\beta}{g_m}=\beta\frac{V_T}{I_C} \tag{6}$$

where β and I_C is the small-signal current gain and the collector current, respectively, of the BFT92 transistor. As usual, V_T is the thermal

voltage. All things considered, the small signal differential voltage at Q8's and Q9's collector as a function of the small signal voltage at the base of Q8 is

$$V_{Cd}=V_{C9}-V_{C8}=g_m R_C \qquad (7)$$

and using (4), (5) and (6) we get

$$V_{Cd}=\frac{V1}{(2R5V_T)}(R7\|r_\pi)V_{b8} \qquad (8)$$

The exact same procedure can be followed for the analysis of the PNP differential pair. However, we can neglect the input resistance of the final stage due to its size compared to R10 and that gives the following relationship between the collector voltage of Q13 and the differential collector voltage of Q8-Q9

$$V_{13}=-g_m R10=\frac{(V_{be}-V_P)}{(4R8V_T)}R10V_{Cd} \qquad (9)$$

For the last stage of the amplifier, even though it is a common collector topology, its gain is not unity but has been experimentally shown to be about 0.8 because the resistance seen by the base of Q14 is not much smaller than the same transistor's r_π. Taking that fact into account, combining (8) and (9) and substituting the values shown in Figure 2 we get the overall Gain Function

$$G_F \approx -25V1 \qquad (10)$$

Nevertheless, there are additional effects that render (10) inaccurate. For example, the PNP transistor has a low beta and that prohibits its collector current to be close to its emitter current. Furthermore, even the Wilson current source exhibits a significant error when used with high currents, like in Figure 2. For the aforementioned reasons, an experimental Gain Function has been calculated and is equal to

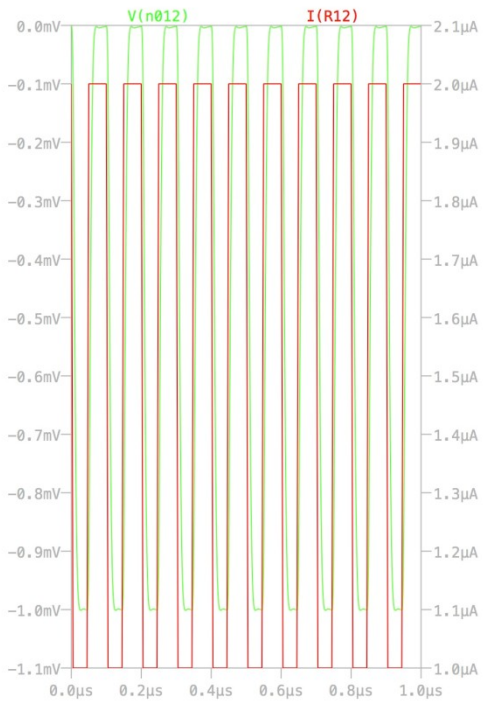
$$G_F \approx -20V1 \qquad (11)$$

III. Experimental analysis

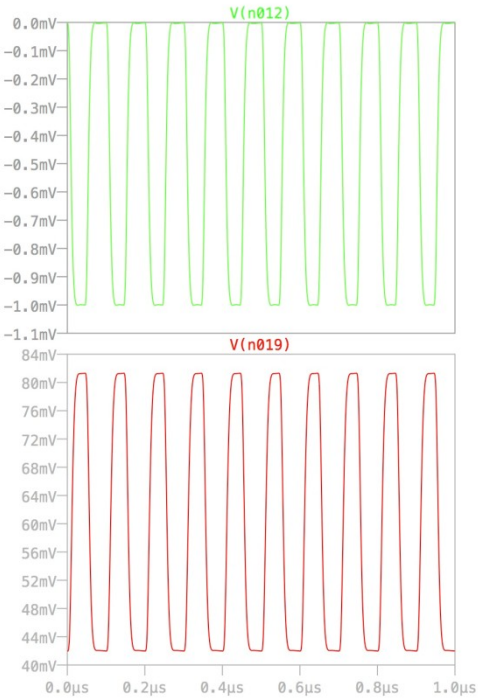
For the purposes of the circuit emulation, we used LTSpice IV running on a MacBook Pro Intel i5 2.4 GHz, OS X 10.9.4.

A. *First Stage Performance Evaluation*

The first stage of the circuit, which is depicted in Figure 1, consists of a TIA and a DC cancellation sub-circuit. Its function is the conversion of the photodiode current to an appropriate voltage and the removal of the DC offset caused, mostly, by the photodiode's dark current. To demonstrate its function, the photodiode will be modeled as two current sources and a capacitor in parallel. The one current source carries the useful signal, the other current source represents the dark current and the capacitor is added to model the inherent parasitic capacitance. Figure 3 shows the input-output relationship between the total current that enters the photodiode and the voltage at the output. As you can see, despite the fact that the input current is a pulse with 1 uA peak-to-peak amplitude on top of a DC current of, also, 1 uA of amplitude, the output voltage contains only



[FIG3] Current-Voltage Conversion and DC Current Cancellation



[FIG4] Variable Gain Amplifier Input/Output Graph for V1=2V

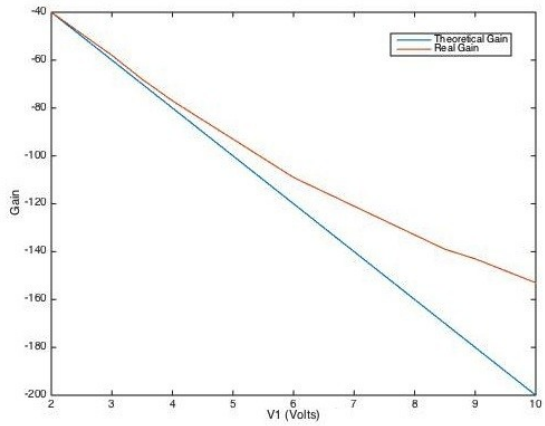
the pulse and rejects the DC current. Also, notice that the current-voltage gain was found correctly by (2).

B.Second Stage Performance Evaluation

The second stage of the circuit, which is depicted in Figure 2, consists of a Voltage Controlled Amplifier. For the sake of our analysis, three graphs will be presented.

Figure 4 shows a pulse with 1 mV of peak-to-peak amplitude and the output that it produces for a particular value of the control voltage V1. Firstly, we notice that (11) accurately predicts the input-output relationship in terms of amplitude and phase. Secondly, no phase shift or ringing effects are taking place and that proves the amplifier's ability to operate at high frequencies (more than 10 MHz).

Next, we are going to compare the gain predicted by the Gain Function (11) with the actual gain of the circuit for numerous different values of V1. We have measured the actual gain through the emulator for various values of V1 and have plotted it in the same graph with the theoretical gain, as predicted by (11). The result



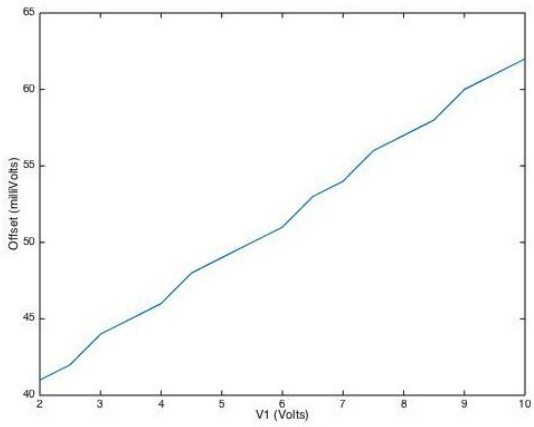
[FIG5] Gain vs Control Voltage

is shown in Figure 5. As you can see, the real gain's deviation from (11) is proportional to the control voltage V1 and the amplifier is capable of gains between -40 and -145.

Finally, for some applications (for example, when the amplifier is driving an ADC) it is important to know the output's offset voltage. Intuitively, we are expecting to observe an increase in the output voltage when we increase the control voltage V1. That is because the collector voltages of Q8-Q9, V_{C8} and V_{C9}, are inversely proportional to V1 and the collector currents of Q12-Q13, I_{C12} and I_{C13}, are inversely proportional to these voltages. Furthermore, the offset voltage is proportional to I_{C12} and I_{C13}. Figure 6 proves our point.

IV. Conclusion

In this paper, we presented a circuit that converts small currents, produced by a



[FIG6] Output Offset Voltage vs Control Voltage

photodiode, to larger voltages while rejecting any DC currents, which do not possess any useful information, and then further amplifies

the signal using a voltage controlled amplifier. A possible improvement that will be examined in future papers is the addition of an automatic gain control mechanism. Instead of setting the gain by hand, as we did in the analysis, it can be set automatically by an external circuit that maximizes the gain-to-distortion ratio.

V. References

[1] Getting the best out of photodiode detectors, Advanced Technology Development Group, Gray Cancer Institute

[2] Stabilize Your Transimpedance Amplifier, Application Note 5129, Maxim Integrated

[3] P. Horowitz, and W. Hill, "Chapter 7", in The Art of Electronics, 2nd ed, Cambridge University Press, 1989

[4] LT1012A/LT1012 Datasheet, Linear Technology, 1991

[5] P. R. Gray, P. J. Hurst, S. H. Lewis, and R. G. Meyer, Analysis and Design of Analog Integrated Circuit, 5th ed, John Wiley & Sons, 2010

[6] BFT92 Datasheet, NXP Semiconductors, 1992

[7] BFR92 Datasheet, NXP Semiconductors, 2009

Kaslis C. Kyriakos is an undergraduate student at the department of Computer Engineering and Informatics, University of Patras, Greece. He is a member of IEEE (since 2011) and the Circuits and Systems, Signal Processing, Antennas and Propagation and Microwave Theory and Techniques societies. He also has a blog (kaslis.com) where he writes frequently about topics of his interest, such as analog electronics and signal processing. In his free time, he enjoys reading, watching sports and riding his bicycle in the city of Patras.

Kyriakos G. Vlachos, received his Dipl.-Ing. degree in electrical and computer engineering from the National University of Athens (NTUA), Greece, in 1998 and his Ph.D. in electrical and computer engineering, also from NTUA, in 2001. From 1997 to 2001 he was a Senior Research Associate in the Photonics Communications Research Laboratory (ICCS/NTUA). In 2001, he joined Bell Laboratories, Lucent Technologies, working in the Applied Photonics Group. Since 2003, he had been also a member of the Computer Engineering Laboratory of the Technical University of Delft, and since 2005 he has been a Faculty Member of the Computer Engineering and Informatics Department of the University of Patras, Greece. His research interests are in the areas of architectures and technologies for broadband, high-speed networks. Prof. Vlachos has participated in various research projects funded by the European Commission (IST-STOLAS, IST-PRO3, ESPRIT-DOALL, ephoton/ONe+, ICT-BONE, and ICT-DICONET). He is the (co)author of more than 120 journal and conference publications and also holds two international patents.

[Συνεδρία Ανθρωποκεντρικών Δεδομένων]

Ομιλητής Συνεδρίας: Ηλίας Μανωλάκος (Παν. Αθηνών)
Προεδρείο: Κωνσταντίνος Μπερμπερίδης (Παν. Πατρών)

1. Μελέτη της καταγραφής μονοφωνικής μουσικής σε πεντάγραμμο με WYSIWYG score-writer χρησιμοποιώντας πληκτρολόγιο χωρίς Numpad – Κοκκινόπουλος Κωνσταντίνος
2. Unsupervised analysis of EEG signals for the disxovery of ictal patterns – Πίππα Ευαγγελία, Μπόρας Ιωσήφ
3. Αναγνώριση συναισθήματος με χρήση ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος και στατιστικής ανώτερης τάξης – Αμαραντίδης Λάμπρος, Θεοχαρίδηδς Χάρης, Χατζηκωνσταντίνου Χρήστος
4. Design of augmented reality #D rehabilitation application using an inertial measurement unit – Κονταδάκης Γρηγόριος, Χασιούρας Δημήτριος, Πρωιμάκη Δέσποινα
5. Real-time medical collaboration services over the web – Ανδρίκος Χρήστος, Ρασσιάς Γεώργιος
6. Gesture recognition for alphabet characters from fingertip motion trajectory using LRB hidden Markov models – Λιάκης Ιωάννης
7. Ανάπτυξη διάταξης βιομηχανικής όρασης για προσδιορισμό θέσης και προσανατολισμού κινούμενων αντικειμένων και οδήγηση ρομποτικού βραχίονα – Κανελλάκης Χριστόφορος, Κυρίτσης Γιώργος, Τσιλομήτρου Ουρανία
8. Power-over-tether: A remote powering system for small unmanned aerial vehicles – Ζήκου Λήδα, Παπαχρήστος Χρήστος

Μελέτη της καταγραφής μονοφωνικής μουσικής σε πεντάγραμμο με WYSIWYG Scorewriter χρησιμοποιώντας πληκτρολόγιο χωρίς Numpad

Κωνσταντίνος Α. Κοκκινόπουλος, Προπτυχιακός Φοιτητής, Πανεπιστήμιο Πατρών

***Περίληψη*—Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της διεπαφής χρήστη των What You See Is What You Get (WYSIWYG) προγραμμάτων καταγραφής μουσικής (scorewriters), τα προβλήματα που προκύπτουν από την έλλειψη αριθμητικού πληκτρολογίου και η αντιμετώπισή τους. Η εργασία εστιάζει στην καταγραφή μονοφωνικής μουσικής, με συμπεράσματα που μπορούν να γενικευθούν έως ένα βαθμό και στα υπόλοιπα είδη μουσικής.**

***Λέξεις-κλειδιά*—Αλληλεπίδραση ανθρώπου–μηχανής, Διεπαφή χρήστη (User Interface), Καταγραφή μουσικής (Music notation), Προγράμματα καταγραφής μουσικής (Scorewriters)**

I. Εισαγωγη

Η μουσική στοιχειοθεσία αποτέλεσε εξ αρχής έναν ιδιαίτερο τομέα της τυπογραφίας. Οι ιδιαιτερότητες που παρουσιάζει η καταγραφή ενός μουσικού κειμένου, ή αλλιώς μιας παρτιτούρας, οδήγησαν στη δημιουργία ενός αρκετά μεγάλου συνόλου κανόνων στοιχειοθεσίας με συνέπεια την αντίστοιχη αύξηση της πολυπλοκότητας της στοιχειοθεσίας. Με την έλευση των συστημάτων Επιτραπέζιας Τυπογραφίας (Desktop Publishing, DTP) αυτοί οι κανόνες μεταφράστηκαν σε αλγόριθμους κατανοητούς από ηλεκτρονικό υπολογιστή και αναπτύχθηκαν τα πρώτα προγράμματα μουσικής στοιχειοθεσίας, γνωστά με τον όρο *scorewriters*.

Με τη διάδοση των προσωπικών υπολογιστών, εμφανίστηκε η ανάγκη αναθεώρησης της διεπαφής των προγραμμάτων συγγραφής μουσικής έχοντας ως πρότυπο την ευχρηστία των επεξεργαστών κειμένου. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη εφαρμογών ικανών να δημιουργήσουν επαγγελματικής ποιότητας κείμενα χρησιμοποιώντας οικείους τρόπους αλληλεπίδρασης με τους χρήστες. Η ανάπτυξη των εφαρμογών αυτών έλαβε χώρα κυρίως κατά τη δεκαετία του 1990, όταν οι περισσότεροι ηλεκτρονικοί υπολογιστές ήταν desktop computers με πλήρη πληκτρολόγια 101–105 πλήκτρων, οπότε θεωρήθηκε ασφαλές να χρησιμοποιηθεί το πλήρες εύρος του πληκτρολογίου για την άμεση πρόσβαση σε όσο το δυνατόν περισσότερες λειτουργίες.

Με την έλευση των φορητών υπολογιστών και τις σύγχρονες μινιμαλιστικές τάσεις σχεδιασμού, παρατηρείται η εγκατάλειψη του αριθμητικού πληκτρολογίου στα νεώτερα compact πληκτρολόγια ή στους σύγχρονους φορητούς υπολογιστές μικρής και μεσαίας κατηγορίας μεγέθους.

Ο σκοπός της εργασίας είναι να παρουσιαστούν τα προβλήματα που αντιμετωπίζει ένας μέσος χρήστης από αυτή τη σχεδιαστική αλλαγή και να προταθούν οι ανάλογες λύσεις, χρησιμοποιώντας μοντέλα και μεθόδους που εφαρμόζονται στην ανάλυση των Διεπαφών Χρήστη. Παράλληλα αναλύεται η πορεία που θα ακολουθήσει κάποιος μηχανικός λογισμικού με σκοπό τη βελτίωση του Interface μίας ήδη υπάρχουσας εφαρμογής έχοντας ως εφαλτήριο την αξιολόγηση της προϋπάρχουσας Διεπαφής Χρήστη.

II. Στοιχεια Μουσικης Θεωριας

Μουσική σημειογραφία ονομάζεται το σύστημα με το οποίο καταγράφεται κάποιο είδος μουσικής. Διεθνώς έχει επικρατήσει η λεγόμενη *ευρωπαϊκή* ή *δυτική* σημειογραφία κατά την οποία η μουσική γράφεται με τη βοήθεια πέντε ίσων παράλληλων οριζόντιων γραμμών, του *πενταγράμμου*.

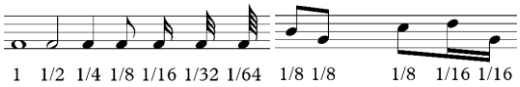
A. Φθογγόσημα

Οι ήχοι οι οποίοι αντιστοιχούν σε διαφορετικές ακουστικές συχνότητες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή της μουσικής ονομάζονται *νότες* ή *φθόγγοι* και καταγράφονται με *φθογγόσημα* που τοποθετούνται πάνω στις πέντε γραμμές του πενταγράμμου και στα τέσσερα διαστήματα που σχηματίζουν μεταξύ τους. Χάριν συντομίας, τα φθογγόσημα αποκαλούνται επίσης νότες. Στην περίπτωση που κάποια νότα είναι πολύ ψηλή ή πολύ χαμηλή χρησιμοποιούνται *βοηθητικές γραμμές* πάνω ή κάτω από το πεντάγραμμο. Μπορούμε να φανταστούμε τις βοηθητικές γραμμές ως τμήματα επιπλέον παράλληλων γραμμών του πενταγράμμου [1].

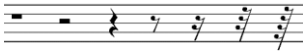
Η διάρκεια μιας νότας στη μονάδα του χρόνου ονομάζεται *αξία*. Οι συνήθως χρησιμοποιούμενες αξίες ονομάζονται ολόκληρο, μισό, τέταρτο, όγδοο, δέκατο έκτο, τριακοστό δεύτερο και εξηκοστό τέταρτο [2]. Κάθε μία έχει τη μισή χρονική διάρκεια της αμέσως προηγούμενης. Υπάρχουν επίσης σημάδια που ισοδυναμούν με ορισμένο διάστημα σιωπής και ονομάζονται *παύσεις* [3] και οι αξίες τους αντιστοιχίζονται με τις αξίες των νοτών.

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του μαθήματος «Επικοινωνία Ανθρώπου–Μηχανής και Σχεδίαση Διαδραστικών Συστημάτων (HCI)» και υποβλήθηκε στο ΣΦΗΜΜΥ8 στις 8 Φεβρουαρίου 2015.

Ο Κωνσταντίνος Κοκκινόπουλος είναι προπτυχιακός φοιτητής στο Πανεπιστήμιο Πατρών. Ομάδα Αλληλεπίδρασης Ανθρώπου-Υπολογιστή, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Οδ. Ερατοσθένους, ΤΚ 26500, Ρίο Πάτρας, Ελλάδα. Τηλέφωνο: (+30) 2610-996898 ή (+30) 2610-996435. (e-mail: kkokkino@gmail.com).

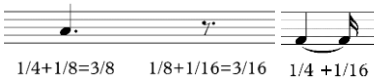


Σχ. 1. Οι συνήθεις αξίες. Πολλές συνεχόμενες μικρές αξίες – όγδοα και μικρότερες από όγδοα – είναι δυνατόν να ενωθούν μεταξύ τους.

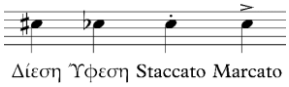


Σχ. 2. Παύσεις ολοκλήρου έως εξηκοστού τετάρτου.

Μετά από κάθε φθογγόσημο μπορεί να τοποθετηθεί μία τελεία που ονομάζεται *στιγμή διαρκείας* και προσθέτει επιπλέον μισή αξία και η νότα ονομάζεται παρεστιγμένη [4]. Μπορούμε να προσθέσουμε οποιεσδήποτε και οσεσδήποτε αξίες της ίδιας νότας, αν τις γράψουμε και τις ενώσουμε ανά δύο με μια καμπύλη γραμμή που ονομάζεται *σύζευξη διαρκείας* [1]. Τέλος, υπάρχουν σημάδια που ονομάζονται *σημεία αλλοιώσεως* και *σημεία ερμηνείας*, τα οποία τοποθετούνται αριστερά, πάνω ή κάτω από τις νότες.



Σχ. 3. Στιγμή και σύζευξη διαρκείας. Είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί και δεύτερη στιγμή διαρκείας που προσθέτει επιπλέον το ¼ της αξίας της νότας.



Σχ. 4. Μερικά σημεία αλλοιώσεως και ερμηνείας.

B. Μέτρο, ρυθμός και χρόνος

Το πεντάγραμμο χωρίζεται με κάθετες γραμμές που ονομάζονται *διαστολές*, ενώ η απόσταση μεταξύ διαστολών ονομάζεται *μέτρο*. Υπάρχουν διάφορα είδη διαστολών. Η παρτιτούρα τελειώνει με *διπλή διαστολή*. Το άθροισμα των αξιών που βρίσκονται σε κάθε μέτρο πρέπει να ισούται με το κλάσμα που βρίσκεται στην αρχή του πρώτου μέτρου. Το κλάσμα αυτό ονομάζεται *ρυθμός* και καθορίζει το πλήθος των φθογγόσημων προς τη χρονική τους αξία.

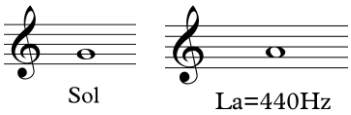
Η ταχύτητα εκτέλεσης ονομάζεται tempo (πληθ. tempi) και δηλώνεται είτε με υποκειμενικούς όρους στην αρχή της παρτιτούρας (ρυθμικές ενδείξεις), οι οποίοι συνήθως είναι στα Ιταλικά, είτε με τη χρήση μιας μετρονομικής ένδειξης (tempo marking) όπου επιλέγεται ως βάση μία αξία που ονομάζεται παλμός και μετριέται το πλήθος των παλμών ανά λεπτό [5]. Η μονάδα μέτρησης είναι bpm – beats per minute.

C. Τονικό ύψος

Για την ονομασία των νοτών είναι εν χρήσει δύο συστήματα. Στην Ελλάδα χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο το ιταλικό σύστημα, κατά το οποίο οι νότες ονομάζονται Do, Re, Mi, Fa, Sol, La, Si. Κατά το αγγλικό σύστημα, οι νότες ονομάζονται με τα γράμματα C, D, E, F, G, A, B αντίστοιχα.

Στην αρχή της παρτιτούρας τοποθετείται ένα *κλειδί*, το οποίο ορίζει τη θέση μίας νότας αναφοράς, ενώ οι υπόλοιπες νότες ονοματίζονται κατά σειρά σε σχέση με τη νότα αναφοράς. Στην εργασία χρησιμοποιείται, χωρίς απώλεια γενίκευσης, το κλειδί του Sol, το οποίο ορίζει ότι η νότα Sol βρίσκεται στη δεύτερη γραμμή. Η μέτρηση των γραμμών και των διαστημάτων γίνεται από κάτω προς τα πάνω.

Οι συχνότητες των φθόγγων προκύπτουν από μαθηματικές σχέσεις με σημείο αναφοράς τη συχνότητα του La στο δεύτερο διάστημα με κλειδί του Sol, η οποία σχεδόν πάντα είναι 440 Hz [6]. Τα ονόματα των φθόγγων επαναλαμβάνονται ανά επτά νότες. Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο νοτών με το ίδιο όνομα λέγεται οκτάβα.



Σχ. 5. Το κλειδί του Sol και η νότα La=440Hz.

D. Μουσικά είδη και φωνές

Η μουσική στο πεντάγραμμο διαβάζεται από αριστερά προς τα δεξιά, ενώ ό,τι υπάρχει στον κάθετο άξονα ακούγεται ταυτόχρονα. Στη *μονοφωνική μουσική* κάθε στιγμή υπάρχει μόνο μια νότα στον κάθετο άξονα, επομένως κάθε στιγμή ακούγεται μόνο μία νότα, εκτός αν υπάρχει παύση.

Όταν στον κάθετο άξονα γραφούν περισσότερα από ένα φθογγόσημα, οπότε θα ακουστούν περισσότεροι από ένας ήχοι ταυτόχρονα, η κάθε νότα που ακούγεται ταυτόχρονα ανήκει σε μια διαφορετική φωνή. Διακρίνουμε δύο είδη μουσικής, την *ομοφωνική μουσική*, οπότε κάθε φωνή έχει νότες με ίσες αξίες με τις άλλες φωνές, και την *πολυφωνική μουσική*, κατά την οποία κάθε φωνή έχει τη δική της μελωδία με ανεξάρτητες αξίες από τις άλλες φωνές [1, 7].

Επειδή τα δύο τελευταία είδη συνήθως αντιμετωπίζονται ως πολλαπλή εισαγωγή μονοφωνικών μελωδιών, στην παρούσα εργασία επικεντρωνόμαστε στην εισαγωγή μονοφωνικής μουσικής, και τα συμπεράσματα που εξάγονται μπορούν να προσαρμοστούν ανάλογα για τα άλλα δύο είδη.

III. Το Μοντελο KLM

Το Keystroke Level Model (KLM) αποτελεί ένα εμπειρικό μοντέλο πρόβλεψης του χρόνου ακολουθίας ενεργειών του χρήστη που επιτρέπει την πρόβλεψη της απόδοσης ενός συστήματος [8]. Οι ενέργειες του χρήστη αναλύονται σε άθροισμα θεμελιωδών ενεργειών, οι οποίες εκφράζονται από αντίστοιχους συντελεστές που ο καθένας έχει ένα μέσο χρόνο. Ο συνολικός χρόνος της ενέργειας του χρήστη εκφράζεται ως το άθροισμα των χρόνων των συντελεστών. Οι βασικές ενέργειες με τους αντίστοιχους τελεστές και τους χρόνους παρουσιάζονται στον Πίνακα I [9].

Πινακας I
Ενεργειες, Τελεστες του Μοντελου KLM

Ενέργεια	Τελεστής	Μέσος χρόνος
Keystroking	K	0,08 s: Έμπειρη δακτυλογράφους 0,28 s: Δακτυλογράφος μέσης ικανότητας 1,2 s: Άπειρη δακτυλογράφος
Mouse button press	B	0,1 s: down/up 0,2 s: click
Pointing	P	1,1 s
Hand movement between keyboard and mouse	H	0,4 s
Mental preparation	M	1,35 s
System response time	R	~0,05 s, διαφέρει από σύστημα σε σύστημα

Στην εργασία γίνεται η παραδοχή ότι K=0,28 s, για δακτυλογράφο μέσης ικανότητας.

IV. Μεθοδολογια Σχεδιασης της Διεπαφης

Για τη σχεδίαση της διεπαφής προτιμήθηκε η μέθοδος της ανθρωποκεντρικής σχεδίασης (Human-centered design), χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Task-Centered System Design όπως περιγράφεται από τον S. Greenberg [10]. Διακρίνονται τέσσερεις φάσεις σχεδιασμού, που αναλύονται στη συνέχεια.

A. Φάση I: Προσδιορισμός τυπικών χρηστών.

Ένα πακέτο λογισμικού χρησιμοποιείται από διάφορες ομάδες χρηστών. Κατά τη σχεδίαση της διεπαφής είναι απαραίτητο να έχουμε ως σημείο αναφοράς τους τυπικούς χρήστες του προγράμματος και να αναπτύξουμε τη διεπαφή με γνώμονα τις πιθανές αντιδράσεις τους στις υπό εξέταση διεπαφές. Στην παρούσα εργασία η ταξινόμηση γίνεται με τρία διαφορετικά κριτήρια.

1) Γενική ταξινόμηση των τυπικών χρηστών

Κατά την ανάπτυξη μιας διεπαφής διακρίνουμε τυπικά τρεις κατηγορίες χρηστών [11]: Τους *πρωτεύοντες*, που είναι οι πολύ τακτικοί άμεσοι χρήστες, τους *δευτερεύοντες*, που είναι περιστασιακοί ή έμμεσοι χρήστες, και τους *τριτεύοντες*, που είναι οι επηρεαζόμενοι από χρήση του προγράμματος.

Όσον αφορά τα προγράμματα συγγραφής μουσικής, οι πρωτεύοντες χρήστες είναι οι επαγγελματίες οι οποίοι σε καθημερινή βάση επεξεργάζονται παρτιτούρες μουσικής σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, ενώ δευτερεύοντες χρήστες είναι οι μουσικοί που περιστασιακά χρειάζονται να επεξεργαστούν μία παρτιτούρα. Οι τριτεύοντες χρήστες, που είναι οι μουσικοί που παραλαμβάνουν το στοιχειοθετημένο κείμενο, δε θα μας απασχολήσουν στα πλαίσια της εργασίας αυτής.

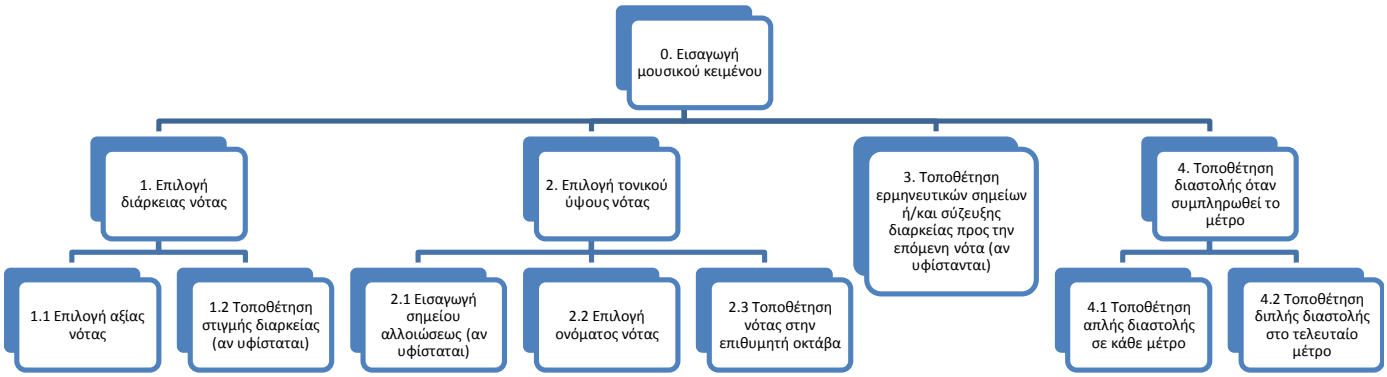
2) Ταξινόμηση με μουσικά κριτήρια

Είναι δυνατή η διάκριση των χρηστών σε επιπλέον δύο κατηγορίες: Τους *αντιγραφείς και επιμελητές* (copyists and editors) και τους *συνθέτες και ενορχηστρωτές* (composers and arrangers)

Η πρώτη κατηγορία είναι το μουσικό ανάλογο ενός δακτυλογράφου, ενώ η δεύτερη κατηγορία αποτελεί το μουσικό ανάλογο ενός συγγραφέα. Συχνά, το ίδιο άτομο ανήκει και στις δύο κατηγορίες, ανάλογα με την περίσταση.

3) Ταξινόμηση ανάλογα με τον τύπο πληκτρολογίου

Στα πλαίσια της εργασίας μας απασχολεί άλλη μία κατηγοριοποίηση των χρηστών, ανάλογα με την ύπαρξη ή όχι αριθμητικού πληκτρολογίου στο σύστημα που χρησιμοποιούν.



Σχ. 6. Η διαδικασία που αναμένεται να ακολουθήσει ο χρήστης, σύμφωνα με τη μέθοδο της Ιεραρχικής Ανάλυσης Διεργασιών (HTA – Hierarchical Task Analysis) [8].

B. Φάση II: Ανάλυση των απαιτήσεων των χρηστών

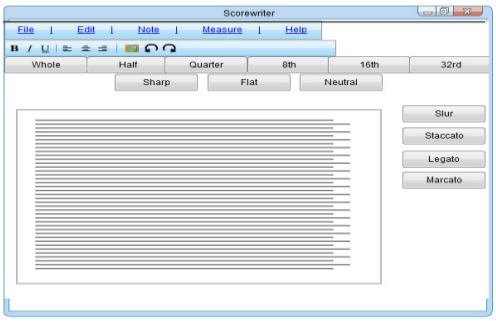
Ο τυπικός χρήστης της εφαρμογής είναι μουσικός, επομένως έχει την απαίτηση η εφαρμογή να ακολουθεί τα βήματα που θα ακολουθούσε ο ίδιος στο χαρτί. Στο σχήμα 6 περιγράφεται η τυπική διαδικασία που αναμένεται να ακολουθήσει ο χρήστης. Η διεπαφή θα πρέπει να δίνει ιδιαίτερο βάρος στην ευχρηστία, η οποία μετριέται με τις παραμέτρους που έχει ορίσει ο J. Nielsen [8], οι οποίες είναι:

- Ευκολία και ταχύτητα εκμάθησης της χρήσης του συστήματος από νέους χρήστες (learnability)
- Υψηλή απόδοση εκτέλεσης των λειτουργιών του από πεπειραμένους χρήστες (efficiency)
- Δυνατότητα διατήρησης της ικανότητας χρήσης του συστήματος από ευκαιριακούς χρήστες μετά από πάροδο χρόνου (memorability)
- Μικρός αριθμός εσφαλμένων χειρισμών κατά τη χρήση του συστήματος και εύκολος τρόπος ανάνηψης από αυτά (low error)
- Υποκειμενική ικανοποίηση των χρηστών από την επαφή τους με το σύστημα (user satisfaction)

C. Φάση III: Δημιουργία σεναρίων σχεδιασμού

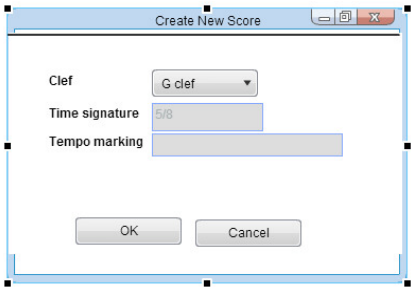
1) Παρουσίαση υπαρχόντων διεπαφών

Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες εφαρμογές έχουν γραφικά περιβάλλοντα διεπαφής που βασίζονται στο μοντέλο WYSIWYG (What You See Is What You Get).

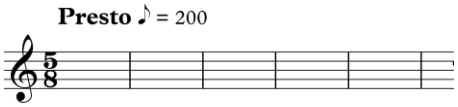


Σχ. 7. Ένα απλουστευμένο μοντέλο της διεπαφής. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια μπάρα μενού, μία μπάρα βασικής μορφοποίησης και κουμπιά τα οποία ορίζουν τις αξίες των φθογγόσημων, τυχόντα σημεία αλλοίωσης και πιθανά σημεία ερμηνείας.

Η δημιουργία ενός μουσικού κειμένου γίνεται είτε επιλέγοντας την επιλογή File→New είτε επιλέγοντας το αντίστοιχο κουμπί της γραμμής εργαλείων. Στη συνέχεια εμφανίζεται ένα παράθυρο στο οποίο παρέχεται η δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει το κλειδί του πενταγράμμου, το ρυθμικό κλάσμα, τη ρυθμική ή μετρονομική ένδειξη αν θέλει, και διάφορες άλλες επιλογές που αφορούν ένα μουσικό κομμάτι (σχ. 8). Τελικά στο κύριο μέρος του προγράμματος εμφανίζεται ένα κενό πεντάγραμμο με τις ρυθμίσεις που έχουν εισαχθεί (σχ. 9), όπου ο χρήστης θα εισαγάγει τα φθογγόσημα σύμφωνα με το διάγραμμα HTA της φάσης ΙΙ, είτε με χρήση της συσκευής κατάδειξης (ποντίκι), ή με το πληκτρολόγιο.



Σχ. 8. Μοντέλο παράθυρου για τη δημιουργία νέου μουσικού εγγράφου.



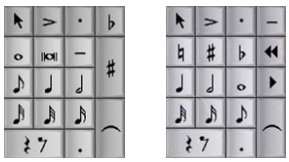
Σχ. 9. Κενό πεντάγραμμο σύμφωνα με τις επιλογές στο παράθυρο δημιουργίας.

a) Με χρήση αποκλειστικά της συσκευής κατάδειξης

Με αυτή τη μέθοδο, ο χρήστης επιλέγει με το ποντίκι την αξία της νότας, αν υπάρχει στιγμή διαρκείας και αν υπάρχει σημείο αλλοίωσης, χρησιμοποιώντας τα σχετικά κουμπιά. Ύστερα, με το δείκτη του ποντικιού κάνει κλικ στο επιθυμητό σημείο του πενταγράμμου, ώστε να τοποθετήσει τη νότα στο κατάλληλο τονικό ύψος και στην κατάλληλη οκτάβα. Μετά, επιλέγει σημεία ερμηνείας, αν υπάρχουν, τοποθετεί σύζευξη διαρκείας στην επόμενη νότα, αν υπάρχει, κάνοντας αυτή τη διαδικασία για κάθε νότα. Το πρόγραμμα υπολογίζει τη συνολική αξία των νοτών και τοποθετεί αυτόματα διαστολές στα μέτρα όπου χρειάζεται για να συμπληρωθεί το κλάσμα.

b) Με χρήση πλήρους πληκτρολογίου

Επειδή η προηγούμενη διεπαφή είναι αρκετά αργή, οι αξίες των νοτών και τα βασικά σημεία αλλοίωσης και ερμηνείας, τοποθετήθηκαν διατεταγμένα και αντιστοιχήθηκαν (mapped) στα πλήκτρα του αριθμητικού πληκτρολογίου.



Σχ. 10. Δύο πιθανές διατάξεις του Numpad.

Με αυτή τη μέθοδο, ο χρήστης επιλέγει τις επιθυμητές ιδιότητες της νότας από το Numpad και την εισάγει στο πεντάγραμμο εισάγοντας το αγγλικό όνομά της από το QWERTY πληκτρολόγιο. Παρατηρούμε ότι για την εισαγωγή παύσης χρησιμοποιείται το πλήκτρο «0» του αριθμητικού πληκτρολογίου. Θεωρούμε ότι η νότα που εισάγεται ανήκει στην ίδια οκτάβα με τη νότα που είχε εισαχθεί αμέσως πριν. Αν η οκτάβα που τοποθετήθηκε η νότα δεν είναι η επιθυμητή, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να μεταφέρει πάνω ή κάτω τη νότα με τα βελάκια του πληκτρολογίου. Ταυτόχρονα, παρέχεται ακουστική ανάδραση (audio feedback) από τα ηχεία, τα οποία αναπαράγουν τη νότα που τοποθετείται τη δεδομένη χρονική στιγμή.

2) Προτεινόμενες διεπαφές στην περίπτωση απουσίας αριθμητικού πληκτρολογίου

Ο προηγούμενος τρόπος δεν είναι υλοποιήσιμος σε πληκτρολόγια χωρίς Numpad, όπως για παράδειγμα στους περισσότερους φορητούς υπολογιστές, ενώ η χρήση ποντικιού ή trackpad για επιλογή των αξιών κάνει την όλη διαδικασία αρκετά αργή και επίπονη. Επομένως πρέπει να σχεδιαστούν νέες διεπαφές για τις ανάγκες των εν λόγω χρηστών.

a) Αντιστοίχιση των αριθμητικών πλήκτρων στα ανάλογα πλήκτρα του QWERTY πληκτρολογίου

Ίσως η απλούστερη μέθοδος προγραμματιστικά. Παρατηρούμε ότι όλα τα πλήκτρα του αριθμητικού πληκτρολογίου υπάρχουν και στο QWERTY πληκτρολόγιο. Με ελάχιστες αλλαγές στον κώδικα, αντιστοιχίζουμε ένα προς ένα τα πλήκτρα του Numpad στα αντίστοιχα του κυρίως πληκτρολογίου. Τα υπόλοιπα βήματα εισαγωγής μουσικής παραμένουν ίδια με τη χρήση πλήρους πληκτρολογίου.

b) Βέλτιστη αναδιάταξη των λειτουργιών του πληκτρολογίου

Σε ένα τυπικό QWERTY πληκτρολόγιο όλα τα πλήκτρα που αφορούν το τονικό ύψος της νότας βρίσκονται στην αριστερή πλευρά του πληκτρολογίου. Στα πλήκτρα της δεξιάς πλευράς του πληκτρολογίου συνήθως αντιστοιχίζονται συντομεύσεις για δευτερεύουσες λειτουργίες του προγράμματος, όπως εισαγωγή στίχων σε τραγούδια ή σημείων έντασης δυνατά-σιγά. Καθώς η λειτουργία επιλογής αξίας της νότας είναι σαφώς υψηλότερης σημασίας από τις λειτουργίες αυτές, αντιστοιχίζουμε τα πλήκτρα του αριθμητικού πληκτρολογίου ένα-προς-ένα σε πλήκτρα της δεξιάς μεριάς του πληκτρολογίου που έχουν περίπου την ίδια διάταξη. Ένας πιθανός πίνακας αντιστοίχισης είναι ο εξής:

<table>
<tr><td></td><td>9 → /</td><td>0 → *</td><td>- → -</td></tr>
<tr><td>I → 7</td><td>O → 8</td><td>P → 9</td><td rowspan="2">‘ → +</td></tr>
<tr><td>K → 4</td><td>L → 5</td><td>; → 6</td></tr>
<tr><td>M → 1</td><td>, → 2</td><td>. → 3</td><td rowspan="2">Return → Enter</td></tr>
<tr><td colspan="2">Spacebar → 0</td><td>/ → ,</td></tr>
</table>

D. Φάση IV: Αξιολόγηση του σχεδιασμού με έλεγχο των σεναρίων

Για να αποφασίσουμε αν θα γίνει αποδεκτή κάθε προτεινόμενη διεπαφή του προηγούμενου κεφαλαίου, πρέπει να την υποβάλλουμε σε αξιολόγηση. Κατά περίπτωση, θα χρησιμοποιηθεί η διαμορφωτική αξιολόγηση, η ποσοτική αξιολόγηση και οι αναλυτικές μέθοδοι αξιολόγησης. Ως μέτρο της αξιολόγησης θα θεωρηθεί η εκάστοτε ευχρηστία του συστήματος κατά τους κανόνες του J. Nielsen.

1) Υπάρχουσες διεπαφές

a) Με χρήση αποκλειστικά της συσκευής κατάδειξης

Χρησιμοποιώντας μόνο το ποντίκι, για την τοποθέτηση μίας νότας χωρίς σημεία αλλοίωσης ή οτιδήποτε άλλο, ο χρήστης πρέπει να επιλέξει την αξία με το ποντίκι και να την τοποθετήσει στο πεντάγραμμο.

Αν υποθέσουμε ότι ο χρήστης έχει ήδη το χέρι του στο ποντίκι, ο συνολικός χρόνος που απαιτείται υπολογίζεται ως:

1. M, ο χρόνος που ο χρήστης σκέφτεται ποια νότα θέλει να εισαγάγει,
2. P (pointing), για να πάει το δείκτη στην επιθυμητή αξία,
3. B (button), για να επιλέξει την αξία,
4. P, για να πάει τη νότα στην επιθυμητή θέση στο πεντάγραμμο, και
5. B, για να τοποθετήσει τη νότα.

Θεωρείται ότι η νότα μετά το βήμα 2 έχει «κολλήσει» αυτόματα στο ποντίκι και ο χρήστης δε χρειάζεται να κάνει drag'n'drop. Ο χρόνος για την τοποθέτηση μίας νότας είναι t=3,95 s.

Στην περίπτωση που κάποια νότα έχει σημεία αλλοίωσης ή ερμηνείας, στιγμή ή σύζευξη διαρκείας, προσθέτουμε τα αντίστοιχα ζεύγη P-B και ο χρόνος εισαγωγής κάθε νότας γίνεται αντίστοιχα πολλαπλάσιος. Δεν τοποθετούμε επιπλέον τελεστή M, γιατί ο μουσικός σκέφτεται τη νότα με τα επιπλέον σημάδια ως ενιαίο σύνολο, π.χ. «Fa δίεση παρεστιγμένο με σύζευξη».

Οι μετρήσεις που λαμβάνονται σε αυτό τον τρόπο μπορούν να υπολογιστούν πιο καλά με το νόμο του Fitts [9], ο οποίος λαμβάνει υπ' όψη την απόσταση του ενός στόχου από τον άλλο, καθώς και το μέγεθος των στόχων του δείκτη. Επίσης, σε εργαστηριακή άσκηση στα πλαίσια του μαθήματος HCI το ακαδημαϊκό έτος 2013-2014 αποδείχθηκε ότι η κατάδειξη με τη χρήση trackpad είναι πιο αργή από ότι αν χρησιμοποιηθεί ποντίκι. Επομένως οι χρήστες laptop χωρίς εξωτερικό ποντίκι μπορεί να εμφανίσουν πολύ πιο αργούς χρόνους από αυτούς που παρουσιάζει το μοντέλο KLM.

Η σχετική έρευνα, δηλαδή, έχει δείξει ότι ενώ η εκμάθηση αυτής της διεπαφής από νέους χρήστες είναι πολύ εύκολη, δεν έχουμε υψηλή απόδοση από πεπειραμένους χρήστες. Στα πλεονεκτήματα της διεπαφής συμπεριλαμβάνεται η ικανότητα συγκράτησης της ικανότητας χρήσης της, όπως και ο εύκολος τρόπος ανάνηψης από σφάλματα, π.χ. σε λάθος εισαγωγή νότας, την επιλέγουμε με το ποντίκι και τη διαγράφουμε από το σχετικό κουμπί της γραμμής εργαλείων.

Οι χρήστες πληκτρολογίων χωρίς αριθμητικό πληκτρολόγιο τις περισσότερες φορές είναι αναγκασμένοι να χρησιμοποιήσουν αυτό τον τρόπο εισαγωγής στα προγράμματα που κυκλοφορούν, με τις ανάλογες συνέπειες στην ταχύτητα διεκπεραίωσης της εργασίας τους και την τελική ικανοποίηση των χρηστών από τη διεπαφή.

b) Με χρήση πλήρους πληκτρολογίου

Εξετάζοντας τη μέθοδο αυτή με το μοντέλο KLM, όπως και στη μέθοδο εισαγωγής με τη συσκευή κατάδειξης, πριν από κάθε νότα βάζουμε τον συντελεστή M για να δειχθεί η νοητική λειτουργία του χρήστη. Ύστερα βάζουμε το συντελεστή K για κάθε πλήκτρο στην ακολουθία της πληκτρολόγησης. Επομένως έχουμε ένα συντελεστή K για την επιλογή της αξίας και ένα συντελεστή K για την επιλογή του τονικού ύψους με τα γράμματα A–G.

Ειδοποιός διαφορά είναι ότι σε αυτή την περίπτωση το πρόγραμμα δε γνωρίζει εκ των προτέρων, παρά μόνο υποθέτει, την επιθυμητή οκτάβα στην οποία θα τοποθετηθεί η νότα. Το ποσοστό επιτυχίας της οκτάβας διαφέρει ανάμεσα στα διάφορα είδη μουσικής. Στην περίπτωση που η οκτάβα δεν είναι η επιθυμητή, τότε ο χρήστης αναγκάζεται να πιέσει μία ή περισσότερες φορές τα βελάκια του πληκτρολογίου, ώστε η νότα να εισαχθεί στην επιθυμητή οκτάβα.

Είναι μία ικανοποιητική προσέγγιση να υποθέσουμε ότι στα ⅔ των περιπτώσεων η επιλογή οκτάβας είναι επιτυχής, ενώ στο υπόλοιπο ⅓ ο χρήστης καλείται να επιλέξει χειροκίνητα την οκτάβα της νότας. Εξ άλλου, η εμπειρία χρήσης δείχνει ότι σε αυτή την περίπτωση η απόσταση του αυτόματα επιλεγμένου τονικού ύψους της νότας από το επιθυμητό είναι σχεδόν πάντα μόνο μία οκτάβα, άρα ο χρήστης καλείται να πιέσει μόνο μία φορά το αντίστοιχο βελάκι του πληκτρολογίου. Εισάγοντας αυτή τη στατιστική ανάλυση στο μοντέλο KLM, μπορούμε, παρεκκλίνοντας από το επίσημα καθορισμένο μοντέλο, να προσθέσουμε το ⅓ του συντελεστή K σε κάθε εισαγωγή νότας. Με αυτό τον τρόπο καταλήγουμε ότι ο χρόνος εισαγωγής μίας «απλής» νότας, χωρίς σημεία αλλοίωσης ή ερμηνείας ισούται με:

1. M, το χρόνο που ο χρήστης σκέφτεται ποια νότα θέλει να εισάγει, και
2. K, για την επιλογή της επιθυμητής αξίας, και
3. K, για την επιλογή του τονικού ύψους της νότας ή την εισαγωγή παύσης, και
4. ⅓*K, για το στατιστικό σφάλμα επιλογής οκτάβας.

Επομένως απαιτούνται ~2 s για την εισαγωγή μίας απλής νότας. Για κάθε σημείο αλλοίωσης, σημείο ερμηνείας, στιγμή διαρκείας ή σύζευξη με την επόμενη νότα προστίθεται αντίστοιχα +1K.

Παρατηρούμε ότι ο χρόνος εισαγωγής μίας απλής νότας χρησιμοποιώντας πλήρες πληκτρολόγιο είναι σχεδόν ο μισός από τον αντίστοιχο χρόνο με συσκευή κατάδειξης.

Έχοντας ως οπτικά βοηθήματα στην οθόνη τα toolbars σε σχήμα αριθμητικού πληκτρολογίου, η ευκολία και η ταχύτητα εκμάθησης της διεπαφής από κάποιο νέο χρήστη είναι αρκετά υψηλές. Με την ανάλυση του μοντέλου KLM βλέπουμε ότι αυτός ο τρόπος εισαγωγής έχει υψηλή απόδοση εκτέλεσης της επιθυμητής λειτουργίας από τους πεπειραμένους, και όχι μόνο, χρήστες. Επιπλέον, είναι εύκολη η συγκράτηση της ικανότητας χρήσης του συστήματος από τους ευκαιριακούς χρήστες. Υπάρχει και εδώ εύκολος τρόπος ανάνηψης από λάθος επιλογή. Συγκεκριμένα αν έχει τοποθετηθεί λανθασμένη νότα, ο χρήστης μπορεί να πατήσει το πλήκτρο backspace για να τη διαγράψει και στη συνέχεια να επαναλάβει τη διαδικασία εισαγωγής.

2) Αξιολόγηση προτεινόμενων διεπαφών

a) Αντιστοίχιση των αριθμητικών πλήκτρων στα ανάλογα πλήκτρα του QWERTY πληκτρολογίου

Το μοντέλο KLM δίνει σχεδόν τα ίδια αποτελέσματα για αυτή τη μέθοδο και για τη μέθοδο με αριθμητικό πληκτρολόγιο. Οι διαφορές είναι αμελητέες και οφείλονται

κυρίως ότι στο QWERTY πληκτρολόγιο τα σύμβολα + και * απαιτούν ακολουθία δύο πλήκτρων (Shift-= και Shift-8 αντίστοιχα). Στην πράξη όμως η συγκεκριμένη μέθοδος δεν είναι η ιδανικότερη γιατί σχεδόν όλες οι λειτουργίες βρίσκονται στην αριστερή περιοχή, δηλαδή όλα τα ονόματα των νοτών και οι μισοί αριθμοί της πάνω σειράς. Στην περίπτωση χρήσης τυφλού συστήματος παρατηρείται έντονο το φαινόμενο της κόπωσης του αριστερού χεριού, ενώ αν ο χρήστης χρησιμοποιούσε τα δύο χέρια, όπως στη μέθοδο εισαγωγής με αριθμητικό πληκτρολόγιο, το δεξί χέρι θα βρισκόταν πάνω από το αριστερό δυσκολεύοντας την εισαγωγή του μουσικού κειμένου.

b) Βέλτιστη αναδιάταξη των λειτουργιών του πληκτρολογίου

Είναι η μέθοδος στην οποία το KLM δίνει ακριβώς τα ίδια αποτελέσματα με τη χρήση αριθμητικού πληκτρολογίου. Οι παράμετροι ευχρηστίας της μεθόδου αυτής είναι παραπλήσιες με τις παραμέτρους της χρήσης αριθμητικού πληκτρολογίου, ενώ απαιτείται ένα πολύ μικρό διάστημα εκμάθησης εκ μέρους του χρήστη μέχρι να συνηθίσει τη νέα διάταξη του πληκτρολογίου. Αξίζει να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη μέθοδος διανέμει ισοδύναμα τον κόπο εισαγωγής ανάμεσα στα δύο χέρια και μπορεί να παραλληλιστεί προς την προηγούμενη μέθοδο, όπως παραλληλίζεται το σύστημα Dvorak με το QWERTY. Από όλες τις προτεινόμενες λύσεις, θεωρείται η πλέον κατάλληλη για να υλοποιηθεί στην πράξη ως εναλλακτική διεπαφή για φορητούς υπολογιστές.

V. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα έρευνα εφαρμόστηκαν στα προγράμματα συγγραφής μουσικής τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται στη μελέτη της Αλληλεπίδρασης Ανθρώπου–Μηχανής. Έγινε προφανές ότι σχεδιαστικές επιλογές του παρελθόντος δεν είναι απαραίτητο ότι θα είναι λειτουργικές και στο μέλλον, άρα τα συστήματα θα πρέπει να σχεδιάζονται με μακροπρόθεσμες προοπτικές. Τέλος, τέθηκε μία βάση ανάλυσης των αναγκών των χρηστών ώστε να μελετηθούν και οι υπόλοιπες λειτουργίες αυτών των προγραμμάτων και τα αποτελέσματα των ερευνών να γίνουν διαθέσιμα στην κοινότητα του μουσικού λογισμικού.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του project του Κωνσταντίνου Α. Κοκκινόπουλου στο μάθημα «Επικοινωνία Ανθρώπου–Μηχανής και Σχεδίαση Διαδραστικών Συστημάτων». Εκφράζονται θερμές ευχαριστίες στον κ. Νικόλαο Αβούρη, καθηγητή στο Πανεπιστήμιο Πατρών και επικεφαλής της ομάδας Αλληλεπίδρασης Ανθρώπου–Υπολογιστή, για την πολύτιμη υποστήριξή του και την επίβλεψη της εργασίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] O. Karolyi, *Εισαγωγή στη Μουσική*, Αθήνα: Εκδόσεις Νεφέλη, 1983
[2] M. Michael, *Essential Music Theory for Singers*, Gallo Manor, South Africa: ICMA Publishing, 1995, sec. 2003
[3] Α. Χαραλάμπους Δρ. Φ., *Η θεωρία της Μουσικής*, Αθήνα: Gutenberg, 1991
[4] M. Καλομοίρης, *Τα θεωρητικά της Μουσικής – Τεύχος πρώτο – Στοιχειώδης θεωρία*, Αθήνα: Μουσικός Εκδοτικός Οίκος Μιχ. Γαϊτάνου, 1924
[5] D. M. Rubin, *The Desktop Musician*, Berkeley, CA: Osborne McGraw-Hill
[6] M. Hewitt, *Music Theory for Computer Musicians*, Boston: Course Technology, 2008
[7] B. Benward, M. Saker, *Music in Theory and Practice Volume I*, 8th ed. New York: McGraw-Hill, 2009
[8] S. Card, T. Moran, A. Newell, *The psychology of human–computer interaction*, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1983
[9] Ν. Αβούρης, *Εισαγωγή στην Επικοινωνία Ανθρώπου–Υπολογιστή*, Αθήνα: Εκδόσεις Δίαυλος, 2008
[10] S. Greenberg, S. in Diaper, D. and Stanton, N. (Eds) *The Handbook of Task Analysis for Human-Computer Interaction* Lawrence Erlbaum Associates.
[11] L. Macaulay, *Human–Computer Interaction for Software Designers*, London: International Thomson Publishing, 1995

Unsupervised Analysis of EEG signals for the discovery of ictal patterns

Evangelia Pippa, Iosif Mporas
Dept. of Computer Engineering and Informatics
University of Patras
Rion-Patras, Greece
pippa@ceid.upatras.gr, imporas@upatras.gr

***Abstract*— In this paper, patient-specific unsupervised analysis of electroencephalographic (EEG) signals for the discovery of unknown ictal patterns was performed. For the analysis we relied on k-means clustering algorithm. The proposed methodology when applied on EEG recordings from an epileptic patient revealed patterns that appear with a significantly greater frequency during the epileptic seizures. The discovered patterns can be exploited as indicators of the ictal periods in an automated approach for the detection of seizures.**

Keywords: clustering; EEG; epileptic seizures; pattern discovery; machine learning

I. INTRODUCTION

Electroencephalography (EEG) is a technology developed to investigate the brain by measuring the electric fields generated by neurons in the cortex [13]. Electrodes, which act as the sensors to detect the electrical activity, are attached to the surface of the cerebral cortex and are connected by wires to a computer to capture the brain activities. EEG is non invasive and provides information which is retrievable, easily recorded and is obtainable using inexpensive technology compared with other brain activity diagnosis methods [12]. EEG has two main advantages; direct measure of neuronal activity and best temporal resolution by milliseconds [10]. In addition to the profound impact on our understanding of the brain [2,17], EEG signals are important to capture brain disorders. They are useful for analyzing the cognitive activity of the brain and diagnosing types of seizure and potential mental and neurological health problems, such as epilepsy [12].

Epilepsy is a chronic disorder of central nervous system that predisposes individuals to experiencing recurrent seizures [14]. Approximately 1% of the world population suffers from seizures, while more than 20% of the epileptic patients suffer from seizures that are refractory to medication [3,15]. Epileptic seizures are brief episodes of abnormal excessive or synchronous neuronal activity in the brain of patients suffering from epilepsy [4]. During an epileptic seizure there are several specific changes recorded in the electroencephalogram (EEG) which is a sensitive and important test used to evaluate patients with suspected epilepsy. There are certain characteristic ictal neurophysiological patterns, already known by the clinical experts, that support the identification and detection of epileptic events and postictal and/or interictal abnormalities that can provide supplementary information.

The detection of such already well-known patterns related to epilepsy (e.g. spikes or spikes and waves) is a common problem that is frequently encountered in the literature [1,7,19]. Several powerful machine learning algorithms have been proposed for the detection of ictal EEG periods, as well. The most popular use supervised machine learning techniques including artificial neural networks [9, 11] and support vector machines [5,15,18]. However, the main goal of our work is not to use existing medical knowledge (clinical guidelines, etc.) to identify patterns but rather to contribute to medicine by discovering new knowledge, this way assisting in better understanding of epilepsy and related disorders as well as their manifestations.

Therefore, in this paper, we propose an unsupervised method for the discovery of potentially unknown electroencephalographic ictal patterns from epileptic patients. The proposed methodology reveals patterns which appear significantly more frequently during the epileptic seizures. The discovered patterns are strong indicators of the ictal class and thus, can be exploited as tools for the automatic detection of epileptic seizures.

The rest of this paper is organized as follows. In Section II the proposed methodology is presented. Section III provides details about the evaluation data and the experimental protocol followed and Section IV presents the achieved results. Finally in Section V we conclude this work.

II. METHODOLOGY

The proposed methodology for the discovery of potentially unknown patterns from the EEG data of a single channel consists of the following steps:

- Frame blocking
- Feature Extraction
- Clustering
- Post-processing

The block diagram of the overall architecture is illustrated in Fig. 1. The input to the illustrated architecture consists of

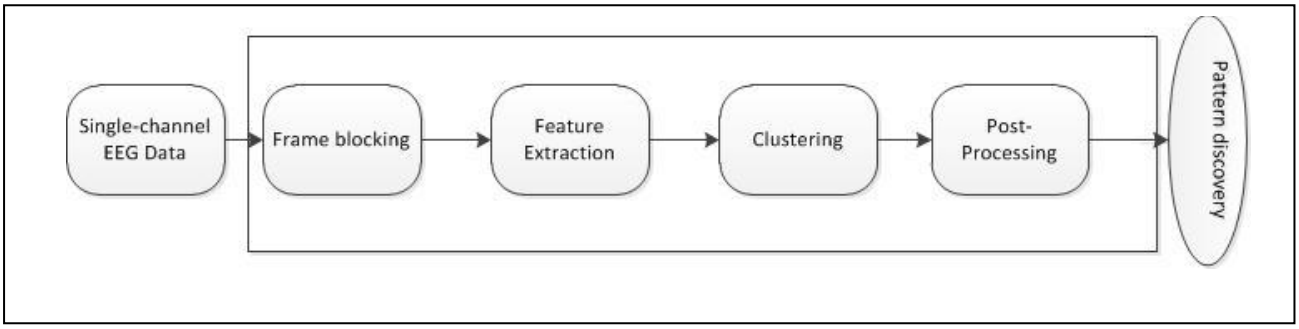


Figure 1. Proposed architecture for unsupervised pattern discovery from EEG

EEG signal samples from a single channel. As shown in Fig. 1, in a first step the EEG signal is preprocessed. Preprocessing consists of frame blocking of the incoming samples to epochs of constant length w with constant time-shift s. After preprocessing the extracted epochs are in parallel processed by a frequency-domain feature extraction algorithm. Here, the feature extraction algorithm computes the power spectral density of each epoch separately. Power spectral density (PSD) of a signal is a positive real function of a frequency variable associated with a stationary stochastic process. The PSD is defined as the discrete time Fourier transform (DTFT) of the autocovariance sequence (ACS) [16].

$$\varphi(\omega) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} r(k) e^{-i\omega k} \quad (1)$$

where the auto covariance sequence is defined as

$$r(k) = E\{y(t) y^*(t-k)\} \quad (2)$$

and $y(t)$ is the discrete time signal $\{y(t); t = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots\}$ assumed to be a sequence of random variables with zero mean.

After feature extraction, each epoch is represented by a single feature vector containing its power spectral density. The feature vectors derived from the whole set of epochs of the segmented signal are clustered using k-means clustering algorithm [8]. Given a set of observations, where each observation is a d-dimensional feature vector containing the power spectral density of each epoch, k-means clustering partitions the observations into k sets so as to minimize the within-cluster sum of squares using an iterative refinement technique which alternates between two steps:

- Assignment step: Assign each observation to the cluster with the "nearest" mean.
- Update step: Calculate the new means to be the centroids of the observations in the new clusters.

The algorithm converges to a (local) optimum when the assignments no longer change. There is no guarantee that the global optimum is found.

In a final post-processing step, the percentage of appearance of each cluster in the ictal and non-ictal epochs is calculated. Clusters with similar percentages of appearance in the two classes (ictal and non-ictal) are ignored since they do not carry any useful information for the discrimination of the two classes. On the other hand, clusters with significantly different percentages are captured since they indicate patterns related to the class in which they present the high percentage. Such patterns can be used as indicators of the class they appear in an automated method for the detection of epileptic seizures.

III. Experimental Setup

The previously described methodology for pattern discovery was evaluated on EEG recordings contained within the CHB-MIT database [14], which can be downloaded from the PhysioNet website: http://physionet.org/physiobank/database/chbmit/. This database, collected at the Children's Hospital Boston, consists of EEG recordings from pediatric subjects with intractable seizures. Subjects were monitored for up to several days following withdrawal of anti-seizure medication in order to characterize their seizures and assess their candidacy for surgical intervention. For each clinical seizure, an expert indicated the earliest EEG change associated with the seizure. The data was segmented into one hour long records. The data set consists of 916 hours of continuous scalp EEG sampled at 256 Hz. Records that do not contain a seizure are called non-seizure records and those that contain one or more seizures are called seizure records. All data were stored in EDF formatted files [6]. For the current analysis, one subject from the CHB-MIT database was chosen randomly and the selected EEG channel was CZ-PZ. Annotations for seven seizures were included in the recording.

During pre-processing the signal from the CZ-PZ channel was frame blocked to epochs of 1 second length, without time-overlap between successive epochs. The spectral power in 2Hz frequency bins from 1 to 30Hz was computed for each epoch. The computed feature vectors were used to cluster the whole set of epochs of the segmented signal using k=8, 16, 32 clusters. Finally, the percentage of the appearance of each cluster in the ictal and non-ictal epochs was calculated for each one of the clustering cases to reveal relevant patterns.

IV. Results

The unsupervised method presented in Section II was applied on the 10th subject of the CHB-MIT database following the experimental setup described in Section III. Fig. 2 shows distribution of the clusters among the two classes (ictal and non-ictal) for the first clustering case (k=8). As can be seen, when eight clusters are used, the ictal period of the signal

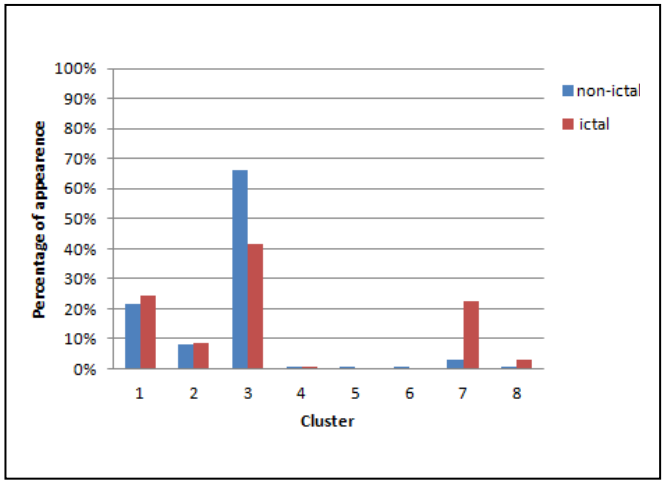


Figure 2. Appearence of each cluster in ictal and non-ictal epochs (k=8).

consists of cluster 7 by 22.69% while the non-ictal period contains only 3.19% the 7th cluster. As a result, for the specific patient, cluster 7 can be considered as a strong indicator of the presence of ictal. Table I shows the percentage of appearance of each cluster in the set of ictal and non-ictal epochs when k=8 clusters were used with k-means.

Fig. 3 shows the distribution of the clusters among the two classes when k=16 clusters are used with k-means. Here, the ictal period of the signal consists of cluster 10 by 21.58% while the non-ictal period contains 10.54% the 10th cluster, a quite lower percentage. Furthermore, the non-ictal class is highly represented by cluster 1 (50.68%) when only the half of this percentage (24.23%) corresponds to ictal epochs represented by the first cluster. The distribution of the clusters among the two classes for this clustering case (k=16) are shown on Tables II and III.

Finally, Fig. 4 shows the distribution of the clusters among the two classes (ictal and non-ictal) for the last clustering case (k=32). Once again, patterns with discriminative power among the two classes such as cluster 4, cluster 19 and cluster 20 were revealed. The ictal period of the signal consists of cluster 4, cluster 19 and cluster 20 by 7.45%, 13.88% and 6.39% respectively while only 0.3%, 1.42% and 0.06% of non-ictal epochs correspond to the 4th, 19th and 20th clusters, respectively.

The discovered patterns indicate the existence of underlying information, related to seizure characteristics, within the electroencephalographic epochs clustered to groups with significantly different frequency of appearance within the ictal class. As a result the clusters with such a discriminative power among the two classes require further examination by clinical experts for the clinical interpretation of the results and the potential discovery of knowledge that remains unknown so far.

V. Conclusion

In this paper, we investigated the problem of the discovery of potentially unknown ictal patterns from single-channel EEG using clustering of spectral features. The experimental results of the proposed methodology on single channel data from one subject revealed patterns related to both ictal and non-ictal class. We deem the application of our methodology across subjects will reveal more generalized EEG patterns related to the epileptic seizures. Finally, we aim to use these patterns as tools to discriminate between ictal and non-ictal epochs as part of a wider framework for the automatic detection of epileptic seizures in the future.

TABLE I. Percetnage of appearence of each cluster in ictal and non-ictal epochs (k=8)

k=8	**Clusters**							
	1	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***	***7***	***8***
Non-Ictal (%)	21.5	8.1	66.1	0.1	0.01	0.2	3.2	0.8
Ictal (%)	24.5	8.4	41.1	0.2	0.00	0.0	22.7	2.9

TABLE II. Percetnage of appearence of each cluster in ictal and non-ictal epochs (k=16).

k=16	**Clusters**							
	1	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***	***7***	***8***
Non-Ictal (%)	50.7	0.02	6.1	0.9	0.1	0.5	2.3	3.0
Ictal (%)	24.2	0.22	3.3	7.5	0.0	0.6	0.8	4.8

TABLE III. Percetnage of appearence of each cluster in ictal and non-ictal epochs (k=16)

k=16	**Clusters**							
	9	***10***	***11***	***12***	***13***	***14***	***15***	***16***
Non-Ictal (%)	1.4	10.5	0.01	14.9	0.1	0.04	0.2	9.2
Ictal (%)	12.6	21.6	0.00	9.0	6.6	0.22	0.0	8.4

Acknowledgment

This study is partially funded by the EC under the FP7/2007-2013 with grant ARMOR, Agreement Number 287720. This research has been co-financed by the European Union (European Social Fund – ESF) and Greek national funds through the Operational Program "Education and Lifelong Learning" of the NSRF - Research Funding Program: Thales. Investing in knowledge society through the European Social Fund.

References

[1] M. Adjouadi, M. Cabrerizo, M. Ayala, D. Sanchez, I. Yaylali, P. Jayakar and A. Barreto, "Detection of Interictal Spikes and Artifactual Data Through Orthogonal Transformations, vol. 22, Journal of Clinical Neurophysiology, 2005, pp. 53-64.

[2] G. Buzsaki, "Rhythms of the brain," Oxford University Press, 2006.

[3] J. Corsini, L. Shoker, S. Sanei and G. Alarcón, "Epileptic seizure predictability from scalp EEG incorporating constrained blind source separation," vol. 53, IEEE Trans. Biomed Eng.,2006, pp. 790-9.

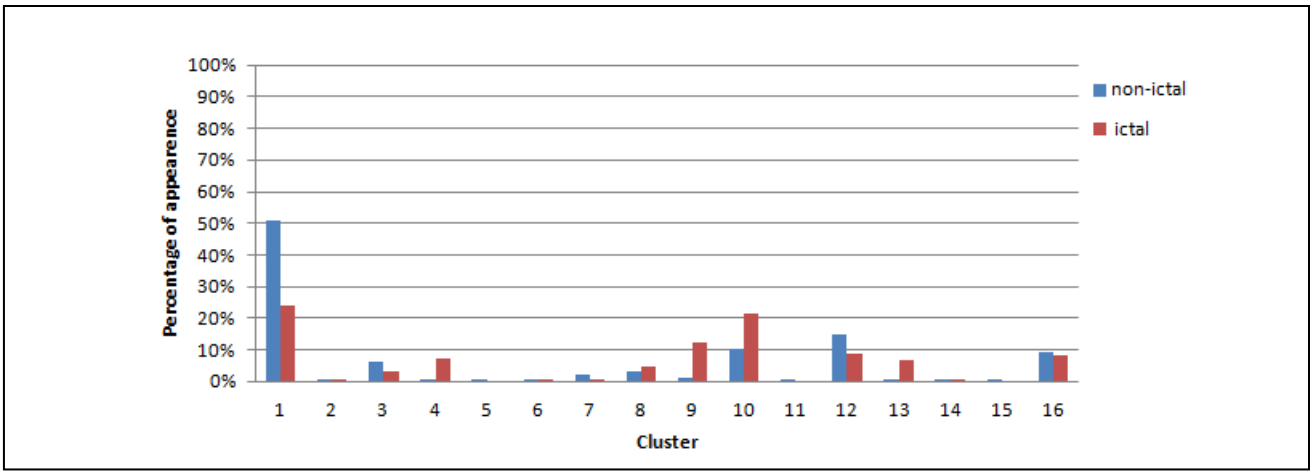


Figure 3. Appearence of each cluster in ictal and non-ictal epochs (k=16).

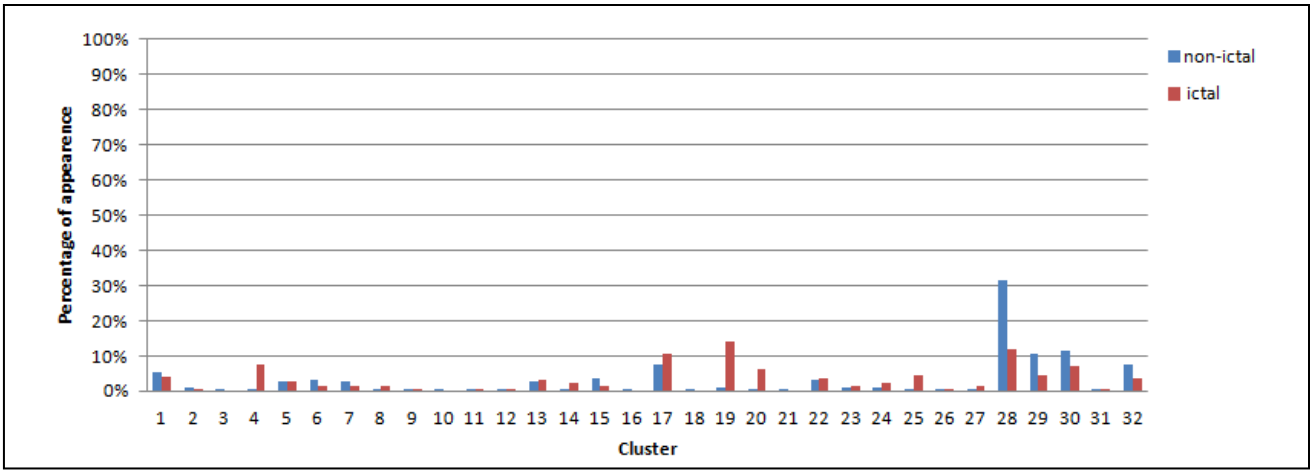


Figure 4. Appearence of each cluster in ictal and non-ictal epochs (k=32).

[4] R. S. Fisher, W. V. E. Boas, W. Blume, C. Elger, P. Genton, P. Lee and J. Engel, "Epileptic seizures and epilepsy: definitions proposed by the International League Against Epilepsy (ILAE) and the International Bureau for Epilepsy (IBE) ," vol. 46, Epilepsia, 2005, pp. 470-472.

[5] B. Hunyadi, M. Signoretto, W. Van Paesschen, J.A. Suykens, S. Van Huffel and M. De Vos, "Incorporating structural information from the multichannel EEG improves patient-specific seizure detection," vol. 123, Clinical Neurophysiology, 2012, pp. 2352-61.

[6] B. Kemp and J. Olivan, "European data format 'plus' (EDF+), an EDF alike standard format for the exchange of physiological data," vol. 114 Clinical Neurophysiology, 2003, pp. 1755–61.

[7] Y. Kultu, M. Kuntalp and Kuntalp D, "Optimizing the performance of an MLP classifier for the automatic detection of epileptic spikes," vol. 36, Expert Systems with Applications, 2009, pp. 7567-7575.

[8] J. B. MacQueen, "Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations," Proceedings of 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, University of California Press. , 1967, pp. 281–297.

[9] H.R. Mohseni, A. Maghsoudi and M.B. Shamsollahi, "Seizure detection in EEG signals: a comparison of different approaches," In Conf. Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2006, pp. 6724-7.

[10] S.A. Mousavi, M.R.H. Arshad, H.H. Mohamed and S.A. Alomari, "An efficient method for mining Event-Related Potential Patterns," vol. 8, International Journal of Computer Science Issues, 2011.

[11] S. Nasehi and H. Pourghassem, "Seizure Detection Algorithms Based on Analysis of EEG and ECG Signals: a Survey," vol.44, Neurophysiology, 2012, pp. 174-186.

[12] K.S. Ng, H.J. Yang and S.H. Kim, "Hidden pattern discovery on event related potential EEG signals, vol. 97, Biosystems," 2009, pp. 15-27.

[13] E. Niedermeyer and F. L. da Silva, "Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields," Lippincott Williams and Wilkins, 2005

[14] A.H. Shoeb, "Application of machine learning to epileptic seizure onset detection and treatment," PhD Thesis, Harvard-MIT Division of Health Sciences and Technology, 2009.

[15] A. Shoeb, H. Edwards, J. Connolly, B. Bourgeois, S.T. Treves and J. Guttag, "Patient-specific seizure onset detection," vol. 5, Epilepsy Behavior, 2004, pp.483-98.

[16] Stoica and R. L. Moses, "Spectral analysis of signals," Pearson/ Prentice Hall Upper Saddle River, NJ, 2005.

[17] B. Swartz and E. Goldensohn, "Timeline of the history of EEG and associated fields," vol. 106 Electroencephalography and clinical Neurophysiology, 1998, pp.173–176.

[18] M. Valderrama, S. Nikolopoulos, C. Adam, V. Navarro, M. Le Van Quyen, "Patient-specific seizure prediction using a multi-feature and multi-modal EEG-ECG classification," XII Med. Conf. on Medical and Biological Engineering and Computing, 2010, 29, pp.77-80

[19] G. Xu, J. Wang, Q. Zhang, S. Zhang and J. Zhu, "A spike detection method in EEG based on improved morphological filter," vol. 37, Computers in Biology and Medicine, 2007, pp. 1647-1652.

ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΣΥΝΑΙΣΘΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΩΤΕΡΗΣ ΤΑΞΗΣ

Λάμπρος Αμαραντίδης, Χάρης Θεοχαρίδης και Χρήστος Χατζηκωνσταντίνου
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Θεσσαλονίκη, Ελλάδα
email:{lamarant,ttheocha,chatzikc}@auth.gr

Περίληψη—Στην παρούσα μελέτη παρουσιάζεται μια προσπάθεια αναγνώρισης συναισθήματος με τη χρήση του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος και στατιστικής ανώτερης τάξης. Για την ταξινόμηση των σημάτων, χρησιμοποιούμε τους αλγόριθμους ταξινόμησης Support Vector Machine (SVM), Quadratic Discriminant Analysis (QDA) και k-Nearest Neighbors (k-NN). Βέλτιστος αλγόριθμος αποδείχτηκε ο SVM με ποσοστό επιτυχίας 87,78 %. Η χρήση των ηλεκτροδίων των ινιακών και βρεγματικών λοβών φάνηκε να δίνει το βέλτιστο αποτέλεσμα.

Λέξεις-κλειδιά—ηλεκτροεγκεφαλογράφημα, στατιστική ανώτερης τάξης, ταξινόμηση, αναγνώριση συναισθημάτων, μπάντες συχνοτήτων

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αναγνώριση συναισθήματος με βάση το εγκεφαλογράφημα είναι ένα σχετικά νέο πεδίο έρευνας όπου χρησιμοποιώντας σήματα προερχόμενα από το εγκεφαλογράφημα, επιχειρούμε να αναγνωρίσουμε τη συναισθηματική κατάσταση ενός συμμετέχοντα, ο οποίος έχει εκτεθεί σε κάποιο ερέθισμα, το οποίο είναι συνήθως εικόνα [1] ή ήχος [2] ή και τα δύο [3]. Μετά την εκτέλεση του πειράματος, επιλέγεται ένας τρόπος για εξαγωγή κάποιων χαρακτηριστικών των σημάτων αυτών όπως χρήση Multi-Directed Information (MDI) analysis με τεχνικές εξαγωγής χαρακτηριστικών Higher Order Crossings (HOC) και Cross Correlation (CC) [4], ανάλυση Fourier για χωρισμό του σήματος σε συγκεκριμένες συχνότητες και εξαγωγή της φασματικής πυκνότητας ισχύος [3], [5], Fractal dimension analysis [2], wavelets [6]. Στη συνέχεια, για την ταξινόμηση αυτών των σημάτων βάσει των συγκεκριμένων χαρακτηριστικών χρησιμοποιείται κάποιος αλγόριθμος ταξινόμησης όπως Support Vector Machine (SVM) [4]-[8], Quadratic Discriminant Analysis (QDA) [6],[8],[9], k-Nearest Neighbors (k-NN) [6],[8], Mahalanobis distance (MD) [6],[8], Higuchi fractal dimension algorithm [2], Fisher's Discriminant Analysis (FDA) [3], neural networks [10]. Στην παρούσα μελέτη, προτείνεται η χρήση στατιστικής ανώτερης τάξης (Higher Order Statistics-HOS) για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών, ενώ για την ταξινόμηση των σημάτων χρησιμοποιείται discriminant analysis, k-NN και SVM με χρήση του Gaussian Kernel.

II. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΩΤΕΡΗΣ ΤΑΞΗΣ (HIGHER ORDER STATISTICS-HOS)

Για την ανάλυση των χρονοσειρών που προέκυψαν από το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα, χρησιμοποιήθηκε στατιστική ανώτερης τάξης. Αυτό κρίθηκε απαραίτητο δεδομένου ότι δεν είναι εφικτό να κάνουμε τη θεώρηση ότι η στοχαστική διαδικασία είναι γραμμική και Gaussian. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε το bispectrum που είναι ένας μετασχηματισμός fourier 2ης τάξης του σωρείτη 3ης τάξης. Οι σωρείτες είναι μεγέθη που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση στοχαστικών σημάτων. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε η 3ης τάξης συνάφεια (bicoherency) που είναι ένα κανονικοποιημένο φάσμα σωρειτών. Το bicoherency χρησιμοποιείται στην ανίχνευση και το χαρακτηρισμό μη γραμμικότητας στις χρονοσειρές [11].

Τα χαρακτηριστικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση των σημάτων είναι: τα δύο μεγαλύτερα τοπικά μέγιστα της απόλυτης τιμής του bispectrum, οι συχνότητές τους, οι τυπικές αποκλίσεις (stds) των συχνοτήτων, τόσο γύρω από την κορυφή του 1ου όσο και γύρω από την κορυφή του 2ου τοπικού μεγίστου του bispectrum, που αντιστοιχούν στις τιμές γύρω από το εκάστοτε μέγιστο που ξεπερνούν το 10% της τιμής του μεγίστου. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε ο λόγος της beta band (12-30 Hz) του bispectrum προς την alpha band (8-12 Hz) του bispectrum, καθώς και το bicoherency στις συχνότητες των δύο μεγαλύτερων τοπικών μεγίστων της απόλυτης τιμής του bispectrum. Ο λόγος της beta band προς alpha band είναι μια ενδιαφέρουσα ένδειξη της κατάστασης της έντασης στην οποία βρίσκεται ο συμμετέχοντας [3]. Εκτός από τα παραπάνω χαρακτηριστικά μεμονωμένα, χρησιμοποιήθηκαν και συνδυασμοί αυτών.

III. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Το δείγμα μας είναι 10 συμμετέχοντες, σε καθέναν από τους οποίους προβλήθηκαν εικόνες από τη βάση εικόνων IAPS (International Affective Picture System). Η IAPS παρέχει αξιολογήσεις συναισθήματος για ένα σετ από έγχρωμες εικόνες. Το σετ αυτό των έγχρωμων εικόνων παρέχει συναισθηματικά ερεθίσματα για πειραματικές έρευνες συναισθήματος και προσοχής [12].

Η συχνότητα δειγματοληψίας που χρησιμοποιήθηκε είναι 128 Hz και χρησιμοποιήθηκαν 14 ηλεκτρόδια.

Προβλήθηκαν 50 εικόνες σε κάθε συμμετέχοντα που είχαν ως σκοπό την εκμαίευση πέντε συναισθηματικών καταστάσεων: του θυμού, της λύπης, της χαράς, του ενθουσιασμού και μιας ουδέτερης κατάστασης, σύμφωνα με το μοντέλο πολικότητας-έντασης (valence-arousal). Πριν την προβολή κάθε εικόνας προβάλλεται μια μαύρη οθόνη με έναν σταυρό στο κέντρο της για 5 δευτερόλεπτα, στη συνέχεια προβάλλεται η εικόνα για 5 δευτερόλεπτα και στη συνέχεια ακολουθούν 5 δευτερόλεπτα στα οποία γίνεται η αξιολόγηση του συναισθήματος που προκάλεσε στον συμμετέχοντα η εικόνα. Επεξεργασία γίνεται στο σήμα που προκύπτει από τα 5 δευτερόλεπτα προβολής της εικόνας.

IV. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Το σήμα του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος κατά τη διάρκεια του πειράματος είναι δυνατόν να παρουσιάσει κάποιες ανεπιθύμητες παρεμβολές με αποτέλεσμα να εμφανίζονται έντονες κορυφές στο σήμα. Για το λόγο αυτό, επιλέγεται μια διαδικασία αντιμετώπισής τους. Στη συνέχεια, εφαρμόζεται στο εκάστοτε σήμα ένα φίλτρο butterworth, έτσι ώστε να κρατήσουμε το συχνοτικό περιεχόμενο από 0.5 έως 49.5 Hertz. Αυτό γίνεται διότι η πληροφορία που υπάρχει από τα 50 έως τα 64 Hertz θεωρείται πλεονάζουσα, ενώ οι συχνότητες από 0 έως 0.5 Hertz θεωρούνται πιο επιρρεπείς σε θόρυβο.

V. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

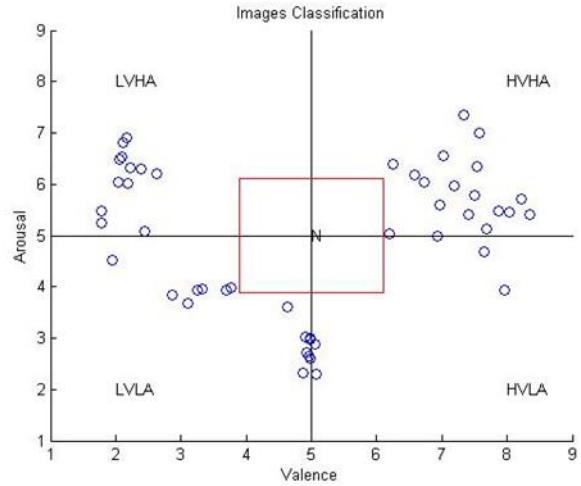
A. Σενάρια Ταξινόμησης

Για να είναι εφικτή η ταξινόμηση, απαιτείται το κάθε σήμα που πρόκειται να ταξινομηθεί να έχει μια εκ των προτέρων ετικέτα, η οποία αντιπροσωπεύει ένα συναίσθημα. Δεδομένου ότι εδώ χρησιμοποιείται το μοντέλο πολικότητας-έντασης, κάθε εικόνα χαρακτηρίζεται από 2 αριθμούς από το 1 έως το 9, που αντιπροσωπεύουν το επίπεδο έντασης και πολικότητας που προκάλεσε στο συμμετέχοντα η εικόνα (Πίνακας 1).

ΠΙΝΑΚΑΣ 1
ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΛΑΣΕΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΟΛΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΕΝΤΑΣΗΣ

Συναίσθημα	Πολικότητα	Ένταση
LVLA (λύπη)	Αρνητική	Χαμηλή
LVHA (θυμός)	Αρνητική	Υψηλή
HVLA (χαρά)	Θετική	Χαμηλή
HVHA (ενθουσιασμός)	Θετική	Υψηλή
N (ουδέτερο)	Ουδέτερη	Ουδέτερη

Κάθε εικόνα χαρακτηρίζεται από 2 αξιολογήσεις: η μία είναι η αξιολόγηση του συμμετέχοντα στο πείραμα και η άλλη είναι η εκ των προτέρων αξιολόγηση της βάσης IAPS (norms). Η αξιολόγηση των εικόνων βάσει norms παρουσιάζεται στην Εικόνα 1 σε ένα 2-διάστατο επίπεδο πολικότητας-έντασης. Λόγω των ορίων που χρησιμοποιήσαμε για να κατατάξουμε κάθε εικόνα σε συγκεκριμένη συναισθηματική κατάσταση, για την αξιολόγηση των εικόνων βάσει norms δεν προκύπτουν εικόνες που ανήκουν στην ουδέτερη κατάσταση.

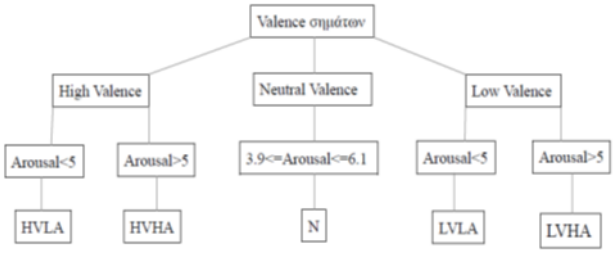


Εικ. 1. Αξιολόγηση των εικόνων βάσει norms

Για την ταξινόμηση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν 3 διαφορετικά σενάρια ταξινόμησης. Αρχικά, (α) πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση στις 5 κλάσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκαν 2 ακόμα σενάρια στη λογική της ταξινόμησης σημάτων ίδιας πολικότητας και έντασης. Μια παρόμοια λογική με ταξινόμηση ανά ένταση ή πολικότητα έχει χρησιμοποιηθεί κι από τους Yi-Hung Liu et al. [1]. Στη μία περίπτωση (β) διαχωρίστηκαν τα σήματα σε 2 κλάσεις, υψηλής και χαμηλής πολικότητας, και σε καθεμία από αυτές τις κλάσεις κάναμε ταξινόμηση σε 3 κλάσεις: υψηλής και χαμηλής έντασης και μιας ουδέτερης κατάστασης. Αντίστοιχη διαδικασία χρησιμοποιήθηκε στο σενάριο ταξινόμησης (γ) για σήματα της ίδιας έντασης. Για να επιλεχθεί το βέλτιστο σενάριο ταξινόμησης, χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος k-NN (k-Nearest-Neighbors) με k=5. Όπως παρατηρείται και στον Πίνακα 2, αυτό που επιλέχθηκε είναι το σενάριο όπου τα σήματα αρχικά διαχωρίζονται σε 2 κλάσεις, υψηλής και χαμηλής πολικότητας (Εικόνα 2).

B. Αλγόριθμοι Ταξινόμησης

Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση των σημάτων είναι οι: k-NN, SVM και αλγόριθμοι discriminant analysis (quadratic και linear).

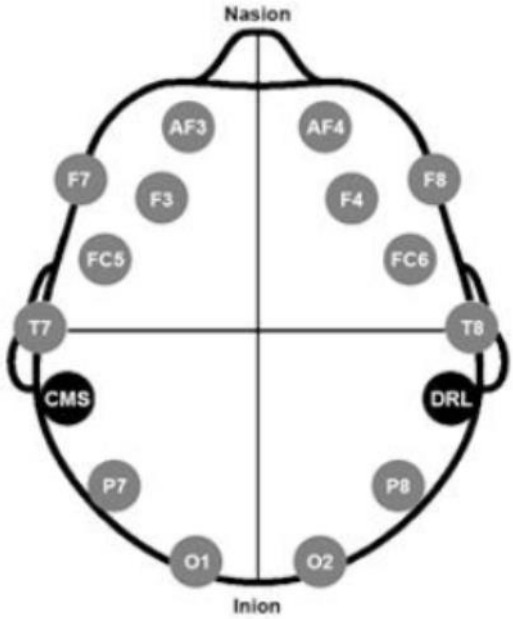


Εικ. 2. Το βέλτιστο σενάριο ταξινόμησης

ΠΙΝΑΚΑΣ 2
ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ 3 ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

Σενάριο ταξινόμησης	*Αξιολόγηση συμμετέχοντα*	*Norms*
(α)	*59.62 %*	*49.51%*
(β)	*69.07 %*	*69.49 %*
(γ)	*65.43 %*	*70.44 %*

Για κάθε εικόνα, έχουμε πληροφορία από 14 ηλεκτρόδια, τα οποία έχουν τοποθετηθεί σύμφωνα με το διεθνές σύστημα ηλεκτροδίων 10-20. Τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στην Εικόνα 3.



Εικ. 3. Τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα

Στον Πίνακα 3, παρατίθενται τα αποτελέσματα των πειραμάτων που εκτελέσαμε με τους 3 παραπάνω αλγορίθμους. Όσον αφορά στον αλγόριθμο SVM, δεδομένου ότι περιορίζεται σε ταξινόμηση 2 κλάσεων, η ταξινόμηση έγινε σε κάθε τεταρτημόριο της Εικόνας 1 (μεταξύ του τμήματος που αντιστοιχεί στην κατάσταση N και του τμήματος του αντίστοιχου επιπέδου πολικότητας και έντασης).

ΠΙΝΑΚΑΣ 3
ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ

Αλγόριθμος	Αξιολόγηση συμμετέχοντα	Norms
k-NN (k=5)	69.07 %	69.49 %
k-NN (k=6)	69 %	69.58 %
k-NN (k=7)	69.06 %	69.45 %
QDA	65.11 %	66.61 %
LDA	67.69 %	68.74 %
SVM (kernel:Gaussian,method: Sequential Minimal Optimization	82.62 %	74.63 %
SVM (kernel:Gaussian,method: Least Squares	83.81 %	73.59 %

Γ. Επιπλέον Διερεύνηση

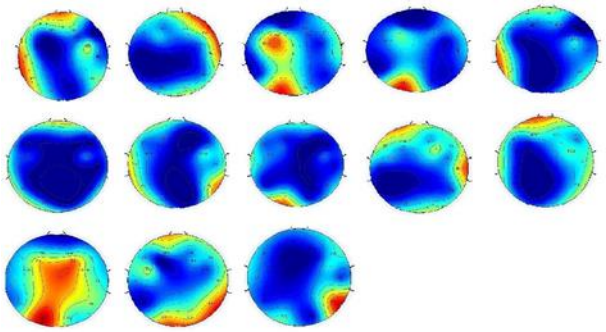
Κάνοντας μια μελέτη στη βιβλιογραφία, υπάρχουν πολλές μελέτες για αναγνώριση συναισθήματος από εγκεφαλογραφήματα με τη χρησιμοποίηση όσο το δυνατόν λιγότερων ηλεκτροδίων, όπως στη μελέτη των Mina Mikhail et al. [5]. Στην Εικόνα 4, απεικονίζονται 13 'εγκέφαλοι'. Κάθε ένας από τους 13 'εγκεφάλους' απεικονίζει κι ένα διαφορετικό χαρακτηριστικό ταξινόμησης, με τη σειρά που αναφέρθηκαν παραπάνω. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται για κάθε χαρακτηριστικό η τυπική απόκλιση των τιμών που προέκυψαν από το σύνολο των εικόνων και το σύνολο των συμμετεχόντων για κάθε ένα ηλεκτρόδιο ξεχωριστά. Μελετώντας αυτή την εικόνα, προκύπτει ότι οι περιοχές του εγκεφάλου με τη μεγαλύτερη τυπική απόκλιση είναι ο μετωπιαίος λοβός και ο βρεγματικός και ινιακός λοβός. Οπότε εκτελέσαμε 2 πειράματα με το βέλτιστο αλγόριθμο από αυτούς που αναφέραμε παραπάνω, που είναι ο SVM με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων. Το 1ο πείραμα αφορούσε τα ηλεκτρόδια του μετωπιαίου λοβού (AF3, AF4, F3, F4, F7, F8, FC5, FC6) (α) ενώ το 2ο τα ηλεκτρόδια των βρεγματικών και ινιακών λοβών (P7, P8, O1, O2) (β) (Πίνακας 4).

Στην ιδανική περίπτωση, όταν ο συμμετέχοντας παρατηρούσε μια εικόνα, θα έπρεπε να βιώνει την ίδια συναισθηματική διέγερση καθ' όλη τη διάρκεια προβολής της. Ωστόσο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5, κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει. Η Εικόνα 5 απεικονίζει το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα ενός τυχαίου συμμετέχοντα, το οποίο έχει κατατμηθεί σε 12 μη-επικαλυπτόμενα χρονικά παράθυρα. Για το κάθε χρονικό παράθυρο, υπολογίστηκε ο λόγος της beta band (12-30 Hz) του bispectrum προς την alpha band (8-12 Hz) του bispectrum. Εκεί όπου αυτός ο λόγος παρουσιάζει μέγιστο, είναι η χρονική περίοδος που ο συμμετέχοντας βιώνει την πιο έντονη συναισθηματική διέγερση. Χρησιμοποιώντας, λοιπόν, σαν χαρακτηριστικά ταξινόμησης τους 12 αυτούς λόγους, εκτελέσαμε κάποια

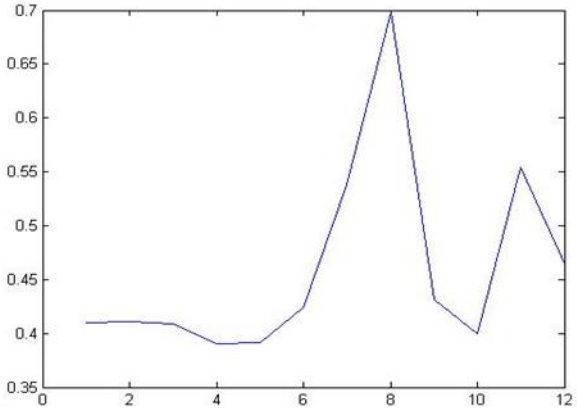
ακόμα πειράματα, χρησιμοποιώντας το βέλτιστο σετ παραμέτρων για κάθε μία από τις 3 κατηγορίες αλγορίθμων που αναφέρθηκαν παραπάνω, τα οποία όμως δεν έδωσαν ικανοποιητικό αποτέλεσμα, συγκεκριμένα ίσο με 76.66 % με τον αλγόριθμο SVM στη βέλτιστη περίπτωση

ΠΙΝΑΚΑΣ 4
ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΝΟΣ ΜΕΡΟΥΣ ΤΩΝ 14 ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ

Ηλεκτρόδια	Αξιολόγηση συμμετέχοντα	Norms
(α)	82.39 %	72.64 %
(β)	87.78 %	75.07 %



Εικ. 4. Τοπολογία χαρακτηριστικών ταξινόμησης στον εγκέφαλο



Εικ. 5. Το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα ενός τυχαίου συμμετέχοντα με την απεικόνιση του λόγου b/a κατά μήκος των χρονικών παραθύρων

VI. Αποτελεσματα

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 3, ο αλγόριθμος με την καλύτερη απόδοση είναι ο SVM με τη χρήση του Gaussian kernel και συγκεκριμένα με τη μέθοδο ελάχιστων τετραγώνων. Από τον Πίνακα 4, παρατηρούμε ότι η χρήση μόνο των ηλεκτροδίων των βρεγματικών και ινιακών λοβών βελτιώνει το αποτέλεσμα με ποσοστά που αγγίζουν το 90%, ενώ η χρήση των ηλεκτροδίων του μετωπιαίου λοβού, παρόλο που υποβαθμίζει ελάχιστα το αποτέλεσμα, μειώνει σε σημαντικό βαθμό την υπολογιστική ισχύ.

VII. Συμπερασματα και Προτασεις για περαιτερω μελετη

Σε αυτή τη μελέτη παρουσιάστηκε μια προσπάθεια αναγνώρισης συναισθήματος με τη χρήση εγκεφαλογραφήματος και στατιστικής ανώτερης τάξης. Η χρήση στατιστικής ανώτερης τάξης αποδείχθηκε ένα αρκετά αποτελεσματικό εργαλείο για την επίτευξη αυτού του σκοπού. Βέλτιστος αλγόριθμος ταξινόμησης αποδείχτηκε ο SVM. Αρκετά αποδοτική αποδείχθηκε η εμβάθυνση στον τρόπο ταξινόμησης των εγκεφαλικών σημάτων. Η χρήση των ηλεκτροδίων των ινιακών και βρεγματικών λοβών φάνηκε να δίνει το βέλτιστο αποτέλεσμα. Με εξαίρεση τον SVM αλγόριθμο, τα αποτελέσματα ταξινόμησης με βάση την αξιολόγηση των συμμετεχόντων ήταν παρόμοια με αυτά βασισμένα στην εκ των προτέρων αξιολόγηση της IAPS (norms). Σαν μελλοντική μελέτη πάνω σε αυτό το επιστημονικό πεδίο θα μπορούσε να γίνει εξαγωγή των χαρακτηριστικών ταξινόμησης που χρησιμοποιήθηκαν από το χρονικό παράθυρο όπου μεγιστοποιείται ο λόγος b/a, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Αξίζει επίσης να επιχειρηθεί περαιτέρω προσπάθεια στην αντιμετώπιση του προβλήματος βασισμένοι στα πορίσματα που μπορούν να προκύψουν από την τοπολογία των χαρακτηριστικών ταξινόμησης στον εγκέφαλο (Εικόνα 4). Τέλος, ενδιαφέρον θα παρουσίαζε και η μελέτη άλλων συναισθηματικών καταστάσεων από αυτές που αναφέρθηκαν παραπάνω, όπως για παράδειγμα ο φόβος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Liu, Y. H., Wu, C. T., Cheng, W. T., Hsiao, Y. T., Chen, P. M., & Teng, J. T. (2014). Emotion Recognition from Single-Trial EEG Based on Kernel Fisher's Emotion Pattern and Imbalanced Quasiconformal Kernel Support Vector Machine. Sensors, 14(8), 13361-13388.

[2] Liu, Y., Sourina, O., & Nguyen, M. K. (2011). Real-time EEG-based emotion recognition and its applications. In Transactions on computational science XII (pp. 256-277). Springer Berlin Heidelberg.

[3] Bos, D. O. (2006). EEG-based emotion recognition. The Influence of Visual and Auditory Stimuli, 1-17.

[4] Petrantonakis, P. C., & Hadjileontiadis, L. J. (2011). A novel emotion elicitation index using frontal brain asymmetry for enhanced EEG-based emotion recognition. Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on, 15(5), 737-746.

[5] Mikhail, M., El–Ayat, K., Coan, J. A., & Allen, J. J. (2013). Using minimal number of electrodes for emotion detection using brain signals produced from a new elicitation technique. International Journal of Autonomous and Adaptive Communications Systems, 6(1), 80-97.

[6] Petrantonakis, P. C., & Hadjileontiadis, L. J. (2010). Emotion recognition from EEG using higher order crossings. Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on, 14(2), 186-197.

[7] Jatupaiboon, N., Pan-ngum, S., & Israsena, P. (2013). Real-time EEG-based happiness detection system. The Scientific World Journal, 2013.

[8] Petrantonakis, P. C., & Hadjileontiadis, L. J. (2010). Emotion recognition from brain signals using hybrid adaptive filtering and higher order crossings analysis. Affective Computing, IEEE Transactions on, 1(2), 81-97.

[9] Petrantonakis, P. C., & Hadjileontiadis, L. J. (2009, September). EEG-based emotion recognition using hybrid filtering and higher order crossings. In Affective Computing and Intelligent Interaction and Workshops, 2009. ACII 2009. 3rd International Conference on (pp. 1-6). IEEE.

[10] Yuen, C. T., San, W. S., Seong, T. C., & Rizon, M. (2011). Classification of human emotions from EEG signals using statistical features and neural network. International Journal of Integrated Engineering, 1(3).

[11] Λεόντιος Ι. Χατζηλεοντιάδης, "Μέθοδοι επεξεργασίας βιοιατρικών σημάτων", έκδοση: Τμήμα εκδόσεων, πανεπιστημιακό τυπογραφείο, 2004-2005, σελ. 22-25

[12] http://csea.phhp.ufl.edu/media/iapsmessage.html

Design of Augmented Reality 3D Rehabilitation Application using an Inertial Measurement Unit

G. Kontadakis, D. Chasiouras, D. Proimaki, K. Mania[1]

***Abstract*—This work introduces an innovative gamified 3D rehabilitation application intended for patients that underwent Total Knee Replacement surgery, in collaboration with the Chania General Hospital in Crete, Greece. The application uses a custom-made, portable sensor node consisting of an Inertial Measurement Unit (IMU) attached on a lower limb in order to capture its orientation in space. The aim is to increase patient engagement during physiotherapy by motivating them to participate in a 3D game using as input the proposed sensor node attached on the lower limb and provide feedback via a gamified experience offering rewards. The game projects a graphical image of the patient's limb as part of a 3D computer graphics scene. It then classifies the exercise performed during physiotherapy as accurately performed or not and increases patient compliance via a reward system. Our goal is to reduce the need for the physical presence of a physiotherapist by aiding the efficient performance of exercise sessions at home. In order to instruct the classifier and maximize success rate, machine learning methods are applied. The custom-made, low-cost sensor node put together consists of a Raspberry Pi model A+ and the MPU-9150 nine axis module. The latter is similar to the ones used in many commercial wearable devices. The application runs on both PC and a smartphone in order to increase functionality. The system side presented here was implemented entirely using the Java programming language with the help of the JMonkeyEngine game engine.**

***Index Terms*—Binary classifier, IMU, Machine Learning, Virtual Rehabilitation, Serious Game, TKR**

I. Introduction

THE aim of this project is to design and implement a custom-made portable, mobile and low cost 3D rehabilitation application intended for patients that underwent Total Knee Replacement (TKR) [5]. The first weeks following knee surgery are crucial so that the range of movement (ROM) of the operated knee is deemed fully operational. If the patient does not perform adequately the exercises appointed by the physiotherapist during this recovery period, an otherwise technically accurate operation might result in poor functional outcome leading to reduced quality of life. The aim of our gamified application is to motivate the patient to exercise efficiently by providing feedback while the physiotherapy exercises are performed. Initially, a randomly selected control group performs the exercises under physiotherapist supervision who marks them as accurately performed or not. In order for the application to obtain such input and provide adequate feedback, an Inertial Measurement Unit (IMU) node is utilized worn by the patient recognizing limb rotation and acceleration. The challenging research issue addressed in this work is whether the proposed application classifies the exercises reliably utilizing just a single sensor node. Previous work has put forward a proposed classifier using Machine Learning techniques, achieving 83% accuracy [1]. The goal of this work is to train a classifier achieving higher accuracy than in previous work. Providing gamified feedback to the patient at home using widely available smart phones or tablets minimizes the need for expensive physiotherapy under supervision, resulting in more engaging and accessible rehabilitation. This paper focuses on the implementation of the software framework which will support the sensor attached to patients' limb while undergoing physiotherapy treatment.

II. Existing Technologies

Several approaches listed below have been employed to track limb motion of different precision, cost and complexity [2],[7]:

Optical systems. They use visual data captured by one or more cameras to triangulate the 3D position of a set of points detected. Some of them can reach a high precision, i.e, of a few millimeters, but also have very high cost. A cheaper solution of lower precision, i.e, of a few centimeters is represented by Microsoft Kinect, which uses only one RGB camera and an infrared depth sensor. However, it suffers from lack of portability due to its cumbersome setup.

Exo-skeletons are rigid structures of jointed, straight metal or plastic rods linked together with potentiometers or encoders that articulate at the joints of the body. These systems offer real-time, high precision acquisition and have the advantage of not being influenced by external factors, such as visual occlusion, quality and the number of cameras. Their main disadvantage is the movement limitation imposed by the mechanical constraints of the exoskeleton structures.

[1]submitted for review: 23/09/2015

G. Kontadakis, Graduate Student in the Department of Electronic and Computer Engineering of the Technical University of Crete (e-mail: gkontadakis@isc.tuc.gr).

D. Chasiouras, Trauma & Orthopaedics Resident at Chania General Hospital, Greece (e-mail: dr.chasiouras@yahoo.com).

D. Proimaki, Physiotherapist at Chania General Hospital, Greece (e-mail: despiproimou@gmail.com).

K. Mania, Associate Proffessor in the Department of Electronic and Computer Engineering of the Technical University of Crete (e-mail: k.mania@ced.tuc.gr).

Electrogoniometer systems. *Electrogoniometers are w*idely used to measure human joint movements. Their advantage over conventional potentiometric goniometers is that they adapt better to body parts and are not sensitive to misalignments. Their major weakness is their high cost.

Magnetic systems. They calculate the position and orientation of a magnetic sensor probe. Their main disadvantage is that they are susceptible to electromagnetic interference from metal objects in the environment or electromagnetic sources.

Inertial systems. IMUs are based on miniature inertial sensors (accelerometer and gyroscopes), biomechanical models and sensor fusion algorithms. They can also include a magnetic sensor, although these are susceptible to electromagnetic noise. Benefits of using inertial systems include low cost, small dimensions, portability and large capture areas. Disadvantages include lower positional accuracy and positional drift.

III. IMU FUNCTIONALITY

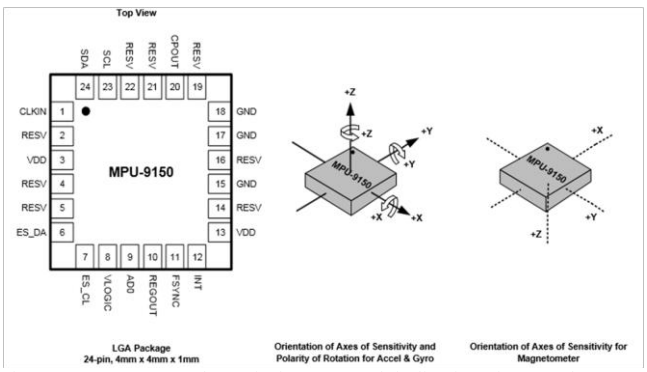


Figure 3. MPU-9150 schematic from manual, indicating pins, accelerometer, gyroscope and magnetometer axes.

IMUs provide the leading technology used in smartphones and wearable devices in order to measure rotational and translational movements. For this purpose, it combines a number of sensors:

3-axis Accelerometer. The accelerometer measures inertial force caused by gravity and acceleration. It can accurately measure rotation, however, it is susceptible to noise caused by rapid changes of acceleration. Moreover, an accelerometer measures orientation on 2 axes. The gravitational force measured will not be affected by z-axis rotation, only by x,y axes rotation. In order to be able to capture orientation along the z-axis, a magnetometer (compass) is used complementary to the accelerometer.

3-axis Gyroscope. The gyroscope does not measure any angle directly. It measures the rate of change of any angle at a specified frequency, e.g. 100 Hz. This makes it suitable for short- term observations and fast rotational signal changes. In relation to long-term observations, it is susceptible to drift errors. Drifting occurs when the gyroscope output is integrated. Measurement errors are then also integrated resulting to large amount of cumulative errors. When measurements are not sampled in exact intervals according to a specified frequency this phenomenon is more apparent.

3-axis Magnetometer. The magnetometer measures the earth's magnetic field. It is used in conjunction to the gyroscope sensor in order to capture rotation around z-axis. Because it measures electromagnetic forces, it is susceptible to electrostatic interference present in a home environment which may affect the readings received.

Temperature sensor. Temperature sensors measure environmental temperature changes. The temperature also affects the measurements collected by the accelerometer, the gyroscope and the magnetometer.

In order to get improved rotational estimation measurements, it is a common practice [2] to apply a filtering method combining an accelerometer and a gyroscope and if necessary magnetometer readings. In this project, the IMU MPU-9150 is used (Figure 3). The utilized sensor node contains the sensors mentioned above.

A. *Filtering Method*

In order to obtain accurate orientation measurements and minimize cumulative errors we need to combine the accelerometer long term measurements (low pass filtering) with the gyroscope accurate short term measurements in order to capture fast changes in rotation (high pass filter). As a result, the accelerometer measurements of orientation are used at low angular velocities and the integrated gyroscope measurements at high angular velocities. Such a simple approach may only be effective under limited operating conditions. Certain algorithms in research literature employ a complementary filter process, using adaptive parameters [3],[4]. This algorithm structure has been shown to provide a good trade-off between effective performance and computational expense, when compared to Kalman filtering techniques that achieve optimal results in the expense of high computational load.

IV. APPLICATION FUNCTIONALITY

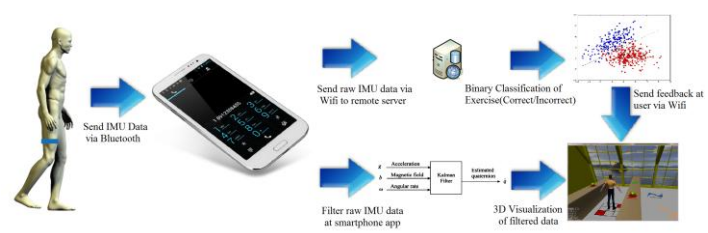


Figure 1. Application Procedure.

A. Application Procedure Example

The end functionality of the proposed application is shown in Figure 1 and described in detail below.

Initially, a training session including patients has taken place which drove the classifier design. The IMU is fitted on the patient at a specified limb location depending on the exercise performed. The session starts with the patient in a neutral pose ready to perform one of the predetermined exercises. The raw data collected from the IMU is sent via Bluetooth to a mobile device or personal computer. The application computes an orientation with the use of a filtering method. Real-time visualization on a mobile platform or personal computer offers feedback in the form of a 3D game presented to the patient. At the same time, the raw and/or filtered data are transmitted via Wi-Fi at a remote server. The server applies the designed classifier to the current data and decides whether the exercise was accurately performed. This delayed classifier feedback is then sent to the end user displayed on a mobile device or PC in a readable form translated to a 3D visualization, after the end of the motion. The procedure is then concluded and the subject can perform another or the same exercise again. At this point the overall performance of the system can be evaluated by the end users.

B. Gamification Feedback

The main goal of the application is to improve compliance to the physiotherapy protocol, increase patient engagement, monitor physiological conditions and provide feedback using a reward process via a gamified experience. This is achieved using the following methods:

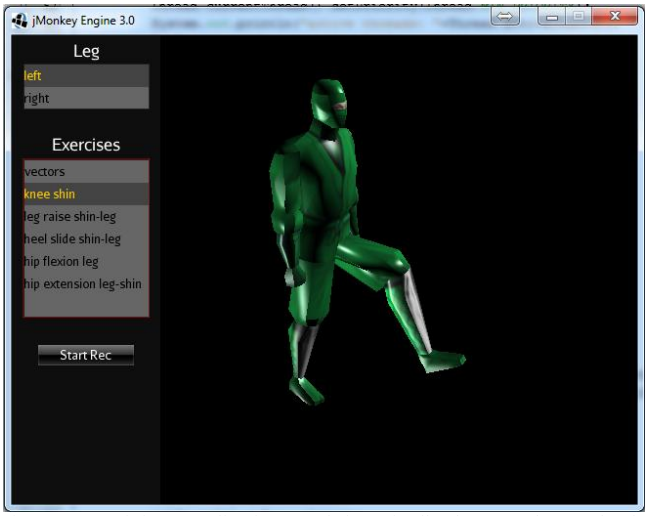


Figure 2. Training Application Real-time feedback example on the knee flexion exercise.

Real-time IMU feedback. Raw data from the IMU are filtered and limb orientation is determined. By collecting this data, the proposed framework visualizes in real-time and in 3D an approximation of the user's motion. For example, during a knee flexion exercise, the patient can actually see a virtual character extending and flexing his knee (Figure 2). In this context, a user engages in a serious game of a specific objective, for instance, the patient is instructed to try and kick a ball. The serious game will be designed so as to motivate the user. For example, the visual character could be visualized as a bird and based on the orientation motion of the limb, the bird may try to fly. Ideally, a mini-game is to be designed, suitable for every exercise specified by the physiotherapist.

Delayed Classifier feedback. The raw data of the IMU are inserted in the classifier. The classifier decides whether the exercise has been performed accurately. The appropriate feedback provided by the classifier is sent to the user. If the exercise was classified as accurately performed, the player is awarded, e.g. by increasing a score attribute or by playing an appropriate animation. If the exercise was classified as inaccurately performed, then the application informs the user of the correct movement, e.g. by providing a limb movement animation and encourages the patient to try again. The classifier can run either locally on the PC or smartphone, or on a remote server. In either case, the feedback will appear after a certain delay of a few seconds depending on classifier complexity, processing speed and bandwidth in the case of a remote server classifier. The local classifier benefits of a smaller delay depending on processing speed of the CPU/GPU. The remote classifier can have the benefit of additional online feedback by the physiotherapist as an extension of the current application.

V. CLASSIFIER DESIGN

Previous work achieved promising results indicating that the number of IMUs employed does not differentiate classification results (3, 2 and 1 IMUs were tested [1]). Moreover, it has been shown that the classification of variant exercises reached success rates of 83%. These results drive the further investigation of the classification problem using a single IMU ensuring maximum portability in conjunction with potential higher success rates. It is a challenging research problem to manage to train a classifier that achieves higher percentage of success under certain conditions. These conditions include constant room temperature and correct positioning of the sensor. In order to address this research challenge, machine learning methods are employed such as Relevance Vector Machines (RVMs) which are probabilistic basis models. The trained RVM utilizes fewer basis functions than the corresponding Support Vector Machine (SVM) model and typically has superior test performance [6].

A. Training the Classifier

Having briefly discussed the layout of the application, it is worth summarizing the training procedure. The exercises in question are selected by the physiotherapists based on the American Academy of Orthopaedic Surgeons TKR exercise guide [5]. The physiotherapists also supervise each exercise in

order to determine whether it was performed in a compliant manner during the training session. The sensor is worn by the subject on the appropriate limb location. The first exercise is performed a number of times. The physiotherapist evaluates the exercise result. A binary evaluation would indicate if an exercise is successful or unsuccessful under the specified criteria. The raw data of the IMU for each exercise are saved on a database. The data collected will eventually end up at the remote server or local machine (PC or smartphone) that will be used to train the classifier. The subject proceeds to the next exercise in the same manner. When sufficient data are collected, the same procedure is repeated for the next subject. When all users (n=10) have completed the procedure, the data gathered can be used to train and test the classifier e.g. via cross-validation. In order to instruct the classifier, we use a random group of healthy adults of diverse ages and sexes. The training procedure takes place at the Chania General Hospital under the supervision of a physiotherapist.

B. Testing the Classifier

The initial formal testing of the application and therefore the classifier, on patients after TKR surgery will be conducted in a similar manner at the Chania General Hospital under the supervision of a physiotherapist. Note that factors such as room temperature should remain constant in order to obtain optimal results since temperature variations affects IMU measurements. The data gathered from the testing procedure can be later used as training data to further improve our classifier results by adding diversity to the population sample. It is important to design a generalized classifier that can avoid overfitting.

VI. IMPLEMENTATION

Figure 4. Prototype node.

A. Node Hardware Setup

An initial prototype node can be seen in Figure 4. The research contribution of this work is not the actual design of the node's hardware configuration but the complete software framework and application that employs the node communicating feedback to the patient. Therefore, an important factor for the node setup described below is its simplicity. The readings received by the IMU are independent of the hardware setup. This means that this setup can be used by any wearable device that employs an IMU. Having observed that, the components of the node and their functionality are briefly discussed.

A *Raspberry Pi model A+* is a credit card sized computer that runs Raspbian (Linux Based kernel). It includes a pin header of 26 pins used for connections with all sorts of hardware peripherals, in our case an IMU. The IMU model used in the current work is *MPU-9150*. It contains an accelerometer, a gyroscope, a magnetometer and a temperature sensor. It is connected to Raspberry Pi and sends the raw data captured signifying rotational motion. The connection to Raspberry Pi is achieved via the I2C protocol. This protocol employs the use of 4 pin connections: VCC, GND, SDA and SCL. The IMU pins are simply connected to the appropriate Raspberry Pi pins that implement the I2C protocol. A *Bluetooth Dongle* is used to send the raw data received from the node to our application that runs on a PC or smartphone. The dongle is connected to the single usb port of the Raspberry Pi model A+. A *4 AAA Battery Pack* is also employed. The node will be attached on the patient's limb during the training/testing phases. Therefore, a considerable amount of battery autonomy for our node is necessary. By employing 4 AAA fully recharged 1100 mAh batteries, the node can send data for 7 hours and 40 minutes on full capacity.

B. Node software setup

The Raspberry Pi node utilizes a variety of programming languages. Java is selected for the proposed application mostly due to its platform independent characteristics and the compatibility with the JMonkeyEngine 3 (JME3) game engine. The external libraries used were the *Pi4j* library, which provides a friendly object-oriented I/O API and implementation libraries for Java Programmers to access the full I/O capabilities via the Java programming language. This way the raw data from the IMU are transferred to Raspberry Pi. Moreover, the *Bluecove* library has been employed which is a Java library for Bluetooth A compiled version of bluecove for ARM architecture is employed. ARM is the architecture used for Raspberry Pi and the leading architecture for smartphones.

This program simply receives the raw data from the IMU and sends them via Bluetooth to a PC, laptop, or smartphone. Specifically, the node acts as a server to incoming Bluetooth connections. When a connection is received, it sets up the IMU, e.g. the gyroscope is sampled at 100 Hz. A received connection means the application is running on the end user. Then the accelerometer, gyroscope and temperature data are collected and sent via the bluetooth connection to the application at a rate of 100 Hz. This procedure continues until the user exits the application, or the battery depletes.

C. Application Software setup

In order to visualize the IMU readings received we used the JME3 game engine. JME3 is an open source cross-platform Java OpenGL Game Engine. It has very low minimum requirements that allow it to run fast on outdated PCs or smartphones. Even though it runs based on minimum OpenGL 2.0, it can operate on reduced functionality based on OpenGL 1.1. The IMU readings are received on the client side and via

the application GUI the user chooses an exercise to perform. Then the feedback is received as described above.

VII. CONCLUSIONS

Wearable technologies over the past years have been emerging for wide use in everyday activities. The need is arising, mostly for applications that exploit wearable sensors in order to improve quality of life. The current framework explores this need by introducing a virtual rehabilitation application on patients that have undergone TKR surgery. This application engages the patient to perform the recovery exercises accurately through a gamified 3D experience minimizing physiotherapist supervision. A 3D mini-game for each exercise appointed by the physiotherapist is being implemented. This framework can run on android smartphones with the use of single sensor node maximizing portability and ease of use. Machine Learning methods are employed to perform binary classification thus improving feedback results. Through this feedback accurate patient exercise and compliance is achieved by succeeding each mini-game objective. Further investigation is needed to extend binary into multiclass classification in order for the application to identify the exact error in patient limb motion. Also, further testing is needed in order for the application to support online physiotherapist feedback and online training of the classifier.

REFERENCES

[1] GIGGINS, Oonagh M.; SWEENEY, Kevin T.; CAULFIELD, Brian. Rehabilitation exercise assessment using inertial sensors: a cross-sectional analytical study. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 2014, 11.1: 158.

[2] BUONOCUNTO, Pasquale; MARINONI, Mauro; SANT'ANNA, Scuola Superiore. Tracking limbs motion using a wireless network of inertial measurement units. 2014.

[3] BACHMANN, Eric R., et al. Inertial and magnetic posture tracking for inserting humans into networked virtual environments. In: *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*. ACM, 2001. p. 9-16.

[4] MAHONY, Robert; HAMEL, Tarek; PFLIMLIN, Jean-Michel. Nonlinear complementary filters on the special orthogonal group. *Automatic Control, IEEE Transactions on*, 2008, 53.5: 1203-1218.

[5] CONVERY, F. Richard; BEBER, Carol A. Total knee arthroplasty: indications, evaluation and postoperative management. *Clinical orthopaedics and related research*, 1973, 94: 42-49.

[6] TIPPING, Michael. *Relevance vector machine*. U.S. Patent No 6,633,857, 2003.

[7] WANG, Po T., et al. A durable, low-cost electrogoniometer for dynamic measurement of joint trajectories. Medical engineering & physics, 2011, 33.5: 546-552.

Real-Time Medical Collaboration Services over the Web

Christos Andrikos[1], Georgios Rassias[2], Panayiotis Tsanakas[3]
School of Electrical and Computer Engineering
National Technical University of Athens
Athens, Greece
[1]candrikos@cslab.ntua.gr, [2]georassias@gmail.com, [3]panag@cslab.ntua.gr

Ilias Maglogiannis
Department of Digital Systems
University of Piraeus
Piraeus, Greece
imaglo@unipi.gr

***Abstract*—The gradual shift in modern medical practice, from working alone clinical doctors to MDTs (Multi-Disciplinary Teams), raises the need of online real-time collaboration among geographically distributed medical personnel. In this context, this paper presents a web-based platform, featuring intelligent medical data management and exchange, for hosting advanced medical collaborative services. The presented work leverages state-of-the-art features of the web (technologies and APIs) to support client-side medical data processing. Moreover, to address the typical bandwidth bottleneck and known scalability issues of centralized data sharing, an indirect RPC (Remote Process Call) scheme is introduced through object synchronization over the WebRTC paradigm.**

Keywords—single-page application; telemedicine; collaborative diagnosis; WebRTC; medical imaging; DICOM format

I. Introduction

Complex medical cases, requiring complicated decisions, have become the springboard of team-based treatment in modern healthcare practice. This trend shifts healthcare practice from a single clinician to a group of healthcare experts in different disciplines, providing specific services to the patient, with the aim of ensuring that the latter receives optimum care and support. For example, when planning a brain surgery strategy, determining the disease stage in a cancer patient, or even asserting the risk of a cosmetic operation, several disciplines are involved in a MDT and synchronous interaction among them is necessary. This resulted in the development of MDTMs (Multi-Disciplinary Team Meeting).

Although it is well known that the MDT management of patients generally improves medical outcome, there are a number of barriers that prevent the full realization of these benefits, such as insufficient facilities and time constraints. A MDTM in small hospitals may also be particularly challenging, as all the required specialists necessary for an MDT may not be available in such institutions. Moreover, certain cases require consequent MDTMs to ensure that decisions taken previously are implemented appropriately.

As healthcare continues to become more centralized and specialized, communication and computer [1] technology is being deployed to support MDTs. One of the most vital procedures requested by clinicians during an MDTM, is medical image and report sharing.

This paper presents a web based collaboration platform, leveraging state-of-the-art web technologies (HTML5, CSS3, JavaScript) and APIs (WebRTC) to provide user friendly and interoperable on-line MDTMs. The developed platform enhances communication among different specialists and tackles MDTM barriers: the meetings are easily integrated into the work schedule of specialists, while small or district hospitals need no special facilities for teleconferencing to support remote MDTMs. The proposed platform may also be utilized as a valuable avenue for teaching medical students and junior doctors [2].

II. Related Work

The development of similar distributed collaborative medical systems has received the attention of several research groups during the last years. INTERMED [3] is designed to enhance the communication among patients and multi-disciplinary health providers. TeleMed [4] is a visualized, action-oriented decision-support tool, providing collaborative sessions and access to basic patient data to physicians. HTML5 Zero Footprint DICOM viewer is the latest medical imaging product by LEADTOOLS, offering image processing on the browser. In previous work we introduced an intelligent collaboration system fusing the principles of heterogeneous Workflow Management Systems, AI, existing electronic medical infrastructure (PACS, EMR) and standards (HL7, WADO) [5].

Furthermore, recent developments in cloud computing technologies and the widespread use of mobile smart devices raise the need of device interoperability and transparency, introducing the principle of BYOD (Bring Your Own Device). A SPA (Single-Page Application) is a web application or web site that fits on a single web page with the goal of providing a more fluid user experience akin to a desktop application complying with the aforementioned principle. Clinicians may access the same service from their own workplace desktop as well as any other device, getting the portability and cross-

platform functionality of a web application in addition to client-state management and responsiveness of a native application.

Medical data exchange among servers and clients is bandwidth intensive, thus server based architectures may introduce bottlenecks [6]. Moreover, most of the reported in literature systems, are device dependent, while they do not support the collaborative creation of workflows. This work focuses on the design and implementation of a transparent and robust SPA (Single-Page Application) that handles network utilization efficiently, in order to provide rich real-time MDTM services. The main innovative features of the proposed platform are the exploitation of client-side computing using the WebRTC protocol and the adoption of web technologies [7]. The proposed platform introduces also an indirect RPC scheme that enables clinicians to collaborate in real time following intelligent pathways using a medical image processing toolbox.

III. The Proposed Platform

The incorporated in the proposed platform SPA provides a complete DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) file viewer. It supports reading and displaying a wide-range of mono-frame and multi-frame DICOM files, encoded according to most common transfer syntaxes and photometric interpretations. Interaction with any PACS or imaging modality via WADO (Web Access DICOM Objects) is also included.

The developed SPA includes the following key features:

- opening DICOM studies from CD/DVD/Blu-ray disks and local or network folders, smart series integration (synthesis from distinct DICOM files) and browsing
- image operations: zooming and panning, rotation and flips, brightness and contrast adjustment, preset window setting for Computed Tomography and Magnetic Resonance modalities
- ROIs (Regions Of Interest): segment length, area, angle measurements and pen tool for free hand drawing
- support for DICOM overlays (annotations or graphic overlays included in the file)
- displaying DICOM file structure with DICOM header tags, their descriptions and values

The innovation of the presented SPA is the real-time collaboration feature based on multi-channel video conferencing, workspace screen and file sharing, chat rooms and annotations. While typical implementations of similar collaboration environments involve centralized architectures, we introduce a pure peer-to-peer interconnection scheme to eliminate any intermediate party overheads and scalability issues (Figure 1). The communication mechanism relies on the WebRTC protocol, which is a free, open source project that provides browsers with secure (encryption embedded) RTC (Real-Time Communication) capability.

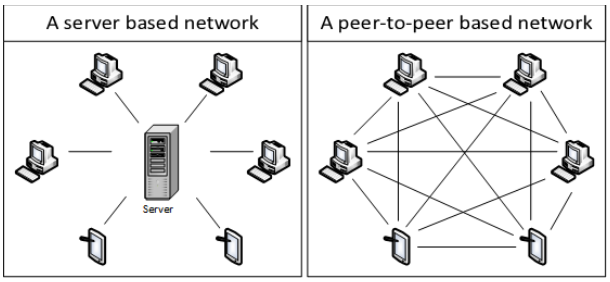


Figure 1. Network topologies

The introduced software encapsulates seven autonomous modules: WADOC, DP, DIV, IPT, FSE, CE and PeerConnector (Figure 2). WADOC (WADO Connector) is responsible for requesting and receiving DICOM persistent objects, i.e. images and medical imaging reports, from remote repositories, via a simple REST API. DP (DICOM Parser) parses DICOM files to extract medical images and corresponding medical metadata. It is designed to utilize modern multi-core architectures efficiently and reduce memory footprint. DIV (DICOM Image Viewer) is the component tasked with displaying medical images, while IPT (Image Processing Toolbox) provides key functionality for image manipulation and processing. Conferencing and file sharing services are provided by CE (Conferencing Engine) and FSE (File Sharing Engine), respectively. Finally, PeerConnector leverages WebRTC APIs to manage the communicational requirements of the SPA, via asynchronous JSON message exchange.

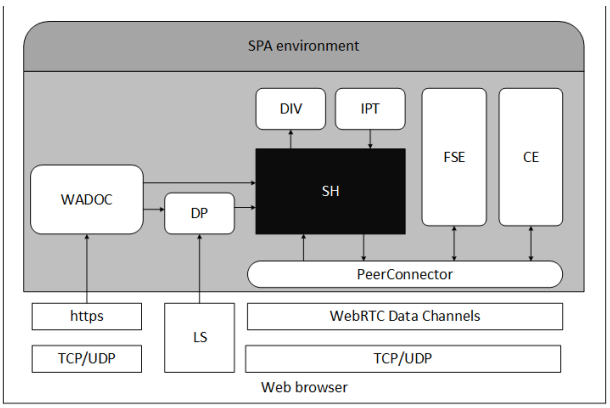


Figure 2. Client module structure

IV. The System in Practice

The online real-time medical collaboration environment has to deal with user interactions, network I/O, as well as synchronization and consistency of data among clients. The heart of our implementation is the SH (Symmetric Heap), which is responsible for preserving the state of each client.

A. *The internal organization of Symmetric Heap*

Before we delve into the internal organization of SH, it is worth having a quick look at how DICOM structures its information. Certainly, DICOM Data Dictionary attributes play very important roles in mapping real-world data into the DICOM standard. However, the large variety of these attributes demands some sort of ordering, which is achieved with the Patient-Study-Series-Image hierarchy (Figure 3):

- One patient may have multiple studies.
- Each study may include one or more image series.
- Each series has one or more images.

To implement this hierarchy, DICOM assigns a key-level ID to each hierarchy level. For the patient level, this is Patient ID (all patients should have IDs that identify them uniquely). The "Patient ID" element is stored with the (0010,0020) tag, making this tag required for any type of imaging. Sequentially, the same principle applies to the other three levels of the Patient-Study-Series-Image hierarchy: at the Study level, each study has its unique Study Instance UID, (0020,000D); at the Series level, each Series has its unique "Series Instance UID" (0020,000E); and at the Image level, each Image has its own "SOP Instance UID" (0008,0018).

In this context, SH is a set of dynamic data structures conforming to DICOM hierarchy that represent client state. DICOM elements, as resulted from DP, WADOC or PeerConnector, map to models. Models pertaining to the same DICOM hierarchy level, are organized to collections (Figure 3), while any user actions (from IPT) are updating a supplementary scheme aligned to the basic framework. The overall architecture of client module complies with event driven programming, as the flow of the program is determined by SH updates, affording special meanings and triggering events bound to the corresponding modules (Figure 2). For example, consider the case that a user makes an area measurement. Any action movement of his mouse pointer updates a specific model of the SH. This eventually triggers an event forcing DIV to render the changes and PeerConnector to propagate the update to the network as figured in the next session IV.B.

B. Clients interconnection and Locks

In conjunction with PeerConnector, SH realizes distributed system state representation and management. As all clients preserve their own SH module, SH is sufficient to become the core of the synchronization mechanism. PeerConnector keeps aware of and propagates any SH update to the WebRTC data channels and vice versa (Figure 2). The received messages are parsed into models and placed into the SH hierarchy according to their semantics. In this way, events are symmetrically triggered among peers, implementing the aforementioned indirect RPC scheme.

The distributed nature of the presented architecture raises the need for a mechanism to maintain integrity of shared data. WebRTC data channels utilize SCTP which is message-oriented like UDP while ensuring reliable, in-sequence transport of messages with congestion control like TCP. Furthermore, race conditions emerging from contradicting user actions are coped with a coordinator-based protocol. The coordinator may be a dedicated site (e.g. Firebase) or a site elected from one of the N collaborating participants. Under the coordinator-based protocol, when multiple concurrent and overlapping locking operations are generated, the operation first arriving the coordinator will win. In other words, the final locking effect for a group of arbitrarily overlapping and concurrent locking operations is defined by the order in which they arrive at the coordinator [8]. To illustrate how the coordinator-based conflict resolution protocol works, consider the simple case in which physician A makes a length measurement while at the same time physician B moves the displayed medical image. According to our implementation, the operation that reaches the coordinator second should be aborted.

V. Use Case Scenarios and Evaluation

A single 512 matrix CT image contains 0.5 MB (512 x 512 x 16 bits) of data. An average CT study, which is composed of 300 x 2.5 mm images, contains 150 MB (300 x 0.5 MB) of data. The maximum lossless compression applicable to data is 3:1, giving a total of 50 MB [9]. Considering a simple scenario, physicians A and B are connected through a symmetric peer-to-peer data channel. In the proposed implementation the CT study will be transmitted (downloaded in case of WADO) once during the initialization of the session.

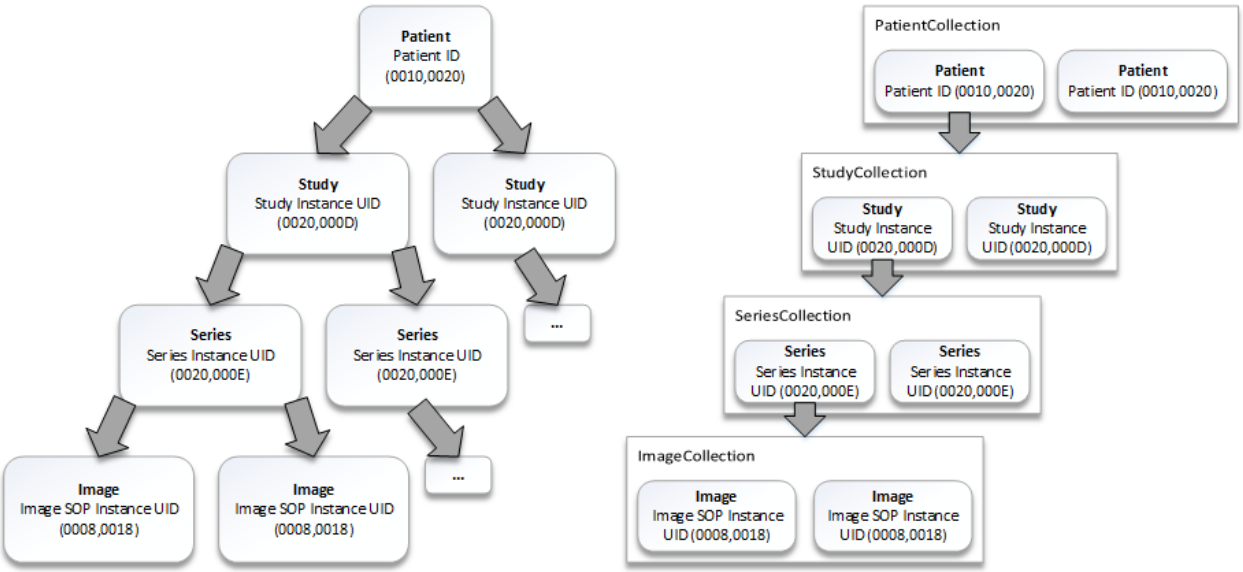


Figure 3. DICOM information hierarchy - SH hierarchy

Further operations applied to the CT study are propagated through the introduced indirect RPC mechanism. Instead of congesting the network with image data, JSON objects typically fitting in IP packets are exchanged, reducing the communication time and consequently improving scalability. A workflow consisting of three operations, leads to three JSON objects broadcast with average size of 64 Bytes. In classic screen sharing environments, the aforementioned interaction should invoke 1.5 MB (3 x 0.5 MB) of data. This justifies the fact that the introduced implementation demands drastically less bandwidth. Furthermore, as participants end up applying the same workflow on initial medical data almost concurrently, the real-time nature of the SPA is reinforced.

VI. Conclusion

The proposed collaborative work environment promotes physician collaboration and secure as well as easy medical data exchange using almost any smart device, leveraging intelligent workflow functionalities. The consumer demand and BYOD trend, lead us to implement the client framework on the web browser, instead as a standalone application. Our implementation does not require any plug-ins or external software. It resembles a typical web application, while the main image processing takes place in the client side. This, in conjunction with the peer-to-peer mesh network configuration that interconnects the participants, provides a scalable and efficient tool to support remote MDTMS. The meaning and practical use of facts or evidence is subjective upon different situations and participants [10]. Our proposed collaboration paradigm unleashes medical scientific evidence as the most essential process for better diagnosis, elevating it from grounded moral and situational considerations.

VII. References

[1] S. R. Stanek, W. Tavanapong, J. Wong, J. Oh, R. D. Nawarathna, J. K. Muthukudage and P. C. De Groen, "SAPPHIRE: A toolkit for building efficient stream programs for medical video analysis," *Computer Methods and Programs in Biomedicine,* vol. 112, no. 3, pp. 407-421, 2013.

[2] F. Gao, "A case study of using a social annotation tool to support collaboratively learning," *Internet and Higher Education,* vol. 17, no. 1, pp. 76-83, 2013.

[3] S. C. Stiefel, F. J. Huyse, W. Söllner, J. Slaets, J. Lyons, C. Latour, N. van der Wal and P. De Jonge, "Operationalizing integrated care on a clinical level: the INTERMED project," *Medical Clinics of North America,* vol. 90, no. 4, pp. 713-758, July 2006.

[4] D. Kilman and D. Forslund, "An international collaboratory based on virtual patient records," *Communications of the ACM,* vol. 40, no. 8, pp. 111-117, August 1997.

[5] C. Andrikos, I. G. Maglogiannis, E. Bilalis, G. Spyroglou and P. D. Tsanakas, "An intelligent platform for hosting medical collaborative services," in *8th Hellenic Conference on Artificial Intelligence: Methods and Applications, SETN 2014*, Ioannina, 2014.

[6] I. Maglogiannis, C. Delakouridis and L. Kazatzopoulos , "Enabling collaborative medical diagnosis over the Internet via peer to peer distribution of electronic health records," *Journal of Medical Systems,* vol. 30, no. 2, pp. 107-116, April 2006.

[7] S. Catayama, T. Goda,, S. Shiramatsu, T. Ozono and T. Shintani, "A fast synchronization mechanism for collaborative web applications based on HTML5," in *SNPD 2013 - 14th ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing*, 2013.

[8] C. Sun, "Optional and responsive fine-grain locking in internet-based collaborative systems," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems,* vol. 13, no. 9, pp. 994-1008, September 2002.

[9] N. H. Strickland, "Multidetector CT: what do we do with all the images generated?," *British Journal of Radiology,* vol. 77, no. SPEC ISS, pp. S14-S19, 2004.

[10] P. Måseide, "The deep play of medicine: Discursive and collaborative processing of evidence in medical problem solving," *Communication and Medicine,* vol. 3, no. 1, pp. 43-54, 2006.

Gesture Recognition for Alphabet Characters from Fingertip Motion Trajectory Using LRB Hidden Markov Models.

Liakis Ioannis [ioannis.liakis14@imperial.ac.uk]
Research Intern, Imperial College of London
Electrical and Electronic Engineering Department, Computer Vision and Learning Lab.
Project Supervisor: Dr. Tae-Kyun Kim [tk.kim@imperial.ac.uk]

Abstract

This report describes a method to recognize alphabet characters from a detected fingertip motion trajectory, of hand gestures, using HMM (Hidden Markov Models). For this purpose a dataset of recorded gestures was created. Orientation features from the gestures are quantized to generate code-words. HMM using Left-Right-Banded (LRB) topology is used with different number of states ranging from 3 to 10 and different number of observation symbols ranging from 8, 12, 18 . The best performance is achieved with 5 states and 8 observation symbols.

Introduction

Hand gestures are of much importance in Human-Computer Interaction and the Computer Vision field. They are an active area of research with the objective being to bring the performance of human-machine interaction close to human-human interaction. There are many applications of the hand gesture recognition. Sign-language recognition [1], communication in video conference [2], using a finger as a pointer for selecting options from a menu [3]. Over the last few years there have been many publications for hand gesture and motion recognition for both alphabet characters and numerical ones [4] [5] [6] [7] [8].

Hidden Markov Models have become very popular in handwriting recognition and are being used in spatio-temporal pattern recognition. The reason for that is their distinctive ability to learn model parameters from observation sequence through Forward-Backward, Baum-Welch for training and Viterbi algorithm for pattern classification. This report describes a Hidden Markov Model based method to recognize alphabet characters from an already detected fingertip motion trajectory.

There are many free datasets available to download online. The gestures in them are recorded with the subject sitting in front of the camera, which is recording either the motion trajectory of the hand centroid or the motion trajectory of a fingertip. A new dataset was necessary because the dataset on this report was recorded with the subject wearing the camera, so that it would record the fingertip motion from the subject's point of view. The recorded dataset contains fingertip motion trajectories which represent writing gestures. These, are spatio-temporal patterns. Therefore, it is reasonable for differences to occur amongst people. So, a time-independent method is

used to define the trajectories, as a sequence of directional angles which are then translated into the observation symbols and characterize a gesture. Each letter is then mapped to a different Hidden Markov Model.

Recognition System Implementation

The system is designed to classify the gesture path generated from a single fingertip motion trajectory by using HMM. Using the same system gesture paths generated from hand motion trajectory can also be recognized. The implementation consists of 3 main stages.

(1) **Preprocessing**: track the fingertip to generate its motion trajectory.
(2) **Feature extraction:** enhance the gesture path. Quantize the orientation. Determine the discrete vector (Observation symbols).
(3) **Classification:** the gesture is classified and recognized using the discrete vector and Left-Right Banded model.

A. Preprocessing

This stage has been already implemented by Guillermo Garcia-Hernando, PhD student in Computer Vision and Learning Lab, Imperial College. For the recordings a Creative camera was used. The algorithm was implemented using OpenCV code in Microsoft Visual Studio 2010 C++. Using the camera's set-up infrared depth system, the algorithm detected the hand of the subject and the upper point of the extended index finger (Fig. 1). The subject was able to start and stop recording the fingertip motion tajectory. Each frame sequence was recorded at approximately 40 frames/second at a resolution of 360x240 pixels. The motion trajectory is saved frame by frame both in pictures and in Cartesian system coordinates. The dataset consists of 10 recorded frame sequences per letter, 260 in total.

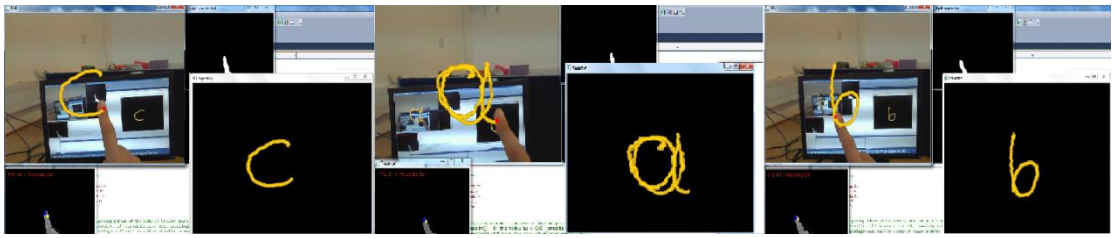


Figure 1: Motion trajectory of detected fingertip

Selecting the best features to describe the gesture path, play a significant role in performance. Three are the basic features: Location, Orientation and Velocity. Orientation is proven to be the most discriminant of the three, followed by velocity and location [5][6][7]. Therefore, in this report, orientation is used as the feature to describe the fingertip gesture trajectory. A gesture trajectory is considered to be the spatio-temporal pattern of the fingertip location L_t.

$$L_t = (x_t , y_t) ,(t = 1,2,3,\ldots,T) \quad (1)$$

The variable t represents the frame number with T being the last frame and the completion of a gesture. The orientation feature is represented by 'ϑ_t'. It is computed using successive frames of gesture path (Fig 2).

$$\vartheta_t = \arctan\left(\frac{y_{t+1} - y_t}{x_{t+1} - x_t}\right) \tag{2}$$

The extracted feature is further quantized by dividing it, and mapped to different decision regions. At first, only 8 codewords were considered, but in order to compare results to published papers 12 and 18 were considered as well, as in [5][6] (Fig. 2).

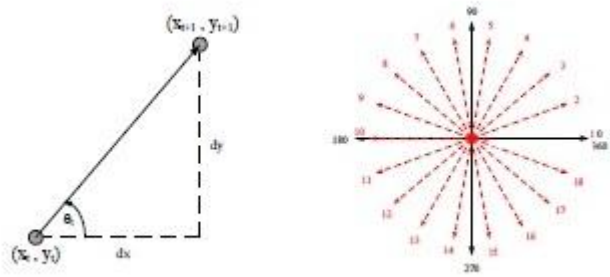


Figure 2. Orientation and its codewords

The feature vectors extracted differ in size, from gesture to gesture, depending on the time of completion for each alphabet, which is affected by the complexity and the shape of the gesture. So, the data were to be aligned in order to be comparable. [9] Presents an algorithm to align data so that the vectors of each alphabet are the same length.

C. Classification

A discrete Hidden Markov system using Left-Right Banded (LRB) topology is used, where each state can lead to itself or the next state only. Hidden Markov Model topologies include Left-Right and Ergodic but in [4] and [10] it is concluded that LRB topology is always better LR and Ergodic. Therefore, in this report LRB topology only is used (Fig 3).

1) ***The Hidden Markov Model***: A Hidden Markov Model is a mathematical model of stochastic processes [11][5]. An HMM is represented by a triple:

$$\lambda = (A, B, \Pi) \tag{3}$$

These parameters represent:

- An N-by-N transition matrix $A = \{a_{ij}\}$, with 'N' being the number of states in every model.

- An N-by-M observation matrix B = $\{b_{im}\}$, with 'M' being the number of observation symbols.
- An initial probability for each state Π_i, i=1,2,...,N.

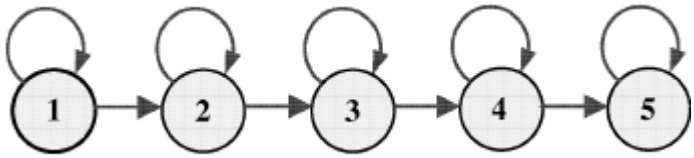


Figure 3: Left-Right Banded Model with 5 states.

2) ***Initializing Parameters:*** About the number of states, the segmented parts of every letter were taken into account. A different number of states per letter and a fixed one were considered with optimum 5 states. The parameters of HMM for the LRB model initialization are the same as in [5]. (Eq.5) describes the matrix A, which depends on the duration time d of states for every alphabet (eq.4).

$$d = \frac{T}{N} \tag{4}$$

$$A = \begin{pmatrix} a_{ii} & 1-a_{ii} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{ii} & 1-a_{ii} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{ii} & 1-a_{ii} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{ii} & 1-a_{ii} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{5}$$

$$a_{ii} = 1 - \frac{1}{d} \tag{6}$$

The second parameter is also very important. Matrix B is determined by (eq.7), where all the elements of this matrix are initialized with the same value for all the different states.

$$B = \{b_{im}\}\,,\ b_{im} = \frac{1}{M} \tag{7}$$

The third parameter is the initial state distribution vector 'Π' (eq.8) which will ensure that the system initializes from the first state

$$\Pi = (1\ 0\ 0\ 0\ 0)^{\mathrm{T}} \tag{8}$$

3) Model Training and Evaluation

Separate HMMs are trained for each alphabet using Baum-Welch algorithm. The inputs of this algorithm are a discrete observation vector from feature extraction stage and the initialized parameters. The outputs A,B,Π are an improved guess of the initial parameters, the trained model.

In this report, given test data, the trained models are evaluated using the log-likelihood. To classify a test sequence into one of 26 classes, one per HMM, the log-likelihood of each model and the test sequence is computed; if the first model is the most likely, then the sequence is declared to be of class 1, that is alphabet 'a'. Leave-one-out cross validation is used.

After the sequence classification, the most probable sequence of states for each class is computed using the Viterbi algorithm. Then, each path is compared to the known path from the database and recognized.

Simulation Results

The recognition system was simulated in MATLAB language using Kevin Murphy's HMM toolbox for HMM based system. The simulation was based on 10 recorded frame sequences for every letter, 9 of them were used for training and 1 of them, randomly selected, for testing. The dataset was aligned so that every alphabet's path would be of the same length. The simulation was run for M= **8**, **12** and **18** observation symbols, with 3-10 states, 10 times for each number of states. Results are shown below for fixed number of states. Results for different number of states per alphabet are not shown as they are insignificant to those below.

The successful alphabet classification rate was calculated as the mean of 10 simulations for each different number of states:

$$mean(\, Rc = \left(\frac{Number\ of\ correctly\ classified\ aplhabets}{Total\ number\ of\ aplhabets}\right))$$

The successful recognition rate for each alphabet was calculated as the mean path match rate of 10 simulations for each number of states:

$$mean(\, Rp = \left(\frac{Number\ of\ correctly\ recognized\ states\ in\ path\ sequence}{Total\ path\ length\ of\ each\ aplhabet}\right))$$

Observation symbols M								
8			**12**			**18**		
Number of states	**Rp**	**Rc**	**Number of states**	**Rp**	**Rc**	**Number of states**	**Rp**	**Rc**
3	0.8636	0.8538	**3**	0.8622	0.8731	**3**	0.8612	0.8769
4	0.7949	0.8654	**4**	0.7921	0.8385	**4**	0.7995	0.8615
5	0.7432	0.8962	**5**	0.7402	0.8192	**5**	0.7355	0.8385
6	0.6968	0.8346	**6**	0.7	0.8077	**6**	0.6914	0.8115
7	0.6691	0.8308	**7**	0.6533	0.8115	**7**	0.6507	0.8923
8	0.6206	0.8346	**8**	0.62	0.8346	**8**	0.6164	0.8423
9	0.5858	0.8538	**9**	0.579	0.8423	**9**	0.5721	0.8577
10	0.5624	0.8346	**10**	0.5412	0.8615	**10**	0.5492	0.8154

Best results are achieved with M=8 observation symbols and 5 states. Overall 89,62% of alphabets were correctly classified to the corresponding alphabets. By comparing their path to the known paths from database, there was a 74,32% state sequence match. Really close in alphabet classification was the model with M=18 observation symbols and 7 states, with 89,23% but with poorer path sequence match 65,07% .

Summary and Conclusion

This report describes a gesture recognition method for alphabets, according to the motion trajectory of an index's fingertip. The method has 3 stages. Preprocessing where the trajectory is captured, feature extraction where the orientation is quantized and classification where every fingertip gesture is classified in one of 26 alphabets and compared to said alphabet. Result show that best gesture classification is achieved with M=8 observation symbols and 5 state models with overall 89,62% correct classification and 74,32% path recognition.

References

[1] N. Soontranon, S. Aramvith, T. H. Chalidabhongse, "Improved Face and Hand Tracking for Sing Language Recognition". ITCC 2005, pp. 141-146 Vol. 2, April 2005.

[2] S. Askar, Y Kondratyuk, K. Elazouzi, P. Kauff, o. Schreer, "Vision-Based Skin-Colour Segmentation of Moving Hands for Real-Time Application," 1st European CVMP, pp. 79-85, 2004.

[3] X. Zhu, J. Yang, A. Waibel, "Segmenting Hands of Arbitrary Color," Proceedings of the Fourth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, pp. 446-453, March 2000.

[4] Nianjun Liu, Brian C. Lovell, Peter J. Kootsookos, and Richard I.A. Davis, "Model Structure Selection & Training Algorithms for a HMM Gesture Recognition System" Frontiers in Handwriting Recognition, 2004. IWFHR-9 2004. Ninth International Workshop on.

[5] Mahmoud Elmezain, Ayoub Al-Hamadi, Gerald Krell, Sherif El-Etriby, Bernd Michaelis "Gesture Recognition for Alphabets from Hand Motion Trajectory Using Hidden Markov Models", Signal Processing and Information Technology, 2007 IEEE International Symposium on. pp. 1192–1197

[6] Mahmoud Elmezain, Ayoub Al-Hamadi, Jorg Appenrodt, Bernd Michaelis "A Hidden Markov Model-Based Continuous Gesture Recognition System for Hand Motion Trajectory", Pattern Recognition, 2008. ICPR 2008. 19th International Conference on.

[7] Josep Maria Carmona, Joan Climent "A Performance Evaluation of HMM and DTW for Gesture Recognition" Progress in Pattern Recognition, Image Analysis,

Computer Vision, and Applications. Lecture Notes in Computer Science Volume 7441, 2012, pp 236-243 .
[8] Muhammad Zaid Hameed "Initial Project Report Hand Gesture Recognition for Egocentric Depth Video" Project Supervisor: Dr. Tae-Kyun Kim. Department of Electrical & Electronic Engineering Imperial College of Science, Technology & Medicine
[9] Z. Yang, Y. Li, W. Chen, and Y. Zheng, "Dynamic hand gesture recognition using hidden markov models," in Computer Science & Education (ICCSE),2012 7th International Conference on, pp. 360–365, IEEE, 2012.
[10] Appenrodt, J., Elmezain, M., Al-Hamadi, A., Michaelis, B.: "A hidden markov model-basedisolated and meaningful hand gesture recognition". International Journal of Electrical, Computer, and Systems Engineering 3, 156–163 (2009)
[11] Lawrence R. Rabiner. "A tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition". Proceedings of The IEEE - PIEEE 01/1989

Ανάπτυξη διάταξης βιομηχανικής όρασης για προσδιορισμό θέσης και προσανατολισμού κινούμενων αντικειμένων και οδήγηση ρομποτικού βραχίονα

Κανελλάκης Χριστόφορος, Κυρίτσης Γιώργος, Τσιλομήτρου Ουρανία
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών
Πανεπιστήμιο Πατρών

***Περίληψη*— Ο στόχος αυτής της εργασίας είναι η υλοποίηση μίας βιομηχανικής διάταξης σε εργαστηριακή κλίμακα στην οποία συνεργάζονται ένα στερεοσκοπικό σύστημα και ένας ρομποτικός βραχίονας. Η διαδικασία χωρίζεται σε δύο μέρη, την αναγνώριση στο χώρο των επιθυμητών αντικειμένων και την οδήγηση βάσει αυτής του ρομποτικού βραχίονα. Για το πρώτο μέρος γίνεται χρήση της βιβλιοθήκης ανοικτού κώδικα OpenCV και δύο παράλληλα διατεταγμένων κάμερών. Στο δεύτερο μέρος χρησιμοποιείται ο ρομποτικός βραχίονας Katana s400 6M90G της εταιρίας Neuronics.**

***Λέξεις κλειδιά*—Στερεοσκοπικό σύστημα, Υπολογιστική Όραση, Ρομποτικός βραχίονας, Αναγνώριση αντικειμένου, εντοπισμός αντικειμένου.**

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από τα τέλη της δεκαετίας του 1990, με την εξαιρετική αύξηση της υπολογιστικής ισχύος των επεξεργαστών και την συχνότερη εμφάνιση στερεοσκοπικών συστημάτων καμερών, η υπολογιστική όραση απέκτησε ευρεία εφαρμογή στην βιομηχανία. Η ανάγκη για αξιόπιστη λειτουργία με το μικρότερο δυνατό χρόνο διακοπής της παραγωγής είναι ένα κοινό αίτημα. Έτσι, η υπολογιστική όραση άρχισε να χρησιμοποιείται στην καθοδήγηση εξοπλισμού σε εργοστάσια, στην διαχείριση αντικειμένων και προϊόντων σε μία γραμμή παραγωγής, στην πλοήγηση οχημάτων κ.α. Στις σύγχρονες βιομηχανικές διαδικασίες συναρμολόγησης και ελέγχου ποιότητας, υπάρχει μία μεγάλη ανάγκη για αναπτυγμένο έλεγχο αρπαγής αντικειμένων από ρομποτικό βραχίονα, καθοδηγούμενο από σύστημα εντοπισμού και αναγνώρισης αντικειμένων. Επίσης, είναι σημαντική η δυνατότητα να εκτελούνται εργασίες συναρμολόγησης σε μη-δομημένα περιβάλλοντα με τυχαία τοποθετημένα αντικείμενα.

Οι παραδοσιακές εγκαταστάσεις ρομπότ στα βιομηχανικά περιβάλλοντα έχουν ρυθμιστεί για επαναλαμβανόμενη κίνηση, ώστε να πιάνουν αντικείμενα από την ίδια ακριβώς θέση. Αν το αντικείμενο απέχει από αυτή τότε ο βραχίονας αποτυγχάνει στο σκοπό του. Αντιθέτως, σε εφαρμογές όπου συνδυάζεται η υπολογιστική όραση, το σύστημα αναγνώρισης μπορεί να καθοδηγεί τον βραχίονα από την θέση στην οποία ανέμενε το αντικείμενο, στην θέση που πραγματικά βρίσκεται. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας μόνο μία κάμερα, πολλαπλές κάμερες ή συνδυασμό αυτών με άλλους αισθητήρες (π.χ lasers). Οι κάμερες, ένα υπολογιστικό σύστημα και το αντίστοιχο λογισμικό συνεργάζονται για να προσαρμόσουν την θέση του βραχίονα, ώστε να εκτελεσθεί σωστά η εργασία. Αυτή η ευελιξία επέτρεψε την χρήση ρομπότ σε εφαρμογές, στις οποίες δεν υπάρχει ακριβής γνώση για την θέση ή τον προσανατολισμό του αντικειμένου πάνω στην γραμμή μεταφοράς, ενώ διεύρυνε την ικανότητα τους για αρπαγή αντικειμένων ποικίλων σχημάτων. Τέλος, η έρευνα σε αυτόν τον τομέα έχει αναπτυχθεί σε τέτοιο σημείο, που ένας βραχίονας πλέον είναι δυνατό να πιάνει συγκεκριμένα αντικείμενα από ένα περιορισμένο χώρο, όπως ένα κουτί [1].

Στις επόμενες ενότητες πραγματοποιείται μία αναφορά στην υπολογιστική όραση και παρουσιάζονται η πειραματική διάταξη (εικόνα 1) και τα επιμέρους πειράματα.

Εικόνα 1. Η πειραματική διάταξη.

II. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΟΡΑΣΗ

Κάθε μηχανισμός ψηφιακής καταγραφής εικόνας εκτελεί κάποιου είδους μετατροπή από τον πραγματικό τρισδιάστατο (3D) χώρο στον τοπικό δισδιάστατο (2D) χώρο. Η εύρεση και η μελέτη των παραμέτρων της μετατροπής αυτής είναι θεμελιώδεις για την περιγραφή του συστήματος της κάμερας. Στη συνέχεια, για την απόκτηση της 3D πληροφορίας μιας σκηνής, ένα στερεοσκοπικό σύστημα χρησιμοποιεί διάφορες δισδιάστατες όψεις της και μετατρέπει τις παραπάνω 2D θέσεις των pixel σε 3D σημεία.

A. Μετάβαση από τον 3D χώρο της σκηνής στον 2D της κάμερας

Μια κάμερα μπορεί να μοντελοποιηθεί με πολλούς τρόπους, ανάλογα με τον επιθυμητό βαθμό ακρίβειας και την εφαρμογή για την οποία προορίζεται η χρήση της. Το απλούστερο μοντέλο μιας πραγματικής κάμερας περιλαμβάνει μία οπή (pinhole) και μια οθόνη απεικόνισης (επίπεδο απεικόνισης). Το μαθηματικό μοντέλο της pinhole κάμερας ονομάζεται μοντέλο προοπτικής προβολής. Οι συντεταγμένες κόσμου (X, Y, Z) ενός αντικειμένου μετατρέπονται σε συντεταγμένες εικόνας (x, y) με προοπτική προβολή. Πιο συγκεκριμένα, το σημείο Q (X, Y, Z) στον τρισδιάστατο χώρο αντιστοιχίζεται στο 2D σημείο q (x, y, f) του επιπέδου απεικόνισης [2] , λαμβάνοντας υπόψη τις μετατροπές:

$$x = f\frac{X}{Z}, y = f\frac{Y}{Z}, z = f \qquad (1)$$

όπου f είναι η απόσταση μεταξύ του επιπέδου απεικόνισης από το οπτικό κέντρο του φακού της κάμερας και ονομάζεται εστιακό μήκος (focal length).

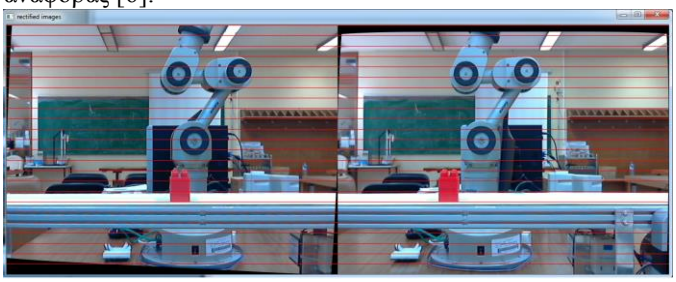
Οι παραπάνω εξισώσεις ισχύουν μόνο όταν όλες οι αποστάσεις μετρούνται στο σύστημα αναφοράς της κάμερας και οι συντεταγμένες της εικόνας έχουν την αρχή τους στο κύριο σημείο (principal point) [3]. Είναι απαραίτητη, επομένως, η εύρεση μερικών παραμέτρων της κάμερας για να εξασφαλίζονται οι παραπάνω συνθήκες. Οι παράμετροι αυτές χωρίζονται σε 2 κατηγορίες, τις εξωγενείς παραμέτρους (extrinsic) και τις εγγενείς παραμέτρους (intrinsic). Οι εξωγενείς παράμετροι προσδιορίζουν τη θέση και τον προσανατολισμό του συστήματος αναφοράς της κάμερας σε σχέση με ένα γνωστό σύστημα αναφοράς κόσμου, αποτελούνται δηλαδή από ένα διάνυσμα μετατόπισης T και ένα πίνακα περιστροφής R. Οι εγγενείς παράμετροι χρειάζονται για να συνδέσουν τις συντεταγμένες σε pixel ενός σημείου της εικόνας με τις αντίστοιχες συντεταγμένες στο σύστημα αναφοράς της κάμερας, επομένως περιγράφουν τα οπτικά, γεωμετρικά και ψηφιακά χαρακτηριστικά της κάμερας. Η διαδικασία υπολογισμού των προαναφερθέντων παραμέτρων της κάμερας ονομάζεται βαθμονόμηση κάμερας (camera calibration) [3].

B. Μετάβαση από τον 2D επίπεδο στον 3D χώρο

Για να ληφθεί η πληροφορία βάθους χρησιμοποιώντας τουλάχιστον δύο κάμερες, είναι αναγκαίο να είναι γνωστή η γεωμετρία των καμερών, η οποία αναφέρεται ως επιπολική γεωμετρία [4] και λαμβάνεται υπόψη για τον εντοπισμό των αντίστοιχων σημείων στις δύο όψεις της σκηνής.

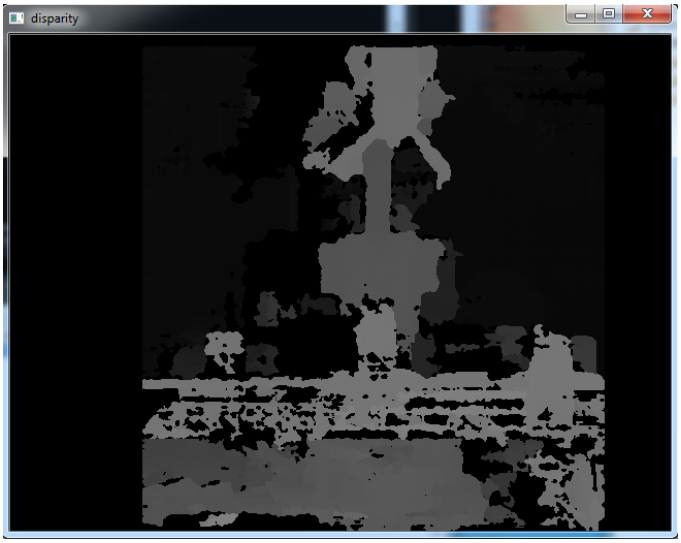
Οι κάμερες έχουν τοποθετηθεί στη διάταξη ώστε να είναι παράλληλες για να προσεγγιστεί το στερεοσκοπικό σύστημα ως κανονικού προσανατολισμού [2] με ευθυγραμμισμένα επίπεδα απεικόνισης. Ωστόσο, είναι αδύνατο να ευθυγραμμιστούν απολύτως τα δύο επίπεδα απεικόνισης καθώς υπάρχουν σφάλματα τόσο στην τοποθέτηση των καμερών όσο και στα χαρακτηριστικά μεταξύ ίδιων καμερών που αλλοιώνουν τον παραλληλισμό τους. Για να διορθωθούν αυτά τα σφάλματα θα πρέπει να γίνει ανόρθωση των εικόνων [5]. Στην εικόνα (2) εμφανίζεται η ευθυγράμμιση των επιπέδων απεικόνισης των δύο καμερών.

Ο υπολογισμός των αντιστοιχιών μεταξύ των pixels των δύο εικόνων είναι απαραίτητη προϋπόθεση για να αποκτηθούν πληροφορίες για το βάθος και αποτελεί το πρόβλημα της αντιστοιχίας (correspondence problem) [6]. Τα pixels που αντιπροσωπεύουν το ίδιο σημείο σε διαφορετικές εικόνες πρέπει να βρεθούν και στη συνέχεια να αναλυθούν γεωμετρικά. Συνήθως, ο πίνακας στερεοσκοπικών διαφορών (disparity map) είναι ένας 2D πίνακας ο οποίος πρέπει να θεωρηθεί σε σχέση με μια συγκεκριμένη εικόνα αναφοράς (είτε η αριστερή εικόνα, είτε η δεξιά). Στην περίπτωση ενός ανορθωμένου στερεοσκοπικού ζεύγους ο χάρτης στερεοσκοπικών διαφορών περιέχει μόνο τις οριζόντιες μετατοπίσεις από την εικόνα αναφοράς [6].



Εικόνα 2. Ανόρθωση εικόνας.

Χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος αντιστοίχισης Semi-Global-Block-Matching (SGBM) για τον υπολογισμό του πίνακα στερεοσκοπικών διαφορών (εικόνα 3) [7].



Εικόνα 3. Πίνακας στερεοσκοπικών διαφορών.

Μετά την αντιμετώπιση του προβλήματος της αντιστοιχίας είναι δυνατό να επιλυθεί το πρόβλημα της στερεοσκοπικής ανακατασκευής [6], το δεύτερο από τα δύο βασικά προβλήματα που καλείται να λύσει ένα στερεοσκοπικό σύστημα.

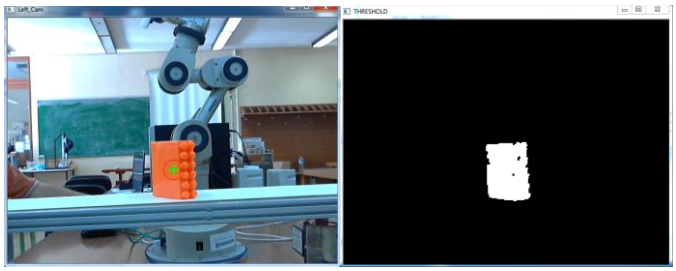
Στο συγκεκριμένο πείραμα είναι γνωστές οι παράμετροι της κάμερας, οι εικόνες είναι ανορθωμένες και έχει επιλεγεί η επίλυση μέσω τριγωνοποίησης. Στην εξίσωση 2 παρατίθενται οι τύποι των 3D συντεταγμένων ενός σημείου στο χώρο με βάση την τριγωνοποίηση [6].

$$(\mathrm{X}, \mathrm{Y}, \mathrm{Z}) = (x_l\frac{b}{d}, \mathrm{y}\frac{b}{d}, \mathrm{b}\frac{f}{d}) = (x_r\frac{b}{d} + b, \mathrm{y}\frac{b}{d}, \mathrm{b}\frac{f}{d}) \qquad (2)$$

όπου $d=x_l-x_r$, b=βασική γραμμή [8] και f=εστιακό μήκος.

C. *Αναγνώριση Αντικειμένου*

Μια απλή και γρήγορη μέθοδος αναγνώρισης και κατάτμησης ενός αντικειμένου από την εικόνα είναι με βάση το χρώμα. Το αντικείμενο πρέπει να έχει μια σημαντική χρωματική διαφορά με το φόντο της σκηνής έτσι ώστε να γίνει επιτυχώς η ανίχνευσή του. Στην εικόνα 4.(α) εμφανίζεται ο εντοπισμός ενός αντικειμένου με βάση το χρώμα και η εικόνα 4.(β) είναι η αντίστοιχη εικόνα κατωφλίωσης.



(α) (β)

Εικόνα 4. (α) εντοπισμός αντικειμένου, (β) εικόνα κατωφλίωσης

Στα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στις υποενότητες A, B, C γίνεται χρήση της βιβλιοθήκης ανοικτού κώδικα OpenCV [9], [10].

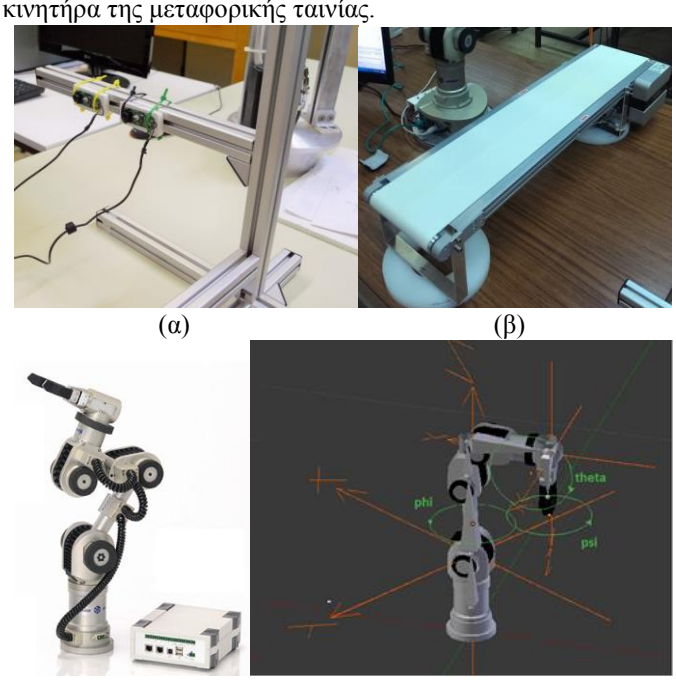
III. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Στην πειραματική διάταξη για τη δημιουργία της στερεοσκοπικής διάταξης χρησιμοποιήθηκαν δύο κάμερες τύπου webcam, οι Logitech C270. Οι κάμερες αυτές έχουν αποσυναρμολογηθεί για την καλύτερη δυνατή παραλληλία (εικόνα 5.(α)).

Ο ρομποτικός βραχίονας που χρησιμοποιήθηκε είναι ο Katana s400 6M90G της εταιρίας Neuronics AG (εικόνα 5.(γ)). Ο βραχίονας αυτός απαρτίζεται από 6 DC κινητήρες οι οποίοι παρέχουν πέντε περιστροφικούς βαθμούς ελευθερίας και ως τελικό στοιχείο δράσης την αρπάγη, η οποία πραγματοποιεί κινήσεις ανοίγματος και κλεισίματος. Πρέπει να αναφερθεί πως ο Katana είναι υποεπενεργούμενος βραχίονας (underactuated robot) καθώς έχει πέντε βαθμούς ελευθερίας (5 dof) οι οποίοι είναι κατά ένας λιγότεροι από τις διαστάσεις του χώρου εργασίας. Αυτό προκύπτει από την αδυναμία της αρπάγης για περιστροφή (yaw). Οπότε θέτουμε περιορισμούς για το περιβάλλον εργασίας, δηλαδή τα αντικείμενα πρέπει να τοποθετούνται εντός περιοχών εργασίας που είναι εφικτό να πιαστούν από τον ρομποτικό βραχίονα έχοντας τον συγκεκριμένο προσανατολισμό που επιθυμούμε [11].

Για την επίλυση της αντίστροφης κινηματικής του Katana απαιτούνται τα x, y, z, του άκρου της αρπάγης και οι γωνίες Euler τύπου Z-X-Z, φ (phi), θ (theta), ψ (psi). Αυτές περιγράφουν τη στροφή του συστήματος συντεταγμένων της αρπάγης ως προς αυτό της βάσης του βραχίονα (εικόνα 5.(δ)).

Τέλος η μεταφορική ταινία που χρησιμοποιήθηκε για την πειραματική διαδικασία είναι τύπου SVKB από την εταιρία MISUMI (εικόνα 5.(β)). Για τον έλεγχο ταχύτητας της μεταφορικής ταινίας συνδέθηκε ο ελεγκτής της Panasonic MGSDB2 με τον κινητήρα της. Ο ελεγκτής αυτός προσφέρει την κλιμακωτή αλλαγή της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα της μεταφορικής ταινίας.



(α) (β)

(γ) (δ)

Εικόνα 5. (α) στερεοσκοπικό σύστημα, (β) μεταφορική ταινία, (γ) ρομποτικός βραχίονας Katana, (δ) γωνίες Euler.

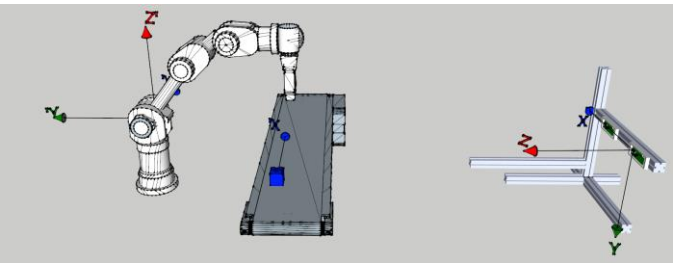
IV. ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η συνεργασία του στερεοσκοπικού συστήματος με το ρομποτικό βραχίονα σε τρία πειράματα εντοπισμού και αρπαγής αντικειμένων πάνω σε κινούμενη μεταφορική ταινία. Η θέση του αντικειμένου στον τρισδιάστατο χώρο (x_0, y_0, z_0), που αναγνωρίζουν οι κάμερες, εισάγεται στον αλγόριθμο καθοδήγησης του βραχίονα. Τα αντικείμενα εντοπίζονται στο χώρο και η θέση τους δίνεται ως προς το σύστημα συντεταγμένων που ορίζεται από την αριστερή κάμερα του στερεοσκοπικού συστήματος και στη συνέχεια οι συντεταγμένες της θέσης τους μετασχηματίζονται ως προς το σύστημα συντεταγμένων της βάσης του βραχίονα (εικόνα 6).

Η μεταφορική ταινία τοποθετήθηκε παράλληλα με τον άξονα X΄, του συστήματος συντεταγμένων του Katana (X΄,Y΄,Z΄). Αποτέλεσμα αυτού είναι να υπάρχει διαφοροποίηση στις τιμές μόνο της x συντεταγμένης του αντικειμένου λόγω της κινούμενης, με σταθερή ταχύτητα, μεταφορικής ταινίας. Η κίνηση των αντικειμένων προκύπτει απλή γραμμική και εκφράζεται με την εξίσωση (3).

$$x' = x_0 + \mathrm{ut} \tag{3}$$

όπου x_0 είναι η θέση που εντόπισε το στερεοσκοπικό σύστημα το αντικείμενο, u η ταχύτητα του, που καθορίζεται από τη μεταφορική ταινία και είναι σταθερή και ίση με 21,33 mm/sec, t ο χρόνος κίνησης από την αναγνώριση μέχρι την αρπαγή του αντικειμένου. Ο χρόνος αυτός υπολογίστηκε πειραματικά με trial & error μέθοδο καθώς δεν είναι δυνατόν να υπολογιστεί ο χρόνος απόκρισης του βραχίονα μεταξύ των σημείων στο χώρο. Να αναφερθεί πως αυτός ο χρόνος αλλάζει για κάθε πείραμα λόγω διαφορετικής προσέγγισης του αντικειμένου από τον βραχίονα.



Εικόνα 6. Συστήματα συντεταγμένων κάμερας και βραχίονα, κίνηση αντικειμένου.

Με χρήση των συντεταγμένων των αντικειμένων όπως τελικά αυτές προκύπτουν από την παραπάνω διαδικασία και της αντίστροφης κινηματικής του βραχίονα, γίνεται υπολογισμός των γωνιών Euler για τρείς διαφορετικές προσεγγίσεις,

Α. Αρπαγή κινούμενου αντικειμένου

Για την επίλυση του προσανατολισμού της αρπάγης στη γενική περίπτωση εφαρμόζονται τα εξής βήματα:

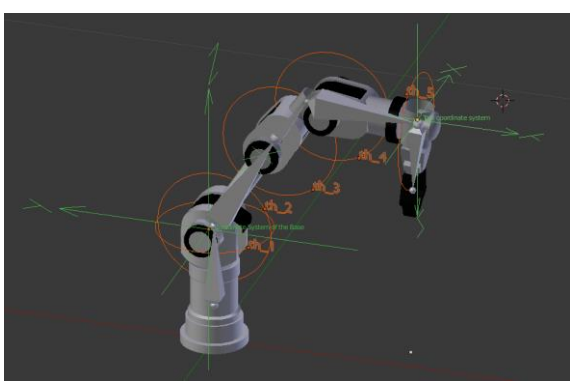
- Υπολογίζεται η γωνία θ5
- Υπολογίζεται η γωνία θ1
- Υπολογίζεται η γωνία theta (Euler)
- Υπολογίζεται το άθροισμα των γωνιών θ2+θ3+θ4
- Υπολογίζονται οι γωνίες phi, psi (Euler)

όπου θ1, θ2, θ3, θ4, θ5 οι γωνίες των κινητήρων του βραχίονα (εικόνα 7).

Η γωνία θ5 τοποθετείται πάντα ίση με 180°, ώστε το τελείωμα της αρπάγης να έχει φορά αυτή του αρνητικού ημιάξονα Z΄. Έπειτα, η γωνία θ1 επηρεάζεται μόνο από τα στοιχεία x, y και μπορεί να υπολογιστεί με χρήση της αντίστροφης εφαπτομένης κρατώντας τη μία από τις δύο λύσεις που προκύπτουν εξαιτίας του χώρου εργασίας που έχουμε ορίσει και στον οποίο εκτελείται το πείραμα μας. Έτσι η τιμή της θα βρίσκεται εντός του τρίτου και τέταρτου τεταρτημόριου και δίνεται από την εξίσωση 4.

$$\theta_1 = pi + \arctan\left(\frac{-p_y}{-p_x}\right) \qquad (4)$$

όπου p_y, p_x οι συντεταγμένες x, y της άκρης του εργαλείου.



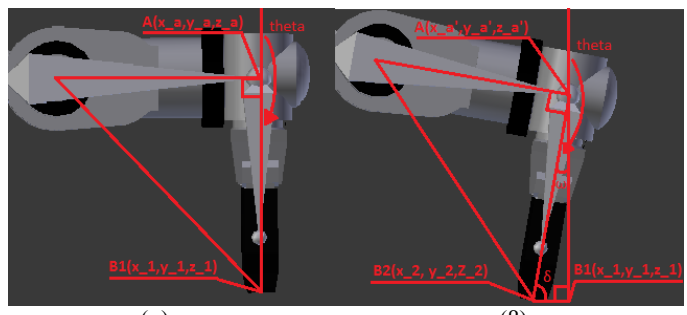
Εικόνα 7. Γωνίες θ1, θ2, θ3, θ4, θ5 του Katana.

Έπειτα, είναι φανερό πως οι γωνίες θ_2, θ_3, θ_4, θ_5 επηρεάζονται από την τιμής της συντεταγμένης z. Με σταθερή την γωνία θ_5, τελικά υπάρχει εξάρτηση από το z μόνο των γωνιών θ_2, θ_3, θ_4. Από τον πίνακα της ορθής κινηματικής στο 3x3 μέρος του που σχετίζεται με τον προσανατολισμό του ρομποτικού βραχίονα, οι γωνίες αυτές δεν εμφανίζονται μεμονωμένα αλλά μόνο ως άθροισμα, κάτι που προκύπτει λόγω του ότι οι άξονες περιστροφής των αντίστοιχων αρθρώσεων είναι μεταξύ τους παράλληλοι. Έτσι, δεν είναι απαραίτητο να υπολογιστεί η κάθε μία ξεχωριστά παρά μόνο το άθροισμα τους. Για τον υπολογισμό του αθροίσματος αυτού χρειάζονται το 3x3 μέρος του πίνακα αυτού, ο 3x3 πίνακας της μαθηματικής αναπαράστασης των γωνιών Euler τύπου Z-X-Z [12] καθώς και η γωνία theta. Η σχέση που προκύπτει ανάμεσα στις theta, (θ2+θ3+θ4) και θ5 δίνεται από την εξίσωση 5.

$$\cos(theta) = sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)\, cos\theta_5 \qquad (5)$$

Οι άγνωστοι σε αυτήν την σχέση είναι η theta και το άθροισμα (θ2 + θ3 + θ4). Ο υπολογισμός της theta γίνεται γεωμετρικά με χρήση της γωνίας προσέγγισης, λαμβάνοντας υπόψη ότι η γωνία theta είναι η γωνία μεταξύ του άξονα Z΄ του συστήματος συντεταγμένων της βάσης και του άξονα Ztool του συστήματος συντεταγμένων της αρπάγης, με την Ztool να έχει θετική φορά αυτή ως προς την οποία το άκρο της αρπάγης προσεγγίζει το αντικείμενο.

Στην εικόνα 8.(α), η αρπάγη βρίσκεται σε κατακόρυφη στάση στην οποία: theta=180°. Κατά τη στρέψη της αρπάγης όπως στην εικόνα 8.(β) η γωνία theta αυξάνεται κατά ω°.



(α) (β)

Εικόνα 8. (α) τρίγωνο προσέγγισης για theta=180°, (β) τρίγωνο προσέγγισης υπολογισμού γωνιών δ, ω.

Υπολογίζουμε αρχικά την γωνία δ από την σχέση 6.

$$cos\delta = \frac{|y_2 - y_1|}{l} \qquad (6)$$

όπου l=0.1505m είναι το μήκος της αρπάγης του βραχίονα.

Άρα η γωνία ω θα είναι: $\omega = 90^o - \delta$ και η γωνία theta:

$$theta = 180^o + \omega \text{ ή } theta = 180^o - \omega \qquad (7)$$

ανάλογα αν η στροφή γίνεται προς την εσωτερική ή εξωτερική πλευρά της αρπάγης αντίστοιχα.

Στη συνέχεια πλέον μπορεί να υπολογιστεί το άθροισμα ($\theta_2 + \theta_3 + \theta_4$):

$$(\theta 2 + \theta 3 + \theta 4) = \arcsin\left(\frac{\cos(theta)}{cos\theta_5}\right) \qquad (8)$$

Για τον υπολογισμό της phi από τον αλγόριθμο καθοδήγησης του βραχίονα ισχύει η εξίσωση 9.

$$phi = \arctan\left(\frac{-T_{13}}{-T_{23}}\right) \qquad (9)$$

όπου τα στοιχεία T13 και T23, του πίνακα ορθής κινηματικής, υπολογίζονται από τις εξισώσεις 10, 11.

$$T_{13} = cos\theta_1 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)\, cos\theta_5 + sin\theta_1 sin\theta_5 \qquad (10)$$

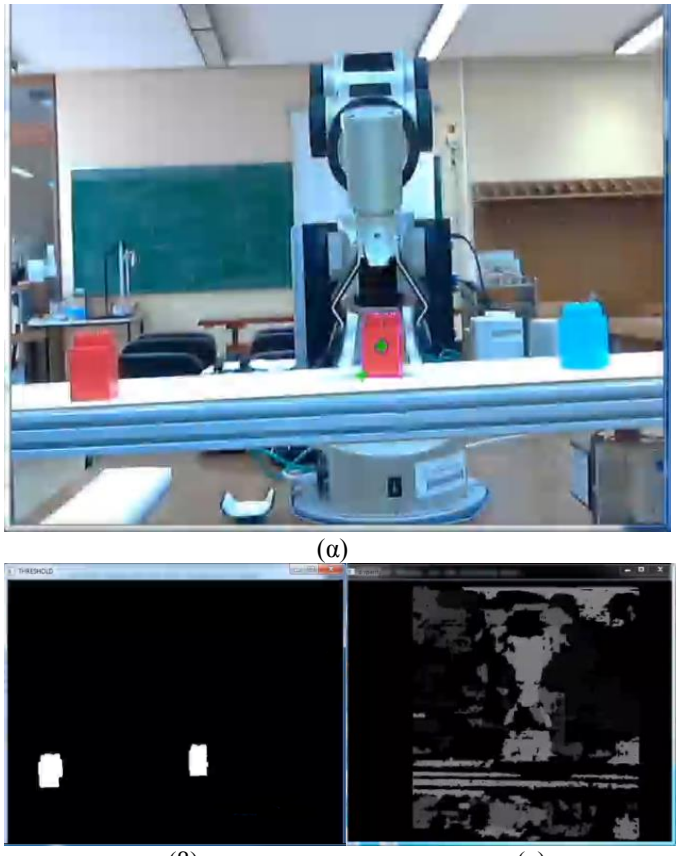
$$T_{23} = sin\theta_1 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)\, cos\theta_5 - cos\theta_1 sin\theta_5 \qquad (11)$$

Με αντιστοίχιση του πίνακα προσανατολισμού για αναπαράσταση με γωνίες Euler Z-X-Z [12] και του πίνακα προσανατολισμού από την ορθή κινηματική, όπως αυτή

προέκυψε με χρήση των παραμέτρων D-H, βρίσκουμε πως το psi υπολογίζεται από την εξίσωση 12.

$$psi = arcsin(\frac{\cos(\theta_2+\theta_3+\theta_4)}{\sin(theta)}) \quad (12)$$

Έπειτα από τους παραπάνω υπολογισμούς και έχοντας τα x, y, z, phi, theta, psi πραγματοποιείται η αντίστροφη κινηματική ανάλυση και υπολογίζονται οι γωνίες περιστροφής θ1-θ5 για το ρομπότ, ώστε να προσεγγίσει το προς αρπαγή αναγνωρισμένο αντικείμενο (εικόνα 9.(α)). Στο συγκεκριμένο πείραμα αναγνωρίζονται κόκκινα αντικείμενα. Στην εικόνα 9.(β) εμφανίζεται η εικόνα κατωφλίου και στην εικόνα 9.(γ) ο πίνακας στερεοσκοπικών διαφορών (disparity map).



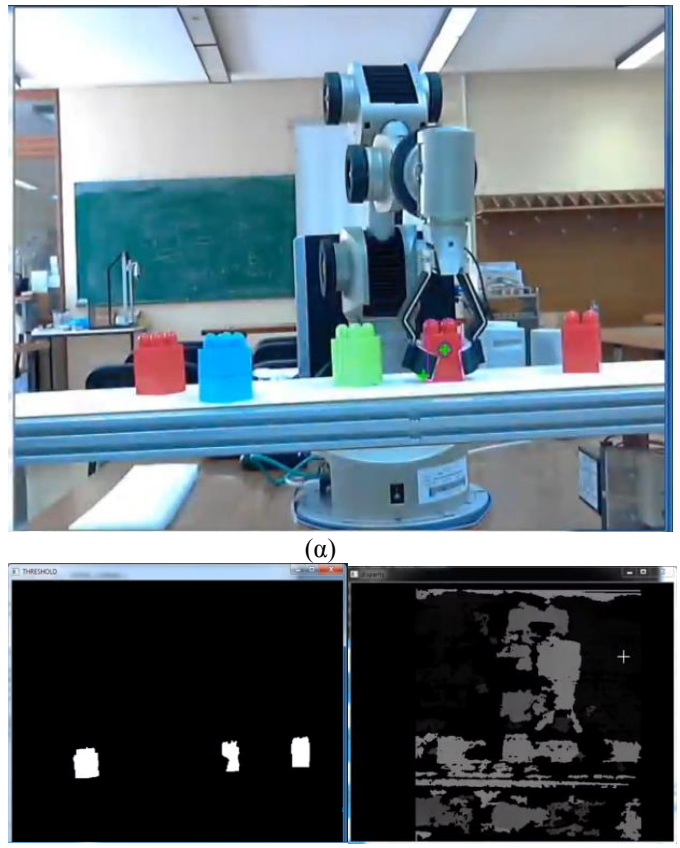
Εικόνα 9. (α) αρπαγή αντικειμένου (β) εικόνα κατωφλίου (γ) πίνακας στερεοσκοπικών διαφορών.

B. Αρπαγή κινούμενου αντικειμένου με κατακόρυφο προσανατολισμό εργαλείου βραχίονα

Για να τοποθετείται η αρπάγη μόνο σε κατακόρυφο προσανατολισμό, δηλαδή ο διαμήκης άξονας της να είναι πάντοτε παράλληλος με τον άξονα Z΄ του συστήματος συντεταγμένων της βάσης του ρομπότ, η διαδικασία που ακολουθείται για τον υπολογισμό των phi, theta, psi είναι αρκετά απλούστερη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως, στην περίπτωση αυτή η γωνία theta θα παραμένει πάντα ίση με 180°. Στην περίσταση αυτή έχουμε ιδιάζουσα περίπτωση (singularity, εξίσωση 8 για θ5=180°) και οι γωνίες phi και psi θα δίνονται από την εξίσωση 13:

$$phi = \arctan\left(\frac{y'}{x'}\right) + \frac{pi}{2}, psi = \frac{pi}{2} \quad (13)$$

Στην περίπτωση αυτή έχουμε μικρότερο περιβάλλον εργασίας καθώς η κίνηση του βραχίονα είναι πιο περιορισμένη από πριν. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η αρπαγή των αντικειμένων εμφανίζεται στην εικόνα 10.(α). Κατά την εκτέλεση του πειράματος αυτού αναγνωρίζονται κόκκινα αντικείμενα. Στις εικόνα 10.(β) εμφανίζεται η εικόνα κατωφλίου από τον αλγόριθμο αναγνώρισης και στην εικόνα 10.(γ) ο πίνακας στερεοσκοπικών διαφορών (disparity map).



Εικόνα 10. (α) αρπαγή αντικειμένου (β) εικόνα κατωφλίου (γ) πίνακας στερεοσκοπικών διαφορών.

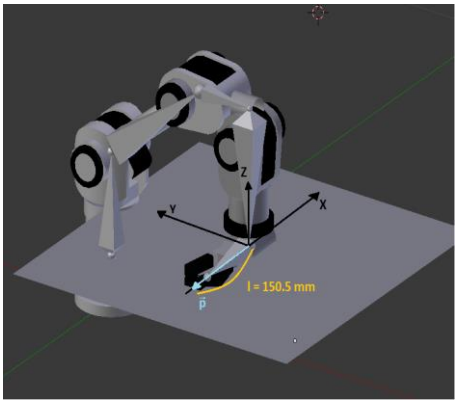
C. Αρπαγή κινούμενου αντικειμένου με οριζόντια προσανατολισμένο εργαλείο βραχίονα

Για τον συγκεκριμένο προσανατολισμό της αρπάγης οι γωνίες Euler διατηρούνται σταθερές. Με χρήση του διανύσματος $\vec{P}$ (εικόνα 11) που περιγράφει την θέση της άκρης της αρπάγης σε σχέση με το κέντρο της (Tool Center Point) και του πίνακα ορθής κινηματικής υπολογίζονται οι γωνίες Euler. Το διάνυσμα $\vec{P}$ δίνεται από την εξίσωση (14).

$$\vec{\boldsymbol{P}} = \begin{bmatrix} l\sin(theta)\sin(phi) \\ -l\sin(theta)\cos(phi) \\ l\cos(theta) \end{bmatrix} \quad (14)$$

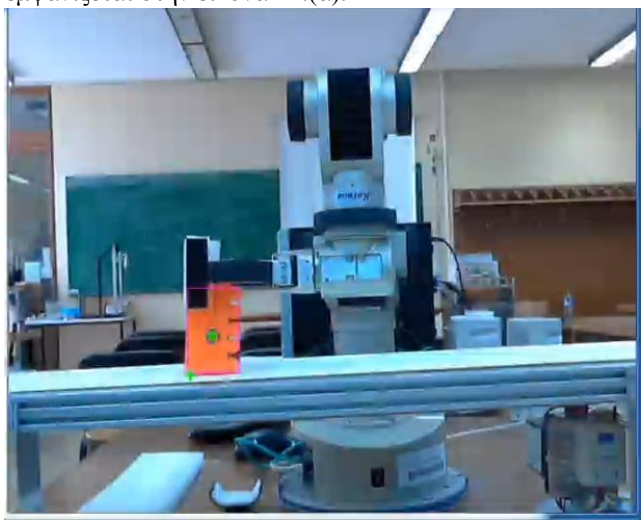
Άρα οι γωνίες Euler που προκύπτουν είναι οι εξής:

$$theta = \frac{pi}{2}, phi = -\frac{pi}{2}, psi = \frac{pi}{2} \quad (15)$$

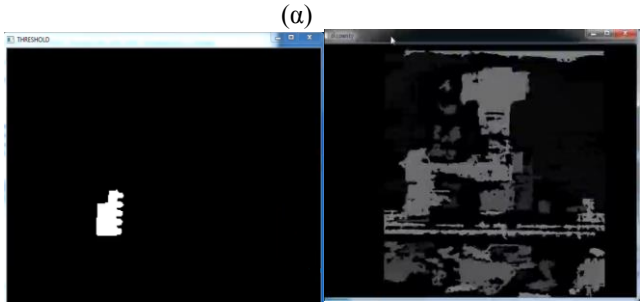


Εικόνα 11. Διάνυσμα αρπάγης $\vec{P}$

Στο πείραμα αυτό αναγνωρίζονται πορτοκαλί αντικείμενα. Η προσέγγιση των εν κινήσει αντικειμένων γίνεται με διαφορετικό τρόπο από τα προηγούμενα κάτι το οποίο εμφανίζεται στην εικόνα 12.(α).



(α)



(β) (γ)

Εικόνα 12. (α) αρπαγή αντικειμένου (β) εικόνα κατωφλίου (γ) πίνακας στερεοσκοπικών διαφορών.

V. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο αλγόριθμος αναγνώρισης θέσης στον 3D χώρο έδωσε ικανοποιητική ακρίβεια στις συντεταγμένες των αντικειμένων, για την εφαρμογή που πραγματοποιήθηκε. Εξαιτίας της παράλληλης τοποθέτησης των καμερών υπάρχει περιορισμένο πεδίο αναγνώρισης και ο αλγόριθμος λειτουργεί ικανοποιητικά για μικρές αποστάσεις. Σε μελλοντικές εφαρμογές μπορούν να χρησιμοποιηθούν κάμερες σε διαφορετική διάταξη όπως συγκλίνουσες, κάθετες και περισσότερες από δύο. Παρότι χρησιμοποιήθηκαν απλές web κάμερες, αυτές ανταποκρίθηκαν στις απαιτήσεις του προγράμματος. Ο κώδικας που υλοποιήθηκε, ενώ δεν είναι ο βέλτιστος δυνατός, εκτελείται σε μικρό χρονικό διάστημα (περίπου 300 msec). Αυτό οφείλεται στην μικρή πολυπλοκότητα του αλγόριθμου αναγνώρισης με βάση το χρώμα και στον Semi-Global-Block-Matching (SGBM). Για μελλοντική εργασία, προτείνεται η χρήση διαφορετικού τρόπου προσέγγισης στην αναγνώριση των αντικειμένων (π.χ feature matching), καθώς και διαφορετικός αλγόριθμος επίλυσης του προβλήματος αντιστοιχίας για μεγαλύτερη ακρίβεια. Έπειτα να τονισθεί πως ο βραχίονας Katana προσφέρει ένα φιλικό περιβάλλον προγραμματισμού, με μία πληθώρα βιβλιοθηκών που εξυπηρετούν πολλούς σκοπούς και βοηθάνε την διαδικασία ελέγχου του, και χρήσης του σε εφαρμογές τύπου “pick&place”. Τέλος, να αναφερθεί πως τα πειράματα αυτά μπορούν να πραγματοποιηθούν σε λειτουργικά συστήματα Windows και Linux και οι χρησιμοποιούμενες βιβλιοθήκες είναι σε γλώσσες προγραμματισμού C++ ενώ προτείνεται ακόμη και η χρήση μικροεπεξεργαστών ARM με λειτουργικό σύστημα Linux (Ubuntu, LUbuntu).

REFERENCES

[1] N. Herakovic, “Robot Vision in Industrial Assembly and Quality Control Processes,” in *Robot Vision*, Ales Ude Ed., InTech, 2010, pp. 501-534.
Available from: http://www.intechopen.com/books/robot-vision/robot-vision-in-industrial-assembly-and-quality-control-processes

[2] B. Cyganek & J. P. Siebert, *An Introduction to 3D Computer Vision Techniques and Algorithms*. John Wiley & Sons, 2011.

[3] G. Bebis, Department of Computer Science & Engineering University of Nevada: http://www.cse.unr.edu/~bebis/CS791E/Notes/CameraParameters.pdf (last visited October 2014).

[4] R. I. Hartley & A. Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, 2nd ed., Cambridge University Press, 2004.

[5] D. Scharstein, *View Synthesis Using Stereo Vision*, vol. 1583, Springer-Verlag, 1999.

[6] E. Trucco & A. Verri, *Introductory Techniques for 3-D Computer Vision*, vol.201, Englewood Cliffs, Prentice hall, 1998.

[7] H. Hirschmuller, “Stereo Processing by Semiglobal Matching and MutualInformation,” *IEEE TPAMI*, vol. 30, no. 2, 2008, pp. 326-391.

[8] M. Okutomi & T. Kanade, “A multiple-baseline stereo,” *IEEE TPAMI*, vol. 15, no. 4, 1993, pp. 353–363.

[9] G. Bradski & A. Kaehler, *Learning OpenCV: computer vision with the OpenCV library*. O’Reilly Media Inc, 2008.

[10] OpenCV API Reference, http://docs.opencv.org/modules/refman.html

[11] Β. Καραστεργίου, Ο. Τσιλομήτρου, *Ανάπτυξη εφαρμογών σε όλα τα δυνατά περιβάλλοντα προγραμματισμού του ρομπότ Katana-Neuronics*, ΗΜ&ΤΥ, Πάτρα, 2010.

[12] P. E. Nikravesh, Department of Aerospace and Mechanical Engineering, University of Arizona: http://www.u.arizona.edu/~pen/ame553/Notes/Lesson%2008-A.pdf

Power–over–Tether: A remote powering system for small Unmanned Aerial Vehicles

Lida Zikou[1], Christos Papachristos[2], and Anthony Tzes[3]

***Abstract*—Within this work, a system for remote powering of small-scale hovering Unmanned Aerial Vehicles is developed, aiming to achieve prolonged-endurance flight times in order to address possible civilian applications with such requirements. To this purpose, the key-concept of a Power-over-Tether system is proposed, with the power bank for the UAV's operation located on the ground, and power transferred via a tethering cable. In order for the UAV to be capable of executing hovering trajectories as freely as possible, a long power cable is wound onto a custom-developed base, which is capable of releasing and retracting it when necessary. The Power-over-Tether system base is developed to operate autonomously, locally sensing when the aerial vehicle requires additional length of free cable to move to its intended goal, or when excessive cable length requires retraction, and performs the respective actions. The complete implementation of the system, both hardware and control-wise is elaborated in detail within the scope of this paper. Additionally, experimental evaluation studies are conducted, demonstrating the potential of the proposed Power-over-Tether system.**

***Index Terms*—Aerial Tethering, Force Feedback Control, Mobile Robotics, Remote Powering, Unmanned Aerial Vehicles**

I. Introduction

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) have dominated the field of robotics research during recent years, with a significant number of technological and scientific breakthroughs having been achieved in order to tackle the challenges associated with their airborne nature. More specifically, the field of small-scale durable UAV design [1] [2] –including efficient electric propulsion systems [3]–, the field of high-precision robust model-based control [4] [5] and autonomous navigation/path-planning [6], the field of robotic manipulation [7] [8], and the field of robotic –visual or otherwise– perception [9], accompanied by the development of small form-factor, high computational power embedded systems, have all seen major breakthroughs. This momentum has sparked a keen interest on employing small-and-medium scale UAVs in a multitude of civilian applications of a wide range, such as industrial infrastructure inspection [10], environment mapping [11], disaster relief [12], precision agriculture [13], and more.

As each limiting factor to their widespread utilization is being addressed, their potential rises even further. However, particularly for small-scale stable hovering platforms –such as standard multirotors– the available sources of power are limited to on-board electric storage cells (batteries) which limit their operational endurance to a sub-hour time-window (typically 15-30 minutes). There exists a range of possible crucial applications, where long-term operation of such systems is required –e.g. precise inspection/mapping [14] of large industrial structures or wide-spaced environments–, and certain tasks involving more than eye-in-the-sky operation –e.g. active physical interaction tasks [15] [16]– which can be achieved by UAVs, at the cost of significant power requirements however. More significantly, within those tasks agile flight and aggressive maneuverability might not be the key prerequisite, as much as stable operation while hovering at high altitudes.

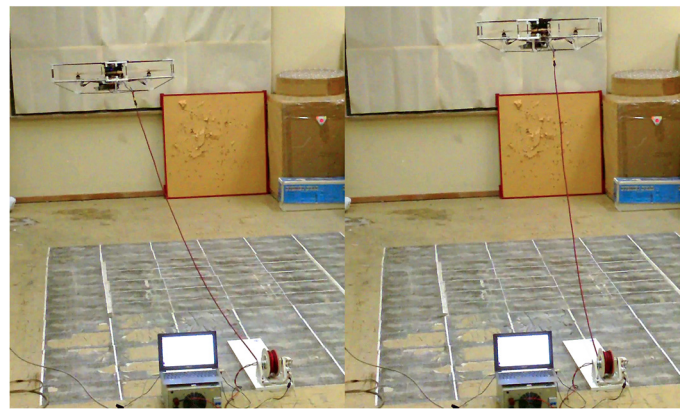


Fig. 1 The Power-over-Tether System in autonomous operation.

This work is focused on proposing a method for remote, ground-based powering of small-scale hovering UAVs, which can provide the required long-term power endurance to the aerial vehicle while maintaining operational safety by achieving independent functionality –i.e. without communicated knowledge of the UAV's state–. To this purpose, inspired by recent research work on the advantages of taut-tethered UAVs [17] [18], the idea of a ground-to-air Power-over-Tether (PoT) link which carries power to the vehicle –as illustrated in Fig. 1– is proposed, with the respective enabling subsystems having been designed and implemented, allowing for its experimental evaluation. It is important to note that a crucial requirement for such a system is to retain the tethering link at taut tension, to prohibit it from falling on the ground, while allowing the UAV to navigate with relative ease (without forcefully pulling against it), and to do so in a locally-controlled autonomous way to avoid

[1]L. Zikou, [2]Christos Papachristos, and [3]Anthony Tzes are with the Electrical and Computer Engineering Department, University of Patras, Eratosthenous 6, Rio 26500 (e-mail: [1]ece7668@upnet.gr, [2]papachric@ece.upatras.gr, [3]tzes@ece.upatras.gr)

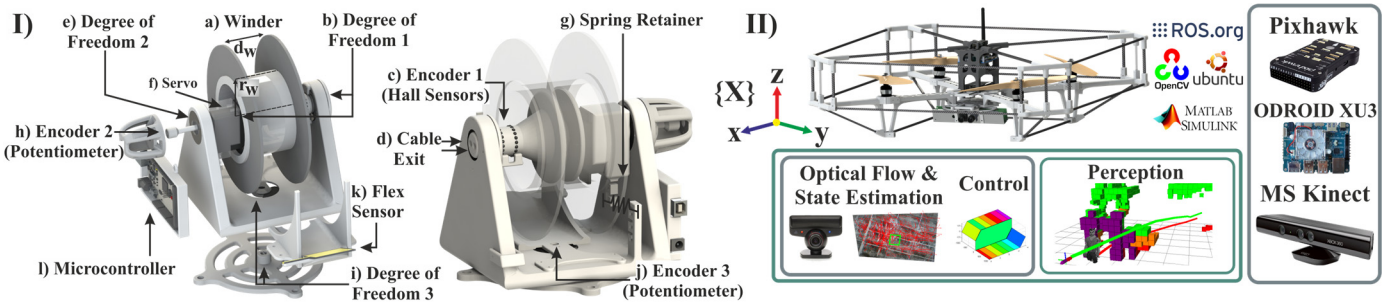


Fig. 2 The Power-over-Tether System Components: I) The autonomous PoT ground base, II) The autonomous HS-drone quadrotor UAV.

operational hazards in possible air-to-ground communication hang-ups or relative position estimation errors. Within this paper, the design of such a system is elaborated, accompanied by an analysis of its required control synthesis. Finally, experimental evaluation studies are presented, with the PoT system powering and working with a quadrotor UAV –the custom-developed HS-drone– which performs trajectories designed for visual inspection of its environment.

This paper is structured as follows: In Section II, the PoT system is elaborated as per its design and principles of operation. In Section III, the implemented control synthesis for its autonomous operation is presented. Section IV presents results of experimental studies, carried out with a small-scale UAV. Finally, Section V concludes the article.

II. Power–over–Tether System Description

This Section presents the complete system setup used for the scope of this paper, including the PoT system and HS-drone, more heavily elaborating on the first.

A. Autonomous Power-over-Tether System

With reference to the markup of Fig. 2-I, the PoT's main component is the Winder Drum a), upon the central perimeter of which the power cable is wound. The Winder Drum is attached on one side on a Ballbearing joint, thus rotating w.r.t the PoT base around the indicated b) Degree-of-Freedom (DoF)-1. Measurement of the Winder Drum's rotations is enacted with the help of 2 parallel-placed Hall-effect Sensors –marked as Encoder 1 in c)–, which sense the presence of small Neodymium Magnets placed onto the perimeter of the Winder-to-Ballbearing support shaft. The Magnets array consists of 2 pairs of 20 magnets, interchangeably placed in each series (w.r.t. each sensor) such that their outward-pointed poles-sequence is North-South-North-etc. Moreover, the 2 series of the array are radially spaced in-between each others' empty spaces, such that the Hall-effect Sensors can encode the direction of rotation. Also, it is noted that the cable is inserted into the Winder Drum at a hole, and exits from the support shaft at location d). As can be observed, Cable Exit d) supports the cable's 2 phases in parallel placement, hence any twisting occurs from d) and up to the external power source.

In the proposed implementation, there is an additional Degree-of-Freedom –marked as DoF-2 in e) –, which exists due to the fact that the f) Servo's shaft can rotate w.r.t. its body, which is attached onto a Ballbearing joint in e). For a locked servo shaft, DoF-1 and 2 rotate coincidently, otherwise relative rotation is possible. The Servo is also attached onto the rigid PoT base body via a Retainer-Spring g). This allows DoF-2 to rotate up to an approximate maximum of 60 deg, but more importantly it returns the Servo and DoF-2 back to an original rotation, when the Spring contracts (following elongation which is caused by an externally applied pulling force. The Rotary Encoder 2 in h), implemented with a potentiometer measures the absolute deviation of DoF-2 from its original rotation (at zero Spring elongation), and is used to estimate the Spring's elongation.

The aforementioned implementation aims to achieve local "sensing" of the UAV's tendency to distance itself from the PoT base, or backtrack towards it: when the aerial vehicle moves away it pulls against the cable, and the mechanical tension force is transferred via the Winder Drum onto DoF-2, effectively elongating the Retainer-Spring. When the opposite maneuver happens, mechanical tension is decreased and the Spring is compressed accordingly. This principle is used to achieve force-feedback estimation and control the PoT system via the actuation principle granted by the Servo; the specific control synthesis is elaborated in Section III.

The PoT base can also rotate w.r.t. to the World-frame $\boldsymbol{X}$, as marked by DoF-3 in i). A Ballbearing joint and a fixed-base shaft guarantee minimal friction, while the absolute Rotary Encoder 3 (also a potentiometer) yields the respective measurements. It is noted that due to the potentiometer the rotation range of DoF-3 is constrained in $[-120, 120]$ deg.

An additional component of crucial operating significance is the Flex Sensor marked as k), properly placed at the PoT base ground-to-air cable exit at a low height. This aims to detect when the cable has reached a height lower than a certain threshold, which might signify that part of the cable is in contact with (has fallen onto) the ground. This is a particularly undesired occasion which can cause operational problems, as will be discussed in Section III.

Finally, an onboard Microcontroller l), the DF-Robot Mega2560 specifically, is attached onto the PoT base. This handles the acquisition of measurements from the onboard sensors, the estimation of all necessary values, and the computation of the necessary control actions. It is also responsible for the generation of the low-level control signals which are required to drive the Servo actuator. It is additionaly noted that a Qt-based Graphic User Interface tool has been developed in order to visually display the PoT's operating values –acquired from the Microcontroller's serial port– and to override its autonomous control process in real-time operation,

and to log all necessary operational values for post-processing.

B. Autonomous HS-drone

It comprises of a custom-developed quadrotor UAV which is illustrated in Fig. 2-II, with high onboard computational power, a proprioceptive/exteroceptive perception sensor-suite, and a custom-synthesized software framework –such as the ones elaborated in [19] [20] –, which grants high-level functionality and interoperability. This allows for all state estimation loops to be executed autonomously onboard –the specifics of the algorithmic implementation can be found in [21]–, without the need for external motion capture systems, as well as the execution of complex Model Predictive Control MPC laws [22] which guarantee the observance of any imposed state and input constraints while achieving response optimality.

Overall, the platform is capable of following an a-priori determined trajectory (given in the World-coordinates frame $\boldsymbol{X} = \{x, y, z\}$ of Fig. 2-II) without the need for remote control, as 6-Degrees of Freedom (DoF) ego-motion estimation is achieved onboard in real-time, while concurrently capturing and processing color and depth images of its environment via the use of an onboard RGB-D sensor (the Microsoft Kinect), enabling the extraction of 3D-PointCloud representations of its operating space.

The UAV operates according to the well-established cascaded attitude-translation control methodology [23], and within the present work no knowledge of the fact that it is tethered to the ground is assumed, i.e. a free-flight control scheme is left to handle the aerial vehicle, and any externally-induced forces/moments from the tethering link are assumed to be unknown/unpredicted disturbances. The effective disturbance rejection properties of the UAV control scheme allow the aerial vehicle-side to operate autonomously and independently while performing trajectory-tracking.

III. Power-over-Tether System Control

As previously described, in order to maintain operational safety, it is important for the PoT system to function autonomously. The capacity to "sense" the UAV's tendency to move at a greater distance or to backtrack, as well as the approximate estimation of their relative position vector orientation –assuming no physical interaction occurs between the PoT ground base and the vehicle in the air–, is achieved locally, as described within Section II.A.

Let the PoT locally measured values be defined as: a) Ω is the number of rotations of the winder (forced to zero at the beginning of an experiment), which is directly measurable by the hall-effect sensor array. This value can also be used to approximately estimate the cable length l released from the PoT, given the dimensioning of the winder: r_w radius and d_w width, and of the cable: $\{d_c, h_c\}$ cross-section area width and height, l_0 length already released at the beginning of an experiment, and l_T total length (it is noted that in this specific implementation a cable of length $l_T = 10$ m is used). b) T is the sum tension force on the cable, transferred to the outer radius of the winder and estimated via the measurement of the retainer spring's elongation according to Hooke's law. It is noted that a "soft" sensitive spring is used in order to acquire small deviations via a simple measuring device (a rotary potentiometer at DoF-2). c) ω marks the servo's rotational speed (i.e. rotations/sec). The continuous-rotation servo acts as a slow-rotating DC motor, and is used to control DoF-1 by modifying Ω, and thus releasing/retracting the cable. It assumed that $\omega^r \simeq \omega$ at all times, i.e. the commanded rotational speed is the actual one (where the r superscript marks the reference value). d) F is the flex sensor state. This is treated as a Boolean value, i.e. either there exists physical contact of the cable and the sensor, or not. Finally, e) ψ_{PoT} is the orientation of the PoT Frame w.r.t. World-frame $\boldsymbol{X}$ as measured by the DoF-3 rotary encoder.

The PoT control synthesis follows the cascaded control structure paradigm, as illustrated in Fig. 3. The employed control principles are as follows:

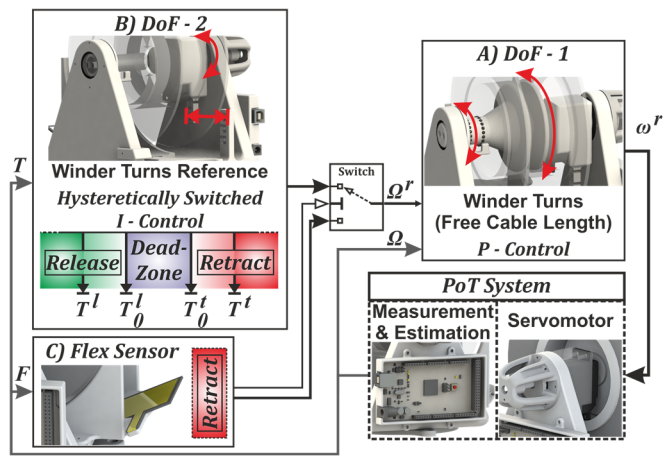


Fig. 3 The Power-over-Tether System Control Scheme.

A. Winder Ω Turns Control – Free Cable Length Control

This section of the control structure is considered as the inner loop of the cascaded scheme. It is driven by a reference absolute winder-turns value Ω^r, and computes the servo rotational speed command ω^r, based on the relation:

$$\omega^r = K^{\omega} e^{\Omega} \tag{1}$$

$$e^{\Omega} = (\Omega^r - \Omega) \tag{2}$$

reflecting a Proportional control logic which manipulates the rate of release/retraction of the cable (tethering link). Defining as positive the direction of rotation which releases the cable (and negative the one which retracts it), it is noted that the maximum and minimum rates that can be achieved are constrained in $\omega \in [-\omega^{el}, \omega^{mech}]$, where ω^{el} the servo's maximum controlled speed, and ω^{mech} the servo's maximum speed under a large externally applied additive rotating moment, which does not cause it to suffer catastrophic failure.

Essentially, this means that while retracting the cable, the maximum rate is determined by the servo's operational characteristics, while when the cable is released, the rate of rotation can be further accelerated if the UAV is also pulling it. Also, it is noted that (1),(2) yields a control action which is fed to an integrating system (the servo which rotates until Ω reaches Ω^r), i.e. the Proportional authority controls the rate of integration.

B. Tether Tension T Control – Reference Ω^r Generation

This is the outer cascaded control structure block. It is responsible for the generation of an appropriate Ω^r reference signal, according to the desired principle of operation.

For the purposes of this work, the key requirement is to maintain the tethering link at a relaxed taut-tension. This implies that the cable will neither significantly constrain the UAV's free-like hovering navigation, nor will it curb excessively under the effect of gravity –or in the extreme case fall onto the ground–. In this implementation, this is encoded as an objective to maintain the tethering link (cable) tension force within a range $T \in [T^l, T^t]$. In proper operation, the PoT mechanism will release an additional cable length when it "senses" that the UAV is pulling away, and retract it in case it becomes excessive, e.g. when the UAV returns to close its distance from the PoT ground base. This "sensing" is achieved locally via estimation of T as preciously elaborated.

The specific methodology falls along the lines of an Integrator-control logic, with Hysteretic shaping of the tension error:

$$\Omega^r = K^{\Omega} \int e^T \, dt \tag{3}$$

$$e^T = \begin{cases} T_0^t - T & s = Retract \\ 0 & s = Idle \\ T_0^l - T & s = Release \end{cases} \tag{4}$$

where the tension error calculation relies on an auxiliary logical variable s, which takes the values $s \in [Idle, Retract, Release]$, as illustrated in Fig. 3 and according to the hysteretic rule:

$$\text{Set } s \text{ to}: \begin{cases} Retract & \text{IF } T \geq T^t \\ Idle & \text{IF } T \in [T_0^l, T_0^t] \\ Release & \text{IF } T \leq T^l \end{cases} \tag{5}$$

This ensures that the releasing/retracting states will be entered upon exceedance of some upper thresholds $\{T^l, T^t\}$ and will be maintained until the lower (relaxed tension) thresholds $\{T_0^l, T_0^t\}$ are reached. It is also mentioned that the Integral-logic control of (3),(4) generates an increasing/decreasing Ω^r reference value as the UAV pulls away from/returns back to the PoT ground position respectively, and the rate of increase/decrease depends on the magnitude of the applied tension –e.g. how strongly the aerial vehicle pulls–.

It is finally noted that when a switching of the logical variable s occurs according to rule-set (5), the reference Ω^r value is reset to $\Omega^r \rightarrow \Omega$, in order to avoid control action windup due to error integration, which would slow-down the system's response as it passes from state-to-state.

C. Ad-Hoc Flex Sensor Retraction

The Flex-sensor serves a special functionality, as it allows to detect when the tethering link has reached a point where it is unclear whether the estimated tension T is attributed to the UAV pulling, or there exists an intermediate physical interference which constrains the cable. Such a possible condition may arise in the case that the UAV quickly backtracks and the PoT retraction is not fast enough to ensure that the cable does not temporarily fall onto the ground.

In such a case, the generated ground friction –given that a certain length of the cable lies upon it– will pass on as cable tension while the servo pulls (retracts the cable). In order to prohibit this, sensing of the tethering link's contact at the (low) height of the flex sensor near the PoT exit point is used to raise a logical flag F. When F is active, the Flex Sensor control block illustrated in Fig. 3overrides the Tether Tension Control block command Ω^r and drives the Winder Turns Control block with its own Ω^r command, which is strictly retracting:

$$\Omega^r = K^{\Omega} \int e_{Flex}^T \, dt \tag{6}$$

where e_{Flex}^T a large negative constant value, simulating a constant tension error for as long as the Flex Sensor reports contact with the tethering link.

D. Considerations

In the cascaded control structure previously elaborated, the value K^{Ω} of block B) modifies the rate of increase/decrease of the Ω^r reference winder turns command, while the value K^{ω} of block A) modifies the commanded rate-of-rotation passed to the servo.

It is highlighted that it is highly inefficient to attempt to maximize the values of K^{Ω}, K^{ω}, or to attempt to match them in sizing –i.e. to try to force the servo to rotate at a $\frac{d\Omega^r}{dt}$ speed as derived from block B)–, as for each accelerating motion of the servo attached to the winder (w.r.t. DoF-1) an adverse reaction moment is activated which affects DoF-2. An excessively overtuned set of gains can make the system quickly oscillate between the $\{Release, Retract\}$ states, inducing excessive undesired oscillations via the tethering link onto the UAV.

For the purposes of this work, the gains were iteratively tuned via experimental trial-and-error process, and it was concluded that the best performance occurs when K^{Ω} yields $\frac{d\Omega^r}{dt}$ values comparable to the servo's ω^{el}, and K^{ω} performs slightly undertuned, i.e. when $\omega^r < \frac{d\Omega^r}{dt}$. It is re-noted that any error-integration due to such an undertuning is reset as described in Section III.B.

IV. Experimental Evaluation Studies

For the experimental evaluation studies of the proposed PoT system, the components described in Section II were employed. The experimental scenario mockup consists of an internally-located closed space, within which the UAV is commanded to execute an environment inspection-like trajectory, given in the World-coordinates frame of Fig. 2-II). As previously described, no communication between the ground-located PoT base and the UAV takes place, and data acquired on the aerial vehicle-side are accessed after the end of the experiment.

Fig. 4 illustrates the $\boldsymbol{X^r}$ reference 3D-Trajectory (dashed-red line) and the $\boldsymbol{X}$ actual one (blue-solid line), accompanied by the UAV's orientation vector for sequential 0.5 s instances (green solid lines). It is noted that $\boldsymbol{X^r}$ is timestamp-progressing, i.e. it does not wait for the UAV to reach each waypoint. Hence, due to the disturbing cable tension introduced by the tethering link,

a degradation in trajectory-tracking can be observed.

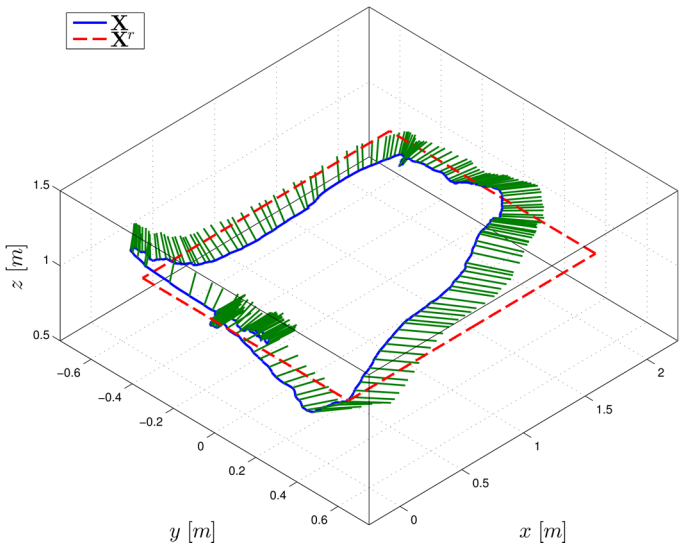


Fig. 4 Reference and Actual 3D World-Trajectory, with orientation vectors.

On the other hand, the UAV's orientation DoF ψ, as noted in the bottom subplot of Fig. 5 (blue-solid line) remains almost unaffected in tracking its ψ^r reference (red-dashed line). This can be attributed to the fact that the tethering link is attached near the Center-of-Mass (CoM) on the UAV-side, thus introducing minimal disturbing moments. Consequently, the aerial vehicle acts as depicted in Fig. 4, i.e. visually scans its operating environment's structure as it progresses along the timestamped -a priori designed for environment inspection purposes- $\boldsymbol{X}^r$ reference trajectory.

Fig. 6 illustrates the respective operational values of the PoT system during this experimental sequence, in a UAV-to-PoT time-aligned series. Within it, the top subplot indicates the Winder absolute turns Ω (blue-solid line) and the reference value Ω^r (red-dashed line), as generated by the Tether Tension block B) of the control structure of Fig. 3, following the logic described in Section III.B.

It is important to note that as the aerial vehicle moves away from the PoT base (located at $\boldsymbol{X}_{PoT} \simeq \{-0.75, 0, 0\}$ in the World-frame of Fig. 4), and more specifically within the time-window $t \in [132.5, 142.5]$, it naturally pulls against the cable end in the air. During this sequence, it can be observed in Fig. 6Fig. 5 that there exists instances where the reference Ω^r increases at larger rates; at these are points where the UAV pulls harder (as its own on-board control tracks $\boldsymbol{X}^r$) and according to the scheme of Section III.B the larger tension error is integrated. The PoT system increases its absolute turn count Ω (via the control authority of Section III.A) which does not match the rate requested by Ω^r. Hence, a significant tension remains active on the UAV's CoM, which additionally pulls the aerial vehicle downwards, as can be seen in the altitude middle-subplot of Fig. 5. Finally, it is noted that the bottom subplot of Fig. 6 illustrates the PoT's change in orientation according to DoF-3 as mentioned Section II.A.

Disturbances introduced by the PoT system on the UAV, such as the ones discussed within the present Section, can be tackled either by imposing rate constraints on the aerial vehicle's navigation control –and properly adjusting any time-progressing reference trajectories–, or by enabling communication between the system's components. It is noted that given the maximum aggressive-maneuvering operation that can be achieved by multirotor vehicles, the PoT cannot match their speed while releasing/retracting the tethering link, hence any mentioned slew-rate constraints mainly refer to the UAV-side.

In any case, this experimental sequence demonstrates that despite the aforementioned considerations, the PoT system –as a whole– can operate reliably, with no major repercussions in the navigation of slow-hovering multirotor UAVs. For the entire experimental sequence, no on-board power medium was available to the aerial platform; hence such an operation can be extended in time for as long as power can safely be procured on the PoT ground-side.

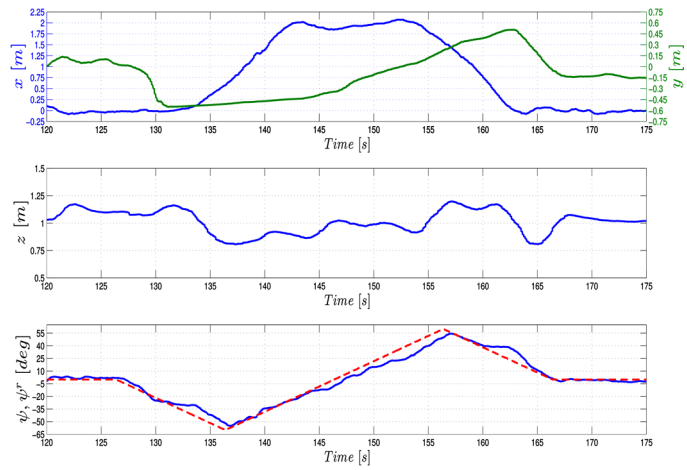


Fig. 5 Time-series Values of World-Trajectory

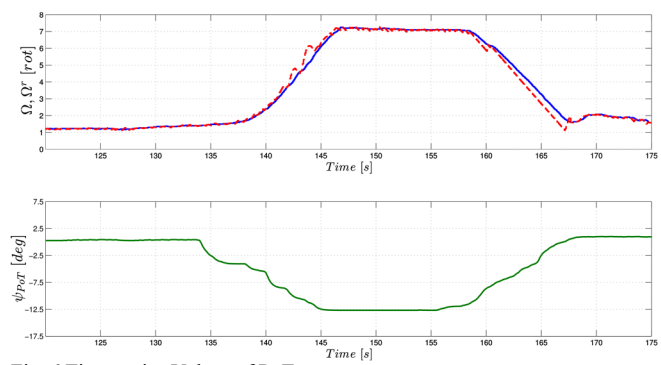


Fig. 6 Time-series Values of PoT system

Eventually, the on-board RGB-D sensor allowed the extraction of a 3D PointCloud representation of the environment's visible hull at each time-instant of the $\boldsymbol{X}$ trajectory of Fig. 4, at approximately 25 Hz. Making use of the powerful assets provided within the framework of the Robot Operating System [24] tool-base, Simultaneous Localization And Mapping (SLAM) can be performed in order to acquire a closed-loop solution to the exact transformation between sequential PointClouds, and extract a reconstructed 3D model

of the UAV's operating space. The result of this process is illustrated in Fig. 7.

Fig. 7 SLAM-based Reconstruction: Environment 3D PointCloud Model

V. Conclusions

A Power-over-Tether conceptual system for remote powering of small-scale Unmanned Aerial Vehicles was proposed. The system was designed and implemented at the device level, with all components elaborated and presented w.r.t. their operating principles. The necessary control synthesis, in order to achieve the required functionalities, was presented and thoroughly analyzed. A fully functional prototype assembled for the experimental evaluation of the proposed PoT system was employed, accompanied by the presented control scheme. Together with a high-end quadrotor platform, the operational capacity of the PoT system was evaluated in a set of initial experimental evaluation studies. The respective results were discussed, demonstrating the proposed system's potential for use within realistic applications.

References

[1] E. Cetinsoy, S. Dikyar, C. Hancer, K. Oner, E. Sirimoglu, M. Unel and M. Aksit, "Design and construction of a novel quad tilt-wing UAV," *Mechatronics,* vol. 22, no. 6, pp. 723-745, 2012.

[2] K. Alexis, C. Huerzeler and R. Siegwart, "Hybrid predictive control of a coaxial aerial robot for physical interaction through contact," *Control Engineering Practice,* vol. 32, pp. 96-112, 2014.

[3] A. Sanchez, L. G. Carrillo, E. Rondon, R. Lozano and O. Garcia, "Hovering flight improvement of a quad-rotor mini UAV using brushless DC motors," *Journal of Intelligent & Robotic Systems,* vol. 61, no. 1-4, pp. 85-101, 2011.

[4] C. Papachristos, K. Alexis, G. Nikolakopoulos and A. Tzes, "Model predictive attitude control of an unmanned tilt-rotor aircraft," in *IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, 2011.

[5] K. Alexis, C. Papachristos, R. Siegwart and A. Tzes, "Robust explicit model predictive flight control of unmanned rotorcrafts: Design and experimental evaluation," in *European Control Conference (ECC)*, Zurich, 2014.

[6] J. Tisdale, Z. Kim and J. K. Hedrick, "Autonomous UAV path planning and estimation," *IEEE Robotics & Automation Magazine,* vol. 16, no. 2, pp. 35--42, 2009.

[7] A. Keemink, M. Fumagalli, S. Stramigioli and R. Carloni, "Mechanical design of a manipulation system for unmanned aerial vehicles," in *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2012.

[8] C. Papachristos and A. Tzes, "Large object pushing via a direct longitudinally-actuated unmanned tri-tiltrotor," in *21st Mediterranean Conference on Control & Automation (MED)*, 2014.

[9] N. Michael, D. Scaramuzza and V. Kumar, "Special issue on micro-UAV perception and control," *Autonomous Robots,* vol. 33, no. 1-2, pp. 1-3, 2012.

[10] T. Merz and F. Kendoul, "Beyond visual range obstacle avoidance and infrastructure inspection by an autonomous helicopter," in *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 2011.

[11] F. Nex and F. Remondino, "UAV for 3D mapping applications: a review," *Applied Geomatics,* vol. 6, no. 1, pp. 1-15, 2014.

[12] P. Rudol and P. Doherty, "Human body detection and geolocalization for UAV search and rescue missions using color and thermal imagery," in *IEEE Aerospace Conference*, 2008.

[13] E. R. Hunt, W. D. Hively, S. J. Fujikawa, D. S. Linden, C. S. Daughtry and G. W. McCarty, "Acquisition of NIR-green-blue digital photographs from unmanned aircraft for crop monitoring," *Remote Sensing,* vol. 2, no. 1, pp. 290-305, 2010.

[14] G. Darivianakis, K. Alexis, M. Burri and R. Siegwart, "Hybrid predictive control for aerial robotic physical interaction towards inspection operations," in *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2014.

[15] C. Papachristos, K. Alexis and A. Tzes, "Technical Activities Execution with a TiltRotor UAS employing Explicit Model Predictive Control," in *Proceedings of the 19th IFAC World Congress of the International Federation of Automatic Control*, 2014.

[16] C. Papachristos, K. Alexis and A. Tzes, "Efficient force exertion for aerial robotic manipulation: Exploiting the thrust-vectoring authority of a tri-tiltrotor UAV," in *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2014.

[17] S. Lupashin and R. D'Andrea, "Stabilization of a flying vehicle on a taut tether using inertial sensing," in *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 2013.

[18] C. Papachristos and A. Tzes, "The power-tethered UAV-UGV team: A collaborative strategy for navigation in partially-mapped environments," in *22nd Mediterranean Conference of Control and Automation (MED)*, 2014.

[19] C. Papachristos, K. Alexis and A. Tzes, "Towards a high-end unmanned tri-tiltrotor: Design, modeling and hover control," in *20th Mediterranean Conference on Control & Automation (MED)*, 2012.

[20] C. Papachristos, K. Alexis and A. Tzes, "Design and experimental attitude control of an unmanned tilt-rotor aerial vehicle," in *15th International Conference on Advanced Robotics (ICAR)*, 2011.

[21] C. Papachristos, K. Alexis and A. Tzes, "Model predictive hovering-translation control of an unmanned tri-tiltrotor," in *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2013.

[22] M. Kvasnica, Real-time model predictive control via multi-parametric programming: theory and tools, VDM-Verlag, 2009.

[23] S. Bouabdallah, "Design and control of quadrotors with application to autonomous flying," Ecole Polytechnique federale de Lausanne, Lausanne, 2007.

[24] "Robot Operating System (ROS)," [Online]. Available: http://www.ros.org/.

[Συνεδρία Poster]

1. Athens wireless network analysis – Ντούτσος-Οικονόμου Κωνσταντίνος, Σάπικας Δημήτριος, Βασιλειάδης Νικόλαος, Παντελής Δημήτριος-Νικόλαος
2. Λογισμικό προσομοίωσης χαρακτηριστικών ιδιοτήτων μεταϋλικών – Διαμαντίδου Ελένη, Ζυγκιρίδης Θεόδωρος
3. Μελέτη γειώσεων ανεμογεννητριών με σκοπό τη βελτίωση των βηματικών τάσεων – Κοτοπούλη Ευαγγελία
4. Διαδικτυακό πληροφοριακό σύστημα διαχείρισης και καταγραφής παρουσιών iPresence – Ποτσίκα Ηλιάνα, Σακέροβλου Ελένη, Κορτσαρίδης Γεώργιος
5. Technoeconomic study of RES installations in hospital – Βενιζέλου Βενιζέλος
6. Σχεδιασμός διάταξης μετατροπέα και κυκλώματος ελέγχου για οδήγηση αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων – Τσιμάρας Βασίλειος
7. PANDORA: Παιχνιδοποιημένη εφαρμογή για την εκπαίδευση σε θέματα ηλεκτρικής ενέργειας – Δημήτρης Ενέα Μέλε, Ελσόν ΜπεΙλέρι, Τσάκο Δουρίμ, Στεφάν Αλί
8. Assessment of user experience with a commercial BCI device – Μαθέ Ειρήνη
9. Σύγχρονες εφαρμογές mHealth και μέθοδοι αξιολόγησης – Μαρίνου Μαρία
10. Capacitive immunosensor to quantify C-reactive protein – Σαψάνης Χρήστος
11. Ενεργειακό δυναμικό του παλιρροϊκού ρεύματος του Ευρίπου – Κατσιφάς Βασίλειος
12. Έλεγχος και μελέτη συστημάτων γείωσης κτιρίων Πανεπιστημίου Πατρών – Σπάη Μάρθα, Πέππας Γεώργιος

Athens Wireless Network Analysis

[1]Ντούτσος-Οικονόμου Κωνσταντίνος, [2]Σάπικας Δημήτριος, [3]Βασιλειάδης Νικόλαος, [4]Παντελής Δημήτριος-Νικόλαος

Abstract— **Στην σημερινή κοινωνία, το να είσαι συνδεδεμένος στο διαδίκτυο έχει γίνει πλέον ανάγκη, είτε για προσωπική χρήση είτε για επαγγελματική χρήση. Αυτό έγκειται κυρίως στο πόσο φορητή έχει γίνει η τεχνολογία πλέον. Σχεδόν όλοι έχουν έναν φορητό υπολογιστή ή ένα smart phone σήμερα. Αυτό συνεπάγεται στο να είναι και το διαδίκτυο όσο «φορητό» γίνεται, κάτι που η ενσύρματή τεχνολογία δεν επιτρέπει. Για αυτό δημιουργήθηκε η ανάγκη ασύρματου πρωτοκόλλου επικοινωνίας. Το ποιο διαδεδομένο από αυτά είναι το Wi-Fi, που μας επιτρέπει να συνδεθούμε ασύρματα σε ένα δίκτυο μέσο φορητού υπολογιστή, smart phone ή ακόμη και από άλλες συσκευές. Στην παρούσα έρευνα παρουσιάζουμε τι συνηθίζεται στα Wi-Fi της Αττικής από θέμα ασφάλειας, τεχνολογίας, αξιοπιστίας, τεχνικής και κατασκευάστριας εταιρίας.**

***Index Terms*— Wireless, Network, Analysis, Athens, Wi-Fi**

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα δίκτυο υπολογιστών είναι ένα σύνολο από υπολογιστές και εξυπηρετητές ή διακομιστές συνδεδεμένοι μεταξύ τους, έχοντας την δυνατότητα να ανταλλάξουν πληροφορίες. Από την άλλη ένα ασύρματο δίκτυο, σε αντίθεση με την ενσύρματη επικοινωνία, δεν χρησιμοποιεί ως μέσο μετάδοσης κάποιον τύπο καλωδίου. Το πιο ευρέως γνωστό ασύρματο δίκτυο είναι το Wi-Fi. Το Wi-Fi ή IEEE 802.11x. είναι οποιοδήποτε ασύρματο τοπικό δίκτυο (WLAN) προϊών που στηρίζεται πάνω στο 802.11 standard του Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

Ο άνθρωπος χρησιμοποιεί σε καθημερινή βάση ένα ασύρματο δίκτυο κυρίως Wi-Fi έχοντας την ανάγκη για απομακρυσμένη επικοινωνία, μεταφορά δεδομένων. Τι ασφάλεια έχει όμως το Wi-Fi που χρησιμοποιει? Από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην Αθήνα παραθέτουμε τα στατιστικά στοιχεία για το τύπο ασφάλειας (πρωτόκολλο κρυπτογράφησης) των Wi-Fi.

Πιο αναλυτικά, τα πρωτόκολλα κρυπτογράφησης Wi-Fi είναι:

1) Ελεύθερα δίκτυα, όπου δεν χρησιμοποιείται κανενός είδος κρυπτογράφησης.
2) WEP (Wired Equivalent Privacy), default πρωτόκολλο κρυπτογράφησης, θεωρείται ανασφαλές.
3) WPA/WPA2 (Wireless Protected Access), θεωρείται το πιο ασφαλές πρωτόκολλο κρυπτογράφησης.

II. ΣΤΟΧΟΙ / ΑΝΑΛΥΣΗ

Συγκεκριμένα, τα θέματα για τα οποία ψάχναμε απαντήσεις είναι τα εξής:

1. Ασφάλεια Wi-Fi δικτύων
   Καθορισμός τις χρήσης των διαφόρων πρωτοκόλλων κρυπτογράφησης Wi-Fi δικτύων.

2. Ποσοστό χρήσης WPA και WPA2
   Ανάλυση του πρωτοκόλλου WPA και καθορισμό των ποσοστών χρήσης του WPA2

3. Κατασκευάστριες εταιρίες των Wi-Fi συσκευών
   Ποσοστό της αγοράς που έχει η κάθε εταιρία κατασκευής Wi-Fi συσκευών.

4. Θόρυβος μέτρησης
   Στατιστική παρουσίαση των στοιχείων μέτρησης του θορύβου.

II.1 ΜΕΘΟΔΟΙ

Για την πραγματοποίηση της έρευνας χρησιμοποιήθηκε κεραία με ακτίνα εμβέλειας 2.5km. Τρέχοντας 2 custom-written scripts. Ένα bash script και ένα python μπορέσαμε με την χρήση της κεραίας να λάβουμε εκείνες της πληροφορίες που εκπέμπουν τα ασύρματα δίκτυα και είναι δημόσιες.

Στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν διάφορα script που βασίστηκαν σε γλώσσες όπως PHP,JS,Python,Bash Commands για να αναλυθούν καταλλήλως τα δεδομένα μας και να μπορέσουμε να τα παρουσιάσουμε γραφικά.

Για την επεξεργασία των μετρήσεων του θορύβου χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Matlab με το πακέτο για επεξεργασία στατιστικών δεδομένων και κατονομών.

[1]Α.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ. Τμήμα: Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστικών Συστημάτων, e-mail: kntoutsos@gmail.com.
[2]Α.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ. Τμήμα: Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστικών Συστημάτων, e-mail: dsapikas@gmail.com
[3]Α.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ. Τμήμα: Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστικών Συστημάτων, e-mail: n.vasileiadis@yahoo.gr
[4]Α.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ. Τμήμα: Μηχανικών Αυτοματισμού, e-mail: d.pantelis2@gmail.com

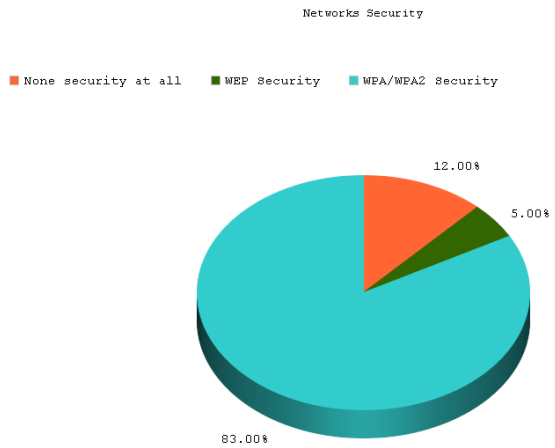
III. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ / ΕΞΑΓΩΓΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ

III.1 ΑΣΦΑΛΕΙΑ WI-FI ΔΙΚΤΥΩΝ

Αναλύοντας τα δεδομένα που αποκτήσαμε μέσω των μετρήσεων μας, μπορέσαμε να βγάλουμε διάφορα συμπεράσματα για την ασφάλεια

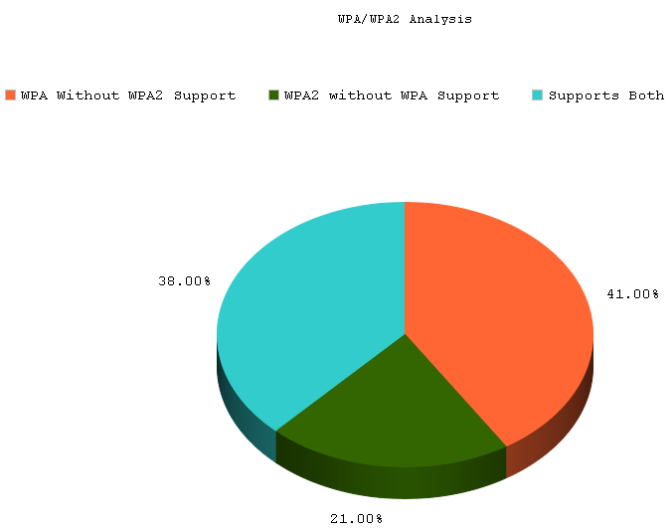
Πρώτον, όπως μπορείτε να δείτε και στην παρακάτω γραφική αναπαράσταση, η ασφάλεια των δικτύων χωρίζεται ως εξής:

- 12% καθόλου ασφάλεια
- 5% WEP ασφάλεια
- 83% WPA/WPA2 ασφάλεια



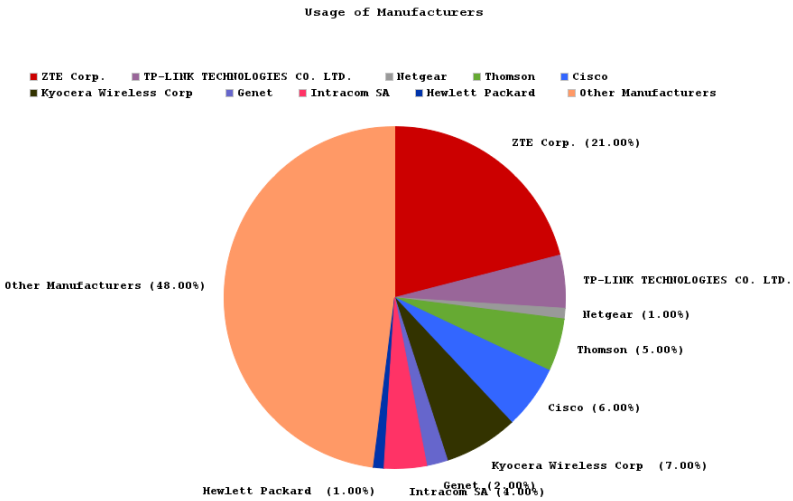
Περαιτέρω, μελετώντας και αναλύοντας σε μεγαλύτερο βάθος τα WPA/WPA2 δίκτυα, μπορούμε να παρατηρήσουμε τα εξής:

- 21% τον δικτύων υποστηρίζουν μόνο WPA2
- 38% των δικτύων υποστηρίζουν μόνο WPA
- Και το 41% των δικτύων υποστηρίζουν WPA και WPA2



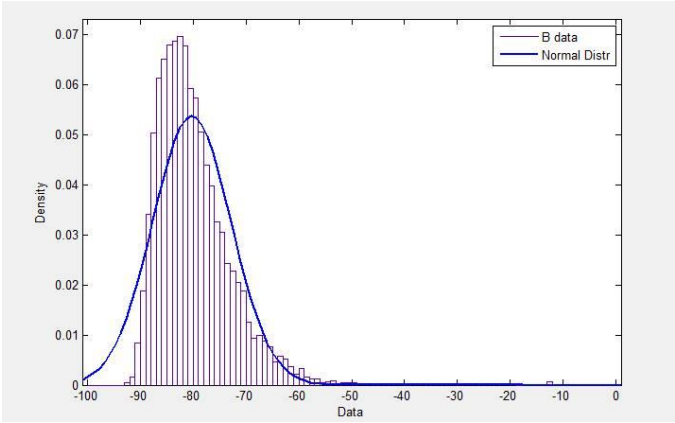
III.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΡΙΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ

Χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο αναγνώρισης προτύπων και συγκινώντας τις MAC addresses των μετρήσεων μας με αυτές στο επίσημο κατάλογο των κατασκευαστών, ήμασταν σε θέση να προσδιορίσουμε τους κατασκευαστές των routers που χρησιμοποιούνται πιο συχνά.



IV.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ

Προσπαθώντας να κατανοήσουμε την κατανομή του θορύβου των μετρήσεων μας, χρησιμοποιόντας ένα από τα κατάλληλα πλέον εργαλεία το Matlab με πακέτα επεξεργασίας δεδομένων και στατιστικών υπολογισμών, όπως μπορούμε να διακρίνουμε από το διάγραμμα, η κατανομή των δεδομένων θορύβου είναι σχεδόν όπως αναμενόταν. Αυτό μπορεί να αποδειχθεί πιο απλά παρατηρώντας πώς η κανονική κατανομή ακολουθεί τα δεδομένα θορύβου.



Μελέτη γειώσεων ανεμογεννητριών με σκοπό την βελτίωση των βηματικών τάσεων

Κοτοπούλη Ευαγγελία

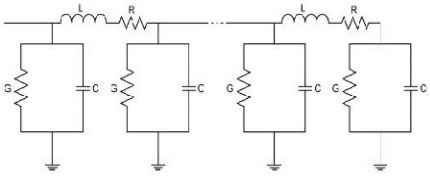
Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων,
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών,
26500 Πάτρα, ΡΙΟ

Σύνοψη- **Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των βηματικών τάσεων σε ένα σύστημα γείωσης ανεμογεννήτριας, με το ισοδύναμο ανθρώπινο κύκλωμα, μέσω της εξομοίωσης του με το λογισμικό EMTP-ATP, έχοντας συμπεριλάβει στους υπολογισμούς και το φαινόμενο του ιονισμού, ώστε να εκτιμηθούν οι βηματικές τάσεις στη βάση ανεμογεννήτριας σε περίπτωση πλήγματος κεραυνού. Η εξομοίωση γίνεται για δύο διατάξεις θεμελιακών γειώσεων και για τρεις διαφορετικές περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση τα συστήματα γείωσης υποβάλλονται σε κεραυνικό πλήγμα 100kA,με χρόνους 1.2/50 μs, θεωρώντας ειδική αντίσταση εδάφους 50 Ωm και τιμή πεδίου ιονισμού 300 kV/m. Στην δεύτερη περίπτωση το κεραυνικό πλήγμα είναι 30kA,1.2/50 μs, με ειδική αντίσταση εδάφους στα 100Ωm και πεδίο ιονισμού 300 kV/m, ενώ στην τρίτη περίπτωση υποβάλετε το σύστημα σε ρεύμα κεραυνού 10kA, με χρόνους 1.2/50μs, με ειδική αντίσταση εδάφους στα 100Ωm και σταθερή τιμή πεδίου ιονισμού στα 300kV/m.**

I. ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

1.1. Επιλογή Μοντέλου γείωσης

Το μοντέλο γείωσης γίνεται με κυκλωματική προσέγγιση RLC, το οποίο συνήθως χρησιμοποιείται για αναπαράσταση μη συγκεντρωμένων συστημάτων γείωσης. Το μοντέλο αυτό ενδείκνυται για απλές γεωμετρίες ηλεκτροδίων γείωσης, όπως τα γραμμικά κατακόρυφα ή οριζόντια ηλεκτρόδια. Η προσομοίωσή τους γίνεται συνήθως με τη χρήση π-ισοδύναμου RLC κυκλώματος, για να έχουμε καλύτερη προσέγγιση της συμπεριφοράς της γείωσης σε πλήγματα κεραυνών ή άλλα μεταβατικά φαινόμενα.



Σχήμα 1.1: Κυκλωματική προσέγγιση RLC

Οι σχέσεις που θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των παραμέτρων των αγωγών γείωσης, για τα οριζόντια ηλεκτρόδια, είναι οι εξής[4][5]:

$$\mathbf{L} \approx \frac{\mu_0}{2\pi}\left(\ln\frac{2l}{\alpha} - 1\right) \qquad \textbf{(1.1)}$$

$$\mathbf{r} = \frac{\rho}{2\pi l}\left[\frac{2h+\alpha}{l} + \ln\frac{l+\sqrt{l^2+\alpha^2}}{\alpha} - \sqrt{1+\left(\frac{\alpha}{l}\right)^2} + \ln\frac{l+\sqrt{l^2+4h^2}}{2h} - \sqrt{1+\left(\frac{2h}{l}\right)^2}\right] \qquad \textbf{(1.2)}$$

$$\mathbf{C} = \frac{2\pi\varepsilon l}{\frac{\alpha}{l}+\ln\frac{l+\sqrt{l^2+\alpha^2}}{\alpha}\sqrt{1+\left(\frac{\alpha}{l}\right)^2}} \qquad \textbf{(1.3)}$$

$$\mathbf{G} = \frac{c}{\varepsilon\rho} \qquad \textbf{(1.4)}$$

Όπου:

- l είναι το μήκος του ηλεκτροδίου γείωσης
- **ε** είναι η διηλεκτρική διαπερατότητα του εδάφους
- **μ0** είναι η μαγνητική διαπερατότητα του κενού
- **ρ** είναι η ειδική αντίσταση εδάφους
- **h** είναι το βάθος ενταφιασμού του ηλεκτροδίου
- α είναι η ισοδυναμική ακτίνα ηλεκτροδίου

Η εξίσωση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των παραμέτρων της κάθετης ράβδου, προκύπτει από το έργο του Rudenberg και είναι[4][5]:

$$\mathbf{G^{-1}} = \frac{\rho}{2\pi l}\log\frac{2l}{\alpha} \qquad \textbf{(1.5)}$$

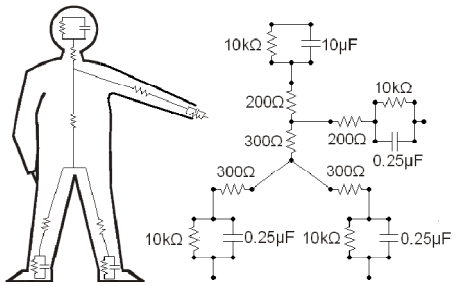
$$\mathbf{C} = 2\pi\varepsilon\log\frac{2l}{\alpha} \qquad \textbf{(1.6)}$$

$$\mathbf{L} = \frac{\mu_0}{2\pi}\log\frac{2l}{\alpha} \qquad \textbf{(1.7)}$$

1.2. Επιλογή ισοδύναμου ανθρώπινου μοντέλου

Το ισοδύναμο μοντέλο του ανθρώπου μπορεί να αναπαρασταθεί με πολλούς τρόπους ,όπως με ισοδύναμες εν σειρά αντιστάσεις ή με συνδυασμό στοιχείων για την ξεχωριστή αναπαράσταση κάθε σημείου του σώματος. Το μοντέλο που χρησιμοποιείται για την εξομοίωση είναι το ακόλουθο.

Στα πόδια του ανθρώπου θεωρούμε ισοδύναμη αντίσταση 10kΩ λόγω ειδικών υποδημάτων εργασίας τα οποία αυξάνουν την αντίσταση.



Σχήμα 1.2:ισοδύναμο κύκλωμα ανθρώπινου σώματος[8]

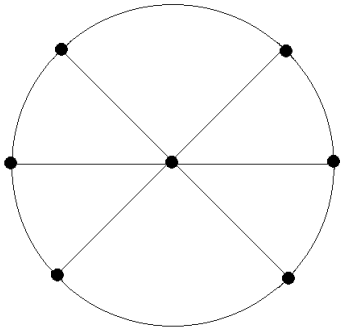
II. ΕΞΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Για την εξομοίωση των συστημάτων χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι γειώσεων ανεμογεννητριών και το ισοδύναμο κύκλωμα του ανθρώπου που δίνεται παραπάνω.

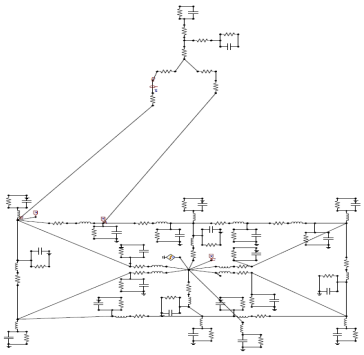
2.1. Εξομοίωση με την πρώτη διάταξη θεμελιακής γείωσης

Η πρώτη θεμελιακή γείωση που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από μια περιμετρική ταινία μήκους 12,56

μέτρων, έξι ακτινικές ταινίες μήκους 2 μέτρων η κάθε μια και 6 κάθετα ηλεκτρόδια μήκους 4 μέτρων κατά μήκος της περιμετρικής ταινίας σε απόσταση μεταξύ τους 2,093m. Επίσης ένα κάθετο ηλεκτρόδιο είναι τοποθετημένο στο κέντρο της διάταξης.



Σχήμα 2.1: σχέδιο του πρώτου πλέγματος γείωσης που χρησιμοποιήθηκε.[2]

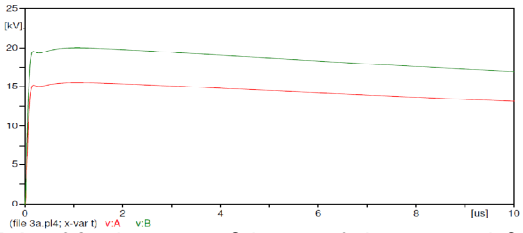


Σχήμα 2.2:εξομοίωση του πρώτου συστήματος στο ATP-EMTP

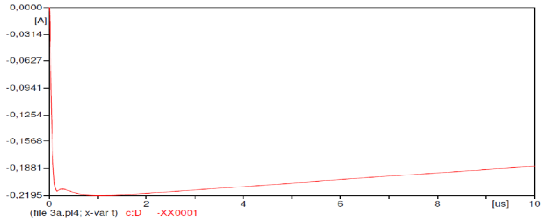
Η ανάλυση του συστήματος θα γίνει για τρεις περιπτώσεις.

2.1.1 Αποτελέσματα εξομοίωσης του πρώτου συστήματος

Α) Σε αύτη την περίπτωση το σύστημα γείωσης υποβλήθηκε σε ρεύμα κεραυνού, 100kA, 1.2/50μs, με ρ=50Ωm και E_o=300kV/m.



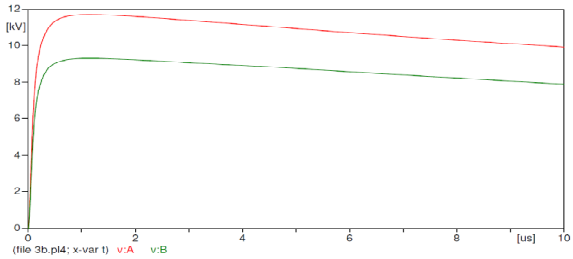
Σχήμα 2.3: τάσεις των ποδιών του ανθρώπου στους κόμβους Α(κόκκινη γραφική) και Β(πράσινη γραφική)



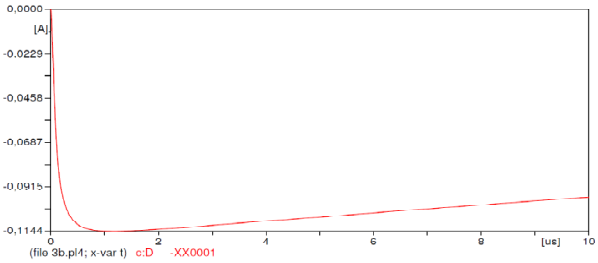
Σχήμα 2.4 : γραφική παράσταση ρεύματος-χρόνου όπως μετρήθηκε από το αμπερόμετρο που είναι συνδεδεμένο στον κόμβο D-ρεύμα το οποίο διαπερνά το ανθρώπινο πόδι.

Από τα δύο παραπάνω σχεδιαγράμματα παρατηρούμε βηματική τάση E_{step}=4521V τη χρονική στιγμή t=1μs και μέγιστο ρεύμα $I_{1\alpha}$=219.5mA.

Β) Σε αυτή την περίπτωση το σύστημα γείωσης υποβλήθηκε σε ρεύμα κεραυνού 30kA, 1.2/50μs, με ρ=100Ωm και E_o=300kV/m.



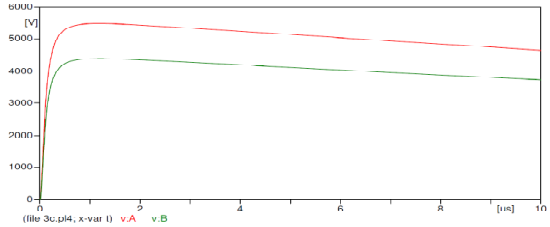
Εικόνα 2.5: τάσεις των ποδιών του ανθρώπου στους κόμβους Α(κόκκινη γραφική) και Β(πράσινη γραφική)



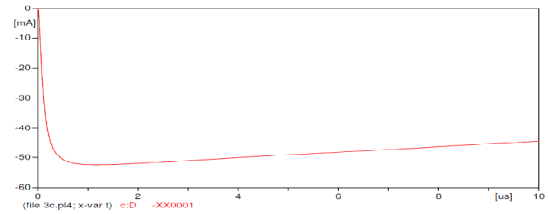
Εικόνα 2.6: γραφική παράσταση ρεύματος-χρόνου όπως μετρήθηκε από το αμπερόμετρο που είναι συνδεδεμένο στον κόμβο D-ρεύμα το οποίο διαπερνά το ανθρώπινο πόδι.

Από τα σχεδιαγράμματα παρατηρούμε βηματική τάση E_{step}=2356.2V όταν t=1μs και μέγιστο ρεύμα $I_{1\beta}$=114.4 mA.

Γ) Σε αυτή την περίπτωση το σύστημα γείωσης υποβλήθηκε σε ρεύμα κεραυνού 10kA, 1.2/50μs, με ρ=100Ωm και E_o=300kV/m.



Εικόνα 2.7: τάσεις των ποδιών του ανθρώπου στους κόμβους Α(κόκκινη γραφική) και Β(πράσινη γραφική)



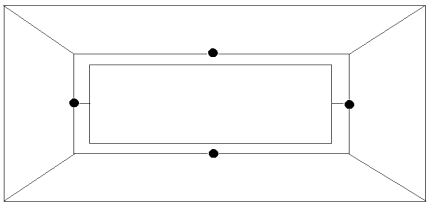
Εικόνα 2.8 : γραφική παράσταση ρεύματος-χρόνου όπως μετρήθηκε από το αμπερόμετρο που είναι συνδεδεμένο στον κόμβο D-ρεύμα το οποίο διαπερνά το ανθρώπινο πόδι

Από τα σχεδιαγράμματα παρατηρούμε βηματική τάση E_{step}=1078.7V και μέγιστο ρεύμα $I_{1\gamma}$=52.343mA.

2.2 Εξομοίωση με την δεύτερη διάταξη θεμελιακής γείωσης

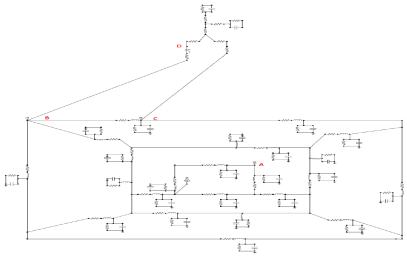
Η δεύτερη θεμελιακή γείωση που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από 3 ορθογώνιες ταινίες ,2 οριζόντιες ταινίες που ενώνουν το εσωτερικό με το μεσαίο πλαίσιο και 4 διαγώνιες ταινίες που ενώνουν το μεσαίο πλαίσιο με το μεγαλύτερο εξωτερικό. Η πρώτη ορθογώνια ταινία βρίσκεται σε βάθος 2 μέτρων και έχει διαστάσεις 11m*7.5m.Αντίστοιχα και η μεσαία ορθογώνια ταινία βρίσκεται στο ίδιο βάθος με

διαστάσεις 6.5m*4.5m. Οι 4 διαγώνιες ταινίες είναι και αυτές σε βάθος 2 μέτρων και έχουν μήκος 2,7 μέτρα. Η μικρότερη (εσωτερική) ορθογώνια ταινία βρίσκεται σε βάθος 4 μέτρων και έχει διαστάσεις 5m*3.5m,ενώ οι 2 οριζόντιες ταινίες βρίσκονται σε βάθος 2 μέτρων και έχουν μήκος 2 μέτρα.



Σχήμα 2.8 : σχέδιο του δεύτερου πλέγματος γείωσης που χρησιμοποιήθηκε.[2]

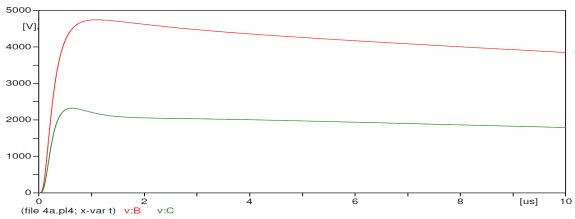
Και στην περίπτωση του δεύτερου πλέγματος γείωσης η ανάλυση του συστήματος θα γίνει για τρεις περιπτώσεις.



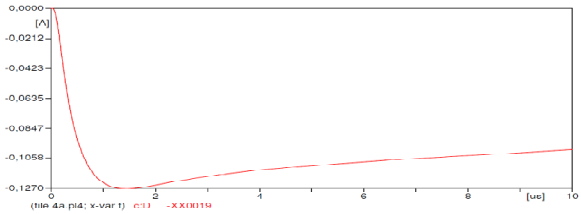
Σχήμα 2.9 : εξομοίωση του δεύτερου συστήματος στο ATP-EMTP.

2.2.1 Αποτελέσματα εξομοίωσης του δευτέρου συστήματος

Α) Σε αύτη την περίπτωση το σύστημα γείωσης υποβλήθηκε σε ρεύμα κεραυνού, 100kA, 1.2/50μs, με ρ=50Ωm και E_o=300kV/m.



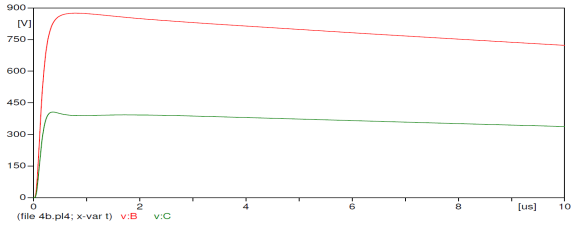
Σχήμα 2.10 τάσεις των ποδιών του ανθρώπου στους κόμβους B(κόκκινη γραφική) και C(πράσινη γραφική)



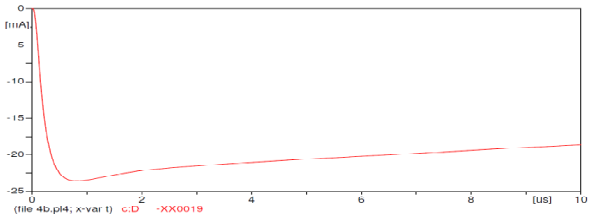
Σχήμα 2.11 : γραφική παράσταση ρεύματος-χρόνου όπως μετρήθηκε από το αμπερόμετρο που είναι συνδεδεμένο στον κόμβο D-ρεύμα το οποίο διαπερνά το ανθρώπινο πόδι

Από το σχεδιάγραμμα παρατηρούμε βηματική τάση E_{step}=2615.5V τη χρονική στιγμή t=1.4μs και μέγιστο ρεύμα $I_{2\alpha}$=0.127A.

Β) Σε αυτή την περίπτωση το σύστημα γείωσης υποβλήθηκε σε ρεύμα κεραυνού 30kA, 1.2/50μs, με ρ=100Ωm και E_o=300kV/m.



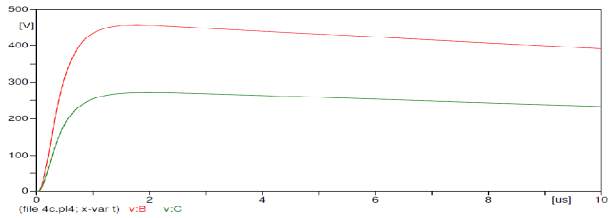
Σχήμα 2.12: τάσεις των ποδιών του ανθρώπου στους κόμβους B(κόκκινη γραφική) και C(πράσινη γραφική)



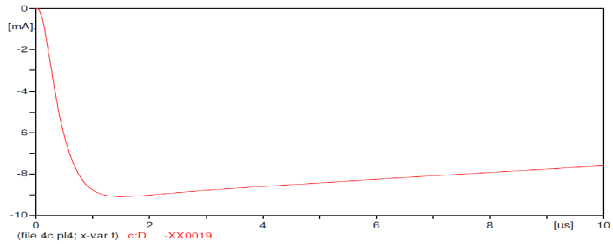
Σχήμα 2.13: γραφική παράσταση ρεύματος-χρόνου όπως μετρήθηκε από το αμπερόμετρο που είναι συνδεδεμένο στον κόμβο D-ρεύμα το οποίο διαπερνά το ανθρώπινο πόδι

Από το σχεδιάγραμμα παρατηρούμε βηματική τάση E_{step}=485.83V όταν t=0.848μs και μέγιστο ρεύμα $I_{2\beta}$=23.58mA

Γ) Σε αυτή την περίπτωση το σύστημα γείωσης υποβλήθηκε σε ρεύμα κεραυνού 10kA, 1.2/50μs, με ρ=100Ωm και E_o=300kV/m.



Σχήμα 2.14: τάσεις των ποδιών του ανθρώπου στους κόμβους B(κόκκινη γραφική) και C(πράσινη γραφική)



Σχήμα 2.15: γραφική παράσταση ρεύματος-χρόνου όπως μετρήθηκε από το αμπερόμετρο που είναι συνδεδεμένο στον κόμβο D-ρεύμα το οποίο διαπερνά το ανθρώπινο πόδι.

Από το σχεδιάγραμμα παρατηρούμε βηματική τάση E_{step}=187.26V τη χρονική στιγμή t=1.4μs και μέγιστο ρεύμα $I_{2\gamma}$=9.09mA.

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε στις έξι παραπάνω περιπτώσεις μελέτης του δεύτερου συστήματος, ισχύει ότι οι χρόνοι των βηματικών τάσεων και οι χρόνοι που σημειώνονται τα μέγιστα ρεύματα ταυτίζονται ή είναι κοντά με μια πάρα πολύ μικρή απόκλιση. Το ίδιο ισχύει και για τους χρόνους μηδενισμού ρευμάτων και τάσεων.Αυτό οφείλεται στο μέγεθος του συστήματος.

III. ΘΕΩΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι σχέσεις από τις οποίες προκύπτουν οι βηματικές τάσεις είναι αντίστοιχα [3]:

$$E_{step50} = (R_b + 6C_s\rho_s)0.116/\sqrt{t_s}$$

$E_{step70} = (R_b + 6C_s\rho_s)0.157/\sqrt{t_s}$

Όπου:

R_B : η αντίσταση του ανθρώπου

t_s : η διάρκεια του ρεύματος

ρ_s :η ειδική αντίσταση της επιφάνειας στην οποία βρίσκεται ο άνθρωπος

C_s : συντελεστής διόρθωσης για την περίπτωση που η επιφάνεια επαφής καλύπτεται από προστατευτικό υλικό

Επειδή θεωρούμε ότι δεν χρησιμοποιείται κάποιο προστατευτικό υλικό για τις παραπάνω σχέσεις πρέπει να πάρουμε ότι C_s =1. Η R_B είναι στα 1000 Ω για τους θεωρητικούς υπολογισμούς και για την επαλήθευση των πειραματικών στα 10000 Ω. Για τον χρόνο t_s για μεγαλύτερη ακρίβεια στους υπολογισμούς θα υπολογίσουμε για 4 περιπτώσεις : **t_{s1}=0.5 ms, t_{s2}=1 ms, t_{s3}=3 ms, t_{s4}=5 ms**, με 0.5 ms να είναι η ευνοϊκότερη περίπτωση και 5ms η πιο δυσμενής και για την ειδική αντίσταση του εδάφους, στα 50 Ωm και 100Ωm.

Θεωρητικοί υπολογισμοί για ρ=50Ωm

-για t_{s1}=0.5 msec

$E_{step50} = (1000 + 6 * 50)0.116/\sqrt{0.0005}$=**6743.98 V**

$E_{step70} = (1000 + 6 * 50)0.157/\sqrt{0.0005}$ =**9127.63 V**

-για t_{s2}=1 msec

$E_{step50} = (1000 + 6 * 50)0.116/\sqrt{0.001}$=**4768.7 V**

$E_{step70} = (1000 + 6 * 50)0.157/\sqrt{0.001}$=**6454.21 V**

- για t_{s3}=3 msec

$E_{step50} = (1000 + 6 * 50)0.116/\sqrt{0.003}$=**2753.22 V**

$E_{step70} = (1000 + 6 * 50)0.157/\sqrt{0.003}$=**3726.34 V**

-για t_{s4}=5 msec

$E_{step50} = (1000 + 6 * 50)0.116/\sqrt{0.005}$=**2132.63 V**

$E_{step70} = (1000 + 6 * 50)0.157/\sqrt{0.005}$=**2886.4 V**

Θεωρητικοί υπολογισμοί για ρ=100Ωm

-για t_{s1}=0.5 msec

$E_{step50} = (1000 + 6 * 100)0.116/\sqrt{0.0005}$=**8300.28 V**

$E_{step70} = (1000 + 6 * 100)0.157/\sqrt{0.0005}$ =**11234 V**

-για t_{s2}=1 msec

$E_{step50} = (1000 + 6 * 100)0.116/\sqrt{0.001}$=**5869.19 V**

$E_{step70} = (1000 + 6 * 100)0.157/\sqrt{0.001}$=**7943.64 V**

- για t_{s3}=3 msec

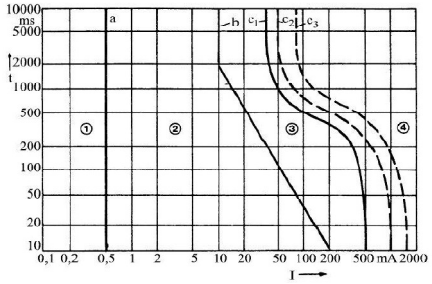
$E_{step50} = (1000 + 6 * 100)0.116/\sqrt{0.003}$=**3388.58 V**

$E_{step70} = (1000 + 6 * 100)0.157/\sqrt{0.003}$=**4586.26 V**

-για t_{s4}=5 msec

$E_{step50} = (1000 + 6 * 100)0.116/\sqrt{0.005}$=**2624.78 V**

$E_{step70} = (1000 + 6 * 100)0.157/\sqrt{0.005}$=**3552.5 V**



Σχήμα 3.1 : επίδραση ρεύματος στον ανθρώπινο οργανισμό[3]

Από το παραπάνω διάγραμμα διακρίνονται οι εξής 4 ζώνες:

Ζώνη 1:Συνήθως καμία αντίδραση του οργανισμού

Ζώνη 2:Συνήθως καμία επιβλαβής φυσιοπαθολογική επίδραση

Ζώνη 3:Συνήθως δεν αναμένεται καμία οργανική βλάβη

Ζώνη 4:Πιθανότητα μαρμαρυγής, καμπύλη c1 όριο μαρμαρυγής

Συγκρίνοντας τις παραπάνω θεωρητικές τιμές με τις σχέσεις και για τα 2 είδη πλεγμάτων και χρησιμοποιώντας το διάγραμμα, παρατηρούμε ότι για την $E_{step1\alpha}$=4521V προκύπτουν μη αποδεκτές τιμές για τους χρόνους 3ms και 5ms και στα 50 kg και στα 70 kg. Το ίδιο ισχύει και για την E_{step2a}=2615.5V όπου είναι οριακά αποδεκτή η τιμή αυτής της βηματικής τάσης για χρόνο 5ms στα 50 kg. Όμως, η αντίσταση 1000Ω των ποδιών του ανθρώπου στους θεωρητικούς υπολογισμούς είναι πολύ μικρή συγκριτικά με την αντίσταση των 10kΩ που έχουμε θεωρήσει για κάποιον ο οποίος φοράει υποδήματα εργασίας.

Κάνοντας λοιπόν εκ νέου τους υπολογισμούς για την πειραματική ανθρώπινη αντίσταση των 10kΩ έχουμε $I_{1\alpha}$=0.2195 A και $I_{2\alpha}$=0.127A,συμπεραίνουμε ότι ο άνθρωπος με βάση το διάγραμμα του σχήματος 3.1 είναι ασφαλής.

Υπολογίζοντας νέα θεωρητικά όρια και για τις επόμενες περιπτώσεις και για αντίσταση 10 kΩ, τα όρια της επιτρεπόμενης βηματικής τάσης αυξάνονται κατά πολύ και ο άνθρωπος δεν διατρέχει κανένα κίνδυνο.

Επίσης, χρησιμοποιώντας τις γραφικές παραστάσεις για τον υπολογισμό των μέγιστων ρευμάτων και το διάγραμμα του σχήματος 3.1 για να βρούμε σε ποια ζώνη επικινδυνότητας ανήκει ο άνθρωπος παρατηρούμε ότι για τις υπολογισθείσες πειραματικές τιμές ο άνθρωπος είναι στη ζώνη 2 και είναι ασφαλής αφού συνήθως σε αυτή την περίπτωση δεν έχουμε καμία επιβλαβή φυσιοπαθολογική επίδραση.[1][6][7][8]

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Ελευθερία Πυργιώτη, “Σχεδιασμός Προστασίας Κατασκευών από Κεραυνούς”
2. Γκαμούρα Χάρις, “Μεταβατική συμπεριφορά γείωσης ανεμογεννητριών”, Διπλωματική εργασία
3. “IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding”, ANSI/IEEE Std 80-2000,2000
4. YAQING LIU,” Transient Response of Grounding Systems Caused by Lightning: Modeling Experiments”, Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology 1015, Uppsala 2004.
5. Rong Zeng, Senior Member, IEEE, Xuehai Gong, Jinliang He, Fellow, IEEE, Bo Zhang, and Yanqing Gao “Lightning Impulse Performances of Grounding Grids for Substations Considering Soil Ionization” IEEE TRANSACTIOS ON POWER DELIVERY, VOL.23, NO.2, APRIL 2008
6. M.Odell, “The human body as an electric circuit”, Victorian Institute of Forensic Medicine, Southbank, Victoria, Australia 1997.
7. LI ChunLan, DU SongHuai, XIA Yue,”Study on equivalent circuit of the human body and its transient response against electric shock”, the international conference on advanced power system automation and protection 2011.
8. Daniel S. Gazzana, Arturo S.Bretas, Guilherme A. D. Dias, Marcos Telló, Dave W. P. Thomas, Christos Christopoulos, “ Contribution to the study of human safety against lightning considering the grounding system influence and the variations of the associated parameters”, ICLP, Vienna, Austria, 2012.

Λογισμικό Προσομοίωσης Χαρακτηριστικών Ιδιοτήτων Μεταϋλικών

Ελένη Διαμαντίδου και Θεόδωρος Ζυγκιρίδης

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών , Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας

elenadiamantidou@gmail.com

Ι. Εισαγωγή

Η εργασία που έχει αποσταλεί, πραγματεύεται την υλοποίηση μιας γραφικής διεπιφάνειας σε προγραμματιστικό περιβάλλον *Matlab(GUI)* με θέμα την προσομοίωση χαρακτηριστικών ιδιοτήτων των μεταϋλικών.

Keywords: Μεταϋλικά, Αρνητικός Δείκτης Διάθλασης, Drude μέσα, Matlab(GUI)

Α. Τα Μεταϋλικά

Η πρώτη αναφορά στα μεταϋλικά έγινε από τον Veselago το 1960, ο οποίος και εξέτασε την ύπαρξη υλικών που διαθέτουν ταυτόχρονα αρνητική ηλεκτρική επιτρεπτότητα και αρνητική μαγνητική διαπερατότητα, μια υπόθεση η οποία δεν παραβιάζει τις εξισώσεις του Maxwell. Όπως υποδηλώνεται και από το όνομα τους, τα μεταϋλικά είναι τεχνητά υλικά με ιδιότητες που δεν συναντώνται στην φύση. Η κατασκευή τους γίνεται μέσα από συγκεκριμένες διατάξεις (μικροσκοπικές δομές) και όχι από την ίδια την δομή τους. Βασικές ιδιότητες των μεταϋλικών είναι :

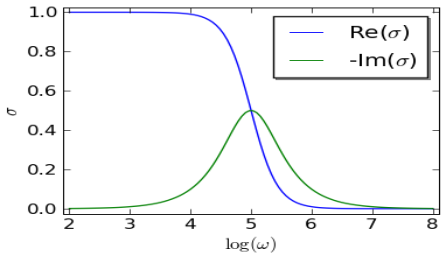
- Αρνητικός δείκτης διάθλασης
- Η φάση του κύματος προπορεύεται καθώς αυτό απομακρύνεται από την πηγή
- Το πλάτος του κύματος αυξάνεται καθώς απομακρύνεται από την πηγή

Β. Διπλά αρνητικά μεταϋλικά

Συγκεκριμένα η εργασία υλοποιεί ένα λογισμικό σε περιβάλλον Matlab , το οποίο επιδεικνύει την επίδραση διπλών αρνητικών μεταϋλικών (DNG) σε δύο διαστάσεις. Στα διπλά αρνητικά μεταϋλικά τα μεγέθη της επιτρεπτότητας και της διαπερατότητας είναι αρνητικά, με αποτέλεσμα να έχουν αρνητικό δείκτη διάθλασης.

Γ. Μεθοδολογία

- Τα μεταϋλικά μοντελοποιούνται ως ομογενή Drude μέσα :



$$\varepsilon_r = 1 + \frac{\omega_p^2}{j\omega(j\omega + \Gamma)}$$

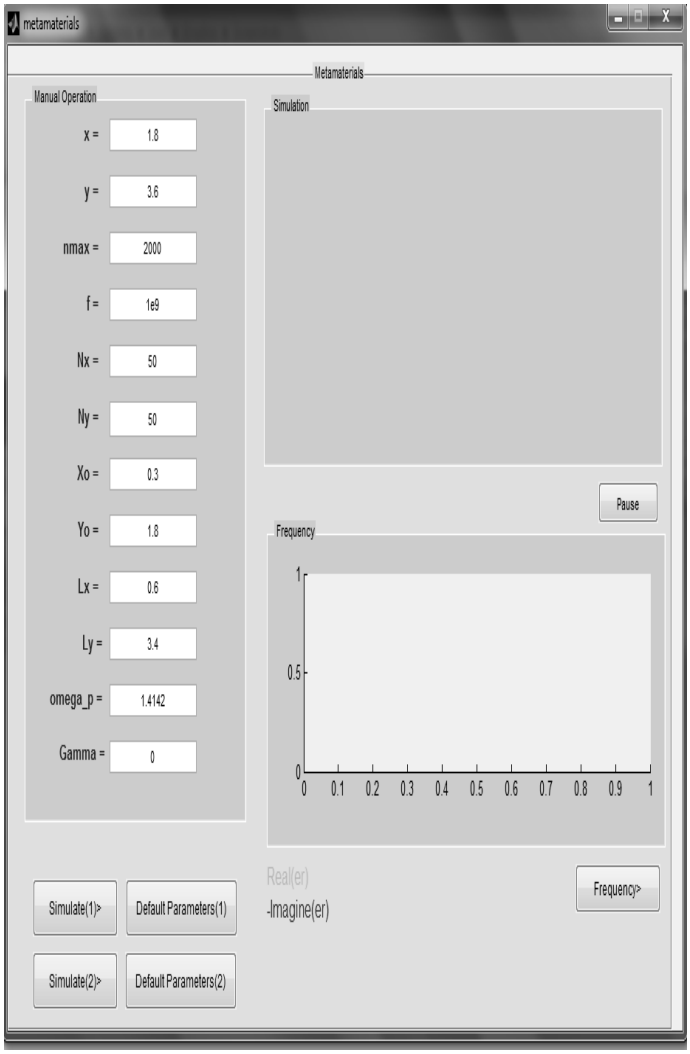
$$\mu_r = 1 + \frac{\omega_p^2}{j\omega(j\omega + \Gamma)}$$

- Χρησιμοποιείται μέθοδος πεπερασμένων διαφορών στο πεδίο του χρόνου ***(FTDT method)*** με προσεγγίσεις β' τάξης.

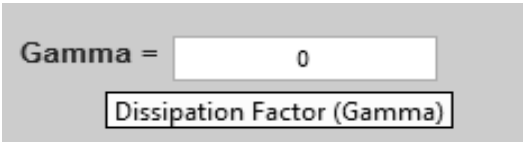
- Η διασπορά του υλικού λαμβάνεται υπόψη με τη μέθοδο βοηθητικής διαφορικής εξίσωσης (***ADE method***)

$$\begin{cases} \mathbf{E}^{n+1} = c_p \mathbf{E}^n + d_p \left(\nabla \times \mathbf{H}^{n+1/2} - \frac{1+k_p}{2} \mathbf{J}_p^n \right) \\ \mathbf{J}_p^{n+1} = k_p \mathbf{J}_p^n + \beta_p \left(\mathbf{E}^{n+1} + \mathbf{E}^n \right) \end{cases}$$

II. Πλατφόρμα Προσομοίωσης

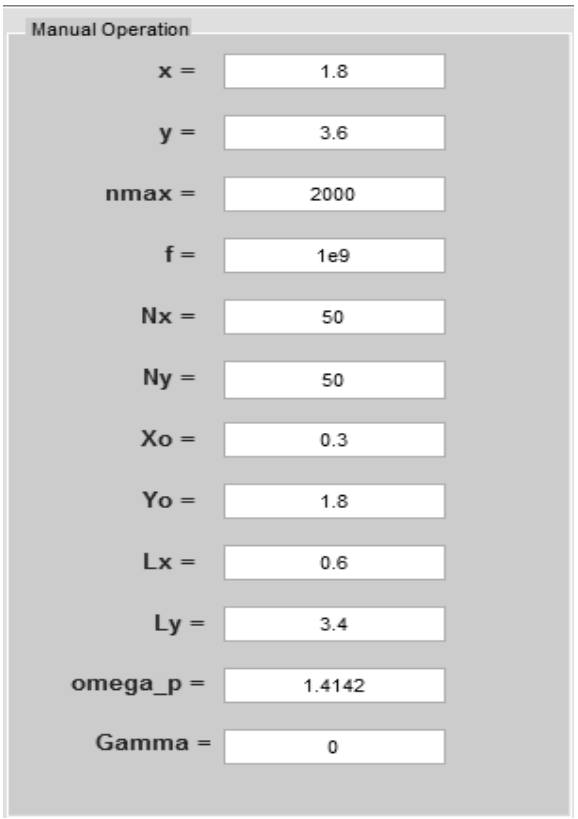


Τοποθετώντας το ποντίκι του υπολογιστή πάνω στο όνομα μίας παραμέτρου εμφανίζεται κατάλληλο tool tip επεξηγώντας την, εν συντομία, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



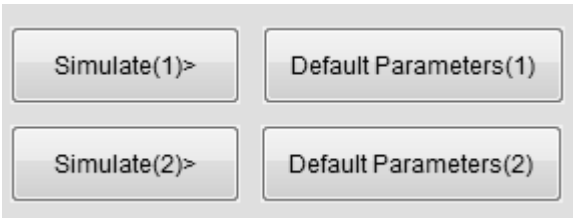
Επίσης στις παραμέτρους ωp και Γ πατώντας δεξί κλικ στο edit box, εμφανίζονται σε νέο παράθυρο του Matlab συγκεκριμένες τιμές για να πετύχουμε είτε πλάγια/κάθετη πρόσπτωση είτε πλάγια/κάθετη πρόσπτωση Γκαουσσιανής δέσμης.

A. [Manual Operation]



Στο πάνελ του Manual Operation περιγράφονται όλες οι μεταβλητές/παράμετροι που απαιτούνται για την επιθυμητή προσομοίωση. Στα *edit boxes* έχουν ήδη εφαρμοστεί προτεινόμενες τιμές για την διευκόλυνση του χρήστη, προκειμένου να υπάρξει κατανοητό αποτέλεσμα .

B. [Simulation Buttons]



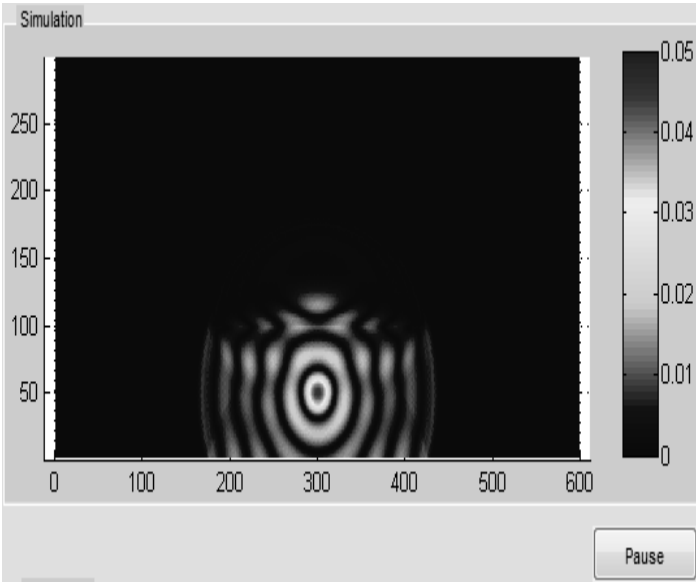
Η επιλογή Simulate(1) προσομοιώνει την συμπεριφορά των μεταϋλικών όταν δέχονται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από σημειακή πηγή.

Ομοίως η επιλογή Simulate(2) προσομοιώνει την συμπεριφορά των μεταϋλικών όταν δέχονται

ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από κάθετη ή πλάγια πρόσπτωση (Γκαουσσιανής) δέσμης.

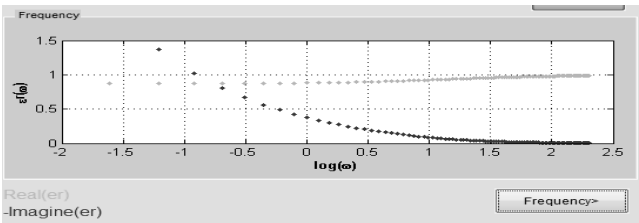
Οι παραπάνω επιλογές συνοδεύονται από τις λειτουργίες Default Parameters(1) και Default Parameters(2). Οι λειτουργίες αυτές προσφέρουν την δυνατότητα χρήσης προτεινόμενων τιμών για όλες τις παραμέτρους και αποσκοπούν στην ορθότητα των αποτελεσμάτων, καθώς είναι τιμές που έχουν επιλεγεί για να δίνουν χαρακτηριστικά αποτελέσματα του κάθε προβλήματος.

Γ. [Simulation]



Το κυριότερο παράθυρο της γραφικής διεπιφάνειας είναι το panel στο οποίο πραγματοποιούνται οι προσομοιώσεις. Οι γραφικές μοντελοποιήσεις περιορίζονται σε άξονες που έχουν τοποθετηθεί, με κατάλληλο τρόπο, μέσα στο παράθυρο Simulation. Σημαντικό ρόλο έχει το toggle button *Pause*/*Start*. Χρησιμοποιεί τις συναρτήσεις uiwait και uiresume για παύση της προσομοίωσης(παρατήρηση αποτελεσμάτων) και εκκίνηση από το σημείο που σταμάτησε.

Δ. [Frequency]



Γίνεται αναπαράσταση πραγματικού και φανταστικού μέρους.

Το παράθυρο frequency αναπαριστά την γραφική παράσταση της συχνότητας εr.

$$\varepsilon_r = 1 + \frac{\omega_p^2}{j\omega(j\omega + \Gamma)}$$

III. Υπολογισμοί

Καθώς πρόκειται για υπολογιστικό περιβάλλον, έχουν ληφθεί όλοι οι παράμετροι σφάλματος για οποιαδήποτε εσφαλμένη εισαγωγή και πιθανή μη-συμπλήρωση όλων των παραμέτρων. Παραδείγματα που υλοποιήθηκαν στην πλατφόρμα είναι :

- Εστίαση κυμάτων και δημιουργία «τέλειου» αντίγραφου της σημειακής πηγής.
- Μετάδοση ηλεκτρομαγνητικής ισχύος σε μορφή δέσμης.
- Μηδενικός συντελεστής περίθλασης.
- Κάθετη/Πλάγια πρόσπτωση Γκαουσσιανής δέσμης.
- Κάθετη/Πλάγια πρόσπτωση σε μεταϋλικό με απώλειες.

IV. Επίλογος

Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκε η υλοποίηση μιας διεπιφάνειας, με στόχο την απεικόνιση της συμπεριφοράς των μεταϋλικών σε ένα γραφικό περιβάλλον – Matlab. Για την δημιουργία της κάθε προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι προβλημάτων (σημειακή πηγή, δέσμη) . Το συγκεκριμένο project μπορεί να χρησιμοποιηθεί για υπολογιστικούς και ερευνητικούς σκοπούς καθώς δίνει την δυνατότητα εύκολης και κατανοητής μελέτης των μεταϋλικών. Μελλοντικός στόχος και επέκτασης της εργασίας είναι η ενσωμάτωση πιο γενικών μοντέλων για υλικά με διασπορά (π.χ. Lorenz) καθώς και η επιτάχυνση των υπολογισμών.

V. Βιβλιογραφία

[1] http://www.mathworks.com/

[2] http://en.wikipedia.org/wiki/Negative_index_metamaterials

[3] http://en.wikipedia.org/wiki/Drude_model

[4] http://en.wikipedia.org/wiki/Metamaterial

[5] http://science.howstuffworks.com/invisible-tank1.htm

Διαδικτυακό Πληροφοριακό Σύστημα Διαχείρισης & Καταγραφής Παρουσιών iPresence

Ηλιάνα Ποτσίκα Ελένη Σακέρογλου Γεώργιος Κορτσαρίδης
Δρ. Μηνάς Δασυγένης, mdasyg@ieee.org
Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών
Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
Κοζάνη, Ελλάδα
Email: {ilianaway.10, sakele1993, yoko.4.life}@gmail.com

***Περίληψη*— Οι καθηγητές της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης κάθε χρόνο καλούνται να ανταπεξέλθουν σε ένα μεγάλο εκπαιδευτικό φόρτο εργασίας, λόγω της μείωσης των κονδυλίων. Σημαντική βοήθεια αποτελούν τα πληροφοριακά συστήματα υποστήριξης της εκπαίδευσης. Σε αυτή την εργασία παρουσιάζουμε το iPresence, ένα εξειδικευμένο και ευέλικτο πληροφοριακό σύστημα για τη διατήρηση ενός "online" παρουσιολογίου, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλα τα εκπαιδευτικά ιδρύματα με στόχο τη διευκόλυνση της εκπαιδευτικής διαδικασίας. Τόσο οι καθηγητές, όσο και οι φοιτητές, μπορούν να χρησιμοποιήσουν τη συγκεκριμένη διαδραστική πλατφόρμα για την οργάνωση των παρουσιών ενός μαθήματος. Δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας και εκτύπωσης τεκμηρίων (tokens) με μοναδικούς κωδικούς, τα οποία διανέμονται στους φοιτητές και μέσω αυτών, καταγράφουν την παρουσία τους στην πλατφόρμα. Παρέχει, επίσης, ένα γρήγορο και εύχρηστο τρόπο καταγραφής παρουσιών μέσω μιας ειδικά σχεδιασμένης εφαρμογής Android, η οποία σαρώνει το barcode της φοιτητικής ταυτότητας. Τα αποτελέσματα της χρήσης σε ένα μάθημα κορμού, ανέδειξαν τα οφέλη και για τους φοιτητές και για τους καθηγητές.**

***Keywords*: Παρουσιολόγιο, Διαδικτυακό, Πληροφοριακό Σύστημα, Παρουσία, Εφαρμογή Android, Barcode**

I. Εισαγωγη

Η ελλιπής χρηματοδότηση των εκπαιδευτικών ιδρυμάτων, σε συνδυασμό με τον αυξανόμενο αριθμό φοιτητών, έχουν ως αποτέλεσμα μεγάλο φόρτο εργασίας για τους καθηγητές. Το πολύπλευρο έργο τους (διδακτικό, ερευνητικό, διοικητικό) με τις δεκάδες πτυχές που κάθε πλευρά εμφανίζει (για παράδειγμα το διδακτικό: προετοιμασία μαθημάτων, διδασκαλία, τήρηση παρουσιολογίου, ανάθεση εργασιών, διόρθωση εργασιών, συνεργασία με φοιτητές, εξετάσεις, διόρθωση γραπτών, παράδοση βαθμολογιών, διπλωματικές εργασίες, παρακολούθηση διδακτορικών διατριβών, σεμινάρια, κλπ.) για να εκτελεστεί κανονικά απαιτεί πλήρη και αποκλειστική απασχόληση.

Το σύστημα που υλοποιήθηκε, έρχεται να αντικαταστήσει τη συνηθισμένη, χρονοβόρα διαδικασία καταγραφής παρουσιών, σε μία εποχή, που η χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών και των κινητών συσκευών διευκολύνει την καθημερινότητα. Μέχρι τώρα, η διαδικασία της καταγραφής των παρουσιών, περιελάμβανε μια ονομαστική κατάσταση την οποία ο κάθε φοιτητής καλούνταν να υπογράψει. Ο καθηγητής υποχρεούνταν από πριν να έχει συγκεντρωτική λίστα με όλα τα ονόματα των φοιτητών και η λίστα έπρεπε να περνάει χέρι με χέρι στον κάθε φοιτητή. Μια ακόμη περίπτωση ήταν αυτή, που ο καθηγητής έδινε μια λευκή κόλλα και οι φοιτητές αναγκάζονταν να συμπληρώσουν όλα τους τα στοιχεία. Εύκολα μπορεί κάποιος να αναλογιστεί πόσο χρονοβόρα ήταν αυτή η διαδικασία στην περίπτωση που ο αριθμός των φοιτητών ήταν πολύ μεγάλος και τη σπατάλη χρόνου που διαφορετικά θα μπορούσε να αφιερωθεί στη διδασκαλία. Για τη διευκόλυνση και την άμεση έκβαση της διαδικασίας αυτής, δημιουργήθηκε ένα πιο σύγχρονο και εύχρηστο σύστημα. Άλλωστε ο ολοένα αυξανόμενος αριθμός των φοιτητών απαιτεί τη χρήση πληροφοριακών συστημάτων για την καλύτερη οργάνωση και εξοικονόμηση χρόνου. Στο πληροφοριακό σύστημα που υλοποιήθηκε, δόθηκε η ονομασία iPresence.

Το iPresence αποτελεί ένα πρωτοπόρο και ευέλικτο σύστημα στο χώρο της εκπαίδευσης. Προσφέρει ένα εξελιγμένο και εύχρηστο γραφικό περιβάλλον εργασίας (GUI -Graphical user interface), το οποίο διαθέτει εικονίδια, κουμπιά καθώς και πλαίσια διαλόγου σχεδιασμένα έτσι ώστε να κάνουν ευχάριστη και εύκολη τη χρήση τους. Επιπλέον, παρέχει πλήθος εκθέσεων με την μορφή εμπλουτισμένων και διαδραστικών πινάκων. Παράλληλα, το σύστημα έχει υψηλό βαθμό προσαρμοστικότητας, αφού μπορεί να υποστηρίξει απεριόριστο αριθμό φοιτητών, με πλήρη αναφορά των παρουσιών τους καθώς και απεριόριστο αριθμό μαθημάτων και διαλέξεων με πλήρη αναφορά των χαρακτηριστικών τους για καλύτερη οργάνωση. Ακόμη, εξασφαλίζει αξιόπιστη ηλεκτρονική και αυτόματη καταγραφή της παρουσίας, αποτρέποντας έτσι τυχόν παρεξηγήσεις ανάμεσα στον εκπαιδευτή και τον εκπαιδευόμενο. Τα δεδομένα αποθηκεύονται με ασφάλεια σε βάση δεδομένων MySQL. Τέλος παρέχει χαρακτηριστικά ανοιχτής αρχιτεκτονικής, ώστε

να αναπτύσσεται διαρκώς και σύμφωνα με τις ανάγκες του κάθε εκπαιδευτικού ιδρύματος.

Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα αποτελείται από μια βάση δεδομένων, μια ιστοσελίδα διαχείρισης και μια εφαρμογή Android. Η βάση δεδομένων διατηρεί πληροφορίες για τους χρήστες, τα μαθήματα και τις διαλέξεις τους, τις παρουσίες και τα tokens. Η ιστοσελίδα αποτελεί το περιβάλλον χρήστη (user interface), το οποίο ανάλογα με την ιδιότητά του (φοιτητής ή καθηγητής) διαφοροποιείται. Αναλυτικότερα, ο φοιτητής μπορεί να καταγράψει την παρουσία του μέσω του token που έχει παραλάβει, να ενημερωθεί για τον συνολικό αριθμό των παρουσιών του και να προβάλλει γενικότερα στατιστικά για κάθε μάθημα. Ο καθηγητής, έχει τη δυνατότητα να οργανώσει τα μαθήματα και τις διαλέξεις τους και να καταχωρήσει παρουσίες ή απουσίες ενημερώνοντας τον φοιτητή μέσω email. Επιπλέον, μπορεί να προβάλλει γενικά στατιστικά παρακολούθησης κάθε μαθήματος και να τα τυπώσει. Όσον αφορά την εφαρμογή, λειτουργεί σε κινητά και tablets Android, σαρώνει το barcode της φοιτητικής ταυτότητας και εισάγει αυτόματα στο σύστημα την παρουσία.

Η δομή του παρόντος εγγράφου έχει ως εξής: στην Ενότητα ΙΙ παρουσιάζεται ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη του πληροφοριακού συστήματος, δηλαδή η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη δημιουργία της βάσης δεδομένων, του δικτυακού τόπου και της εφαρμογής Android. Στην Ενότητα ΙΙΙ αναλύονται τα αποτελέσματα χρήσης του συστήματος και παρουσιάζονται στιγμιότυπα της τελικής μορφής του. Τέλος, στην Ενότητα IV αναφέρονται τα γενικά συμπεράσματα και οι μετρικές του συστήματος.

ΙΙ. Σχεδιασμος και Αναπτυξη του Συστηματος

Για τη σχεδίαση του συστήματος ακολουθήθηκαν όλες οι ορθές πρακτικές που παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία με σκοπό τη μηχανοργάνωση όλων των λειτουργιών που σχετίζονται με την καταγραφή των παρουσιών.

Αρχικά, έγινε διερεύνηση και καταγραφή των απαιτήσεων του πληροφοριακού συστήματος με βάση τις ανάγκες των χρηστών. Πιο συγκεκριμένα διεξήχθη συνέντευξη τόσο του καθηγητή, όσο και κάποιου ενδεικτικού αριθμού φοιτητών και στη συνέχεια αναλύθηκαν οι ανάγκες και δημιουργήθηκαν οι προδιαγραφές του λογισμικού.

Α. Δημιουργία Βάσης Δεδομένων και Δικτυακού Τόπου

Έχοντας τις απαραίτητες απαιτήσεις για το σχεδιασμό του πληροφοριακού συστήματος, ακολούθησε η επιλογή της αναπτυξιακής πλατφόρμας, και συγκεκριμένα της δυναμικής γλώσσας προγραμματισμού PHP και της αρκετά δημοφιλούς βάσης δεδομένων MySQL (με εργαλεία ανοικτού κώδικα), προσδιορίζοντας τους πίνακες, τα πεδία των πινάκων και τον τύπο δεδομένων καθώς και τις συσχετίσεις μεταξύ των πινάκων. Φυσικά η ανάγκη για να γίνει η σελίδα πιο διαδραστική και ταυτόχρονα πιο γρήγορη και εκσυγχρονισμένη οδήγησε στη χρήση αρκετών στοιχείων ajax και javascript. Η επιλογή έγινε με βάση τις δυνατότητες του λογισμικού, της δημοφιλίας και χρήσης αυτών από την κοινότητα του διαδικτύου, αλλά και των ικανοτήτων των προγραμματιστών.

Ορισμένες από τις επιχειρησιακές απαιτήσεις που επιλέχθηκαν είναι η δυνατότητα χρήσης οποιουδήποτε Web Browser, η πρόσβαση του συστήματος μέσω Web, η ικανότητα να δημιουργεί και να εκτυπώνει αρχεία pdf, να αντλεί πληροφορίες καθώς και να αποθηκεύει δεδομένα στη βάση δεδομένων. Σε περίπτωση εισαγωγής λανθασμένων στοιχείων, θα υπάρχει έλεγχος δεδομένων για να είναι αξιόπιστο το σύστημα.

Όσον αφορά θέματα ασφάλειας επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί Secure HTTP(HTTTPS), έτσι ώστε όλα τα δεδομένα που ανταλλάσσονται να είναι κρυπτογραφημένα. Ακόμα, ο έλεγχος δεδομένων από πεδία εισαγωγής θεωρήθηκε απαραίτητος ώστε οι χρήστες να μη μπορούν να εισάγουν κατά λάθος ή και εσκεμμένα χαρακτήρες οι οποίοι μπορεί να καταστρέψουν τη βάση δεδομένων ή ακόμα χειρότερα να υποκλέψουν λογαριασμούς χρηστών με ευαίσθητα προσωπικά δεδομένα. Έγινε χρήση SESSIONS, δηλαδή αρχείων που αποθηκεύονται στην πλευρά του διακομιστή. Έτσι αποθηκεύονται προσωρινά δεδομένα ή ακόμα και το συνθηματικό ενός χρήστη με μεγαλύτερη ασφάλεια και ελέγχεται η ταυτότητα του επισκέπτη όταν αυτός περιηγείται στις σελίδες του ιστότοπου. Επιπλέον, κρίθηκε απαραίτητη η χρήση PDO (PHP Data Objects) για τη σύνδεση με τη βάση δεδομένων και η αποτροπή μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης σε λειτουργίες όπως, διαχείριση δεδομένων, παρουσίες, κλπ.

Μετά την επιλογή ακολούθησε η ανάπτυξη και η δοκιμή του συστήματος. Κατά τη φάση της ανάπτυξης, συγγράφθηκε ο κώδικας και μετατράπηκαν οι απαιτήσεις στο τελικό πληροφοριακό σύστημα. Η φάση της δοκιμής ήταν δυο τύπων: (α) in-vitro όπου εξετάστηκαν όλα τα σενάρια από τους δημιουργούς και (β) in-vivo όπου έγινε δοκιμή αρχικά σε περιορισμένο κύκλο φοιτητών και στη συνέχεια κατά τη διάρκεια του μαθήματος Αρχιτεκτονική Υπολογιστών.

Β. Δημιουργία Android εφαρμογής

Η εφαρμογή χρησιμεύει για τη σάρωση του barcode της φοιτητικής ταυτότητας και την εξαγωγή του κωδικού, ο οποίος χρησιμοποιείται για να καταχωρείται παρουσία στο online παρουσιολόγιο για συγκεκριμένο φοιτητή.

Η κύρια οθόνη σύνδεσης δίνει στον καθηγητή τη δυνατότητα να συνδεθεί μέσω username και password, αλλά και με OTP (one-time password), ο οποίος είναι ένας κωδικός που ισχύει για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα για να αποφευχθεί μια σειρά από αδυναμίες που σχετίζονται με στατικά passwords για τον έλεγχο της ταυτότητας του χρήστη. Ένα πλεονέκτημα της χρήσης του OTP είναι η δυνατότητα της ύπαρξης βοηθών (φοιτητές), οι οποίοι γνωρίζοντας μόνο τον κωδικό OTP μπορούν να καταχωρήσουν παρουσίες. Το περιβάλλον της αρχικής οθόνης φαίνεται στο παρακάτω στιγμιότυπο:

Fig. 1. Περιβάλλον αρχικής οθόνης

Εφόσον θα συνδεθεί ο χρήστης με username και password, θα εμφανιστεί μια οθόνη στην οποία θα τον προτρέπει να διαλέξει για ποιο μάθημα να βάλει παρουσίες. Στη συνέχεια θα εμφανιστεί μια παρόμοια προτροπή για να επιλέξει τη διάλεξη. Το περιβάλλον της επιλογής μαθήματος και διάλεξης φαίνεται στα παρακάτω στιγμιότυπο:

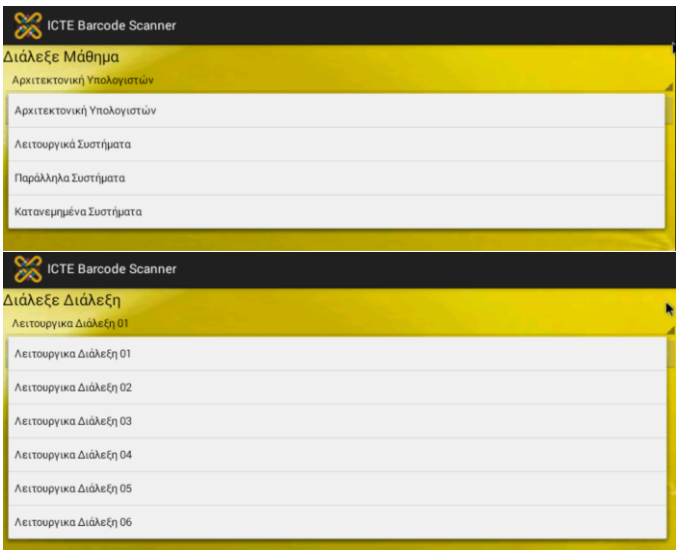


Fig. 2. Περιβάλλον επιλογής μαθήματος και διάλεξης

Αφού το μάθημα και η διάλεξη οριστούν από τον καθηγητή, θα ανοίξει η εφαρμογή Barcode Scanner, η οποία θα σκανάρει το πάσο του φοιτητή, και αυτόματα θα στείλει τον κωδικό του στο server. Στην συνέχεια θα εμφανίσει στον καθηγητή μήνυμα επιτυχίας ή αποτυχίας αναλόγως την απάντηση που θα λάβει από τον server, και θα συνεχίσει με τη σάρωση της επόμενης φοιτητικής ταυτότητας.

Προς διευκόλυνση του καθηγητή, η εφαρμογή υποστηρίζει είσοδο χρήστη κωδικό OTP. Με την εν λόγω διαδικασία, ο καθηγητής θα χρειαστεί να εισάγει μόνο τον κωδικό OTP και, αν είναι έγκυρος, η εφαρμογή θα δεχθεί από τον server αυτόματα το μάθημα και τη διάλεξη που πραγματοποιείται εκείνη την ώρα, και θα ξεκινήσει αυτόματα η εφαρμογή Barcode Scanner για να συνεχιστεί η διαδικασία καταγραφής της παρουσίας. Το περιβάλλον εισαγωγής κωδικού OTP φαίνεται στο παρακάτω στιγμιότυπο:

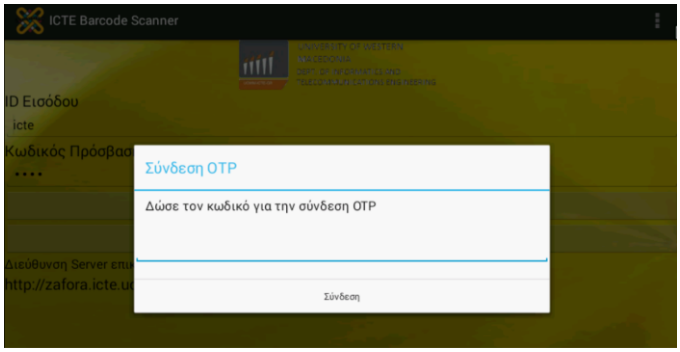


Fig. 3. Περιβάλλον εισαγωγής κωδικού OTP

Η επικοινωνία της εφαρμογής με τον server γίνεται μέσω POST της PHP. Ο server θα επεξεργαστεί την τιμή του POST, και θα δημιουργήσει ένα μήνυμα το οποίο θα στείλει πίσω στην εφαρμογή η οποία θα το εμφανίσει όπως ακριβώς το έλαβε από τον server.

Η αρχική ανάπτυξη της εφαρμογής πραγματοποιήθηκε στο προγραμματιστικό περιβάλλον "Eclipse". Πλέον, οι όποιες αλλαγές στην εφαρμογή γίνονται μέσω του επίσημου προγραμματιστικού περιβάλλοντος της Google, "Android Studio". Έχει αναπτυχθεί ώστε να λειτουργεί σε όλες τις συσκευές Android, με λειτουργικό 2.3 και άνω.

Για την ασφαλή επικοινωνία της mobile εφαρμογής με τον server, χρησιμοποιήθηκε το πρωτόκολλο επικοινωνίας HTTPS. Επίσης τα username και password εισόδου του καθηγητή αποθηκεύονται σε προστατευόμενο χώρο της Android συσκευής, και δεν είναι προσβάσιμα με οποιονδήποτε συμβατικό τρόπο ανάγνωσης από τρίτους, παρά μόνο από την ίδια την εφαρμογή.

III. Αποτελεσματα

Η τελική μορφή που δόθηκε στο σύστημα είναι πλήρως λειτουργική, προσφέρει γρήγορη και εύκολη καταγραφή παρουσιών για μεγάλο πλήθος φοιτητών και οργανώνει αποδοτικά την προβολή προσωπικών στοιχείων και στατιστικών τόσο για τους φοιτητές όσο και για τους καθηγητές.

A. Περιβάλλον Φοιτητή (Student's Interface)

Μια απλή σάρωση του barcode της φοιτητικής ταυτότητας μέσω της εφαρμογής Android που δημιουργήθηκε, είναι αρκετή για να καταχωρηθεί η παρουσία του κάθε φοιτητή στο σύστημα και να ενημερωθεί αυτόματα ο αντίστοιχος πίνακας που προβάλλει ζωντανά το σύνολο των φοιτητών που παρακολούθησαν τη διάλεξη. Στη συνέχεια ο φοιτητής έχει τη δυνατότητα να επισκεφτεί την ιστοσελίδα iPresence και, αφού συνδεθεί στο λογαριασμό του, να προβάλλει το σύνολο των παρουσιών του σε κάθε μάθημα, καθώς και γενικά στατιστικά του μαθήματος, όπως το σύνολο των φοιτητών που παρακολούθησαν μια διάλεξη.

Fig. 4. Αρχική σελίδα φοιτητή.

Υπάρχει, επίσης, η δυνατότητα να καταχωρήσει μόνος του την παρουσία του, αν του έχει δοθεί από τον καθηγητή το "εισιτήριο" (token) με τον μοναδικό κωδικό, το οποίο αποδεικνύει ότι ήταν παρών στη διάλεξη. Τα token έχουν συγκεκριμένη χρονική ισχύ, η οποία ορίζεται από τον διδάσκοντα.

Fig. 5. Εισαγωγή του token για κατοχύρωση της παρουσίας. Όπως φαίνεται και στο screenshot το token που δίνει ο φοιτητής είναι εκπρόθεσμο "Το token έχει λήξει" , συνεπώς δεν μπορεί πλέον να κατοχυρώσει την παρουσία του. Άλλες περιπτώσεις είναι: α) το token να έχει ήδη χρησιμοποιηθεί οπότε το μήνυμα εξαγωγής είναι: "Το token είναι ήδη χρησιμοποιημένο", β) ο κωδικός του token να είναι εσφαλμένος οπότε το μήνυμα είναι: "Δεν υπάρχει token με τέτοιο κωδικό." και γ) για κάποιο λόγο το token να έχει οριστεί invalid, οπότε εμφανίζεται και το αντίστοιχο μήνυμα.

Fig. 6. Προβολή προσωπικών παρουσιών για κάθε μάθημα.

Fig. 7. Προβολή γενικών παρουσιών για κάθε μάθημα. Όσοι φοιτητές έχουν συμπληρώσει τον απαιτούμενο αριθμό για την κατοχύρωση του bonus παρουσίας στις διαλέξεις, έχουν ✓ στο πεδίο Bonus.

B. Περιβάλλον Καθηγητή (Teacher's Interface)

Fig. 8. Αρχική σελίδα καθηγητή.

Στο αντίστοιχο περιβάλλον του καθηγητή, ο διδάσκων έχει τη δυνατότητα να οργανώσει τα μαθήματα για τα οποία είναι υπεύθυνος, δηλαδή, να εισάγει και να επεξεργαστεί τις πληροφορίες και τις διαλέξεις κάθε μαθήματος.

Fig. 9. Προβολή μαθημάτων με δυνατότητα επεξεργασίας, διαγραφής και προσθήκης νέου.

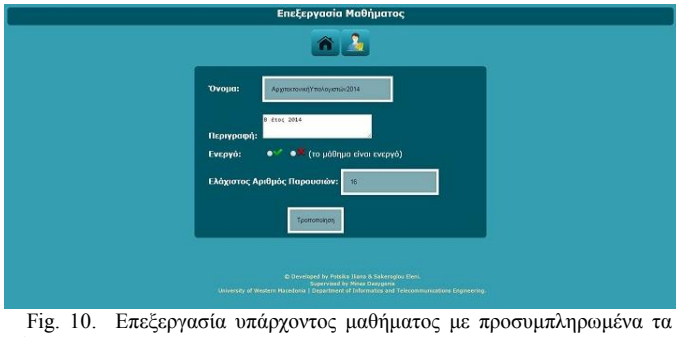


Fig. 10. Επεξεργασία υπάρχοντος μαθήματος με προσυμπληρωμένα τα πεδία της φόρμας.

Fig. 11. Προσθήκη νέου μαθήματος (αριστερά). Διαγραφή μαθήματος με ερώτημα επιβεβαίωσης (δεξιά.).

Fig. 12. Προβολή διαλέξεων ανά μάθημα, με δυνατότητα επεξεργασίας, διαγραφής, προσθήκης νέας και εκτύπωσης του πίνακα.

Μπορεί, επίσης, να δημιουργήσει, να επεξεργαστεί και να εκτυπώσει τα "εισιτήρια" (tokens) που θα διαθέσει στους φοιτητές, να προβάλει στατιστικά χρήσης των tokens και να καταχωρήσει παρουσία ή απουσία για κάποιον συγκεκριμένο φοιτητή σε μια συγκεκριμένη διάλεξη.

Fig. 13. Προβολή των δεσμίδων, με δυνατότητα επεξεργασίας, διαγραφής, δημιουργίας νέας και επανεκτύπωσης .

Fig. 14. Εκτύπωση της δεσμίδας "εισιτηρίων" tokens.

Fig. 15. Επεξεργασία "εισιτηρίου" token.

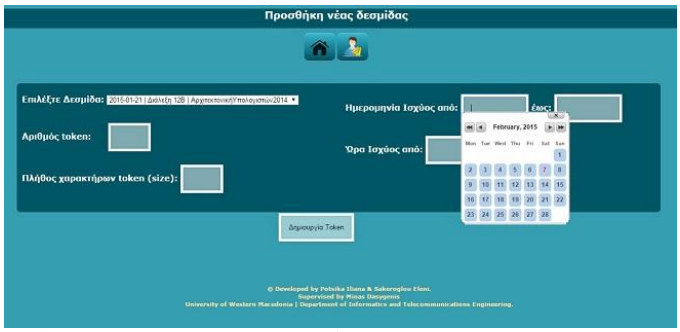


Fig. 16. Δημιουργία "εισιτηρίου" token.

Fig. 17. Καταγραφή παρουσίας. Το στιγμιότυπο (δεξιά) είναι η περίπτωση που ο φοιτητής έχει ήδη παρουσία στη συγκεκριμένη διάλεξη.

Επιπρόσθετα, παρέχεται η δυνατότητα προβολής παρουσιών και στατιστικών παρακολούθησης για κάθε μάθημα μέσω

συγκεντρωτικού πίνακα όλων των διαλέξεων, καθώς και για κάθε διάλεξη ξεχωριστά. Τέλος είναι δυνατή και η προβολή του προφίλ παρουσιών για κάθε φοιτητή ατομικά.

Fig. 18. Προβολή παρουσιών ανά διάλεξη.

Fig. 19. Προβολή παρουσιών ανά φοιτητή.

IV. ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το σύστημα χρησιμοποιήθηκε ήδη για να καλύψει την ανάγκη για καταγραφή παρουσιών του μαθήματος Αρχιτεκτονική Υπολογιστών με διδάσκων τον Δρ. Μηνά Δασυγένη. Η λειτουργία του ήταν πλήρως αποδοτική και διευκόλυνε τη διεξαγωγή του μαθήματος, καθώς απλούστευσε και επιτάχυνε τη διαδικασία καταγραφής παρουσιών για 180 φοιτητές που παρακολούθησαν το μάθημα. Είχε διαπιστωθεί ότι η συνηθισμένη μέθοδος για την καταγραφή των παρουσιών διαρκούσε περίπου 20 λεπτά. Αντίθετα, με τη χρήση της εφαρμογής σε κινητό Android χρειάζεται 1 σάρωση barcode ανά 20 δευτερόλεπτα στη χειρότερη περίπτωση, ενώ η χρήση "εισιτηρίων" (tokens) επιτρέπει την καταγραφή παρουσιών 120 ατόμων μέσα σε 5 λεπτά. Συγκρίνοντας τις παραπάνω μετρικές, παρατηρήθηκε ότι ο χρόνος της διαδικασίας μειώθηκε κατά ¾ .

Συγκεντρωτικά, οι τρεις μέθοδοι που παρέχονται από το σύστημα για την καταχώρηση παρουσιών είναι οι εξής: α) χρήση των "εισιτηρίων" (tokens), β) χρήση της εφαρμογής Android για σάρωση του barcode της φοιτητικής ταυτότητας και γ) χρήση του διαδικτυακού περιβάλλοντος του καθηγητή για την καταχώρηση της παρουσίας από τον ίδιο. Όσον αφορά την πρώτη μέθοδο, αποτελεί μία πολύ απλή και σύντομη διαδικασία, αφού το μόνο που απαιτείται είναι η διανομή των tokens στους φοιτητές. Βασική προϋπόθεση όμως, είναι η εκτύπωση των tokens από τον καθηγητή. Η δεύτερη μέθοδος, παρόλο που απαιτεί την εγκατάσταση της εφαρμογής στις συσκευές που θα χρησιμοποιηθούν και το ότι ο φοιτητής πρέπει να έχει μαζί του τη φοιτητική του ταυτότητα, παρέχει άμεση ταυτοποίηση του φοιτητή και η διαδικασία γίνεται εξαιρετικά απλή και αυτοματοποιημένη. Τέλος, η τρίτη μέθοδος δίνει στον καθηγητή τη δυνατότητα να τροποποιεί εύκολα τις παρουσίες ή τις απουσίες.

Συμπερασματικά, απλοποιήθηκε και εξελίχθηκε η συνηθισμένη και χρονοβόρα διαδικασία καταγραφής παρουσιών σε ένα σύγχρονο, ηλεκτρονικό και εύχρηστο παρουσιολόγιο! Το σύστημα μπορεί να δοθεί ελεύθερα σε εκπαιδευτικούς που αντιμετωπίζουν παρόμοια προβλήματα, διατηρώντας την αναφορά των δημιουργών σε κάθε σελίδα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] J. K. Ballard P., Moncur M. (2013). Μάθετε την JavaScript σε 24 ώρες (5η έκδ.) Αθήνα : Γκιούρδας Μ.

[2] Checkland P. and Holwell S. (1998). Information, systems, and information systems. New York, NY, USA: John Wiley & Sons

[3] Julie C. Melonie. (2008). Μάθετε PHP, MySQL και Apache (4η έκδ.). Αθήνα: Γκιούρδας Μ.

[4] Κάτσικας Σωκράτης Κ., Γκρίτζαλης Δημήτρης Α. (2004). Ασφάλεια Πληροφοριακών Συστημάτων, Αθήνα: Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών

[5] Kendall K., Kendall J. (2010). Ανάλυση και σχεδίαση συστημάτων (1η εκδ.). Αθήνα: Γκιούρδας Μ.

[6] Κιουντούζης Ε. (2009). Μεθοδολογίες Ανάλυσης και Σχεδιασμού Πληροφοριακών Συστημάτων (3η έκδ.). Αθήνα : Μπένου Ε.

[7] Mingers J., Leslie P. Willcoks (2004). Social theory and philosophy for information systems. Chichester, UK: John Wiley & Sons.

[8] Pollock J. (2006). Οδηγός της JavaScript : Τα πάντα για τους αρχάριους προγραμματιστές (1η εκδ.). Αθήνα : Γκιούρδας

[9] Ramakrishnan R., Gehrke J. (2012). Συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων (3η έκδ.). Εκδόσεις Τζιόλα.

[10] Συλλογικό έργο, Jeffrey A. Hoffer, Joey F. George, Joseph S. Valacich (2014). Ανάλυση και σχεδίαση πληροφοριακών συστημάτων, Θεσσαλονίκη : Τζιόλα

[11] Συλλογικό έργο, Jeffrey A. Hoffer, Joey F. George, Joseph S. Valacich (2014). Πληροφοριακά συστήματα Σύγχρονη ανάλυση και σχεδίαση (6η έκδ.). Θεσσαλονίκη : Τζιόλα.

[12] Walsham G. (1993). Interpreting information systems in organizations (1st edition). New York, NY, USA: John Wiley & Sons.

[13] Welling L., Thomson L. (2011). Ανάπτυξη Web εφαρμογών με PHP και MySQL (4η εκδ.). Αθήνα: Γκιούρδας Μ.

Techno-economic study of RES installations in Hospital

Venizelos I. Venizelou
Dep of Electrical & Computer Eng, University of Patras
Greece

Professor Nicholaos A. Vovos
Dep of Electrical & Computer Eng, University of Patras
Greece

***Abstract* — The purpose of this thesis is to present a comprehensive proposal for the installation of RES in Limassol General Hospital, which is considered one of the most energy expensive buildings of the city. Initially a photovoltaic system interconnected with the network of Electricity Authority of Cyprus (EAC) is simulated, using the software PV*SOL. Next we study a hybrid grid-connected and a hybrid autonomous system, using the standard optimization software, HOMER. All techno-economic studies are based on a life cycle lasting 20 years. In the end, we compare the three systems to find the most advantageous proposal.**

Keywords: Techno-economic, RES, Photovoltaic (PV), Wind Turbines (WT), PV*SOL, HOMER

I. INTRODUCTION

After the industrial revolution, the idea that there is a huge abundance of natural resources and a great sufficiency in energy resources has led humanity to follow a development model, main feature of which was the waste of energy, overuse of natural resources and the continued environmental degradation. Nowadays, the planet is confronted with the negative effects of these political, social, economic and cultural choices, for which we seek to find solutions [1].

Today, with the help of science and technology, there are many alternative options that can guarantee the energy security of mankind, the protection of the environment, the high technical reliability and economic feasibility of investment. In this procedure, Renewable Energy Sources (RES) play a leading role. Their use combined with the attempt to save conventional energy sources and with the rational energy management, will allow the rollover of the current energy scene, which is overconsuming, economically unequal and socially unjust [1].

Cyprus like most islands presents some important energy problems. The high dependence on imported energy sources, combined with the continuing increase in the price of oil and energy demand are the main reasons that cause the energy problem of the island. Furthermore, Cyprus, due to its geographical location hasn't an energy link with other countries through pipelines gas or energy grids, so it's characterized as an isolated system [2].

The term "renewable" refers to two basic characteristics. First, the operation does not require any active intervention, such as mining, extraction or burning, as with so far used conventional sources of energy, but merely the exploitation of existing energy flow in nature. Secondly, it is "clean" energy, very "friendly" to the environment, it releases no hydrocarbons, carbon dioxide or toxic and radioactive waste, such as the conventional energy [1].

RES have the sunlight as their principal root cause. Their stocks are renewed naturally and practically considered inexhaustible. In the category of renewable energy include solar, wind, hydro, geothermal, biomass and ocean energy [1].

The problems of production, transmission and use of energy worldwide, combined with the rapid increase in energy demand in developing countries and concerns about climate change, creates great uncertainty as to the continuous energy supply resulting in uncontrolled state of fuel prices. That is why the European Union (EU) in early 2008 adopted a new strategic goal for the energy policy, known as "the three 20 to 2020" [3].

Cyprus, part of the European Union since 2004 has adopted the European policy for renewable energy, energy saving and environmental protection in recent years. Obligatory Objectives are:

- 20% savings in total primary energy consumption by 2020.
- Reduction of 20% in greenhouse gas emissions compared with 1990 levels by 2020.
- Increase the percentage contribution of renewables in total energy consumption to 13% by 2020.
- Increase the participation rate of RES in transportation to 10% by 2020.

These conditions led the government to promote the transition from conventional to renewable energy for every building by offering tempting sponsorships for its citizens. The main objective of this paper is to propose three options for RES installation in Limassol's G. Hospital. Two of the proposals, involve systems interconnected to the grid of EAC, a PV and a hybrid system. The third one is a hybrid autonomous system. All proposals have a life cycle of 20 years.

The remaining of this paper is organized as follows. Section II describes the studied systems generally. Section III includes the climatic conditions of the installation area and the energy consumption of the Hospital. Section IV presents the simulation results for the PV grid-connected system. In section V, simulations for the grid-connected and the autonomous hybrid system are analyzed. Comparison and conclusions are drawn in section VI and VII respectively.

II. CONFIGURATION OF THE STUDIED SYSTEMS

In the first case, the grid connected system contain only crystalline silicon PV modules. A PV module consists of many PV cells wired in parallel to increase current and in series to produce a higher voltage. Except from the modules the system requires an inverter which converts the generated DC voltage into AC with a frequency of 50Hz.

The second one is a hybrid system which includes PV modules and wind turbines (WT).

As for the standalone hybrid system besides PV modules and wind turbines, diesel generators and batteries are used. Normally the nominal power of RES should completely cover the load. The excess energy, if any, charges the batteries until they are fully charged. The purpose of introducing the batteries is to provide or to store energy, depending on the situation. If the demand for electricity is less than the energy produced by the WTs and PV modules then the surplus energy is stored in batteries via the power inverter and charge regulator. If the batteries are fully charged and the RES continue to operate, the energy produced is lost. In case the load is not covered by the RES then it is powered by the batteries. The diesel generators start if the batteries and the RES fail to meet the load.

III. GENERAL DATA FOR THE INSATALLATION AREA

The Limassol General Hospital is located west of Limassol. It started its operation in June 1993 and it is the second largest hospital in Cyprus. It comprises 6 floors, the basement and has a capacity of 410 beds. It offers services to 200,000 residents of Limassol.

A. Climatic Conditions

Limassol is located in south Cyprus, and it follows the typical peculiarities of the Mediterranean islands. In short, the climate is mild all year round. This leads to satisfactory temperatures prevailing in winter and summer. Limassol shows high temperatures during the summer (30-33 ºC), while winter is considered fairly mild (15-17 ºC). Furthermore, the moisture levels are high throughout the duration of time (60-70 %) and rainfalls are not particularly frequent [4].

B. Wind Potential of Limassol

Cyprus does not exhibit particular rich wind resources at an average annual rate range between 3-4 m/s. Due to the low wind speed of the study area, in our simulation we placed the WT at the wind park "Alexigros" in Klavdia, a village between Larnaca and Limassol. There are already 21 WT established with the same power output as the one we use. The area has an average altitude of 112 m above sea level [4].

C. Solar Resources of Limassol

Cyprus has a very high solar resource, with more than 300 sunny days a year. The strategic advantage of solar potential is that it has the highest value the season with the highest demand, i.e. during the summer. Features indicated that the energy concentration exceeds 7 kWh/m^2 per day during the summer months, while the clearness index ranges from 0.6 to 0.67 for the same period [4].

D. Energy Consumption of Limassol General Hospital

The hospital initially used only one substation, but the expansion of the building and the installation of cooling system brought as a result the creation of a new utility substation. The table below follows the consumption, the power factor and the total cost of consumption for the two substations. The data registered by the EAC for the year 2013 [5].

TABLE I. DATA FOR SUBSTATION A

Substation A			
Month	***Consumption (kWh)***	***Power Factor***	***Cost (€)***
January	633,450	0.94	143,303.10
February	587,040	0.94	141,124.74
March	639,600	0.94	147,150.64
April	638,500	0.94	145,417.19
May	746,390	0.93	165,125.00
June	837,080	0.91	224,278.15
July	941,000	0.90	241,875.10
August	931,170	0.90	234,616.16
September	832,780	0.91	216,057.66
October	722,680	0.93	150,854.67
November	695,890	0.92	134,515.74
December	682,800	0.94	126,603.78
Average	740,698	0.92	172,576.83

TABLE II. DATA FOR SUBSTATION B

Substation B			
Month	***Consumption (kWh)***	***Power Factor***	***Cost (€)***
January	21,420	0.51	5,265.04
February	35,340	0.79	9,312.18
March	60,670	0.89	15,173.97
April	102,770	0.91	24,644.41
May	166,790	0.89	38,328.39
June	114,210	0.92	32,793.16
July	181,290	0.84	51,105.41
August	201,690	0.81	55,851.53
September	158,280	0.81	44,364.56
October	82,730	0.78	18,837.13
November	6,420	0.18	1,818.80
December	5,380	0.18	1,313.01
Average	94,749	0.71	24,900.63

E. Grid Connected Photovoltaic Systems

A grid-connected PV system is an electricity generating solar PV system that is connected to the utility grid. A grid-connected PV system consist of solar panels, one or several

inverters, a power conditioning unit and grid connection equipment. They range from small residential and commercial rooftop systems to large utility-scale solar power stations.

Net-metering is a newly inducted method, part of grid connected systems, which enables customers to use their own generation from on-site renewable energy systems to offset their consumption over a billing period. When customers generate electricity power in excess of their demand, they receive retail prices for the excess electricity. Net-metering regards systems with output power up to 3 kW, so it isn't considered in our study.

F. Off Grid Hybrid Power Systems

Off Grid Hybrid Power Systems are designed for the production and management of electric power. They are independent from the major national networks and incorporate many different types of power sources, principally from RES and conventional energy sources. The size of the side force may range from several MW such as isolated islands in autonomous networks to a few kW as in the cases of isolated cottages.

The big difference between interconnected and off grid systems is that interconnected have a much lower cost because they do not use batteries for energy storage.

IV. SIMULATION FOR GRID-CONNECTED PV SYSTEM [6]

For the design of the grid connected PV system we used the software PV*SOL, created by Valentin Software. Initially we have to set our system area by using the installed application of MeteoSyn which extracts climate data from NASA database. The most important task of our simulation is to design the three-dimensional representation of the hospital with the exact dimensions, so that we can add the PV module arrays. Using a variety of options offered by the 3D Visualization option we ended up with a design of the Hospital almost identical to the real one, as shown in Fig. 1.

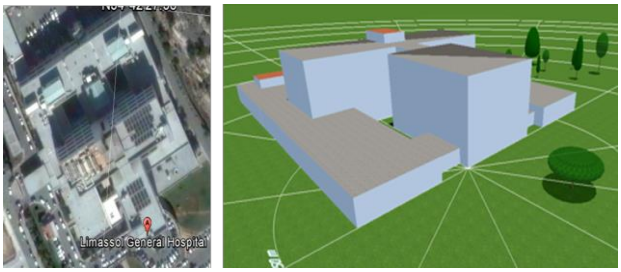


Fig. 1 Real and 3D illustration of the Hospital

As for the PV modules, we used REC250PE with output power 250 Wp, by REC Solar. Each array had a mounting angle of 25° and south orientation. The total system output is 499.50 kW. During the module mounting we took into consideration the shade frequency distribution. The color classification is divided to red, yellow and green for maximum, average and minimum shade frequency respectively. Exploiting the result, arrays such as the one in Fig. 2, were removed.

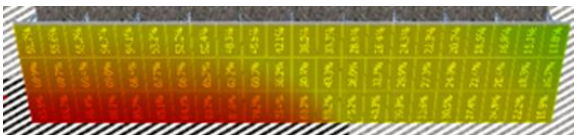


Fig. 2 Example of PV array with high shade frequency

Also we avoided mounting PV modules where chillers and solar water heaters were pre-installed.

Regarding the inverters we use a combination of Sunsys three-phase inverters of 20kW, 66.6kW and 100kW, by Socomec in order to achieve the maximum Sizing Factor. Sizing factor is the ratio of the nominal power of an array of PV modules to AC nominal power of the inverter multiplied by the Power Factor.

At this point there is no reason to determine the energy requirements of the hospital due to the fact that all the electricity generated by the PV system will be exported to the grid at the price of 0.18 €/kWh.

Having taken into account all the parameters and the module configurations, the final 3D illustration of the building with PV modules appears in Fig. 3.

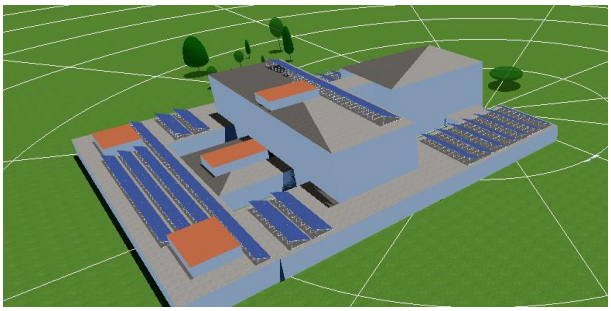


Fig. 3 Northwest side of Limassol G. Hospital after the mounting the PV modules

The simulation results are shown in Fig. 4. It can be seen that a starting capital of €652,550.00 is needed. No loan plans were made and within twenty years we have a depreciation of this amount and a profit of €1,175,881. The payback period is 6.5 years and the new cost of energy (COE) is 0.06 €/kWh. Also the annual energy produced by the PV system 633,957.7 kWh with the system efficiency at 11.2 %. Finally the amount of CO_2 emissions which was avoided is 559,111 kg annually.

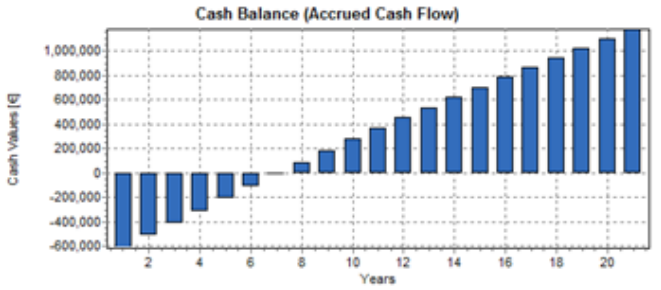


Fig. 4 Cash balance throughout the 20 years period

V. SIMULATION OF HYBRID SYSTEM [7]

In this simulation the HOMER Micropower Optimization Model is used. This is a software developed by the US National Renewable Energy Laboratory for the design of low-power systems and to facilitate the comparison of power generation technologies in a wide range of applications.

A. Grid-connected System

Initially the software requires the definition of the equipment for the hybrid system. For every equipment the basic required inputs are size or quantity, capital, replacement, operation and maintenance cost. As in the case of the grid-connected PV system the inputs used for PV modules correspond to the model REC250PE. For every 1 kW PV installation the capital as well as the replacement cost is €900. The O&M are approximately 1€/year. The lifetime is 20 years with efficiency reduction rate 80%. Also the mounting angle is 25˚.

HOMER has a database with most types of WTs. The N54 by Nordex with rated power 1 MW was used. The purchase and installation cost is €480,000, while the replacement cost is €95,000. Operating and maintenance costs reach the €5,000 annually. We considered a total time span of 20 years, and a total hub height of about 60 m. Using the power curve, shown in Fig. 5, we can distinguish the cut-in speed of the WT.

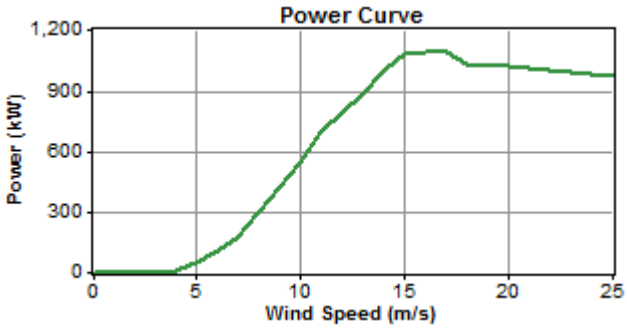


Fig. 5 Power Curve of wind turbine Nordex N54

For the simulation of PV system we used the same combination of inverters as the one in the grid-connected system, the three-phase Sunsys 100 kW inverters which have purchase and replacement cost €35000 and the maintenance cost is zero. The operating and maintenance costs of the voltage rectifier and charge regulator are included in the cost of the inverter.

Finally we setup the rate schedule of the grid which has a sellback of €0.18 for every kWh produced by our system.

Apart from the information on equipment and the grid profile it is necessary to insert the data for wind and solar resources in the region, as well as the average temperatures of the area. Solar resources are imported directly by HOMER from the NASA Surface meteorology and Solar Energy database by entering the GPS coordinates. Our study area is the 34˚ North of the Equator and 32˚ East of Greenwich. The calculated annual solar radiation is 4.97 kWh/m^2/d and the average clearness index is 0.596, as shown in Fig. 6. It is advisable that the average radiation should have a constant trend and the annual radiation should be above 4 kWh/m^2/d in order to have a reliable source of power produced by the PV [4].

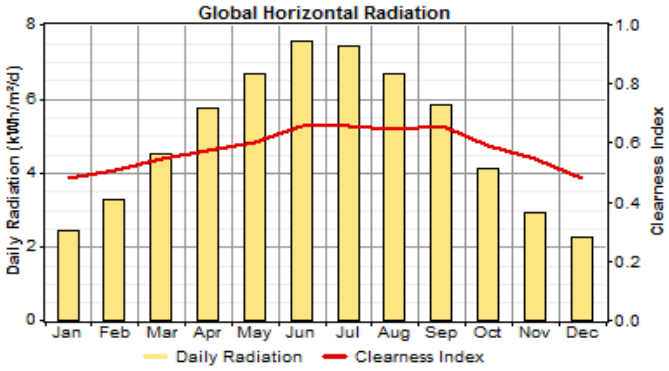


Fig. 6 Daily radiation and clearness index for Limassol

Wind resources are determined using the free website of NASA Surface Meteorology and Solar Energy database considering the wind direction at 50 m above the surface of the earth. Not all locations are suitable for the installation of effective WT. The annual wind speed average could be a good indicator of installation suitability of a WT in a given location and generally values above 5m/s are considered adequate for satisfying results. Thus we chose the village Klavdia which indicates an average annual wind speed at 6.68 m/s, as it can be seen in Fig. 7 [4].

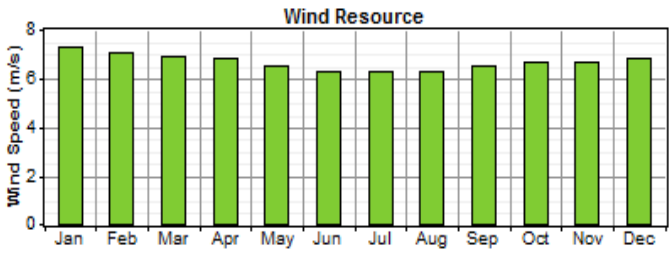


Fig. 7 Klavdia wind Resource using NASA Surface Meteorology

To calculate the output power of the PV panel is necessary to know the temperature of the study area. For this purpose we used data of the Meteorological Department of Cyprus for the area of Limassol, during the period 2013-2014. The temperature variation for that period is shown in Fig. 8 [4].

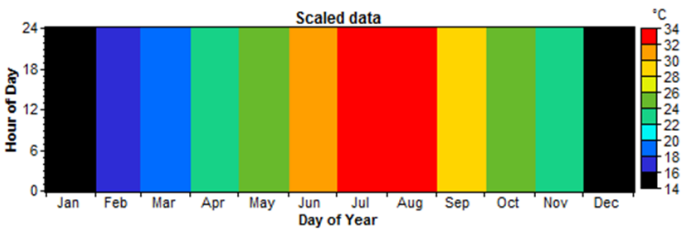


Fig. 8 Limassol temperature variation for the period 2013-2014

Fig. 9 shows the final form of our hybrid grid-connected system.

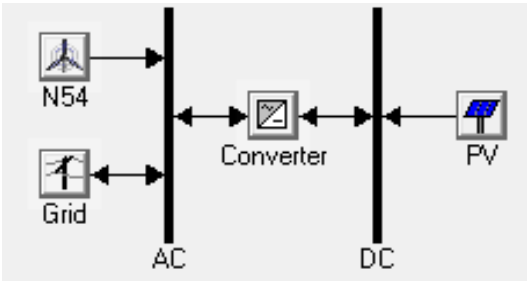


Fig. 9 Hybrid grid-connected Power System

HOMER calculates the different permutations of possible designs based on the inputs provided and then simulate the power system. By adding more WTs and increasing the number of PV modules, the system performance is improved but at the same time we increase the capital expenditures and the size of the overall system that we may not be able to fulfill. Therefore the choice of the right configuration is a complex trade-off among financial, renewable, technical and design requirements.

After several tests, based on the total capital of the system and the NPC, the best combination we reached is shown on the following table:

TABLE III. SYSTEM ARCHITECTURE FOR HYBRID GRID-CONNECTED SYSTEM

System Architecture		
System Equipment	***kilowatt (kW)***	***Quantity***
PV	499.5	1998
Converter	400	4
WT Nordex N54	2000	2

The simulation results show that the initial capital is €1,551,850 which is quite high, therefore we loaned the full amount with annual real interest rate 4.5%. The total Net Present Value (NPC), which is the present value of all the costs that it incurs over its lifetime, minus the present value of all the revenue that it earns over its lifetime, is €15,172,990. In Fig. 10 we can see the cash flow of the system over the 20 years. Red represents the capital cost and green is the income which is the profit from grid sales. Pink stands for replacement cost and specifically for the converter whose lifetime is 7 years.

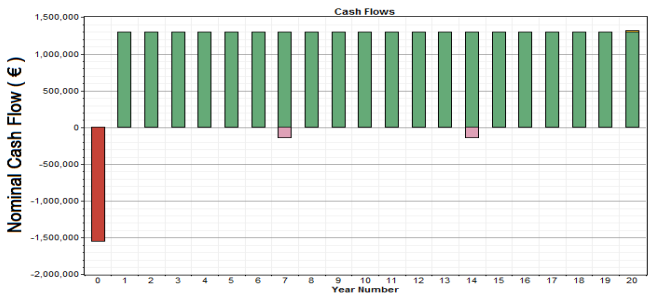


Fig. 10 Cash flow of the Hybrid Power System

B. Self-feeded Energy System

In this case the system must be able to meet the Hospital's load and any excess of electricity produced, when batteries are fully charged, is lost. Due to the high significance of the building it must be still connected to the grid to avoid any undesirable incidents in case of system collapse.

Same inputs for PV modules and converters have been used but we changed the N54 WT with GE 1.5sl which has rated power 1.5 MW. In this way less space is used. Besides these, batteries and diesel generators need to be considered.

For the system the Hoppecke batteries 10 opzs 1000 of the homonymous German company are used, which have market cost €310. The replacement and maintenance costs are €300 and €2.00/year respectively.

As for the generator we used a three-phase diesel generator 1500 DFLE by Cummins Onan. The purchase and replacement cost is €250,000 and the maintenance cost is €0.100/year. It has rated output 1875 kVA. Diesel price has a significant impact on the running costs of a system equipped with a diesel generator and at this time of period the price is 1.1 €/L.

The grid parameter needed to be changed as we no longer export energy to the grid but we buy at the average price of 0.26 €/kWh if necessary.

After we have dealt with the inputs of the components we have to define the load. HOMER uses 24 hourly values, each one of them is the average electric demand for a single hour of the day. Then it replicates this profile throughout the year unless you define different load profiles for different months or day types. We used a daily load profile of August which has the highest electric consumption so we can be on the safe side. The daily profile of August appears in Fig. 11.

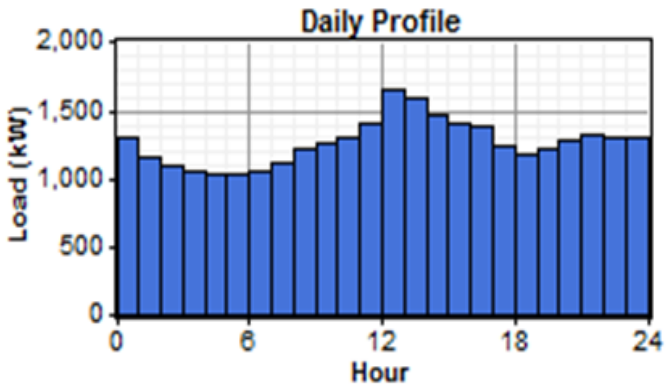


Fig. 11 Daily Profile of August

The simulation results indicate that the initial capital is €4,102,517. As in the previous case we used a loan with the same annual real interest rate. Total NPC is €35,971,528 but this time it represents the total cost to maintain the system during its lifetime and not the profit. In this case, the new COE is 0.273 €/kWh which is higher than buying directly from the grid.

The equipment combination we used for this system is shown on the Table IV.

TABLE IV. SYSTEM ARCHITECTURE FOR SELF-FEEDED SYSTEM

System Architecture		
System Equipment	***kilowatt (kW)***	***Quantity***
PV	499.5	1998
Converter	1000	10
WT GE 1.5 sl	3000	2
Hoppecke 1000	291.67	3500
Diesel Gen 1500 DFLE	1300	1

In Fig. 12 red again is the capital cost, green is the operating cost of the equipment, pink is the replacement cost and black the fuel cost. Salvage value, shown in yellow, is the value remaining in a component of the power system at the end of the project lifetime. HOMER assumes linear depreciation of components, meaning that the salvage value of a component is directly proportional to its remaining life. It also assumes that the salvage value is based on the replacement cost rather than the initial capital cost.

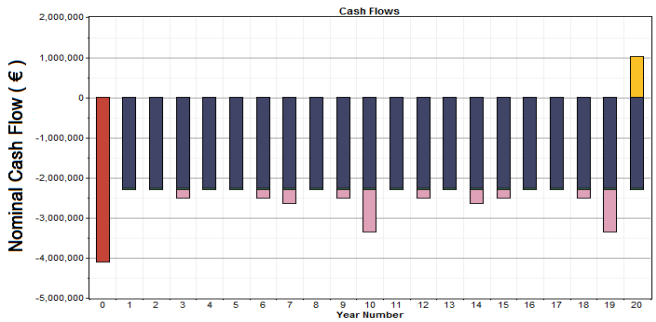


Fig. 12 Cash flow of the Self-feeded Energy System

VI. COMPARISON BETWEEN SYSTEMS

In the table below, the basic parameters of the studied systems are summarized.

TABLE V. CASE COMPARISON

System	***Capital (€)***	***NPC (€)***	***COE (€/kWh)***	***Profit (€-%)***
Grid–Connected PV System	652,550	1,175,881	0.06	1,175,881 80.2%
Grid–Connected Hybrid System	1,551,850	15,172,990	0.161	15,172,990 877.7%
Self–Feeded Hybrid System	4,102,517	35,971,528	0.273	11,442,712 178.9%

Clearly, the third indent is quite difficult to achieve because of the huge funds needed to be spent but also the large space to be allocated and for these reasons it is precluded.

Between the other two cases, the hybrid system is way more profitable due to the fact that by tripling the capital we ended up with 13 times the NPC of the first case and a profit 877.7% of the initial investment instead of only 80.2%.

VII. CONCLUSIONS

Three options of RES installations were proposed in order to increase the percentage contribution of RES in total energy consumption and to reduce the electricity bills of the Limassol General Hospital. In the first case, where a 499.5 kW PV system is interconnected to the grid of EAC, an investment of €652,550 was needed and the profit after 20 years was €1,175,881 meaning that 80.2% of the capital was gained.

To improve even more WTs were included. The initial capital of the hybrid system is €1,551,850 and the total NPC is €15,175,990, which corresponds to 877.73% profit, a definitely more lucrative option than the previous case.

The third option is a self–feeded hybrid system, connected to the grid. In this case, the capital is €4,102,517 and the total cost to maintain the system is €35,971,528 assuming that no energy was fed from the grid. Currently, the Hospital has to pay approximately €47,393,240 on electricity bills for the period of 20 years. Considering that, the third option offers earnings valued at €11,442,712 which equals to a 178.9% profit.

The above results suggest that the hybrid grid-connected system outperforms the other two as far as it concerns the profit percentage. Also it needs an initial capital that can be easily achieved and uses only renewable energy, making it the ideal proposal for RES installation in Limassol Hospital.

REFERENCES

[1] Th. Zacharias, “Renewable Energy Sources I”, Patra, 2012

[2] Assessment of Energy Cogeneration in Cyprus, Energy Agency, Cyprus, 2009

[3] National Action Plan (2010-2020), Energy Agency, Cyprus, 2010

[4] Climate Report (2013-2014), Cyprus Department of Meteorology

[5] Energy Consumption Report of Limassol General Hospital (2013-2014), EAC

[6] PV*SOL Expert Manual, Valentin Software, 2013

[7] Micropower System Modeling with HOMER, Tom Lambert, 2006

Σχεδιασμός διάταξης μετατροπέα και κυκλώματος ελέγχου για οδήγηση αυτόνομων Φ/Β συστημάτων

Βασίλειος Φ. Τσιμάρας

***Abstract*—Η απαγκίστρωση της ανθρώπινης δραστηριότητας από παραδοσιακές μορφές ενέργειας, όπως τα ορυκτά καύσιμα, έχει οδηγήσει τα τελευταία χρόνια στην ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών. Σημαίνουσα θέση στο τομέα αυτό καταλαμβάνει η συγκομιδή ηλιακής ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών panel. Ωστόσο, από τη σκοπιά της ενεργειακής απόδοσης αυτής της μεθόδου, δεν υπάρχει μέχρι σήμερα καθιερωμένη οδός εκμετάλλευσης της. Αντίθετα παρουσιάζεται ένας μεγάλος αριθμός προτεινόμενων τοπολογιών και αρχιτεκτονικών ελέγχου, η καθεμία εκ των οποίων προσφέρει διαφορετικά χαρακτηριστικά. Σε αυτήν την εργασία επιχειρείται η παρουσίαση ενός μοντέλου αποτελούμενο από έναν Cuk μετατροπέα και ενός νέου κυκλώματος ελέγχου αναφοράς τάσης, το οποίο εκτελεί αλγόριθμο όχλησης και παρατήρησης (P&O) για λειτουργία στο σημείο μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος. Η προαναφερθείσα διάταξη αναλαμβάνει την οδήγηση φορτίου χαμηλής ισχύος (60 W) από φωτοβολταϊκό panel (60 Wp). Το συνολικό σύστημα μοντελοποιείται και εξομοιώνεται ενώ κατασκευάζεται η διάταξη, με σκοπό να υπάρξουν πειραματικές μετρήσεις.**

***Ενδεικτικοί Όροι*—αλγόριθμος όχλησης και παρατήρησης (P&O), αυτόνομο φωτοβολταϊκό (Φ/Β) σύστημα, μετατροπέας Cuk (dc-dc conversion), σημείο μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος (Σ.Μ.Ι.).**

I. Εισαγωγη

ΚΑΤΑ τη διαδικασία σχεδιασμού ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος πολύ σημαντικό ρόλο παίζει η ενεργειακή του απόδοση. Σε παλαιότερα συστήματα, που δεν περιλαμβάνονταν μετατροπέας, παρουσιαζόταν η ανάγκη υπερδιαστασιολόγησης των panel για να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες. Η χρήση μετατροπέα και λογικού κυκλώματος επέτρεψε την επίτευξη υψηλότερων βαθμών απόδοσης, εξαλείφοντας αυτήν την ανάγκη. Η αρχή στην οποία στηρίζεται η προηγούμενη παραδοχή είναι αυτή της μέγιστης μεταφοράς ισχύος , όπου ουσιαστικά γίνεται προσπάθεια να πλησιάσει η τιμή της αντίστασης φορτίου αυτήν της εσωτερικής αντίστασης της πηγής.

Προκειμένου λοιπόν να προχωρήσει ο σχεδιασμός του συστήματος, αναπτύχθηκαν σε προγραμματιστικό περιβάλλον τα μαθηματικά μοντέλα που διέπουν τη λειτουργία των επιμέρους μονάδων. Ως πρότυπο για το φωτοβολταϊκό panel χρησιμοποιήθηκε το SOLAREX MSX 60 ενώ υπολογίστηκαν και επιλέχθηκαν προσεχτικά τα παθητικά και ενεργητικά στοιχεία του κυκλώματος. Για μεγαλύτερη ευελιξία του συστήματος χρησιμοποιήθηκε η τοπολογία Cuk μετατροπέα (ανύψωση-υποβιβασμού τάσης) ενώ το κύκλωμα ελέγχου υλοποιήθηκε με μικροελεγκτή (Microchip dspic30f2020).

Η διάταξη που αποτελείται από το κύκλωμα ελέγχου και τον μετατροπέα σχεδιάστηκε πάνω σε μία πλακέτα. Η πλακέτα αυτή περιλαμβάνει τόσο τα μετρητικά κυκλώματα τάσης και ρεύματος όσο και τη τροφοδοσία του κυκλώματος του μικροελεγκτή. Με αυτό το τρόπο δημιουργήθηκε μία φορητή μονάδα που μπορεί εύκολα να τοποθετηθεί σε διαφορετικό κύκλωμα ισχύος. Αν και η διαστασιολόγηση του μετατροπέα έγινε βασιζόμενη στα χαρακτηριστικά του panel, έχει γίνει πρόβλεψη εύκολης εναλλαγής πηνίων αλλά και επιλογή στοιχείων με μεγάλο περιθώριο ασφαλείας, προκειμένου να εξυπηρετηθούν διαφορετικές ανάγκες λειτουργίας. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιήθηκε για να μπορεί να δοκιμαστεί η διάταξη σε εργαστηριακές συνθήκες.

Ο αλγόριθμος που επιλέχθηκε για το συγκεκριμένο σύστημα, είναι ο P&O κυρίως λόγω της απλότητας του αλλά και επειδή είναι από τους πιο αποδοτικούς, ωστόσο κατά την εφαρμογή του παρουσιάζει δύο εγγενή προβλήματα που περιορίζουν την απόδοση αλλά και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών μεγεθών της εξόδου. Το πρώτο είναι η αδυναμία αντιμετώπισης της γραμμικής μεταβολής της ηλιακής ακτινοβολίας, που επηρεάζει κυρίως την απόδοση και το δεύτερο η ταλάντωση γύρω από το σημείο μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος. Αναλύοντας αυτές τις αδυναμίες προτείνεται μία μέθοδος εξάλειψης της ταλάντωσης του αλγορίθμου, η οποία βασίζεται σε μία τοπολογία που χρησιμοποιεί τη τάση εξόδου του συστήματος. Ένα άλλο πλεονέκτημα που απορρέει από αυτή τη τοπολογία είναι η δυνατότητα απευθείας οδήγησης του κυκλώματος ισχύος στην επιθυμητή τάση εξόδου με έλεγχο τάσης που είναι φυσικό μέγεθος και όχι με λόγο κατάτμησης που είναι αδιάστατο μέγεθος.

II. Μοντελοποιηση Επιμερους Στοιχειων

Δημιουργούνται μοντέλα όλων των μονάδων που θα

Το παρόν έγγραφο κατατέθηκε προς αξιολόγηση την 8η, Φεβρουαρίου, 2015.

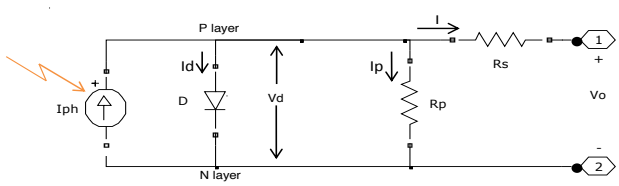
Ο συγγραφέας, Βασίλης Φ. Τσιμάρας, είναι φοιτητής του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, Αχαΐα, Ελλάδα (e-mail: tsimaras.vassilis@gmail.com).

αποτελέσουν το σύστημα σε περιβάλλον SIMULINK. Ταυτόχρονα γίνεται χρήση μη ιδανικών παθητικών και ενεργητικών στοιχείων που αποσκοπεί στην ορθότερη εξαγωγή συμπερασμάτων αναφορικά με τη λειτουργία του συστήματος.

A. Φωτοβολταϊκό σύστημα

Το μοντέλο που επιλέχθηκε για τη περιγραφή του φωτοβολταϊκού φαινομένου είναι αυτό της μονής διόδου [1] όπως φαίνεται στο Σχ. 1. Η εξίσωση που περιγράφει τη λειτουργία του είναι η

$$I = Iph - Io\left(\exp\left(q\frac{(Vo+IRs)}{nKT}\right) - 1\right) - \frac{Vo+IRs}{Rp}. \quad (1)$$



Σχ. 1. Μοντέλο μονής διόδου.

ΠΙΝΑΚΑΣ I
ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΜΕΓΕΘΩΝ

q	1,6 e-19 Cb φορτίο ηλεκτρονίου
n	σταθερά ιδανικότητας με τιμές μεταξύ 1 και 2
K	1,38e - 23 J/K σταθερά Boltzmann
T	Απόλυτη θερμοκρασία σε K
I_o	ρεύμα κόρου διόδου
G	προσπίπτουσα ακτινοβολία
α'_T	σχετικός θερμοκρασιακός συντελεστής
E_g	ενεργειακό χάσμα του πυριτίου
P_P	μέγιστη ισχύς
V_{mp}	τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος
I_{mp}	ρεύμα στο σημείο μέγιστης ισχύος
V_{oc}	τάση ανοιχτοκυκλώματος
I_{sc}	ρεύμα βραχυκυκλώματος

Η υποσημείωση ref υποδεικνύει τις συνθήκες αναφοράς (SRC-standard reference condition) δηλαδή: G_{ref} =1000 W/m^2, T_{ref} = 25°C, AM 1.5.

Ωστόσο η εξίσωση (1) περιγράφει τη λειτουργία ενός κυττάρου. Τα Φ/Β panel αποτελούνται από πληθώρα κυττάρων, τα οποία μπορεί να είναι συνδεδεμένα είτε σε σειρά είτε παράλληλα. Σε αυτή τη περίπτωση η χρησιμοποιείται η

$$Ipan = NpIph - NpIo\left(\exp\left(\frac{q\left(Vpan+\frac{IpanNsRs}{Np}\right)}{NsnKT}\right) - 1\right) - \frac{Vpan+\frac{IpanRsNs}{Np}}{\frac{NsRp}{Np}}. \quad (2)$$

Στην εξίσωση (2), η οποία περιγράφει τη σχέση τάσης και ρεύματος, υπάρχουν 5 άγνωστες μεταβλητές. Για να είναι το σύστημα ακριβές πρεπεί να υπολογιστούν οι τιμές τους. Οι μεταβλητές αυτές είναι η σταθερά ιδανικότητας n, το φωτόρευμα I_{ph}, όπου

$$Iph = Iph,ref\left(\frac{G}{Gref}\right)\left(1 + a'_T(T - Tref)\right), \quad (3)$$

το ρεύμα κόρου διόδου I_o,

$$Io = Io,ref\left(\frac{T}{Tref}\right)^3 \exp\left(\frac{q}{n\left(\frac{Eg,ref}{KTref} - \frac{Eg}{KT}\right)}\right), \quad (4)$$

και τέλος οι αντιστάσεις R_S και R_P.

Αγνοώντας την επίδραση της R_P με σχετικά μικρή απόκλιση, προκύπτει το ακόλουθο σύστημα εξισώσεων, βάσει του οποίου υπολογίζονται τα άγνωστα μεγέθη:

$$Isc = NpIph - NpIo\left(\exp\left(\frac{q\left(0+\frac{IscNsRs}{Np}\right)}{NsnKT}\right) - 1\right) \quad (5)$$

$$Imp = NpIph - NpIo\left(\exp\left(\frac{q\left(Vmp+\frac{ImpNsRs}{Np}\right)}{NsnKT}\right) - 1\right) \quad (6)$$

$$\frac{Imp}{Vmp} = \frac{\frac{qNpIo}{NsnKTref}\exp\left(\frac{q\left(Vmp+\frac{ImpNsRs}{Np}\right)}{NsnKTref}\right)}{1+\frac{qIoRs}{nKTref}\exp\left(\frac{q\left(Vmp+\frac{ImpNsRs}{Np}\right)}{NsnKTref}\right)} \quad (7)$$

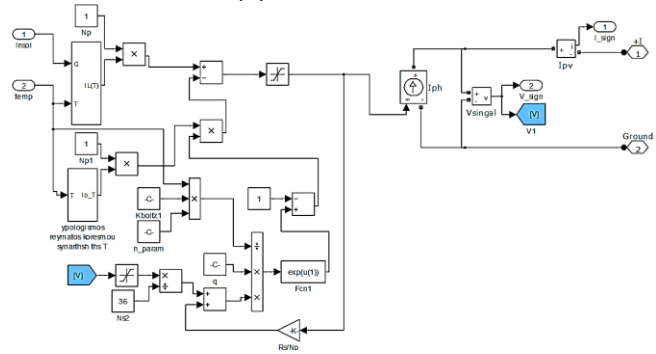
$$Voc = Voc,ref + \beta_T(T - Tref) \quad (8)$$

Τελικά υπολογίζονται τα άγνωστα μεγέθη, όπως φαίνεται στο πίνακα II:

ΠΙΝΑΚΑΣ II
ΜΕΓΕΘΗ

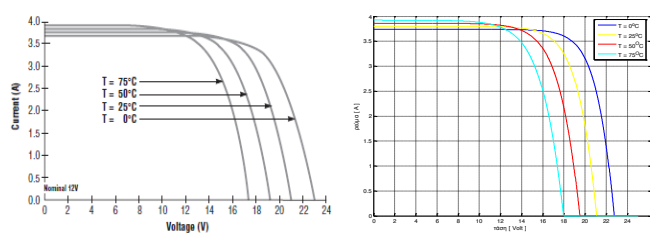
Μεταβλητές	Τιμές
$I_{ph,ref}$	3.8 A
$I_{o,ref}$	1.5664e-6 A
n	1.5523
R_s	0.0028 Ω

Με τις πληροφορίες που έχουν συγκεντρωθεί εώς τώρα, μπορεί να σχηματιστεί το ηλεκτρικό ισοδύναμο του SOLAREX MSX 60 σε περιβάλλον SIMULINK.

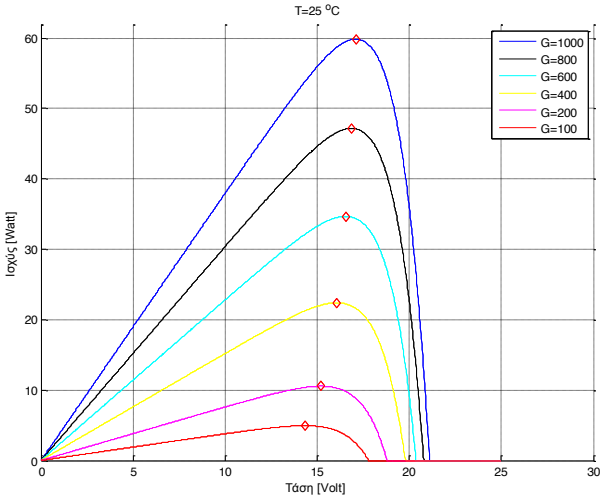


Σχ. 2. Μοντελοποιημένο Φ/Β panel.

Εξετάζοντας τη λειτουργία του μοντέλου που φαίνεται στο Σχ. 2, προκύπτουν οι καμπύλες λειτουργίας του. Στο Σχ. 3 φαίνεται η I-V καμπύλη και στο Σχ. 4 η P-V.



Σχ. 3. Σύγκριση καμπυλών λειτουργίας κατασκευαστή με αυτές που προκύπτουν από την προσομοίωση.



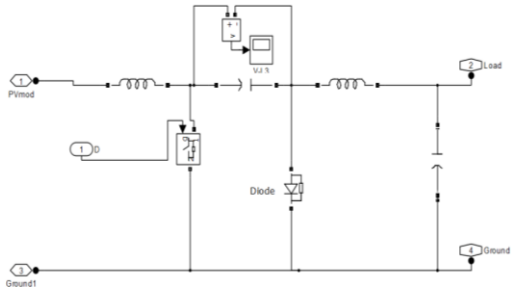
Σχ. 4. P-V χαρακτηριστικές και σημεία μέγιστης ισχύος του SOLAREX MSX 60.

B. Μετατροπέας

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή η τοπολογία του μετατροπέα είναι boost-buck ή αλλιώς Cuk και απεικονίζεται στο Σχ. 5. Στην ιδανική του μορφή η λειτουργία του περιγράφεται από τις εξισώσεις (9) και (10).

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{D}{1-D} \tag{9}$$

$$\frac{I_{out}}{I_{in}} = \frac{1-D}{D} \tag{10}$$



Σχ. 5. Τοπολογία Cuk μετατροπέα.

Η διαστασιοποίηση του γίνεται με βάση τα επιθυμητά ποιοτικά χαρακτηριστικά λειτουργίας. Αυτά παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στις εξισώσεις (11)-(13), οι οποίες περιορίζουν τη κυμάτωση της τάσης εξόδου στο 20%, τη κυμάτωση του ρεύματος του πηνίου εξόδου επίσης στο 20% και εξασφαλίζουν λειτουργία συνεχούς αγωγής ρεύματος (CCM).

$$\frac{T_S^2\ (1-D)}{8\ L_2\ C_2} \leq 0.02 \rightarrow L_2\ C_2 \geq\ T_S^2\ \frac{(1-D)}{8*0.02}, \tag{11}$$

$$\frac{\Delta i_{L2}}{I_{L2}} = \frac{R_{LOAD}(1-D)T_S}{L_2} \leq 0.2, \tag{12}$$

$$L_1 \geq \frac{L_2 R_{LOAD}(1-D)^2 T_S}{2L_2 - R_{LOAD}(1-D)^2 T_S}. \tag{13}$$

Παράλληλα υπολογίζονται η τάση και το ρεύμα που διακόπτουν ο διακόπτης και η δίοδος αλλά επιλέγονται στοιχεία που υπερκαλύπτουν αυτές τις τιμές για τους λόγους που αναφέρθηκαν στην εισαγωγή. Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί πως η συχνότητα λειτουργίας βρίσκεται στα 100 kHz. Αυτή η συχνότητα δεν προκαλεί σημαντικές απώλειες στα ημιαγωγικά στοιχεία και ταυτόχρονα επιτρέπει τη χρήση μικρότερων πηνίων όπως φαίνεται από την εξίσωση (11). Με σκοπό την πιο πιστή απεικόνιση του μοντέλου εισάγονται οι απώλειες των παθητικών στοιχείων με τη μορφή εν σειρά αντιστάσεων μέσω των καταστατικών εξισώσεων. Οι τιμές τους αντικατοπτρίζουν εκείνες που παρέχουν οι κατασκευαστές στα συνοδευτικά φυλλάδια του εκάστοτε στοιχείου.

$$A1 = \begin{bmatrix} -\frac{r_{L1}}{L1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{r_{L2}+r_{C1}+(r_{C2}||R_{LOAD})}{L_2} & \frac{1}{L_2} & \frac{R_{LOAD}}{(r_{C2}+R_{LOAD})L_2} \\ 0 & -\frac{1}{C_1} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{(r_{C2}||R_{LOAD})}{r_{C2}C_2} & 0 & -\frac{1}{(r_{C2}+R_{LOAD})C_2} \end{bmatrix} \tag{14}$$

$$B1 = \begin{bmatrix} 1/L_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \tag{15}$$

$$C1 = \begin{bmatrix} 0 & r_{C2}||R_{LOAD} & 0 & -\frac{R_{LOAD}}{r_{C2}+R_{LOAD}} \end{bmatrix} \tag{16}$$

$$A2 = \begin{bmatrix} -\frac{r_{L1}+r_{C1}}{L1} & 0 & -1/L_1 & 0 \\ 0 & -\frac{r_{L2}+(r_{C2}||R_{LOAD})}{L_2} & 0 & \frac{R_{LOAD}}{(r_{C2}+R_{LOAD})L_2} \\ 1/C_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{(r_{C2}||R_{LOAD})}{r_{C2}C_2} & 0 & -\frac{1}{(r_{C2}+R_{LOAD})C_2} \end{bmatrix} \tag{17}$$

$$B2 = \begin{bmatrix} 1/L_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \tag{18}$$

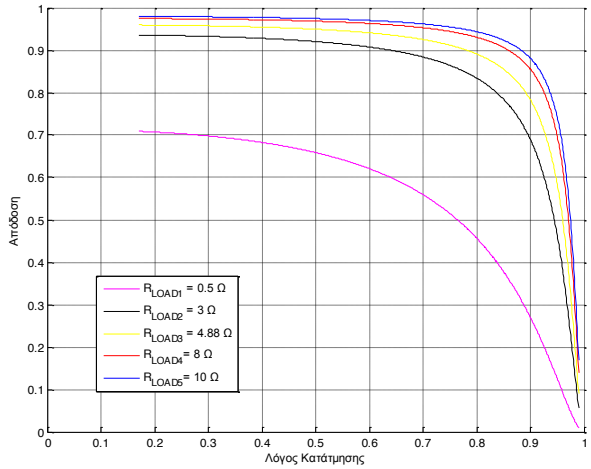
$$C2 = \begin{bmatrix} 0 & r_{C2}||R_{LOAD} & 0 & -\frac{R_{LOAD}}{r_{C2}+R_{LOAD}} \end{bmatrix} \tag{19}$$

όπου $r_{L1} = 0.1\ \Omega$, $r_{L2} = 0.2\ \Omega$, $r_{C1} = r_{C2} = r_{CX} = 0.005\ \Omega$.

Τελικά οι σχέσεις που περιγράφουν τη λειτουργία του μετατροπέα καταλήγουν στις (20), (21) και γίνεται δυνατή η καταγραφή των καμπύλων απόδοσης του.

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{R_{LOAD}D(1-D)}{(1-D)^2(R_{LOAD}+r_{L2}) + Dr_{C1}(1-D) + D^2 r_{L1}} \tag{20}$$

$$\frac{I_{OUT}}{I_{IN}} = \frac{1-D}{D} \tag{21}$$



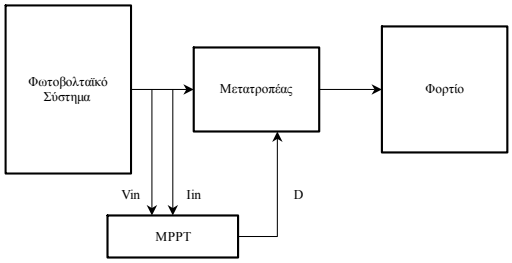
Σχ. 6. Καμπύλες απόδοσης συναρτήσει λόγου κατάτμησης.

Από το Σχ. 6 γίνεται σαφές πως η απόδοση του μετατροπέα

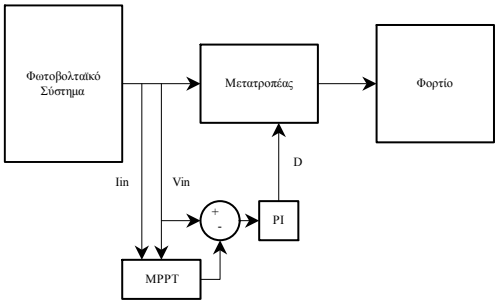
εξαρτάται κυρίως από τη σχετική διάρκεια αγωγής ενώ σε περιπτώσεις που απουσιάζει ο μετατροπέας το σημείο λειτουργίας μπορεί να είναι μόνο ένα.

III. Ελεγχος

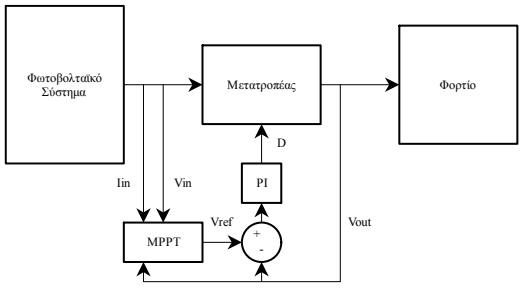
Οι βασικές αρχιτεκτονικές που χρησιμοποιούνται στον έλεγχο τάσης, είναι ο απευθείας έλεγχος της σχετικής διάρκειας αγωγής του διακοπτικού στοιχείου που φαίνεται στο Σχ. 7 και η μέθοδος τάσης αναφοράς του Σχ. 8. Οι αποδόσεις που προσφέρουν αυτές οι δύο μέθοδοι είναι παραπλήσιες, ωστόσο δεν καταφέρνουν να αντιμετωπίσουν κάποια πρακτικά προβλήματα του P&O όπως ο έλεγχος της τάσης εξόδου και την ταλάντωση γύρω από το σημείο μέγιστης ισχύος. Στη περίπτωση που σαν φορτίο χρησιμοποιηθεί κάποιο ηλεκτρομηχανικό σύστημα, η τάση εξόδου είναι το μέγεθος εκείνο που καθορίζει τον αριθμό των στροφών του και συνεπώς πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα άμεσου ελέγχου του με βάση κάποιο φυσικό μέγεθος. Στη συγκεκριμένη εργασία προτείνεται ένα διαφορετικό μοντέλο ελέγχου που παρουσιάζεται στο Σχ. 9. Αυτή η μέθοδος, ιδιαίτερα στη περίπτωση που δεν χρησιμοποιείται μονάδα συσσωρευτή ενέργειας, έχει τη δυνατότητα τόσο ρύθμισης της τάσης της εξόδου με άμεσο τρόπο, θέτοντας μία τάση αναφοράς αντί για την εκτέλεση του MPPT όσο και αντιμετώπισης της ταλάντωσης του P&O.



Σχ. 7. Δομικό διάγραμμα άμεσου ελέγχου.



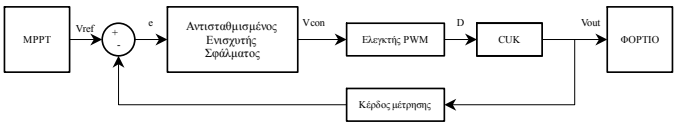
Σχ. 8. Δομικό διάγραμμα ελέγχου αναφοράς τάσης.



Σχ. 9. Δομικό διάγραμμα προτεινόμενου ελέγχου.

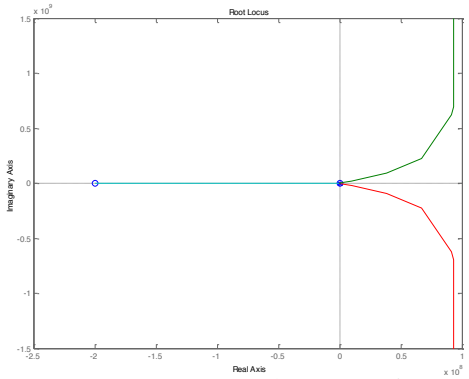
A. *Υλοποίηση ελέγχου*

Ο έλεγχος τάσης αποτελεί την πιο απλή και διαδεδομένη μορφή αυτομάτου ελέγχου στους μετατροπείς όταν χρησιμοποιείται PI ελεγκτής. Χρησιμοποιεί μόνο έναν βρόχο ανάδρασης και ένα σήμα σε σχέση με τον αντίστοιχο του ρεύματος. Η μείωση στο υλικό που απορρέει από αυτό το γεγονός, τον καθιστά πιο οικονομικό. Επίσης λόγω της απλότητας του, είναι πιο εύκολο να γίνει έλεγχος ευστάθειας σε αντίθεση με τις άλλες μορφές ελεγκτών αλλά και να μοντελοποιηθεί πιο απλά.Το μοντέλο στο οποίο στηρίζεται ο έλεγχος τάσης παρουσιάζεται στο Σχ. 10.

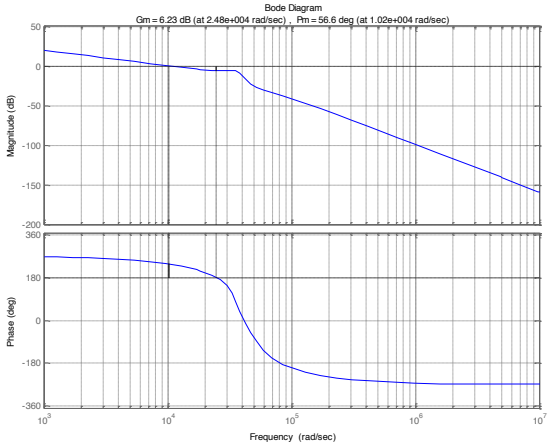


Σχ. 10. Δομικό διάγραμμα ελέγχου τάσης.

Έχοντας ήδη υπολογίσει τις καταστατικές εξισώσεις του μετατροπέα Cuk, πραγματοποιείται η ανάλυση μικρού σήματος, με σκοπό την απαραίτητη γραμμικοποίηση του χρονικά μεταβαλλόμενου συστήματος. Μετά τον υπολογισμό των εξισώσεων μεταφοράς, επιλέγονται τα κέρδη του βρόχου, ώστε να εξασφαλιστεί η σταθερότητα του συστήματος και η ικανοποιητική του απόκριση, όπως φαίνεται στα Σχ. 11-13.

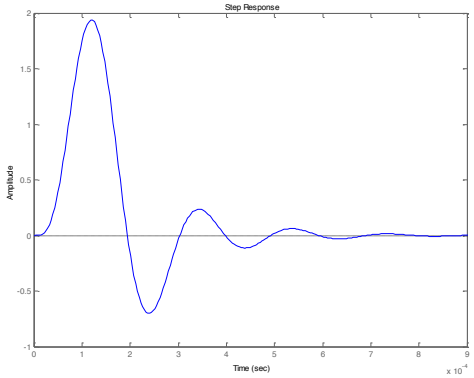


Σχ. 11. Γεωμετρικός Τόπος Ριζών ανοιχτού βρόχου.



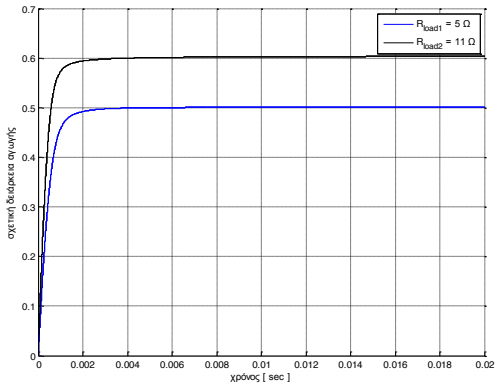
Σχ. 12. Bode διάγραμμα ανοιχτού βρόχου.

Έχοντας μοντελοποιήσει όλα τα δομικά στοιχεία που φαίνονται στο Σχ. 9, καταστάται δυνατή η προσομοίωση του συστήματος σε περιβάλλον SIMULINK χρησιμοποιώντας ωμική αντίσταση ως φορτίο και τάσεις για σήμα ελέγχου.

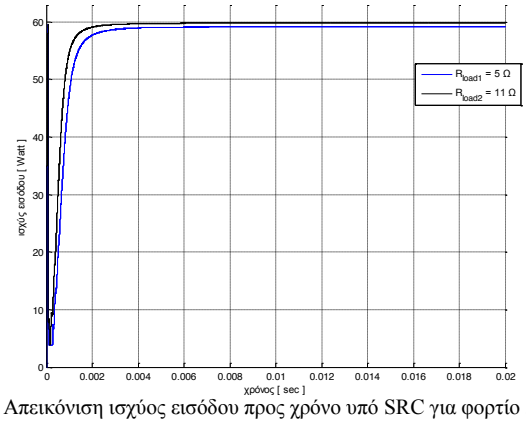


Σχ. 13. Βηματική απόκριση κλειστού συστήματος

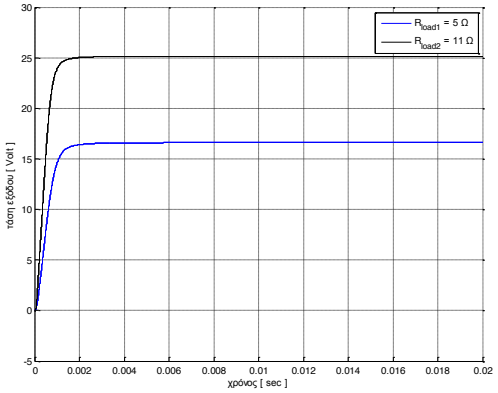
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται στα Σχ. 14-16.



Σχ. 14. Απεικόνιση λόγου κατάτμησης προς χρόνο υπό SRC για φορτίο 5Ω (V_{REF} =16.16V) και 11Ω (V_{REF} =25.15V).



Σχ. 15. Απεικόνιση ισχύος εισόδου προς χρόνο υπό SRC για φορτίο 5Ω (V_{REF} =16.16V) και 11Ω (V_{REF} =25.15V).

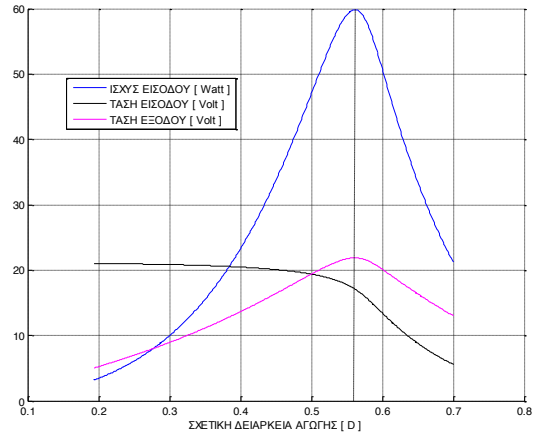


Σχ. 16. Απεικόνιση τάσης εξόδου προς χρόνο υπό SRC για φορτίο 5Ω (V_{REF} =16.16V) και 11Ω (V_{REF} =25.15V).

Το επόμενο βήμα στην αυτοματοποίηση του ελέγχου είναι η ενσωμάτωση του αλγορίθμου αναζήτησης του σημείου μέγιστης ισχύος. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως θα υλοποιηθεί ο P&O αλγόριθμος, η αρχή λειτουργίας του οποίου δεν θα περιγραφεί εδώ μιας καταγράφεται εκτενώς στη βιβλιογραφία.

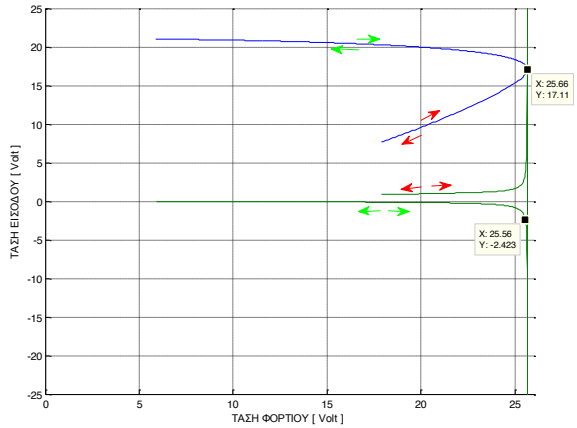
B. Αντιμετώπιση ταλάντωσης γύρω από το Σ.Μ.Ι.

Το καθοριστικό πλεονέκτημα που προσφέρει η τοπολογία του Σχ. 9 σε αντίθεση με τις καθιερωμένες, είναι η αξιοποίηση της τάσης εξόδου. Για να καταστεί αυτό πιο σαφές, απεικονίζονται στο Σχ. 17 τα μεγέθη που εμπλέκονται στην εκτέλεση του αλγορίθμου.



Σχ. 17. Απεικόνιση μεγεθών ως προς λόγο κατάτμησης υπό SRC.

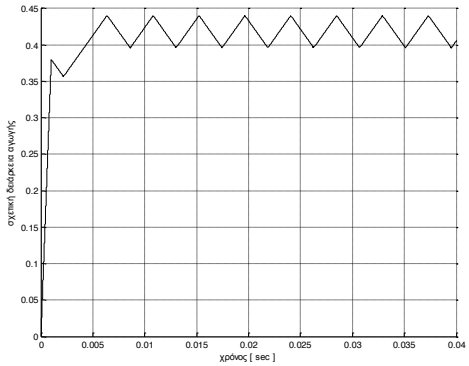
Από το προηγούμενο σχήμα, προκύπτει πως η καμπύλη της τάσης εξόδου περιέχει πληροφορίες σχετικά με το σημείο λειτουργίας που βρίσκεται ανα πάσα στιγμή το σύστημα. Αξιοποιώντας αυτό το γεγονός μπορούν να χαρτογραφηθούν λεπτομερέστερα οι κατευθύνσεις που πρέπει αυτό να πάρει αναφορικά με το λόγο κατάτμησης ώστε να γίνει πιο αποδοτικό. Αναλύοντας τη σχέση μεταξύ τάσης εισόδου και εξόδου, προκύπτει το Σχ. 18.



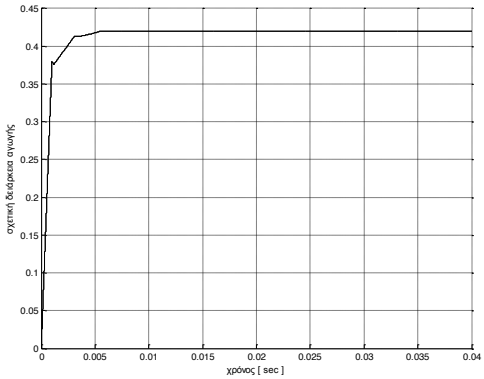
Σχ. 18. Απεικόνιση τάσης εισόδου ως προς τάση εξόδου και οι αντίστοιχες μεταβολές τους.

Παρατηρώντας αυτήν την απεικόνιση γίνεται αντιληπτό πως όσο πλησιάζει η λειτουργία στο Σ.Μ.Ι. τόσο πιο έντονες γίνονται οι μεταβολές μεταξύ των δύο τάσεων. Το Σχ. 18 καταφέρνει να ποσοτικοποιήσει αυτή τη μεταβολή. Βάζοντας μία συνθήκη να μην εκτελείται ο αλγόριθμος όταν ξεπεραστεί ένα σημείο και πάνω δημιουργείται μία καθυστέρηση γύρω από το Σ.Μ.Ι. μίας και μειώνεται η συχνότητα εκτέλεσης του

αλγορίθμου. Όταν όμως δεν εκτελείται ο αλγόριθμος, δεν υπάρχουν και διακυμάνσεις στην ισχύ. Αξιοποιώντας αυτές τις δύο παρατηρήσεις προκύπτει μία παραλλαγή του P&O που δεν πάσχει από ταλαντώσεις αλλά βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη του βήματος της τάσης από το Σ.Μ.Ι.. Πρακτικά αυτό το σφάλμα δεν ξεπερνάει ποτέ το 2%. Εφαρμόζοντας τα προαναφερθέντα δημιουργούνται τα Σχ. 19 και 20.

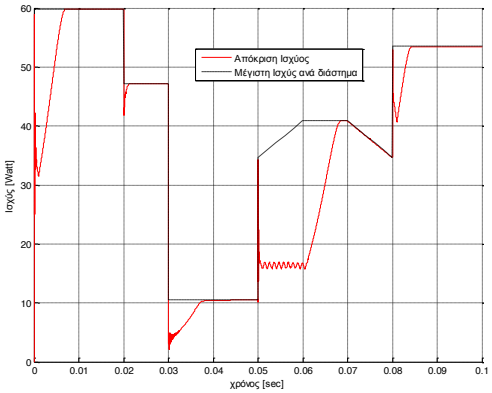


Σχ. 19. Απεικόνιση λόγου κατάτμησης ως προς χρόνο εκτελώντας τον απλό P&O αλγόριθμο.

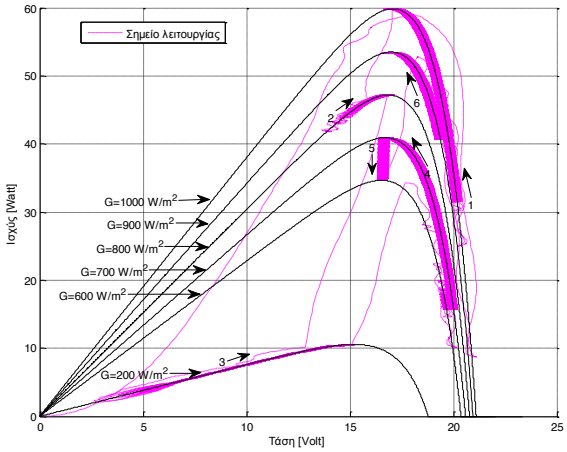


Σχ. 20. Απεικόνιση λόγου κατάτμησης ως προς χρόνο εκτελώντας τον διαμορφωμένο P&O αλγόριθμο για τις ίδιες συνθήκες με αυτές του Σχ. 19.

Με τη βοήθεια του SIMULINK δημιουργείται μία διάταξη ελέγχου, η οποία εφαρμόζει τον διαμορφωμένο P&O. Το μοντέλο που προκύπτει, συνδυάζεται με τα προηγούμενα μοντέλα σύμφωνα με την αρχιτεκτονική που παρουσιάζεται στο Σχ. 9. Για να δειχθούν τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου, σχεδιάζεται μία προσομοίωση κατά τη διάρκεια της οποίας μεταβάλλεται η ηλιακή ακτινοβολία τόσο γραμμικά όσο και βηματικά. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχ. 21 και στο Σχ. 22.



Σχ. 21. Χρονική απόκριση της ισχύος του φωτοβολταϊκού συστήματος για μεταβαλλόμενη ηλιακή ακτινοβολία.



Σχ. 21. Απεικόνιση όλων των διαδοχικών βημάτων του μοντέλου, τα οποία συγκρίνονται με τις ιδανικές καμπύλες τάσης-ισχύος για τις αντίστοιχες τιμές ακτινοβολίας.

IV. Συμπεράσμα

Η συμπεριφορά του συστήματος που σχεδιάστηκε στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, προσφέρει βελτιωμένα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τόσο σε απόδοση όσο και σε ποιότητα. Αυτό αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα ιδιαίτερα όταν το κύκλωμα οδηγεί ηλεκτρομηχανικές διατάξεις ή διατάξεις που είναι ευαίσθητες σε θόρυβο. Ένα πιθανό μελλοντικό αντικείμενο μελέτης είναι η διαμόρφωση του P&O αλγορίθμου ώστε να αντιμετωπίζει και τις γραμμικές μεταβολές της ηλιοφάνειας. Τέλος πρέπει να σημειωθεί πως ο συνδυασμός μετατροπέα και κυκλώματος ελέγχου κατασκευάστηκε ως αυτόνομη μονάδα, επιτυγχάνοντας αποδόσεις εώς 95%.

Βιβλιογραφία

[1] D.S.H. Chan, J.C.H. Phang, ”ANALYTICAL METHODS FOR THE EXTRACTION OF SOLAR-CELL -SINGLE AND –DOUBLE DIODE MODEL PARAMETERS FROM I-V CHARACTERISTICS”, Electron Devices, IEEE Transactions, 1987.

[2] R.W. Erickson, D. Maksimovic, “FUNDAMENTALS OF POWER ELECTRONICS”, 2η Έκδοση.

[3] NREL, “A Detailed Performance Model for Photovoltaic Systems “, διαθέσιμο στην διεύθυνση, www.osti.gov/scitech/.

[4] Β. Περράκη,“ Φυσική των Φωτοβολταϊκών Στοιχείων “,Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών.

[5] Θ. Ζαχαρίας, “ Ήπιες Μορφές Ενέργειας ΙΙ “,Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών.

[6] Ε.Κ. Τατάκης , “ Σημειώσεις Εργαστηρίου Ηλεκτρονικών Ισχύος Ι , ΙΙ “.

[7] N. Mohan, T. Undeland, W. Robbins,“Εισαγωγή στα Ηλεκτρονικά Ισχύος”,3η Έκδοση, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ.

[8] Mohammed A. Elgendy, Bashar Zahawi, and David J. Atkinson, “Assessment of Perturb and Observe MPPT Algorithm Implementation Techniques for PV Pumping Applications “,IEEE TRANSACTIONS ON SUSTAINABLE ENERGY, VOL. 3, NO. 1, JANUARY 2012

[9] Ν.Ι. Μάργαρη ,“ Ανάλυση Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων Τόμοι Α & Β “, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ.

[10] [2] Ε.Κ. Τατάκης,“Ηλεκτρονικά Στοιχεία Ισχύος και Βιομηχανικές Εφαρμογές “, σημειώσεις μαθήματος .

[11] [7] R.C. Dorf, R.H. Bishop, “Σύγχρονα Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου “, 9η Έκδοση, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ.

[12] R.W. ERICKSON, D. MAKSIMOVIC, “FUNDAMENTALS OF POWER ELECTRONICS”, 2η Έκδοση.

PANDORA: Παιχνιδοποιημένη εφαρμογή για την εκπαίδευση σε θέματα ηλεκτρικής ενέργειας

Δημήτρης Ενέα Μέλε, Ελσόν Μπεϊλέρι, Τσάκο Δουρίμ, Στεφάν Αλί

***Περίληψη*— Η εργασία αυτή περιγράφει την δημιουργία μιας εφαρμογής για την εκπαίδευση χρηστών σε θέματα ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση της τεχνολογίας gamification. Στόχος της εφαρμογής Pandora, είναι η τροποποίηση της συμπεριφοράς του χρήστη σε θέματα ηλεκτρικής ενέργειας μέσα από την εκπαίδευση και την συναισθηματική εμπλοκή του με την εφαρμογή. Ο χρήστης εκπαιδεύεται μέσω μηχανισμών παιχνιδιού στον έλεγχο της κατανάλωσης, την εξοικονόμηση και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ξεκλειδώνοντας επίπεδα κτιριακών εγκαταστάσεων μαθαίνει να εφαρμόζει μεθόδους για την ενεργό και συνειδητή συμμετοχή του στις παραπάνω διαδικασίες μέσα από τα αποτελέσματα που έχουν οι κινήσεις και αποφάσεις του. Στα πλαίσια της εφαρμογής, του δίνεται επίσης η δυνατότητα να προσομοιώσει ή να μετρήσει τις πραγματικές καταναλώσεις των συσκευών του.**

Λέξεις Κλειδιά — gamification, τροποποίηση συμπεριφοράς, εκπαίδευση, ηλεκτρική ενέργεια, κτίρια μηδενικής κατανάλωσης

I. Εισαγωγη

Ο όρος «Gamification», που στα ελληνικά μπορεί να αποδοθεί με τον μη δόκιμο ακόμα όρο «Παιχνιδοποίηση», προέρχεται από το χώρο των ψηφιακών μέσων. Εμφανίστηκε για πρώτη φορά το 2008 ωστόσο έγινε ευρέως γνωστός στα μέσα του 2010 όπου και κατάφερε να θεσμοθετηθεί μέσα από μία σειρά εκτενών συζητήσεων και διαφωνιών [1].

Με τον όρο «Gamification», εννοούμε «τη χρήση διαφόρων μηχανισμών παιχνιδιού, όπως είναι οι διαγωνισμοί και οι προκλήσεις, τα δώρα και οι βαθμολογίες, οι οποίοι, εάν αξιοποιηθούν σαν εργαλεία μέσα σε έναν ιστότοπο ή σε μια εφαρμογή, έχει αποδειχτεί ότι μπορούν να αυξήσουν κατακόρυφα τη διαδραστικότητα, αφοσίωση και εμπλοκή των χρηστών [2]-[6].

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται ήδη σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα, όπως είναι οι πλατφόρμες e-learning [7], [8].

Η πλατφόρμα SchooX, στην οποία οι χρήστες μπορούν να παρακολουθήσουν δωρεάν μαθήματα σε διάφορα πεδία του ενδιαφέροντος τους, να παραδώσουν οι ίδιοι μαθήματα, να δημιουργήσουν ομάδες και τη δική τους βιβλιοθήκη [9].

Η Skillato είναι μια πρωτοποριακή πλατφόρμα e-learning, που σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε από την Alittleb.it για την ανάπτυξη γνώσεων και καλλιέργεια δεξιοτήτων των εργαζομένων σε εταιρίες[10].

Από τις πιο γνωστές εφαρμογές της παιχνιδοποίησης στην ανώτατη εκπαίδευση είναι αυτή που ανέπτυξε ο Lee Sheldon, καθηγητής του πανεπιστημίου Rensselaer (ΗΠΑ). Μετέτρεψε τους βαθμούς των σπουδαστών σε επίπεδα και δημιούργησε προσωποποιήσεις (avatars) των σπουδαστών. Το αποτέλεσμα ήταν να αυξηθεί κατακόρυφα η συμμετοχή και η παρουσία των σπουδαστών στο μάθημα και το υλικό που παρήγαγαν να είναι πολύ καλύτερης ποιότητας [11],[12].

Η τεχνική της παιχνιδοποίησης έχει επίσης εφαρμοστεί σε εμπορικές εφαρμογές. Το Nike Plus [13] είναι ένα κοινωνικό παιχνίδι τρεξίματος με σκοπό να ενθαρρύνει τους δρομείς, τους απλούς αλλά και τους επαγγελματίες - να συναγωνιστούν μεταξύ τους και να βελτιώσουν το πρόγραμμα γυμναστικής τους. Το Quora [14] είναι ένας ιστότοπος με στόχο την δημιουργίας ενός κοινωνικού δικτύου γνώσης. Οι παίκτες συνεχώς ανανεώνουν και βελτιώνουν τις απαντήσεις στις ερωτήσεις με το ρητό στόχο «κάθε σελίδα ερώτησης να γίνει η καλύτερη δυνατή πηγή για κάποιον που θέλει να ξέρει για την ερώτηση». Το Bugathlon [15],[16] κατάφερε να μετατρέψει τη διόρθωση σφαλμάτων λογισμικού από μια βαρετή διαδικασία σε ένα Multiplayer Online Game.

Η εφαρμογή που προτείνεται στην εργασία αυτή φιλοδοξεί να συνδυάσει τις δυο αυτές χρήσεις του gamification, την εκπαίδευση και την τροποποίηση συμπεριφοράς μέσα από συναισθηματική εμπλοκή του χρήστη, σε μια νέα μεθοδολογία ανάπτυξης εφαρμογών για κινητά, tablet και PC προκειμένου, να οδηγήσει τον χρήστη σε τροποποίηση της ενεργειακής του συμπεριφοράς.

II. Η μεθοδολογια της Pandora

Η μεθοδολογία της Pandora βασίζεται στο συμπεριφορικό μοντέλο του Fogg (FBM) [17] σύμφωνα με το οποίο προκειμένου ένα άτομο να πειστεί να αλλάξει την συμπεριφορά του σχετικά με ένα θέμα πρέπει να συντρέχουν τρεις συνθήκες: α) να έχει τις γνώσεις και τις δεξιότητες που απαιτούνται β) να έχει κίνητρο γ) να δεχτεί ένα ερέθισμα που θα τον ενεργοποιήσει να το κάνει τη σωστή χρονική στιγμή.

Ποια είναι όμως η σωστή χρονική στιγμή;

Σύμφωνα με το FBM (Εικόνα 1), η σωστή χρονική στιγμή για παρέμβαση ή triggering, είναι όταν το σημείο που ορίζεται από την ικανότητα (οριζόντιος άξονας) και το κίνητρο (κάθετος άξονας) του ατόμου έχει τιμή μεγαλύτερη από την τιμή του κατωφλίου που απαιτείται για την τροποποίηση της συμπεριφοράς του, δηλαδή όταν το άτομο είναι στο κατάλληλο επίπεδο για να δεχτεί μια αλλαγή και το μόνο που λείπει είναι το ερέθισμα (trigger) που θα την ενεργοποιήσει.

Το μοντέλο αυτό αποτελεί τη βάση της εφαρμογής με σκοπό την εκπαίδευση του χρήστη – εκπαιδευόμενου σε θέματα παραγωγής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και την εμπλοκή του ως ενεργού υποκειμένου στην αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας.

Για παράδειγμα, έστω ότι ο στόχος είναι το άτομο να προαγοράζει online την ηλεκτρική ενέργεια που θα καταναλώνει. Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός θα πρέπει: α) να *γνωρίζει* πού θα βρει και πώς θα χρησιμοποιήσει τη σχετική εφαρμογή, πώς να υπολογίσει σωστά την ενέργεια

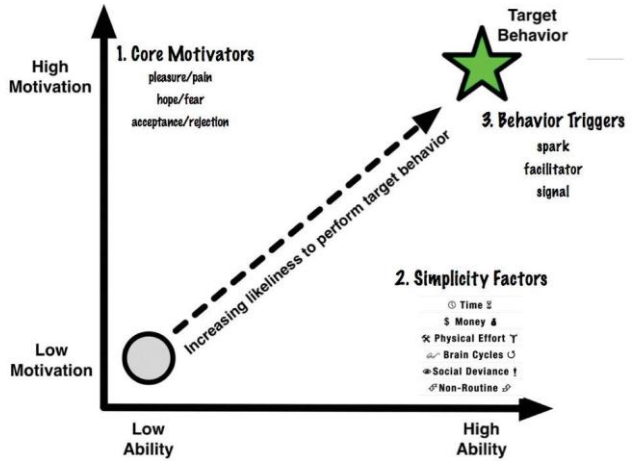
Submitted: January 23rd, 2015.

This work was supported in part by the Hellenic General Secretariat of Research and Technology under Grant 1605-BET-2013.

Authors are with the Electrical Engineering Department, TEI of Sterea Ellada, Psachna, Evia 34400, Greece.

Corresponding author: Aphrodite Ktena, Electrical Engineering Department, TEI of Sterea Ellada, Psachna, Evia 34400, Greece (e-mail: aktena@teiste.gr).

που θα χρειαστεί, πώς να επιλέξει την κατάλληλη τιμή *κ.α.* β) να έχει *κίνητρο* να μπει στη διαδικασία αυτή, όπως εξοικονόμηση χρημάτων, αδιάλειπτη παροχή ενέργειας *κ.α.* γ) να λαμβάνει ένα κατάλληλο εξωτερικό ερέθισμα την κατάλληλη στιγμή, *πχ* μια υπενθύμιση όταν τελειώνουν οι προαγορασμένες μονάδες του, μια ειδοποίηση όταν η τιμή της kWh είναι ανταγωνιστική, μηνύματα που θα τον βοηθούν στην πλοήγηση και χρήση της εφαρμογής *κ.α.*



Εικόνα 1: Το μοντέλο Fogg καθορίζεται από τρεις παραμέτρους: την ικανότητα, το κίνητρο, την ενεργοποίηση (trigger) [17]

III. Γνωσιακοι, Συναισθηματικοι και Κοινωνικοι Μηχανισμοι

Η Pandora πρόκειται να αναπτυχθεί για PC ή/και tablet και προορίζεται για κάθε ενήλικα χρήστη ανεξάρτητα από φυλή, φύλο, επίπεδο εκπαίδευσης, οικονομική, επαγγελματική, κοινωνική κατάσταση γιατί όλοι μας είμαστε χρήστες της ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο στόχος του χρήστη της εφαρμογής είναι με την χρήση των εργαλείων διαχείρισης, ελέγχου και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που έχει στη διάθεσή του, να επιτύχει να μηδενίσει την καθαρή ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνει το κτίριο ή κτίρια που διαχειρίζεται (net Zero Energy Buildings). Οι κινήσεις που κάνει μπορεί α) να του αποφέρουν όφελος, πχ σωστές απαντήσεις σε quiz β) να έχουν κόστος, πχ επένδυση σε ενεργειακά αποδοτικούς λαμπτήρες ή εγκατάσταση φωτοβολταϊκών αλλά είναι ο συνδυασμός τους, η σωστή τακτική και η επιλογή της κατάλληλης χρονικής στιγμής στην οποία θα κάνει την κάθε κίνηση που θα τον φέρουν κοντά στον στόχο.

A. Η Καινοτομια της Pandora

Η Pandora καινοτομεί σε σχέση με τα υπάρχοντα gamified παιχνίδια εξοικονόμησης ενέργειας, όπως τα Electric-Box 1&2 [18],[19], Energy Quest [20], EcoKids [21], Ollie's World [22] και Kids Energy Zone [23] τα οποία εστιάζουν κυρίως σε νεαρές ηλικίες, επειδή έχει στόχο όχι μόνο να εκπαιδεύσει αλλά και να τροποποιήσει συμπεριφορές χρηστών που βρίσκονται ηλικιακά σε μεγαλύτερες κλίμακες και συχνά μακριά από την τυπική εκπαίδευση. Ενώ, σε σχέση με τις υπάρχουσες εφαρμογές για ενήλικες, όπως τα ElectroCity [24], PowerMatrix [25], EnergyVille [26] και Energy2020 [27] καινοτομεί στο ότι επικεντρώνεται όχι μόνο στην ψυχαγωγία χρήστη αλλά και στην συναισθηματική εμπλοκή του τόσο με την εφαρμογή όσο και με το αντικείμενό της, την διαχείριση ηλεκτρικής ενέργειας, γιατί προσομοιώνει την κατανάλωση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με βάση πραγματικές απαιτήσεις κτιρίων και εξαρτημάτων και απαιτεί από τον χρήση να θέτει στόχους και να χρησιμοποιεί κατά τον βέλτιστο τρόπο τα εργαλεία και τους πόρους που του παρέχονται.

B. Το Γνωσιακο Μοντελο στην Εκπαιδευτικη Διαδικασια

Η καλλιέργεια της ικανότητας του χρήστη και άρα η μετατόπιση του δείκτη της ικανότητας προς τα δεξιά του οριζόντιου άξονα της Εικόνας 1 είναι η απόκτηση γνώσεων και δεξιοτήτων. Η μεθοδολογία που έχει επιλεγεί στην ανάπτυξη του εκπαιδευτικού περιεχομένου της εφαρμογής Pandora είναι προσαρμοσμένη στη γνωσιακή θεωρία η οποία εκτιμάται ως η πιο συμβατή με τη διαδικασία gamification. Είναι ιδανική για εξατομικευμένο περιβάλλον μάθησης, αφού ο χρήστης – μαθητής διαμορφώνει το περιβάλλον του, μέσα σε ένα όμως αυστηρά δομημένο πλαίσιο, όπως είναι αυτό των κανόνων των παιχνιδιών. Ο μαθητής από παθητικός δέκτης, γίνεται ενεργός εταίρος/παίκτης που συμμετέχει στη διαδικασία με: α) τις ενέργειες του, β) την σκέψη του, τη λογική του, γ) την αλληλεπίδρασή του με άλλους και το περιβάλλον του.

Η εφαρμογή καθοδηγεί τον παίχτη σε ανώτερα επίπεδα γνώσεων και δεξιότητας μέσα από την κατάκτηση επιπέδων. Η ανταμοιβή για την κατάκτηση ενός επιπέδου είναι η είσοδος σε ένα ακόμα δυσκολότερο επίπεδο. Ο χρήστης επιτρέπεται να διαμορφώσει το δικό του δρόμο προς την κορυφή μέσα από επιλογή επιμέρους στόχων και δραστηριοτήτων που του προσφέρονται: Ξεκινάει από απλές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις και απλές ενέργειες, όπως παρακολούθηση κατανάλωσης, αντικατάσταση συσκευών κλπ. Καλείται να ολοκληρώσει μικρές, σαφείς αποστολές κι ανταμείβεται όταν το καταφέρει. Η συγκέντρωση ικανού αριθμού πόντων, είτε μέσω αποστολών είτε μέσω επιτυχημένων επιλογών, του επιτρέπει να διαχειριστεί όλο και πιο πολύπλοκες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις και σενάρια λειτουργίας. Η εφαρμογή καθοδηγεί σταδιακά τον χρήστη στην κατάκτηση των βασικών γνώσεων και δεξιοτήτων για την οικονομική λειτουργία ηλεκτρικών εγκαταστάσεων αλλά και την παραγωγή και αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Από κάποιο επίπεδο κι έπειτα ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να επεκτείνει τον τομέα διαχείρισής του σε εικονικό αλλά και πραγματικό περιβάλλον.

IV. Η Ευαισθητοποιηση κι Εμπλοκη του Χρηστη

Η συναισθηματική εμπλοκή του χρήστη και η μετατόπιση του δείκτη motivation προς τα πάνω στον κάθετο άξονα της Εικόνας 1 χρησιμοποιεί τα δίπολα: α). απόλαυση / πόνος β) ελπίδα / φόβος γ) κοινωνική αποδοχή / απόρριψη.

Η εφαρμογή είναι έτσι σχεδιασμένη ώστε ο χρήστης να βιώνει συναισθήματα θετικά όπως είναι η περιέργεια, η ικανοποίηση, η αισιοδοξία αλλά και αρνητικά όπως ο εκνευρισμός και η αποτυχία. Μέσα από μηχανισμούς παιχνιδιού, πχ επίπεδα, ανταμοιβή, leaderboards, αποστολές,

κλπ επιδιώκει να μετατρέψει ισχυρά αρνητικά συναισθήματα, όπως η αποτυχία, σε θετικά ώστε να εμπλέξει σε μεγαλύτερο βαθμό τον χρήστη. Η αποτυχία έτσι γίνεται μέρος της μαθησιακής διαδικασίας και ο χρήστης μαθαίνει να αντέχει σε αυτήν χρησιμοποιώντας τη γνώση που αποκόμισε από κάθε αποτυχημένο κύκλο για να γίνει καλύτερος σε κάποιον επόμενο. Μαθαίνει έτσι ότι ανταμείβεται η προσπάθεια κι όχι μόνο η ικανότητα.

Το γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής που παρουσιάζεται αποσκοπεί στην συναισθηματική εμπλοκή του χρήστη *πχ* με τη χρήση χρώματος, αλλά αυτό θα αναπτυχθεί σε μεταγενέστερη δημοσίευση.

A. Η Κοινωνικη Διασταση της Pandora

Κάθε χρήστης διαμορφώνει σταδιακά μια ταυτότητα μέσα στο παιχνίδι και αναλαμβάνει ρόλους ανάλογα με τις αποφάσεις που παίρνει και τις επιδόσεις του. Η κοινωνική διάσταση του παιχνιδιού, του προσδίδει αναγνωρισιμότητα στην κοινότητα του παιχνιδιού και κοινωνικό 'status'. Η δυνατότητα σύναψης συμμαχιών (*συντεχνίες*) με άλλους χρήστες για την επέκταση και βέλτιστη απόδοση των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων που αυτοί ελέγχουν έναντι άλλων συντεχνιών, δημιουργεί συνθήκες 'εικονικής αγοράς' κι ανταγωνισμού.

Ο χρήστης αναπτύσσει την κοινωνική του διάσταση μέσα από: α) την αλληλεπίδραση: ο χρήστης μπορεί να 'βλέπει' τις κινήσεις των άλλων και να συνδιαμορφώνει το προφίλ του / θέση του στην αγορά, καθώς και να συγκρίνει τη θέση του και τις ενέργειές του έναντι άλλων β) τη συνεργασία: ο χρήστης μπορεί να δημιουργεί 'συντεχνίες' με άλλους παίχτες για να βελτιστοποιήσει τη θέση του στην αγορά γ) τον ανταγωνισμό: το σκορ του κάθε χρήστη αναγράφεται σε leaderboards, ο χρήστης έχει δυνατότητα εξαγοράς, επέκτασης ηλεκτρικής εγκατάστασης, ανάληψης ηγετικού ρόλου στην 'συντεχνία' δ) την κοινωνικοποίηση: ο χρήστης μπορεί να καλεί φίλους του στην εφαρμογή και να γνωρίζει άλλους χρήστες.

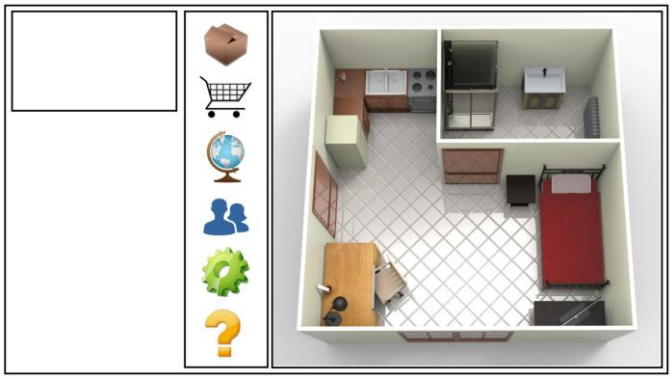
B. Ενεργοποιηση

Η Pandora θα χρησιμοποιήσει διαφόρους τύπους ερεθισμάτων από όλες τις κατηγορίες όπως αυτά περιγράφονται από το FBM (Εικόνα 1). Συγκεκριμένα: α) Sparks: Μηνύματα που σχετίζονται με τα τρία δίπολα κινήτρων, όπως μηνύματα κινδύνου, προειδοποίησης, επιβράβευσης, παραινέσεων. Για παράδειγμα, αν η εγκατάσταση που διαχειρίζεται ο χρήστης έχει πολύ υψηλή κατανάλωση θα εμφανίζονται μηνύματα προτροπής με διάφορες αποστολές και κουίζ, ώστε να μπορέσει να μαζέψει πόντους και να αγοράσει συσκευές καλύτερης ενεργειακής απόδοσης κι έτσι να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας στις εγκαταστάσεις του χωρίς να μειώσει τα επίπεδα άνεσης σε αυτήν β) Facilitators: συμβουλές που διευκολύνουν τον χρήστη να αυξήσει το σκορ του ή να βελτιώσει την απόδοσή του, αποστολές και δραστηριότητες που του επιτρέπουν να βελτιώσει τη θέση του, *πχ* να ανατρέξει στην βιβλιοθήκη, η οποία ενημερώνεται διαρκώς από τον διαχειριστή του συστήματος,, και να συμβουλευτεί άρθρα, κείμενα και νέα σχετικά με την ενέργεια. Οι χρήστες μπορούν επίσης οι ίδιοι να 'ανεβάζουν' χρήσιμο υλικό στη βιβλιοθήκη, μετά από έλεγχο από τον διαχειριστή του συστήματος γ) Triggers που απλώς υπενθυμίζουν στον χρήστη *πχ* ότι έχει 'ξεχάσει' τον θερμοσίφωνα αναμμένο, να 'αγοράσει' φωτοβολταϊκά, *κλπ*.

V. Η Εφαρμογη Pandora

Η εφαρμογή [28] ξεκινά με ένα εισαγωγικό επίπεδο, επίπεδο *μηδέν*, σκοπός του οποίου είναι να δώσει στον χρήστη μια γενική εικόνα για τα βασικά στοιχεία της εφαρμογής, να μπει στη διαδικασία να παίξει και να εξοικειωθεί με το περιβάλλον, τη δομή και τη ροή του παιχνιδιού. Ο χρήστης είναι υποχρεωμένος να περάσει από το εισαγωγικό αυτό στάδιο. Μπορεί να το παραλείψει μόνο αν έχει περιηγηθεί σε αυτό / παίξει με αυτό έστω μια φορά.

A. Το επιπεδο της οικιας



Εικόνα 2: Παράδειγμα μικρής οικίας – αρχικό επίπεδο.

Το πρώτο επίπεδο, της Οικίας, ξεκλειδώνει μόλις ολοκληρωθεί το εισαγωγικό (Εικόνα 2).

Ο χρήστης καλείται να τοποθετήσει κάποιες λευκές συσκευές οι οποίες υπάρχουν στην αποθήκη όπως, ψυγείο, ηλεκτρική κουζίνα, πλυντήριο, πλυντήριο πιάτων κλπ αλλά και ηλεκτρονικές συσκευές, όπως τηλεοράσεις, υπολογιστές, σε κατάλληλα σημεία.

Στην συνέχεια, πρέπει να πατήσει σε κάθε συσκευή που τοποθέτησε προηγουμένως και να διαβάσει τις συμβουλές που έχει η καθεμιά να του δώσει, είτε αυτές αναφέρονται στην ενεργειακή τους συμπεριφορά και την εξοικονόμηση ενέργειας, είτε σε άλλες πληροφορίες που θα τον καθοδηγήσουν για την συνέχεια του παιχνιδιού.

Τέλος, με τη βοήθεια χρήσιμων συμβουλών θα προγραμματίσει το χρονοδιάγραμμα λειτουργίας των συσκευών του με στόχο να βελτιστοποιήσει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο χρήστης πρέπει να διατηρεί τις τιμές των τριών μετρητών Gold (κερδισμένοι πόντοι), kWh (κατανάλωση ενέργειας), Happiness (επίπεδα άνεσης), σε τέτοια επίπεδα, ώστε να μπορεί να 'ξεκλειδώνει' κτίρια και να προχωρά.

B. Το Επιπεδο του Συγκροτηματος Γραφειου

Το επόμενο επίπεδο αφορά στη διαχείριση ενός συγκροτήματος Γραφείων και το οποίο ξεκλειδώνει αφού ο χρήστης συγκεντρώσει τον απαραίτητο αριθμό πόντων, που φυσικά αντιστοιχούν σε εμπειρία και γνώσεις, που έχει αποκτήσει από το προηγούμενο επίπεδο, της Οικίας.

Στο γραφείο δεν υπάρχουν τόσες διαφορετικές συσκευές όπως στην οικία, αλλά πολύ λιγότερες. Η κατανάλωση όμως των συσκευών αυτών είναι υψηλότερη, η χρήση τους και οι ώρες λειτουργίας διαφορετικά, και για αυτό ο χρήστης θα

πρέπει να χαράξει άλλη στρατηγική που θα τον βοηθήσει να πετύχει το στόχο του.

Τα βασικά ηλεκτρικά φορτία στο επίπεδο 'Γραφείο', είναι ο φωτισμός, ο οποίος σε ένα γραφείο είναι απαραίτητο να τηρείται σε συγκεκριμένα επίπεδα που καθορίζονται από διεθνή πρότυπα, και οι υπολογιστές που αν και είναι μικρότερης ισχύος σε σχέση με άλλες συσκευές που απαντώνται σε ένα σπίτι, ο μεγάλος αριθμός τους και οι ώρες λειτουργίας τους, αυξάνει την ενεργειακή κατανάλωση σημαντικά. Πέρα από αυτά τα δυο είδη φορτίων υπάρχουν επίσης κλιματιστικά, servers, εκτυπωτές, *κλπ*.

Σε αυτό το επίπεδο, ο χρήστης εισάγεται στην έννοια της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την, μερική ή ολική, κάλυψη των αναγκών των κτιριακών του εγκαταστάσεων. Ο χρήστης εκπαιδεύεται στα διάφορα είδη μικροπαραγωγής, το θεσμικό πλαίσιο που διέπει την μικροπαραγωγή στη χώρα μας, τον υπολογισμό της απόδοσής τους, και κυρίως στην ορθή επιλογή τους ώστε να μην επενδύσει μεγαλύτερο «κεφάλαιο» από ό,τι απαιτείται για να καταστήσει τα κτίρια του μηδενικής κατανάλωσης.

Οι χρήστες συνεχίζουν να «ξεκλειδώνουν» επίπεδα, δηλαδή κτίρια που διαχειρίζονται, χωρίς τα προηγούμενα να «κλείνουν». Όλα τα κτίρια συνεχίζουν να «λειτουργούν» κι άρα να καταναλώνουν. Έτσι ο χρήστης πρέπει να τα παρακολουθεί, να τα αναβαθμίζει και να βελτιστοποιεί διαρκώς την ενεργειακή τους συμπεριφορά. Ο χρήστης εκτός από τον εαυτό του ανταγωνίζεται και τους άλλες χρήστες τόσο μέσα από τον αριθμό πόντων που συγκεντρώνει και που εμφανίζονται σε ένα leaderboard όσο και μέσα από τη σύναψη συντεχνιών με άλλους χρήστες προκειμένου να ενώσουν τις δυνάμεις τους εναντίον άλλων ομάδων.

C. Το Επιπεδο My Home

Μια άλλη «πίστα» που θα μπορέσει να «ξεκλειδώσει» ο χρήστης στην εφαρμογή είναι το επίπεδο MyHome. Το MyHome είναι μια εφαρμογή υπολογισμού. Ο χρήστης καλείται να εισάγει έναν εικονικό ηλεκτρικό πίνακα διανομής του σπιτιού του ώστε να προσομοιώσει τη λειτουργία όλων των ηλεκτρικών συσκευών του, και όπου ο χρήστης μπορεί να εισάγει: α) την ισχύ σε Watt για κάθε συσκευή που έχει στο σπίτι του β) τις ώρες που λειτουργεί κάθε συσκευή.

Η εφαρμογή με αυτά τα στοιχεία καταγράφει την ενέργεια σε kWh που καταναλώνει κάθε συσκευή αλλά και συνολικά η εγκατάσταση. Οι συσκευές ανάλογα με το είδος τους βρίσκονται σε κάποιον από τους 4 (διαθέσιμους) χώρους της οικίας: Σαλόνι, Κουζίνα, Κρεβατοκάμαρα, Κήπος. Έτσι, ο χρήστης μπορεί να παρακολουθεί επίσης πόσο καταναλώνει κάθε χώρος σε ημερήσια ή μηνιαία βάση.

Επειδή δεν είναι δυνατόν η εφαρμογή να προβλέψει όλες τις συσκευές που έχει στον χώρο του ο χρήστης, διατίθεται η επιλογή 'Πρόσθεσε τη δική σου συσκευή' μέσω της οποίας ο χρήστης μπορεί να εισάγει επιπλέον δικές του συσκευές. Η λειτουργικότητα MyHome αποτελεί και το περιβάλλον διασύνδεσης ενός μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας, που θα παρουσιαστεί σε επόμενη εργασία, και οποίος μετρά κι ελέγχει πραγματικές καταναλώσεις.

VI. Συμπερασματα

Η Pandora, κάνοντας χρήση της τεχνολογίας gamification, παρουσιάζει μια νέα μεθοδολογία εκπαίδευσης σε θέματα ηλεκτρικής ενέργειας με απώτερο σκοπό την τροποποίηση της συμπεριφοράς των χρηστών σε θέματα κατανάλωσης, παραγωγής, εξοικονόμησης και γενικότερα διαχείρισης της ηλεκτρικής ενέργειας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., Nacke, L., "From Game Design Elements to Gamefulness: Defining "Gamification", *in Proc*. 15th International Academic MindTrek Conference: Envision Future Media Environments, pp. 9-15, 2011.

[2] "Gamification Design Elements" [Online]. Available: www.enterprise-gamification.com

[3] Zichermann, Gabe; Cunningham, Christopher, "Introduction" in *Gamification by Design: Implementing Game Mechanics in Web and Mobile Apps*, 1st ed., California: O'Reilly Media, 2011, p. xiv.

[4] Huotari, K., Hamari, J. "Defining Gamification - A Service Marketing Perspective" *in Proc*. 16th International Academic MindTrek Conference, 2012

[5] Hamari, J, "Transforming Homo Economicus into Homo Ludens: A Field Experiment on Gamification in a Utilitarian Peer-To-Peer Trading Service", *Electronic Commerce Research and Applications* v.12, n.4, pp. 236-245, 2013.

[6] Hamari, J., Koivisto, J., "Social motivations to use gamification: an empirical study of gamifying exercise", *in Proc*. 21st European Conference on Information Systems, 2013.

[7] Raymer R., "Gamification-Using Game Mechanics to Enhance E-Learning", *Elearn Magazine*, v. 9, n.3, 2011.

[8] Inaki Iglesias-Cancio (2014), "The application of gamification methodologies to e-learning contexts in order to enhance its students' performance, motivation, and collaboration", [Online]. Available: http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/32621/6/inakiigcaTFM0614memoria.pdf

[9] https://www.schoox.com/

[10] http://www.alittleb.it/products/skillato-e-learning-immersive-platform/

[11] Laster, J. (2010). "A class on game design has students playing to win" [Online]. Available: http://chronicle.com/blogs/wiredcampus/at-indiana-u-a-class-on-game-design-has-students-playing-towin/21981

[12] Ισαβέλλα Κοτίνη, & Σοφία Τζελέπη, "Θεωρητικό Μαθητοκεντρικό Μοντέλο Παιχνιδοποίησης για Ενεργή Συμμετοχή Μαθητών σε Δραστηριότητες Ανάπτυξης Υπολογιστικής Σκέψης", Πρακτικά 7ου Πανελλήνιου Συνέδριου Πληροφορικής, 2013.

[13] https://secure-nikeplus.nike.com/plus/

[14] https://www.quora.com/

[15] http://www.enterprise-gamification.com/index.php?option=com_content&view=article&id=209:bugathlon-turning-bugfixing-into-a-multiplayer-online game&catid=26&lang=en&Itemid=37

[16] http://workandplay.ru/

[17] BJ Fogg, A Behavior Model for Persuasive Design, *in Proc*, Persuasive'09, 2009

[18] http://www.candystand.com/play/electric-box

[19] http://www.candystand.com/play/electric-box-2

[20] http://www.energyquest.ca.gov/

[21] http://www.ecokids.ca/pub/index.cfm#

[22] http://www.olliesworld.com/club/gamehouse.htm

[23] http://www.kidsenergyzone.com/activitiesdetailall2.cfm?categoryid=1&activityid=8

[24] http://www.electrocity.co.nz/

[25] http://www.powermatrixgame.com/en/index.html

[26] http://www.energyville.com/energyville/

[27] http://www.2020energy.eu/el

[28] Δημήτρης Ενέα Μέλε, Ελσόν Μπεΐλέρι, Τσάκο Δουρίμ, Στεφάν Αλί, Ανάπτυξη εφαρμογής για την εκπαίδευση χρηστών σε θέματα εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση μηχανισμών Gamification, Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών ΤΕ, ΤΕΙ Στερεάς Ελλάδας, 2014

Assessment of User Experience with a Commercial BCI Device

Eirini Mathe
Department of Informatics and Telecommunications,
University of Athens
and
School of Computer Engineers T.E.,
Technological Educational Institute of Central Greece
email: eirini.mathe@gmail.com

Evaggelos Spyrou
Computational Intelligence Laboratory (CIL),
Institute of Informatics and Telecommunications,
National Center for Scientific Research - Demokritos
and
School of Computer Engineers T.E.,
Technological Educational Institute of Central Greece
email: espyrou@iit.demokritos.gr

***Abstract*—In this work we aim to evaluate the user experience with a state-of-the-art commercial brain-computer interface (BCI) device, namely the Neurosky Mindwave Mobile. This device is able to measure certain types of brain waves and translate them into quantitative measurements of users' attention and meditation, using a single, non-invasive electrode. To this goal we build a brain controlled toy car, which is based on the Arduino platform, and evaluate the user experience at a real-life experiment with 20 users, for whom this has been their first experience with a BCI device.**

I. Introduction

Electroencephalography is a widely used method for the neurological examination of brain electrical activity. During this examination changes in potential differences between brain cells are recorded. This results in a 2D signal which is called *electroencephalogram* (EEG). When we talk about EEG, we will refer to the recording of the spontaneous electrical activity of the brain. Usually, for recording the EEG, a set of electrodes is placed at specific points of the patient's head.

The EEG can be divided into two categories of activity, rhythmic and transients [1]. The rhythmic activity is divided into zones based on frequency. Depending on the frequency range, brain waves are divided into five distinct types of continuous sinusoidal rhythmic brain activity: α (alpha), β (beta), γ (gamma), δ (delta) and θ (theta).

Of course, the EEG devices are not yet able to read human thoughts. However, they are capable to provide an amount of information which may describe the general condition of a human, simply by measuring brain electromagnetic activity and applying specialized algorithms. Thus, it is possible e.g. to decide whether a person is concentrated or calm. While some years ago the EEG devices were very expensive, and were used by trained medical personnel, recently appeared some that are easy to use and also affordable to the average consumer. Naturally, their capabilities may not be compared to devices used in hospitals and diagnostic centers. Nevertheless, they are able to provide some simple measurements of the user's mental state.

The role of a Brain-Computer Interface (BCI) is to provide a direct path between the human brain and a computer, so as to allow communication. Focus on BCI research has been given mainly to prosthetic devices that aim to restore some senses e.g. hearing to deaf, vision to blind etc., or to allow control of prosthetic members to amputees. Recently, many research efforts focus on the replacement of traditional Human-Computer Interfaces (HCI) with BCI devices.

However, it is not straightforward even for an experienced HCI user to adopt to a BCI device. Also, many users seem sceptical to change their habits. This work focuses on a) to measure the user adaptation to one of the most affordable BCI devices; and b) to collect users' opinions after their first experience with BCI devices.

The remaining of this work is organized as follows: In Section II we present in brief the BCI device we used within our study, namely the Mindwave Mobile. Related work using Mindwave is discussed in Section III. In Section IV we describe the prototype car we built for the needs of our experiments. Experiments are presented in Section V. Finally, conclusions are drawn in Section VI.

II. Neurosky Mindwave Mobile

The Mindwave Mobile device[1], illustrated in Fig. 1, is a product of NeuroSky, Inc[2]. It is a low cost (about 99€, in Feb. 2015) Brain-Computer Interface (BCI) device. It was released in 2011 in Europe, targeting at education and entertainment uses. It is worn as a typical headset. Its primary sensor, which is responsible for reading brainwaves, is placed on the center of the forehead, while its secondary sensor, which serves as reference, is an ear clip. The primary sensor actually picks up the brain's electrical activity. Then divides this signal into a set of waves of different frequencies. These waves may then be processed to infer the mental state. The Mindwave also interprets those signals using a proprietary, embedded algorithm, namely eSense [2], and outputs two values that correspond to the user's attention (concentration) and meditation (relaxation). The former are calculated by α and θ waves,

[1] http://store.neurosky.com/products/brainwave-starter-kit
[2] http://neurosky.com/

while the latter by β and γ waves. It is also able to detect eye blinks.

The Mindwave device aims to be comfort and unobtrusive. Unlike typical BCI devices, its primary sensor is a dry one, i.e. it does not require any kind of gel for its fitting. It is built around the ThinkGear ASIC Module (TGAM)[3]. For data transfer, it uses the Bluetooth™protocol. Thus, it allows easy pairing with personal computers, mobile devices and also custom Bluetooth-enabled prototypes. The Mindwave Mobile is illustrated in Fig. 1a.

(a) (b)

Fig. 1. (a) The Mindwave Mobile device; (b) The prototype toy car we built and used for our study.

III. Related Work

The Mindwave Mobile and its ancestor, the Mindwave Mindset (which is identical to the Mobile, but instead of Bluetooth, it uses a wireless USB module), have been studied and used for experimentation purposes by many researchers. Among this large number of research works, herein we choose to present solely those that use Mindwave to control some kind of device. In [3], it has been used in conjuction with a face emotion recognition system, to control a wheelchair. In [4] a system which allows the control of a wheelchair using attention values and eye blinks is proposed. Another wheelchair control system for quadriplegic patients has been proposed in [5]. This system uses both attention and meditation values and additionally a gaze detection and a voice recognition system. The Mindwave has also been used as a BCI to control software. For example, in [6] a system that allows quadriplegic patients to perform emergency calls solely with their brain is presented. In [7] the authors propose a software able to control the mouse cursor using Mindwave, while in [8] a software able to control mouse buttons. A robotic vehicle, similar to the toy car we built in this work, is presented in [9]. In [10] the authors propose a method to brain interface with a geophysic software platform. Finally in [11] a typical maze game has been modified to allow control of the game character using the attention and meditation levels of the player. We should note that there exist many applications and research works that study the users' mind state, extract user preferences, create visual art using brainwaves etc. However these examples fall out of the scope of this paper. To the best of our knowledge, there does not exist any research work that studies user experience with the NeuroSky Mindwave.

IV. BCI-controlled Toy Car

In order to study user experience with the Mindwave Mobile, we chose not to implement a software application, but instead construct a toy car prototype. The motion of the car is controlled by the user's attention levels, which should be outreach a predefined threshold. We built this car around an Arduino Uno platform[4], equipped with a Bluetooth module. The two front wheels of the toy car were equipped with continuous rotation motors. Since this was our first experiment, we chose not to equip the car with more complex controls. This way users did not require a time consuming learning process to control the prototype, which allowed us to focus solely on studying their experience. The prototype toy car we built is illustrated in Fig.1b.

V. Experiments

A. Experimental Setup

In order to evaluate the user experience of the Neurosky Mindwave device, 20 real-life users were recruited to test our prototype. All users were undergraduate students of the Department of Computer Engineering T.E. of the Technological Educational Institute of Central Greece, familiar to a great extend with modern HCI devices. More specifically, we selected 10 male and 10 female users, whose ages varied between 21-25 years old. None of them had any previous real-life experience with a BCI device. All experiments took place in the same room, at a span of 5 consecutive days. During each experiment, the only present at the room were the user and a supervisor, at an effort to minimize all external distractions.

The trial we have set for the users was as follows: The prototype car was at first still and would start moving when the user's attention reached a predefined threshold. Upon this threshold, its speed was proportional to the attention value. The car had to move for 3m, at a straight line, without any obstacles. The user did not have neither an indication of neither the current measurement of time, nor of his/her previous measurements. The threshold value for the attention had been empirically set to 60%, since we observed that this value was neither "difficult" nor "easy" to achieve for users without any previous experience with BCI devices.

We measured the user adaptation under the following procedure: First we informed them about the use of the Mindwave headset and the eSense algorithm. Then, we showed them the correct fitting of the Mindwave headset and then we let them fit it on their head in a way they felt comfortable. Before the start of the experiment we inspected whether the fitting was correct. We observed that none of the users had any difficulty to wear the headset correctly. We let them free to select a comfort position. We observed that some of them chose to stay standing, others remained seated, while the majority was frequently changing positions. Each user repeated the experiment for 10 times. In Fig. 2 we depict some of the participants during the experiments. Upon of the completion of each

[3] http://www.seeedstudio.com/document/pdf/TGAM%20Datasheet.pdf

[4] http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno

Fig. 2. Some of the users that took part in this study, during the experiments. Photos have been taken upon the completion of the trials, at an effort to reduce distractions.

TABLE I. SPONTANEOUS COMMENTS BY THE PARTICIPANTS, AFTER THEIR SESSION.

Negative Comments	**Positive Comments**
It made me nervous.	I was fascinated from the device!
Sometimes it was impossible to concentrate.	Thanks for the experience!
When the prototype was not moving I felt anxious.	When it started moving for the first time, it felt great!

experiment, we interviewed in brief each of them, so as to collect their initial and spontaneous thoughts about their experience. After the completion of all series of experiments we created an anonymous web questionnaire and collected the answers from all the users.

B. Qualitative Evaluation

The qualitative evaluation of the Neurosky Mindwave Mobile device took place in two distinctive parts. Upon the completion of the experiment of each user, we interviewed them orally and collected their spontaneous feelings. We did not guide them by posing certain questions, but instead we simply asked to tell us anything they wanted for their experience. We depict the most interesting thoughts and comments in Table I.

After the completion of all experiments, we prepared a web questionnaire with several qualitative questions, and anonymously collected the users' answers. The first set of questions is depicted in Table II and concerns BCI devices in general. We explained to the users the notion and the functionality of BCI devices and investigated whether they have heard about the existence of such commercial/non-commercial devices, or even used one of them. The given answers to this set of questions indicate that the majority of the users was not informed on the existence of BCI devices and none of them has ever used such a device. We then informed the users about the available commercial/free applications of the commercial BCI devices and asked them if they were satisfied with these applications. Their answers are depicted in Table III. In general we feel that although users seem to like BCI devices, they are not excited by the variety of the current applications We also asked users to freely comment on their experience. Some indicative answers are depicted in Table IV. We should note the majority of comments at this question were strongly positive. Finally, we asked users to describe the procedure they followed in order to concentrate and whether it had the expected results. The answers vary significantly, as almost every user described a different procedure. Some of these answers are depicted in Table V.

TABLE II. FIRST SET OF QUALITATIVE QUESTIONS ON BCI DEVICES IN GENERAL.

Question	**No**	**Yes**	Total
q1: **Have you heard about BCI devices before?**	15 (75%)	5 (25%)	20
q2: **If you answered "yes" in q1, have you heard about commercial BCI devices before?**	11 (91.67%)	1 (8.33%)	12
q3: **If you answered "yes" in q2, have you used any commercial BCI device before?**	10 (100%)	0 (0%)	10

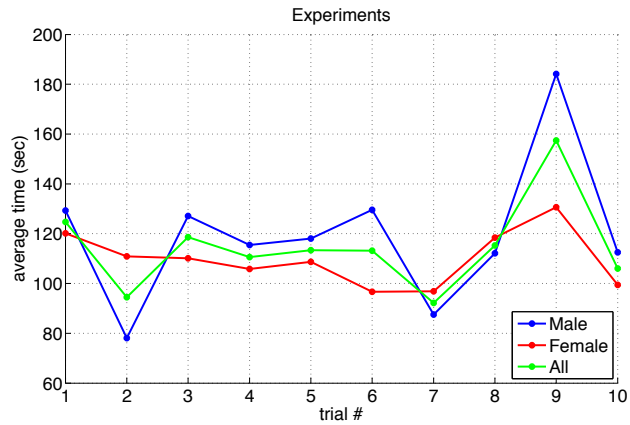


Fig. 3. Average times of male vs. female users at each trial.

C. Quantitative Evaluation

As it has already been mentioned, each user had to move the toy car at a distance of 3m, without any time limits. Upon the completion of each trial, we let them have a break of 2 mins. In Fig. 3 we depict the average times of the trials of all users. We may observe that for both male and female users the pattern of time vs. the number of trials was similar. The required time to complete the trial was decreasing until the 7th trial, but increased significantly at the 8th and 9th trial. After discussing this issue with users, we feel that this was due their fatigue from the continuous use of the BCI device. However at the last trial, the average time decreased again. This happened possibly due to the fact that the users relaxed, knowing that this was their last trial.

VI. CONCLUSIONS AND DISCUSSION

In this paper we presented an evaluation study on the users' experience when interfacing with one of the most affordable commercial, slightly obtrusive BCI devices, namely the Neurosky Mindwave Mobile. Our goals were twofold: a) to study if real-life users are able to use this device efficiently and how is this ability is improved over time; and b) to perform a qualitative evaluation of the users' opinions on BCI devices in general, *after* having their first experience. To this goal we constructed a simple prototype which was based on a toy car, which was able to move when its user reached a certain threshold of attention.

Users showed great interest when they first come into contact with a BCI headset. However, we observed that these feelings are often replaced by anxiety at the time of

TABLE III. Second set of qualitative questions on BCI applications and the Neurosky Mindwave Mobile device.

Question	1	2	3	4	5	Total
q4: **Are you satisfied of the quantity/quality of the available applications that use a BCI device? (1:Not at all - 5: Absolutely)**	2 (10%)	4 (20%)	9 (45 %)	5 (25%)	0 (0%)	20
q5: **The Mindwave Mobile device costs about 100 euro. Do you consider its cost cheap? (1:Not at all - 5: Absolutely)**	0 (0%)	1 (5%)	15 (75%)	4 (20%)	0 (0%)	20
q6: **Do you like the idea of a mind-controlled robotic platform? (1:Not at all - 5: Absolutely)**	1 (5%)	0 (0%)	0 (0%)	5 (25%)	14 (70%)	20
q7: **Would you buy a BCI device for entertaining purposes? (1:Not at all - 5: Absolutely)**	0 (0%)	4 (21.1%)	5 (26.3%)	5 (26.3%)	5 (26.3%)	19
q8: **Would you like to participate in another similar experiment? (1:Not at all - 5: Absolutely)**	1 (5%)	0 (0%)	2 (10%)	2 (10%)	15 (75%)	20

TABLE IV. Free comments by the participants, when asked for their opinion on the Mindwave Mobile device.

What are your thoughts about the Mindwave Mobile?
I would use the device again!
I really enjoyed using the device and I liked a lot the fact that it can translate the state of my brain
I have never used such a device, it was very interesting.
I think it is only useful for research purposes, at least for now.
I really liked it and I may buy it in the near future and use it for research.
The device was very easy to use.
I may buy one to have some fun!

TABLE V. Free comments by the participants, when asked for which procedure they followed to concentrate.

Describe the procedure you followed in order to concentrate and increase your attention.
I was checking my notifications on Facebook.
I took a book and started studying.
I was staring at a specifing mark on the floor.
When I was reading something, I found that my attention was getting higher.
I was staring on specific points, e.g. on the prototype, on marks of the wall and the floor.
At first I tried to focus on a brochure I had. It did not help. Then I tried to picture myself weight lifting and then the car started moving!
I was performing mathematic operations in my mind.
I was thinking about several things I liked, things that made me puzzled etc. At some point my mobile phone started ringing and after that everything got more and more difficult.
I was not thinking anything specific, I just focused on a point of the room.
I was focusing on some patterns on the shirt of the supervisor.
At first I started thinking about my holidays, then some song lyrics. Neither worked. Then I started thinking about my family and friends. This raised my attention at the desired level.

the use. The latter leads to difficulties. After they familiarize with the control of their attention, their performance increases significantly. However, on the last repetitions of the experiment, fatigue and anxiety to finish lead to a significant decrease. This was observed to the majority of the users and provides us with a strong argument that BCI devices are not yet ready for continuous use. We should emphasize that none of the users mentioned that suffered discomfort of any kind. We feel that this would not happen if we used a more complex device with more sensors or one that required the use of a special gel. Although the aforementioned statement seems to be a bit pesimistic, we strongly feel that BCI devices have a strong potential to evolve in the near future and to convert to a strong player in the area of HCI.

Future work will investigate more complex control using the limited capabilities of the Mindwave Mobile. We plan to exploit the eye blink detection and the meditation features. The detection of e.g. slow or fast eye blinks, may lead to decisions of turning the car left or right. Meditation along with the already used attention level may be combined to accelarate or brake the car. We shall use a more complex environment and challenge users to guide the car and avoid certain obstacles.

We also plan to use different and more heterogeneous groups of users. Instead of testing with young people who are familiarized to modern technology, it would be interesting to investigate the differences between younger/older, experienced/inexperienced users and to compare their adaptation and the limits of their fatigue.

References

[1] E. Niedermeyer and F.H. Lopes da Silva (eds.), *Electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields*, Lippincott Williams & Wilkins, 2005.

[2] *NeuroSky's eSense™Meters and Detection of Mental State*, Available at: http://company.neurosky.com/files/neurosky_esense_whitepaper.pdf, last accessed: Feb. 25, 2015

[3] E.J.L. Bagacina, J.R. Bedano, C.B. Goy, C.M. Oppus and G.L. Tangonan, *Peripheral Control Using EEG Signals and Facial Artifacts*, 2013

[4] V.R. Varada, D. Moolchandani and A. Rohit, *Measuring and processing the brains EEG signals with visual feedback for human machine interface*, Int. Journal of Sc. & Eng. Research, vol. 4, pp.1–4, 2013.

[5] C. McMurrough, I. Ranatunga, A. Papangelis, D.O. Popa and F. Makedon, *A development and evaluation platform for non-tactile power wheelchair controls*, in Proc. of Int. Conf. on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments, ACM, 2013.

[6] K.O. An, J.B. Kim, W.K. Song and I.H. Lee, *Development of an emergency call system using a brain computer interface (BCI)*, in Proc. of IEEE Conf. on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob), 2010.

[7] M.H. Alomari, A. AbuBaker, A. Turani, A.M. Baniyounes and A. Manasreh, *EEG Mouse: A Machine Learning-Based Brain Computer Interface*, Int. Journal of Adv. Comp. Science & Applications, vol. 5(4), 2014.

[8] F. Dernoncourt, *Replacing the computer mouse*. 2012. Available at: http://francky.me/doc/mouse2012.pdf, last accessed: Feb. 25, 2015.

[9] J.L. Lin, C.W. Young, H.C. Chuang, and C. Ay, *The Study of Toy Car Control Using EEG Signal*, 2012.

[10] A. Pethick, K. Lam and B. Harris, *Computing, Brains and Geophysics?*, ASEG Extended Abstracts, 2013(1), pp.1–4.

[11] P. Coulton, C.G Wylie and W. Bamford, *Brain interaction for mobile games*, in Proc. of Int. Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media, 2011.

Σύγχρονες εφαρμογές mHealth και μέθοδοι αξιολόγησης

Μαρίνου Μαρία, marymarinou@mail.ntua.gr

Μεταπτυχιακή Φοιτήτρια Διαπανεπιστημιακού Προγράμματος Βιοϊατρικής Τεχνολογίας του
Τμήματος Ιατρικής Πανεπιστημίου Πατρών & της
Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

Περίληψη

Κατά την διάρκεια των τελευταίων ετών, η χρήση των έξυπνων κινητών συσκευών έχει εισχωρήσει ραγδαία σε μια πληθώρα καθημερινών λειτουργιών. Ο τομέας της Υγείας προσφέρει πολύπλευρες δυνατότητες ανάπτυξης ιατρικών εφαρμογών οι οποίες μπορούν να εκτελούν από απλές λειτουργίες λήψης και καταγραφής τυπικών κλινικών μετρήσεων ζωτικών σημάτων, έως να λειτουργούν ως υπολογιστικά συστήματα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων. Το 2014 οι mHealth εφαρμογές που συγκαταλέγονταν στις κατηγορίες "medical" και "health and fitness" ξεπέρασαν τις 100.000! Εκτιμάται ότι το 2015 θα χρησιμοποιούνται από 500 εκατομμύρια χρήστες παγκοσμίως [1] , στους οποίους συμπεριλαμβάνονται απλοί χρήστες, ασθενείς αλλά και επαγγελματίες υγείας. Η ταχεία αυτή εξάπλωση των mHealth εφαρμογών γεννά την ανάγκη για την αξιολόγηση και την αποτίμησή τους. Η αναγκαιότητα αυτή επαληθεύεται από τον αυξημένο αριθμό διαθέσιμων εφαρμογών, από την επιβεβαιωμένα ελλιπή ποιότητα πολλών από αυτές [2] και από τις αυξημένες απαιτήσεις ασφάλειας και προστασίας που προϋποθέτει και απαιτεί η διαχείριση ευαίσθητων ιατρικών δεδομένων [3]. Ο Οργανισμός Ελέγχου Τροφίμων και Φαρμάκων των ΗΠΑ [4] και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή της Ευρωπαϊκής Ένωσης [5, 6] αποτελούν τα μόνα όργανα που έχουν θεσπίσει ένα σύνολο κανονισμών που καλούνται να πληρούν οι εφαρμογές mHealth, οι οποίοι ωστόσο καλύπτουν αποκλειστικά στις εφαρμογές που εντάσσονται στα ιατροτεχνολογικά προϊόντα [7]. Σήμερα, έχουν αναπτυχθεί μοντέλα αξιολόγησης από εταιρίες [8], ενώ παράλληλα προτείνονται μέθοδοι αξιολόγησης που βασίζονται στην εκτίμηση του τελικού χρήστη της εκάστοτε εφαρμογής [9].

Αναμφίβολο στοιχείο αποτελεί ότι η αξιολόγηση κάθε εφαρμογής οφείλει να προσαρμόζεται στο εκάστοτε περιβάλλον και τις συνθήκες χρήσης. Η υιοθέτηση της χρήσης των mHealth εφαρμογών θα συμβάλει ουσιαστικά καθώς θα βελτιώνει την ποιότητα ζωής των ασθενών και την πορεία της νόσου τους και θα αποτελεί κίνητρο για την αύξηση της ενημέρωσης και πρόληψης ενάντια σε ένα σύνολο ασθενειών. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται ένα τέτοιο πλαίσιο αξιολόγησης mHealth εφαρμογών που συμπεριλαμβάνει θέματα ασφάλειας και προστασίας του ιατρικού απορρήτου, μια τεχνική και εργονομική προσέγγιση αναφορικά με την χρηστικότητα των εφαρμογών, την ποιότητα του περιεχομένου τους, την διασυνδεσιμότητα, τον τύπο και την πλατφόρμα ανάπτυξης και το κόστος απόκτησης και λειτουργίας των εφαρμογών [10]. Πρόκειται για έναν τομέα ο οποίος προσφέρεται να συνεισφέρει ζωογονητικά πλεονεκτήματα στους χώρους της Υγείας και της Ιατρικής και για αυτό δεν πρέπει να μείνει ακάλυπτος αλλά να εναγκαλιστεί από ένα γενικό πλαίσιο προσαρμοστικής αξιολόγησης.

Λέξεις κλειδιά: mHealth, εφαρμογές mHealth, αξιολόγηση mHealth εφαρμογών, αποτίμηση mHealth εφαρμογών

<u>Σημαντική σημείωση:</u> Η παρούσα περίληψη υποβάλλεται με σκοπό να παρουσιαστεί το αντικείμενο που πραγματεύεται σε μορφή <u>αφίσας (poster)</u> αντί εργασίας.

Αναφορές

[1] Jahns R., Houck P., "The State of the Art of mHealth App Publishing. mHealth App Developer Economics 2014", May 2014. Available: www.mhealtheconomics.com

[2] Abroms L.C., Padmanabhan N. et al., "iPhone Apps for Smoking Cessation: A Content Analysis", American Journal of Preventive Medicine, Volume 40, Issue 3, pp. 279-285, Mar 2011.

[3] Ackerman L., "Mobile Health and Fitness Applications and Information Privacy: Report to California Consumer Protection Foundation", July 2013.

[4] U.S. Department of Health and Human Services - Food and Drug Administration, "Mobile medical applications - Guidance for Industry and Food and Drug Administration Staff, Sep 2013.

[5] Council of the European Union. COUNCIL DIRECTIVE 93/42/EEC of 14 June 1993 concerning medical devices. Official Journal of the European Communities, 2014.

[6] European Commission, "What process does a medical device have to follow to be placed on the market?", 2015. Available: http://ec.europa.eu/health/medical-devices/faq/market_en.htm

[7] Manikas K., Hansen K.M., Kyng M., "Governance Mechanisms for Healthcare Apps", Aug 2014.

[8] Happtique, "Health App Certification Program – Certification Standards", Feb 2013.

[9] Misra S., "Happtique's recent setback shows that health app certification is a flawed proposition", iMedicalApps, Jan 2014. Available: http://www.imedicalapps.com/2014/01/happtiques-setback-future-app-certification/

[10] Boulos M.N.K, Brewer A.C. et al., "Mobile medical and health apps: state of the art, concerns, regulatory control and certification", Online Journal of Public Health Informatics, Volume 5, No. 3, 2014.

CAPACITIVE IMMUNOSENSOR TO QUANTIFY C-REACTIVE PROTEIN

Christos Sapsanis, Shilpa Sivashankar, Hesham Omran, Ulrich Buttner, Khaled Salama

Novelty/ Progress Claims

We report an agglutination based immunosensor for quantification of C-reactive protein (CRP). The developed immunoassay-sensor requires approximately 10 mins assay time per sample and provides sensitivity of 0.5 mg/L. We measure the capacitance of gold interdigitated electrodes (IDEs) and quantify the concentration of analyte added. So far, we were able to quantify the concentration as low as 0.5 mg/L and concentration as high as 10 mg/L. By quantifying CRP in serum, we assess if patients are prone to cardiac diseases and also monitor risk associated with cardiac diseases. The sensor is simple in structure and low cost. These sensors have a great potential and can be a promising device for rapid and sensitive detection of disease markers at the point-of-care devices.

Background/ State of the Art

Immunoassays are crucial and versatile analytical tools with wide range of application in biomedical field. Efforts are made by researchers to detect ultrasensitive [1], label-free [2] simple and high throughput [3] assays. CRP is an inflammation and cardiac disease marker. Thus, detecting CRP is crucial and critical as various concentrations of it present in human serum indicates risk or presence of cardiac diseases [4]. Capacitive immunoassays are promising alternatives to immunochemical tests for the development of point-of-care devices. The analytes were bound to the antibody latex reagent that was immobilized on the electrode surface. The change in capacitance when analytes bind to antibody complex was measured and this entire set up was termed as capacitive biosensors. We are obtaining the mixture's relative permittivity by dividing the value after and before the agglutination. We developed of a capacitive immunosensor for accurate, rapid and cost-effective diagnosis and surveillance of diseases at the point-of-care.

Description of the New Method or System

Gold IDEs were fabricated using conventional photolithography process. It was then deposited with 350 nm of Parylene-C to enhance isolation for keeping the quality factor of the structure in normal levels. Schematic representation of fabrication process is shown in Figure 1 Anti-CRP antibodies coated on the latex beads were utilized throughout the experiments. Commercially available CRP (Applied Chem) was diluted to obtain various concentration of CRP. At first antibodies were immobilized and then the antigens were introduced to form an agglutination complex. The whole process is illustrated in Figure 2. Capacitance was measured by an Agilent LCR meter at a frequency of 1 MHz at 1 V and the read out value gave an indication of the analyte concentration.

Experimental Results

The results indicated the process of agglutination started immediately after analyte introduction and agglutination was progressing with time. Agglutination with change in time is for concentration of 2 mg/L is represented in Figure 3a. Initially the complexes were forming and there was increasing trend in the graph but they were stabilized approximately after 10 min as the complex network formed and the particles settled on the sensor surface as shown in Figure 3b. Analytes were added and the measured capacitance gave an indication of the analyte concentration with an average of three trials per sample, which is plotted in Figure 4. We chose concentrations based on risk at which a patient can be prone to cardiac disease. According to American Heart Association (AHA), if a CRP concentration is below 1.0 mg/L represents low risk; a range from 1.0 to 3.0 mg/L represents medium (average) risk; a measurement over 3.0 mg/L represents high risk. We see the 0.5 mg/L, 2 mg/L and 4 mg/L of the analyte concentration the capacitance increases whereas with 10 mg/L the capacitance decreases, which shows the presence of Hook effect. Hook effect is a common phenomenon in agglutination assays where in it shows false negative results even in presence of excess analyte.

REFERENCES:

[1] Yang Y-N et al (2009) An integrated microfluidic system for C-reactive protein measurement. Biosens Bioelectron 24:3091-3096.

[2] Okuno, J. et al (2007). Label-free immunosensor for prostate-specific antigen based on single-walled carbon nanotube array-modified micro-electrodes. *Biosens. Bioelectron.* 22 : 2377-2381.

[3] Wang, J. et al 2009. Colorimetric multiplexed immunoassay for sequential detection of tumor markers *Biosens. Bioelectron.* 25 (2), 532–536.

[4] W.B. Lee et al, An integrated microfluidic system for fast, automatic detection of C-reactive Protein *Sensors and Actuators B 157 (2011) 710– 721.*

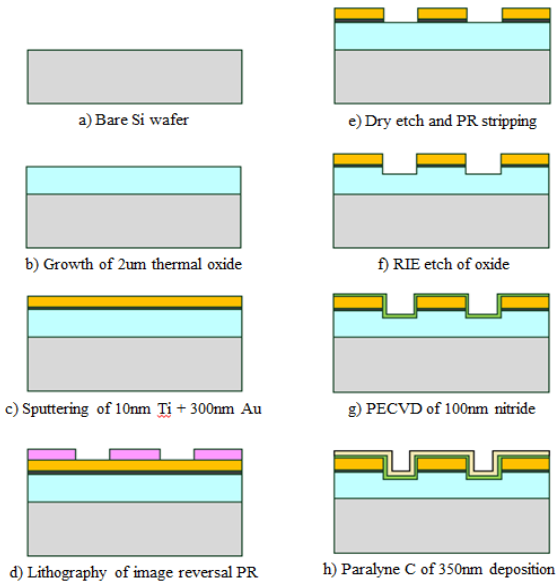


Figure 1: Fabrication process of interdigitated electrodes.

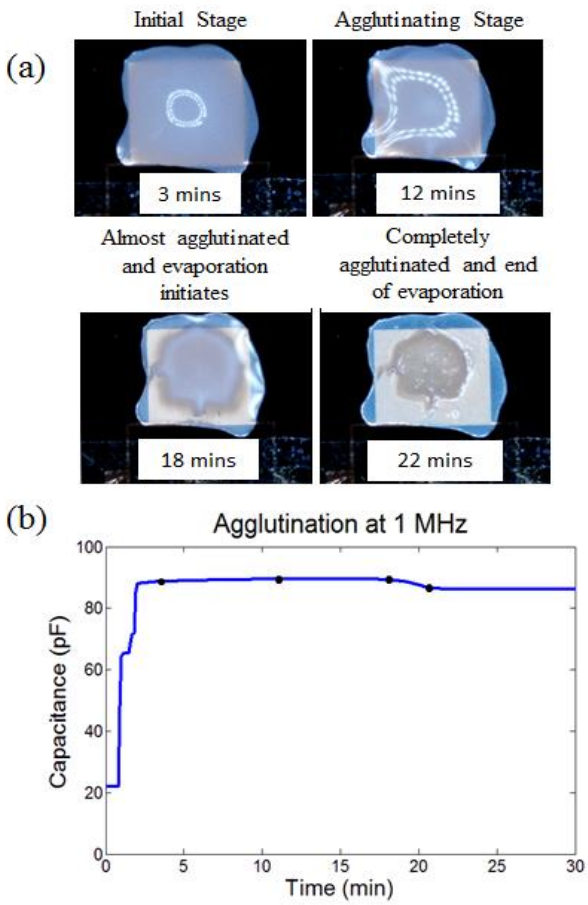


Figure 3: Agglutination progressing with time compared to the Capacitance vs Time diagram.

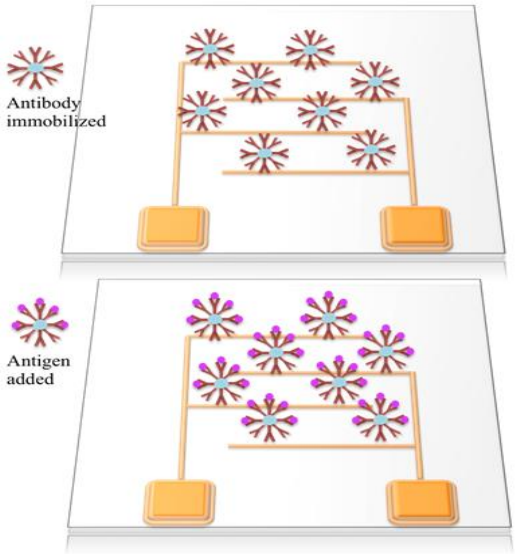


Figure 2: Agglutination Process: antibodies are first immobilized and then antigens are introduced to form complex network

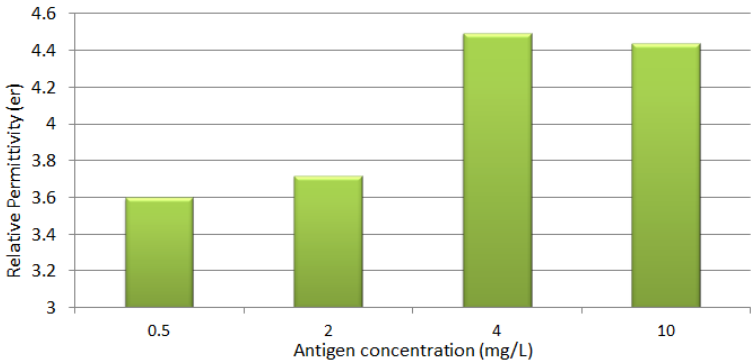


Figure 4: Relative Permittivity vs Antigen concentration.

Ενεργειακό Δυναμικό του Παλιρροϊκού Ρεύματος του Ευρίπου

Βασίλης Κατσίφας, Αφροδίτη Κτενά, Χρήστος Μανασής

***Περίληψη*— Η εργασία αναφέρεται στη δυνατότητα παραγωγής ενέργειας στην περιοχή του Ευρίπου κόλπου μέσω παλιρροϊκών ρευμάτων. Χρησιμοποιούνται στοιχεία και μετρήσεις ερευνών που έχουν διεξαχθεί στην περιοχή και επιχειρείται η εκτίμηση του ενεργειακού δυναμικού βάσει των ήδη εμπορικών παλιρροϊκών τουρμπινών. Παρουσιάζονται τέλος οι προϋποθέσεις, περιορισμοί και δυνατότητες και για την αξιοποίηση της παλιρροϊκής ενέργειας στην πόλη της Χαλκίδας.**

Λέξεις Κλειδιά *— Παλίρροια, παλιρροϊκές τουρμπίνες, Παλιρροϊκά ρεύματα, Εύριπος, Παλιρροϊκή ενέργεια, βαρυτικές δυνάμεις*

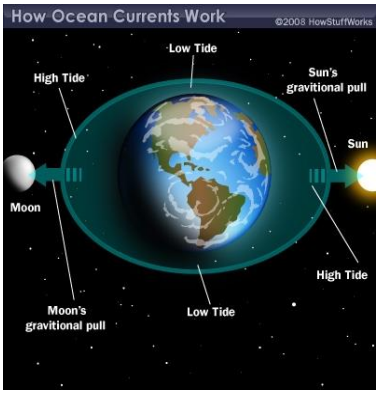
I. Εισαγωγη

Δυο από τα μεγαλύτερα προβλήματα που έχει να αντιμετωπίσει η ανθρωπότητα είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με την παραγωγή ενέργειας. Από τη μια, οι μέχρι σήμερα πιο αποδοτικοί τρόποι παράγωγης ενέργειας (ορυκτά καύσιμα) είναι γνωστό πως δεν υπάρχουν σε αφθονία στη Γη και από την άλλη η χρήση αυτών έχει αποδειχθεί εξαιρετικά επιβαρυντική για το περιβάλλον. Έτσι, οι πιο ανεπτυγμένες κοινωνίες έχουν στραφεί στην ανάπτυξη των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας.

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια ραγδαία αύξηση των διεθνών ερευνών που γίνονται σχετικά με τις Α.Π.Ε. και σκοπό έχουν την αύξηση της αποδοτικότητας τους. Οι μορφές ενέργειας που κυριαρχούν αυτή την στιγμή είναι η Ηλιακή, η Αιολική, η Βιομάζας και η Γεωθερμική. Με εξαίρεση την Υδροηλεκτρική ενέργεια, η τιθάσευση της δύναμης της θάλασσας αποτελούσε πάντα ένα μεγάλο στοίχημα.

Προσπάθειες εκμετάλλευσης της δύναμης της θάλασσας έχουν γίνει μέσω της κυματικής ενέργειας, της θερμικής ενέργειας των ωκεανών και της ενέργειας των παλιρροϊκών ρευμάτων. Η τελευταία παρουσιάζει δυο πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα: την προβλεψιμότητα γιατί το φαινόμενο της παλίρροιας οφείλεται στα βαρυτικά πεδία που προκαλεί η κίνηση του Ήλιου, της Σελήνης και της Γης και την επάρκεια καθώς εμφανίζεται παντού στον κόσμο.

Με τον όρο παλίρροια εννοούμε "την περιοδική άνοδο και πτώση της στάθμης της θάλασσας σε μια ορισμένη περιοχή [1]. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται καταρχήν στις ελκτικές δυνάμεις που ασκούν στη Γη, η Σελήνη και, δευτερευόντως, ο Ήλιος. Επίσης, η περιστροφή της ίδιας της Γης επηρεάζει τον σχηματισμό των παλιρροιών. Η Σελήνη, ως το πιο κοντινό στη Γη ουράνιο σώμα, με το βαρυτικό της πεδίο προκαλεί στον πλανήτη μας δυο διογκώσεις στους ωκεανούς. Ο Ήλιος, λόγω της μακρινής του απόστασης από την Γη, δημιουργεί αντίστοιχες διογκώσεις οι οποίες όμως είναι 46% με 50% μικρότερες σε σχέση με αυτές της Σελήνης. Αντίθετα με τον Ήλιο, ο όποιος περιστρέφεται γύρω από τη Γη μια φορά την ημέρα, η Σελήνη κάνει αυτή την περιστροφή μια φορά ανά 27 ημέρες. Η σχετική κίνηση των τριών σωμάτων, Γης, Σελήνης και Ήλιου, οι χρόνοι περιστροφής της Σελήνης γύρω από τη Γη (27 μέρες) και της Γης γύρω από τον Ήλιο (1 ημέρα) οδηγεί στην περιοδική αυξομείωση του επίπεδου των παλιρροιών μέσα στο χρόνο και τις κατηγοριοποιεί με βάση: α) το *παλιρροϊκό εύρος*, δηλαδή ύψος τους, σε Υψηλές (Spring/High) και Χαμηλές (Neap/Low) β) την *περιοδικότητα* τους, σε 1) ημερήσιες (Diurnal ή Daily Tides) με παλιρροϊκή περίοδο διάρκειας 24 ωρών και 50 λεπτών 2) ημι-ημερήσιες (Semi-diurnal Tides) με παλιρροϊκή περίοδο διάρκειας 12 ωρών και 25 λεπτών και 3) μικτές (Mixed Tides). Ως παλιρροϊκή περίοδος ορίζεται το διάστημα μεταξύ των διαδοχικών υψηλών ή χαμηλών παλιρροιών [2].



Εικόνα 1: Πως συνεισφέρουν η Σελήνη και ο Ήλιος στη δημιουργία των παλιρροιών [2]

II. Η Παλιρροϊκη Ενεργεια

Η εκμετάλλευση της παλίρροιας και της δύναμης της, με σκοπό την παραγωγή ενέργειας δεν είναι κάτι άγνωστο. Από τις αρχές του 8ου κιόλας αιώνα, Ισπανοί, Γάλλοι και Βρετανοί έχτιζαν παρόμοιες με τις σημερινές «παλιρροϊκές λίμνες» [1]. Σήμερα δυο είναι τρόποι εκμετάλλευσης της δύναμης της: 1) τα Παλιρροϊκά Φράγματα (tidal barrages) τα οποία εκμεταλλεύονται το παλιρροϊκό εύρος, την αυξομείωση δηλαδή της στάθμης της επιφάνειας της θάλασσας στις ακτές και 2) οι τουρμπίνες παλιρροϊκών ρευμάτων (tidal current turbines) οι οποίες εκμεταλλεύονται τα δυνατά υποθαλάσσια ρεύματα που η παλίρροια δημιουργεί κατά την κίνηση της. Και στις δυο περιπτώσεις, για την παραγωγή ενέργειας απαιτούνται τουρμπίνες, η αρχή λειτουργίας των οποίων είναι ίδια με των ανεμογεννητριών, με τη διαφορά ότι οι πρώτες εκμεταλλεύονται την ταχύτητα, U, με την οποία το παλιρροϊκό ρεύμα προσπίπτει στην τουρμπίνα αντί για την ταχύτητα του αέρα [3].

$$P = \frac{1}{2}\rho A U^3 C_p \qquad (1)$$

όπου P είναι η αποδιδόμενη ισχύς σε kW, ρ η πυκνότητα του νερού, A η επιφάνεια σάρωσης των πτερυγίων της

Submitted: January 23rd, 2015.

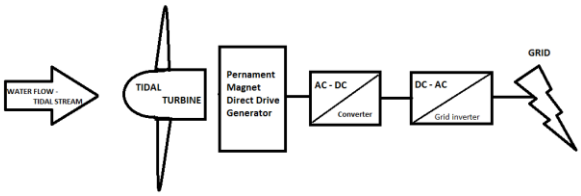
This work was supported in part by the Hellenic General Secretariat of Research and Technology under Grant 1605-BET-2013.

Authors are with the Electrical Engineering Department, TEI of Sterea Ellada, Psachna, Evia 34400, Greece.

Corresponding author: Aphrodite Ktena, Electrical Engineering Department, TEI of Sterea Ellada, Psachna, Evia 34400, Greece (e-mail: aktena@teiste.gr).

τουρμπίνας και C_p ένας αδιάστατος συντελεστής απόδοσης της τουρμπίνας.

Εκτός από την προβλεψιμότητα η οποία οφείλεται στην περιοδική κίνηση ουράνιων σωμάτων, ένα άλλο πλεονέκτημα της παλιρροϊκής ενέργειας είναι η μεγάλη πυκνότητα του νερού, που είναι 1027 $\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε κατασκευές που απαιτούν μικρότερη επιφάνεια σάρωσης από τις ανεμογεννήτριες. Βέβαια, το γεγονός ότι οι τουρμπίνες αυτές πρέπει να λειτουργούν μέσα στο μη φιλικό προς τις κατασκευές θαλάσσιο περιβάλλον επιβάλλει περιορισμούς και προβάλλει προκλήσεις που καθιστούν την εκμετάλλευση της παλίρροιας ένα ανοιχτό αλλά και επίκαιρο πρόβλημα στις μέρες μας.



Εικόνα 2: Σχεδιάγραμμα λειτουργίας παλιρροϊκής γεννήτριας.

Οι παλιρροϊκές τουρμπίνες (Εικόνα 2) διακρίνονται, όπως και οι ανεμογεννήτριες, σε 1) οριζοντίου και 2) καθέτου άξονα. Οι δυο σημαντικές λειτουργικές διαφορές τους είναι α) η περιοχή σάρωσης (A) η οποία είναι κυκλική στις οριζοντίου άξονα και τετραγωνική στις καθέτου και β) η δυνατότητα περιστροφής των πτερυγίων η οποία στις οριζοντίου άξονα είναι μονής ή διπλής κατεύθυνσης ενώ αντίστοιχα στις καθέτου είναι πολλαπλής κατεύθυνσης (omni-directional).

Η κίνηση των πτερυγίων μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω μιας γεννήτριας η οποία συνδέεται στο δίκτυο με τη βοήθεια ενός μετατροπέα AC/DC κι ενός DC/AC. Η συνολική απόδοση της τουρμπίνας C_p είναι το γινόμενο των επιμέρους συντελεστών απόδοσης κάθε μπλοκ του σχεδιαγράμματος της Εικόνας 2. Παλιρροϊκές γεννήτριες οριζοντίου άξονα βρίσκονται εγκατεστημένες στο Den Oever [4] της Ολλανδίας ενώ αντίστοιχα καθέτου άξονα μοντέλα είχαν χρησιμοποιηθεί σε δοκιμαστικά έργα στην περιοχή Borssele [5] της Ολλανδίας.

III. ΠΑΛΙΡΡΟΪΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΕΥΡΙΠΟΥ ΚΟΛΠΟΥ

Το φαινόμενο της παλίρροιας εμφανίζεται σε διάφορα σημεία της Ελλάδας. Μεγαλύτερη ένταση εμφανίζει στην περιοχή του Ευρίπου κόλπου. Η παλίρροια γίνεται εύκολα αντιληπτή στο Βόρειο και στο Νότιο τμήμα του λιμανιού της Χαλκίδας όπου ανά 12 ώρες η κίνηση των υδάτων αλλάζει κατεύθυνση κατατάσσοντας την παλίρροια σε ημι-ημερήσια και εμφανίζει τις μέγιστες τιμές της την περίοδο της Νέας Σελήνης ή σε περίοδο Πανσελήνου (Σελήνη 15 ημερών). Τα βιβλιογραφικά στοιχεία για την παλίρροια του Ευρίπου είναι ελάχιστα και δεν έχει γίνει μέχρι σήμερα συστηματική καταγραφή και χαρτογράφηση. Μια από τις σημαντικότερες τέτοιες προσπάθειες είναι η ιδιωτική έρευνα του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε) ενώ σημαντική πηγή στοιχείων αποτελεί και η βάση δεδομένων του Πολεμικού Ναυτικού (ΠΝ).

Οι μετρήσεις του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. έγιναν σε τρία διαφορετικά σημεία, στη Νέα Γέφυρα, στην Παλιά Γέφυρα και στο βόρειο τμήμα του Λιμανιού της Χαλκίδας από τον Μάιο έως τον Ιούλιο του 2010. Κατά την περίοδο αυτήν κατεγράφησαν χρονοσειρές της σημειακής ταχύτητας του ρεύματος με απλό ρευματογράφο στα τρία αυτά σημεία αλλά και το διάνυσμα της ταχύτητας (μέτρο και κατεύθυνση) κατά βάθος και κατά πλάτος με ροόμετρο Doppler.

Τα αποτελέσματα της έρευνας του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε συνοψίζονται στον Πίνακα 1 όπου αποτυπώνονται, για κάθε περιοχή μέτρησης, οι μέγιστες, $\mathrm{U_{max}}$, και μέσες ταχύτητες, $\mathrm{U_{mean}}$, καθώς και η μέση πυκνότητα ισχύος, APD του παλιρροϊκού ρεύματος όπως υπολογίστηκαν από το ιστόγραμμα της κατανομής πιθανότητας ταχυτήτων που παραχωρήθηκε από το ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.. Η APD υπολογίστηκε από τον τύπο [3]:

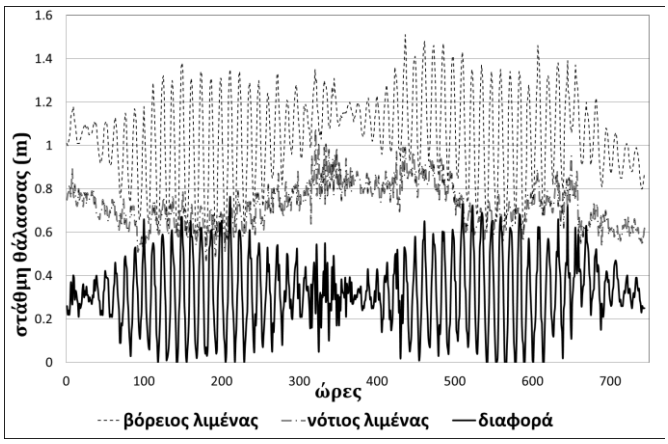
$$APD = \frac{1}{2}\rho \sum_{i=1}^{NB} \left(U_i^3 f(U_i)\right) = \frac{1}{2}\rho U_{rms}^3 \quad (2)$$

όπου U_i το κέντρο του κάθε διαστήματος ταχύτητας, N_B το πλήθος των διαστημάτων, $f(U_i)$ η πιθανότητα εμφάνισης της κάθε ταχύτητας, ρ η πυκνότητα του νερού και $\mathrm{U_{rms}}$ η ενεργός τιμή της ταχύτητας όπως αυτή ορίζεται από την (2).

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι ΜΕΣΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΠΑΛΙΡΡΟΪΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΕΥΡΙΠΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.

Περιοχή	Νέα Γέφυρα	Παλαιά Γέφυρα	Βόρειο Τμήμα Λιμ
$\mathrm{U_{MAX}}$	0.71	3.13	0.73
$\mathrm{U_{MEAN}}$	0.30	1.29	0.28
$\mathrm{U_{RMS}}$	0.28	1.22	0.27
APD	13.46	1105.87	11.55

Η Υδρογραφική Υπηρεσία (Υ.Υ.) του Πολεμικού Ναυτικού έχει εγκατεστημένους παλιρροιογράφους στην είσοδο του λιμανιού της Χαλκίδας οι οποίοι καταγράφουν τις χρονοσειρές στάθμης της θάλασσας στο βόρειο και νότιο άκρο του λιμανιού. Στην παρούσα μελέτη, οι υπολογισμοί που παρουσιάζονται πιο κάτω βασίζονται στα δεδομένα του χρονικού διαστήματος Οκτώβριος 2010 - Δεκέμβριος 2010. Με βάση τις χρονοσειρές αυτές υπολογίστηκε η διαφορά στάθμης, Δh, (Εικόνα 3).



Εικόνα 3: Η στάθμη της θάλασσας στο Βόρειο και Νότιο άκρο του λιμανιού και η διαφορά τους για τον μήνα Οκτώβριο

Παρατηρούμε ότι στο Νότιο άκρο η στάθμη έχει μικρή διακύμανση και δεν αποτυπώνει το φαινόμενο της Παλίρροιας όπως οι μετρήσεις της στάθμης στο Βόρειο άκρο, με αποτέλεσμα η διαφορά στάθμης να καθορίζεται κυρίως από τις τελευταίες όπου διακρίνονται καθαρά οι τέσσερις φάσεις της Σελήνης και οι αντίστοιχες Υψηλές / Χαμηλές παλίρροιες.

Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας την εξίσωση Bernoulli [3] υπολογίστηκε η κατά προσέγγιση τιμή της ταχύτητας *U* του ρεύματος στην περιοχή του λιμανιού της Χαλκίδας (Εικόνα 4):

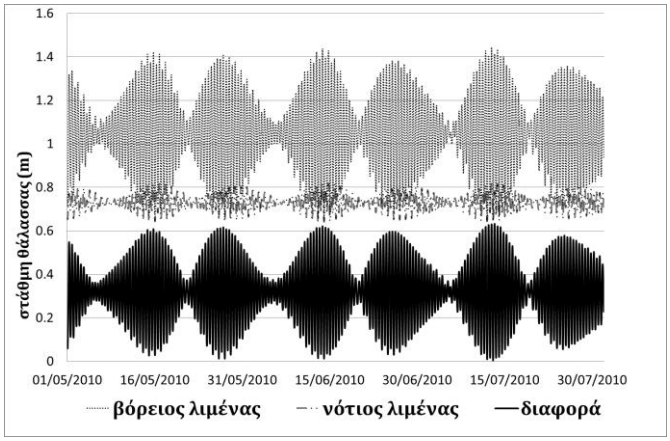
$$U = \sqrt{2 * g * \Delta h} \qquad (3)$$

όπου *g* η βαρυτική επιτάχυνση της Γης

Εικόνα 4: Σωρευτική κατανομή ταχυτήτων για τον Οκτώβριο 2010

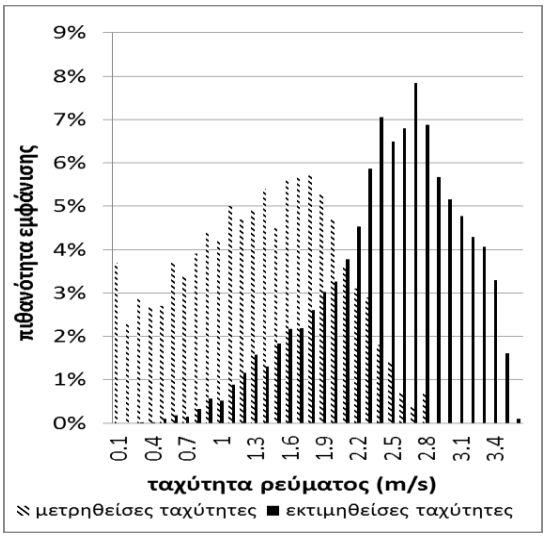
Επισημαίνεται ότι η (3) αναφέρεται σε ομοιόμορφη ροή και δεν λαμβάνει υπόψη την μορφολογία του πυθμένα και ΤΩΝ όχθων. Ο υπολογισμός συνεπώς της ταχύτητας με βάση τις μετρήσεις στάθμης και την (3) δεν είναι ακριβής και οδηγεί σε υπερεκτίμηση.

Προκειμένου να γίνει σύγκριση με τα αποτελέσματα του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε., οι μετρήσεις της Υ.Υ. χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της στάθμης της θάλασσας στο βόρειο και νότιο λιμένα κατά το διάστημα Μάιος 2010 – Ιούλιος 2010 που καλύπτεται από τις μετρήσεις του ΕΛΚΕΘΕ. Για την ανάλυση αυτή χρησιμοποιείται η μέθοδος HAMELS (Harmonic Analysis, Method of Least Squares) [7] μαζί με την βοήθεια της MATLAB: γίνεται αρμονική ανάλυση μιας χρονοσειράς μετρήσεων στάθμης ελάχιστου μήκους 14 ημερών και οι προκύπτουσες αρμονικές συνιστώσες χρησιμοποιούνται για την ανασύσταση της ίδιας χρονοσειράς ή την εκτίμηση της στάθμης (Εικόνα 4), με τη βοήθεια της (3), σε διαφορετική χρονική περίοδο.



Εικόνα 5: Εκτίμηση στάθμης μεταξύ των δυο άκρων του λιμανιού για το τρίμηνο Μάιο-Ιούνιος 2010.

Για να ελεγχθεί η ακρίβεια της μεθόδου υπολογισμού της ταχύτητας τους ρεύματος με βάση τις μετρήσεις στάθμης της Υ.Υ. έγινε σύγκριση των ταχυτήτων που μετρήθηκαν από το ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. για τους μήνες Μάιος 2010 – Ιούλιος 2010 με τις ταχύτητες που υπολογίστηκαν με βάση τις μετρήσεις στάθμης της Υ.Υ. και τη μέθοδο HAMELS για το ίδιο διάστημα. Το αποτέλεσμα της σύγκρισης αποτυπώνεται στην Εικόνα 6.



Εικόνα 6: Σύγκριση μετρουμένων με εκτιμώμενες ταχύτητες για τον Οκτώβριο 2010

Από την Εικόνα 6 προκύπτει ότι, όπως ήταν αναμενόμενο, όντως οι τιμές της μεθόδου HAMELS είναι σχετικά υπερεκτιμημένες σε σχέση με τις αντίστοιχες πραγματικές. Παρόλα αυτά, διατηρούν στοιχεία της πραγματικής κατανομής και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μια πρώτη εκτίμηση του ενεργειακού δυναμικού.

IV. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

Για την εκτίμηση του ενεργειακού δυναμικού της περιοχής χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία για τις παλιρροϊκές τουρμπίνες της εταιρίας Tocardo B.V. [4] τα οποία παραχωρήθηκαν κατόπιν σχετικής επίσκεψης στα γραφεία της εταιρίας. Πιο συγκεκριμένα, το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για τους υπολογισμούς είναι το T2, τα χαρακτηριστικά του οποίου παρατίθενται στον Πίνακα II.

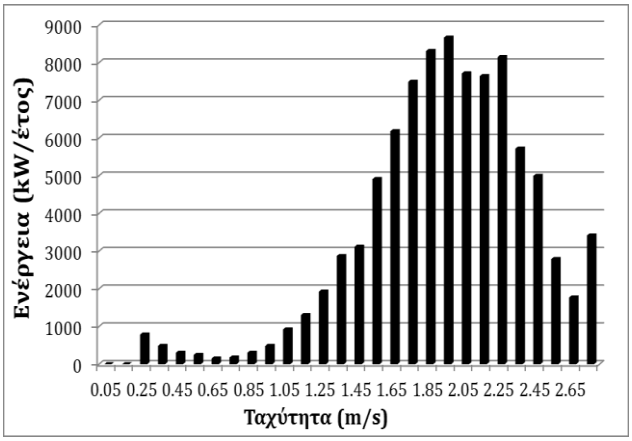
ΠΙΝΑΚΑΣ II ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΑΛΙΡΡΟΪΚΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ T2

ΙΣΧΥΣ	87-200 kW
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ	2
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ	4.5-9.0 m
ΠΕΡΙΟΧΗ ΣΑΡΩΣΗΣ	15.8-63.7 m^2
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ	22-45 rpm
ΤΥΠΟΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ	Αμφίδρομος

Το μοντέλο αυτό επιλέχθηκε ως το πλέον κατάλληλο για τις καταγραφείσες ταχύτητες. Ας σημειωθεί ότι όσο μικρότερες οι ταχύτητες του ρεύματος τόσο μεγαλύτερη πρέπει να είναι η διάμετρος των πτερυγίων, δηλαδή τόσο μεγαλύτερο χώρο καταλαμβάνει στο κανάλι, τόσο κατά πλάτος όσο και κατά ύψος.

Οι παρακάτω υπολογισμοί λαμβάνουν υπόψη την κατανομή ταχυτήτων για τους μήνες Μάιος 2010 – Ιούνιος 2010, όπως

προκύπτουν από μετρήσεις στην Παλαιά Γέφυρα και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της Τ2. Στην Εικόνα 7 φαίνεται η παραγόμενη ενέργεια ανά έτος ανάλογα με την ταχύτητα του ρεύματος για το μοντέλο Τ2. Για ταχύτητες μικρότερες από 0.25 m/s, η Τ2 δεν εκκινεί γι' αυτό και η μηδενική παραγωγή ενέργειας. Η βέλτιστη περιοχή λειτουργίας της Τ2 είναι μεταξύ 1.5 έως 2.5 m/s. Από τον Πίνακα Ι προκύπτει ότι το ρεύμα στην Παλαιά Γέφυρα έχει μέση κι ενεργό τιμή ταχύτητας 1.29 και 1.22 m/s αντίστοιχα και άρα η παραγωγή δεν αναμένεται να ξεπερνά τις 3000 kWh το χρόνο. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η κατανάλωση του μέσου ελληνικού νοικοκυριού, σύμφωνα με στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ για το 2012 είναι 3750 kWh. Δηλαδή μια Τ2 στην Παλαιά Γέφυρα μετά βίας καλύπτει τις ανάγκες ενός μέσου νοικοκυριού. Τα πράγματα είναι ακόμα πιο δυσοίωνα αν λάβει κανείς υπόψη του ότι η Παλαιά Γέφυρα είναι το σημείο όπου καταγράφονται μεν οι μεγαλύτερες ταχύτητες αλλά είναι και το λιγότερο κατάλληλο για τοποθέτηση υποβρύχιας τουρμπίνας αφού είναι το στενότερο σημείο του πορθμού, με περίπου 8 μέτρα βάθος και έχει μεγάλη κυκλοφορία σκαφών. Άρα η Τ2 που απαιτεί τουλάχιστον 7 m (Πίνακας ΙΙ) για την ορθή λειτουργία της θα παρεμπόδιζε την κυκλοφορία και θα καθιστούσε την εγκατάσταση της αδύνατη. Η παραγόμενη ενέργεια θα μπορούσε να πολλαπλασιαστεί αν εγκαθίστατο όχι μία τουρμπίνα αλλά ένα πάρκο από συστοιχίες τουρμπινών. Αυτό όμως δεν είναι εφικτό, λόγω της έλλειψης χώρου σε εκείνο το σημείο.



Εικόνα 7: Παραγωγή ενέργειας από την τουρμπίνα Τ2 συναρτήσει της ταχύτητας ρεύματος

Καταλληλότερα σημεία για εγκατάσταση τουρμπινών είναι στα ευρύτερα σημεία του πορθμού, όπως κοντά στη Νέα Γέφυρα, όπου όμως η ταχύτητα του ρεύματος είναι περίπου υποτετραπλάσια και απαγορευτική για τις υπάρχουσες τεχνολογίες τουρμπινών.

Με βάση τα αποτελέσματα αυτά προκύπτει πως το ενεργειακό δυναμικό του Ευρίπου είναι μεν μικρό αλλά όχι ασήμαντο. Η σημερινή τεχνολογία σε τουρμπίνες, οι οποίες έχουν αναπτυχθεί για την αξιοποίηση των ισχυρών ρευμάτων των Ωκεανών και την εγκατάσταση πάρκων από δεκάδες μονάδες, δεν επιτρέπει την αξιοποίηση του ρεύματος του Ευρίπου.

Με τα σημερινά δεδομένα, το μόνο ίσως που θα μπορούσε να γίνει στην ευρύτερη περιοχή είναι η δημιουργία ενός "Οικολογικού σπιτιού" το οποίο θα εισάγει την εκμετάλλευση της παλιρροϊκής ενέργειας στην Ελλάδα, θα τροφοδοτείται πλήρως από ενέργεια παραγόμενη από την παλίρροια της περιοχής, θα ενημερώνει το κοινό για τα οφέλη των ανανεώσιμων πηγών και θα καταστήσει την περιοχή σε πρωτοπόρο στον τομέα αυτό στην Ελλάδα.

Ωστόσο, η καταγραφή και μελέτη του ρεύματος θέτει τις προδιαγραφές για μια νέου τύπου τουρμπίνα που 1) λειτουργεί αποδοτικά σε μικρότερες ταχύτητες 2) συνδέεται σε μικροδίκτυο ΑΠΕ ως μια απολύτως προβλέψιμη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς ευχαριστούν τον κ. Σουκισιάν (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε) και τους κκ. Θεοδοσίου και Καρδαρά (Π.Ν./Υ.Υ.-Ω.Υ.) για την ευγενική παραχώρηση στοιχείων και τις χρήσιμες συζητήσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] George Lemonis, Wave and Tidal Energy Conversion, Encyclopedia of Energy, Volume 6,pp 385-396, 2004
[2] R. Horton, "How Oceans work", 2011 [Online] Available: http://www.howstuffworks.com/environmental/earth/oceanography/ocean-current4.htm
[3] Ross Vennell, Estimating the power potential of tidal currents and the impact of power extraction on flow speeds, Renewable Energy, 36, 3558-3565, 2011
[4] Tocardo B.V. Tidal Turbines http://www.tocardo.com/
[5] IHC Tidal energy http://www.ihctidalenergy.com/projects/
[6] http://web.vims.edu/physical/research/TCTutorial/tidepredict.htm
[7] Έρευνα κατανάλωσης ενέργειας στα νοικοκυριά 2011-2012, Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2013

ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΕΙΩΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΠΑΤΡΩΝ

Σπαή Μάρθα, Πέππας Γεώργιος, Πυργιώτη Ελευθερία

Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων,
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών,
26500 Πάτρα, ΡΙΟ

***Σύνοψη*— Η παρούσα εργασία ασχολείται με τον έλεγχο και τη μέτρηση των γειώσεων από τα συστήματα αντικεραυνικής προστασίας των κτιρίων του Πανεπιστημίου Πατρών. Σκοπός του συστήματος γείωσης είναι να υλοποιεί την απαγωγή και διάχυση του ρεύματος από τον κεραυνό μέσα στη γη, χωρίς να δημιουργούνται επικίνδυνες υπερτάσεις που μπορεί να πλήξουν τον άνθρωπο ή τον εξοπλισμό. Λόγω της συχνότητας των κεραυνικών πληγμάτων, οι συνέπειές τους και η αρχή λειτουργίας των αλεξικεραύνων αποτελούν ένα σημαντικό κομμάτι που καθορίζουν αντίστοιχα και το κόστος των κατασκευών. Παρακάτω περιγράφονται βασικές έννοιες για το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας, όπως είναι η σχεδίασή του, τα υλικά που απαιτούνται και πως καθορίζεται η στάθμη προστασίας για την εκάστοτε κατασκευή και τόπο.**

***Λέξεις κλειδιά* – Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας (ΣΑΠ), συλλεκτήριο, αγωγοί καθόδου, σύστημα γείωσης, εκκένωση.**

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία αποτελεί μια σύνοψη της διπλωματικής εργασίας που πραγματοποίησε η φοιτήτρια Σπαή Μάρθα από το εργαστήριο Υψηλών Τάσεων του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών Πάτρας. Μετά από μελέτη του εξωτερικού συστήματος αντικεραυνικής προστασίας στα κτίρια του Πανεπιστημίου Πατρών έγινε μέτρηση και καταγραφή των τιμών των αντιστάσεων γείωσης για κάθε κτίριο ξεχωριστά.

I. ΠΟΡΕΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

1. Καθορισμός στάθμης προστασίας.

1.1. Συχνότητα εμφάνισης κεραυνών.

Για την εκτίμηση του κινδύνου που αποτελεί ο κεραυνός για μία περιοχή και συνεπώς για την κατασκευή ενός αποτελεσματικού συστήματος προστασίας, είναι αναγκαία η γνώση του αριθμού των κεραυνών που πλήττουν μία περιοχή, στη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου (N_g). Από το πλήθος των ημερών καταιγίδας που αντιστοιχούν στο συγκεκριμένο τόπο μέσα σε ένα έτος T[4], υπολογίζεται η πυκνότητα των κεραυνών ανά έτος και ανά km^2 που καταλήγουν στο έδαφος σε ένα συγκεκριμένο τόπο[1-2]. Από τη σύγκριση του αριθμού κεραυνών N_g, που καταγράφηκαν με ειδικούς μετρητές εκκενώσεων προς τη γη, με τις ημέρες καταιγίδας ανά έτος η επικρατέστερη σχέση είναι η (1.1):

$$N_g = 0.04 \times T^{1.25} \qquad (1.1)$$

1.2. Ισοδυναμική επιφάνεια Ae

Επειδή κάθε γειωμένο σημείο δημιουργεί γύρω του μία σφαίρα με ακτίνα ίση με την απόσταση διάσπασης, της οποίας τα σημεία έχουν την ίδια πιθανότητα να δεχθούν έναν κεραυνό αντιστοιχεί στη συγκεκριμένη απόσταση διάσπασης τότε για κάθε κατασκευή προκύπτει μια ισοδύναμη επιφάνεια[3], της οποίας τα σημεία έχουν την ίδια πιθανότητα να δεχθούν τον συγκεκριμένο κεραυνό. Για συμβατικές κατασκευές και μέσο ρεύμα κεραυνού η ισοδύναμη επιφάνεια προκύπτει αυξάνοντας την περίμετρο της κατασκευής κατά τρεις φορές το ύψος της. Θεωρώντας μια κατασκευή με απλό σχήμα ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου με μήκος L, πλάτος W και ύψος H, η ισοδύναμη επιφάνεια A_e δίνεται από :

$$A_e = LW + 6H\left(2 + W + 9\pi H^2\right) \qquad (1.2)$$

Όταν σε απόσταση μικρότερη των 3H από την κατασκευή υπάρχουν και άλλα κτίσματα τότε η ισοδύναμη συλλεκτική επιφάνεια μειώνεται και υπολογίζεται λαμβάνοντας υπ όψιν αντί των 3H απόσταση Xs, σχέση (1.3).

$$X_s = [d + 3(\mathrm{H}_s - \mathrm{H})]/2 \qquad (1.3)$$

d: η οριζόντια απόσταση της κατασκευής από το γειτονικό κτίσμα και H_s το ύψος του γειτονικού κτίσματος.

1.3. Συχνότητα πληγμάτων σε κτίσματα.

Η επίδραση γειτονικών κτισμάτων καθορίζεται από τον συντελεστή περιβάλλοντος C_e, ο οποίος λαμβάνει συγκεκριμένες τιμές. Η μέση ετήσια συχνότητα των έμμεσων πληγμάτων κεραυνού σε μια κατασκευή υπολογίζεται, λοιπόν, από τη σχέση (1.4):

$$\mathbf{N_d = N_g \times A_e \times C_e} \qquad (1.4)$$

Από τις εθνικές επιτροπές καθορίζονται κάποιες αποδεκτές συχνότητες ζημιών από κεραυνούς σε κατασκευές (N_c)[4].

Η τιμή της ετήσιας αποδεκτής συχνότητας ζημιών N_c, πρέπει να συγκριθεί με την αναμενόμενη συχνότητα απευθείας πληγμάτων κεραυνών στην κατασκευή N_d για το εκάστοτε κτίσμα. Από αυτή τη σύγκριση προκύπτει πότε είναι απαραίτητη η εγκατάσταση ΣΑΠ και επιλέγεται η αναγκαία στάθμη προστασίας.

α . Εάν $N_d \le N_c$, τότε δεν χρειάζεται ΣΑΠ.

β. Εάν $N_d > N_c$, τότε πρέπει να εγκατασταθεί ΣΑΠ. Η αποτελεσματικότητα του ΣΑΠ πρέπει να είναι: $\mathbf{E \ge 1 - Nc / Nd}$.

Η κατάλληλη στάθμη προστασίας επιλέγεται σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα ΠΙΝ.1.1, όπως ορίζονται στο IEC 62305.

ΠΙΝ.1.1 Στάθμες προστασίας(IEC 62305)

Αποτελεσματικότητα	Στάθμη Προστασίας
E>0.98	**I** και επιπλέον μέτρα προστασίας
0.95<E≤0.98	**I**
0.90<E≤0.95	**II**
0.80<E≤0.90	**III**
0<E≤0.80	**IV**
E≤0	**δεν χρειάζεται προστασία**

2. Τα υλικά του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας.

Το κύριο χαρακτηριστικό που θα πρέπει να έχουν τα υλικά για το σύστημα προστασίας θα πρέπει να είναι η αντοχή σε καιρικές συνθήκες και πιθανά πλήγματα [5]. Τα υλικά και ο τρόπος τοποθέτησής τους (ενώσεις) θα πρέπει να έχουν επίσης εξαιρετική αντοχή στις μηχανικές καταπονήσεις και στη διάβρωση. Σε πολλούς ευρωπαϊκούς κανονισμούς για τους αγωγούς προτείνονται ο γαλβανισμένος χάλυβας και ο χαλκός, ενώ για τα υποστηρίγματα γαλβανισμένος χάλυβας, χαλκός και ψευδάργυρος. Όταν δυο διαφορετικά μέταλλα είναι σε επαφή, με παρουσία κάποιου ηλεκτρολύτη ή είναι θαμμένα σε αγώγιμο έδαφος, το ηλεκτραρνητικότερο από αυτά θα διαβρωθεί. Από τα μέταλλα που χρησιμοποιούνται στο σύστημα προστασίας το ηλεκτραρνητικότερο είναι ο ψευδάργυρος κι ακολουθούν με φθίνουσα σειρά το αλουμίνιο, σίδηρος, χάλυβας, μόλυβδος, ορείχαλκος και τελευταίος ο χαλκός. Το νερό ή η υγρασία του εδάφους μπορεί να δράσει ως ηλεκτρολύτης. Ο χαλκός είναι ηλεκτροθετικό στοιχείο κι ακόμα και το νερό της βροχής που τον διατρέχει και στάζει σε κατασκευές από ψευδάργυρο, μόλυβδο ή αλουμίνιο τις διαβρώνει. Επιπλέον έχει μεγάλο κόστος και αυτός είναι ο λόγος που αντικαθίσταται σταδιακά από γαλβανισμένο χάλυβα ή γαλβανισμένο χαλκό.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας, οι συνθήκες που επιλέγονται και οι ελάχιστες διαστάσεις καθορίζονται από το πρότυπο IEC 62305.

2. Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας

2.1. Συλλεκτήριο σύστημα

Το συλλεκτήριο σύστημα της αντικεραυνικής προστασίας εγκαθίσταται στην οροφή του κτιρίου με σκοπό να συλλαμβάνει τα πλήγματα [6]. Η βέλτιστη λύση τοποθέτησης συλλεκτών πλήγματος ορίζεται σύμφωνα με πρότυπα του IEC 62305.

Οι μεταλλικές οροφές ορισμένων κτιρίων μπορούν να ενσωματωθούν στο σύστημα προστασίας, αν εξασφαλισθεί η ηλεκτρική σύνδεσή τους σε κανονικά διαστήματα, με βίδες ή άλλη ισοδύναμη μέθοδο. Σε αυτή τη περίπτωση δεν αποφεύγονται οι σπινθηρισμοί και πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν η ύπαρξη αναφλέξιμων υλικών. Επιπλέον οι οροφές τίθενται σε κίνδυνο διάτρησης και γι' αυτό το ελάχιστο πάχος των μεταλλικών φύλλων ορίζεται στα 5 mm για το χαλκό και τα 4 mm για τον γαλβανισμένο χάλυβα.

2.2. Αγωγοί καθόδου

Το ρεύμα ενός πλήγματος κεραυνού που συλλαμβάνεται από το συλλεκτήριο σύστημα, πρέπει μέσω του συντομότερου δρόμου να μεταφερθεί στο κύκλωμα γείωσης, όπου και θα εκφορτισθεί στη γη [7]. Η επαγωγική αντίσταση των αγωγών καθόδου δημιουργεί υπερτάσεις μεταξύ των ψηλότερων σημείων του κυκλώματος προστασίας και του κυκλώματος γείωσης κι έτσι αναπτύσσονται σπινθήρες (slide flashes). Για να μειώσουμε την επαγωγική αντίσταση του αγωγού καθόδου λοιπόν επιλέγουμε τη μικρότερη διαδρομή. Οι προτεινόμενες μέσες τιμές απόστασης των αγωγών καθόδου παρουσιάζονται στον ΠΙΝ.1.2

ΠΙΝ 1.2: Μέση απόσταση αγωγών καθόδου (IEC 62305)

Στάθμη προστασίας	Μέση απόσταση (m)
I	10
II	15
III	20
IV	25

Χρησιμοποιούνται πάντα τουλάχιστον δύο αγωγοί καθόδου ώστε να αποφεύγεται η μεγάλη αύξηση της τάσης μεταξύ συλλεκτηρίου συστήματος-γης. Επίσης στην περίπτωση καταστροφής του ενός αγωγού θα υπάρχει δρόμος διαφυγής του κεραυνικού ρεύματος προς τη γη από τον άλλο. Προσοχή χρειάζεται κι όταν ο αγωγός διατρέχει κάποια προεξοχή του τοίχου επειδή πιθανά να δημιουργείται βρόχος κι έτσι να αναπτύσσεται επαγωγική πτώση τάσης και κίνδυνος σπινθηρισμού.

Σαν «φυσικοί» αγωγοί καθόδου [8], μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεταλλικές εγκαταστάσεις της κατασκευής, ο χαλύβδινος οπλισμός του σκυροδέματος, όταν υπάρχει ηλεκτρική συνέχεια μεταξύ των διαφόρων τμημάτων και οι διαστάσεις είναι τουλάχιστον ίσες με αυτές που καθορίζονται για τους τυποποιημένους αγωγούς καθόδου. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν προεξέχοντα κιγκλιδώματα ή άλλες μεταλλικές κατασκευές με διαστάσεις σύμφωνες με τις απαιτήσεις των αγωγών καθόδου, με ελάχιστο πάχος 5 mm, η απόσταση μεταξύ των μεταλλικών μερών να μην ξεπερνά το 1 mm και η επιφάνεια επικάλυψης μεταξύ των στοιχείων να είναι τουλάχιστον 100 cm^2.

2.3. Σύστημα γείωσης

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ακόλουθοι τύποι ηλεκτροδίων γείωσης: ράβδοι γείωσης ή σωλήνες, ταινίες γείωσης ή σύρματα, πλάκες γείωσης ή μικρά πλέγματα, ηλεκτρόδια γείωσης ενσωματωμένα στα θεμέλεια (θεμελειακή γείωση)[9], μεταλλικός οπλισμός σκυροδέματος μέσα στο έδαφος, μεταλλικοί σωλήνες νερού (σύμφωνα με 542.2.5 ΕΛΟΤ HD 384) και άλλες υπόγειες κατασκευές (σύμφωνα με 542.2.6 ΕΛΟΤ HD 384). Σύμφωνα με το άρθρο 542.2.5 του ΕΛΟΤ HD 384, μπορούν να χρησιμοποιηθούν υπόγεια συστήματα σωληνώσεων εκτός όμως από σωληνώσεις υγρών ή αερίων καυσίμων κ.λ.π.

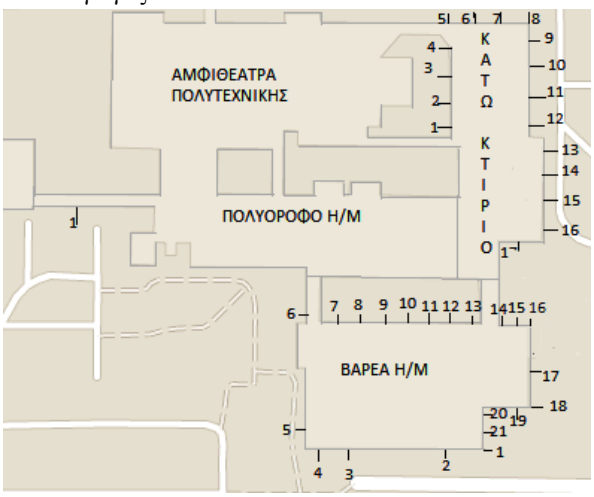
Τέλος πρέπει να επισημανθεί πως σύμφωνα με το γερμανικό πρότυπο κανονισμών VDE 100 δεν επιτρέπεται η παράλληλη σύνδεση γειωτών από χαλκό με το δίκτυο ύδρευσης. Λόγω της ηλεκτροθετικότητας του χαλκού σχηματίζονται ηλεκτροχημικά στοιχεία με αποτέλεσμα τη διάβρωση του σιδήρου.

ΙΙ. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν λήφθηκαν τουλάχιστον 60 φωτογραφίες από όσους αγωγούς καθόδου ήταν κομμένοι ή είχαν κάποιο σφάλμα εγκατάστασης. Οι μετρήσεις καταγράφηκαν σε πίνακες για κάθε σχολή χωριστά.

Ακολουθούν ενδεικτικά κάποιες από τις μετρήσεις:

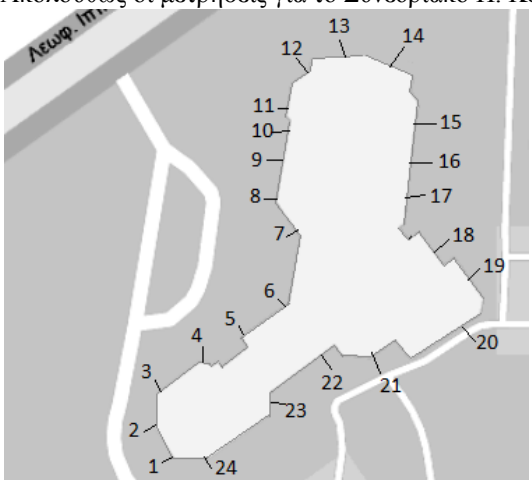
Για τα κτίρια των Ηλεκτρολόγων:
*α.κ.: αγωγός καθόδου



Ημερομηνία πρώτης μέτρησης: 5/3/2013
Ημερομηνία εαρινής μέτρησης: 20/7/2013

Α/Α	Κτίριο	Τιμή αντίστασης (Ω)	Κατάσταση/ Σχόλιο	Εαρινή μέτρηση
1	**Βαρέα ΗΜ**	**0,5**		**1,5**
2	ll	**1,17**		**1,564**
3	ll		**κομμένος α.κ.**	
9	ll		**κομμένος α.κ.**	
10	ll	∞		∞
11	ll	**0,691**		**0,683**
12	ll	**0,594**		**0,588**
13	ll	**0,866**		**0,856**
14	ll		**κομμένος α.κ.**	
15	ll		**κομμένος α.κ.**	
16	ll		**κομμένος α.κ.**	
17	ll		**κομμένος α.κ, ΦΩΤ.1**	
19	ll		**κομμένος α.κ.**	
	Πολυόροφο		**Δεν έχει α.κ.**	
	Αμφ. Πολ.		**Λείπουν όλοι οι α.κ.**	
1	**Κάτω κτίριο**	∞		∞
2	ll	∞		∞
5	ll	**210**	**Πολύ μεγάλη τιμή**	**151**
6	ll	∞		∞
7	ll	∞		∞
9	ll	∞		∞
10	ll	**0,2**		∞
13	ll	∞		∞

Ακολούθως οι μετρήσεις για το Συνεδριακό Π. Κέντρο:



Ημερομηνία πρώτης μέτρησης: 12/4/2013
Ημερομηνία εαρινής μέτρησης:19/7/2013

Α/Α	Κτίριο	Τιμή αντίστασης (Ω)	Κατάσταση/ Σχόλιο	Εαρινή μέτρηση
1	**Συνεδριακό Π.Κ.**	∞		∞
2	ll	**2,76**		**2,87**
3	ll	**1,897**		**1,926**
4	ll	**3,4**		**1,779**
5	ll	**7,3**		**2,827**
6	ll	**103,6**		**96,7**
7	ll		**Κομμένος ακ**	
8	ll	**273,9**		**564,9**
9	ll	**223,7**		**276,2**
10	ll	**305,8**		**226,2**
11	ll	**112,6**		**240,3**
12	ll	**333,3**		**943,3**
13	ll	**236,4**		**662,2**
19	ll		**Κομμένος ακ, Φωτ.2**	
20	ll		**Κομμένος ακ**	
21	ll	**177,9**		**847,4**
22	ll	**175,7**		**515,4**
23	ll	**77,8**		**104,4**
24	ll	2,69		2,822

ΙΙΙ. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

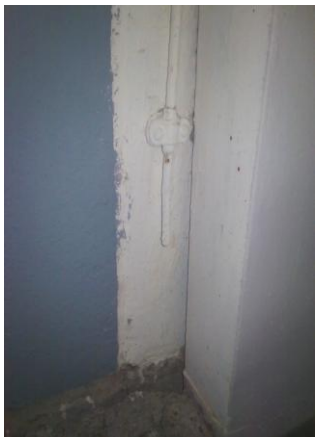
Στο Πανεπιστήμιο Πατρών υπάρχουν πολλές σχολές που είτε δεν έχουν καθόλου αντικεραυνική προστασία είτε παρουσιάζουν πολλά σφάλματα.

Υπάρχουν πολλοί αγωγοί καθόδου κομμένοι στα κτίρια των Ηλεκτρολόγων και σε μικρότερη έκταση στους Πολιτικούς Μηχανικούς και στο Γεωλογικό. Επιπλέον οι αντιστάσεις γείωσης στο Συνεδριακό κέντρο του Πανεπιστημίου έχουν απαράδεκτα υψηλές τιμές που καθιστούν τον εξοπλισμό του πολύ ευάλωτο σε πλήγματα. Η Βιβλιοθήκη του Πανεπιστημίου ενώ φαίνεται να έχει καλές τιμές, παρουσιάζει σφάλματα καθώς οι αγωγοί καθόδου είτε έχουν πολύ μικρή απόσταση μεταξύ τους είτε σχηματίζουν γωνία για να συνδεθούν με τη γείωση. Τα κτίρια της

Φοιτητικής Εστίας παρουσιάζουν επίσης πολύ μεγάλες τιμές στις αντιστάσεις γείωσης και σφάλματα εγκατάστασης.

Τα κτίρια με το καλύτερο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας είναι η Ιατρική, η Φαρμακευτική και η πλειοψηφία των προκατασκευασμένων κτιρίων που βρίσκονται γύρω από την Πρυτανεία, των οποίων η αντικεραυνική προστασία εγκαταστάθηκε πρόσφατα.

IV. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ



ΑΝΑΦΟΡΕΣ:

[1] Λάμπρος Οικονόμου και Γεώργιος Φώτης, “ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΥΨΗΛΕΣ ΤΑΣΕΙΣ”, εκδόσεις Τζιόλα, 2η έκδοση, σελ.183-188.

[2] Πυργιώτη Ελευθερία, “ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΚΕΡΑΥΝΟΥΣ”, εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, ΠΑΤΡΑ 2010, σελ.19-22.

[3] Πυργιώτη Ελευθερία, “ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΚΕΡΑΥΝΟΥΣ”, εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, ΠΑΤΡΑ 2010, σελ.39-45.

[4] Λάμπρος Οικονόμου και Γεώργιος Φώτης, “ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΥΨΗΛΕΣ ΤΑΣΕΙΣ”, εκδόσεις Τζιόλα, 2η έκδοση, σελ.194-198.

[5] Πυργιώτη Ελευθερία, “ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΚΕΡΑΥΝΟΥΣ”, εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, ΠΑΤΡΑ 2010, σελ.51-58.

[6] Σταθόπουλος Ιωάννης, “ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΥΠΕΡΤΑΣΕΩΝ”, εκδόσεις Συμεών, σελ.60-80.

[7] Πυργιώτη Ελευθερία, “ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΚΕΡΑΥΝΟΥΣ”, εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, ΠΑΤΡΑ 2010, σελ.59-79.

[8] IEC 62305, ΕΛΟΤ 1422-4:2006, ΕΛΟΤ 1197:2002

[9] Τσανάκας Δ..Κ., “ΕΙΔΙΚΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ”, Α΄ ΜΕΡΟΣ: ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΝΘΡΩΠΩΝ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ, σελ.64-72.