

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ

Engineers have no limits!

ΣΦΗΜΜΥ¹⁵

15ο Συνέδριο Φοιτητών Ηλεκτρολόγων
Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Ξάνθη 19-21/2024



ΔΗΜΟΚΡΕΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ





Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης - Τμήμα Ηλεκτρολόγων
Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών

**15ο Συνέδριο Φοιτητών Ηλεκτρολόγων Μηχανικών &
Μηχανικών Υπολογιστών**

Engineers Have no Limits!

Πρακτικά Συνεδρίου

Επιμέλεια:

Ιάσων Δημόπουλος

Μαρία Γεωργακάκη

Χαρίκλεια Δημοπούλου

Νικόλαος Κουκόπουλος

Θεόδωρος Σαπουνάκης

Αναστάσιος Ταχτατζής

Πρόδρομος Καραφυλλίδης

Αθανάσιος Σένδρος

Ξάνθη 2024

Περιεχόμενα

Πρόγραμμα Συνεδρίου.....	6
Χαιρετισμοί.....	11
Οργανωτική Επιτροπή.....	11
Συντελεστές.....	12
Ομιλητές.....	15
Κάτος Βασίλειος.....	15
Κυνηγώντας κυβερνοαπειλές στο Web 3.0.....	15
Νικόλαος Ουζούνογλου.....	16
Η Σημασία της Αποτίναξης της Τεχνολογικής Εξάρτησης της Ελλάδος με Δράση των Μηχανικών: Παραδείγματα από τον τελευταίο μισό αιώνα.....	17
Λουκάς Μιχαλάς.....	17
This is a MEMS world.....	18
Ανδρέας Χρυσόχορς.....	18
Design optimization of three-core submarine cables based on loss measurements.....	19
Κωσταντία Ζαρκογιάννη.....	20
Καινοτόμο πλαίσιο ανάλυσης καταγραφών φυσιολογικών σημάτων για τον εντοπισμό ύποπτων κρουσμάτων covid-19.....	20
Μαρία Παπαδοπούλη.....	21
Αναζητώντας τις υπολογιστικές αρχές των νευρωνικών δικτύων για την πραγματοποίηση μιας λιγότερο τεχνητής νοημοσύνης.....	21
Ιωάννης Βούρκας.....	22
The Rise of ReRAM Technology & Instrumentation Solutions to Boost R&D Efforts in Academia.....	23
Γεώργιος Καραγιαννίδης.....	24
Τεχνητή Νοημοσύνη και Ασύρματα Δίκτυα 6ης Γενιάς (6G).....	24
Γεώργιος Σταμούλης.....	25
Τα πρώτα βήματα της σχεδίασης ολοκληρωμένων.....	26
Συμεών Παπαδόπουλος.....	26
Η τεχνητή νοημοσύνη στην υπηρεσία κατά της Παραπληροφόρησης.....	27
Γεώργιος Κεραμίδας.....	27
Ultra-Low Power Accelerators for the Edge.....	28
Κωνσταντίνος Βουρνάς.....	28
Προκλήσεις για τα Ηλεκτρικά Συστήματα κατά την Ενεργειακή Πράσινη	

Μετάβαση.....	29
Αναστάσιος Ψαρράς.....	29
Σχεδιάζοντας System-on-Chips δισεκατομμυρίων τρανζίστορ.....	30
Σάββας Χατζηχριστοφής.....	30
Η μετασχηματιστική Δύναμη της Τεχνητής Νοημοσύνης στην Εκπαίδευση.....	31
Κωνσταντίνος Χαμζάς.....	31
Αλγόριθμοι σχεδίασης ρομποτικής κίνησης και μηχανική μάθηση.....	32
Παρουσιάσεις Paper Φοιτητών.....	33
Workshops.....	34
Φοιτητικές Ομάδες.....	34
Όταν το HC-05 (Bluetooth) συνάντησε το Arduino.....	34
Learn Industrial Robots with ROS.....	34
Augmented Reality Workshop.....	35
Next-Gen Pilots: AI-Enhanced Drones in Action.....	36
Phishing Attacks: Behind the Screens.....	36
Εφαρμογή Τηλεμετρίας με C++ χρησιμοποιώντας το Qt Creator και τον μικροελεγκτή ESP32.....	37
Συστήματα Μπαταριών σε Ηλεκτρικά Οχήματα.....	38
Research & Development of Robotic Exoskeleton System Make your own Power Supply Circuit.....	39
Cloud Τηλεμετρία & 5G: Η Συνδεσιμότητα της Centaurus Racing.....	40
CubeSat Hands-On Workshop.....	40
Keeping you on track (!).....	41
Προσωπική Ηγεσία: Ανακαλύπτοντας το τώρα για να στοχεύσω στο αύριο....	42
How to: Design a PCB.....	43
JOINING THE INDUSTRY 101.....	44
Arduino Applications in Biomedicine.....	44
Εταιρείες.....	45
Exploring the Power of Wind and Solar: The impact of Rodopi on Green Energy	45
Identity and Access Management.....	46
High Potential Career.....	46
Creating our future grid.....	47
Introduction to Web Development with Django.....	47
Χτίζοντας Πόλεις Για Όλους.....	49
Ο ρόλος του ηλεκτρολόγου μηχανικού στην σύγχρονη βιομηχανία.....	50
Unlocking Success: Mastering Interviews, LinkedIn, and CVs for Candidates..	51

Energy Markets.....	51
Agile dynamics: The product owner's compass.....	52
Let's talk AI with EY Greece.....	53
Παράλληλοι Διαγωνισμοί.....	55
ECESCODE.....	55
Χορηγοί.....	56
Χρηματικοί Χορηγοί.....	56
• Diamond.....	56
• Gold.....	57
• Silver.....	58
• Bronze.....	59
Υλικοί Χορηγοί.....	59
Χορηγοί Επικοινωνίας.....	60
Community Partners.....	61
Τοπικοί Χορηγοί.....	63
Υποστηρικτές.....	64
Αποθετήριο Εργασιών.....	65
1. Development of a Modular Prototype One Channel Encephalograph - Δημήτριος Λάμπρος.....	66
2. Hybrid Classical-Quantum Neural Network for Rice Crop Identification - Konstantina Safouri, Georgios Varsamis and Ioannis Liliopoulos.....	71
3. Μία Τεχνική Εστιαζόμενης Μικροκυματικής Υπερθερμίας Μέσω Στρώματος Συνεχούς Ρεύματος, Βασισμένου Σε Χωρικά Επιλογικές Επιφάνειες -Thomas Daltzis, Dimitrios Arnaoutoglou, George Trichopoulos and George Kyriacou...75	75
4. Helical Open Waveguide Structure for Optimization of Microwave Ablation -Nikolaos Karkanis, George Kyriacou, Marinos Psomas, Theodoros Samaras and Theodoros Kaifas.....	80
5. Steering Prediction for Self-driving Cars with Event-based Vision - Eleni Kleisiari, Lazaros Tsochatzidis and Ioannis Pratikakis.....	86
6. Music Chord Classification using the Vision Transformer and Chroma Features - Thomas Stogiannopoulos and Nikolaos Mitianoudis.....	92
7. Probability Assessment of the Impact of Electric Vehicles on Power Quality in Electricity Distribution Networks - Christina Grammenou and Aggelos Bouhouras.....	97
8. Προτεινόμενη Μεθοδολογία Σχεδιασμού Φίλτρων Σταθερής Χρονικής Καθυστέρησης Ομάδος για Δίκτυα Διαμόρφωσης Δέσμης στην Ζώνη FR3 - Charalampia Chatzi, Georgios Kyriacou and Dimitrios Arnaoutoglou.....	103

9. An AMR's (Autonomous Mobile Robot) journey to RoboCup@Work - Nektarios Pipilis, Theodoros Rossidis, Altzi Tsanko and Dimitrios Theocharopoulos.....109
10. System Design of an X-Band Multistage High Power Amplifier with Electronically Controlled Output Power - Konstantinos Keramanidis, Dimitris Arnaoutoglou, Andreas Papanastasiou and Georgios Kyriacou.....114
11. Advancing Computing with Memristive Nanocircuits - Emmanouil Stavroulakis, Ioannis Tompris, Ioannis K. Chatzipaschalis, Evangelos Tsipas, Theodoros Panagiotis Chatzinikolaou, Iosif-Angelos Fyrigos and Georgios Ch. Sirakoulis.....120
12. Πολυεδρική Συστοιχία Μικροταινιακών Κεραιών Παντάρ Ανίχνευσης Υπεριπτάμενων Οχημάτων - Alexandros Dimakopoulos, Dimitris Arnaoutoglou and Georgios Kiriakou.....124
13. Improving Fire Detection into Forests with the use of Environmental Sensors -Ioannis Giordamlis, Dimitrios Platsas and Sarantis Antoniou.....130
14. On Body Radar System as Navigational Aid for the Visually Impaired- Eleftheria Solomonidi, Eirini Markantonatou, Giorgos Soukaras, Giorgos Rodis and Panagiotis Kiousis.....134

Πρόγραμμα Συνεδρίου

Παρασκευή 19/4/2024

	Αμφιθέατρο A2	Αμφιθέατρο A1
9:30	<i>Εγγραφές</i>	
10:00	Τελετή Έναρξης	
10:30	Βασίλειος Κάτος	
11:00	Κυνηγώντας κυβερνοαπειλές στο Web 3.0	
11:30	<i>Coffee break</i>	
12:00	Νικόλαος Ουζούνογλου	Λουκάς Μιχαλάς This is a MEMS world
12:30	Η Σημασία της Αποτίναξης της Τεχνολογικής Εξάρτησης της Ελλάδος με Δράση των Μηχανικών: Παραδείγματα από τον τελευταίο μισό αιώνα	
13:00	<i>Lunch Break</i>	
13:30		
14:00		
14:30	Ανδρέας Χρυσόχορ	Κωσταντία Ζαρκογιάννη
15:00	Βελτιστοποίηση της σχεδίασης τριπολικών υποβρύχιων καλωδίων βάσει μετρήσεων απωλειών	Καινοτόμο πλαίσιο ανάλυσης καταγραφών φυσιολογικών σημάτων για τον εντοπισμό ύποπτων κρουσμάτων Covid-19
15:30	Μαρία Παπαδοπούλη	Ιωάννης Βούρκας
16:00	Αναζητώντας τις υπολογιστικές αρχές των νευρωνικών δικτύων για την πραγματοποίηση μιας λιγότερο τεχνητής νοημοσύνης	The Rise of ReRAM Technology & Instrumentation Solutions to Boost R&D Efforts in Academia
16:30	<i>Coffee break</i>	
17:00	Paper Session A	Paper Session B
17:30		
18:00		

18:30		
-------	--	--

Workshops

	Αίθουσα 1.1	Αίθουσα 1.2	Αίθουσα 1.3	Αίθουσα 1.4	Αίθουσα 1.5	Αίθουσα 1.6
9:30	<i>Επιβεβαίωση Παρακολούθησης</i>					
10:00						
10:30						
11:00						
11:30	EY			ΑΔΜΗΕ	ΗΡΩΝ	
12:00	Let's talk AI with EY Greece			Creating our future grid	Energy Markets	
12:30						
13:00	<i>Lunch Break</i>					
13:30						
14:00	ECESCODE		Cenergy Unlocking Success: Mastering Interviews, LinkedIn, and CVs for Candidates	Rodopi Blades Exploring the Power of Wind and Solar: The impact of Rodopi on Green Energy	Archirodon High Potential Career	
14:30						
15:00						
15:30			ORACLE Identity and Access Management	Yodeck Introduction to Web Development with Django	EESTEC LC Xanthi Προσωπική Ηγεσία: Ανακαλύπτοντας το τώρα για να στοχεύσω στο αύριο	
16:00						
16:30						
17:00						
17:30			VROOM Keeping you on track (!)	DRT Συστήματα Μπαταριών σε Ηλεκτρικά Οχήματα Battery Systems In Electric Vehicles	Centaurus Racing CloudCloud Τηλεμετρία & 5G: Η Συνδεσιμότητα της Centaurus Racing	
18:00						
18:30						

Σάββατο 20/04/2024

	Αμφιθέατρο Α2	Αμφιθέατρο Α1
9:30	<i>Εγγραφές / Check-in</i>	
10:00		
10:30	Γεώργιος Καραγιαννίδης	
11:00	Τεχνητή Νοημοσύνη και Ασύρματα Δίκτυα 6ης Γενιάς (6G)	
11:30	<i>Coffee break</i>	
12:00	Αναστάσιος Μπακιρτζής Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας	Γεώργιος Σταμούλης Τα πρώτα βήματα της σχεδίασης ολοκληρωμένων κυκλωμάτων
12:30		
13:00	<i>Lunch Break</i>	
13:30		
14:00	IEEE Greece Section IEEE in Greece Student Contribution	
14:30	Συμεών Παπαδόπουλος Η Τεχνητή Νοημοσύνη στην υπηρεσία κατά της Παραπληροφόρησης	Γεώργιος Κεραμίδας Ultra-Low Power Accelerators for the Edge
15:00		
15:30	Κώστας Βουρνάς Προκλήσεις για τα Ηλεκτρικά Συστήματα κατά την Ενεργειακή Πράσινη Μετάβαση	Αναστάσιος Ψαρράς Σχεδιάζοντας System-on-Chips δισεκατομμυρίων τρανζίστορ
16:00		
16:30	<i>Coffee break</i>	
17:00	Δράσεις του ΔΠΘ για την προώθηση της καινοτομίας και της επιχειρηματικότητας	Paper Session Γ
17:30		
18:00		
18:30		

Workshops

	Αίθουσα 1.1	Αίθουσα 1.2	Αίθουσα 1.3	Αίθουσα 1.4	Αίθουσα 1.5	Αίθουσα 1.6
9:30	<i>Επιβεβαίωση Παρακολούθησης</i>					
10:00						
10:30						
11:00						
11:30		Rodopi Blades Exploring the Power of Wind and Solar: The impact of Rodopi on Green Energy	OTS Χτίζοντας Πόλεις Για Όλους			HERMES Team Research & Development of Robotic Exoskeleton System Make your own Power Supply Circuit
12:00						
12:30						
13:00	<i>Lunch Break</i>					
13:30	<i>Lunch Break</i>					
14:00		ΕΛΒΑΛ Ο ρόλος του ηλεκτρολόγου μηχανικού στην σύγχρονη βιομηχανία	Miranet Lab Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας Augmented Reality Workshop	IEEE NTUA SB (RAS) Next-Gen Pilots: AI-Enhanced Drones in Action		
14:30						
15:00						
15:30						
16:00		DMA How to: Design a PCB		IEEE DUTH JOINING THE INDUSTRY 101		Spacedot CubeSat Hands-On Workshop
16:30						
17:00						
17:30	IEEE NTUA SB (CS) Phishing Attacks: Behind the Screens	Netcompany Agile dynamics: The product owner's compass		REM IHU Εφαρμογή Τηλεμετρίας με C++ χρησιμοποιώντας το Qt Creator και τον μικροελεγκτή ESP32		
18:00						
18:30						

Κυριακή 21/04/2024

	Αμφιθέατρο Α2	Αίθουσα 1.2	Αίθουσα 1.3	Αίθουσα 1.4
9:30	<i>Check-in</i>			
10:00				
10:30	Oracle (10:30 - 11:20)			
11:00	Rodopi Blades (11:20 - 12:10)			
11:30				
12:00	ΑΔΜΗΕ (12:10 - 13:00)			
12:30				
13:00	Archirodon (13:00 - 13:50)			
13:30				
14:00	Netcompany-Intrasoft (13:50 - 14:30)			
14:30	<i>Lunch Break</i>			
15:00				
15:30				
16:00	Σάββας Χατζηχριστοφής Η μετασχηματιστική Δύναμη της Τεχνητής Νοημοσύνης στην Εκπαίδευση	DIR DUTH Learn Industrial Robots with ROS	IEEE IHU Student Branch Όταν το HC-05 (Bluetooth) συνάντησε το Arduino	IEEE NTUA EMBS Arduino Applications in Biomedicine
16:30				
17:00	<i>Coffee break</i>			
17:30	Κωνσταντίνος Χαμζάς Αλγόριθμοι σχεδίασης ρομποτικής κίνησης και μηχανική μάθηση			
18:00				
18:30	Τελετή Λήξης			

Χαιρετισμοί

Οργανωτική Επιτροπή

Το μεγαλύτερο ακαδημαϊκό φοιτητικό συνέδριο επέστρεψε στην Ξάνθη μετά από 5 χρόνια. Ελπίζουμε και φέτος να φανήκαμε αντάξιοι της εμπιστοσύνης του κοινού του ΣΦΗΜΜΥ, με τη 15η διοργάνωσή του. Το ΣΦΗΜΜΥ φέρνει σε επαφή τους φοιτητές με τον ακαδημαϊκό χώρο και την αγορά εργασίας. Με στόχο να φέρει σε επαφή φοιτητές τμημάτων ΗΜ&ΜΥ ανά την Ελλάδα αλλά και συναφών κλάδων, το ΣΦΗΜΜΥ προσπαθεί να αποτελέσει ένα γόνιμο έδαφος για ανταλλαγή ιδεών και προβληματισμών με γνώμονα την εξέλιξη της επιστήμης.

Ως οργανωτική επιτροπή, προσπαθήσαμε να εξελίξουμε τον θεσμό και να φέρουμε τους συνέδρους όσο γίνεται πιο κοντά στην αγορά εργασίας φέρνοντας εταιρίες που ψάχνουν νέους μηχανικούς στον χώρο του συνεδρίου ώστε να υπάρχει άμεση αλληλεπίδραση μεταξύ τους, αλλά και να προβάλλουμε το έργο των φοιτητών στους συναδέλφους τους. Έχουμε ως στόχο την διεξαγωγή ενός συνεδρίου υψηλών προδιαγραφών ώστε να ανταποκρίνεται στην ιστορία αυτού του θεσμού αλλά και στους συνέδρους που θα το παρακολουθήσουν. Ένα συνέδριο που καλύπτει τους περισσότερους άξονες του επαγγέλματος του Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και Μηχανικού Υπολογιστών.

Εκ μέρους της Οργανωτικής Επιτροπής του ΣΦΗΜΜΥ 15

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ

Υπεύθυνοι Καθηγητές

Νικόλαος Μητιανούδης
Φίλιππος Φαρμάκης
Νικόλαος Παπανικολάου
Παύλος Εφραιμίδης
Γεώργιος Δημητρακόπουλος
Γεώργιος Κυριακού

Head Organiser

Ιάσοντας Δημόπουλος

Academics Department

Πρόδρομος Καραφυλλίδης (Coordinator)
Μαρία Δημητριάδου
Πασχάλης Αραμπατζής
Ιωάννα Μπούρχα
Γεώργιος Μάριος Μερκούριος

Activities Department

Αναστάσιος Ταχτατζής (Coordinator)
Γεώργιος Μαρκάκης
Θωμάς Στογιαννόπουλος
Νικόλαος Πούλιος
Χρήστος Σταμπουλίδης
Άγγελος Βαϊντερλής
Αγνή Κοκορότσικου
Γρηγόρης Κασιτερόπουλος
Ιωσήφ Μάριος Θεοδώρου

Design Department

Χαρίκλεια Δημοπούλου (Coordinator)

Ορφέας Σιώζος

Ελένη Σιμισάκη

Χριστίνα Ανδρεαδάκη

Public Relations Department

Νικόλαος Κουκόπουλος (Coordinator)

Σταυρούλα Τσικοπούλου

Ελισάβετ Σωτηριάδου

Logistics Department

Θεόδωρος Σαπουνάκης (Coordinator)

Θεολογία Κουκουφίκα

Μαρία Καραφυλλίδη

Μαριάνθη Χριστοδούλου

Fundraising Department

Μαρία Γεωργακάκη (Coordinator)

Γεώργιος Αγγελούσης

Στέλλα Κουτσογιάννη

Κατερίνα Δελήμπαση

Information Technology Department

Αθανάσιος Σένδρος (Coordinator)

Μιχάλης Ιωακειμίδης

Θωμάς Μουστάκας

Χρήστος Γεωργανάς

Μυρτώ Λιακοπούλου

Κυριάκος Τσαντίδης

Mentors

Ανδρέας Σένδρος

Θεόδωρος Παναγιώτης Χατζηνικολάου

Ambassadors Team

Ανδρέας Γεωργίτσος (Ηράκλειο)
 Κασσιανή Καρακώστα (Πάτρα)
 Θωμάς Λάγκαλης (Χανιά)
 Μαρία-Αλεξία Γεωργιάδου (Κοζάνη)
 Κατερίνα Παπουτσόγλου (Βόλος)
 Μαριλένα Τσάμη (Θεσσαλονίκη)
 Μαρία Παπακωστίδη (Θεσσαλονίκη)
 Σωτήρης Πιτσάκης (Αθήνα)

Εθελοντές

Στράτος Κουλουδής
 Έλενα Δαμάχη
 Γεωργιος Καλαϊτζής
 Ελενη Ποργιαζιδου
 Ευστάθιος Σκλιβάκης
 Μαρία Χασάπη
 Γιώργος Πούλιος
 Ηρακλής Γούσης
 Κωνσταντίνος Χατζηγρίβας
 Μαρία Καβαρλή
 Μαρία Νεφέλη Σιώζιου
 Ευτυχία Βελλίκη
 Βασιλική Τσιριγώτη
 Ιωάννα Ανδριανάκου
 Βασιλική Μπέκου
 Αθανασία Καπουσουζή
 Σπυρίδων Παπαβασιλείου
 Ελένη Γρηγορίου
 Φώτιος Μήτσης
 Πέτρος Σιδέρης

Ομιλητές

Κάτος Βασίλειος

Καθηγητής Κυβερνοασφάλειας | Επικεφαλής ομάδας απόκρισης περιστατικών ασφάλειας | Bournemouth University



Ο Βασίλης Κάτος είναι Καθηγητής Κυβερνοασφάλειας και επικεφαλής της ομάδας απόκρισης περιστατικών ασφάλειας, BU-CERT, στο πανεπιστήμιο του Bournemouth στο Ην. Βασίλειο. Είναι διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός του ΔΠΘ, κάτοχος MBA από το Πανεπιστήμιο του Keele, και κάτοχος διδακτορικού διπλώματος από το Πανεπιστήμιο του Aston της Μεγάλης Βρετανίας. Εργάστηκε για 2 χρόνια στον ιδιωτικό τομέα στην Ολλανδία ως σύμβουλος ασφάλειας πληροφοριών. Ο κ. Κάτος ειδικεύεται στα ψηφιακά πειστήρια για διερεύνηση εγκλημάτων κατά της πνευματικής ιδιοκτησίας. Ως CIS expert για τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Κυβερνοασφάλειας (ENISA), ο κ. Κάτος έχει συνεισφέρει σε σειρά πρωτοβουλιών. Αυτές περιλαμβάνουν τη μελέτη ευπαθειών λογισμικού για το 2018-19 και τη μελέτη για την επίδραση του πρόσφατου Ευρωπαϊκού κανονισμού Cyber Resilience Act (CRA) στο Λογισμικό Ανοικτού Κώδικα. Σε συνεργασία με τη Γενική Διεύθυνση Έρευνας και Καινοτομίας (DG-RTD) της Κομισιόν, έχει συνεισφέρει στις τρέχουσες προπαρασκευαστικές ενέργειες δημιουργίας κανονισμού για την αντιμετώπιση ξένης παρέμβασης στην Ευρωπαϊκή έρευνα και καινοτομία.

Ο κ. Κάτος είναι εξωτερικός εμπειρογνώμονας του Ερευνητικού Ινστιτούτου Έρευνας Διαπεριφερειακού Εγκλήματος και Δικαιοσύνης των Ην. Εθνών (UNICRI) σχετικά με τα εγκλήματα πνευματικής ιδιοκτησίας. Έχει παίξει καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη ενός οδηγού επιβολής του νόμου για την έρευνα παραβιάσεων πνευματικής ιδιοκτησίας, συνεισφέροντας στην Ευρωπαϊκή Πλατφόρμα κατά των Εγκληματικών Απειλών (EMPACT). Επιπλέον, ο κ. Κάτος έχει συνεργαστεί με το Γραφείο Πνευματικής Ιδιοκτησίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EUIPO) για περισσότερα από πέντε χρόνια, συνεισφέροντας σε δραστηριότητες επιμόρφωσης των μελών της δικαστικής εξουσίας από διάφορα κράτη μέλη της ΕΕ.

Κυνηγώντας κυβερνοαπειλές στο Web 3.0

Η μετάβαση από το Web 2.0 στο Web 3.0 συμβαίνει με ταυτόχρονη έξαρση του κυβερνοεγκλήματος, το οποίο έχει λάβει διαστάσεις επιδημίας. Σε αυτήν την ομιλία, θα εξετάσουμε την ανάγκη για επαναστατικές προσεγγίσεις όπως η ανασταλτική καταδίωξη των απειλών και η ανάγκη για ετοιμότητα στη συλλογή ψηφιακών

πειστηρίων (digital forensics readiness). Επιπλέον, θα παρατεθούν προκλήσεις και ευκαιρίες κυρίως για μηχανικούς λογισμικού και μηχανικούς υπολογιστών που προκύπτουν από την εξέλιξη και υιοθέτηση των τεχνολογιών, όπως ο αναδυόμενος τομέας του Metaverse.

Νικόλαος Ουζούνουγλου

Ομότιμος Καθηγητής | THMMY ΕΜΠ



Γεννήθηκε στην Χαλκηδόνα της Κωνσταντινούπολης το 1951. Ξεκίνησε το 1957 τις αστικές του σπουδές στο Ελληνικό Εκπαιδευτήριο της Χαλκηδόνας. Συνέχισε τις Β' βάρθμίες σπουδές του στο Ζωγράφειο Γυμνάσιο (1963-69) του Πέρα. Επέτυχε μεταξύ των πρώτων στο Κρατικό Πολυτεχνείο της Κωνσταντινούπολης από όπου αποφοίτησε από την Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών το 1973. Συνέχισε τις μεταπτυχιακές-διδασκτορικές του σπουδές στο Ηνωμένο Βασίλειο Πανεπιστήμιο του Essex. Εξαναγκάστηκε να εκπατριστεί από την γενέτειρα του και ήρθε στην Ελλάδα τέλη του 1976. Εργάστηκε σαν Ειδικός Επιστήμων στο Γραφείο Έρευνας και Τεχνολογίας του Ναυτικού

την περίοδο 1977-84. Το 1981 έλαβε το Διεθνές Βραβείο G. Marconi για εργασία του στα πλαίσια της Υψηλεσίας σε θέμα Οπτικών Ινών. Εκλέχθηκε το 1984 Αναπληρωτής Καθηγητής στη Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και από το 1987 μέχρι το 2018 υπηρέτησε ως Καθηγητής στην ίδια Σχολή. Εκλέχθηκε τρεις φορές Πρόεδρος της ίδιας Σχολής (1988-94) και πρώτος Διευθυντής του Ερευνητικού Πανεπιστημιακού Ινστιτούτου Συστημάτων Επικοινωνιών και Υπολογιστών (1991-99). Η ίδρυση των συστηματικών διδακτορικών σπουδών, που επέτρεψε την μείωση της μετανάστευσης των αριστούχων σπουδαστών, υπήρξε πρώτο του μέλημα με την δημιουργία των απαραίτητων υποδομών και θεσμών. Το Εργαστήριο Μικροκυμάτων και Οπτικών Ινών του Ε.Μ.Πολυτεχνείου που διεύθυνε μέχρι το έτος 2018 έχει συμβάλει στην ανάπτυξη πλήθους πρωτότυπων συστημάτων για την κάλυψη πλήθος αναγκών της χώρας κατά συντριπτική τους πλειοψηφία εντελώς αδαπάνως προς το Δημόσιο. Το 2006 αναγορεύτηκε ως IEEE Fellow που είναι τιμητικός τίτλος της Παγκόσμιας Ένωσης Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών. Τον Δεκέμβριο του 2011 τιμήθηκε από την Αυτού Θειότητα Παναγιότητα Οικουμενικό Πατριάρχη κ.κ. Βαρθολομαίο Α' με το οφφίκιο του «Προστάτη των Γραμμάτων». Το δημοσιευμένο του έργο αποτελείται από 350 εργασίες σε διεθνή περιοδικά, δέκα βιβλία και έχει επιβλέψει 81 διδακτορικές διατριβές στα ερευνητικά του αντικείμενα που καλύπτουν τα αντικείμενα: Ηλεκτρομαγνητική θεωρία και εφαρμογές της, Τηλεπικοινωνίες, Αισθητήρες και Συστήματα Βιοϊατρικής Τεχνολογίας.

Η Σημασία της Αποτίναξης της Τεχνολογικής Εξάρτησης της Ελλάδος με Δράση των Μηχανικών: Παραδείγματα από τον τελευταίο μισό αιώνα

Στρατηγικές επιλογές των εξουσιαζόντων στο νέο Ελληνικό κράτος, καθ' όλη την περίοδο των δύο αιώνων που ακολούθησε μετά από την δολοφονία του Ιωάννη Καποδίστρια το 1831, υπήρξαν στην κατεύθυνση της αποστροφής από την τεχνολογία ως καθοριστικού παράγοντα στην επίλυση ζωτικών ζητημάτων της χώρας. Η στρατηγική αυτή εκφράστηκε από τις επιλογές στην παιδεία για το εκπαιδευτικό σύστημα σε όλες τις βαθμίδες. Τον 19^ο αιώνα σε αντίθεση με τις επιλογές των εξουσιών στην ελεύθερη Ελλάδα, ο Μείζων Ελληνισμός είχε δείξει την ικανότητα της οικονομικής ευρωστίας. Αυτός υπήρξε και ο παράγοντας που μετά από το 1922, όταν το ήμισυ του πληθυσμού του που κατέφυγε ως πρόσφυγες, κατέστησε την πιο καθυστερημένη χώρα της νοτιοανατολικής Ευρώπης σε μερικά χρόνια να αναπτυχθεί σημαντικά οικονομικά και κοινωνικά. Τον τελευταίο μισό αιώνα αν και υπήρξαν ευνοϊκές συνθήκες, κυρίως λόγω παρουσίας της χώρας στο Ευρωπαϊκό γίγνεσθαι, στο επίπεδο της αξιοποίησης της τεχνολογίας για την αντιμετώπιση των μείζονων ζητημάτων του τόπου ελάχιστα έχουν συμβεί. Στην διάλεξη θα δοθούν παραδείγματα επιτυχιών παρά τις αντίξοες συνθήκες αλλά και αποτυχιών. Τα θέματα που θα αναπτυχθούν αφορούν την ευρύτερη επιστήμη του ηλεκτρολόγου μηχανικού και μηχανικού υπολογιστών και το σημαντικότερο ότι η νέα γενιά των μηχανικών καλείται να ανατρέψει τα εμπόδια στην αξιοποίηση της τεχνολογίας και της επιστήμης, προς όφελος του Ελληνισμού.

Λουκάς Μιχαλάς

PostDoctoral Researcher | IESL-FORTH



Loukas Michalakis received his Ph.D. in Physics from the University of Athens, Greece. Presently he is a postdoctoral researcher at the IESL-FORTH, Greece while recently he has been elected assistant professor at the department of Electrical and Computer Engineering at Democritus University of Thrace (to be appointed). Previously he has been a Postdoctoral Researcher at the University of Athens, Greece, at IMM-CNR-Rome, Italy and at the University of Southampton, UK. Over the years Loukas also collaborated via short placements (1-2 months) as visiting researcher with the Keysight Labs, Linz, Austria, with IEMN-CNRS, Lille, France, with RF Microtech, Perugia, Italy and with Imperial College London, UK. His major research activity is presently focusing on involving machine learning techniques in the development and reliability study of RF nanoelectronics devices and RF MEMS.

Parallel research interests include metal-oxide based memristors, thin film semiconductor devices and microwave microscopy. In 2021 Loukas was awarded the competitive Individual Marie Skłodowska-Curie Fellowship grant, whilst presently he is the Principal Investigator (on behalf of FORTH) in AIMS5.0, a project focused on using Artificial Intelligence in manufacturing. Apart from research Loukas also enjoys being involved in science outreach activities.

This is a MEMS world

Developments in the telecommunication systems are significantly relying on electronic components capable to address functionalities related to the corresponding signals. Radio Frequency Micro-Electro-Mechanical Systems (RF MEMS) were introduced more than two decades ago and due to their exceptional ensemble of features they immediately attracted significant attention across the RF community. Nowadays, owing to their unique ability to satisfy the needs of the emerging RF technologies (such as of the 5G), a novel perspective has been offered for RF MEMS and this revived the research attention around the field. Current topics

of interest include RF applications operating under high RF-power levels and/or at the higher micro- or at the millimetre wave frequency bands. This talk aspires to present the fundamental operation principles of capacitive bridge type RF MEMS switches, and to summarise in brief the relevant presenter's work with emphasis given on recent implementations related high power capacitive RF MEMS switches.

Ανδρέας Χρυσόχης

Senior Manager R&D Department | Hellenic Cables



Ο Δρ. Ανδρέας Χρυσόχης είναι διπλωματούχος μηχανικός (2009) και διδάκτορας (2015) του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ). Είναι επίσης κάτοχος διπλώματος MBA (2017) από το Πανεπιστήμιο Μακεδονίας και διπλώματος MMath (2023) από το Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο. Ήταν μεταδιδακτορικός ερευνητής στο Εργαστήριο Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας του ΑΠΘ (2015-17) καθώς και του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης (2017-19). Από το 2017 εργάζεται στο Τμήμα Έρευνας και Ανάπτυξης της εταιρείας Ελληνικά Καλώδια του Ομίλου ΒΙΟΧΑΛΚΟ έχοντας πλέον τη θέση του Senior Manager.

Ήταν υπότροφος του Κοινωφελούς Ιδρύματος Αλέξανδρος Σ. Ωνάσης με δύο ξεχωριστές υποτροφίες (2012-15, 2016-17), επίτιμος υπότροφος της Επιτροπής

Ερευνών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (2012-13) και υπότροφος του Ιδρύματος Κρατικών Υποτροφιών (2017-19). Είναι πρεσβύτερο μέλος του Ινστιτούτου Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE), και μέλος του Διεθνούς Συμβουλίου για τα Μεγάλα Ηλεκτρικά Συστήματα (CIGRE), του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος, του Ελληνικού Οργανισμού Τυποποίησης (ΕΛΟΤ) και του EuroCable. Είναι ο Έλληνας εκπρόσωπος (2022) στην ομάδα εργασίας IEC TC20/WG19 που ως θέμα έχει τη διαστασιολόγηση καλωδίων ισχύος ενώ συμμετέχει και σε διάφορες ομάδες εργασίας B1/C4 της CIGRE. Τα ερευνητικά του ενδιαφέροντα εντάσσονται στην περιοχή της προσομοίωσης πολλαπλών φυσικών σε εναέριες γραμμές, υπόγεια καλώδια και εξαρτήματα αυτών.

Design optimization of three-core submarine cables based on loss measurements

Η διαστασιολόγηση (current rating) των τριπολικών υποβρύχιων καλωδίων γίνεται συνήθως βάσει των προδιαγραφών IEC 60287 και IEC 60853. Είναι όμως γνωστό στη διεθνή βιβλιογραφία πως τα πρότυπα αυτά υπερδιαστασιολογούν σημαντικά τα υποβρύχια καλώδια καθώς δεν υπολογίζουν με ακρίβεια τις απώλειες που αναπτύσσονται κατά κύριο λόγο στον κοινό σπλισμό και δευτερευόντως στις θωρακίσεις των πόλων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους παραγωγής του καλωδίου και της συνολικά προσφερόμενης πρότασης προς τον πελάτη. Στη βιβλιογραφία παρατηρείται επίσης μια διαρκής ερευνητική προσπάθεια που στόχο έχει την ανάπτυξη νέων μεθόδων υπολογισμού των απωλειών με ακρίβεια καθώς και κατάλληλες εργαστηριακές μετρήσεις προς πιστοποίηση των παραπάνω αποτελεσμάτων. Επιπρόσθετα, πολλοί πελάτες εντάσσουν στις προδιαγραφές τους τη διεξαγωγή κατάλληλης εργαστηριακής μέτρησης και επιβεβαίωσης των απωλειών των υποβρυχίων καλωδίων καθώς και ταυτοποίηση των διαφόρων μοντέλων προσομοίωσης.

Η διάλεξη περιλαμβάνει αρχικά μια περιγραφή του θεωρητικού υποβάθρου για τις απώλειες, κατηγοριοποιώντας αυτές στα αντίστοιχα μεταλλικά στοιχεία του υποβρύχιου καλωδίου. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται μια αξιόπιστη μετρητική διάταξη για τις απώλειες των υποβρυχίων καλωδίων καθώς και της σχετικής μαγνητικής διαπερατότητας των συρμάτων σπλισμού. Τέλος, παρουσιάζεται η ανάπτυξη αναλυτικών και αριθμητικών μοντέλων προσομοίωσης για τον ακριβή υπολογισμό των απωλειών σε κάθε πιθανή σχεδίαση υποβρύχιου καλωδίου. Η σύγκριση των ανωτέρω με τα αντίστοιχα αποτελέσματα των προτύπων οδηγεί στη βελτιστοποίηση της σχεδίασης των υποβρυχίων καλωδίων και της προσφερόμενης πρότασης προς τον πελάτη.

Κωσταντία Ζαρκογιάννη

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια | University of Maastricht



Η Κωνσταντία Ζαρκογιάννη έλαβε το Δίπλωμα Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και Μηχανικού Ηλεκτρονικών Υπολογιστών (2003) από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο της Θεσσαλονίκης, το Μεταπτυχιακό Δίπλωμα Ειδίκευσης (ΜΔΕ) Ηλεκτρονικού Μηχανικού και Μηχανικού Υπολογιστών (2005) από το Πολυτεχνείο Κρήτης και το Διδακτορικό Δίπλωμα (Ph.D) (2011) από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). Τον Οκτώβριο του 2017 διορίστηκε σε θέση ΕΔΙΠ στη Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, του ΕΜΠ. Τον Ιούνιο του 2023 εξελέγη σε θέση αναπληρώτριας καθηγήτριας στο Πανεπιστήμιο του Μάαστριχτ με αντικείμενο «Ανθρωποκεντρική Τεχνητή Νοημοσύνη». Τα

ερευνητικά της ενδιαφέροντα περιλαμβάνουν έξυπνες διεπαφές χρήστη, επικοινωνία ανθρώπου-υπολογιστή, ευφυή συστήματα υποστήριξης αποφάσεων, συστήματα ελέγχου, μοντελοποίηση φυσιολογικών συστημάτων. Είναι συγγραφέας ή συν-συγγραφέας 18 δημοσιεύσεων σε έγκριτα διεθνή επιστημονικά περιοδικά, ενός κεφαλαίου σε βιβλίο, και περισσότερα από 30 πρακτικά σε εθνικά και διεθνή συνέδρια. Έχει συμμετάσχει ως κύριος ερευνητής σε εθνικά (smarty4covid, ENDORSE) και διεθνή ερευνητικά έργα (FP7 -MOSAIC, Horizon Europe - VoxReality). Έχει διατελέσει προσκεκλημένος συντάκτης στο ειδικό τεύχος «Emerging Technologies for the Management of Diabetes Mellitus» (Springer Journal of Medical and Biological Engineering and Computing [MBEC], 2015) και μέλος του Συντακτικού Συμβουλίου του διεθνούς περιοδικού SpringerPlus κατά το έτος 2016. Είναι κριτής σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά (IEEE Transactions on Biomedical Engineering, IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, Springer Medical & Biological Engineering & Computing, Elsevier Journal of Biomedical Informatics , και Διαβιολογίας και Διαχείρισης JSM). Είναι μέλος του Ινστιτούτου Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE) και του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (Τ.Ε.Ε).

Καινοτόμο πλαίσιο ανάλυσης καταγραφών φυσιολογικών σημάτων για τον εντοπισμό ύποπτων κρουσμάτων covid-19

Αντικείμενο αυτής της διάλεξης αποτελεί η παρουσίαση του συστήματος smarty4covid (www.smarty4covid.org) που χρηματοδοτήθηκε από το ελληνικό ίδρυμα έρευνας και καινοτομίας και αναπτύχθηκε από ερευνητές του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (BIOSIM, AILS). Πρόκειται για ένα σύστημα που στοχεύει στον εντοπισμό ύποπτων κρουσμάτων covid-19 από ηχητικές καταγραφές αναπνοής, βήχα, και φωνής. Ενσωματώνει προηγμένες μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης προς την υλοποίηση μιας υπεύθυνης και ανθρωποκεντρικής προσέγγισης για την

διαχείριση μεταδοτικών νοσημάτων. Στο πλαίσιο της διάλεξης θα παρουσιαστεί ο τρόπος που χτίζονται οι βασικές αρχές της τεχνητής νοημοσύνης για την ανάπτυξη του smart4covid ως ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων τόσο σε κλινικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο χάραξης στρατηγικών για την αναχαίτιση της πανδημίας. Επιπλέον, θα τονιστεί η σημασία διερεύνησης προκαταλήψεων στα δεδομένα καθώς επηρεάζει την απόδοση μοντέλων βασισμένων σε τεχνητή νοημοσύνη.

Μαρία Παπαδοπούλη

Καθηγήτρια CSD | Πανεπιστήμιο Κρήτης



Μαρία Παπαδοπούλη (Ph.D., Columbia University, 2002) Καθηγήτρια Επιστήμης Υπολογιστών, Πανεπιστημίου Κρήτης, συνεργαζόμενο μέλος ΔΕΠ του Ινστιτούτου Πληροφορικής, Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας, της Ερευνητικής Μονάδας Αρχιμήδης του Ερευνητικού Κέντρου Αθηνά, και επισκέπτρια Καθηγήτρια στο Brigham Women's Hospital στην Ιατρική Σχολή του Harvard (2022-2025). Τα ερευνητικά της ενδιαφέροντα περιλαμβάνουν τη μελέτη περίπλοκων δικτύων, εφαρμόζοντας αλγορίθμους από τη μηχανική μάθηση, τη θεωρία γράφων, και τη θεωρία πληροφορίας. Ξεκίνησε την πανεπιστημιακή της

καριέρα ως Επίκουρη Καθηγήτρια στο Πανεπιστήμιο της Βόρειας Καρολίνα στο Chapel Hill (2002-2004), όπου ασχολήθηκε με την ανάλυση και μοντελοποίηση των ασύρματων δικτύων. Έχει υπηρετήσει ως Επισκέπτρια Καθηγήτρια το KTH Royal Institute of Technology στη Στοκχόλμη (2011-2013), και ως Fulbright Scholar στο CSAIL, MIT (2017). Έκτοτε τα ενδιαφέροντα της έχουν διευρυνθεί και συμπεριλαμβάνουν τη βιο-πληροφορική, και τις υπολογιστικές νευροεπιστήμες, με κύριο ενδιαφέρον την ανάλυση των νευρωνικών δικτύων του εγκεφάλου (network neuroscience). Η έρευνα της έχει υποστηριχθεί από βραβεία (όπως τα IBM Faculty Award, Google Faculty Award, Comcast Innovation Fund) και εθνικά και ευρωπαϊκά προγράμματα (όπως το MSCA RISE και το ΕΛΙΔΕΚ).

Αναζητώντας τις υπολογιστικές αρχές των νευρωνικών δικτύων για την πραγματοποίηση μιας λιγότερο τεχνητής νοημοσύνης

Θα ταξιδέψουμε στο γοητευτικό κόσμο των δικτύων, παρουσιάζοντας διάφορες αρχιτεκτονικές και κανόνες οργάνωσής τους, και τις επιπτώσεις των αρχιτεκτονικών αυτών στη λειτουργία των δικτύων. Θα επικεντρωθούμε στα δίκτυα του εγκεφάλου, και συγκεκριμένα του οπτικού φλοιού. Πώς ο εγκέφαλος εκτελεί τους πολύπλοκους υπολογισμούς που μας επιτρέπουν να αλληλεπιδράσουμε με το περιβάλλον, πώς

επεξεργάζεται και μεταφέρει την πληροφορία από τη μια περιοχή στην άλλη, και πώς αλλάζει η συνδεσιμότητα του, όταν υπάρχει κάποιο εγκεφαλικό τραύμα ή νόσος; Θα σας παρουσιάσω αποτελέσματα της έρευνάς μας που αφορούν τις νευρωνικές υπολογιστικές και επικοινωνιακές μονάδες της αρχιτεκτονικής του οπτικού φλοιού, και θα συζητήσουμε για τις βασικές αρχές που διέπουν τα λειτουργικά δίκτυα του εγκεφάλου. Η πληροφορική και οι νευροεπιστήμες συμπορεύονται να απαντήσουν ερωτήματα με μεγάλο επιστημονικό, τεχνολογικό, και φιλοσοφικό ενδιαφέρον, προσκαλώντας μας να τις κοιτάξουμε με τόλμη, δημιουργικότητα, και συνεργατικά.

Ιωάννης Βούρκας

Associate Professor | Dept. Of Electronic Eng. UTFSM



Dr. Ioannis Vourkas was born in Kozani, Greece, in 1985. He received the M. Eng. (Diploma) and the Ph.D. degrees in Electrical and Computer Eng. (ECE) from the Democritus University of Thrace (DUTH), Greece, in 2008 and 2014, respectively. In 2015 he became a postdoctoral researcher at the Pontifical Catholic University of Chile (PUC). Currently he is Associate Professor with Tenure in the Dept. of Electronic Eng. of Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM) in Valparaíso, Chile. Since 2018, he also holds an associate researcher appointment with the AC3E Research Center of UTFSM in the AI Research group. His current research focuses on ReRAM characterization, modeling, and simulation, and on novel circuits and architectures for ReRAM-centric computing. His research interests include unconventional and in-memory computing, as well as software and hardware aspects of parallel bio-inspired computational circuits and systems. He is the main author of one book, four (4) book chapters, of more than thirty (30) international journal articles and more than fifty (50) papers included in peer-reviewed conference proceedings. He has given eight (8) invited talks in national and international conferences/workshops on topics related to ReRAM technology, and two (2) extended tutorial talks in international IEEE conferences. He is an IEEE CASS and NanoGiga TC member, and serves in the Editorial Board of IEEE Trans. on Nanotechnology (since 2021) and Elsevier Microelectronics Journal (since 2017). He has been a scholar of the Greek BODOSSAKI Foundation (2011 to 2014) and of the Santander Universities Program (2018/2019).

The Rise of ReRAM Technology & Instrumentation Solutions to Boost R&D Efforts in Academia

The technology of resistive switching devices (ReRAM devices or just "memristors") is continuously maturing and has already attracted a wide interest from the industrial sector. Several companies around the world are putting efforts towards ReRAM nanofabrication and commercialization of innovative products exploiting such emerging technology. Promising applications range from nonvolatile resistive memories (ReRAM memories) to neuromorphic and memory-centric computing. Comprehension of memristor fundamental behaviour through simulation-based learning, is the key substrate before further experimentation can take place with true device characterization. Even though it is the practical laboratory work which certainly motivates the students & researchers to implement and test their application ideas in hardware, their initiation in practical experiments with real resistive switching electronic devices is still lacking enough attention from academia. The lack of knowledge of the necessary experiments and strategies to follow for the adequate operation of such devices, is a limiting factor in this direction. In this context, this talk will first present the fundamental operations of resistive memory cells and the opportunities given by such technology in different application fields. Next, the talk will highlight the relevant challenges owing to the functional imperfections of the devices. Finally, the talk will conclude with results from the development of the "Revl-Ve Project", an ad-hoc instrumentation solution for ReRAM devices which enables the quick realisation of a variety of complex, yet fully-customizable, laboratory experiments with real ReRAM devices, and is suitable both for educational and for research purposes. The Revl-Ve tool concerns a comprehensive graphical user interface (GUI), compatible with the Digilent Analog Discovery instrument series, and supports different voltage-/current-based circuit topologies to access the ReRAM devices, which are readily-available in a printed circuit board (PCB) designed to directly connect to the Digilent AD2 instrument. The audience will learn about the current status of the Revl-Ve project and the principal advantages it offers for laboratory work, the variety of experiments it facilitates, and see results with data collected from measurements on commercial ReRAM devices sold by Known Inc. Both the Revl-Ve Project itself and the circuit topologies that will be shown, which facilitate laboratory experiments with ReRAM devices, are expected to motivate the audience to dare bring to the laboratory and test their application ideas for memristor technology.

Γεώργιος Καραγιαννίδης

Καθηγητής | ΤΗΜΜΥ ΑΠΘ



Από το 2004 είναι Καθηγητής στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Οι κυριότερες ερευνητικές του δραστηριότητες περιλαμβάνουν Ασύρματα δίκτυα επικοινωνίας 5G και 6G, Εφαρμογή της Τεχνητής Νοημοσύνης στην μετάδοση και επεξεργασία της πληροφορίας, Ασύρματη μεταφορά ενέργειας, κ.λ.π. Έχει δώσει πάνω από 100 διαλέξεις σε ξένα πανεπιστήμια και φόρα και έχει βραβευτεί πολλές φορές για τη συμβολή του στην έρευνα για τις τηλεπικοινωνίες και τα ασύρματα

δίκτυα με μεγάλα διεθνή επιστημονικά βραβεία όπως τα 2021 IEEE Communications Society Radio Communications Committee (RCC) Technical Recognition Award, 2018 IEEE Signal Processing and Communications Electronics (SPCE) Technical Recognition Award και πρόσφατα με το σπουδαίο βραβείο Humboldt Research Award 2022 από το Alexander von Humboldt Foundation στην Γερμανία.

Από 1/1/2024 είναι Editor-in-Chief του πιο σπουδαίου περιοδικού για τις τηλεπικοινωνίες IEEE Transactions on Communications. Είναι ένας από τους πιο επιδραστικούς επιστήμονες σε παγκόσμιο επίπεδο και ο μοναδικός Έλληνας Ακαδημαϊκός από τον χώρο της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών που αναδεικνύεται τα τελευταία 9 συνεχή έτη (2015-2023) ως Clarivate Analytics Highly Cited Researcher.

Τεχνητή Νοημοσύνη και Ασύρματα Δίκτυα 6ης Γενιάς (6G)

Θα παρουσιαστούν οι τελευταίες εξελίξεις για την μετάβαση στα δίκτυα 6ης γενιάς (6G) και η αμφίδρομη σχέση μεταξύ των δικτύων αυτών και της τεχνητής νοημοσύνης (AI for 6G & 6G for AI)

Γεώργιος Σταμούλης

Καθηγητής | ΤΗΜΜΥ Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας



Ο Γιώργος Σταμούλης γεννήθηκε στη Λαμία το 1966. Αποφοίτησε από το Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. το 1989. Συνέχισε τις σπουδές του στο Τμήμα Electrical and Computer Engineering του University of Illinois at Urbana-Champaign όπου του απονεμήθηκαν το M.S. (1991) και το Ph.D. (1994).

Μετά από ένα χρόνο ως Επισκέπτης Επίκουρος Καθηγητής στο University of Iowa, εργάστηκε στην Intel Corp. στην περιοχή των εργαλείων CAD για

υπολογισμό και βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ισχύος ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, αρχικά ως μηχανικός (1995-1996), στη συνέχεια ως επικεφαλής της ομάδας PowerCAD (1996-1998), διευθυντής του παραρτήματος των Strategic CAD Laboratories στην Santa Clara (1998-1999) και ως υπεύθυνος για την μείωση της ισχύος του Pentium M, το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην πλατφόρμα Centrino (1999-2001). Το 2001 ανέλαβε Επίκουρος Καθηγητής στο Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πολυτεχνείου Κρήτης. Το 2003 ανέλαβε Αναπληρωτής Καθηγητής στο Τμήμα Μηχανικών Η/Υ, Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, το οποίο μετονομάστηκε σε Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών το 2013. Το 2009 ανέλαβε ως Καθηγητής. Από το 2003 έως το 2007 ήταν Αναπληρωτής Πρόεδρος και από το 2007 έως το 2011 ήταν Πρόεδρος του Τμήματος. Από το 2013 έως το 2018 ήταν Πρόεδρος του νεοσύστατου Τμήματος Πληροφορικής και από το 2018 έως τον Ιούνιο του 2023 Κοσμήτορας της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Έκτοτε είναι Εσωτερικό Μέλος του Συμβουλίου Διοίκησης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Τα ερευνητικά του ενδιαφέροντα εστιάζονται στον υπολογισμό και βελτιστοποίηση της μέσης και της μέγιστης ισχύος ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, τον υπολογισμό και τη βελτιστοποίηση της μέγιστης πτώσης τάσης στο δίκτυο τροφοδοσίας ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, τεχνικές σχεδιασμού χαμηλής ισχύος και υπολογισμό και βελτιστοποίηση της αξιοπιστίας ολοκληρωμένων συστημάτων, ασύρματα δίκτυα αισθητήρων για εφαρμογές ασφαλείας, γεωργίας και υγείας, καθώς και ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας ηλεκτρονικών συστημάτων. Έχει συγγράψει πάνω από 230 εργασίες που δημοσιεύθηκαν σε περιοδικά και συνέδρια και κατέχει πέντε διπλώματα ευρεσιτεχνίας ενώ έχει πάνω από 2000 αναφορές στο έργο του. Είναι μέλος του ΤΕΕ και της ΙΕΕΕ, ενώ έχει συμμετάσχει στις Επιστημονικές Επιτροπές πολλών ελληνικών και διεθνών συνεδρίων.

Τα πρώτα βήματα της σχεδίασης ολοκληρωμένων

Η ομιλία θα εστιάσει στην κατασκευή των πρώτων μικροεπεξεργαστών, τις τεχνολογίες που αναπτύχθηκαν για να αντιμετωπίσουν τα προβλήματα που προέκυπταν και την επίδραση στην παρούσα κατάσταση της βιομηχανίας ολοκληρωμένων.

Συμεών Παπαδόπουλος

Κύριος Ερευνητής | Ινστιτούτο Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών | ΕΚΕΤΑ



Ο Δρ. Συμεών Παπαδόπουλος έλαβε το Δίπλωμα του Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και Μηχανικού Υπολογιστών από το αντίστοιχο Τμήμα της Πολυτεχνικής Σχολής του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ), το 2004, ενώ το 2012 αναγορεύτηκε Διδάκτορας από το Τμήμα Πληροφορικής του ΑΠΘ, αφού εκπόνησε Διδακτορική Διατριβή στην περιοχή της Εξόρυξης Γνώσης από Πολυμεσικά Δεδομένα Μεγάλης Κλίμακας. Ενδιάμεσα, ολοκλήρωσε μεταπτυχιακές

σπουδές ειδίκευσης στις Τεχνολογίες Πληροφορίας και Επικοινωνιών στο Πολυτεχνείο του Αϊντχόφεν (2006) και παρακολούθησε εξ αποστάσεως σπουδές στη Διοίκηση Επιχειρήσεων (MBA) στο Ινστιτούτο Τεχνολογίας του Μπλέκινγκε (2007-2009).

Μετά από ένα διάστημα εργασίας στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΑΠΘ ως ερευνητικός συνεργάτης (2006-2007), εργάζεται στο Εργαστήριο Γνώσης, Πολυμέσων και Ανάλυσης Κοινωνικών Δικτύων, ως συνεργαζόμενος ερευνητής από το 2007 και μεταδιδακτορικός ερευνητής από το 2012 και ως Ερευνητής Βαθμίδας Γ' από το 2019 και Β' από το 2022. Υπήρξε ιδρυτικό μέλος στην spin-off εταιρεία Infalia (2014). Έχει δημοσιεύσει περισσότερες από 40 εργασίες σε διεθνή περιοδικά, >140 σε συνέδρια, 14 κεφάλαια βιβλίων, 2 βιβλία και 3 διεθνείς πατέντες. Το συγγραφικό του έργο έχει συγκεντρώσει περισσότερες από 7000 ετεροαναφορές με βάση το Google Scholar. Είναι μέλος της IEEE, ACM και του TEE. Είναι υπεύθυνος της ομάδας MeVer - Media Analysis, Verification and Retrieval (mever.gr).

Η τεχνητή νοημοσύνη στην υπηρεσία κατά της Παραπληροφόρησης

Η ομιλία θα εισάγει το πρόβλημα της ψηφιακής παραπληροφόρησης με έμφαση στην παραπληροφόρηση που διενεργείται με τη βοήθεια εικόνων και βίντεο και θα παρουσιάσει μια σειρά μεθόδων και εργαλείων με βάση την Τεχνητή Νοημοσύνη, τα οποία συμβάλλουν στην καταπολέμησή της. Θα γίνει ιδιαίτερη αναφορά στην έρευνα που διενεργείται από την ομάδα Ανάλυσης, Επαλήθευσης και Ανάκτησης Περιεχομένου (Media Analysis, Verification and Retrieval - MeVer) στο πλαίσιο διεθνών συνεργασιών και ερευνητικών έργων, και στις ερευνητικές προκλήσεις του ανερχόμενου αυτού πεδίου.

Γεώργιος Κεραμίδας

Επίκουρος Καθηγητής | Τμήμα Πληροφορικής ΑΠΘ



Ο Δρ. Γεώργιος Κεραμίδας έλαβε το διδακτορικό του δίπλωμα από το τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πατρών το 2008. Από το 2019, είναι Επίκουρος Καθηγητής στο τμήμα Πληροφορικής του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Διδάσκει τα προπτυχιακά μαθήματα: Αρχιτεκτονική Υπολογιστών, Ψηφιακή Σχεδίαση, Προχωρημένα Θέματα Αρχιτεκτονικής και Μικροεπεξεργαστές, καθώς και το μεταπτυχιακό μάθημα:

Edge Computing. Πριν τον διορισμό του ως μέλος ΔΕΠ, εργάστηκε σχεδόν 11 χρόνια στη βιομηχανία ως Επιστημονικός Διευθυντής (Chief Scientific Officer) της Think Silicon A.E. στην οποία συμμετείχε στην σχεδίαση της αρχιτεκτονικής των πολυπύρηνων GPUs της εταιρείας. Ήταν επίσης υπεύθυνος για τη διαχείριση των χρηματοδοτούμενων έργων και για τη διαχείριση του χαρτοφυλακίου των διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας της εταιρείας. Ο κ. Κεραμίδας συνεχίζει να εργάζεται στην εταιρεία ως σύμβουλος τεχνολογίας και καινοτομίας εστιάζοντας στην σχεδίαση των νέων προϊόντων καθώς και στην επέκταση του χαρτοφυλακίου των διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας. Έχει συμμετάσχει σε περισσότερα από 10 συνεργατικά ερευνητικά έργα χρηματοδοτούμενα από την Ευρωπαϊκή Ένωση και σε 5 εθνικά έργα, είτε ως κύριος συντονιστής, ως τεχνικός συντονιστής, είτε ως κύριος ερευνητής. Την τρέχουσα περίοδο είναι υπεύθυνος για ένα έργο ιδιωτικής χρηματοδότησης και ηγείται μιας ομάδας αποτελούμενη από 4 υποψήφιους διδάκτορες και 10 πτυχιούχους/μεταπτυχιακούς φοιτητές. Είναι επίσης τεχνικός συντονιστής ενός έργου μεταφοράς τεχνολογίας μεταξύ βιομηχανίας και πανεπιστημίων (SMART4ALL) που χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Τα ερευνητικά του ενδιαφέροντα περιλαμβάνουν την σχεδίαση και μοντελοποίηση επεξεργαστών και συστημάτων

μνήμης χαμηλής κατανάλωσης ισχύος, την σχεδίαση πολυπύρηνων και πολυνηματικών επεξεργαστών, επιταχυντών γραφικών, επιταχυντών τεχνητής νοημοσύνης, την σχεδίαση πρωτοτύπων συστημάτων σε FPGA και τεχνικές βελτιστοποίησης κώδικα σε επίπεδο μεταγλωττιστή. Έχει συνδημοσιεύσει 110+ επιστημονικές εργασίες σε διεθνή συνέδρια και περιοδικά, τρία κεφάλαια βιβλίων και είναι κάτοχος 14 διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας (επιπλέον 12+ διπλώματα ευρεσιτεχνίας βρίσκονται σε κατάσταση αξιολόγησης). Το έργο του έχει λάβει πάνω από 1400++ αναφορές (h-index: 17, i10-index: 28). Έχει λάβει ένα βραβείο καλύτερης εργασίας, βραβείο Μεταφοράς Τεχνολογίας (από το HiPEAC) και βραβείο "Outstanding reviewer" από το περιοδικό Microprocessors and Microsystems (MICPRO). Ο κ. Κεραμίδης έχει διατελέσει συν-προεδρεύων σε 4 διεθνή συνέδρια (FPL'21, ISVLSI'21, ARC 2018, ARC 2023) και είναι τακτικό μέλος της Τεχνικής Επιτροπής πολλών συνεδρίων (DATE, FPL, ISVLSI, SAMOS, CITS, CCCI, ISQED). Είναι τακτικός εμπειρογνώμονας και σύμβουλος καινοτομίας στην Ευρωπαϊκή Ένωση σε προγράμματα EIC (European Innovation Council), τακτικός αξιολογητής σε περιοδικά σχετικά με το αντικείμενο του, μέλος του Ευρωπαϊκού Δικτύου Αριστείας HiPEAC και μέλος του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (TEE).

Ultra-Low Power Accelerators for the Edge

Αρχικά θα παρουσιαστούν οι βασικές αρχές της κατανάλωσης ενέργειας CMOS κυκλωμάτων για συσκευές που λειτουργούν στο νέφος (cloud) και στο άκρο του δικτύου (edge). Στην συνέχεια, θα επικεντρωθούμε στις αρχές σχεδίασης επιταχυντών και θα αναλύσουμε διάφορες τεχνικές χαμηλής κατανάλωσης ισχύος που ακολουθούν την προσέγγιση συνσχεδίασης Υλικού (HW), Λογισμικού (SW) και Μεταγλωττιστή (Compiler) με στόχο την εκτέλεση εφαρμογών με υψηλή επίδοση και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας στο Edge. Έμφαση θα δοθεί στην συμπίεση και παραλληλοποίηση TinyML εφαρμογών.

Κωνσταντίνος Βουρνάς

Ομότιμος Καθηγητής | THMMY ΕΜΠ



Constantine (Costas) Vournas is Professor Emeritus in the School of Electrical and Computer Engineering of National Technical University of Athens, Greece. He has published close to 200 papers in International Journals and Conferences and has co-authored the book "Voltage Stability of Electric Power Systems". His research interests are in the area of power system dynamics, stability and control and include voltage stability monitoring and security analysis, renewable generation integration in power systems, and novel control

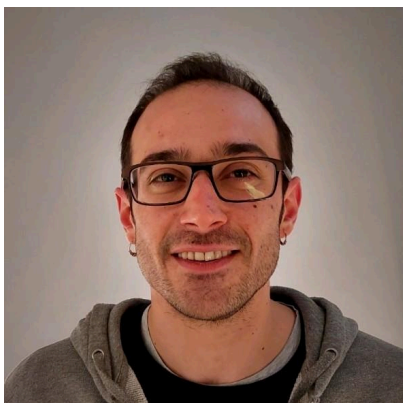
applications for distribution and transmission systems. Fellow of IEEE (2005) and member of CIGRE. He received the IEEE/PES Prabha Kundur Award in 2019. He served as Region 8 Representative on the IEEE Power and Energy Society (PES) Governing Board (2011-2014). He is currently Chair of PES Greece Chapter, Past Chair of IEEE/PES Power Tech Steering Committee (2007-2019), and Chair of the IEEE/PES Power Systems Dynamic Performance Committee. Since 2021 he is Chairing the Energy WG of the IEEE European Public Policy Committee (EPPC) and is member of EPPC. From 2024 he serves as the Secretary of the Technical Council of IEEE PES.

Προκλήσεις για τα Ηλεκτρικά Συστήματα κατά την Ενεργειακή Πράσινη Μετάβαση

Η Πράσινη Ενεργειακή Μετάβαση, δηλαδή το πέρασμα από την εποχή των ορυκτών καυσίμων στην εποχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας επιβάλλεται από την αναγκαιότητα διατήρησης του κλίματος και της ανθρώπινης ζωής στον πλανήτη σε αποδεκτά επίπεδα. Η πρόοδος που έχει ήδη συντελεστεί είναι τεράστια και πολλαπλάσια των προσδοκιών πριν μερικές δεκαετίες. Η αλλαγή ωστόσο στα ηλεκτρικά συστήματα έχει μόλις αρχίσει να συντελείται: πρόκειται για τι πέρασμα από συστήματα βασισμένα σε μεγάλους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής μακριά από τα αστικά κέντρα με μεγάλες σύγχρονες γεννήτριες σε κατανομημένα, διάσπαρτα συστήματα ηλεκτροπαραγωγούς που συνδέονται μέσω μετατροπών ηλεκτρονικών ισχύος σε όλα τα επίπεδα τάσης (υψηλής, μέσης, χαμηλής) στα δίκτυα διανομής και μεταφοράς. Η παρουσίαση θα εστιάσει στις προκλήσεις που αυτή η μετάβαση αντιμετωπίζει καθώς και σε ανοικτά θέματα σχετικά με τον έλεγχο και την ασφάλεια των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, τις ανάγκες σε υπολογιστικά και τηλεπικοινωνιακά εργαλείο, στην αλλαγή του ρόλου του καταναλωτή-παραγωγού και στις συνέπειες για την επιστήμη και το ρόλο των Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών στις ερχόμενες κρίσιμες δεκαετίες.

Αναστάσιος Ψαρράς

SoC Design Engineer | Axelera AI



Λέγομαι Τάσος Ψαρράς και τα τελευταία 10 χρόνια σχεδιάζω συστήματα σε ολοκληρωμένα κυκλώματα. Είμαι απόφοιτος της σχολής ΗΜΜΥ του ΔΠΘ στην Ξάνθη (2012), και κάτοχος μεταπτυχιακού (2014) και διδακτορικού (2017) τίτλου σπουδών από την ίδια σχολή. Η διδακτορική μου διατριβή με θέμα "High-performance Networks-on-Chip" βραβεύτηκε με

το βραβείο "Outstanding Dissertation Award" από τον οργανισμό Electronic Design Automation Association (EDAA). Έχω δημοσιεύσει 1 βιβλίο στη Springer, 9 εργασίες σε περιοδικά IEEE Transactions και 10 σε συνέδρια IEEE και ACM. Έχω εργαστεί ως Μηχανικός Σχεδίασης Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων στην Intel, στην Intracom Telecom και στην Axelera AI όπου εξακολουθώ να εργάζομαι σήμερα.

Σχεδιάζοντας System-on-Chips δισεκατομμυρίων τρανζίστορ

Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα αποτελούν από τα πιο αξιοθαύμαστα και πολύπλοκα επιτεύγματα της μηχανικής. Χάρης στην επι δεκαετίες εκθετική ανάπτυξη της βιομηχανίας ημιαγωγών πυριτίου, περάσαμε από τους απλούς μονοπύρηνους μικροεπεξεργαστές στα πολυπύρηνια System-on-Chips (SoCs) πολλαπλών επιταχυντών. SoCs εκατομμυρίων ή και δισεκατομμυρίων τρανζίστορ βρίσκονται σήμερα μέσα σε κάθε ηλεκτρονική συσκευή, από laptops και smartphones μέχρι αυτοκίνητα, τηλεοράσεις και ηλεκτρικές σκούπες. Ποιά είναι η μορφή ενός System-on-Chip? Πώς σχεδιάζεται ένα τόσο πολύπλοκο σύστημα από το μηδέν? Πώς μεταλλάσσεται η αρχιτεκτονική του για να εξυπηρετήσει την νέα γενιά υπολογιστικής νοημοσύνης? Τι επιφυλάσσει το μέλλον για το πυρίτιο?

Στην ομιλία μου θα επιχειρήσω να δώσω απαντήσεις σε ερωτήματα σαν κι αυτά. Θα παρουσιάσω το σημερινό τοπίο της βιομηχανίας μικροτσιπ, θα εξηγήσω το πώς διαμορφώθηκε ιστορικά και πού προβλέπεται να κατευθυνθεί στο άμεσο μέλλον. Τέλος, με όπλο την εμπειρία από μια start-up σχεδιασμού System-on-Chips επιταχυντών Τεχνητής Νοημοσύνης στην αιχμή της τεχνολογίας, θα παρουσιάσω τις προκλήσεις που συναντά μια προσπάθεια σχεδιασμού τέτοιων συστημάτων από το μηδέν.

Σάββας Χατζηχριστοφής

Αντιπρόεδρος | Καθηγητής Τεχνητής Νοημοσύνης | Πανεπιστήμιο Πάφου



Ο Σάββας Χατζηχριστοφής είναι Αντιπρόεδρος Έρευνας και Καινοτομίας και Καθηγητής Τεχνητής Νοημοσύνης. Η έρευνά του επικεντρώνεται στη διασταύρωση της τεχνητής νοημοσύνης, της όρασης υπολογιστών και της ρομποτικής και έχει συμμετάσχει σε πολλά έργα E&A που χρηματοδοτούνται από ευρωπαϊκούς και εθνικούς οργανισμούς. Είναι κάτοχος

διπλώματος (M.Eng.) και διδακτορικού διπλώματος στην Όραση Υπολογιστών από το

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο και έχει διατελέσει ειδικός επιστήμονας, επισκέπτης καθηγητής και ερευνητής σε διάφορα ιδρύματα. Έχει λάβει πολυάριθμες διακρίσεις, υποτροφίες και βραβεία για τη συνεισφορά του και έχει δημοσιεύσει εκτενώς σε έγκυρα ακαδημαϊκά περιοδικά.

Η μετασχηματιστική Δύναμη της Τεχνητής Νοημοσύνης στην Εκπαίδευση

Η ανησυχία ότι η Τεχνητή Νοημοσύνη (TN) μπορεί να υπονομεύσει την εκπαιδευτική διαδικασία είναι ευρέως διαδεδομένη. Ωστόσο, η TN διαθέτει τεράστιο δυναμικό για θετικές μεταμορφώσεις στην εκπαίδευση. Με την ικανότητα να προσφέρει προσαρμοστικές και προσωποποιημένες μαθησιακές εμπειρίες, η TN μπορεί να ενισχύσει την αποδοτικότητα της μάθησης, προσφέροντας εξατομικευμένο περιεχόμενο που συμβαδίζει με τις ανάγκες και τις μαθησιακές συνήθειες κάθε μαθητή/φοιτητή. Η δυνατότητα για αξιολογήσεις σε πραγματικό χρόνο βελτιώνει επίσης την ανάδραση και την κατανόηση. Με ποιο τρόπο η TN μπορεί να αντιμετωπιστεί ως μια ευκαιρία για να αναθεωρηθούν και να ενισχυθούν οι εκπαιδευτικές μέθοδοι, προσφέροντας νέες προοπτικές στη διδασκαλία και την εκμάθηση. Ποιος ο ρόλος του σύγχρονου εκπαιδευτικού και πώς μετεξελίσσεται η εκπαίδευση;

Κωνσταντίνος Χαμζάς

Επίκουρος Καθηγητής | Τμήμα Ρομποτικής Μηχανικής | WPI USA



Ο Κωνσταντίνος Χαμζάς είναι επίκουρος καθηγητής στο Τμήμα Ρομποτικής Μηχανικής στο Worcester Polytechnic Institute στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Απέκτησε το Διδακτορικό του το 2023 από το Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών στο William Marsh Rice University, εργαζόμενος υπό την επίβλεψη των καθηγητών Λυδίας Καβράκη, και Anshumali Shrivastava. Απέκτησε το δίπλωμά του Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και Μηχανικού Υπολογιστών από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης το 2017.

Είναι δικαιούχος της υποτροφίας NSF-GRFP και Future Faculty Fellow από Πανεπιστήμιο Rice. Τα ερευνητικά του ενδιαφέροντα εστιάζουν στην σχεδίαση αλγορίθμων ρομποτικής κίνησης, με έμφαση στον συνδυασμό κλασικών αλγορίθμων με μεθόδους βασισμένες στη μάθηση. Οι τρέχουσες

κατευθύνσεις έρευνας του είναι η βελτίωση της ταχύτητας των αλγορίθμων σχεδιασμού κίνησης, η κίνηση με ανακριβή μοντέλα χώρου, και η σχεδίαση κίνησης από εικόνα. Η εργασία του στο συνδυασμό μηχανικής μάθησης για την βελτίωση της ταχύτητας των αλγορίθμων σχεδιασμού είχε προταθεί για το Βραβείο Καλύτερης Εργασίας στο Cognitive Robotics στο ICRA 2021.

Αλγόριθμοι σχεδίασης ρομποτικής κίνησης και μηχανική μάθηση

Η ρομποτική έχει τη δυνατότητα να ενισχύσει τις ανθρώπινες ικανότητες με τρόπους που μπορούν να μεταμορφώσουν την ανθρώπινη κοινωνία. Η ενσωμάτωση προηγμένων αισθητήρων και μοντέρνων κινητήρων έχει θέσει τη βάση ώστε τα ρομπότ να επιτύχουν αυτές τις ικανότητες, όπως φαίνεται από την παρουσία τους σε εργοστάσια και, σε περιορισμένες περιπτώσεις, σε οικιακά περιβάλλοντα. Ωστόσο, σε μη γνωστά εκ των προτέρων περιβάλλοντα, τα ρομπότ δυσκολεύονται να προσαρμοστούν, να συνεργαστούν με ανθρώπους και να εκτελέσουν πολύπλοκες εργασίες. Σε αυτή την παρουσίαση, θα παρουσιάσω πρόσφατες εξελίξεις προς την κατεύθυνση της εισαγωγής ρομποτ στον πραγματικό κόσμο μέσω της ενσωμάτωσης κλασικών αλγορίθμων κίνησης, με σύγχρονες μεθόδους μηχανικής μάθησης. Μετά από μια εισαγωγή στις βασικές έννοιες των αλγορίθμων σχεδίασης κίνησης για ρομποτικούς βραχίονες, αυτή η ομιλία θα παρουσιάσει (α) πρόσφατα ευρήματα, σχετικά με το πώς οι μέθοδοι μάθησης μπορούν να βελτιώσουν την ταχύτητα των κλασικών αλγορίθμων κίνησης, (β) έρευνα πάνω στην ρομποτική κίνηση με ανακριβείς μοντέλα του χώρου και (γ) έρευνα πάνω στην δημιουργία αλγορίθμων για ρομποτική κίνηση κατευθείαν από εικόνες

Παρουσιάσεις Paper Φοιτητών

Κατά την διάρκεια του Συνεδρίου, πραγματοποιήθηκαν παρουσιάσεις από εργασίες που είχαν καταθέσει φοιτητές και επιλέχθηκαν να παρουσιαστούν στο Συνέδριο. Οι εργασίες των φοιτητών παρατίθενται παρακάτω:

1. *Development of a Modular Prototype One Channel Encephalograph* - Δημήτριος Λάμπρος
2. *Hybrid Classical-Quantum Neural Network for Rice Crop Identification* - Konstantina Safouri, Georgios Varsamis and Ioannis Liliopoulos
3. *Μία Τεχνική Εστιαζόμενης Μικροκυματικής Υπερθερμίας Μέσω Στρώματος Συνεχούς Ρεύματος, Βασισμένου Σε Χωρικά Επιλογικές Επιφάνειες* -Thomas Daltzis, Dimitrios Arnaoutoglou, George Trichopoulos and George Kyriacou
4. *Helical Open Waveguide Structure for Optimization of Microwave Ablation* -Nikolaos Karkanis, George Kyriacou, Marinos Psomas, Theodoros Samaras and Theodoros Kaifas
5. *Steering Prediction for Self-driving Cars with Event-based Vision* - Eleni Kleisiari, Lazaros Tsochatzidis and Ioannis Pratikakis
6. *Music Chord Classification using the Vision Transformer and Chroma Features* - Thomas Stogiannopoulos and Nikolaos Mitianoudis
7. *Probability Assessment of the Impact of Electric Vehicles on Power Quality in Electricity Distribution Networks* - Christina Grammenou and Aggelos Bouhouras
8. *Προτεινόμενη Μεθοδολογία Σχεδιασμού Φίλτρων Σταθερής Χρονικής Καθυστέρησης Ομάδος για Δίκτυα Διαμόρφωσης Δέσμης στην Ζώνη FR3* - Charalampia Chatzi, Georgios Kyriacou and Dimitrios Arnaoutoglou
9. *An AMR's (Autonomous Mobile Robot) journey to RoboCup@Work* - Nektarios Pipilis, Theodoros Rossidis, Altzi Tsanko and Dimitrios Theocharopoulos
10. *System Design of an X-Band Multistage High Power Amplifier with Electronically Controlled Output Power* - Konstantinos Kermanidis, Dimitris Arnaoutoglou, Andreas Papanastasiou and Georgios Kyriacou
11. *Advancing Computing with Memristive Nanocircuits* - Emmanouil Stavroulakis, Ioannis Tompris, Ioannis K. Chatzipaschalis, Evangelos Tsipas, Theodoros Panagiotis Chatzinikolaou, Iosif-Angelos Fyrigos and Georgios Ch. Sirakoulis
12. *Πολυεδρική Συστοιχία Μικροταινιακών Κεραιών Ραντάρ Ανίχνευσης Υπεριπτάμενων Οχημάτων* - Alexandros Dimakopoulos, Dimitris Arnaoutoglou and Georgios Kiriakou

13. Improving Fire Detection into Forests with the use of Environmental Sensors

-Ioannis Giordamlis, Dimitrios Platsas and Sarantis Antoniou

14. On Body Radar System as Navigational Aid for the Visually Impaired- Eleftheria

Solomonidi, Eirini Markantonatou, Giorgos Soukaras, Giorgos Rodis and Panagiotis Kiousis

Workshops

Φοιτητικές Ομάδες

Όταν το HC-05 (Bluetooth) συνάντησε το Arduino

Σε αυτό το Workshop θα εξερευνήσουμε το Module HC-05 (Bluetooth), θα μάθουμε πως το Φοιτητικό Παράρτημα IEEE του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος στις Σέρρες έφτιαξε ένα σετ από έξυπνα φανάρια με βάση το Arduino και θα δούμε βήμα βήμα πως μπορούμε να υλοποιήσουμε ένα απλό project με αυτό το Module.

Περιγραφή Ομάδας

Το Φοιτητικό Παράρτημα IEEE του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος στην Πανεπιστημιούπολη Σερρών, ιδρύθηκε το 2011 (τότε ως ΤΕΙ Σερρών) από φοιτητές του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής, Υπολογιστών και Επικοινωνιών, που ήθελαν να κάνουν επιστημονική έρευνα μέσω του IEEE, να συμμετάσχουν σε διαγωνισμούς. και να οργανώνουν διαλέξεις για όλους τους φοιτητές της πόλης των Σερρών.

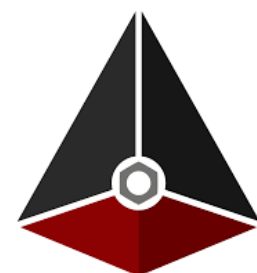


Learn Industrial Robots with ROS

Σε ενδιαφέρει η ρομποτική; Θέλεις να πάρεις μια γεύση από την βιομηχανική μεριάς της; Ή μήπως θέλεις να γνωρίσεις προγράμματα που χρησιμοποιούν οι εταιρείες κολοσσοί στον τομέα του αυτοματισμού και της αυτοκινητοβιομηχανίας για να προσομοιώσουν, να αναπτύξουν και να βελτιώσουν τα προϊόντα τους; Αν απάντησες ναι σε έστω και μια από τις παραπάνω ερωτήσεις μπορείς να δηλώσεις συμμετοχή στο workshop της Democritus Industrial Robotics (DIR) με όνομα "Learn Industrial Robots with ROS".

Περιγραφή Ομάδας

Η Democritus Industrial Robotics (DIR) πρόκειται για την μοναδική φοιτητική ομάδα βιομηχανικής ρομποτικής στη Ελλάδα. Ιδρυμένη το 2018 και έχοντας ως έδρα την Ξάνθη



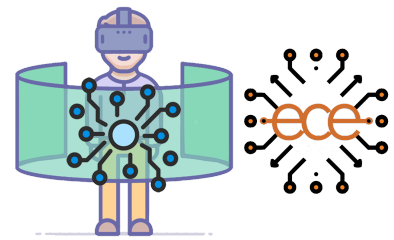
βρίσκεται υπό την αιγίδα του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης (Δ.Π.Θ.). Στόχος της είναι η συμμετοχή και η εκπροσώπηση της χώρας στον μεγαλύτερο διαγωνισμό ρομποτικής, το RoboCup, και πιο συγκεκριμένα στην κατηγορία @Work. Στις τρεις συμμετοχές της έχει κατακτήσει την 6η, την 9η και την 4η θέση παγκοσμίως, αντίστοιχα, καθώς και μια διάκριση.

Augmented Reality Workshop

Το Εργαστήριο Μικτής Πραγματικότητας και Δικτυοκεντρικών Συστημάτων του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας διοργανώνει Workshop με θέμα την επαυξημένη πραγματικότητα. Το Workshop αποτελεί μια ευκαιρία για τους συμμετέχοντες να δημιουργήσουν μια AR Εφαρμογή με την χρήση της μηχανής παιχνιδιών Unity 3D και του Vuforia και να εξερευνήσουν τις δυνατότητες της επαυξημένης πραγματικότητας.

Περιγραφή Ομάδας

Το Εργαστήριο Μικτής Πραγματικότητας και Δικτυοκεντρικών Συστημάτων του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας ιδρύθηκε το 2022 και καλύπτει τις ερευνητικές και διδακτικές ανάγκες στο γνωστικό αντικείμενο της μικτής πραγματικότητας και των δικτυοκεντρικών συστημάτων σε γενικά και ειδικά θέματα συναφή με τα διδακτικά και ερευνητικά αντικείμενά του.



Οι υπηρεσίες που παρέχει το εργαστήριο είναι:

- Ανάπτυξη πολυμεσικών εφαρμογών AR/VR/MR
- Προσαρμοστικές Ροές Βίντεο – AR /VR (Adaptive Video / Adaptive AR VR Streaming)
- Ανάπτυξη κινητών εφαρμογών
- Κατανομή Φορτίου σε Ασύρματα Δίκτυα (Load Balancing in Wireless Networks)
- Αλγόριθμοι τιμολόγησης για τη συμμετοχή στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας
- Οχηματικά δίκτυα 5G
- Αλγόριθμοι χρονοπρογραμματισμού σε ασύρματα δίκτυα
- Αλγόριθμοι συνεργατικής προσωρινής αποθήκευσης και συνέπειας της cache
- Μηχανική Μάθηση
- Νευρωνικά Δίκτυα και εφαρμογές εικόνας
- Έμπειρα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων
- Αλγόριθμοι συνεργατικής προσωρινής αποθήκευσης και συνέπειας της cache

Next-Gen Pilots: AI-Enhanced Drones in Action

Συμμετέχεις στο Παγκόσμιο Κύπελλο αυτόνομων Drones. Κάθε φάση του τουρνουά περιλαμβάνει διαφορετικό αγώνισμα. Φτάνεις στον τελικό και ανακοινώνεται πως το παιχνίδι που θα διεξαχθεί είναι το «Drone LaserTag». Θέλεις να πρωτοτυπήσεις και εκπαιδεύεις το Drone σου να εκτελεί κινήσεις που θα αιφνιδιάσουν τον αντίπαλο σου. Τον σκέφτεσαι να σε κυνηγάει, λίγο πριν σε φτάσει και με το χρόνο να συρρικνώνεται, κάνεις ένα θεαματικό backflip και βρίσκεσαι πίσω του. Το χρονόμετρο σταματά και γίνεσαι πρωταθλητής του Παγκοσμίου Κυπέλλου!

Το workshop αυτό αποτελεί μια εισαγωγή στην ενισχυτική μάθηση και τη ρομποτική. Χρησιμοποιώντας Python, θα ελέγξουμε το Drone και θα προσομοιώσουμε την κίνηση στο Webots. Το workshop θα παρουσιάσει η υποομάδα της RAS, Icarus Flying Team.

Περιγραφή Ομάδας

Το RAS είναι φοιτητική ομάδα ρομποτικής και αυτοματισμού και υπάγεται στο φοιτητικό παράρτημα του IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η ομάδα έχει δύο ενεργά projects, το Autonomous Driving Vehicle και το Autonomous Delivery Drone, ενώ παράλληλα υλοποιεί και το εκπαιδευτικό πρόγραμμα RAS ACADEMY για αρχάριους φοιτητές που θέλουν να ασχοληθούν με τη ρομποτική. Το RAS εκτός των άλλων πραγματοποιεί εκδηλώσεις και workshops ενώ συμμετέχει σε διαγωνισμούς παγκοσμίου εμβέλειας. Σκοπός μας είναι να εμπνεύσουμε τους φοιτητές να δημιουργήσουν. Δίνουμε την δυνατότητα να αναπτυχθούν ιδέες και τεχνογνωσία πολύ πιο πριν απο την εισαγωγή στην αγορά εργασίας.



Phishing Attacks: Behind the Screens

Ακολουθείστε την Ομάδα Ethical Hacking του Computer Society του Φοιτητικού Παραρτήματος IEEE του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου σε ένα συναρπαστικό workshop με τίτλο " Phishing Attacks: Behind the Screens". Από την βαθύτερη κατανόηση του πώς οι κακόβουλοι δράστες μας εξαπατούν ηλεκτρονικά μέχρι την εκμάθηση της τεχνικής πλευράς των κυβερνοεπιθέσεων phishing, αυτό το workshop σας παρέχει πρακτικές γνώσεις για αυτό που συμβαίνει "πίσω από τις οθόνες", τόσο των εγκληματιών, όσο και των επαγγελματιών που τους καταπολεμούν.

Περιγραφή Ομάδας

Το Computer Society Chapter του IEEE NTUA Student Branch περιλαμβάνει ομάδες για Machine Learning, Software Development, Competitive Programming, Ethical Hacking, Quantum Computing καθώς και Blockchain. Στόχος μας είναι η προσέγγιση διαφόρων τομέων της Πληροφορικής, μέσα από συμμετοχή σε διαγωνισμούς, και εκτέλεση projects. Έτσι μας δίνεται η ευκαιρία να εφαρμόσουμε τις θεωρητικές γνώσεις της σχολής πάνω σε hands on εφαρμογές, καθώς και να ανταλλάξουμε απόψεις και να γνωρίσουμε ανθρώπους με το ίδιο πάθος με εμάς. Παράλληλα, μέσα από την οργάνωση διάφορων workshop και ομιλιών, προσπαθούμε να μοιραζόμαστε τις γνώσεις που αποκτούμε με όλη τη φοιτητική κοινότητα.

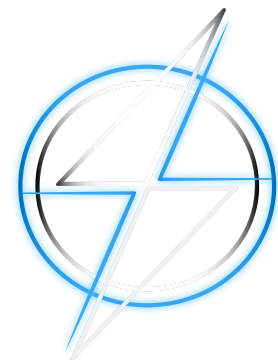


Εφαρμογή Τηλεμετρίας με C++ χρησιμοποιώντας το Qt Creator και τον μικροελεγκτή ESP32

Σε αυτό το εργαστήριο, θα δείξουμε στους συμμετέχοντες τις βασικές αρχές του Qt Creator, ένα πολύ ισχυρό και μοντέρνο περιβάλλον ανάπτυξης που χρησιμοποιεί τη γλώσσα προγραμματισμού C++, όπου θα γίνει μια εισαγωγή στο τι είναι τηλεμετρία, θα μάθουν να προγραμματίζουν βασικούς αισθητήρες σε C, χρησιμοποιώντας το περιβάλλον ανάπτυξης Arduino σε συνδυασμό με ένα ESP32 και τέλος, θα τους φέρουμε σε επαφή με τη βάση δεδομένων της Google, το Firebase. Ο στόχος του εργαστηρίου είναι να συνδυάσει κάθε πτυχή από αυτά που αναφέρθηκαν προηγουμένως, για να δημιουργήσει ένα λεγόμενο "σύστημα τηλεμετρίας", που οποιοσδήποτε μπορεί να αναπαράγει σε ένα βαθμό και να το δοκιμάσει ζωντανά, μαζί μας.

Περιγραφή Ομάδας

Η REM-IHU (Racing Electric Motorsports-International Hellenic University), είναι η μόνη Ελληνική ομάδα που ασχολείται με τις ηλεκτροκίνητες αγωνιστικές μηχανές. Διαγωνίζεται στον παγκόσμιο διαγωνισμό Motostudent, στην κατηγορία του Electric. Μάλιστα τη περασμένη σεζόν κατάφερε να κατακτήσει τη 12τη θέση στη συνολική βαθμολογία (από τις 45 συνολικά ομάδες της κατηγορίας) κατορθώνοντας να τερματίσει τον τελικό αγώνα στη 10τη θέση. Αποτελείται από 35 μέλη τα οποία χωρίζονται σε περισσότερες υποομάδες με κάθε μια, αρμόδια στον ανάλογο τομέα.



Συστήματα Μπαταριών σε Ηλεκτρικά Οχήματα

Η Democritus Racing Team, είναι μία ομάδα Formula Student η οποία επενδύει στην ηλεκτροκίνηση. Μέσα από την προσπάθειά της, αναπτύσσει προηγμένα συστήματα μπαταριών και τεχνολογίες διαχείρισής τους για τα αγωνιστικά της οχήματα.

Αλλά πώς λειτουργούν ακριβώς αυτά τα συστήματα μπαταριών; Πώς ελέγχουμε την κατάστασή τους και πραγματοποιούμε τη φόρτισή τους; Και πώς διασφαλίζουμε την ασφάλειά τους κατά την λειτουργία; Ακόμη και η επιλογή των υλικών και ο σχεδιασμός του συστήματος μπαταριών απαιτούν εξειδικευμένες γνώσεις και προσοχή στη λεπτομέρεια.

Το workshop μας θα απαντήσει σε όλα αυτά τα ερωτήματα. Θα εξετάσουμε πώς λειτουργούν τα ηλεκτρικά μονοθέσια του Formula Student, αλλά και πώς αυτή η τεχνολογία εφαρμόζεται στην αυτοκινητοβιομηχανία σήμερα. Μέσα από πρακτικά παραδείγματα και

εμπειριστατωμένες συζητήσεις, θα αποκτήσετε μια ολοκληρωμένη εικόνα της τεχνολογίας των μπαταριών και των συστημάτων τους.

Και φυσικά, δεν θα λείπει ο χρόνος για ερωτήσεις και συζητήσεις, ώστε να διευκρινιστούν όλες οι απορίες σας σχετικά με την τεχνολογία των μπαταριών και τον κόσμο του Formula Student.

Περιγραφή Ομάδας

Η Democritus Racing Team αποτελεί την ερευνητική Ομάδα του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης, η οποία σχεδιάζει και κατασκευάζει αγωνιστικά μονοθέσια οχήματα της κατηγορίας «Formula Student», προκειμένου να συμμετέχει σε Διεθνείς φοιτητικούς διαγωνισμούς των ομώνυμων διοργανώσεων. Στο παρελθόν έχει διαγωνιστεί στην Ιταλία (2017, 2019 και 2023), στην Ολλανδία (2021) όπου κατέκτησε την 6η θέση, στην Κροατία (2022) και στην Τσεχία (2023) όπου κατάφερε να πάρει την 1η θέση στο αγώνισμα του Business Plan Presentation με το δεύτερό της ηλεκτρικό μονοθέσιο την «Οδύσσεια». Κύριος στόχος της ομάδας είναι η ενίσχυση και προώθηση των αξιών του Engineering και του Motorsport, μεταξύ των φοιτητών του Δημοκρίτειου, η απόκτηση γνώσεων και πρακτικής εμπειρίας για τα μέλη της ομάδας και η σύνδεσή τους με την βιομηχανία και την επιχειρηματική κοινότητα. Η ομάδα λειτουργεί υπό την αιγίδα του Δ.Π.Θ. και υπό την επίβλεψη του επιστημονικά υπευθύνου κ. Μπότσαρη Παντελή, Καθηγητή του Τμήματος Μ.Π.Δ., και συνεργάζεται άμεσα με το Εργαστήριο Μηχανολογικού Σχεδιασμού, MeDiLab. Η έδρα της ομάδας βρίσκεται στην Πανεπιστημιούπολη ΠΡΟΚΑΤ, Κτίριο Γραμματείας ΜΠΔ, Βασιλίσσης Σοφίας 12 στην Ξάνθη. Μάθετε περισσότερα για την ομάδα στο lob.ee/drt.



Research & Development of Robotic Exoskeleton System | Make your own Power Supply Circuit

Το Workshop επικεντρώνεται στην ανάλυση του βασικού κυκλώματος τροφοδοσίας του ρομποτικού εξωσκελετού, δίνοντας την δυνατότητα στους συμμετέχοντες να βιώσουν μία απόλυτη hands-on εμπειρία συναρμολόγησης του κυκλώματος αυτού. Επίσης, θα τους δοθεί η ευκαιρία να δοκιμάσουν τις γνώσεις τους στην πράξη με την πλήρη καθοδήγηση μελών της ομάδας μας, αποκτώντας εξοικείωση αλλά και κατανοώντας σε βάθος την πρακτική του εφαρμογή. Με την βοήθεια του κυκλώματος αυτού, θα συζητηθούν βασικά ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά στοιχεία του εξωσκελετού και θα αναλυθούν περισσότερες πτυχές γύρω από το project της ομάδας. Τέλος, θα πραγματοποιηθεί επίδειξη λειτουργίας ενός τμήματος του ρομποτικού εξωσκελετού με ακράδαντη απόδειξη ότι ξεκινώντας από το μηδέν ένας μηχανικός μπορεί να δημιουργήσει μικρά θαύματα.

Περιγραφή Ομάδας

Η ομάδα HERMES αποτελεί τη μεγαλύτερη ερευνητική ομάδα φοιτητών στην Ελλάδα στον τομέα της ρομποτικής για ιατρικές



εφαρμογές και λειτουργεί υπό την αιγίδα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (ΠΘ). Συγκεκριμένα, η Ομάδα HERMES ασχολείται με την ανάπτυξη ενός πλήρως λειτουργικού ρομποτικού εξωσκελετού για άτομα με κάκωση νωτιαίου μυελού (SCI), παρέχοντάς τους τη δυνατότητα να εκπληρώνουν βασικές καθημερινές ανάγκες. Στόχος της είναι να συμμετάσχει στον διεθνή διαγωνισμό

CYBATHLON 2024 στο αγώνισμα "Exoskeleton Race" σηματοδοτώντας την πρώτη ελληνική συμμετοχή. Με την υποστήριξη του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών του ΠΘ, η ομάδα HERMES προχωρά δυναμικά προς τη βελτίωση και την τεχνολογική ανάπτυξη.

Περισσότερες πληροφορίες: <https://linktr.ee/hermesteam>

Cloud Τηλεμετρία & 5G: Η Συνδεσιμότητα της Centaurus Racing

Η Centaurus Racing χρησιμοποιεί ένα σύστημα τηλεμετρίας με βάση τις πλέον τρέντου υπηρεσίες cloud σε συνδυασμό με την 5η γενιά δικτύου κινητής τηλεφωνίας για να πετύχει μία γρήγορη, έμπιστη και χωρίς τοπικούς περιορισμούς σύνδεση με το μονοθέσιο.

Για τους σκοπούς της ομάδας έχουμε κατασταλάξει στην χρήση του Grafana Live ως το Dashboard που θα ζει στο cloud, σε ένα Python script που θα στέλνει τα δεδομένα από το αυτοκίνητο στο νέφος, και στο telegraf που κατά προσέγγιση αναλαμβάνει την μετατροπή των δομών δεδομένων από την μία πλατφόρμα στην άλλη.

Στο workshop θα λάβετε μία βασική ιδέα για την λειτουργία και τον συντονισμό αυτού του οικοσυστήματος. Από την παραμετροποίηση του telegraf, την σύνταξη του script σε python μέχρι την μορφοποίηση του dashboard με τα δεδομένα που μόλις λήφθηκαν.

Περιγραφή Ομάδας

Η Centaurus Racing Team αποτελεί ομάδα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας που συστάθηκε το 2009 από προπτυχιακούς φοιτητές του τμήματος Μηχανολόγων



**CENTAURUS
RACING**

Μηχανικών και εδώ και 15 χρόνια ασχολείται με τον σχεδιασμό και την κατασκευή μονοθέσιων αυτοκινήτων τύπου Formula. Η ομάδα κάθε χρόνο λαμβάνει μέρος στο μεγαλύτερο φοιτητικό διαγωνισμό παγκοσμίως, τον Formula Student. Μέχρι στιγμής έχει συμμετάσχει σε 22 διαγωνισμούς με 9 διαφορετικά μονοθέσια. Σκοπός της είναι η συνεχής εξέλιξη του μονοθέσιου βελτιώνοντας τον τρόπο μελέτης των κομματιών καθώς και η εξέλιξη των τεχνολογιών.

CubeSat Hands-On Workshop

Το workshop απευθύνεται σε άτομα που θέλουν να εξερευνήσουν τον τομέα του διαστήματος και τον ρόλο ενός space engineer. Οι συμμετέχοντες θα έχουν την ευκαιρία να εισαχθούν στις βασικές έννοιες λειτουργίας ενός δορυφόρου από τα μέλη της ομάδας SpaceDot. Θα χρειαστεί να συναρμολογήσουν τον δικό τους δορυφόρο και να τον λειτουργήσουν σε διάφορα σενάρια της αποστολής του.

Περιγραφή Ομάδας

Η SpaceDot είναι μια μη κερδοσκοπική, εθελοντική και διεπιστημονική φοιτητική ομάδα, που υποστηρίζεται από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο



Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ). Η ομάδα ιδρύθηκε τον Δεκέμβριο του 2020 και αποτελείται από περισσότερους από 40 φοιτητές από το ΑΠΘ και άλλα πανεπιστήμια σε όλη την Ελλάδα και την Ευρώπη. Στόχος μας είναι να ανοίξουμε το δρόμο για καινοτόμο έρευνα σε διαστημικές εφαρμογές. Προσπαθούμε να υποστηρίξουμε ενεργά ώστε ο χώρος να είναι πιο προσιτός για την ευρεία επιστημονική και ακαδημαϊκή κοινότητα καθώς και για το ευρύ κοινό. Για να το πετύχουμε αυτό, μας ορίζει μια φιλοσοφία ανοιχτής πρόσβασης, ανοιχτού κώδικα. Όλα τα αποτελέσματα του πειράματος, ο κώδικας, τα σχηματικά στοιχεία και οι γνώσεις που αποκτήθηκαν είναι διαθέσιμα για χρήση από οποιονδήποτε. Πιστεύουμε και επενδύουμε στις δυνατότητες της Ελλάδας να αποτελέσει θερμοκοιτίδα διαστημικής έρευνας. Γι' αυτό επιδιώκουμε την πρόοδο της διαστημικής μηχανικής στη χώρα μας μέσω της οργάνωσης εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων και της διεύρυνσης των σχέσεων πανεπιστημίου και βιομηχανίας, βοηθώντας παράλληλα στην ίδρυση του πρώτου Διαστημικού Ινστιτούτου στη Θεσσαλονίκη.

Keeping you on track (!)

Θέλεις να ασχοληθείς με την αυτόνομη οδήγηση αλλά δεν ξέρεις από που να ξεκινήσεις; Ετοιμάσου, γιατί ερχόμαστε στο ΣΦΗΜΜΥ 15!

Η VROOM σου ετοίμασε το workshop που θα σου δώσει την ευκαιρία να εκπαιδεύσεις το αυτοκίνητό σου... να μένει στις λωρίδες.

Οι συμμετέχοντες στο workshop θα χωριστούν σε ομάδες και θα αναπτύξουν τους αλγόριθμους εντοπισμού και ακολούθησης λωρίδας για συγκεκριμένες συνθήκες δρόμου με χρήση Jupiter Notebook και χρήση του Google Colab service. Συνεπώς, το μόνο που θα χρειαστεί να έχετε είναι το λάπτοπ σας και ένας ενεργός λογαριασμός Google.

Οι ταχύτεροι και πιο ακριβείς αλγόριθμοι θα έχουν την ευκαιρία να δοκιμάσουν το αποτέλεσμά τους στο όχημα της VROOM σε συνθήκες του διαγωνισμού Bosch Future Mobility Challenge.

Περιγραφή Ομάδας

Η ομάδα μας ιδρύθηκε το 2020 στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης και αυτή τη στιγμή αποτελείται από 18 προπτυχιακούς φοιτητές Μηχανικών και 2 Μέντορες, που προέρχονται από πανεπιστήμια όλης της Ελλάδας.

Η VROOM επικεντρώνεται στην ανάπτυξη λύσεων αυτόνομης οδήγησης για οχήματα κλίμακας. Αυτήν την περίοδο, συμμετέχουμε -για τέταρτη συνεχή φορά- στο Bosch Future Mobility Challenge που διοργανώνει το Bosch Engineering Center στο Cluj Napoca της Ρουμανίας. Απώτερος στόχος μας είναι η προώθηση της έρευνας για την αυτόνομη οδήγηση στον ακαδημαϊκό χώρο.



Προσωπική Ηγεσία: Ανακαλύπτοντας το τώρα για να στοχεύσω στο αύριο

Ο καθένας από εμάς έχει μια διαφορετική εικόνα κατα νου όταν ακούει τη λέξη ηγέτης ή ηγεσία. Μπορούμε όλοι ωστόσο να αναγνωρίσουμε κάποια από τα χαρακτηριστικά μιας ηγετικής παρουσίας όταν την βλέπουμε σε μια ομάδα ατόμων, είτε αυτό συμβαίνει σε ένα περιβάλλον εργασίας, σε μια αθλητική ομάδα, σε μια επική περιπέτεια που περιγράφεται σε ένα βιβλίο ταινία ή σειρά. Με αυτή την απόσταση μας είναι εύκολο να αναγνωρίσουμε το ποιοι είναι, τα δυνατά τους χαρακτηριστικά, τις αδυναμίες που πρέπει να δουλέψουν για να υπερνικήσουν καθώς και το τι πρεσβεύουν, τι κυνηγούν και τι φοβούνται.

Όταν ωστόσο ο φακός στρέφεται προς εμάς συνειδητοποιούμε πως απαιτείται μια επίπονη και διαρκής διαδικασία εξερεύνησης και αναθεώρησης για να μπορέσουμε να έχουμε έστω μια μικρή περιγραφή των παραπάνω. Το δικό μας βιβλίο, γράφεται καθημερινά και ξαναγράφεται με κάθε μας απόφαση και πράξη. Μπορεί να μην έχουμε την δυνατότητα να ξαναγράψουμε τις προηγούμενες σελίδες, όμως έχουμε μεγάλη επιρροή για το τι θα γραφτεί στην επόμενη.

Μέσα από αυτό το Soft Skills Workshop με θέμα τη Προσωπική Ηγεσία (Personal Leadership) , θα προσπαθήσουμε να ανακτήσουμε τη κυριότητα που έχουμε στην ιστορία μας, θα αναλογιστούμε που βρισκόμαστε αυτή τη στιγμή, που θέλουμε να βρισκόμαστε στο τέλος του επόμενου μας κεφαλαίου και θα κάνουμε το πρώτο μας βήμα προς αυτή τη κατεύθυνση.

Περιγραφή Ομάδας

Η EESTEC είναι ένας μη πολιτικός, μη κερδοσκοπικός οργανισμός για φοιτητές Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Επιστήμης Υπολογιστών (EECS) σε πανεπιστήμια, ινστιτούτα και τεχνικές σχολές στην Ευρώπη που απονέμει πτυχίο μηχανικού.



Στόχος είναι η προώθηση και ανάπτυξη διεθνών επαφών και η ανταλλαγή ιδεών μεταξύ των φοιτητών του EECS. Ο σύλλογος επιτυγχάνει τον στόχο του μέσω της βελτίωσης των τεχνικών γνώσεων των φοιτητών EECS, εισάγοντάς τους στη βιομηχανία και στο εκπαιδευτικό σύστημα άλλων χωρών.

Η τοπική επιτροπή Ξάνθης ιδρύθηκε το 2010 από φοιτητές της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης.

How to: Design a PCB

Ανακαλύψτε τη δύναμη και την ελευθερία της δημιουργίας της δικής σας υποδομής νέφους. Είτε είστε ερασιτέχνης, φανατικός τεχνολογίας, διαχειριστής ομάδας φοιτητών είτε μελλοντικός επιχειρηματίας που επιθυμεί να αναλάβει τον έλεγχο των δεδομένων του, αυτό το εργαστήριο είναι σχεδιασμένο για εσάς. Μάθετε τα βασικά της αυτο-φιλοξενίας, από τη δημιουργία του δικού σας διακομιστή έως την ανάπτυξη εφαρμογών όπως διακομιστές ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, αποθήκευση αρχείων και εργαλεία συνεργασίας. Αποκτήστε πρακτικές γνώσεις για την ασφάλεια του αυτο-φιλοξενούμενου περιβάλλοντος και την αποτελεσματική διαχείρισή του. Κάντε το πρώτο βήμα προς την ψηφιακή κυριαρχία!

Περιγραφή Ομάδας

Το DMA (Democritus Mechatronics & Automation) είναι μια φοιτητική ομάδα στο Πανεπιστήμιο Δημόκριτος Θράκης που εστιάζεται στη Μηχανολογία και τον Αυτοματισμό. Ιδρύθηκε τον Μάρτιο του 2022, με



κύριο στόχο της ομάδας την προώθηση αναδυόμενων τεχνολογιών στο πανεπιστημιακό περιβάλλον, όπως φαίνεται από το έργο τους σχεδιάζοντας ένα αυτόνομο Drone ανίχνευσης πυρκαγιάς. Το DMA συμμετέχει ενεργά σε φοιτητικούς διαγωνισμούς drone, κερδίζοντας συνεχώς σημαντικές διακρίσεις.

JOINING THE INDUSTRY 101

Ποια είναι τα πρώτα βήματα που θα χρειαστεί να κάνεις για να ενταχθείς στην βιομηχανία; Μα φυσικά η δημιουργία του δικού σου CV και η διαχείριση διαπραγματεύσεων κατά την διάρκεια των συνεντεύξεων για πρόσληψη.

Αν είναι πράγματα που σε ενδιαφέρουν και θα ήθελες να εξασκήσεις, τότε αυτό το workshop είναι για σένα, καθώς θα μάθουμε πώς να φτιάχνουμε ένα βιογραφικό που να ξεχωρίζει αλλά θα εμβαθύνουμε και σε τεχνικές διαπραγματεύσεις, χρήσιμες για τις διάφορες συνεντεύξεις.

Δεν θα μείνουμε όμως μόνο στο θεωρητικό κομμάτι, καθώς κατά τη διάρκεια του workshop θα δημιουργήσουμε τα βιογραφικά σας και στη συνέχεια θα δοκιμαστούν τα διαπραγματευτικά skill σας κάτω από προσομοιώσεις πραγματικών συνεντεύξεων για πρόσληψη, με την καθοδήγηση από Negotiations Experts.

Περιγραφή Ομάδας

Ως Φοιτητικό Παράρτημα IEEE στο Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης στόχος μας είναι να παρέχουμε στους φοιτητές πρόσθετες ευκαιρίες για ακαδημαϊκή, τεχνολογική και επαγγελματική εξέλιξη.

Ετήσιες εκπαιδευτικές και τεχνικές ομάδες, ομιλίες για επίκαιρα θέματα του κλάδου μας, διαδικτυακά σεμινάρια για κάθε τομέα και ενδιαφέρον, εκπαιδεύσεις και εργαστήρια, εκπαιδευτικά ταξίδια, καθώς και συμμετοχή σε διαγωνισμούς τεχνολογίας, έρευνας και καινοτομίας είναι μερικές από τις δραστηριότητές μας.ανάπτυξη

Τα μέλη μας μπορούν να επιτύχουν πολλές γνώσεις στη θεωρία και με πρακτική μάθηση. Μπορούν να βελτιώσουν την κατάστασή τους και μέσω εμάς μπορούν να κάνουν τα όνειρά τους πραγματικότητα.



Arduino Applications in Biomedicine

Η παρουσίαση αυτή εστιάζεται στη χρήση Arduino σε εφαρμογές που σχετίζονται με τις επιστήμες της βιολογίας και της ιατρικής. Στην εποχή που η τεχνολογία έχει εισαχθεί για τα καλά στις ζωές μας, οι καινοτομίες που μπορεί να προσφέρει στις επιστήμες ζωής και υγείας είναι αμέτρητες. Σκοπός αυτού το workshop είναι να μελετηθεί πώς μπορούμε να αξιοποιήσουμε τα Arduino ώστε να προκύψουν πρωτοπόρες ιδέες και εφαρμογές ψηφιακής, ηλεκτρονικής υγείας και έρευνας.

Περιγραφή Ομάδας

Το IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS) αποτελεί τη μεγαλύτερη διεθνής κοινότητα μηχανικών Βιοϊατρικής και το EMBS του IEEE NTUA SB είναι ένα παράρτημα της διεθνούς κοινότητας αυτής στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο και το έργο του είναι καθαρά εθελοντικό. Αποτελείται από εθελοντές, προπτυχιακούς φοιτητές Ηλεκτρολόγων Μηχανικών, Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών, Μηχανολόγων Μηχανικών και Ιατρικής. Μέσω ομιλιών, workshops και projects επιτυγχάνει να ενημερώσει τους φοιτητές, αλλά και όσους ενδιαφέρονται, για τις εξελίξεις της Ιατρικής και της Βιολογίας με την εφαρμογή νέων τεχνολογιών, να μεταδώσει την ολοένα και αυξανόμενη επιστημονική γνώση στον κλάδο, να δώσει ερεθίσματα στους φοιτητές για την ανάπτυξη ενδιαφέροντος για την επιστήμη της Βιοϊατρικής και, τέλος, να ενισχύσει την συνεργασία μεταξύ μηχανικών, επιστημόνων και ιατρών με στόχο την καλύτερη και αποτελεσματικότερη επίλυση των σύνθετων προβλημάτων και τη βελτίωση ήδη υπάρχοντων τεχνικών και εξοπλισμών.



Εταιρείες

Exploring the Power of Wind and Solar: The impact of Rodopi on Green Energy

Η Rodopi διεξάγει εμπειριστατωμένες τεχνικές δραστηριότητες σχετικά με τις δυνατότητες και τα οφέλη της αιολικής και ηλιακής ενέργειας. Αυτό υπογραμμίζει τον ρόλο της Rodopi στον σχεδιασμό του μέλλοντος της βιώσιμης ενέργειας.

Περιγραφή Εταιρείας

Εξερευνήστε τον ποικιλόμορφο κόσμο της RODOPI, όπου η τεχνολογία, η τεχνογνωσία και το πνεύμα καινοτομίας αποτελούν τις κατευθυντήριες αρχές. Η τεχνογνωσία μας εκτείνεται από την παραγωγή εξαρτημάτων πτερυγίων ρότορα έως τη συντήρηση ανεμογεννητριών και την κατασκευή και συντήρηση φωτοβολταϊκών συστημάτων. Το πιστοποιημένο από την GWO εκπαιδευτικό μας κέντρο εκπαιδεύει ειδικούς εντός και εκτός έδρας, ενώ ραφινάρουμε μεταλλικές κατασκευές και εξαρτήματα στη δική μας αίθουσα αμμοβολής και επίστρωσης.



Identity and Access Management

To Identity and Access Management, γιατί είναι σημαντικό, ποιά είναι τα οφέλη του και ποιός ο ρόλος του στον τομέα της κυβερνοασφάλειας.

Περιγραφή Εταιρείας

Η Oracle, με \$50 δισ. τζίρο (Μάιος 2023), πάνω από 164.000 εργαζομένους, 20.000 συνεργάτες, 430.000 πελάτες και παρουσία σε 175 χώρες, υποστηρίζει για πάνω από σαράντα χρόνια, επιχειρήσεις και οργανισμούς κάθε μεγέθους στο ταξίδι του ψηφιακού μετασχηματισμού τους. Το Oracle Cloud παρέχει μια πλήρη σουίτα ενοποιημένων εφαρμογών για τις Πωλήσεις, την Εξυπηρέτηση, το Marketing, το Ανθρώπινο Δυναμικό, τα Χρηματοοικονομικά, την Εφοδιαστική Αλυσίδα και την Παραγωγή, καθώς και υψηλής αυτοματοποίησης και ασφάλειας δεύτερης γενιάς υποδομή cloud συμπεριλαμβανομένης της Oracle Autonomous Database. Επιπλέον, παρέχει συμβουλευτικές υπηρεσίες, χρηματοδότηση, τεχνική υποστήριξη και εκπαίδευση.



High Potential Career

Πόσο high potential candidate είσαι και πόσο καλά έχεις διαβάσει για το high potential; Σε αυτό το workshop θα καταλάβεις τι σημαίνει να είσαι μέλος της Archirodon ως Ηλεκτρολόγος Μηχανικός, τι σημαίνει EPC εταιρεία και έργο αλλά και ποιες είναι οι διάφορες θέσεις που μπορείς να έχεις εντός του οργανισμού όντας Ηλεκτρολόγος Μηχανικός. Επιπλέον, θα αντιληφθείς ότι οι Ηλεκτρολόγοι χρειάζονται ένα diverse skillset για να γίνουν επιτυχημένοι επαγγελματίες!

Σε περιμένουμε να μας ακούσεις και να ρωτήσεις ότι θέλεις να μάθεις, όχι μόνο για την Archirodon αλλά και για την καριέρα που θέλεις να αποκτήσεις! See you there!

Περιγραφή Εταιρείας

Η Archirodon είναι ένας πολυεθνικός κατασκευαστικός όμιλος, με ιστορία 65 ετών και πάνω από 350 έργα μεγάλης κλίμακας, τα οποία έχει υλοποιήσει σε περισσότερες από 30 χώρες.

Αναλαμβάνοντας τεχνικά έργα κάθε τύπου και πολυπλοκότητας ("turnkey-EPC") κατέχει ηγετική θέση



στους τομείς των Λιμενικών, Παράκτιων και Βιομηχανικών Έργων, Ενέργειας και Υποδομών.

Με πάνω από 10.000 εργαζόμενους και 6.000 ειδικά και πλωτά μηχανήματα, ανταποκρίνεται στις πιο απαιτητικές ανάγκες κάθε έργου.

Η έδρα βρίσκεται στην Ολλανδία και δραστηριοποιείται σε πολλές περιοχές, κυρίως στη Μέση Ανατολή, τη Βόρειο Αφρική και την Ελλάδα. Έχοντας σημαντικούς πελάτες όπως οι NEOM, Red Sea Global, ADNOC, DP World.

Creating our future grid

Ο ΑΔΜΗΕ και η Διεύθυνση Έρευνας Τεχνολογίας και Ανάπτυξης ανταποκρίνονται στον μετασχηματισμό των σύγχρονων συστημάτων ενέργειας σύμφωνα με τις σύγχρονες προκλήσεις

Περιγραφή Εταιρείας

Ο Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ) Α.Ε. συστάθηκε σύμφωνα με το Ν. 4001/2011 και σε συμμόρφωση με την Οδηγία 2009/72/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με σκοπό να αναλάβει τα καθήκοντα του Διαχειριστή του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΣΜΗΕ). Σκοπός του ΑΔΜΗΕ είναι η λειτουργία, συντήρηση και ανάπτυξη του ΕΣΜΗΕ ώστε να διασφαλίζεται ο εφοδιασμός της χώρας με ηλεκτρική ενέργεια με τρόπο ασφαλή, αποδοτικό και αξιόπιστο.



Introduction to Web Development with Django

Overview: Welcome to our workshop on building dynamic web applications with Django! In this hands-on session, we will guide you through the creation of a LocalLibrary app, following the acclaimed Django Tutorial Parts 1 to 6 from the Mozilla Developer Network (MDN). Whether you're new to web development or looking to deepen your Django skills, this workshop will equip you with the knowledge to create powerful web applications.

What You'll Learn:

1. Introduction to Django:

- Overview of Django and its role in web development.
- Understanding the Model-View-Template (MVT) design pattern.

2. Setting Up Your Development Environment:

- Installing Django and creating a new project.

- Exploring the project structure and configuration.

3. Creating Models and Database Interaction:

- Defining models for our LocalLibrary app (Books, Authors, Genres, etc.).
- Implementing database interactions for storing and retrieving data.

4. Building Views and Templates:

- Creating views to handle requests and render responses.
- Designing dynamic templates for displaying data to users.

Who Should Attend:

- Beginners interested in web development with Python.
- Developers looking to enhance their skills with Django.
- Tech enthusiasts curious about building dynamic web applications.

Requirements:

- Basic knowledge of Python (variables, loops, functions, etc.).
- Familiarity with HTML and CSS (recommended).
- Laptop with Docker, Git and a terminal installed (installation instructions will be provided if needed).

GitHub Repository: You will have access to our workshop's GitHub repository, where you can find the complete code for the LocalLibrary app. This repository will also contain additional resources, such as helpful guides and references.

Docker Image: To streamline your development process, we have prepared a Docker image with all the necessary dependencies pre-installed. By using this Docker image, you'll have a ready-to-use environment for running the LocalLibrary app. Instructions on how to pull and use the Docker image will be provided during the workshop.

Quiz through Kahoot: At the end of the workshop, we will have an interactive quiz on Kahoot based on the concepts covered during the session. Test your knowledge and compete with other participants for the top spot! The winner of the quiz will receive an exciting prize.

Workshop Format: This workshop will be interactive and practical. You'll follow along with the instructor, receive hands-on exercises, and have the opportunity to ask questions throughout the session. By the end of the workshop, you'll have a functional LocalLibrary app and the skills to continue exploring Django on your own.

Περιγραφή Εταιρείας

Η Yodeck Digital Signage είναι μια από τις ταχύτερα αναπτυσσόμενες εταιρείες στον τεχνολογικό κλάδο. Επιτρέπει στους users της να ανεβάζουν, να προγραμματίζουν και να ελέγχουν απομακρυσμένα το περιεχόμενο που εμφανίζεται στις ψηφιακές οθόνες τους, σε καταστήματα, γραφεία, αεροδρόμια, εστιατόρια ή όπου αλλού δραστηριοποιούνται οι πελάτες της. Εστιάζοντας στην απλότητα και την ευκολία χρήσης, εξυπηρετεί επιχειρήσεις όλων των ειδών και οργανισμούς ανεξαρτήτως μεγέθους, έχοντας ως στόχο την διευκόλυνση της επικοινωνίας και την προώθηση προϊόντων και υπηρεσιών.



Χτίζοντας Πόλεις Για Όλους

Έχετε σκεφτεί με πόσα εμπόδια έρχονται αντιμέτωποι καθημερινά άνθρωποι με αναπηρία ζώντας σε μια πόλη; Πιστεύετε ότι με τη βοήθεια της τεχνολογίας μπορείτε να χτίσετε νέες πόλεις οι οποίες θα είναι προσβάσιμες σε όλους; Στο συγκεκριμένο workshop, διάρκειας 75 λεπτών, θα κάνουμε ένα πρώτο βήμα ώστε να επιλύσουμε μερικά από τα βασικά προβλήματα προσβασιμότητας στις σύγχρονες πόλεις και να βελτιώσουμε την εμπειρία των ανθρώπων με αναπηρία. Με τη συμμετοχή σας, θα εργαστείτε ακολουθώντας τη μεθοδολογία SCRUM, μια μέθοδο που χρησιμοποιούν οι ομάδες της OTS στην εργασία τους. Συγκεκριμένα, αφού χωριστείτε σε μικρές ομάδες, θα κληθείτε να σκεφτείτε δημιουργικά για να υλοποιήσετε τις τεχνολογικές λύσεις σας, τις οποίες θα παρουσιάσετε με προσομοιώσεις. Προσκαλούμε όλους και όλες τους φοιτητές και φοιτήτριες, που έχουν πάθος με την τεχνολογία και θέλουν να συνεισφέρουν με καινοτόμες λύσεις στην κοινωνία, να δηλώσουν συμμετοχή στο workshop της OTS. Υπάρχει περιορισμένος αριθμός θέσεων και θα τηρηθεί σειρά προτεραιότητας. Κατά τη συμμετοχή σας, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε προαιρετικά το smartphone ή το laptop σας. Είστε έτοιμοι να χτίσουμε πόλεις που θα είναι προσβάσιμες σε όλους; Σας περιμένουμε!

Περιγραφή Εταιρείας

Η OTS, είναι μια ελληνική εταιρεία, που δραστηριοποιείται στον τομέα του software development. Με 30 χρόνια εμπειρίας και εξειδίκευσης, έχει υλοποιήσει με απόλυτη επιτυχία μερικά από τα πιο σημαντικά Εθνικά Έργα Ψηφιακού Μετασχηματισμού.



Η OTS αξιοποιώντας την 30χρονη εμπειρία της και επενδύοντας συνεχώς στην ανάπτυξη νέων προϊόντων, έχει αναδειχθεί ως μια αξιόπιστη εταιρεία με προϊόντα και υπηρεσίες υψηλής ποιότητας. Παράλληλα διαθέτει τη φρεσκάδα και την καινοτομία μιας start-up, λανσάροντας συνεχώς νέα state-of-the-art προϊόντα, ξεπερνώντας συνεχώς τις προσδοκίες των πελατών της.

Ο ρόλος του ηλεκτρολόγου μηχανικού στην σύγχρονη βιομηχανία

Ο τομέας δραστηριότητας του ηλεκτρολόγου μηχανικού ήταν πάντοτε από τις πιο ταχέως εξελισσόμενους στον τομέα της μηχανικής. Από τον τομέα υψηλών τάσεων, ενέργειας, πληροφορικής, ηλεκτρονικών και ρομποτικής, οι εξελίξεις είναι αδιάκοπες. Αυτό γίνεται ακόμα πιο ενδιαφέρον όταν εφαρμόζεται στην πράξη και σε μεγάλη κλίμακα στην βιομηχανία.

Μέσω ιστορικής αναδρομής, θα δούμε με παραδείγματα πως έχει μεταβληθεί η απαιτούμενη γνώση του ηλεκτρολόγου μηχανικού από την εποχή των αναλογικών ρυθμιστών έως την εποχή της τεχνητής νοημοσύνη, τι έχει μείνει ίδιο και ποιες είναι οι προκλήσεις της σύγχρονης βιομηχανίας.

Περιγραφή Εταιρείας

Η ΕΛΒΑΛ αποτελεί τον τομέα έλασης αλουμινίου της ElvalHalcor A.E. (ELHA:ATH), της κορυφαίας βιομηχανίας αλουμινίου και χαλκού παγκοσμίως με ισχυρή παραγωγική βάση 15 εργοστασιακών μονάδων, τεχνολογία αιχμής και σταθερή παρουσία σε περισσότερες από 90 χώρες. Η Elval διαθέτει 50 χρόνια τεχνογνωσίας στην έλαση και στην ανακύκλωση αλουμινίου, σχεδιάζοντας και κατασκευάζοντας καινοτόμες λύσεις, ενώ παράλληλα δημιουργεί αξιόπιστες συνεργασίες σε όλο τον κόσμο. Το εκτεταμένο και εξατομικευμένο χαρτοφυλάκιο προϊόντων εξυπηρετεί τις αγορές συσκευασίας, μεταφορών, αυτοκινητοβιομηχανίας, θέρμανσης-ψύξης-κλιματισμού, δόμησης και κατασκευών, ενέργειας και βιομηχανικών αγορών. Μέσω συνεχών επενδύσεων σε έρευνα, ανάπτυξη, καινοτομία και διαθέτοντας εσωτερικό Κέντρο Τεχνολογίας, επενδύουμε σε ανθρώπινο δυναμικό με υψηλή εξειδίκευση και τεχνογνωσία, στην υπεύθυνη παραγωγή και στην προστασία του περιβάλλοντος, στηρίζοντας τη μετάβαση στην κλιματική ουδετερότητα και τη συμβολή του αλουμινίου στην κυκλική οικονομία.



Unlocking Success: Mastering Interviews, LinkedIn, and CVs for Candidates

Ελάτε μαζί μας σε ένα ενδυναμωτικό εργαστήριο με τίτλο "Unlocking Success: Mastering Interviews, LinkedIn, and CVs for Candidates", όπου θα εξετάσουμε τα βασικά εργαλεία και στρατηγικές για να βοηθήσουμε τους υποψηφίους να διαπρέψουν στο ταξίδι αναζήτησης εργασίας. Αυτή η διαδραστική συνεδρία θα προσφέρει ανεκτίμητες πληροφορίες σχετικά με τη δημιουργία βιογραφικών που ξεχωρίζουν, τη βελτιστοποίηση των προφίλ του LinkedIn για την προσέλκυση υπαλλήλων προσλήψεων και την εκμάθηση τεχνικών συνεντεύξεων για να αφήσετε μια μόνιμη εντύπωση. Αυτό το εργαστήριο θα σας εξοπλίσει με τις γνώσεις και τις δεξιότητες που απαιτούνται για να πλοηγηθείτε στην ανταγωνιστική αγορά εργασίας με αυτοπεποίθηση και σιγουριά. Μη χάσετε αυτή την ευκαιρία να ξεκλειδώσετε τις δυνατότητές σας και να ανεβάσετε την καριέρα σας στα ύψη!

Περιγραφή Εταιρείας

Η Cenergy Holdings είναι μια εταιρεία χαρτοφυλακίου, με έδρα το Βέλγιο, εισηγμένη τόσο στο Euronext Βρυξελλών όσο και στο Χρηματιστήριο Αθηνών (ATHEX). Η εταιρεία επενδύει σε κορυφαίες βιομηχανικές εταιρείες και εστιάζει στην αυξανόμενη παγκόσμια ζήτηση για μεταφορές ενέργειας, ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και μετάδοσης δεδομένων. Το χαρτοφυλάκιο της Cenergy Holdings αποτελείται από τη Σωληνοουργεία Κορίνθου και την Ελληνικά Καλώδια, δυο πρωτοπόρες ελληνικές εταιρίες σε δυναμικά αναπτυσσόμενους κλάδους όπως αυτοί της ενέργειας, των κατασκευών και των τηλεπικοινωνιών. Με σημαντική εμπειρία στην υλοποίηση έργων μεγάλης κλίμακας παγκοσμίως και έντονη εστίαση στην ικανοποίηση των πελατών, οι εταιρείες θεωρείται ότι έχουν ηγετικό ρόλο στους αντίστοιχους τομείς τους.



Energy Markets

"Τι σχέση έχει η τιμή με την ενέργεια; Πώς υπολογίζεται το κόστος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας; Πώς λειτουργεί η ενεργειακή αγορά; Πώς υποστηρίζει την ενεργειακή μετάβαση; Ποια είναι η συνεισφορά του φυσικού αερίου και της αποθήκευσης ενέργειας; Ποιος είναι ο ρόλος και η αποστολή του ηλεκτρολόγου μηχανικού; Άνθρωποι ή αλγόριθμοι;

Στόχος του workshop είναι να δώσει ένα περίγραμμα των ενεργειακών αγορών, εγχώριων και διεθνών, και να αναδείξει τον κομβικό ρόλο του ηλεκτρολόγου

μηχανικού σε έναν εξαιρετικά δυναμικό και ταχέως μεταβαλλόμενο κλάδο, ο οποίος καθορίζει το πλαίσιο της ενεργειακής μετάβασης σε τοπική αλλά και παγκόσμια κλίμακα."

Περιγραφή Εταιρείας

Ο ΗΡΩΝ δραστηριοποιείται στην παραγωγή, προμήθεια και εμπορία ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και στην προμήθεια και εμπορία φυσικού αερίου στην Ελλάδα. Έχοντας ξεκινήσει τη λειτουργία του το 2000, ο ΗΡΩΝ ανήκει στον Όμιλο ΓΕΚ ΤΕΡΝΑ, τον ηγέτη στην παραγωγή ενέργειας από συμβατικές και ανανεώσιμες πηγές (ΑΠΕ) στην Ελλάδα. Ο ΗΡΩΝ ήταν ο πρώτος ιδιωτικός όμιλος που δραστηριοποιήθηκε στην ελληνική απελευθερωμένη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και ο πρώτος ιδιωτικός όμιλος που δραστηριοποιήθηκε στην αγορά φυσικού αερίου στην Ελλάδα. Ο ΗΡΩΝ κατασκεύασε και λειτουργεί με επιτυχία τον πρώτο ιδιωτικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής με φυσικό αέριο στην Ελλάδα από το 2004.



Agile dynamics: The product owner's compass

Η μεθοδολογία Agile έχει αναδειχθεί ως μια μετασχηματιστική προσέγγιση στη διαχείριση έργου, δίνοντας έμφαση στην προσαρμοστικότητα, τη συνεργασία και την επαναληπτική ανάπτυξη. Στον πυρήνα της, το Agile προωθεί ένα δυναμικό περιβάλλον όπου οι ομάδες μπορούν να ανταποκριθούν γρήγορα στις αλλαγές στις απαιτήσεις και στις προτεραιότητες των ενδιαφερομένων.

Κεντρικός ρόλος στην επιτυχία των έργων Agile είναι ο ρόλος του κατόχου προϊόντος. Λειτουργώντας ως σύνδεσμος μεταξύ των ενδιαφερομένων και της ομάδας ανάπτυξης, ο Κάτοχος Προϊόντος διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στον καθορισμό και την ιεράρχηση του ανεκτέλεστου προϊόντος, διασφαλίζοντας ότι η ομάδα εστιάζει στην παροχή μέγιστης αξίας με κάθε επανάληψη.

Περιγραφή Εταιρείας

Η Netcompany-Intrasoft είναι μια κορυφαία ευρωπαϊκή εταιρεία στον τομέα των υπηρεσιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών, παρέχοντας ολοκληρωμένες λύσεις, προϊόντα και υπηρεσίες πληροφορικής υψηλής ποιότητας στην Ευρωπαϊκή Ένωση, Υπουργεία και Δημόσιους Οργανισμούς σε εθνικό επίπεδο, Χρηματοοικονομικά Ιδρύματα, Τηλεπικοινωνιακούς Οργανισμούς, μεγάλες επιχειρήσεις του ιδιωτικού τομέα.

Η Netcompany-Intrasoft ιδρύθηκε το 1996 από την Intracom Holdings και παρέμεινε μέλος του Ομίλου μέχρι τον Οκτώβριο του 2021. Από το Νοέμβριο του 2021, η Netcompany-Intrasoft έγινε μέλος της Netcompany Group, μια εταιρεία πληροφορικής, η οποία ιδρύθηκε το 2000 και έχει την έδρα της στην Κοπεγχάγη. Η Netcompany αποτελεί την πιο γρήγορα αναπτυσσόμενη και κερδοφόρα εταιρεία πληροφορικής στις σκανδιναβικές χώρες, η οποία έχοντας μεγάλη εμπειρία και μακρά επιχειρησιακή γνώση, παρέχει στρατηγικές καινοτόμες λύσεις με σκοπό να εκπληρώνουν τους επιχειρηματικούς στόχους.

Η Netcompany-Intrasoft απασχολεί περισσότερους από 3,200 επαγγελματίες υψηλής εξειδίκευσης με άριστες τεχνικές γνώσεις και δεξιότητες, οι οποίοι εκπροσωπούν 50 διαφορετικές εθνικότητες και κατέχουν 30 γλώσσες. Με έδρα το Λουξεμβούργο, έχει φυσική παρουσία μέσω γραφείων, υποκαταστημάτων και θυγατρικών σε 10 χώρες (Βέλγιο, Κύπρος, Δανία, Ελλάδα, Ιορδανία, Λουξεμβούργο, Ρουμανία, Νότιο Αφρική, Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα και Αμερική).

Netcompany

Let's talk AI with EY Greece

"Πώς μπορεί το AI και το Gen AI να αλλάξουν δυναμικά τη λήψη αποφάσεων και πώς μπορεί αυτό να οδηγήσει σε έναν νέο κόσμο για τις επιχειρήσεις 🤖;

Σε μια εποχή συνεχών τεχνολογικών εξελίξεων και δεδομένων, είναι γεγονός ότι το AI και το GenAI παίζουν κύριο ρόλο στη διαχείριση και την κατανόηση των πληροφοριών. Πώς μπορούν αυτά τα εργαλεία να φέρουν "επανάσταση" στον τρόπο λειτουργίας των επιχειρήσεων; Άραγε το AI και το GenAI είναι ένα trend ή θα φέρουν μια νέα πραγματικότητα στις επιχειρήσεις 🚀;

Αυτά κι άλλα πολλά θα συζητήσουμε μέσα από το διαδραστικό workshop της EY Ελλάδος στο φετινό ΣΦΗΜΜΥ, με τον Αντώνη Αρβανιτάκη, Director στο Technology Consulting, να βρίσκεται στην Ξάνθη για να μοιραστεί όσα χρειάζεται να ξέρετε 🧑🏻! The exceptional EY experience. It's yours to build."

Περιγραφή Εταιρείας

Στην EY, σκοπός μας είναι η δημιουργία ενός καλύτερου εργασιακού κόσμου, παράγοντας μακροπρόθεσμη αξία για τους πελάτες μας, τους ανθρώπους μας και την κοινωνία, και οικοδομώντας εμπιστοσύνη στις κεφαλαιαγορές.

Αξιοποιώντας τα δεδομένα και την τεχνολογία, οι πολυσυνθετικές ομάδες μας, σε περισσότερες από 150 χώρες, οικοδομούν την εμπιστοσύνη μέσω της διασφάλισης της καλής λειτουργίας των επιχειρήσεων και βοηθούν τους πελάτες μας να αναπτυχθούν, να μετασχηματιστούν και να λειτουργήσουν αποτελεσματικότερα. Μέσω των Ελεγκτικών, Συμβουλευτικών, Νομικών και Φορολογικών Υπηρεσιών μας, καθώς και μέσω των Συμβουλευτικών Υπηρεσιών Εταιρικής Στρατηγικής και Συναλλαγών, οι ομάδες της EY θέτουν καλύτερες ερωτήσεις, για να καταλήξουν σε νέες απαντήσεις στα περίπλοκα ζητήματα που αντιμετωπίζει ο κόσμος μας σήμερα.



Παράλληλοι Διαγωνισμοί

ECESCODE

Το ECESCODE είναι ένας διαγωνισμός hackathon ο οποίος πραγματοποιήθηκε με επιτυχία την **Παρασκευή 19 Απριλίου**. Το θέμα του φετινού διαγωνισμού ήταν **Αλγόριθμοι και Μηχανική Μάθηση για καθημερινά προβλήματα**. Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή του θέματος:

Το ΣΦΗΜΜΥ 15 "Machine Learning and Algorithms" Challenge

Θα πραγματοποιηθεί στην πλατφόρμα Kaggle και περιλαμβάνει δύο προβλήματα στα οποία θα δοκιμαστούν οι ομάδες

1) Ένα πρόβλημα μηχανικής μάθησης όπου οι ομάδες θα προσπαθήσουν να εκπαιδεύσουν ένα μοντέλο μηχανικής μάθησης να προβλέπει με όσο μεγαλύτερη ακρίβεια γίνεται από τα network logs το εάν ένα δίκτυο λειτουργεί κανονικά ή δέχεται επίθεση.

2) Ένα αλγοριθμικό πρόβλημα, απλό στην περιγραφή, θα πρέπει να λυθεί. Θα πρέπει να αναπτυχθεί αλγόριθμος που θα το επιλύει με όσο γίνεται μικρότερο κόστος.

Οι συμμετέχοντες θα πρέπει να έχουν έστω βασικές γνώσεις προγραμματισμού στο περιβάλλον της ργthon και βασικές γνώσεις αλγορίθμων και μηχανικής μάθησης.

Στον διαγωνισμό συμμετείχαν 8 ομάδες

NKP-5618

InvalidTeamName

ΣΦΗΜΜΥ14

Nangia

AlgoTUC

Daedalus

CodeBullet

sfhmmy 14 supremacy



Νικήτρια ομάδα αναδείχθηκε η **InvalidTeamName** με τον μοναδικό συμμετέχοντα Ιωάννη Παναρίτη να λαμβάνει το δώρο του διαγωνισμού!

Χορηγοί

Χρηματικοί Χορηγοί

- *Diamond*



• Gold

Netcompany



Smart technology ▶ Better world



yodeck



15

• Silver

arm

 **CHIP®
GLOBE**
lighting the chip world

 commsquare

 **MOTOR OIL**

30 YEARS
of SUCCESS
 ΣΑΜΑΠΑΣ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Α.Ε.
ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ

KENOTOM
 EMBEDDED
ENGINEERING
EXCELLENCE

Capgemini  engineering

Schneider
 Electric™

 **GREYCON**
Experts in Planning, Scheduling, Trim & MES

Deloitte.

• Bronze



Υλικοί Χορηγοί





Χορηγοί Επικοινωνίας



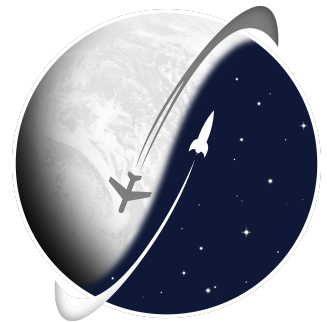


η καλύτερη Ελληνική μουσική της πόλης



Αποτελούμε την είδηση, όταν οι άλλοι απλά την ακολουθούν
Σταύρος Κ. Βλαχόπουλος

Community Partners



CENTAURUS RACING





UniStudents

Τοπικοί Χορηγοί



Υποστηρικτές



Ευχαριστούμε τα παραπάνω ΚΤΕΛ για την στήριξη τους και που προσεφεραν 50% μετακίνηση στους Συνέδρους μας



Democritus University of Thrace
IEEE Student Branch

Ευχαριστούμε θερμά το IEEE DUTH SB για την στήριξη του και που μας στέγασε στα γραφεία του καθόλη την προετοιμασία του Συνεδρίου



ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΡΑΚΗΣ | ΤΜΗΜΑ
ΗΜ & ΜΥ



ΧΡΟΝΙΑ
1973-2023
ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ

Ευχαριστούμε θερμά το ΤΗΜΜΥ ΔΠΘ καθώς και το ΔΠΘ για την στήριξη τους και την αρωγή τους καθόλη την προετοιμασία του Συνεδρίου, καθώς και που μας επέτρεψαν να το κάνουμε πραγματικότητα

Αποθετήριο Εργασιών

Development of a Modular Prototype One Channel Encephalograph

Dimitrios Lampros
Electrical and Computer Engineering
National Technical University of Athens
Athens, Greece
dim.lambros@gmail.com

Abstract—The electroencephalograph is the predominant instrument for measuring brain electrical activity in a non-invasive way, i.e. the electroencephalogram. Thus, it is generally used in a clinical setting. Alpha waves, signals in the 8-13 hertz frequency range of the electroencephalogram, are also of particular importance, as they are related both to human health and to the quality of life of the individual. For this reason, there is a trend towards personalization of portable electroencephalogram devices. In this work, a complete solution for alpha wave recording is presented. Compared to other works, a prototype device is presented, where emphasis is placed on low cost, modularity of construction, through amplifier and analog to digital converter (ADC), and acquisition of exclusively alpha waves, using a digital filter executed on a microcontroller system.

Keywords—*electroencephalogram, EEG, alpha waves, microcontroller, digital filter*

I. INTRODUCTION

In the paper, a modular prototype for a single-channel encephalograph is developed and analyzed, with a focus on the significance of alpha waves in brain function and health. The methodology of encephalography, techniques for brain signal acquisition, types of electrodes, and their advantages and disadvantages are covered. Comparisons are made with existing EEG devices, and the circuit design and component selection are explored. After theoretical discussions, the design, testing, and programming of the prototype are detailed, followed by the presentation of actual EEG alpha wave measurements. The performance of the prototype is evaluated, and suggestions for future improvements are made.

A. Methods

The methodology involved a comprehensive literature review using scientific publications and online articles, primarily focusing on "EEG measurements" and "electroencephalography" to understand EEG's fundamentals. The research extended to electrode technology, prioritizing existing, efficient solutions over new, unproven methods, using Google Scholar for sourcing information.

II. THEORETICAL PART

A. EEG

The EEG is a non-invasive brain imaging technique capturing the collective electrical activity of neuronal populations, significantly influenced by neurons' electric and magnetic fields [1]. It utilizes electrodes for recording from various locations, capturing the brain's rhythmic activity. Due to signal attenuation and spatial smoothing by scalp tissue [3], EEG primarily measures synchronous brain activity across large brain areas. The technique highlights the critical role of pyramidal cortical neurons, arranged to

generate detectable electric fields, emphasizing that EEG represents a subset of brain electrical activity, with different oscillations indicating varying neuron population sizes [1].

B. EEG Recording

EEG recordings utilize standardized positioning systems, notably the 10-20 system [3], to ensure consistent electrode placement relative to key anatomical landmarks, optimizing the spatial resolution of brain activity measurements. This setup, fundamental for capturing reliable EEG data, is complemented by various electrode referencing schemes to mitigate potential distortions and enhance signal clarity. Among these, unipolar and bipolar references are distinguished based on their approach to capturing brain potentials, each with unique advantages in specific research or clinical contexts, thereby informing the choice of configuration for accurate EEG analysis [4].

C. EEG Relaxation Rhythms

Spontaneous EEG frequency and its amplitude range in healthy brains. Brain rhythms that have different frequency ranges are also associated with different functions [2]. Particularly alpha waves, are known for indicating relaxed wakefulness and have applications in studying various psychological phenomena and mental states [3]. The importance of EEG in neurology [4] and the specific significance of alpha waves in mental health, concentration [5], and personality traits are notable. This way, alpha waves have potential in therapeutic and self-improvement contexts through neurofeedback[6] and meditation practices [7].

D. EEG Electrodes

EEG electrodes are categorized into active and passive types, differing mainly in their connection and signal amplification methods [3]. There are three types based on how they bridge the gap between the electrode and the skin: gel-based (wet), water-based (wet), and dry electrodes, each with specific advantages and challenges, particularly regarding noise reduction, comfort, and signal robustness [3]. Gel-based electrodes are preferred for their noise-reducing properties, while dry electrodes are valued for their convenience despite their susceptibility to motion noise [8], [9]. The choice of electrode affects the EEG signal quality and participant comfort.

E. Noise

Because the EEG signal is small in amplitude, special care must be taken to separate it from potential noise. Potential sources of noise with their respective frequencies can be identified:

1. Noise from cables and electrical system parts (DC): 0 Hz.
2. Muscle noise: 0-200 Hz[10] and mainly at 20-35 Hz [11].

3. Noise of movement, breathing, sweat, heartbeat: 0-1.2 Hz [10], [11].
4. Electromagnetic interference noise (ambient-grid-supply): 50 Hz (for sources in Greece) [11].
5. Motion and EM field noise: 0-16 Hz [12].

F. Instrumentation Amplifier

Based on what has been discussed in the previous chapters, some specifications for the amplifier to be used for each EEG signal channel will be defined.

- High input resistance ($>100\text{ M}\Omega$ [13]), so as to reduce the influence of electrode resistance.
- Low low-frequency noise ($<2\text{ uV}$ (p-p) 1-10 Hz recommendation of ECRI without this necessarily being limiting [13]) and simultaneous high gain (in the 8-13 hertz frequencies of alpha waves).
- High CMRR, to reject a common signal since the received signal will be differential (over 100 dB at 60 hertz [13])
- Good enough voltage range in combination with its supply, so that there is good signal resolution (Input at 20-200 uV as mentioned above in the chapter "EEG relaxation rates").
- In more practical matters ideally an In-Amp with low power consumption and at the same time small size would be desirable so that it can be useful in small portable systems.
- The $\text{nV}/\sqrt{\text{H}}$ noise will not affect the low frequencies under consideration as much.

Of course, there is no "manual" for choosing the right amplifier, so online research on the internet and specifically articles and suggestions from well-known IC manufacturers had to be done. After a lot of research, the following specifications emerged.

It will be required:

- High CMRR, as the changing common signal must be avoided as much as possible.
- Minimum noise 1-10 hertz, since the measured waves fall within this frequency range.

As a second priority it would be desirable for the IC to have:

- Low cost, since the manufacturing is done with a limited budget
- Low consumption, because this would enable future configuration in a portable device.

The availability of the chip from local suppliers also played a role in the final selection.

G. ADC

To digitize the EEG signal for further processing, an analog-to-digital converter (ADC) is required, with a minimum sampling rate determined by the Nyquist-Shannon theorem to avoid aliasing. This theorem suggests a sampling frequency at least twice the highest signal frequency of interest. In practice, oversampling is often recommended to ensure a more accurate representation of the signal, despite potentially increasing the noise in the output [14], [15]. Oversampling also allows for digital filtering, which can be advantageous in terms of noise reduction and system compactness, despite the introduction of a time delay in signal processing.

The criteria by which the ADC IC was sought are.

- High resolution
- High sampling rate
- Low noise
- 2 channel

H. Filtering

In EEG signal processing, emphasis is needed for a careful selection of sampling frequency to prevent aliasing, based on the Nyquist-Shannon theorem. It is suggested that a minimum rate of 10 samples per second for the alpha wave frequency range (8-13 hertz) is used, but oversampling is recommended (10-20 times the Nyquist rate) for improved real-time processing and digital filtering. Bandpass filtering is proposed to isolate the desired signal range, with options for both digital and analog implementations. The goal is to enhance signal clarity by efficiently removing noise, using a combination of oversampling, undersampling, and specific filters like moving average [16] and recursive (IIR) filters for noise within the signal frequency range.

I. Digital Processing System

In terms of options for digital signal processing there are 3 main options available.

- Microcontroller
- DSP (Digital Signal Processor)
- FPGA

Because the signal is of relatively low frequency, and therefore the required sampling will not exceed hertz, the speed that the FPGA would give is unnecessary. Furthermore, the digital filters that will be designed next justify the use of a DSP, but can also be implemented in a general purpose system such as a microcontroller. A microcontroller system is also usually contained in a development board which offers ease of system development as it contains a voltage regulator, accompanying electronics for proper microcircuit operation and additional Modules-circuits such as flash memory or Bluetooth. Regarding the code development environment, several models of microcontroller development boards support Arduino, which speeds up the development of the accompanying software considerably. This will also be a selection factor in the final decision on the digital processing system.

J. IC selection

Before selecting filters for EEG signal processing, it's crucial to determine the frequencies that will be encountered during ADC sampling and to consider any built-in filters in the ADC. The compatibility between the chosen instrumentation amplifier and ADC, such as channel-voltage levels, is also essential. Additionally, while aiming to keep manufacturing costs low with a 1-channel setup for the main alpha wave sampling point, the option for a 2-channel differential input system is explored for greater flexibility. Immediate chip availability significantly influences chip selection, noting the unavailability of the INA828 amplifier and AD7177-2 ADC at the time of the thesis preparation. Options like the ADS1298 offer a more compact design by integrating all analog processing and conversion, but this paper focuses on using separate modules for maximum flexibility. This selection process highlights that designing

the system was not a linear journey, considering various factors to balance cost, availability, and performance.

K. Work Comparison

In comparing the proposed EEG device with commercial and non-commercial alternatives, portability and personal use are emphasized. After comparing several devices, differences in sensor number, LSB resolution, frequency range, sample rate, and electrode type were found. The proposed work's advantages include a unique digital filter running locally on a microcontroller, superior discriminative capability due to a 24-bit ADC, and cost-effectiveness with a material cost not exceeding 70 Euros. Its modularity and the use of commercially available ICs offer flexibility and ease of modification. Unlike other works, digital filtering was preferred, reducing system complexity and cost while improving timing response, despite increasing noise.

III. EXPERIMENTAL PART

A. Layout and Materials

Initially, the whole design was done in LTSPICE. Implementation was done on a breadboard with SOIC to DIP case boards for the ICs. However, later on, the design was moved to KiCad in order to have it manufactured in a PCB. This version can be shown in Fig 1.

B. Electrode Selection

Standard electrocardiograph electrodes, which rely on mechanical contact, were chosen for their ease of connection either through a crocodile clip or a soldered single-strand cable. This is also due to the fact that they are composed of Ag/AgCl, the same type as the EEG electrodes, but are less costly. These electrodes can be used wet (with conductive gel) or dry, but wet application was selected. Placement followed the 10-20 system, with the signal electrode at position O1 (above the ear towards the back of the head), the reference electrode behind the left ear, and the ground electrode behind the right ear, without special skin preparation.

C. Final Component Selection

Regarding the considerations for the power supply, instrumentation amplifier, and analog-to-digital converter (ADC) within the EEG device, a ± 3.3 Volts power supply (regulated) for both the amplifier and ADC was chosen for compatibility and to prevent signal saturation. The selection of the INA2128U is justified by its high gain, low noise, and differential operation capabilities. Similarly, the MCP3562R-E/ST was chosen for its precision, differential operation, and internal reference voltage, resulting in high accuracy. ESP32 was chosen for its ease of development capabilities.

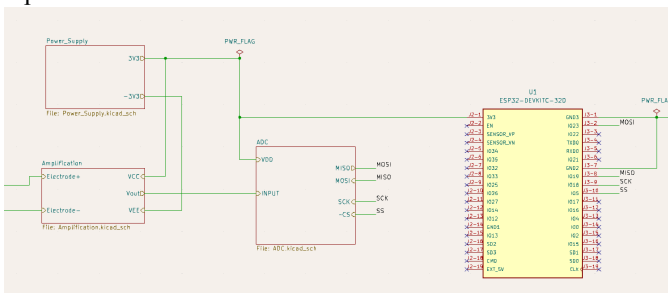


Fig.1. General Schematic of device's circuit in KiCad.

D. SPI

SPI communication between the MCP3562R ADC and ESP32 was used for transferring the data. Internal settings were adjusted through command byte formulation and register manipulation. Continuous data collection mode was chosen to avoid interruptions. Challenges encountered in establishing SPI communication for accurate data transfer and signal processing were mainly found in voltage compatibility between components.

Getting into more detail, the setup for SPI communication between the microcontroller and ADC employs the Arduino SPI library, configuring PINs for input, output, and chip select (CS) initiation. SPI communication is established with a 1 Mhz speed, MSB-first data format, and SPI mode 0,0. Registers are initialized to set desired settings, with command bytes formulated to specify actions like read or write. For reliable data exchange, the CS is toggled low with a brief delay. Data from the ADC is continuously streamed, utilizing a custom function to transfer 32-bit packets in 8-bit chunks via SPI transfer. This bidirectional process ensures that each 24-bit information packet, received in a sign-extended 32-bit format, is correctly ordered according to the most significant bytes first, using logical shifts to assemble the final result. This method runs indefinitely in a loop, facilitating the ongoing acquisition of pipelined data in a structured and efficient manner.

E. Setbacks

Representation differences between float and long types in data handling, cause a potential loss of 1 bit of information when converting from 24 bits given by ADC to the 23-bit Mantissa in float, though this loss is minimal in impact. It should also be noted that the actual data refresh rate is lower than the ADC's sampling rate (4800 Hz), at 129 Hz, due to processing time required for serial printing and data reading via SPI, impacting the digital filter's operation frequency. This reduced refresh rate still allows for an uncorrupted signal within the target frequency range, and also for a bandpass filter that filters out noise outside the 8-13 hertz interest area.

IV. RESULTS

BandPass Filter was shown to be in the range desired, both in a simulation setting and real laboratory setting. For its design, Python code (Python script) [18] that finds the coefficients for the digital implementation of a Butterworth filter was used. These coefficients were later used in C code to create the final filter.

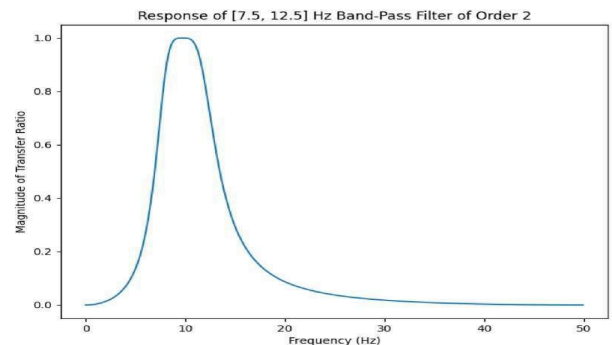


Fig.2. Response of a 2nd order bandpass digital Butterworth filter in the range frequencies 7.5 to 12.5 hertz.

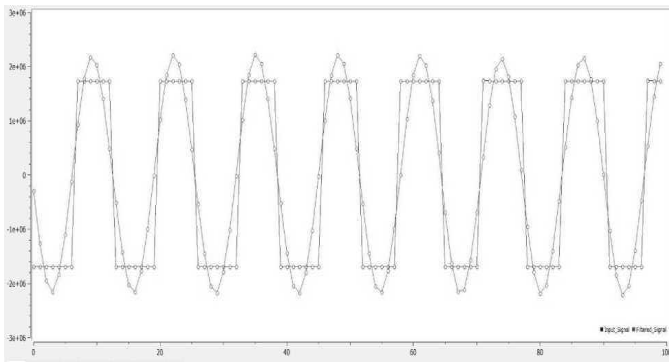


Fig.3. Filter response for input signal square 10 Hz 500 mV pp.

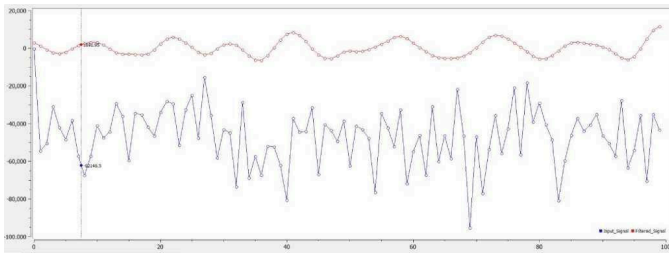


Fig.4. Filter response for input signal artificially generated noise.

The system developed for detecting alpha brain waves also functions as a bio-amplifier, capable of capturing other bio-signals such as ECG. The focus was initially on heart signal measurements to verify the system's correct functionality, given the recognizability and periodicity of ECG waveforms. Figure 5 confirms the functionality of the device through ECG.

Regarding EEG observations, measurements with closed eyes have increased EEG signal amplitude compared to open eyes, validating the “closed eyes” test [2], according to theory and the device operation. Without additional gel, the signal's maximum amplitude displayed is approximately 0.84 millivolts, inferred as 0.84 microvolts pre-amplification. With added gel and closed eyes, the amplitude reaches about 14 millivolts, suggesting an original signal strength closer to expected values. The waveform shapes, though varying, are deemed within acceptable limits due to the digital filter's broad frequency range. The presence of noise in the 8-13 Hertz range, despite the digital filter, indicates the challenge of achieving complete noise cut-off.



Fig.5. Representation on the Arduino serial monitor. The unfiltered real electrocardiogram signal is shown in blue, while the signal passing through the 8-13 Hz filter is shown in red.

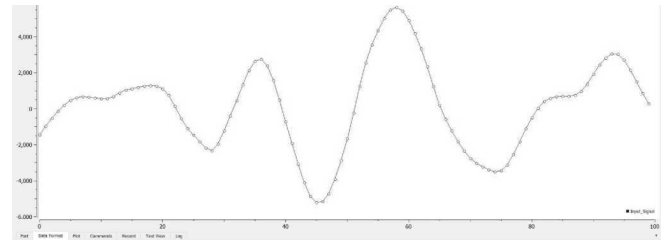


Fig.6. Computer display of real alpha wave measurements, after passing through digital filter 8-13 Hz and made with eyes open (extra gel).

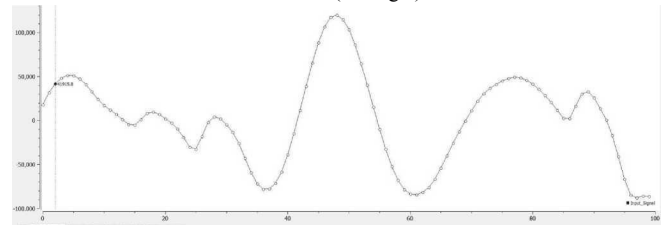


Fig.7. Computer display of real alpha wave measurements, after passing through digital filter 8-13 Hz and made with eyes closed (extra gel).

V. FUTURE WORK

Future enhancements for an EEG device would be focused on noise reduction, signal amplification, and practical usability improvements. Transitioning to PCB layouts, improving electrode-skin contact, and possibly incorporating an electrode-skin impedance measurement system would be the first steps in this endeavor. The potential use of a DrivenRightLeg [17] circuit for better noise rejection and options for digital filtering to remove noise within the target frequency range should also be explored. Additionally, the development of a portable device incorporating data storage, transmission capabilities, and a battery management system for energy efficiency would expand on the possibilities of the proposed device. Verification of the system through experiments in controlled environments is also considered essential for validating its effectiveness.

ACKNOWLEDGMENT

Dimitrios Lampros thanks Professor Evangelos Christoforou who was the supervisor of this thesis and with whom he had excellent cooperation. Also, special thanks go to Dr. Spyros Angelopoulos who followed every step of the development of the prototype in the laboratory and whose help was decisive in the preparation of the thesis. Finally, Dimitrios Lampros would like to thank his family who stood by him throughout his studies.

REFERENCES

- [1] F. L. Da Silva, "EEG: Origin and measurement," EEG - fMRI Physiol. Basis, Tech. Appl., pp. 19-38, 2010, doi: 10.1007/978-3-540-87919-0_2/COVER/.
- [2] J. G. Webster, Medical Instrumentation: Application and Design, Third Edit. Wiley, 1997.
- [3] G. R. Müller-Putz, "Electroencephalography," Handb. Clin. Neurol., vol. 168, pp. 249- 262, Jan. 2020, doi: 10.1016/B978-0-444-63934-9.00018-4.
- [4] M. Teplan, "FUNDAMENTALS OF EEG MEASUREMENT," Meas. Sci. Rev., vol. 2, no. 2, 2002.
- [5] M. D. Sacchet et al, "Attention Drives Synchronization of Alpha and Beta Rhythms between Right Inferior Frontal and Primary

- Sensory Neocortex," *J. Neurosci.*, vol. 35, no. 5, pp. 2074-2082, Feb. 2015, doi: 10.1523/JNEUROSCI.1292-14.2015, doi: 10.1523/JNEUROSCI.1292-14.2015.
- [6] M. Dadashi, B. Birashak, F. Taremian, A. A. Asgarnejad, and S. Momtazi, "Effects of Increase in Amplitude of Occipital Alpha & Theta Brain Waves on Global Functioning Level of Patients with GAD," *Basic Clin. Neurosci.*, vol. 6, no. 1, p. 14, 2015, Accessed: Jun. 30, 2022. [Online] Available: [/pmc/articles/PMC4741268/](#).
- [7] J. Lagopoulos et al, "Increased theta and alpha EEG activity during nondirective meditation," *J. Altern. Comp. Med.*, vol. 15, no. 11, pp. 1187-1192, Nov. 2009, doi: 10.1089/acm.2009.0113.
- [8] A. Albulbul, "Evaluating Major Electrode Types for Idle Biological Signal Measurements for Modern Medical Technology," *Bioeng. (Basel, Switzerland)*, vol. 3, no. 3, Sep. 2016, doi: 10.3390/BIOENGINEERING3030020.
- [9] E. Seitsonen, A. Yli-Hankala, and K. Korttila, "Are electrocardiogram electrodes acceptable for electroencephalogram bispectral index monitoring?," *Acta Anaesthesiol. Scand.*, vol. 44, no. 10, pp. 1266-1270, 2000, doi: 10.1034/J.1399-6576.2000.441014.X.
- [10] X. Jiang, G. Bin Bian, and Z. Tian, "Removal of Artifacts from EEG Signals: A Review," *Sensors (Basel)*, vol. 19, no. 5, Mar. 2019, doi: 10.3390/S19050987.
- [11] M. Sazgar and M. G. Young, "EEG Artifacts BT - Absolute Epilepsy and EEG Rotation Review: Essentials for Trainees," M. Sazgar and M. G. Young, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 149-162.
- [12] V. Krishnaveni, S. Jayaraman, S. Aravind, V. Hariharasudhan, and K. Ramadoss, "Automatic Identification and Removal of Ocular Artifacts from EEG using Wavelet Transform," *Meas. Sci. Rev.*, vol. 6, no. 2, 2006.
- [13] C. Becchetti and A. (Alessandro) Neri, "Medical instrument design and development: from requirements to market placements," 2014.
- [14] T. Wescott, "Sampling: what Nyquist Didn't Say, and What to Do About It," 2018.
- [15] Purnachandar Poshala, "Why Oversample when Undersampling can do the Job?," 2013. accessed Jul. 01, 2022. [Online]. Available: [www.ti.com](#).
- [16] S. W. Smith, *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*, vol. Chapter 15, no. Second Edition. 1999.
- [17] B. B. Winter and B. B. Winter, "Driven-Right-Leg Circuit Design," *IEEE Trans. Biomed. Eng.* vol. BME-30, no. 1, pp. 62-66, 1983, doi: 10.1109/TBME.1983.325
- [18] Carnegie Mellon University, "Butterworth Filter generator." https://courses.ideate.cmu.edu/16-223/f2020/Arduino/FilterDemos/filter_gen.py (accessed Jul. 01, 2022).

HYBRID CLASSICAL-QUANTUM NEURAL NETWORK FOR RICE CROP IDENTIFICATION

Konstantina Safouri, Georgios D. Varsamis, Ioannis Liliopoulos

Department of Electrical and Computer Engineering,
Democritus University of Thrace,
Xanthi, 67100, Greece

ABSTRACT

The continuous increase of global temperatures along with the more intense and frequent weather phenomena e.g., tornadoes, floodings, and wildfires, are expected to have a greater impact on many crops' yields, thus resulting in a significant rise in global hunger. Rice crop falls into that category, being one of the most weather-affected crops. According to the Food and Agriculture Organisation (FAO) of the United Nations, it produces staple food for at least four billion people; that is more than half of the world's population. Given this, all interested parties should be aware at any time of the exact spatial distribution of the area under rice cultivation in their region of interest. For this research, we utilized radar and optical data from Sentinel-1 and Sentinel-2 satellites respectively, to deploy a hybrid classical-quantum neural network that is able to classify the input data into rice and non-rice areas, hence providing a very powerful tool to all aforementioned stakeholders. This model was then used and evaluated in the context of the EY Open Science Data Challenge 2023, where our team participated. The challenge considered the An Giang province in the Mekong Delta in Vietnam as the area of interest. The presented model achieved a f1 score equal to 0.985, which was ranked among the best scores in the competition. Our findings demonstrate the potential arising from the use of quantum computing along with preprocessed satellite data for the monitoring and tracing of rice crops.

Index Terms— Quantum computing, satellite data, crop identification, vegetation indices, machine learning

1. INTRODUCTION

In recent years there has been a simultaneous rapid increase in the world's population and an equally rapid destruction of the environment. The growth of the world population implies greater production of waste, greater consumption of energy and water in order to meet basic needs, and of course, greater demand for food production. Yet, this has proven to be quite challenging given the rise of global temperatures and the appearance of extreme weather phenomena, which in turn results in the rise of global hunger.

This vicious circle, and the problems associated with it, are what the global scientific community is trying to address. One of the proposed solutions is the optimization of agricultural crops in order to produce a greater supply of food and at the same time, minimize the impact on the environment. Among the most important scientific fields that have focused on resolving this problem is the field of Data Analysis and Machine Learning (ML) [1,2]. The aim is to inspect, clean, transform, and model data in order to discover useful information, draw educated conclusions as well to support all decision-making.

We deploy a hybrid classical-quantum neural network (CQNN) [3] to classify geographic coordinates as rice and non-rice areas. The corresponding data were obtained from the Sentinel-1 and Sentinel-2 satellites [4,5] as part of the EY Open Science Data Challenge 2023 [6]. To evaluate the classification results we utilized a benchmark dataset, that our team developed and achieved an f1 score equal to 1.0 in the EY Open Science Data Challenge. The aforementioned dataset ranked among the top performing in the challenge and has been produced by utilizing Scikit-learn's Support Vector Classifier (SVC) [7]. We showed that our hybrid CQNN was able to outperform similarly structured classical NNs by comparing the corresponding results. It also managed to perform better by requiring less training iterations. Finally, we compared the produced results of the hybrid CQNN with other classical classification models, where in most cases, the hybrid CQNN managed to achieve a better f1 score.

2. DATA ANALYSIS

The dataset used to train our model consists of data obtained from two of the Copernicus project satellites, namely the Sentinel-1 and Sentinel-2 satellites. The collected data comprise the years 2021-2022. These data are available to the public through Microsoft's Planetary Computer portal [8].

2.1. Sentinel-1 Data

We used Sentinel-1 to extract Vertical-Vertical polarization (VV) and Vertical-Horizontal polarization (VH) band data

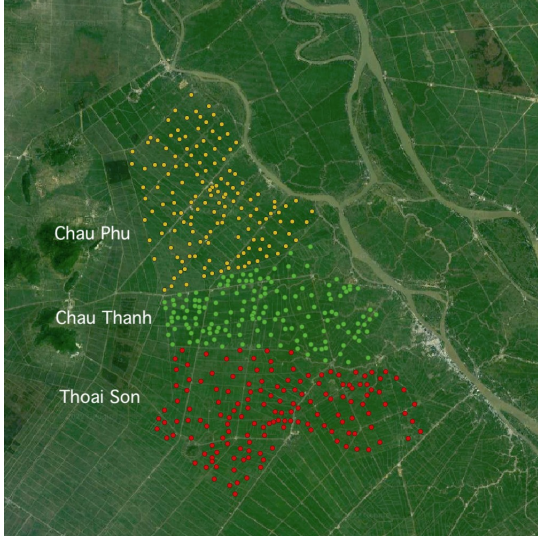


Fig. 1. The An Giang province in the Mekong Delta in Vietnam. This area consists of three central districts (Chau Phu, Chau Thanh and Thoai Son). *Source:* EY Data Challenge 2023 [6].

for our area of interest. These polarization bands express the value of polarization between the transmitted and received radar signal on Sentinel-1 [9]. Radar data are also able to penetrate through the clouds, thus helping us to attain the band values with minimal atmospheric attenuation. These data were radiometrically terrain corrected, meaning that all the geometric distortions included were corrected and the misleading influence of topography on backscatter values was removed.

2.2. Sentinel-2 Data

We utilized Sentinel-2 to acquire the red, green, blue, red-edge, and near-infrared optical spectral bands' data for our area of interest. We also obtained information concerning the scene classification (SCL) band of the Sentinel-2 and then used it to filter the spectral bands' data from the cloud-affected measurements. We then used statistical combinations of these "filtered" spectral bands to create several vegetation indices, as can be seen in Fig 2 (red-colored bars).

2.3. Data Processing

As can be seen in Fig. 2, VH and VV are the most statistically important features of our dataset. Yet, our model's accuracy by only including the polarization bands in our dataset, fluctuated around 0.85. To improve the performance we considered the utilization of the vegetation indices created using Sentinel-2 data, as additional features. That said, only the normalized difference vegetation index (NDVI) [10,11], difference vegetation index (DVI) [10], and modified simple ra-

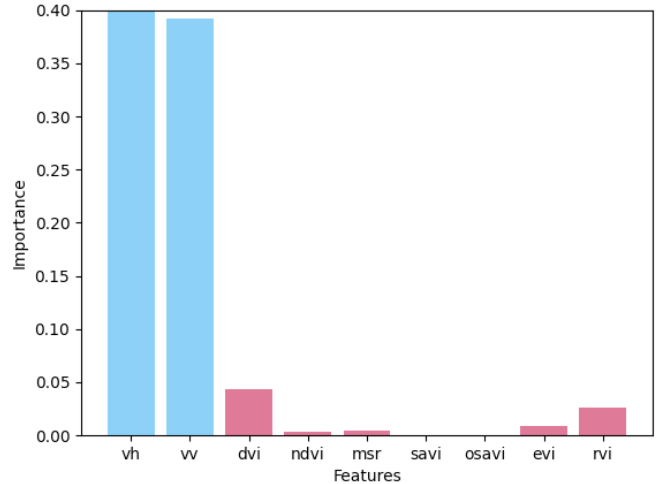


Fig. 2. Features importance plot.

tio index (MSR) [10] were included in our training dataset, alongside VV and VH polarization bands, as they were the ones that contributed the most on our model's overall performance. Although some indices seem to be more statistically important than others, e.g. the ratio vegetation index (RVI) [10], our tests showed that when they were used in combination with other features produced worse results. Thus, we did not take them into consideration. To further increase our model's performance we applied a 3x3 bounding box, around the existing latitude and longitude positions in our dataset and then extracted the feature values for each central point, as shown in Fig.3. The means of those points' feature values were then utilized as the aforementioned positions' feature values. In data analysis, this bounding box is known as the central point's Moore neighborhood [12]. Moreover, by utilizing such a bounding box we also achieved to filter the inherent variations present in our radar data, i.e., the "speckle" effect. We normalized all the data points in our dataset with the use of Scikit-learn's MaxAbsScaler class [3]. To train and validate our model we utilized a dataset consisting of 600 data points where we considered an 80/20 % split respectively. We tested our model's accuracy using a dataset of 150 data points.

3. MODEL USED

Our model consists of a classical and a quantum part, hence the name "Hybrid Classical-Quantum Neural Network". To implement the Hybrid CQNN, we introduced a two qubits parameterized quantum circuit before the output layer by utilizing the one-hot data encoding for the quantum circuit output. The quantum circuit was implemented using qiskit [13] and acts as a quantum layer for the hybrid CQNN, as presented in Fig.4. The circuit consists of two sub-circuits, namely the feature mapping circuit and the ansatz. The feature mapping

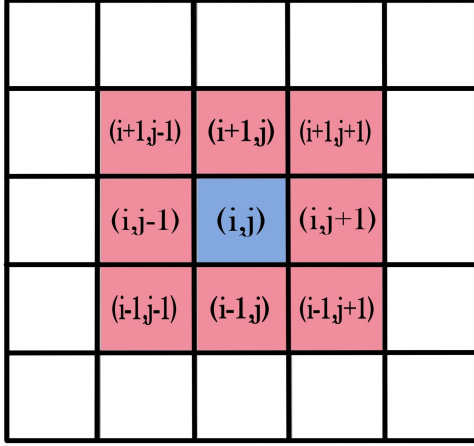


Fig. 3. 3x3 bounding box (Moore neighbourhood).

circuit is responsible for appropriately mapping the input data into the 2-qubit state space [14], where we utilized the ZZFeatureMap circuit, repeated two times, as presented in Fig.5. Similarly, the ansatz is responsible for properly classifying the input data into their corresponding classes. As presented in Fig.6, we chose RealAmplitudes 2-local circuit with full entanglement structure, repeated once, as our ansatz.

Regarding the classical part of our model, after several tests, we proceeded with the structures shown in Table 1. It consists of an input layer of 5 neurons along with multiple densely-connected hidden layers, with different numbers of neurons, and an output layer. For the hidden and output layers we utilized the Rectified Linear Unit function (ReLU) and the sigmoid function as the activation functions accordingly. Last, the Adaptive Moment Estimation (ADAM) optimizer [15], with a learning rate equal to 0.005, was utilized to optimize the training parameters of both our classical and quantum layers.

4. RESULTS

To evaluate the performance of the NNs we used the f1 metric, described in Eq. (1). We used the dataset we created for the EY Open Science Data Challenge 2023, which has been produced by Scikit-learn's Support Vector Classifier (SVC) and achieved a f1 score equal to 1.0, as the benchmark dataset. We compared the median f1 score of the hybrid CQNNs with similarly structured classical NNs and we present the results in Table 1. In some cases, during the test, the hybrid CQNN implementations managed to achieve a f1 score equal to 0.9950. Similarly, we compared the best median f1 score of the hybrid CQNNs with other well-known classical models we implemented and we present the results in Table 2.

$$f1 \text{ score} = 2 * \frac{\frac{tp}{(tp+fp)} * \frac{tp}{(tp+fn)}}{\frac{tp}{(tp+fp)} + \frac{tp}{(tp+fn)}} \quad (1)$$

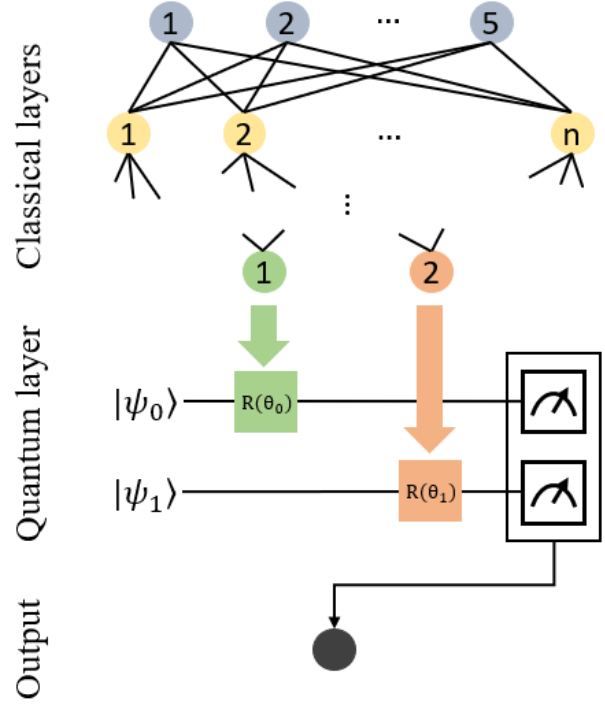


Fig. 4. Hybrid CQNN structure.

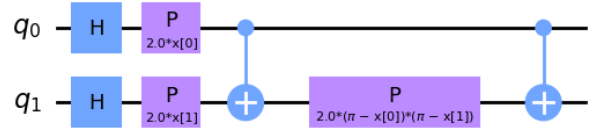


Fig. 5. ZZFeatureMap circuit .

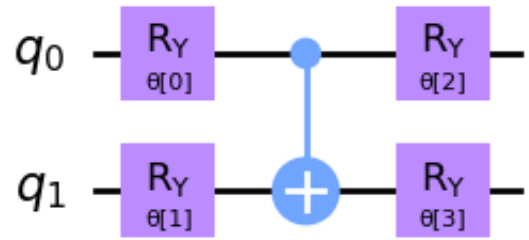


Fig. 6. RealAmplitudes 2-local circuit.

Where: n is the number of classified data, t is the actual outcome (either 1 or 0), y is the output (prediction) of the classifier, tp is the number of the “true positive” samples, i.e., samples classified correctly to the 2nd class, fp is the number of the “false positive” samples, tn is the number of the “true negative” samples, i.e., samples classified correctly to the 1st class and fn is the number of the “false negative” samples.

Table 1. Classical and Hybrid Multi-layer NN comparison

NN Layers Structure	Classical NN f1 score	Hybrid CQNN f1 score
5,8,4,2,1	0.9738	0.9782
5,8,2,1	0.9692	0.9852
5,4,2,1	0.9619	0.9817

Table 2. Classical models and Hybrid CQNN comparison

Model	Parameters	f1 score
Hybrid CQNN	4-layers structure	0.9852
LGBM	boosting_type='dart'	0.9804
AdaBoost	algorithm='SAMME'	0.9804
Random Forest	criterion='entropy'	0.9709
K-Nearest Neighbors	n_neighbors=10	0.9852
XGboost	objective='binary:logistic'	0.9612
MLP Classifier	solver='lbfgs'	0.9901

We can observe that the utilization of the quantum layer within our model’s classical structure has enhanced its performance. Not only, our hybrid model has outperformed its corresponding classical model for every layer structure tested, but it was also able to achieve one of the highest f1 scores among all other classical models it was tested against.

5. CONCLUSION

By looking at all the models and all the processes that were mentioned above, some conclusions can be drawn about the performance of each one. Starting with the comparison between the classical models and the hybrid ones, it is easy to say that the hybrid ones are equally as good as some of the classic models tested. It is also worth mentioning that our hybrid CQNN performs better with a fewer number of classical layers, because of the existence of the quantum layer. Thus, less time and parameters are required to be trained.

Of course, there is a lot of work to be done in the future, in order to improve even more the hybrid model and gain an even better f1 score than the ones mentioned above. By further utilizing the advantage gained from the quantum layer, it is possible to achieve higher performance, by adding more

quantum layers in the structure, or even by forming a purely quantum NN.

REFERENCES

- [1] D.B. Nguyen and W. Wagner, “European rice cropland mapping with Sentinel-1 data: The Mediterranean region case study,” ”Water, MDPI, doi: [10.3390/w9060392](https://doi.org/10.3390/w9060392), 2017.
- [2] B. Bauer-Marschallinger et al., “Toward global soil moisture monitoring with Sentinel-1: Harnessing assets and overcoming obstacles,” ”IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, IEEE, doi: [10.1109/TGRS.2018.2858004](https://doi.org/10.1109/TGRS.2018.2858004), 2018.
- [3] Copernicus programme: The Sentinel-1 mission <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1>
- [4] Copernicus programme: The Sentinel-2 mission <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>
- [5] N. Schetakis, D. Aghamalyan, P. Griffin, and M. Boguslavsky, “Review of some existing QML frameworks and novel hybrid classical–quantum neural networks realising binary classification for the noisy datasets,” ”Scientific Reports, Nature Publishing Group UK London, doi: [10.1038/s41598-022-14876-6](https://doi.org/10.1038/s41598-022-14876-6), 2022.
- [6] EY Open Science Data Challenge 2023 <https://challenge.ey.com/>
- [7] scikit-learn: machine learning in Python — scikit-learn 1.2.2 documentation <https://scikit-learn.org/stable>
- [8] Microsoft Planetary Computer: A Planetary Computer for a Sustainable Future <https://planetarycomputer.microsoft.com/>
- [9] A. Rosenqvist, and B. Killough, “A Layman’s Interpretation Guide to L-band and C-band Synthetic Aperture Radar data,” ”Committee on Earth Observation Satellites: Washington, DC, USA [online] Available: ceos.org/ard/files/Laymans_SAR_Interpretation_Guide_2.0.pdf, 2018.
- [10] A. Bannari et al., “A review of vegetation indices,” ”Remote sensing reviews, Taylor & Francis, doi: [10.1080/02757259509532298](https://doi.org/10.1080/02757259509532298), 2009.
- [11] A.R. Huete, “Vegetation indices, remote sensing and forest monitoring,” ”Geography Compass, Wiley Online Library, doi: [10.1111/j.1749-8198.2012.00507.x](https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2012.00507.x), 2012.
- [12] Dmitry A. Zaitsev, “A generalized neighborhood for cellular automata,” ”Theoretical Computer Science, Elsevier, doi: [10.1016/j.tcs.2016.11.002](https://doi.org/10.1016/j.tcs.2016.11.002), 2017.
- [13] Qiskit. Open-source quantum development <https://qiskit.org/>
- [14] V. Havlíček et al., “Supervised learning with quantum-enhanced feature spaces,” ”Nature, Nature Publishing Group UK London, doi: [10.1038/s41586-019-0980-2](https://doi.org/10.1038/s41586-019-0980-2), 2019.
- [15] PyTorch <https://www.pytorch.org>

Μία Τεχνική Εστιαζόμενης Μικροκυματικής Υπερθερμίας Μέσω Στρώματος Συνεχούς Ρεύματος, Βασισμένου Σε Χωρικά Επιλογικές Επιφάνειες.

Θωμάς Δαλτζής⁽¹⁾, Δημήτριος Αρναούτογλου⁽¹⁾, Γεώργιος Τριχόπουλος⁽²⁾, και Γεώργιος Α. Κυριακού⁽¹⁾

⁽¹⁾Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, GR-67100, Ελλάδα (daltzistom@gmail.com, darnaut@ee.duth.gr, gkyriac@ee.duth.gr)

⁽²⁾Arizona State University, Electrical, Computer and Energy Engineering, Tempe, AZ, USA (gtrichop@asu.edu)

Περίληψη—Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο σχεδιασμός μίας συστοιχίας ισχυρά συζευγμένων δίπολων (Tightly Coupled Dipole Array, TCDA), ως ακτινοβολητή για εφαρμογή εστιαζόμενης μικροκυματικής υπερθερμίας στα 915 MHz. Η συστοιχία τροφοδοτούμενη με κατάλληλα ρεύματα (φάσεις και πλάτη), εστιάζει σε έναν καρκινικό όγκο. Επιθυμητός στόχος είναι η επίτευξη λειτουργίας παρόμοιας με αυτή ενός αμφίκυρτου φακού, έτσι ώστε να ελαττωθεί η εμφάνιση δευτερευουσών κηλίδων θέρμανσης (Secondary Hotspots), μειώνοντας παράλληλα την πυκνότητα ισχύος στην επιφάνεια της συστοιχίας και τους ενδιάμεσους ιστούς. Αυτά, μπορούν να επιτευχθούν ακτινοβολώντας την επιθυμητή ισχύ από μεγαλύτερη επιφάνεια και κατευθύνοντας την προς την περιοχή του καρκινικού όγκου. Η εκτίμηση των ρευμάτων τροφοδοσίας ακολουθεί μία μέθοδο, η οποία έχει ήδη αναλυθεί και βασίζεται στο θεώρημα της αντιστρεπτότητας (Reciprocity Theorem)[2]. Τα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά σε ό,τι αφορά την χρήση της σχεδιαζόμενης συστοιχίας για την εφαρμογή μικροκυματικής υπερθερμίας.

Λέξεις κλειδί—Υπερθερμία, Εστίαση, TCDAs, CSAs

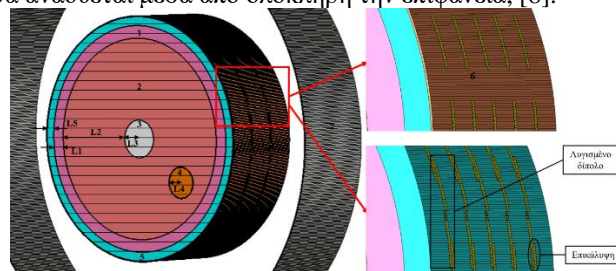
I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία αναφέρεται σε μία τεχνική μικροκυματικής υπερθερμίας για την θεραπεία καρκινικών όγκων. Ο πρωταρχικός σκοπός των εφαρμογών υπερθερμίας, είναι η συγκέντρωση της ηλεκτρομαγνητικής ισχύος στον όγκο διατηρώντας παράλληλα τους υγιείς ιστούς ανεπηρέαστους. Αυτό οδηγεί στην αύξηση της θερμοκρασίας ($T > 40^{\circ}\text{C}$), η οποία έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή των καρκινικών κυττάρων. Έχουν πραγματοποιηθεί ένα σύνολο εργασιών, οι οποίες αναφέρονται σε διαφορετικούς ακτινοβολητές υπερθερμίας, [1]-[3]. Πρόσφατες μελέτες εξετάζουν χρήση εναλλασόμενου AC μαγνητικού πεδίου και νανοσωματιδίων (Nanoparticles), με στόχο την επιλεκτική θέρμανση των καρκινικών όγκων [4], [5].

Μία πολλά υποσχόμενη μέθοδος εστίασης, η οποία παρουσιάστηκε σε προηγούμενη εργασία του εργαστηρίου [2], βασίζεται στο θεώρημα της αντιστρεπτότητας. Η φάση ή η χρονική καθυστέρηση μεταξύ των ρευμάτων διέγερσης των δίπολων μπορεί να εκτιμηθεί, από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μίας ιδεατής, δοκιμαστικής πηγής, τοποθετημένης στο κέντρο του καρκινικού όγκου. Προκειμένου η συστοιχία να εστιάζει στον καρκινικό όγκο τα απαραίτητα ρεύματα τροφοδοσίας, θα πρέπει να ακολουθούν τις συμπληρωματικές φάσεις. Παρά το γεγονός ότι η εστίαση επετεύχθη, η ηλεκτρομαγνητική ισχύς γύρω από την κεραία ήταν ακραία αυξημένη. Η ύπαρξη τόσο υψηλής ισχύος είναι πιθανόν να οδηγήσει σε βλάβη των γειτονικών ή ενδιάμεσων υγιών ιστών.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μία ενδεχόμενη λύση στο παραπάνω πρόβλημα, η οποία βασίζεται στην χρήση μίας συστοιχίας, που μιμείται την λειτουργία του αμφίκυρτου φακού, επιτρέποντας την εστίαση της ισχύος σε ένα συγκεκριμένο σημείο, διατηρώντας παράλληλα ανέπαφους του ενδιάμεσους βιολογικούς ιστούς. Το μικροκυματικό ισοδύναμο του αμφίκυρτου φακού, που παρουσιάζεται, σχεδιάστηκε βάσει του στρώματος συνεχούς ρεύματος του Wheeler (Wheeler's Current Sheet) επιτρέποντας στην συστοιχία να καταλάβει την μεγαλύτερη δυνατή επιφάνεια, στο σώμα, [6]. Η προσέγγιση αυτή εξασφαλίζει, ότι η απαιτούμενη, για την θέρμανση του καρκινικού όγκου, ισχύς εκπέμπεται από την μεγαλύτερη δυνατή επιφάνεια. Συνεπώς, η πυκνότητα ισχύος μπορεί να διατηρηθεί σε επίπεδο χαμηλότερο από εκείνο, το οποίο είναι πιθανόν να βλάψει τους ενδιάμεσους υγιείς βιολογικούς ιστούς.

Το στρώμα ρεύματος του Wheeler, αποτελεί θεωρητική συστοιχία, επομένως η υλοποίηση της στην παρούσα εργασία βασίζεται στην προσέγγιση των ισχυρά συζευγμένων δίπολων (TCDAs). Μία βασική πρόκληση στις εφαρμογές εστίασης σε καρκινικούς όγκους σχετίζεται με την ύπαρξη όλων των πεδιακών συνιστωσών (κοντινό πεδίο), σε αντίθεση με τις εφαρμογές, οι οποίες αναφέρονται στις απλοποιημένες συνιστώσες των επίπεδων κυμάτων (μακρινό πεδίο). Ως εκ τούτου η κεραία θα πρέπει να διεγείρει όλες τις συνιστώσες του πεδίου, όταν αυτό είναι δυνατόν. Για τον λόγο αυτό σε μελλοντική εργασία θα σχεδιαστεί μία συστοιχία διασταυρούμενων και επικαλυπτόμενων δίπολων, περικυκλωμένων από ένα μεταλλικό επίπεδο γείωσης, ακολουθώντας τις αρχές σχεδιασμού, που έθεσε ο Munk, [7]. Μία περισσότερο υποσχόμενη τοπολογία αφορά την προσέγγιση του συνεχούς ρεύματος του Wheeler, με ισχυρά συζευγμένες ορθογωνικές τυπωμένες κεραίες (Tightly Coupled Patch Arrays, TCPAs), όπου το ρεύμα προς τον ιστό θα αναδύεται μέσα από ολόκληρη την επιφάνεια, [8].



Σχ. 1. Το συνολικό προσομοιούμενο μοντέλο, αποτελούμενο από το Μοντέλο Σώματος ως στρωματοποιημένο κύλινδρο, έναν σφαιρικό όγκο και την συστοιχία ισχυρά συζευγμένων δίπολων, $L1=1\text{ cm}$, $L2=6.5\text{ cm}$, $L3=1.5\text{ cm}$, $L4=2.5\text{ cm}$ και $L5=7.15\text{ mm}$.

II. ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΩΜΑΤΟΣ

Ο βιολογικός ιστός προσομοιώνεται στο CST studio, ως ένα στρωματοποιημένο κυλινδρικό αντικείμενο (Σχ. 1), μήκους $L=14\text{cm}$ και συνολικής ακτίνας $R=9\text{cm}$. Το μοντέλο αποτελείται από τρία διαφορετικά στρώματα ανθρώπινου ιστού. Ο καρκινικός όγκος αναπαρίσταται ως σφαίρα ακτίνας $r=2.5\text{cm}$ και τοποθετείται σε τυχαία θέση, στο εσωτερικό του στρώματος μυϊκού ιστού. Για τις προσομοιώσεις, που ακολουθούν η σφαίρα έχει τοποθετηθεί σε απόσταση $d=3.5\text{cm}$. Τέλος, αντί του στρώματος νερού, που χρησιμοποιείται συνήθως, ένα λεπτό στρώμα ιατρικής σιλικόνης τοποθετείται μεταξύ της συστοιχίας και του δέρματος, προκειμένου να αυξηθεί η σύζευξη της ηλεκτρομαγνητικής ισχύος μεταξύ της συστοιχίας και του σώματος. Οι ηλεκτρομαγνητικές ιδιότητες κάθε ομογενούς στρώματος παρατίθενται στον πίνακα I, [9].

III. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ ΙΣΧΥΡΑ ΣΥΖΕΥΓΜΕΝΩΝ ΔΙΠΟΛΩΝ

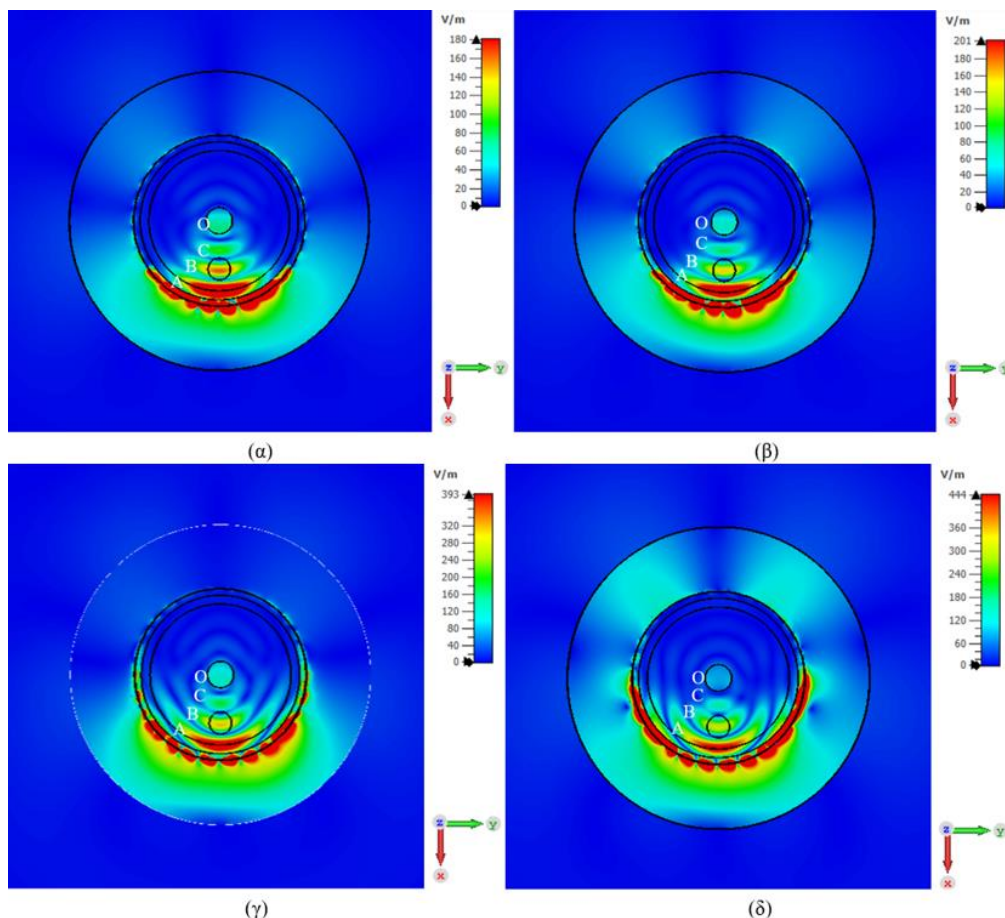
Το στρώμα ρεύματος του Wheeler είναι μη θεωρητική και πρακτικά μη υλοποιήσιμη συστοιχία μικρών δίπολων, τοποθετημένων σε μικρή απόσταση μεταξύ τους τοποθετημένων πάνω από ένα επίπεδο PMC (ανοιχτοκύκλωμα). Ο Munk [6] προσέγγισε το στρώμα ρεύματος του Wheeler, χρησιμοποιώντας ένα μεταλλικό επίπεδο γείωσης (βραχυκύκλωμα) σε απόσταση $\lambda_0/4$ από το επίπεδο της συστοιχίας. Η τροποποίηση αυτή επέτρεψε στον Munk να δημιουργήσει το απαραίτητο ανοιχτοκύκλωμα ακριβώς κάτω από το επίπεδο των δίπολων. Ωστόσο η παρουσία του επιπέδου γείωσης επιδρά σημαντικά στην συμπεριφορά της αντίστασης εισόδου των στοιχείων της συστοιχίας. Συγκεκριμένα στις χαμηλότερες συχνότητες, το

επίπεδο γείωσης προσθέτει στην αντίσταση εισόδου των στοιχείων μία επαγωγική συνιστώσα, προκαλώντας σημαντική υποβάθμιση του εύρους ζώνης λειτουργίας της συστοιχίας. Για να αντιμετωπίσει το πρόβλημα αυτό, ο Munk πρότεινε την εισαγωγή επικάλυψης μεταξύ των γειτονικών δίπολων (χωρητικό φορτίο σε σειρά με τα δίπολα) [7], λύση η οποία υιοθετείται και στην παρούσα εργασία.

Όπως φαίνεται στο Σχ. 1 τα δίπολα είναι τοποθετημένα παράλληλα στο μοναδιαίο διάνυσμα του αζιμουθίου, σχηματίζοντας κλειστούς δακτυλίους, οι οποίοι περικλείουν το κυλινδρικό μοντέλο του σώματος. Τα δίπολα τυπώνονται σε ένα λεπτό διηλεκτρικό υπόστρωμα (Στρώμα 6, $\epsilon_r=3.5$ και $\tan\delta=0.0027$). Κάθε σκέλος του δίπολου τυπώνεται σε διαφορετική επιφάνεια του υποστρώματος το μήκος του δίπολου είναι $l=3.017\text{cm}$ προκειμένου η συστοιχία να παρουσιάζει τον πρώτο συντονισμό σειράς περίπου στα 915MHz . Επιπλέον, το επικαλυπτόμενο μήκος των γειτονικών δίπολων προκύπτει ότι είναι $S=0.35\text{cm}$ ή $S/l=0.116$ η συνολική δομή περικλείεται από το επίπεδο γείωσης σε απόσταση $h=7.29\text{cm}$ από το επίπεδο της συστοιχίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ I. ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ (ΣΧΕΤΙΚΗ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΣΤΑΘΕΡΑ ΚΑΙ ΔΡΩΣΑ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ) ΚΑΘΕ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ.

Υλικό	Στρώμα L	ϵ_r	σ_{eff} (S/m)
Δέρμα	1	41.3	0.827
Μυς	2	55	0.948
Οστό	3	12.4	0.145
Καρκινικός Όγκος	4	56	0.92
Ιατρική Σιλικόνη	5	7.1	0



Σχ. 2. Ηλεκτρικό πεδίο παραγόμενο, από την διέγερση της εξωτερικής συστοιχίας 45 δίπολων ((α) και (γ)) και 65 δίπολων ((β) και (δ)). Τα πλάτη των ρευμάτων τροφοδοσίας ακολουθούν: (α),(β) την κατανομή των S παραμέτρων, και (γ),(δ) ορθογωνική κατανομή.

IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα ρεύματα τροφοδοσίας των δίπολων της συστοιχίας προσδιορίζονται με την χρήση μία ιδεατής-δοκιμαστικής πηγής. Στην προσομοίωση αυτή, ένα δίπολο (αριθμός 0) παράλληλο στον τοπικό άξονα y (ταυτίζεται με την αζιμουθιακή διεύθυνση φ) και συντονισμένο σε συχνότητα 915MHz, τοποθετείται στο κέντρο του καρκινικού όγκου. Ταυτόχρονα, τα δίπολα της εξωτερικής συστοιχίας παραμένουν τερματισμένα. Η φάση ή χρονική καθυστέρηση, που εισάγεται στο ηλεκτρομαγνητικό κύμα εξαιτίας της διάδοσης του, από το κέντρο του καρκινικού όγκου μέχρι τα δίπολα της εξωτερικής συστοιχίας, διαμέσου του ανθρώπινου ιστού, μπορεί εύκολα να εκτιμηθεί με μία ηλεκτρομαγνητική προσομοίωση και προκύπτει από την φάση των παραμέτρων σκέδασης $\arg(S_{i0})$. Οι φάσεις των ρευμάτων τροφοδοσίας των δίπολων, προσδιορίζονται τελικά με βάση το θεώρημα της αντιστρεπτότητας. Σε ό,τι αφορά τα πλάτη των ρευμάτων τροφοδοσίας, στην παρούσα εργασία εξετάζονται, δύο διαφορετικές περιπτώσεις: πλάτη ίσα με τις κανονικοποιημένες τιμές των πλατών των S παραμέτρων και πλάτη ίσα με την μονάδα. Επιπλέον, κάθε μία από τις παραπάνω κατανομές ρεύματος εφαρμόζεται σε δύο συστοιχίες, 5 δακτυλίων με 9 και 13 αζιμουθιακά δίπολα και συνολικά $N=45$ και $N=65$ στοιχεία, αντίστοιχα. Στον πίνακα II δίνονται για κάθε μία από τις εξεταζόμενες περιπτώσεις: η συνολική ισχύς $P_{Stimulated}$, που διεγείρει το σύστημα, η ισχύς $P_{Accepted}$, η οποία τελικά αποδίδεται στα δίπολα εξαιτίας των ανακλάσεων στο διάκενο τροφοδοσίας τους και ο λόγος $P_{Accepted}/P_{Stimulated}$ των δύο ισχύων.

ΠΙΝΑΚΑΣ II. ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΙΜΩΝ ΙΣΧΥΟΣ ΑΝΑ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

Αριθμός Στοιχείων	Κατανομή	$P_{Stimulated}$ (W)	$P_{Accepted}$ (W)	$P_{Accepted}/P_{Stimulated}$
45	S-Παραμετροι	4.21	3.1	0.74
	Μοναδιαία	22.5	14.8	0.66
65	S-Παραμετροι	4.23	3.088	0.73
	Μοναδιαία	32.5	18.89	0.58

Στο Σχ. 2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ηλεκτρομαγνητικών προσομοιώσεων. Στο Σχ. 2α και στο Σχ. 2β παρουσιάζεται το ηλεκτρικό πεδίο, που διεγείρεται στο εσωτερικό της δομής, όταν οι συστοιχίες $N=45$ και $N=65$ στοιχείων, αντίστοιχα, τροφοδοτούνται, με πλάτη ρευμάτων ίσα με τα κανονικοποιημένα πλάτη των S -Παραμέτρων και συμπληρωματικές φάσεις. Στο Σχ. 2γ και δ απεικονίζεται το ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο διεγείρεται στο εσωτερικό της δομής, όταν οι συστοιχίες $N=45$ και $N=65$ στοιχείων, αντίστοιχα, τροφοδοτούνται, με πλάτη ρευμάτων ίσα με την μονάδα και συμπληρωματικές φάσεις.

Σημειώνεται, ότι σε κάθε μία από τις προαναφερόμενες περιπτώσεις, χρησιμοποιείται διαφορετική κλίμακα, για την χρωματική απεικόνιση των αποτελεσμάτων. Παρατηρώντας κανείς τον πίνακα II, αντιλαμβάνεται πως η ισχύς, η οποία αποδίδεται στα δίπολα, προς ακτινοβολήση διαφέρει σε κάθε περίπτωση. Λαμβάνοντας δε υπόψιν, ότι η ισχύς σε κάθε σημείο της δομής, ως εκ τούτου και στο σημείο, που αυτή μεγιστοποιείται, είναι ανάλογη του τετραγώνου του ηλεκτρικού πεδίου, που εμφανίζεται στο σημείο εκείνο [10], για τον υπολογισμό των μεγίστων της κλίμακας για κάθε περίπτωση χρησιμοποιείται η σχέση:

$$E_{\max, \text{new}} = \sqrt{\frac{P_{\text{Accepted, new}}}{P_{\text{Accepted}}}} E_{\max} \quad (1)$$

Ως βάση αναφοράς θεωρείται η προσομοίωση, της οποίας τα αποτελέσματα, παρουσιάζονται στο Σχ. 2α. Επομένως, στην σχέση 1 ως P_{Accepted} συμβολίζεται η ισχύς, η οποία αποδίδεται στα δίπολα στην περίπτωση του Σχ. 2α, ως $P_{\text{Accepted, New}}$ συμβολίζεται η ισχύς, που αποδίδεται στα δίπολα σε κάθε μία από τις υπόλοιπες περιπτώσεις και ως E_{\max} , η μέγιστη τιμή της κλίμακας του ηλεκτρικού πεδίου στην περίπτωση του Σχ. 2α. Σημειώνεται, πως για την κλίμακα του Σχ. 2α η κλίμακα επιλέγεται αυθαίρετα, με μόνη προϋπόθεση, την ικανοποιητική, οπτική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων.

Στο Σχ. 2, σε κάθε μία από τις εξεταζόμενες περιπτώσεις, παρατηρεί κανείς την ύπαρξη 5 περιοχών μεγιστοποίησης του ηλεκτρικού πεδίου. Η πρώτη εμφανίζεται στο εσωτερικό της ιατρικής σιλικόνης και η παρουσία της είναι αναμενόμενη, αφού στην περιοχή εκείνη, είναι τοποθετημένη η διεγερόμενη εξωτερική συστοιχία. Με A,C,B και O συμβολίζονται οι υπόλοιπες τέσσερις κηλίδες, οι οποίες εμφανίζονται στο εσωτερικό του βιολογικού ιστού. Συγκεκριμένα, παρατηρώντας το Σχ. 2 βλέπει κανείς, ότι η κηλίδα A εμφανίζεται στην περιοχή μεταξύ του δέρματος και του μυϊκού ιστού και αποτελεί δευτερεύουσα, μη επιθυμητή κηλίδα θέρμανσης. Η κηλίδα B, εμφανίζεται στο εσωτερικό του προς στόχευση καρκινικού όγκου και αποτελεί την επιθυμητή κηλίδα θέρμανσης. Η κηλίδα C, παρουσιάζεται στο εσωτερικό του μυ σε σημείο, το οποίο βρίσκεται σε μεγαλύτερο βάθος από τον καρκινικό όγκο και αποτελεί δευτερεύουσα, μη επιθυμητή κηλίδα θέρμανσης. Τέλος, η κηλίδα O, η οποία επίσης αποτελεί δευτερεύουσα, μη επιθυμητή κηλίδα θέρμανσης, εμφανίζεται κοντά στο κέντρο του βιολογικού ιστού, στο εσωτερικό του οστού. Η ύπαρξη στο εσωτερικό της δομής, τεσσάρων μεγίστων ηλεκτρικού πεδίου, είναι πιθανόν να οφείλεται στην διέγερση μόνο ρυθμών TE^Z . Μάλιστα τα πολλαπλά μέγιστα υποδηλώνουν, ότι ο ρυθμός αυτός είναι ανώτερης τάξης. Μία προς διερεύνηση λύση του προβλήματος αυτού είναι η εισαγωγή πρόσθετων δίπολων, παράλληλων στον άξονα z με σκοπό την διέγερση και TM^Z ρυθμών.

Μία ακόμα σημαντική παρατήρηση έχει να κάνει με το σχήμα της κηλίδας B, που εμφανίζεται στο εσωτερικό του καρκινικού όγκου. Φαίνεται, ότι το έντονο ηλεκτρικό πεδίο περικλείει ή σχηματίζει το ιδεατό δίπολο, το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως ιδεατή πηγή. Συμπεραίνει, λοιπόν κανείς ότι η εσωτερική ιδεατή πηγή θα πρέπει να καταλαμβάνει όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μέρος του καρκινικού όγκου ή ιδανικά να είναι κατανεμημένη σε αυτόν.

Συγκρίνοντας κανείς οπτικά τα αποτελέσματα παρατηρεί ότι τόσο για την περίπτωση, που τα πλάτη τροφοδοσίας είναι ίσα με τα κανονικοποιημένα πλάτη των S παραμέτρων (Σχ. 2α και β) όσο και στην περίπτωση των μοναδιαίων πλατών (Σχ. 2γ και δ), ότι η αύξηση του αριθμού των δίπολων από $N=45$ (Σχ. 2α και γ) σε $N=65$ (Σχ. 2β και δ) οδηγεί σε σχετική εξομάλυνση της επιθυμητής κηλίδας θέρμανσης B. Επιπλέον, παρατηρεί κανείς ότι η κηλίδες στις περιπτώσεις όπου τα πλάτη τροφοδοσίας είναι μοναδιαία (Σχ. 2γ και δ) το σύνολο των κηλίδων φαίνεται να καμπυλώνει περισσότερο γύρω από τον καρκινικό όγκο και οι δευτερεύουσες κηλίδες θέρμανσης A και C καταλαμβάνουν μικρότερη επιφάνεια, σε σχέση με αυτές του Σχ. 2α και β. Τέλος, στην περίπτωση του ηλεκτρικού πεδίου του Σχ. 2δ η κηλίδες A και C καταλαμβάνουν μικρότερη επιφάνεια σε σχέση με τις αντίστοιχες κηλίδες των Σχ. 2α,β,γ.

Ένα επιπλέον μέτρο σύγκρισης των αποτελεσμάτων τις παρούσας εργασίας, είναι ο λόγος της πυκνότητας ισχύος κάθε δευτερεύουσας κηλίδας (A,C και O), προς την πυκνότητα ισχύος της επιθυμητής κηλίδας B, ο οποίος μπορεί να προσεγγιστεί από τον λόγο R_{iB} ($i=A, C, O$) των τετραγώνων των μέτρων των αντίστοιχων ηλεκτρικών πεδίων σε λογαριθμική κλίμακα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σκοπός είναι η κατά το δυνατόν μείωση των λόγων αυτών. Στον πίνακα III παρουσιάζονται αναλυτικά οι τιμές, που προέκυψαν για κάθε περίπτωση.

Συγκρίνοντας τις περιπτώσεις, που η κατανομή πλατών ακολουθεί τα πλάτη των S-Παραμέτρων για $N=45$ και $N=65$ δίπολα, παρατηρεί κανείς, πως οι διαφορές σε ο,τι αφορά τους λόγους ισχύος δεν είναι σημαντικές. Συγκεκριμένα ο λόγος R_{AB} παραμένει σταθερός και σε πολύ υψηλή στάθμη, ο λόγος R_{CB} μειώνεται κατά 0.02dB με την αύξηση των στοιχείων, ενώ ο λόγος R_{OB} μειώνεται κατά 0.16dB. Η αντίστοιχη σύγκριση για τις μοναδιαίες κατανομές, παρουσιάζει ενδιαφέρον. Ενώ η αύξηση των στοιχείων οδηγεί σε αμελητέα αύξηση του λόγου R_{AB} κατά 0.04 dB, οι λόγοι R_{CB} και R_{OB} , παρουσιάζουν σημαντική μείωση κατά 1.33 dB και 3.07 dB αντίστοιχα. Συγκρίνοντας δε του λόγους πυκνότητας ισχύος για τις δύο διαφορετικές κατανομές, παρατηρεί κανείς, ότι η μοναδιαία κατανομή τόσο στην περίπτωση των $N=45$, όσο και στην περίπτωση των $N=65$ δίπολων, παρουσιάζει εμφανώς καλύτερη συμπεριφορά από την αντίστοιχη, των S-Παραμέτρων.

ΠΙΝΑΚΑΣ III. ΛΟΓΟΙ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΙΣΧΥΟΣ ΚΗΛΙΔΩΝ

Αριθμός Στοιχείων	Κατανομή	Κηλίδα i	Λόγος R_{iB} (dB)
45	S-Παραμετροι	A	5.17
		C	-4.96
		O	-7.81
	Μοναδιαία	A	3.65
		C	-4.53
		O	-8.08
65	S-Παραμετροι	A	5.17
		C	-4.98
		O	-7.97
	Μοναδιαία	A	3.69
		C	-5.86
		O	-11.15

V. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τα ενθαρρυντικά, σε ό,τι αφορά την εστίαση στον καρκινικό όγκο αποτελέσματα της παρούσας ερευνητικής εργασίας, αποτελούν έναυσμα για μία σειρά μελλοντικών μελετών με σκοπό την βελτίωση της συστοιχίας ισχυρά συζευγμένων δίπολων, που προτάθηκε. Σε αυτή την κατεύθυνση θα μελετηθεί η χρήση διασταυρούμενων δίπολων, ως δοκιμαστική πηγή στο εσωτερικό του καρκινικού όγκου, προκειμένου να επιτευχθεί η διέγερση κυκλικά πολωμένου σήματος, κατάσταση, η οποία ισοδυναμεί με ένα απλό δίπολο στρεφόμενο σε μία τομή του καρκινικού όγκου. Δεδομένου ότι το ηλεκτρικό πεδίο, που παράγεται από την εξωτερική συστοιχία όταν αυτή τροφοδοτείται με ρεύματα τροφοδοσίας συμπληρωματικών

φάσεων, σχηματίζει το ιδεατό δίπολο, αναμένεται ότι η λήψη των φάσεων από ένα στρεφόμενο δίπολο θα έχει ως αποτέλεσμα την κάλυψη μία κυκλικής τομής του καρκινικού όγκου.

Σε δεύτερη ανάλυση είναι κρίσιμο να μελετηθεί η χρήση μίας εξωτερικής συστοιχίας, η οποία να δίνει την δυνατότητα διέγερσης ηλεκτρικού πεδίου, παράλληλου τόσο ως προς το αζιμουθιακό διάνυσμα ϕ όσο και ως προς τον άξονα z της δομής. Έτσι, είναι δυνατή η διέγερση ρυθμών τύπου TE^z και TM^z , οι οποίοι αναμένεται να συμβάλουν στον περιορισμό της ισχύος στο εσωτερικό του καρκινικού όγκου. Οι προτεινόμενες συστοιχίες αφορούν μία συστοιχία διασταυρούμενων και επικαλυπτόμενων δίπολων και μία συστοιχία ισχυρά συζευγμένων ορθογωνικών τυπωμένων κεραίων. Σε κάθε μία από τις παραπάνω περιπτώσεις είναι απαραίτητη η χρήση διασταυρούμενων δίπολων στο εσωτερικό του καρκινικού όγκου.

VI. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία προτείνεται μία συστοιχία ισχυρά συζευγμένων δίπολων, με σκοπό την δημιουργία ενός μικροκυματικού ισοδύναμου του αμφίκυρτου φακού, προκειμένου αυτό να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές μικροκυματικής υπερθερμίας. Επιπλέον, μελετήθηκε η εφαρμογή διαφορετικών κατανομών πλατών, για τα ρεύματα τροφοδοσίας των δίπολων. Τα αποτελέσματα των ηλεκτρομαγνητικών προσομοιώσεων είναι ενθαρρυντικά σε ό,τι αφορά την εστίαση της ισχύος στον καρκινικό όγκο. Ωστόσο, η εμφάνιση έντονων δευτερευουσών, μη επιθυμητών κηλίδων στο εσωτερικό του βιολογικού ιστού, καθώς και η ύπαρξη έντονου ηλεκτρικού πεδίου στην επιφάνεια τοποθέτησης της συστοιχίας, καταδεικνύουν την ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση του θέματος.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] D. A. M. Iero, L. Crocco, and T. Isernia, "Thermal and microwave constrained focusing for patient-specific breast cancer hyperthermia: Arobustness assessment," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 62, no. 2, pp. 814–821, 2014.
- [2] E. A. Lekka, K. D. Paschaloudis, and G. A. Kyriacou, "Phased array design for near field focused hyperthermia based on reciprocity theorem," in *2017 International Workshop on Antenna Technology: Small Antennas, Innovative Structures, and Applications (iWAT)*, 2017, pp. 277–280.
- [3] P. T. Nguyen, A. M. Abbosh, and S. Crozier, "3-d focused microwave hyperthermia for breast cancer treatment with experimental validation," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 65, no. 7, pp. 3489–3500, 2017.
- [4] M. Zeinoun, D. Serrano, P. T. Medina, García, M. Vasic, and J. J. Serrano-Olmedo, "Configurable high-frequency alternating magnetic field generator for nanomedical magnetic hyperthermia applications," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 105 805–105 816, 2021.
- [5] L. Souiade, J. Domingo-Diez, C. Alcaide, B. Gamez, L. Gamez, M. Ramos, and J. J. Serrano Olmedo, "Improving the efficacy of magnetic nanoparticle-mediated hyperthermia using trapezoidal pulsed electromagnetic fields as an in vitro anticancer treatment in melanoma and glioblastoma multiforme cell lines," *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 24, no. 21, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1422-0067/24/21/15933>.
- [6] H. A. Wheeler, «Simple Relations Derived from a Phased-Array Antenna Made of an Infinite Current Sheet,» *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, pp. 506-514, 1965.
- [7] B. A. Munk, *Broadband Wire Arrays*, 2003, pp. 181–213.
- [8] E. Irci, K. Sertel, J. L. Volakis, "An extremely low profile, compact, and broadband tightly coupled patch array," *Radio Science*, vol.47

- [9] I. Foundation. Tissue properties. Accessed: Feb. 13, 2023. [Online]. Available: <https://itis.swiss/virtual-population/tissue-properties/database/dielectric-properties>.
- [10] D. M. Pozar, Microwave Engineering, John Wiley and Sons Inc., 1998.

Ελικοειδής Δομή Ανοικτού Κυματοδηγού για Βελτιστοποίηση της Μικροκυματικής Θερμοκατάλυσης

Νικόλαος Καρκάνης
Τμήμα Ηλεκτρολόγων
Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών
Δημοκρίτειο Πανεπιστή-
μιο Θράκης
Ξάνθη, Ελλάδα
nkarkani@ee.duth.gr

Γεώργιος Κυριακού
Τμήμα Ηλεκτρολόγων
Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών
Δημοκρίτειο Πανεπιστή-
μιο Θράκης
Ξάνθη, Ελλάδα
gkyriac@ee.duth.gr

Μαρίνος Ψωμάς
Τμήμα Ηλεκτρολόγων
Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών
Δημοκρίτειο Πανεπιστή-
μιο Θράκης
Ξάνθη, Ελλάδα
marinospsomas@gmail.com

Θεόδωρος Σαμαράς
Τμήμα Φυσικής της
Σχολής Θετικών
Επιστημών
Αριστοτέλειο
Πανεπιστήμιο
Θεσσαλονίκης
Θεσσαλονίκη, Ελλάδα
theosama@auth.gr

Θεόδωρος Κάϊφας
Τμήμα Ηλεκτρολόγων
Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο
Θράκης
Ξάνθη, Ελλάδα
tkaifas@ee.duth.gr

Περίληψη— Η παρούσα εργασία αφορά το σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση μιας δομής ελικοειδούς ανοικτού ομοαξονικού κυματοδηγού για θερμική κατάλυση όγκου με μικροκύματα. Η θεραπεία αυτή είναι γνωστή και ως μικροκυματική θερμοκατάλυση (MicroWave Ablation-MWA). Μέχρι στιγμής έχει αναπτυχθεί μια ποικιλία κεραιών για MWA. Ωστόσο, οι περισσότερες από αυτές τις κεραιές δε μπορούν να ελέγξουν με ακρίβεια την εστίαση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου και κατά συνέπεια του πεδίου θερμοκρασίας που παράγουν με αποτέλεσμα την θέρμανση να επεκτείνεται και στους υγιείς ιστούς. Ως εκ τούτου, η πρώτη καινοτομία που προτείνεται εδώ είναι η χρήση μιας ελικοειδούς δομής ανοικτού ομοαξονικού κυματοδηγού που θα ελέγχει την κατανομή της εναποτιθέμενης ηλεκτρομαγνητικής ισχύος. Έτσι, θα επιτυγχάνεται η ολοκληρωτική καταστροφή του όγκου με λιγότερη βλάβη στον περιβάλλοντα υγιή ιστό. Αυτό γίνεται ρυθμίζοντας/αλλάζοντας κατάλληλα την απόσταση των σπειρών. Με αυτόν τον τρόπο το πεδίο θερμοκρασίας περιορίζεται στις διαστάσεις του καρκινικού όγκου. Η δεύτερη καινοτομία αφορά την προσαρμογή των διαστάσεων του ανοικτού κυματοδηγού, τόσο του μήκους του μονοπόλου όσο και των σπειρών στο μέγεθος του όγκου, μέσω μιας περιστροφικής κίνησης. Οι μεταβολές αυτές απαιτούν και μια αυτοπροσαρμοζόμενη προσαρμογή της αντίστασης εισόδου στο ομοαξονικό τροφοδοσίας. Αυτό επιτυγχάνεται με χρήση ενός τμήματος ομοαξονικού που περιέχει ηλεκτρικά ελεγχόμενο φερροηλεκτρικό PVDF.

Λέξεις-Κλειδιά — δομή ελικοειδούς ανοικτού ομοαξονικού κυματοδηγού, μικροκυματική θερμοκατάλυση, αριθμός και ύψος σπειρών, όγκος

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

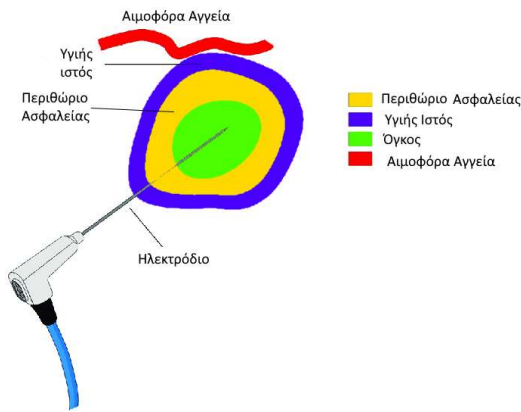
Ο καρκίνος είναι μια ασθένεια στην οποία ορισμένα από τα κύτταρα του σώματος αναπτύσσονται ανεξέλεγκτα και εξαπλώνονται σε άλλα μέρη του σώματος. Μπορεί να ξεκινήσει σχεδόν από οπουδήποτε στο ανθρώπινο σώμα, το οποίο αποτελείται από τρισεκατομμύρια κύτταρα. Υπάρχουν περισσότεροι από 100 τύποι καρκίνου. Συνήθως ονομάζονται από τα όργανα ή τους ιστούς όπου σχηματίζονται οι καρκίνοι. Το 2022, υπολογίστηκαν 20 εκατομμύρια νέες περιπτώσεις καρκίνου και 9,7 εκατομμύρια θάνατοι. Ο εκτιμώμενος αριθμός των ανθρώπων που επέζησαν για 5 χρόνια μετά τη διάγνωση του καρκίνου ήταν 53,5 εκατομμύρια. Περίπου 1 στους 5 ανθρώπους αναπτύσσουν καρκίνο στη ζωή τους, περίπου 1 στους 9 άνδρες και 1 στις 12 γυναίκες πεθαίνουν από τη νόσο [1].

Στις μέρες μας, έχουν αναπτυχθεί πληθώρα τεχνικών για τη θεραπεία του καρκίνου. Οι θεραπείες για τον καρκίνο περιλαμβάνουν τις θεραπείες:

- τοπικού ελέγχου, όπως η χειρουργική επέμβαση, η ακτινοθεραπεία, η θερμική κατάλυση με ραδιοσυχνότητες, με μικροκύματα ή με laser και η κρυοχειρουργική,
- συστηματικού ελέγχου, όπως η χημειοθεραπεία, η ανοσοθεραπεία και η ενδοκρινική θεραπεία, και
- τις υποστηρικτικές, όπως η παροχή ψυχολογικής και συμβουλευτικής υποστήριξης.

Σε πολλές περιπτώσεις εφαρμόζεται συνδυαστική θεραπεία όπως για παράδειγμα χειρουργική επέμβαση μετά από ακτινοθεραπεία ή χημειοθεραπεία. Η επιλογή της θεραπείας βασίζεται σε πολλούς παράγοντες. Κάποιοι από αυτούς είναι η θέση, το μέγεθος του όγκου, το ιστορικό του ασθενούς, ο τύπος, το στάδιο και τα γενετικά χαρακτηριστικά του καρκίνου, οι πιθανές παρενέργειες της θεραπείας, η ηλικία και η κατάσταση της υγείας του ασθενούς, οι κίνδυνοι και τα οφέλη κάθε θεραπευτικής επιλογής και το κόστος της θεραπείας.

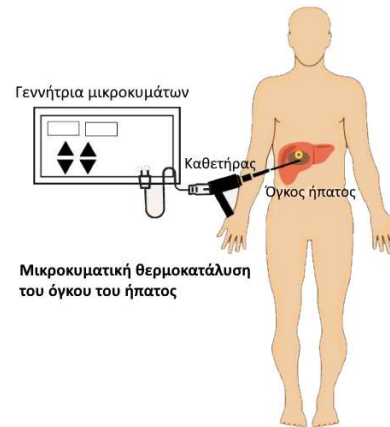
Η θερμική κατάλυση είναι μια εναλλακτική μέθοδος θεραπείας των πρωτοεμφανιζόμενων ή μεταστατικών καρκινικών όγκων. Οι μέθοδοι θερμικής κατάλυσης προκαλούν στον ιστό είτε τοπική θέρμανση (πάνω από 50°C) είτε τοπική ψύξη (κάτω από -40°C). Τυπικά, ο τρόπος εφαρμογής των μεθόδων θερμικής κατάλυσης περιλαμβάνει έναν καθετήρα, ο οποίος εισάγεται με καθοδήγηση ιατρικής απεικόνισης μέσα στον ιστό που νοσεί (Σχήμα 1). Τα κύτταρα του ιστού που περιβάλλουν τον καθετήρα νεκρώνονται. Η κατάλυση νεοπλάσματος μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε λαπαροσκοπικά είτε μέσω μιας μικρής χειρουργικής τομής στο δέρμα. Για να είναι επιτυχής μια θεραπευτική μέθοδος κατάλυσης όγκου, θα πρέπει ολόκληρος ο όγκος κι επιπλέον ένα εκατοστό (1cm) περιβάλλοντος υγιούς ιστού να υποβληθούν σε κατάλυση [2].



Σχ. 1. Διαδικασία κατάλυσης όγκου [3].

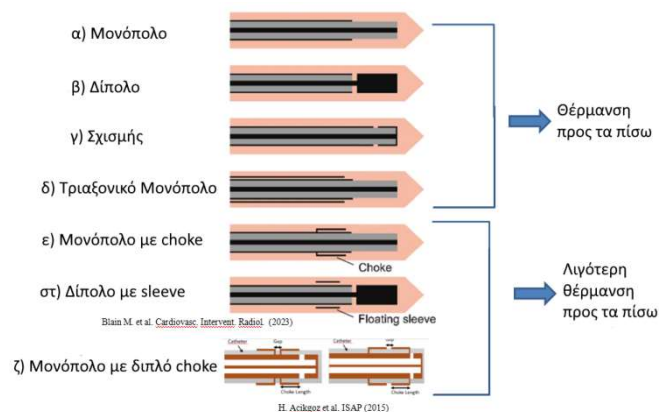
Μια υποκατηγορία της θερμικής κατάλυσης είναι η μικροκυματική θερμοκατάλυση (MWA). Η MWA είναι η πιο πρόσφατη εξέλιξη στον τομέα της αφαίρεσης όγκου. Χρησιμοποιεί τη θερμότητα από την ενέργεια μικροκυμάτων για τη θανάτωση των καρκινικών κυττάρων. Με την καθοδήγηση απεικόνισης (υπολογιστικής ή μαγνητικής τομογραφίας ή υπερήχων) εντοπίζεται ο όγκος. Κατά την επέμβαση μια μικροαξονική κεραία εισάγεται στο βιολογικό ιστό και τοποθετείται απευθείας στον όγκο. Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τη γεννήτρια μικροκυμάτων, μέσω της κεραίας απορροφάται από τον ιστό και οδηγεί στη θέρμανση των καρκινικών κυττάρων. Λόγω των εγγενών ιδιοτήτων του ηλεκτρομαγνητικού κύματος, η συσκευή δε χρειάζεται να γειωθεί αποτρέποντας έτσι το πρόβλημα των εγκαυμάτων γείωσης [4]. Η ενέργεια μικροκυμάτων που εφαρμόζεται στον όγκο προκαλεί ταλάντωση και περιστροφή των μορίων του νερού. Αποτέλεσμα η θέρμανση σε θερμοκρασία αρκετά υψηλή για να προκαλέσει κυτταρικό θάνατο μέσω νέκρωσης-πήξης. Για το λόγο αυτό, οι συχνότητες στις οποίες εφαρμόζεται είναι και οι συχνότητες συντονισμού των μορίων του νερού. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται ευρέως οι συχνότητες 915MHz και 2.45GHz [5]. Ο στόχος του MWA είναι να αυξήσει τη θερμοκρασία του ανεπιθύμητου ιστού στους 50°C όπου τα καρκινικά κύτταρα καταστρέφονται [6,7]. Ταυτόχρονα όμως πρέπει να διατηρηθεί η μεταβολή θερμοκρασίας στον υγιή ιστό κάτω από 1°C για να μην προκληθούν μη-αντιστρεπτές μεταβολές. Αφενός, η MWA είναι μια ελάχιστα επεμβατική μέθοδος για την τοπική θεραπεία συμπαγών όγκων. Αφετέρου μπορεί επίσης να ενισχύσει τις επιδράσεις ορισμένων αντικαρκινικών φαρμάκων ή να αντικαταστήσει συμβατικές μεθόδους θεραπείας (ακτινοθεραπεία, χημειοθεραπεία) προσφέροντας χαμηλότερο κόστος και λιγότερες παρενέργειες για τον ασθενή. Ακόμη, σε σύγκριση με τη χειρουργική επέμβαση, η MWA συνδέεται με λιγότερες επιπλοκές και μικρότερο χρόνο αποκατάστασης. Ο χρόνος εφαρμογής είναι πολύ μικρός (10-20 λεπτά) και δεν κινδυνεύει η ζωή του ασθενούς καθώς η θέρμανση είναι τοπική και η επίδρασή της δεν επεκτείνεται. Τέλος, η MWA είναι μια αρκετά απλή, ασφαλής και αποτελεσματική επιλογή θεραπείας για ορισμένους τύπους καρκίνου όπως στο συκώτι, στο πάγκρεας, στο μαστό κ.α. αλλά και σε ιστούς με υψηλή σύνθετη ηλεκτρική αντίσταση όπως ο πνεύμονας. Χρησιμοποιείται συχνά για τη θεραπεία μικρών όγκων που βρίσκονται σε περιοχές που είναι δύσκολο να

προσπελαστούν ή δύσκολα επιδέχονται χειρουργική επέμβαση [4].



Σχ. 2. Μικροκυματική θερμοκατάλυση [8].

Μια ιδανική κεραία οφείλει να μπορεί να επιτύχει υψηλή απόδοση στη μετάδοση ενέργειας, χαμηλή επεμβατικότητα στους ασθενείς και αναμενόμενο σχέδιο κατάλυσης (μέγεθος και σχήμα). Για το σκοπό αυτό, έχουν σχεδιασθεί πληθώρα κεραιών για τη MWA [9]. Τα βασικά σχέδια αφορούν μονοπολικές, διπολικές κεραίες και κεραίες σχισμής (απλής, διπλής). Αυτές οι κεραίες, λόγω των ρευμάτων διαρροής που προκύπτουν εξαιτίας της μη ισορροπημένης δομής τους, εμφανίζουν αντίστροφη (προς τα πίσω) θέρμανση κατά μήκος του άξονά τους. Το αποτέλεσμα είναι να δημιουργήσουν ζώνες αφαίρεσης σε σχήμα κομήτη, οι οποίες δεν είναι επιθυμητές ειδικά αν οι όγκοι είναι σφαιρικοί ή ελλειψοειδείς. Έχει προταθεί μια ποικιλία σχεδίων για τη βελτίωση των ιδιοτήτων ακτινοβολίας των κεραιών (Σχήμα 3) χρησιμοποιώντας choke, sleeve, cap or balun [10-14]. Ακόμη, σε μερικές από αυτές προστίθεται ένας μετασχηματιστής ή ένα δικτύωμα-π για τη βελτίωση της απόδοσης της κεραίας (πιο αποτελεσματική μετάδοση ισχύος). Στόχος όλων αυτών των σχεδίων είναι η βελτιστοποίηση της απόδοσης MWA στη θεραπεία διάφορων όγκων.



Σχ. 3. Βασικά σχέδια κεραιών [15,16].

Η επιλογή της δομής ελικοειδούς ανοικτού ομοαξονικού κυματοδηγού (Σχήμα 5) δεν είναι τυχαία, καθώς δημιουργεί τόσο αξονικές όσο και εγκάρσιες πλώσεις του ηλεκτρικού πεδίου. Επιπλέον, η δομή του κυματοδηγού περιορίζει το πεδίο κυρίως στο εσωτερικό των σπειρών και με χρήση κατάλληλων διαστάσεων έχει ως αποτέλεσμα πιο

ομοιόμορφη κατανομή πεδίου (κάλυψη και καταστροφή του όγκου με μεγαλύτερη ακρίβεια). Όσον αφορά την προσαρμολή της κεραίας στη γραμμή τροφοδοσίας, έχει προστεθεί ένας ομοαξονικός μετασχηματιστής $\lambda/4$ για βελτίωση της απόδοσης κατάλυσης. Ακόμη, ρυθμίζοντας κατάλληλα την απόσταση, τη στροφή και τον αριθμό των σπειρών εξαλειφεται η αντίστροφη θέρμανση. Επιπλέον, η δομή αυτή παγιδεύει το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο ανάμεσα στις σπείρες μη μπορώντας να διαφύγει εκτός του όγκου, γεγονός πολύ σημαντικό ειδικά σε περιπτώσεις όπου ο όγκος είναι πολύ κοντά στα αιμοφόρα αγγεία. Τέλος, όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, η MWA είναι μια μέθοδος θεραπείας που βασίζεται στην καθοδηγούμενη απεικόνιση. Συνεπώς, ο προτεινόμενος εφαρμοστής μπορεί να ενθυλακώσει/περικλείσει τον στοχευόμενο όγκο στο εσωτερικό των σπειρών μειώνοντας το σφάλμα που προκύπτει από το χειριστή υπό την καθοδήγηση μιας τεχνικής απεικόνισης. Το αποτέλεσμα είναι ότι χρησιμοποιώντας αυτόν τον εφαρμοστή η MWA γίνεται ασφαλέστερη θεραπεία για την καταπολέμηση του καρκίνου.

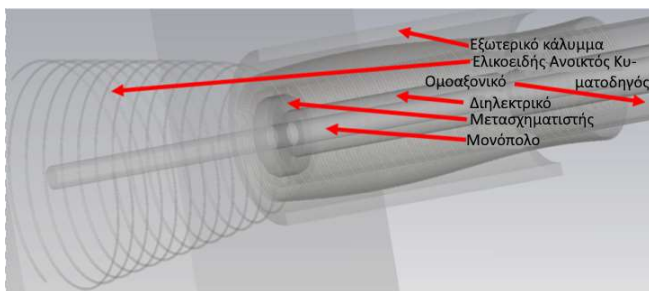


Σχ. 4. Ομοαξονικό μονόπολο.

II. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

A. Μοντέλο Κεραίας

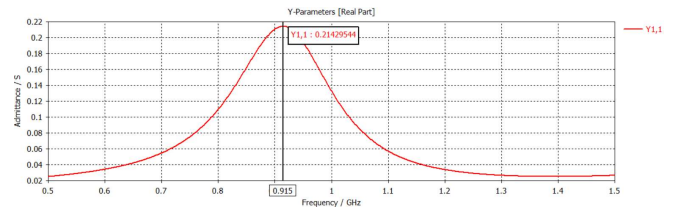
Για διαδερμική εφαρμογή συνήθως χρησιμοποιούνται ημίακαμπτα ομοαξονικά καλώδια λόγω της κυλινδρικής τους γεωμετρίας που διευκολύνει την εισαγωγή τους μέσα σε άκαμπτους καθετήρες. Ακόμη, το απομακρυσμένο άκρο τους μπορεί να τροποποιηθεί εύκολα για την ενσωμάτωση μιας κεραίας. Οι κεραίες μικροκυμάτων είναι σχεδιασμένες να ταιριάζουν με έναν άκαμπτο καθετήρα (Σχήμα 4) παρέχοντας προστασία, μηχανική σταθερότητα και βελτιώνουν τη σύζευξη ισχύος στον ιστό.



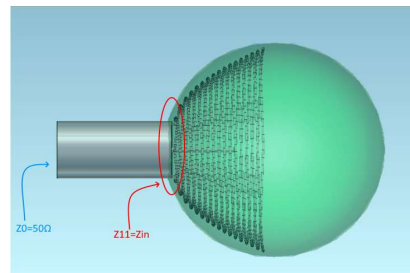
Σχ. 5. Δομή ελικοειδούς ανοικτού ομοαξονικού κυματοδηγού.

Αρχικά, η συχνότητα λειτουργίας της διάταξης επιλέχθηκε να είναι $f=915\text{MHz}$ διότι είναι μία από τις συχνότητες στις οποίες τα μόρια του νερού παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη απορρόφηση. Η συχνότητα καθορίζει το μήκος κύματος μέσα στο υλικό του όγκου. Για μια διηλεκτρική σταθερά $\epsilon_r=60$ το μήκος κύματος είναι $\lambda_g=\lambda_0/\sqrt{60}=4.23\text{cm}$. Σημειώτεον ότι ειδικά στο μοντέλο οι φωτεινοί κροσσοί στο συντονισμό έχουν μέγεθος $\lambda_g/2$. Επομένως, τα 915MHz είναι κατάλληλα για όγκους μεσαίου ή μεγάλου μεγέθους 4.23cm που πρέπει να καλύπτονται από έναν κροσσο

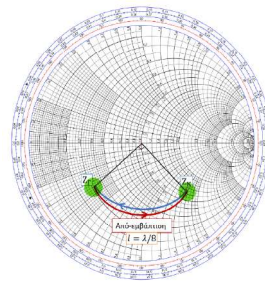
συντονισμού. Για μικρούς όγκους μπορεί να χρησιμοποιηθεί η συχνότητα 2.45GHz . Ύστερα, επιλέχθηκε το καλώδιο τροφοδοσίας να έχει χαρακτηριστική αντίσταση $Z_0=50\Omega$. Έπειτα, έγινε ο υπολογισμός του εσωτερικού και του εξωτερικού αγωγού καθώς και του μήκους της πηγής. Να σημειωθεί ότι το μήκος του μονοπόλου ορίστηκε αρχικά να είναι $\lambda_g/4$ για να επιτευχθεί συντονισμός σειράς. Συντονισμός σειράς εμφανίζεται όταν το πραγματικό μέρος της αγωγιμότητας γίνεται μέγιστο. Σημειώνεται ότι ο συντονισμός πρέπει να διαπιστωθεί στην αγωγιμότητα εισόδου με αναφορά στους ακροδέκτες της κεραίας (σημείο όπου ανοίγει ο κυματοδηγός) και αυτή προσδιορίζεται με την τεχνική αποεμβάπτισης (de-embedding). Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει μετατόπιση του επιπέδου αναφοράς στους ακροδέκτες της κεραίας (στην ασυνέχεια της γραμμής-κεραίας) έτσι ώστε να εξαχθεί η τιμή της αντίστασης στο φορτίο η οποία ταυτίζεται με την τιμή της αντίστασης εισόδου αφού είναι μονόθυρο [17-19]. Αν δεν συμβεί συντονισμός τότε γίνεται εκ νέου ρύθμιση του μήκους του μονοπόλου μέχρι να επιτευχθεί συντονισμός.



Σχ. 6. Συντονισμός δομής ελικοειδούς ανοικτού ομοαξονικού κυματοδηγού με 4 σπείρες εκτεινόμενες σε αξονικό μήκος 12mm.



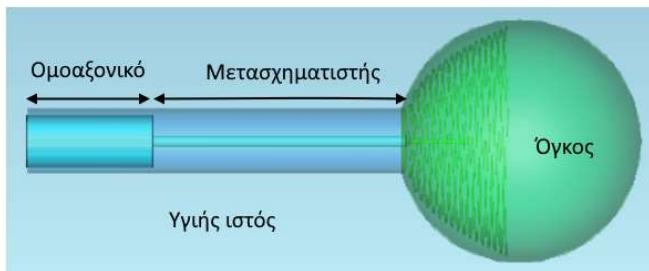
Σχ. 7. Από-εμβάπτιση δομής ελικοειδούς ανοικτού ομοαξονικού κυματοδηγού με 4 σπείρες.



Σχ. 8. Από-εμβάπτιση στο χάρτη Smith [17].

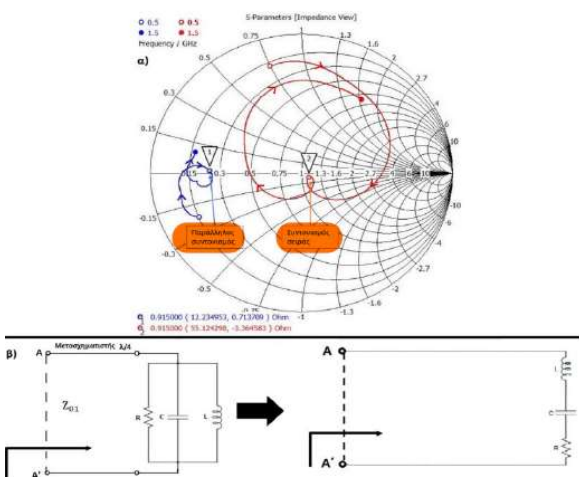
Έπειτα, λόγω του ότι οι S-παράμετροι δεν παρουσιάζουν ικανοποιητική τιμή (πρέπει $S_{dB}<-10\text{dB}$), εφαρμόζεται η διαδικασία της προσαρμογής. Ο λόγος που γίνεται είναι για να επιτευχθεί μέγιστη μεταφορά ισχύος από την πηγή στην κεραία. Συνεπώς, ένας μετασχηματιστής $\lambda_g/4$ τοποθετείται

ανάμεσα στο φορτίο και στην πηγή δηλαδή ανάμεσα στον όγκο (ακροδέκτες μονοπόλου) και στην πηγή τροφοδοσίας.



Σχ. 9. Δομή ελικοειδούς ανοικτού ομοαξονικού κυματοδηγού στο CST.

Αφού πρόκειται για μετασχηματιστή $lg/4$, τότε αυτός συμπεριφέρεται σαν αντιστροφέας αντίστασης με αποτέλεσμα ο εν σειρά συντονισμός του μονοπόλου στα άκρα της κεραίας να μετατραπεί σε παράλληλο συντονισμό στην είσοδο του μετασχηματιστή $lg/4$ (Σχήμα 10).



Σχ. 10. α) Μετάβαση στο κέντρο του χάρτη Smith για προσαρμογή στα 50Ω με τη προσθήκη του μετασχηματιστή $lg/4$ [17].
β) Συμπεριφορά του μετασχηματιστή $lg/4$ ως αντιστροφέας αντίστασης.

B. Υπολογιστικές Τεχνικές

Ο σχεδιασμός και η υλοποίηση της δομής ελικοειδούς ανοικτού ομοαξονικού κυματοδηγού έγινε με τη βοήθεια του MATLAB και του CST Microwave Studio (CST). Η αλληλεπίδραση μεταξύ ηλεκτρομαγνητικών πεδίων και θερμικών επιδράσεων, συνήθως αντιμετωπίζεται μέσω ενός συνδυασμού αριθμητικών τεχνικών. Το CST χρησιμοποιεί για το σκοπό αυτό μια προσέγγιση πολυφυσικής, όπου ο ηλεκτρομαγνητικός επιλύτης και ο θερμικός επιλύτης αλληλοσυνδέονται. Αυτή η σύζευξη επιτρέπει την αξιοποίηση της ισχύος που διαχέεται από τον κυματοδηγό στο περιβάλλον μέσο, ως θερμική πηγή που δίνει την κατανομή της θερμοκρασίας. Προκειμένου να λυθούν οι εξισώσεις του Maxwell για ηλεκτρομαγνητικές προσομοιώσεις, το CST χρησιμοποιεί την τεχνική πεπερασμένης ολοκλήρωσης (FIT, Finite Internal Technique). Στη συνέχεια, για να χειριστεί τη μεταφορά θερμότητας και τα θερμικά φαινόμενα, ο θερμικός προσομοιωτής του CST λύνει τη διαφορική εξίσωση διάχυσης θερμότητας και προσδιορίζει τη θερμοκρασιακή κατανομή. Στα βιολογικά μέσα αυτή ονομάζεται εξίσωση

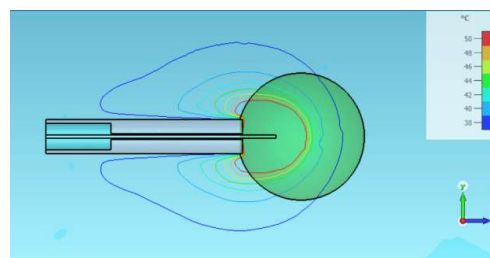
βιοθερμότητας του Pennes που περιλαμβάνει εκτός από τη θερμική αγωγιμότητα, την ειδική θερμοχωρητικότητα, τη μεταβολική θερμότητα και τη θέρμανση ή ψύξη λόγω ροής αίματος. Ο επιλύτης περιλαμβάνει τη ρύθμιση κατάλληλων θερμικών συνθηκών για τη μοντελοποίηση της απαγωγής θερμότητας, της μεταφοράς θερμότητας, ακτινοβολίας και άλλων θερμικών επιδράσεων στη διεπαφή μεταξύ του κυματοδηγού και των γύρω ιστών. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι ηλεκτρικές και οι θερμικές ιδιότητες του υγιούς ιστού (παχύ έντερο) και ενός σφαιρικού όγκου διαμέτρου 3cm που είναι ενσωματωμένος σε αυτόν στη συχνότητα 915MHz, οι οποίες θα εισαχθούν στις προαναφερόμενες εξισώσεις.

TABLE I. ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΑΧΕΟΣ ΕΝΤΕΡΟΥ ΚΑΙ ΟΓΚΟΥ ΣΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ 915MHZ

Παράμετροι	Παχύ Έντερο	Όγκος
Σχετική διαπερατότητα (ϵ_r)	57	60
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (S/m)	1.09	0.67
Θερμική αγωγιμότητα (W/(m*K))	0.54	0.54
Ειδική θερμοχωρητικότητα [(J/(kg*K))]	3655	3655
Πυκνότητα (kg*m ³)	1088	1088

III. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

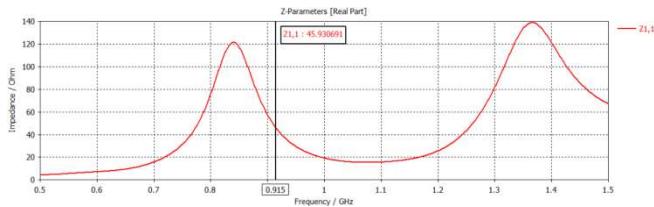
Αρχικά, υλοποιήθηκε η εισαγωγή ενός μονοπόλου στον όγκο. Το παρακάτω σχήμα, δείχνει τις ισοθερμικές καμπύλες.



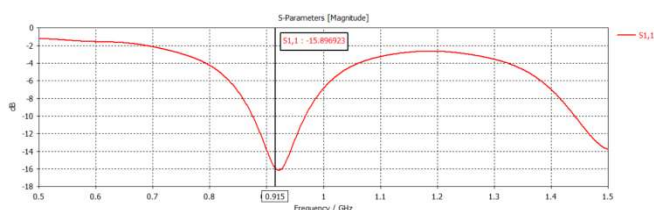
Σχ. 11. Ισοθερμικές καμπύλες για μονόπολο.

Όπως φαίνεται από το σχήμα 11, η δομή του μονοπόλου δε μπορεί να εστιάσει/περιορίσει το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο (ενέργεια) εντός του όγκου. Απλώνεται και στον περιβάλλοντα ιστό με αποτέλεσμα να θερμανθεί και ο υγιής ιστός. Η λύση στο πρόβλημα αυτό είναι να βρεθεί μια δομή η οποία όχι μόνο να μπορεί να περιορίσει την αύξηση της θερμοκρασίας αλλά και να καίει ικανοποιητικά τον όγκο. Μια τέτοια δομή θα μπορούσε να είναι ο ελικοειδής ανοικτός ομοαξονικός κυματοδηγός ο οποίος εστιάζει το πεδίο και την απορροφούμενη ενέργεια (SAR) εντός των σπειρών όπου βρίσκεται ο όγκος. Υλοποιήθηκε, λοιπόν, η δομή ελικοειδούς ανοικτού ομοαξονικού κυματοδηγού έχοντας ακολουθήσει τα βήματα

που περιγράφηκαν αναλυτικά παραπάνω. Το σχήμα 6 δείχνει ότι η δομή συντονίζεται στην επιθυμητή συχνότητα (915MHz), ενώ τα σχήματα 12 και 13 δείχνουν την επίτευξη προσαρμογής στη γραμμή τροφοδοσίας $Re(Z_{in})=Z_0$. Στο σημείο αυτό αξίζει να τονιστεί ότι για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος (κάψιμο μόνο του όγκου και όχι υγιούς ιστού), η απόσταση και ο αριθμός των σπειρών καθώς και ο αριθμός των στρωφών των σπειρών θα πρέπει να είναι αρκετά συγκεκριμένοι.

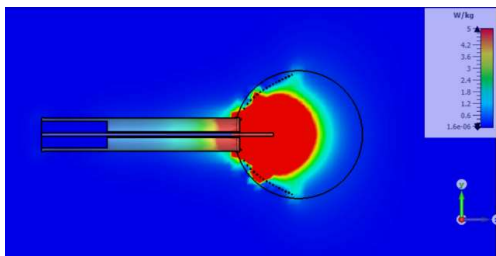


Σχ. 12. Επίτευξη προσαρμογής δομής ελικοειδούς ανοικτού ομοαξονικού κυματοδηγού με 4 σπείρες εκτεινόμενες σε αξονικό μήκος 12mm.



Σχ. 13. S παράμετροι δομής ελικοειδούς ανοικτού ομοαξονικού κυματοδηγού με 4 σπείρες και ύψος 12mm.

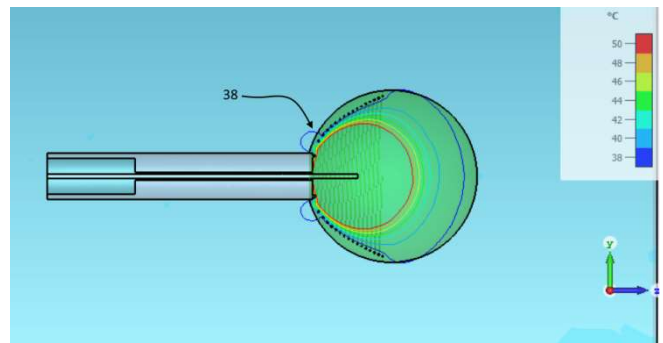
Στη συνέχεια, επιλύθηκαν οι εξισώσεις του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου και των θερμικών προβλημάτων (εξίσωση βιοθερμότητας του Pennes). Τα σχήματα 6 και 7 δείχνουν τον ρυθμό ειδικής απορρόφησης (SAR) και τις ισοθερμικές καμπύλες σε 2 διαστάσεις.



Σχ. 14. SAR δομής ελικοειδούς ανοικτού ομοαξονικού κυματοδηγού με 4 σπείρες εκτεινόμενες σε αξονικό μήκος 12mm.

Στο σχήμα 15 φαίνεται η ομοιόμορφη κατανομή του πεδίου θερμοκρασίας (σφαιρική ζώνη κατάλυσης). Η απότομη μεταβολή της θερμοκρασίας και οι σπείρες που περικλείουν τη ζώνη κατάλυσης και παγιδεύουν το θερμοκρασιακό πεδίο οδηγούν στο κάψιμο μόνο του όγκου ενώ αντιθέτως δεν καίγεται καθόλου υγιής ιστός. Μόνο η ισοθερμική θερμοκρασία των 38°C φαίνεται ότι εξέρχεται εκτός του όγκου αλλά αυτό δεν είναι πρόβλημα καθώς στους 38°C έχουμε εμπύρετη κατάσταση. Για θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 42°C υπάρχουν αυξημένα ποσοστά κινητικότητας ενζύμων και πιθανότητα κινητικής νέκρωσης. Από το σχήμα 15 φαίνεται η ισοθερμική θερμοκρασία των 42°C η οποία βρίσκεται εντός του όγκου. Συνεπώς, δεν υπάρχει κίνδυνος βλάβης υγείων κυττάρων αλλά ακόμη και

να εξείχε λίγο η ισοθερμική θερμοκρασία των 42°C δε θα υπήρχε πρόβλημα διότι στις περισσότερες περιπτώσεις καίγεται ολόκληρος ο όγκος αλλά και επιπλέον 1cm υγιούς ιστού (περιθώριο ασφαλείας). Επομένως, είναι ιδανική και για όγκους πολύ κοντά σε αιμοφόρα αγγεία όπου το περιθώριο ασφαλείας είναι πολύ μικρό ή ανύπαρκτο.



Σχ. 15. Ισοθερμικές καμπύλες δομής ελικοειδούς ανοικτού ομοαξονικού κυματοδηγού με 4 σπείρες εκτεινόμενες σε αξονικό μήκος 12mm.

Να σημειωθεί ότι όλες οι προσομοιώσεις έγιναν για χρονικό διάστημα 10 λεπτών όσο διαρκεί δηλαδή και η θεραπεία.

IV. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοπτικά, στην παραπάνω εργασία παρουσιάστηκε η ελικοειδής δομή ανοικτού ομοαξονικού κυματοδηγού για βελτιστοποίηση της μικροκυματικής θερμοκατάλυσης. Η δομή αυτή εμφανίζει αποτελεσματική απόδοση ισχύος με τη χρήση ενός μετασχηματιστή $lg/4$ (επίτευξη προσαρμογής). Εξαιρείται την αντίστροφη θέρμανση και δημιουργεί σφαιρικές ζώνες αφαίρεσης (ομοιομορφία του πεδίου θερμοκρασίας). Ελέγχει την κατανομή της ηλεκτρομαγνητικής ισχύος με λιγότερη/καμία βλάβη στον υγιή ιστό (“healthy tissue sparing”) και περιορίζει/παγιδεύει το πεδίο θερμοκρασίας εντός των διαστάσεων του καρκινικού όγκου. Επιτυγχάνεται πιο απότομη μεταβολή της θερμοκρασίας εντός και εκτός του όγκου με αποτέλεσμα να μην καίγεται υγιής ιστός. Ακόμη, ρυθμίζοντας το μήκος του μονοπόλου και το ύψος των σπειρών παρέχεται ευελιξία όσον αφορά στα σχήματα ζώνης αφαίρεσης (ελλειψοειδή, σφαιρικά, κωδωνοειδή). Τέλος, ο εφαρμοστής μπορεί να εγκλωβίσει τον στοχευόμενο όγκο και να τον κάψει.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] <https://www.who.int/news/item/01-02-2024-global-cancer-burden-growing--amidst-mounting-need-for-services>
- [2] Θ. Σαμαράς, Εφαρμογές του Ηλεκτρομαγνητισμού στην Ιατρική, Θεσσαλονίκη, 2012.
- [3] Reisenauer, Janani & Eiken, Patrick & Callstrom, Matthew & Johnson, Geoffrey & Pierson, Karlyn & Lechtenberg, Bettie & Blackmon, Shanda. (2021). A prospective trial of CT-guided percutaneous microwave ablation for lung tumors. Journal of Thoracic Disease. 14. 10.21037/jtd-21-1636.
- [4] Ν. Καρκάνης και Θ. Σαμαράς, Σχεδιασμός θεραπείας μικροκυματικής θερμοκατάλυσης με τη βοήθεια μηχανικής μάθησης, Θεσσαλονίκη, 2021

- [5] Brace, C. L. (2010). Microwave Tissue Ablation: Biophysics, Technology and Applications. *Critical Reviews in Biomedical Engineering*, 38 (1), pp. 65-78. doi: 10.1615/critrevbiomedeng.v38.i1.60
- [6] F. Cornelis, C. Marcelin και J.-C. Bernhard, Microwave ablation of renal tumors: A narrative review of technical considerations and clinical results. *Diagnostic and Interventional Imaging*, vol. 98, no. 4, pp. 287-297, April 2017. DOI: 10.1016/j.diii.2016.12.002
- [7] M. G.Lubner, C. L.Brace, H. J. Louis και F. T.LeeJr, Microwave Tumor Ablation: Mechanism of Action, Clinical Results, and Devices. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*, vol. 21, no. 8, pp. 192-203, August 2010. DOI: 10.1016/j.jvir.2010.04.007
- [8] <https://www.icliniq.com/articles/cancer/microwave-ablation>
- [9] Hangming Huang, Lifeng Zhang, Michael A.J. Moser, Wenjun Zhang, Bing Zhang, A review of antenna designs for percutaneous microwave ablation, *Physica Medica*, Volume 84, 2021, Pages 254-264, ISSN 1120-1797, <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2021.03.010>.
- [10] H. Luyen, S. C. Hagness and N. Behdad, "A Balun-Free Helical Antenna for Minimally Invasive Microwave Ablation," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 63, no. 3, pp. 959-965, March 2015, doi: 10.1109/TAP.2015.2389223.
- [11] Yishuai Xu, Michael A.J. Moser, Edwin Zhang, Wenjun Zhang, Bing Zhang, Large and round ablation zones with microwave ablation: A preliminary study of an optimal aperiodic tri-slot coaxial antenna with the π -matching network section, *International Journal of Thermal Sciences*, Volume 140, 2019, Pages 539-548, ISSN 1290-0729, <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2019.03.022>.
- [12] Z.A. Ibitoye, E.O. Nwoye, M.A. Aweda, A.A. Oremosu, C.C. Annunobi, O.N. Akanmu, Optimization of dual slot antenna using floating metallic sleeve for microwave ablation, *Medical Engineering & Physics*, Volume 37, Issue 4, 2015, Pages 384-391, ISSN 1350-4533, <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2015.01.015>.
- [13] H. Luyen, S. C. Hagness and N. Behdad, "A Minimally Invasive Coax-Fed Microwave Ablation Antenna With a Tapered Balun," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 65, no. 12, pp. 7280-7287, Dec. 2017, doi: 10.1109/TAP.2017.2755258.
- [14] H. Luyen, S. C. Hagness and N. Behdad, "Reduced-Diameter Designs of Coax-Fed Microwave Ablation Antennas Equipped With Baluns," in *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 16, pp. 1385-1388, 2017, doi: 10.1109/LAWP.2016.2637874.
- [15] Blain, M., Narayanan, G., Ricoeur, A. *et al.* Safety and Efficacy of Percutaneous Liver Microwave Ablation Using a Fully Water-Cooled Choke Ring Antenna: First Multicenter Clinical Report. *Cardiovasc Intervent Radiol* **46**, 1086-1091 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00270-023-03481-3>
- [16] H. Acikgoz and R. Mittra, "Microwave coaxial antenna for cancer treatment: Reducing the backward heating using a double choke," *2015 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)*, Hobart, TAS, Australia, 2015, pp. 1-4.
- [17] Μ. Ψωμάς και Γ. Κυριακού, Σχεδιασμός Μικροκυματικού Συστήματος Εκτομής Κακοήθους Όγκου Υποβοηθούμενης από Έγχυση Μαγνητικών Νανοστοιχείων, Ξάνθη, 2020
- [18] Pozar, D.M. (2012) *Microwave Engineering*. 4th Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.
- [19] Unger, H.-G. (1958), *Helix Waveguide Theory and Application*. *Bell System Technical Journal*, 37: 1599-1647. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1958.tb01562.x>

Steering Prediction for Self-driving Cars with Event-based Vision

Eleni Kleisiari
Department of Electrical and Computer
Engineering
Democritus University of Thrace
Xanthi, Greece
eleni.kleisiari@gmail.com

Lazaros Tsochatzidis
Department of Electrical and Computer
Engineering
Democritus University of Thrace
Xanthi, Greece
ltsochat@ee.duth.gr

Ioannis Pratikakis
Department of Electrical and Computer
Engineering
Democritus University of Thrace
Xanthi, Greece
ipratika@ee.duth.gr

Abstract—Event Cameras are biologically inspired sensors that respond to sudden brightness changes in a scene. They are distinguished by their high dynamic range, high temporal resolution, low power consumption, and high bandwidth, allowing each pixel to respond asynchronously and independently. The goal of this paper is to investigate the capability of predicting the steering angle of a car with event-based and frame-based cameras. Towards this direction, a fusion scheme is proposed to tackle the limitations of both types regarding different illumination conditions.

Keywords—event sensors, steering angle, deep learning, end-to-end learning, fusion

I. INTRODUCTION

Event Cameras, also known as Dynamic Vision Sensors (DVS), are synchronous vision sensors inspired by the biology of the human eye that respond to local changes in brightness. In contrast to conventional Frame-based Cameras, which capture a scene at fixed time intervals, Event Cameras respond to brightness changes independently and asynchronously. In particular, each pixel gets activated and transmits data, known as events, only in case where brightness exceeds a certain threshold value. Otherwise, it remains idle [3]. The advantages they possess over traditional cameras are:

- High temporal resolution: they detect brightness changes in a scene with a frequency of 1MHz, i.e. with microsecond resolution [1]. It ensures accurate motion detection and reduces blur in the image.
- High dynamic range (HDR): they capture a wide range of brightness with HDR of 140dB (in contrast to frame-based cameras which have limited HDR of 60dB) [1]. It limits the overexposure and underexposure of a scene, making it ideal for gathering information in very high or low light conditions.
- Low power consumption [2]: pixels are activated only during a brightness change in the scene. It limits redundant information, significantly reducing the amount of data required to transmit and process.
- Low latency: all pixels operate independently and asynchronously, therefore there is no required intercommunication time, resulting in real-time response. In particular, the latency observed is on the order of microseconds [1].
- High pixel bandwidth: high rate of event generation for each individual pixel, on the order of KHz [1].

All the above highlight the importance of using the DVS sensor in autonomous driving applications, where the autonomous vehicle is exposed to uncontrolled lighting conditions, possibly characterized by overexposure or underexposure. This paper attempts to predict the steering

angle of such an autonomous vehicle, from a regression point of view, using data from a DAVIS sensor composed of APS (Asynchronous Pixel Sensor) and DVS pixel, which provide us with conventional grayscale frames and events, respectively, as shown in Fig. 1.

Overall, it makes the following contributions:

- Propose a fusion architecture of frame-based and event-based data after a thorough investigation of two different fusion schemes.
- Conducts an analysis of performance in different light conditions depending on the time of day, to investigate the advantages and shortcomings of each sensor type.

The rest of the paper is organized as follows. Section II reviews related work and the state-of-the-art architectures of the problem. Section III describes the proposed methodology and architectures. Section IV analyzes the results of all the experiments conducted. Finally, Section V serves as the conclusion.

II. RELATED WORK

The first attempt to apply Neural Networks to autonomous navigation was done with ALVINN [4]. It was composed of a shallow back-propagation network, and it predicted actions directly from images. Even though the network performed poorly, it demonstrated the potential of Neural Networks in autonomous driving, marking the beginning of a series of important research projects.

In [5] and [6] similar end-to-end networks are introduced, namely DAVE-2 and PilotNet, designed for the task of steering angle prediction. The training data for the two models consisted of a sequence of time-stamped videos, synchronized with the steering angle recorded by a human driver. The objective was to directly detect useful road features, thereby predicting the vehicle's steering angle without human intervention. While both models were capable of distinguishing important road features, the steering angle prediction was accurate only in relatively uncomplicated driving scenarios.

In [3], the authors leveraged the different types of data generated by a DAVIS sensor as input to a ResNet50 network, aiming to fulfill the regression task of steering angle prediction. The input data encompassed grayscale images, event histograms, and grayscale difference images. Through a series of experiments, the study demonstrated the superiority of event-based images over the rest of the image types, with a significant variation in performance observed across different lightning conditions within the scene.

In [7] a ResNet32 network is employed, featuring a two-channel input for event data and grayscale frames, for training. The objective was to address the steering angle prediction

derived from the DVS+APS fusion framework. The experimental results showed that merging DVS and APS information better explains the variation of steering angles under all lighting conditions, as the two types of inputs operate complementarily.

In [8], the authors aimed to accurately predict the steering angle under adverse weather conditions where lane lines may not be visible. This was achieved by using a front-facing color camera combined with LIDAR sensor data. The first architecture that was presented consisted of two models based on the PilotNet network, which were merged following the principle of intermediate fusion. The second network consisted of two parallel dual-model architectures: the gateway sub-network for reliability evaluation and the sub-network for angle prediction. The proposed models showed great results in adverse weather conditions. However, several challenges arose, especially in adverse lighting conditions.

In [9], the authors proposed the employment of a convolutional decoder-encoder architecture for predicting the steering angle of an autonomous vehicle. The fundamental concept of the proposed architecture involves the incorporation of self-attention layers in order to seamlessly integrate and fuse color frame images and event data. This model exhibited excellent results in a variety of datasets, including the Davis Driving Dataset.

III. METHODOLOGY

Motivated by these insights, this paper attempts to predict the steering angle of an Autonomous Vehicle utilizing a DAVIS sensor, composed of APS and DVS pixels. To facilitate the implementation of modern Computer Vision algorithms, the event input data are subjected to pre-processing in order to convert them into a compatible representation, and to synchronize the two types of input. Subsequently, the processed data are fed into the proposed Deep Learning Networks for training. This process is characterized as a regression task, as a continuous output variable, the steering angle, is predicted from the input.

A. Event Representation

Event Cameras consist of independent and asynchronous pixels $x_k=(x_k, t_k)$ that respond to changes in light intensity ΔL :

$$\Delta L(x_k, t_k)=L(x_k, t_k)-L(x_k, t_k-\Delta t_k) \quad (1)$$

The output of those changes is called an event, and it's denoted as follows:

$$e_k=(x_k, t_k, p_k) \quad (2)$$

where x_k represents the address of the pixel where the change occurred, t_k indicates the time of the change, and p_k the polarity of the change. Polarity is defined as the sign of change. In the case of an increase in brightness, the polarity is positive (+1), while in the case of a decrease, it is negative (-1). An event is triggered at the exact moment that ΔL exceeds the contrast threshold $\pm C > 0$:

$$\Delta L(x_k, t_k)=p_k C \quad (3)$$

Given the asynchronous and unconventional nature of event data, it is important to process the data into a format that aligns with the state-of-the-art computer vision methods. For this study, the selected representation is 2D histograms, commonly referred to as event frames. These histograms accumulate events at constant intervals $T=50ms$, effectively

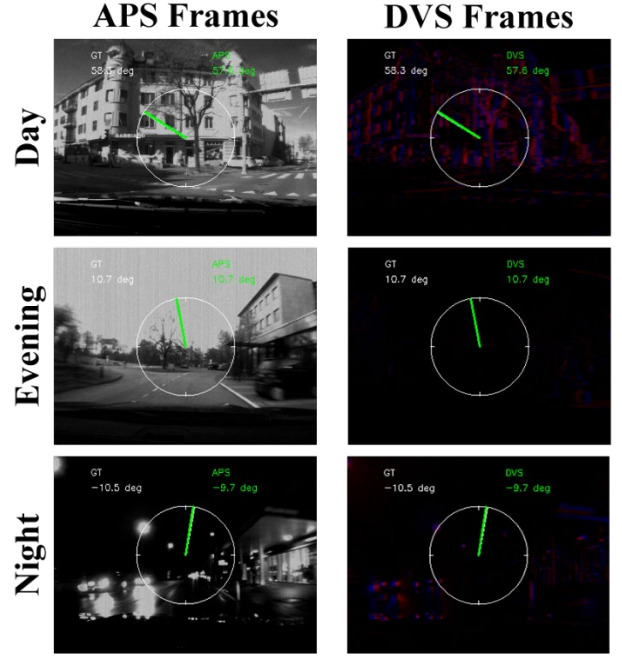


Fig. 1. APS and DVS frames for different illumination scenarios, with depicted real and predicted steering angles.

converting the inherently asynchronous events into event frames synchronized frames by the APS sensor. Each event frame consists of two distinct histograms for positive and negative events, stored in different channels to prevent information loss due to the simultaneous presence of events with opposite polarity in the same pixel.

- Histogram for positive events, with polarity $p_k = +1$:

$$h^+(x, y)=\sum_{t_k \in T, p_k=+1} \delta(x-x_k, y-y_k) \quad (4)$$

- Histogram for negative events, with polarity $p_k = -1$:

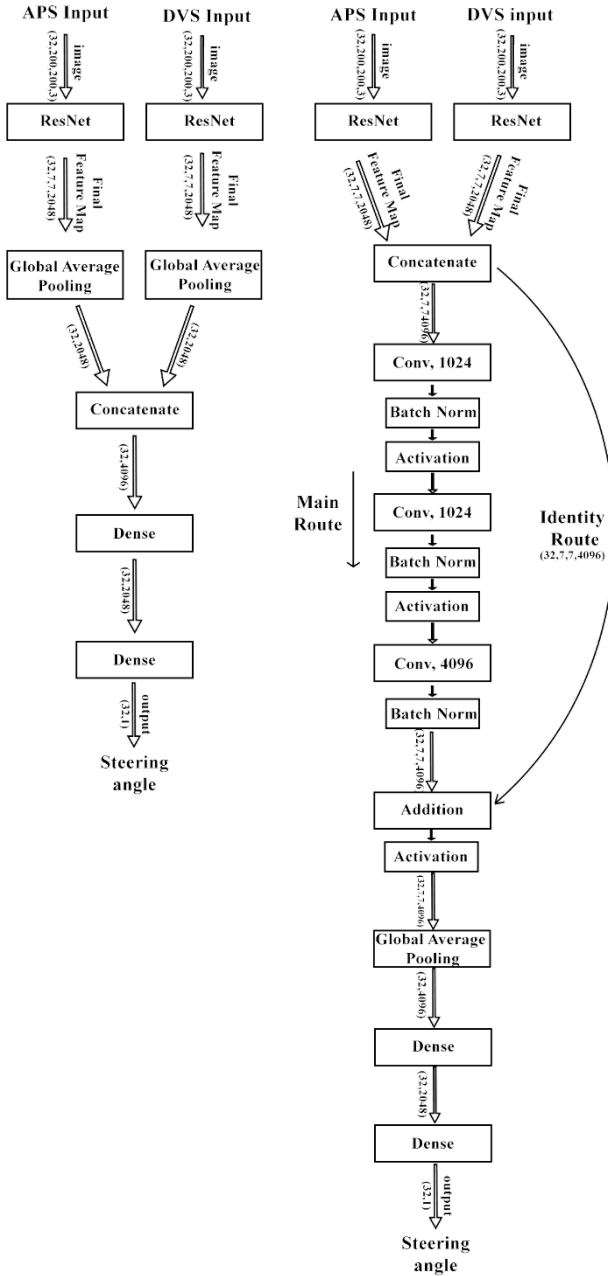
$$h^-(x, y)=\sum_{t_k \in T, p_k=-1} \delta(x-x_k, y-y_k) \quad (5)$$

Each histogram contains the coordinates of the events with the corresponding polarity p_k for all time intervals T .

B. Pre-processing

The input data are subjected to normalization to enhance the reliability of the training, as recommended in [3]. In the dataset's video recordings, a prevalent occurrence of straight roads with an angle of range $[-5^\circ, +5^\circ]$ is observed, which leads to regression bias. For that reason, while training, only 30% of these angles are utilized.

- Due to the vehicle being idle for long periods of time, frames characterized by speeds less than or equal to 20km/h are omitted from consideration.
- Outlier detection is conducted by computing the percentiles of each video recording.
- Steering angles are normalized in the range $[0, 1]$ for faster and more efficient network training.
- The dataset's video recordings are divided into sequential, non-overlapping sequences that are



(a) Intermediate Fusion (b) Intermediate Fusion + Identity Block

Fig. 2. Fusion Architecture, (a) Intermediate Fusion, (b) Intermediate Fusion + Identity Block

alternatively assigned to the training and testing subsets. Training sequences correspond to 40s and the testing sequences to 20s.

C. Single-Input Architecture

As DAVIS sensors capture events and grayscale frames simultaneously, their integration in experimental procedures allows networks to be trained for both APS and DVS input types. Consequently, single-input architectures are employed with the purpose of highlighting the advantages of event cameras over frame-based cameras [3]. During the training process, the input image with an initial size of 346×260 is resized to 200×200 and augmented by applying random transformations of shift, rotation, and scaling. The augmented data is then fed into a ResNet50 network, with weight values initialized by ImageNet. The structure of ResNet's residual

blocks allows for features from lower-level layers to be embedded deeper into the network, thereby effectively enhancing performance. The validation is set at 10% of the training set, and the optimizer selected is Adam with an initial weight of 0.001 and a decay rate of 0.0004. Finally, it is worth noting that since the steering angles may represent more than one-wheel turn, the output of the regression task implemented is adjusted to the angle range $[-180^\circ, +180^\circ]$ to indicate the steering angle of the vehicle, and not the wheel turning angle.

D. Fusion Architectures

In Section I the advantages of Event Cameras are discussed. Nonetheless, alongside those benefits, Event Cameras exhibit some disadvantages, with one of the most prominent being the loss of information during stationary traffic situations. Therefore, fusing the data of the DAVIS sensor will enable each data type to act in a complementary manner to provide information in scenarios where one of the sources lacks.

Two architectures are investigated for the fusion of the two different types of data. The first architecture, depicted in Fig. 2 (a), is a straightforward intermediate fusion approach. Each input type is trained using a ResNet50 network with parameters similar to those presented in Section III.C. The final feature map obtained after the last identity block of each network is selected as the input for the fusion model, after passing through an Average Pooling layer for further parameter reduction. The fusion layers are followed by two Fully Connected Layers responsible for predicting the regression value, the steering angle.

The second architecture, depicted in Fig. 2 (b), implements data fusion, followed by an identity block. In particular, ResNet50 and ResNet34 networks are utilized for the training of frame-based and event-based data independently. The final feature maps of each sub-network are concatenated and then forwarded for further training to an identity block, inspired by Residual Neural Networks. Therefore, a new representation that comprises both input types is fed further into the network. Finally, the output of the identity block passes through an Average Pooling layer and Fully Connected layer to extract the steering angle.

E. Performance Metrics

For the evaluation of the network's performance, the following performance metrics are used:

- Root Mean Squared Error (RMSE): it calculates the variation of the predicted from the real values.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\hat{y}_j - y_j)^2} \quad (6)$$

Higher model accuracy is observed for RMSE values closer to zero.

- Explained Variance (EVA): it assesses the percentage of change in the variance of the predicted values relative to the real values.

$$\text{EVA} = 1 - \frac{\text{Var}(\hat{y} - y)}{\text{Var}(y)} \quad (7)$$

EVA values lie in the range $[-1, +1]$, with higher value indicating higher prediction accuracy.

IV. EXPERIMENTS

A. Datasets

All experiments were conducted using the following large-scale datasets:

- DAVIS Driving Dataset 2017 (DDD17) [10]: it is the first end-to-end dataset recorded by a DAVIS sensor that includes labeled data such as the steering wheel angle and the vehicle’s speed. It consists of 12 hours of driving in different weather and illumination conditions on the roads of Germany and Switzerland. The DAVIS sensor used has resolution a 346×260 , dynamic range 120dB and APS output 50fps.
- DAVIS Driving Dataset 2020 (DDD20) [7]: it is an end-to-end learning that functions as an expansion of the DDD17 dataset, adding 39 hours of driving scenarios recorded with a DAVIS346 sensor on the roads of Los Angeles and San Diego.

B. Experiment Environment

The computer system on which the experiments were conducted has the following characteristics: Processor: Intel(R) Core(TM) i7-5820K CPU @ 3.30GHz, RAM: 32GB, Graphics Card: GP102 [GeForce GTX 1080Ti], Operating System: Ubuntu 18.04 LTS version with CUDA Version 11.8.

For the experimentes the following libraries and packages were utilized: Python 2.7.18 for data pre-processing, and Python 3.6.14 for network training, TensorFlow-GPU 1.11.0, Keras 2.1.6, OpenCV-Python 3.4.2, OpenXC 0.15.0, H5py 2.8.0

C. Single-input Architecture Results

The subsequent experiment implemented the ResNet50 network for independent training of APS and DVS data inputs. The network underwent training for 200 epochs using the two available datasets, DDD17 and DDD20.

As observed in Table I, the performance of the DVS sensor surpasses that of the APS sensor across all conducted experiments, with the highest EVA recorded at 0.826 for the DDD20 dataset. Those results confirm the hypothesis that employing a sensor with asynchronous and independent pixels is more effective in autonomous driving applications.

In addition, although the two distinct datasets are not directly comparable, the higher accuracy rate of the DDD20 could be attributed to the fact that an end-to-end learning network is trained better for larger-scale datasets. The abundance of data in various scenarios allows the network to develop more generalized and adaptable training skills, thereby enhancing its performance and responsiveness to new challenges.

Finally, Table II illustrates the outcomes of the single input network across different illumination scenarios. The two datasets are divided into three subsets: day, evening, and night subsets, and the network is evaluated in each one of them. As expected, the DVS sensor, recognized for its high dynamic range provides more precise predictions across all subsets.

D. Fusion Architectures Results

During this experiment the fusion architectures proposed in Section III.D are implemented for 200 epochs. During concatenations, the feature map vectors are doubled. For that

TABLE I. SINGLE INPUT ARCHITECTURES

Dataset	APS		DVS	
	EVA	RMSE	EVA	RMSE
DDD17	0.523	6.20°	0.818	3.97°
DDD20	0.403	9.26°	0.826	4.99°

TABLE II. SINGLE INPUT NETWORK - DIFFERENT ILLUMINATION SCENARIOS

Dataset		Day subset			
		APS		DVS	
		EVA	RMS	EVA	RMS
DDD17		0.597	3.37°	0.788	2.44°
	improvement			0.191	0.93°
DDD20		0.375	9.08°	0.823	4.80°
	improvement			0.448	4.28°

Dataset		Evening subset			
		APS		DVS	
		EVA	RMS	EVA	RMS
DDD17		0.572	5.36°	0.853	3.14°
	improvement			0.281	2.22°
DDD20		0.375	9.08°	0.797	6.37°
	improvement			0.515	5.65°

Dataset		Night subset			
		APS		DVS	
		EVA	RMS	EVA	RMS
DDD17		0.526	5.20°	0.846	2.96°
	improvement			0.320	2.24°
DDD20		0.705	8.34°	0.872	5.49°
	improvement			0.167	2.85°

reason, both architectures, Simple Fusion, and Identity Block Fusion, are tested for 1024 and 2048 parameters on the Pooling layer to determine which one enhances the accuracy of the network.

When using ResNet50 as the backbone network, as demonstrated in Table III, the deeper fusion architecture (Identity Block Fusion) leads to better results compared to the Simple Fusion architecture, with the EVA metric value equal to 0.781 and the RMSE to 4.36°.

However, this performance degrades when the network’s parameters are increased, using a Fully Connected Layer with a size of 2048. To reduce the computational cost of the network, the above experiments are implemented with the slightly shallower ResNet34 as the backbone network. As a result, there is a significant enhancement in prediction results when Identity Block Fusion is selected as architecture, with EVA reaching the value of 0.842 and RMSE 3.70°, thereby establishing it as the most effective network. The steering angle predictions are further improved when training the model on the DDD20 dataset, with an increase of 0.06 EVA, as shown in Table IV.

The augmented performance achieved through the Identity Block Fusion architecture transcends in all illumination scenarios, as notable improvement is observed in both accuracy metrics, EVA and RMSE, when compared to the results of the single-input architectures outlined in Table II.

Finally, Fig 5 illustrates the high accuracy of the steering angle prediction within both datasets when utilizing the Identity Block Fusion architecture, compared to the actual steering angles recorded during the driving sessions.

TABLE III. FUSION ARCHITECTURE RESULTS, WITH RESNET50

Model Architecture	Dataset	FCL: 1024		FCL: 2048	
		EVA	RMSE	EVA	RMSE
Simple Fusion	DDD17	0.774	4.43°	0.803	4.14°
Identity Block Fusion	DDD17	0.781	4.36°	0.761	4.55°

TABLE IV. FUSION ARCHITECTURE RESULTS, WITH RESNET34

Model Architecture	Dataset	FCL: 1024	
		EVA	RMSE
Simple Fusion	DDD17	0.823	3.89°
Identity Block Fusion	DDD17	0.842	3.70°
Identity Block Fusion	DDD20	0.848	4.69°

TABLE V. IDENTITY BLOCK FUSION NETWORK FOR DIFFERENT ILLUMINATION SCENARIOS (RESNET34)

Dataset	Day subset		Evening subset		Night subset	
	EVA	RMSE	EVA	RMSE	EVA	RMSE
DDD17	0.805	2.43°	0.893	2.79°	0.860	2.9°
DDD20	0.846	4.60°	0.772	6.82°	0.887	5.21°

V. CONCLUSIONS

The fundamental operating principles of Event Cameras, characterized by the independent and asynchronous responses of each pixel to changes in brightness, stand in contrast to the fixed intervals frame captures of conventional cameras. This unique mechanism helps Event cameras to achieve superior performance in the context of predicting the steering angle of an autonomous vehicle and allows them to overcome the limited capabilities standard cameras have and the difficulties of accurately predicting the steering angle, especially in dynamic lighting environments and fast-moving scenarios. All the above are confirmed by the experiments conducted during this thesis, as significant improvement is observed during training on the DDD17 with performance increases of up to 0.295 EVA and 2.23° RMSE. Moreover, even better predictions are observed when training on an even larger dataset, the DDD20, in which a greater variety of driving scenarios are included, which benefit deep architecture and in particular architectures based on end-to-end learning. Specifically, performance of up to 0.423 EVA and 4.27° RMSE is observed.

In addition, the fusion of Event camera and Frame-based camera data demonstrated the potential to achieve further improvement in the accuracy of steering angle prediction. The fusion exploits the complementary advantages of both data types, namely the ability of Frame-based cameras to provide information about the structure of a scene, and the ability of Event cameras to capture rapid changes and variations in brightness. The architectures proposed in this study elevate network performance, with standout results achieved by this architecture based on the identity block-based fusion using the ResNet34 as the backbone network. This approach yields performance gains compared to training solely on the data of a DVS sensor, with improvement of up to 0.016 EVA and 0.27° RMSE with the DDD17 dataset, and 0.848 EVA and 4.69° RMSE with the DDD20.

The architectures proposed for predicting the steering

TABLE VI. COMPARISON OF PROPOSED ARCHITECTURES WITH STATE-OF-THE-ART METHODS

Model	APS Data	Event Data	Dataset		EVA	RMSE
			DDD17	DDD20		
Maqueda et al. [3]	✗	✓	✓	✗	0.826	4.10°
Yuhuang et al. [7]	✗	✓	✗	✓	0.668	6.53°
Yuhuang et al. [7]	✓	✓	✗	✓	0.881	4.13°
Munir et al. [9]	✓	✓	✗	✗	-	2.98°
Single Input (DVS)	✗	✓	✓	✗	0.818	3.97°
Single Input (DVS)	✗	✓	✗	✓	0.826	4.99°
Simple Fusion (ResNet34)	✓	✓	✓	✗	0.823	3.89°
Identity Block Fusion (ResNet34)	✓	✓	✓	✗	0.842	3.70°
Identity Block Fusion (ResNet34)	✓	✓	✗	✓	0.848	4.69°

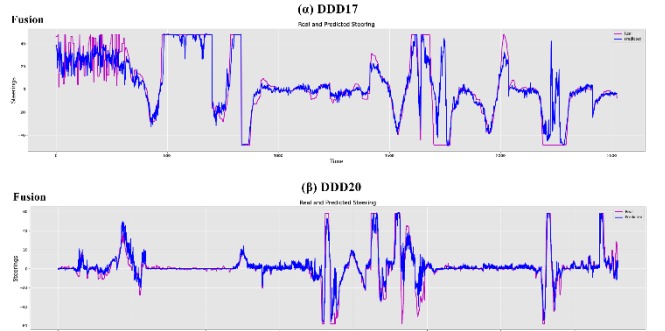


Fig. 3. Predicted and real steering angle Identity Block Network (ResNet34), for the DDD17 and DDD20 datasets respectively.

angle of an autonomous vehicle yield results comparable to the state-of-the-art methods, as stated in Table VI. Nevertheless, there are prospects of further improvement, as more specialized fusion techniques based on transformer models can be considered. An additional possible direction for this task is to fuse different combinations of sensors they can work in a complementary way, such as Dynamic Vision Sensors and LIDAR sensors.

All source codes of this project can be found in the following [GitHub repository](https://github.com/elkleis/steering_angle_event_data): https://github.com/elkleis/steering_angle_event_data

REFERENCES

- [1] G. Gallego et al., "Event-based vision: A survey," in *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 44, no. 1, pp. 154-180, 1 Jan. 2022, doi: 10.1109/TPAMI.2020.3008413.
- [2] P. Lichtsteiner, C. Posch and T. Delbruck, "A 128× 128 120dB 15 μs Latency Asynchronous Temporal Contrast Vision Sensor," in *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 43, no. 2, pp. 566-576, Feb. 2008, doi: 10.1109/JSSC.2007.914337.

- [3] A.I. Maqueda, A. Loquercio, G. Gallego, N. García and D. Scaramuzza, “Event-based vision meets deep learning on steering prediction for self driving cars,” arXiv (Cornell University), Jun. 2018, arXiv: 10.1109/cvpr.2018.00568.
- [4] D. A. Pomerleau, “ALVINN: An autonomous land vehicle in a neural network,” in *Advances in Neural Information Processing Systems 1*, D.S. Touretzky, Ed. Morgan-Kaufmann, 1989, pp. 305-313. Available: https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/1988/file/812b4ba287f5ee0bc9d43bbf5bbe87fb-Paper.pdf
- [5] M. Bojarski et al., “End to end learning for Self-Driving cars,” arXiv (Cornell University), Apr. 2016, arXiv:1604.07316.
- [6] M. Bojarski et al., “Explaining how a deep neural network trained with end-to-end learning steers a car,” arXiv (Cornell University), Apr. 2017, arXiv:1704.07911.
- [7] Y. Hu, J. Binas, D. Neil, S.-C. Liu, and T. Delbruck, “DDD20 End-to-end event camera driving dataset: Fusing frames and events with deep learning fro improved steering prediction,” 2020 IEEE 23rd International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Rhodes, Greece, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/ITSC45102.2020.9294515.
- [8] J. Maanpää, J. Taher, P. Ma ninen, L. Pakola, I. Melekhov and J. Hyypää, “Multimodal end-to-end learning for autonomous steering in adverse road and weather conditions,” 2020 25th International Conference on Pattern Recognition (ICPR), Milan, Italy, 2021, pp.699-706, doi: 10.1109/ICPR48806.2021.9413109.
- [9] F. Munir, S. Azam, B.-G. Lee, and M. Jeon, “Multi-modal fusion for sensorimotor coordination in steering angle prediction,” arXiv (Cornell University), Feb. 2022, arXiv:2202.05500
- [10] J. Binas, D. Neil, S.-C. Liu and T.Delbruck, “DDD17: End-to-end DAVIS Driving Dataset,” arXiv (Cornell University), p. 0, arXiv:1711.01458

Music Chord Classification using the Vision Transformer and Chroma Features

Thomas Stogiannopoulos, Nikolaos Mitianoudis

*Electrical & Computer Engineering Dep.
Democritus University of Thrace
Xanthi, Greece
{tstogian, nmitiano}@ee.duth.gr*

Abstract—This paper introduces a method for music chord classification using Vision Transformers (ViT) and Chroma Features, applying image processing techniques to music analysis. By leveraging Vision Transformers, the study explores their effectiveness in identifying chords from chromagram representations, derived via the Constant-Q Transform (CQT). This approach allows the model to utilize self-attention mechanisms, crucial for recognizing complex harmonic relationships in music. The findings demonstrate the model’s high accuracy in chord classification and highlight the potential of attention-based models for music information retrieval.

Index Terms—Vision Transformer, Attention, Chord Recognition, Deep Learning, Neural Networks, Constant-Q Transform.

I. INTRODUCTION

At its core, a chord is an amalgamation of pitches that, when played together, produce a harmonic sound. Chromagrams are often used in the fields of music information retrieval (MIR) and audio signal processing to identify chords, keys, and harmonic progressions in recorded music. A chromagram is essentially a histogram or a two-dimensional array, where one dimension corresponds to time and the other to the twelve pitch classes. Each cell in the array indicates the presence and intensity of a particular pitch class at a given time [1]. This representation allows for the analysis of musical harmony without being tied to specific octaves, making it particularly useful for tasks, including chord recognition [2]–[4], key detection [5], [6] and genre classification [7].

A. Chord Recognition

Chord recognition and chord classification algorithms have undergone significant evolution over the years, transitioning from the use of Hidden Markov Models (HMMs) [8], [9] to Long Short-Term Memory networks (LSTMs) [10], and most recently, to Transformers [2]. This progression underscores a broader trend in the field of music information retrieval, where sophisticated models are continually being developed to better capture the intricacies of musical content. Traditional deep learning models, such as Convolutional Neural Networks (CNNs) [11], Recurrent Neural Networks (RNNs) [12], and LSTMs [13] have been extensively employed to analyze information extracted from the frequency domain, particularly focusing on features, such as Mel-Spectrograms and Chroma

Features. These features are pivotal in understanding the harmonic and melodic content of music.

The recent shift towards Transformer models marks a significant departure from previous approaches. Transformers, renowned for their effectiveness in natural language processing tasks, leverage Attention and Self-Attention mechanisms to model relationships in data without regard to their input sequence [14]. This paper delves into the novel application of Transformers in music analysis, particularly in the extraction and interpretation of patterns within chroma features. Chroma features, which represent the intensity of the twelve different pitch classes regardless of the octave in which they occur, are inherently visual and pattern-rich, making them suitable for analysis with models originally designed for processing images and text.

II. RELATED WORK

A. The Transformer model

The Transformer model is a groundbreaking architecture in the field of sequence transduction models, primarily used for tasks such as machine translation. This model is unique because it completely eschews recurrent and convolutional layers, relying instead on an attention mechanism to process data. The attention mechanism, specifically the multi-head attention, allows the model to focus on different parts of the input sequence simultaneously, enabling it to capture complex dependencies and relationships within the data [14].

One of the key innovations of the Transformer is its use of self-attention, or intra-attention, where inputs are related to each other within a single sequence. This approach is highly efficient, allowing for more parallelization during training and reducing the amount of time needed to train the model significantly. The architecture of the Transformer consists of an encoder and a decoder, each composed of a stack of layers that include multi-head attention mechanisms and point-wise, fully connected layers. Positional encodings are added to the input embeddings to give the model information about the order of the sequence, as the model lacks recurrence or convolution that would naturally encode sequence order [14]. The complete model architecture is shown in Fig. 1.

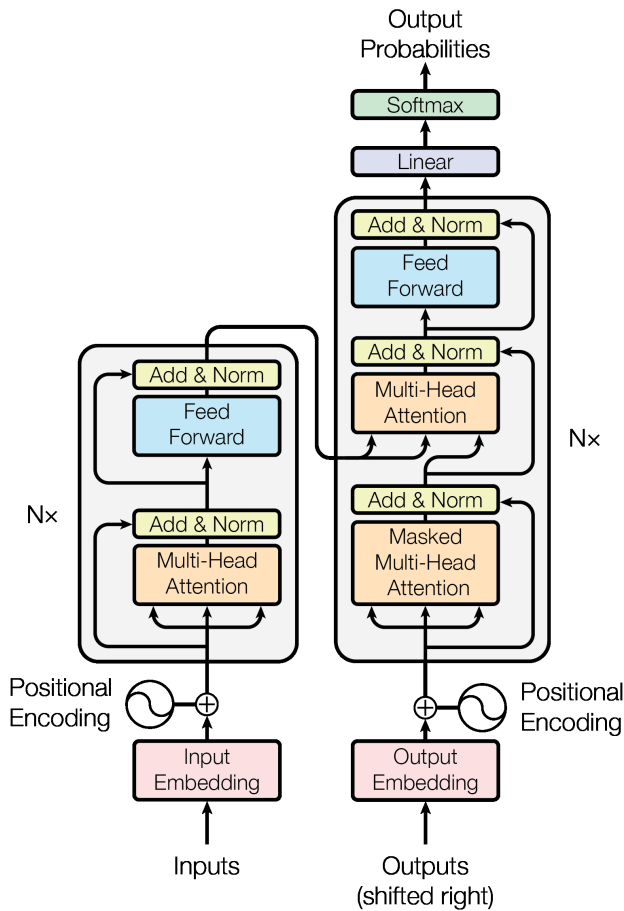


Fig. 1. Model overview of the Transformer architecture [14].

B. Vision Transformer

The Vision Transformer (ViT) represents a pivotal shift in applying the transformer architecture, traditionally used in NLP tasks, directly to images for classification tasks. By treating an image as a sequence of fixed-size patches (akin to words in a sentence), ViT adopts a minimalistic approach that forgoes conventional convolutional networks. Each image patch is linearly embedded, combined with positional embeddings, and processed through a standard Transformer encoder and MLP layers, as shown in Fig. 2. This method has shown remarkable results when the model is pre-trained on large datasets and then fine-tuned on smaller tasks, achieving state-of-the-art performance across various image recognition benchmarks [15].

ViT’s architecture is relatively simple and scalable, utilizing a series of Transformer blocks that comprise multi-head self-attention and MLP layers, with layer normalization and residual connections. It introduces an additional learnable “classification token” to the sequence of patch embeddings for the purpose of image classification. The model variants range in size from “Base” to “Huge,” with varying layers, hidden sizes, MLP sizes, and attention heads, catering to different computational budgets and performance needs [15].

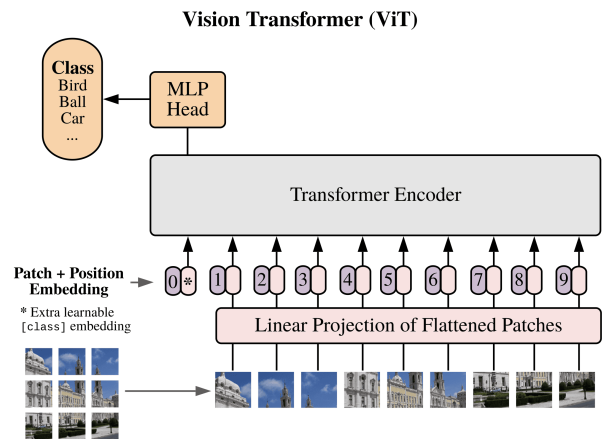


Fig. 2. Model overview of the Vision Transformer architecture [15].

Crucially, ViT demonstrates that large-scale training can overcome the lack of inductive biases inherent in Transformers, such as translation equivariance and locality, which are prevalent in CNNs.

C. UniDrop

Transformers, due to their over-parameterization, often face overfitting issues. While many works focus on architectural improvements or external knowledge integration, these generally come with increased computational costs or resource demands. Addressing this, Wu et al. [16] introduced UniDrop, a unified approach that incorporates three distinct levels of dropout techniques: feature dropout, structure dropout, and data dropout. Each technique targets different aspects of the model to prevent overfitting and improve robustness, theoretically supported by the authors’ analysis on regularization perspectives [16].

Feature dropout is applied to hidden representations within the network, while structure dropout aims at dropping entire substructures or components from the model. Data dropout, differing from the former two, operates at the input data level by randomly dropping out tokens in an input sequence. Through extensive experimentation on neural machine translation and text classification benchmark datasets, UniDrop shows significant improvements. For instance, it achieves around a 1.5 BLEU score improvement on IWSLT14 translation tasks and better classification accuracy even when using a strong pre-trained model like RoBERTa as the backbone [16].

III. PROPOSED METHODOLOGY

A. Dataset Structure

Chord recognition and transcription technology continues to evolve, driven by advances in machine learning algorithms, signal processing techniques, and the availability of large, annotated music datasets. In our study, we harnessed only the Beatles dataset, which consist of label files that list the chord type, start time, and finish time [17]. Additionally, similar datasets, such as Isophonics (featuring compositions

by Queen, Carole King, Zweieck) [18], Robbie Williams [19] and the USPop2002 dataset [20], could be utilized for comparative analysis. It is worth noting that these datasets are devoid of audio files due to stringent copyright regulations. Consequently, we traced the audio data from internet music services. Notably, the audio files available on these platforms do not always precisely correspond to the songs listed in the datasets. As a result, minor deviations were observed in the chord start times between the label files and the audio recordings. To mitigate this misalignment, manual intervention was imperative. Our intervention primarily involved meticulously aligning the labels with the corresponding timestamps in the audio files. In certain instances, a few "No chord" labels were added or removed to maintain consistency and accuracy in the synchronization process.

B. Data Pre-processing

In the detailed process of music signal processing for chord recognition and classification, each audio sample underwent pre-processing at a sampling rate of 44,100 Hz, which is the standard rate for high-quality .flac audio files. This preliminary step ensured the retention of the full audio quality during analysis. The next stage involved the application of the Constant Q Transform (CQT), a technique preferred for its ability to provide a geometric representation of the frequency spectrum, which aligns closely with the musical theory of pitches and octaves. The CQT effectively condenses the information across all octaves into a singular octave frame, utilizing 36 bins to ensure a detailed resolution of 3 bins per semitone, thereby capturing the nuances of harmonic content with precision. To further refine the chroma features derived from the CQT, an enhancement process was initiated aimed at isolating the harmonic components of the audio signal. This crucial step involved the separation of harmonic elements from percussive sounds, employing a strategy that introduces a wide margin to distinguish between these components effectively. Such a distinction is vital for focusing on the melodic and harmonic aspects of the music, which are essential for accurate chord recognition. Following the isolation of harmonic content, a sophisticated non-local filtering approach was applied to eliminate residual noise from the signal. This advanced filtering technique is adept at identifying and removing sparse additive noise, thereby enhancing the clarity and purity of the chroma features. The effectiveness of non-local filtering lies in its ability to preserve the essential characteristics of the music while discarding irrelevant noise, thus significantly improving the quality of the features for subsequent analysis. The final step in the pre-processing pipeline involved the application of a horizontal median filter. This filter serves to smooth out local discontinuities and transient noises that could potentially disrupt the continuity of the chroma features. By suppressing these irregularities, the horizontal median filter ensures a more stable and consistent representation of the audio signal's harmonic structure. This stabilization is particularly beneficial for the accurate classification and recognition of chords, as

it minimizes the impact of abrupt changes and noise on the feature set.

C. Chord Arrangement

In our paper, we narrowed the scope to focus on the analysis and classification of tetrads, chords composed of four distinct notes. This decision was driven by the aim to concentrate on a specific segment of chord complexity, which includes a wide variety of chord types but is manageable in scope for detailed analysis. The selection criteria led to the inclusion of 217 distinct chords, categorized according to 12 semitones across various chord types, including major (maj), minor (min), diminished (dim), augmented (aug), suspended fourth (sus4), suspended second (sus2), major seventh (maj7), dominant seventh (7), major ninth without the seventh (maj9), augmented seventh (aug7), minor seventh (min7), minor-major seventh (min7), minor ninth without the seventh (min9), diminished seventh (dim7), half-diminished seventh (hdim7), suspended fourth seventh (sus4(7)), suspended fourth flat seventh (sus4(b7)), and diminished seventh (dim7), along with a category for instances where no chord is discernible ("No Chord") [21].

The rationale for excluding chords that incorporate additional tones beyond the four-note structure or feature bass notes was to maintain a consistent framework for analysis, thereby avoiding the complications that arise from the vast diversity and infrequent occurrence of such extended chords. Despite the comprehensive nature of our chord selection, it's important to acknowledge that the distribution of these chords in musical compositions is inherently uneven. This imbalance is reflected in our final dataset, where the occurrence rates of specific chords vary significantly. Such disparities are a common challenge in the field of music information retrieval, as they can influence the performance of classification algorithms.

Initially, an exhaustive search through the .lab files yielded a comprehensive collection of 407 distinct chords. The first phase of elimination targeted the reduction of the dataset to only include tetrads, chords composed of four notes. Subsequently, the second elimination phase addressed the redundancy within the dataset caused by the presence of chords with different names but identical harmonic structures. This phenomenon often arises due to the various naming conventions and theoretical frameworks in music theory that can lead to different notational representations for the same chord. The final phase of elimination was implemented with a specific focus on the methodological integrity of the machine learning process to be applied—specifically, 5-fold stratified cross-validation. To ensure the viability of this statistical technique, which is designed to evaluate the model's performance in a manner that is both rigorous and generalisable, it was necessary to exclude chords that appeared less than five times within the dataset. Consequently, the dataset was narrowed down to a total of 85 distinct chords.

We propose a novel approach to musical chord recognition by implementing the common Vision Transformer architec-

TABLE I
ACCURACY OF CUSTOM VISION TRANSFORMER WITH NO CLASS WEIGHTS

MLP Size	Patch Size	Accuracy	Top-5 Accuracy
[2048, 1024]	15	0.7926	0.9558
[2048, 1024]	20	0.7927	0.9542
[2048, 1024]	25	0.7984	0.9569
[1024, 512]	15	0.7894	0.9545
[1024, 512]	20	0.7937	0.9564
[1024, 512]	25	0.7962	0.9562

ture, augmented with the UniDrop technique, to enhance the performance of image-based chord classification tasks.

IV. TRAINING & RESULTS

In our study, the methodology diverges from traditional approaches that rely on chord time segments for analysis, such as the weighted chord symbol recall metric commonly used in music information retrieval [2]. This shift in methodology stems from our unique approach to chord classification, which conceptualizes chromagrams not as time-series data but as visual representations. Given this perspective, the evaluation of our model’s performance necessitates metrics aligned with the principles of image classification rather than those tailored to temporal segmentation.

To assess the efficacy of our chord recognition model, we employ two primary metrics: classification accuracy and classification top-5 accuracy. Classification accuracy measures the proportion of total predictions that the model classifies correctly. However, acknowledging the complexity of chord recognition, certain chords share similar harmonic features and may be easily confused. By considering the top K predictions, we can evaluate the model’s performance in a manner that more accurately reflects the subtleties of musical analysis.

In our study, we utilized Python 3.9 via Google Colab and experimented with two different vision transformer (ViT) architectures for chord classification: a custom-designed ViT [16], [22] and a pre-trained model, both trained for 100 epochs. We opted for Sparse Categorical Cross-Entropy as the cost function and used the Adam optimizer. The custom ViT model was subject to extensive hyperparameter tuning, focusing on four key areas: the number of Transformer Layers (set equal with 12), Number of Heads (set equal with 16) in the Multi-Head Attention mechanism, the size of the Multilayer Perceptron (MLP), and the patch size for input chromagrams.

The custom Vision Transformer (ViT) is configured to accept input images of size 150×150 pixels, with the pixel values normalized within the range $[-1, 1]$. It operates with a batch size of 256 and is designed to work with or without class weights. Conversely, the pre-trained ViT is designed to process input images of size 128×128 pixels, also with pixel values normalized to the range $[-1, 1]$. This model uses a smaller batch size of 64 and can similarly be configured to function with or without class weights.

Before we delve into the analysis of our results, it is crucial to acknowledge some limitations we had to contend

TABLE II
ACCURACY OF CUSTOM VISION TRANSFORMER WITH CLASS WEIGHTS

MLP Size	Patch Size	Accuracy	Top-5 Accuracy
[2048, 1024]	15	0.7700	0.9500
[2048, 1024]	20	0.7475	0.9472
[2048, 1024]	25	0.7590	0.9509
[1024, 512]	15	0.7611	0.9533
[1024, 512]	20	0.7179	0.9458
[1024, 512]	25	0.7300	0.9482

TABLE III
ACCURACY OF PRE-TRAINED VISION TRANSFORMER

	Accuracy	Top-5 Accuracy
With no class weights	0.7339	0.9330
With class weights	0.2466	0.6215

with. The data do not represent the entirety of music, but rather reflect the distribution of the datasets we utilized, leading to a significant constraint in the volume of available data. Consequently, the networks we developed exhibit a bias towards chords that appear more frequently. In cases of extreme class imbalance, our study found that applying class weights actually reduced accuracy, as shown in Tables I, II and III. This suggests that for highly imbalanced data, class weights may not be the optimal approach and other methods should be considered to improve model performance. Additionally, the dataset employed in our study comprises approximately 12,400 images, which constitutes a relatively modest subset compared to the voluminous datasets typically associated with the training or fine-tuning of Transformer models [15]. However, it is noteworthy to mention that despite the challenges posed by class imbalance, the Top-5 accuracy metric achieved an impressive 95%. This outcome indicates a high degree of model proficiency in correctly identifying the true class within its top five predictions, suggesting that the model has effectively captured the underlying patterns in the data to a significant extent.

The insights derived from Tables I and II indicate that an increase in the patch size, which leads to the utilization of smaller patch sequences, results in an enhancement of model accuracy. Furthermore, the implementation of smaller MLP sizes subsequent to the Transformer encoder also contributes to an uptick in accuracy. This trend suggests a correlation where the employment of simpler and less complex ViT network configurations tends to yield more favorable outcomes. In terms of accuracy evaluation, despite the relatively limited size of our dataset, the custom Vision Transformer (ViT) model demonstrated superior performance compared to both the pre-trained ViT model and the results reported by Park et al. [2] in the tetrads chord category. This achievement is particularly notable given that Park et al.’s study benefited from a larger dataset, augmented with additional data from Isophonics [18] and other sources [19], [20].

V. CONCLUSIONS

In our study, we have successfully applied the Constant-Q Transform (CQT) to generate chromagram representations from audio segments for chord recognition and classification, with the Vision Transformer (ViT) model proving particularly effective in identifying harmonic contextual relationships intrinsic to the harmonic structure of the music. The ViT's self-attention mechanisms and UniDrop's dropout techniques were instrumental in this success, demonstrating that such architectures can be adapted beyond traditional image processing tasks to analyze complex musical data. This reinforces the potential of attention-based models in music information retrieval.

For future work, we aim to integrate advanced music source separation techniques to refine our input data processing for the Constant-Q Transform and chromagram analyses. This methodological enhancement will allow us to isolate specific instrumental tracks from the composite audio mix, thereby eliminating elements such as vocal tracks and percussion, which may have a minimal impact on the determination of musical chords compared to instruments like the bass guitar. By selectively focusing on the instrumental components most pertinent to chord recognition, we anticipate a significant improvement in the accuracy and efficiency of our feature extraction processes.

REFERENCES

- [1] S. Yuan et al., "Improved singing voice separation with Chromagram-based pitch-aware remixing," ICASSP 2022 - 2022 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), May 2022.
- [2] J. Park, K. Choi, S. Jeon, D. Kim, and J. Park, "A Bi-Directional Transformer for Musical Chord Recognition," in ISMIR, 2019, pp. 620–627.
- [3] F. Korzeniowski and G. Widmer, "Feature Learning for Chord Recognition: The Deep Chroma Extractor," 17th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR), Dec. 2016.
- [4] L. Oudre, Y. Grenier, and C. Fevotte, "Chord recognition by fitting rescaled chroma vectors to chord templates," IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, vol. 19, no. 7, pp. 2222–2233, Apr. 2011.
- [5] S. Chivapreecha, T. Sinjanakhom, and A. Trirat, "Musical key classification using convolutional neural network based on extended constant-Q chromagram," 2022 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS), Nov. 2022.
- [6] A. George, X. A. Mary, and S. T. George, "Development of an intelligent model for musical key estimation using Machine Learning Techniques," Multimedia Tools and Applications, vol. 81, no. 14, pp. 19945–19964, Mar. 2022.
- [7] G. K. Birajdar and M. D. Patil, "Speech/music classification using visual and spectral chromagram features," Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, vol. 11, no. 1, pp. 329–347, Apr. 2019.
- [8] R. Chen, W. Shen, P. Chordia, and A. Srinivasamurthy, "Chord Recognition Using Duration-explicit Hidden Markov Models," 13th International Society for Music Information Retrieval (ISMIR), Oct. 2012.
- [9] A. Sheh and D. P. W. Ellis, "Chord Segmentation and Recognition using EM-Trained Hidden Markov Models," Nov. 2003.
- [10] T. Hori, K. Nakamura, and S. Sagayama, "Music chord recognition from audio data using bidirectional encoder-decoder LSTMs," 2017 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC), Feb. 2018.
- [11] J. V. Abraham, A. N. Khan, and A. Shahina, "A deep learning approach for robust speaker identification using chroma energy normalized statistics and Mel Frequency Cepstral coefficients," International Journal of Speech Technology, vol. 26, no. 3, pp. 579–587, Aug. 2021.
- [12] T. Arias-Vergara et al., "Multi-channel spectrograms for speech processing applications using Deep Learning Methods," Pattern Analysis and Applications, vol. 24, no. 2, pp. 423–431, Sep. 2020.
- [13] T.-Q. Lin, H.-Y. Lee, and H. Tang, "Melhubert: A simplified hubert on Mel Spectrograms," 2023 IEEE Automatic Speech Recognition and Understanding Workshop (ASRU), Dec. 2023.
- [14] A. Vaswani et al., "Attention Is All You Need," 2017.
- [15] A. Dosovitskiy et al., "An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale," 2020.
- [16] Z. Wu et al., "Unidrop: A simple yet effective technique to improve transformer without extra cost," Proceedings of the 2021 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, Apr. 2021.
- [17] C. Harte, "Reference annotations: The Beatles," Isophonics, <http://isophonics.net/content/reference-annotations-beatles> (accessed Mar. 3, 2024).
- [18] "Datasets," Isophonics, <http://isophonics.net/datasets> (accessed Mar. 3, 2024).
- [19] M. Zanoni. (2014). Chord and Harmony annotations of the first five albums by Robbie Williams.
- [20] A. Berenzweig, B. Logan, D.P.W. Ellis, B.P.W. Whitman: A large-scale evaluation of acoustic and subjective music-similarity measures. *Comput. Music J.* 28(2), 63–76 (2004).
- [21] "2009:audio chord detection," 2009:Audio Chord Detection - MIREX Wiki, https://www.music-ir.org/mirex/wiki/2009:Audio_Chord_Detection (accessed Mar. 6, 2024).
- [22] "Keras documentation: Image Classification with Vision Transformer," Keras, https://keras.io/examples/vision/image_classification_with_vision_transformer/ (accessed Mar. 8, 2024).

Probability Assessment of the Impact of Electric Vehicles on Power Quality in Electricity Distribution Networks

Christina V. Grammenou
Dept. of Electrical and Computer Engineering,
University of Western Macedonia
50100 Kozani, Greece
x.grammenou@uowm.gr

Aggelos S. Bouhouras
Dept. of Electrical and Computer Engineering,
University of Western Macedonia
50100 Kozani, Greece
abouchouras@uowm.gr

Abstract— Several EU directives and legislations are promoting the widespread penetration of Photovoltaics (PVs) and Electric Vehicles (EVs) at Low Voltage (LV) Distribution Networks (DNs) aiming to address the climate change and to decarbonize the transport sector. However, the non-scheduled high penetration of EVs results in increased power losses and power quality issues in DN. This paper, examines several scenarios regarding the EVs' time-of-arrival under a normal probability distribution. Then, the impact of uncontrolled EV charging is evaluated, using a typical LV DN as a case study and including real power demand data for the residences and the technical characteristics for the EVs. In order to deal with the issues raised in the DN, this paper suggests a simple way to define the critical nodes for PV in order to improve the voltage profile and reduce power losses. The results indicate that residential PV installation on critical nodes could have a huge impact on the non-scheduled charging of the EVs.

Keywords— *electrical vehicle, distribution network, power quality, normal distribution, penetration, photovoltaic*

I. INTRODUCTION

High electricity prices as a result of the power supply instability affect the prosperity of the citizens while the problem might be more intense due to the increasing Electric Vehicle (EV) penetration in the transportation sector. This new type of electric load is expected to burden the residential installations since the charging station infrastructure is not evolving as expected in many countries, thus, the majority of the EVs is expected to charge in residential installations causing energy consumption increase and power demand peaks for Low Voltage (LV) networks due to EVs charging overlaps. Conventional transportation is one of the most significant factors contributing to carbon emissions increase and this trend will be up to 60% by 2050 [1]. The European Union (EU) in its attempt to reduce CO₂ emission, proposes to replace the traditional vehicle with EVs, which are more eco-friendly independent to fossil fuel. Given the substantial rise in fossil fuel prices over the past two years, many countries are grappling with the challenge of adapting to this new economic reality. For this reason, the EU has signed "Green Deal" agreement with the main goal to achieve gas emission reduction by 55% and 100%, by 2030 and 2050 respectively [6]. Despite the advantages of electromobility, the uncertainties related to EVs time-of-arrival along with uncontrolled charging could strain Distribution Networks (DNs) and pose several challenges related to power quality,

reliability issues and stability problems for the grid. More specifically, uncontrolled EV charging could cause congestion in network lines, increased power losses, peak demands and unbalanced voltage profile. In order to assess these effects, several studies have been implemented. For example, the work in [3] elaborated the minimization of power losses and the decarbonization of transportation in both LV and Medium-Voltage (MV) DNs, using a two-stage EV charging planning and applying the Network Reconfiguration (NR) scheme. In addition, the authors in [5] investigate the problem of increased power losses and voltage quality in DN due to the EV penetration in DNs. They propose an optimized EV charging schedule under EV time-of-arrival consideration, by taking into account both G2V and V2G power transactions between the EVs and the DN. Another similar study is presented in [6], which examines the effects of charging EVs on Phuentsholing's DN under two different penetration levels. It is anticipated that different penetration levels of EVs could lead to significant changes in power flows along transmission and distribution lines. Meanwhile, the authors in [4] and [7] examine high penetration of both EVs and PVs in DNs and assess their impact on the operational characteristics of the grid. They study the impact of PVs and EVs concluding that high PV penetration could cause overvoltage issues in the DN while the increased and uncontrolled EV charging could yield intense voltage drops. This is because it is high possible to have EV charging in different time periods form PV power generation; in such cases peak demands and congestion issues are expected. According to [8] high PV and EV penetration could cause DN congestion both in short long-term horizons and in turn jeopardize the equipment, affect the grid's efficiency, with impacts on the market as well.

In this paper, the impact of uncontrolled penetration of EVs in a LV DN is investigated in terms of power losses, voltage profile and loading of lines in the DN. In order to improve grid congestions, PVs with specific characteristics at depicted critical nodes are installed and their impact is evaluated. Thus, the rest of this paper is organized as follows: Section II presents the examined DN, the characteristics of the EVs, the distribution of EVs' time-of-arrival under 14 examined scenarios. Section III- A shows the main simulation results regarding the impact of EVs' charging without PV penetration, while Section III- B presents the results with PV penetration. Finally, Section V is devoted to conclusion.

II. METHODOLOGY

A. EV time of arrival

One of the most aspects regarding the impact of EV penetration on DN is the assessment of the EVs time-of-arrival. The utilized methodology in this paper is applied to a LV DN and requires as inputs the time-of-arrival, the EVs' State of Charge (SoC) and the technical of EVs, i.e., battery capacity and charger's rate.

Due to the residential profile of the examined DN it is assumed that the possible EVs time-of-arrival ranges from 12:00 to 18:00. The time-of-arrival depends on the driver's behavior or household characteristics, the mobility data and the charging rate assumption. The selected interval regarding the EVs' time-of-arrival is verified by studies [9] and [3]. In [9] several aspects related with the EV charging in DNs are presented. More specifically, the authors in [9] examine the additional power demand by EVs for different days and respective load profiles. The probability concerning the time-of-arrival is considered different between weekdays and weekends. Also, this work presents some data for EV time-of-arrival depending on the type of EVs, charger rate, charging location, and user preferences. Another important parameter which determines the time-of-arrival is related to demographic characteristics. For example, it differs, if someone is unemployed, fulltime or parttime worker, or homemaker. Based on these data, the analysis in [9] concluded that the time-of-arrival for EVs varies between 12:00-18:00 and follows the nominal distribution. This time period has been also confirmed by the data analysis conducted by Adaptive Charging Network Portal [10].

B. Case Study

The analysis in this paper aims to examine the penetration of EVs in a LV DN, by evaluating its impact on the operational characteristics of the network, i.e., power losses, voltage profile and loading of lines.

To this end, a real LV DN with 109 nodes i.e., 108 residences, is examined. In Fig. 1 the DN layout is presented; the network comprises of three (3) feeders and several short laterals. The technical characteristics of the network, including lines' length and impedance could be found in [4]. Power flow simulations have been performed in DigSilent© software package. Real load demand values for each node-household with a time-step of 1hr spanning a 1-year timeframe were available.

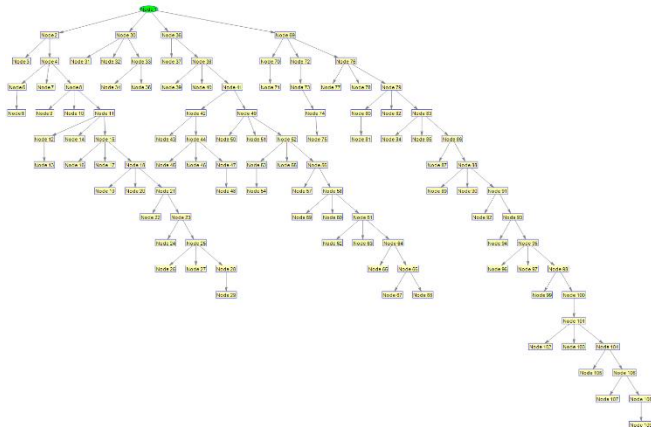


Fig. 1. Low Voltage Distribution Network.

For the case study in this work a winter sunny day has been selected due to high load demand. Also, it was assumed that each residence can have only one EV and the penetration rate of EVs is set at 100%, meaning that all houses are expected to have exactly one EV. The characteristics of EVs are taken from real EV models and refer to the capacity of EV's battery and charging rate. In Table I the values of these characteristics are presented.

TABLE I. CHARACTERISTICS OF DIFFERENT EV'S TYPE

Types of EVs	capacity of EV's battery(kWh)	Charging capacity (kW)	Number of EVs
1	25	6,6	22
2	36	7,2	16
3	33	7,4	17
4	28	7	18
5	42	7,7	5
6	40	6,6	12
7	75	7,4	2
8	100	10	1
9	60	7,2	3
10	95	9,6	2
11	80	7,4	1
12	71	7,2	1
13	64	7	6
14	50	16,5	1
15	78	11	1

C. Examined Scenarios

Aiming to evaluate the impact of the time-of-arrival of the EVs to the operational characteristics of the DN, 14 scenarios were examined under different normal distribution parameters that affect the time-of-arrival of the EVs. An important assumption is that each EV starts its charging exactly upon arrival and continues until full charging. Thus, no charging scheduling is applied in this work. The differences among these 14 scenarios refer to the different values for the mean value μ and the standard deviation σ when the normal distribution has been applied to define the time-of-arrival for each EV. Table II shows analytically these values for each scenario. As observed in Table II, μ ranges between 12:00- 18:00 (incremental step is 1) to coincide with the findings presented earlier regarding the expected time-of-arrival for EVs.

TABLE II. SIMULATION'S SCENARIOS

Scenarios	Mean time μ	Standard deviation σ
Sc# 1	12:00	2
Sc# 2	12:00	3
Sc# 3	13:00	2
Sc# 4	13:00	3
Sc# 5	14:00	2
Sc# 6	14:00	3
Sc# 7	15:00	2
Sc# 8	15:00	3
Sc# 9	16:00	2
Sc#10	16:00	3
Sc# 11	17:00	2
Sc#12	17:00	3
Sc#13	18:00	2
Sc#14	18:00	3

The difference between $\sigma=2$ and $\sigma=3$ defines the range within which most of the EVs are most probably expected to arrive at the home charging installation for charging. The

range $[-\sigma, +\sigma]$ around μ defines a timeframe with 68% probability for an EV to arrive at its respective residence for charging. For example, in Sc#1 with $\mu=12$ and $\sigma=2$ the time-of-arrival with 68% probability lies between 10:00 to 14:00. On the other hand, in Sc#2, with $\mu=12$ and $\sigma=3$ the respective range lies from 9:00 to 15:00. Figure 2 presents the number of EVs arrived for charging during the examined day for all 14 scenarios.

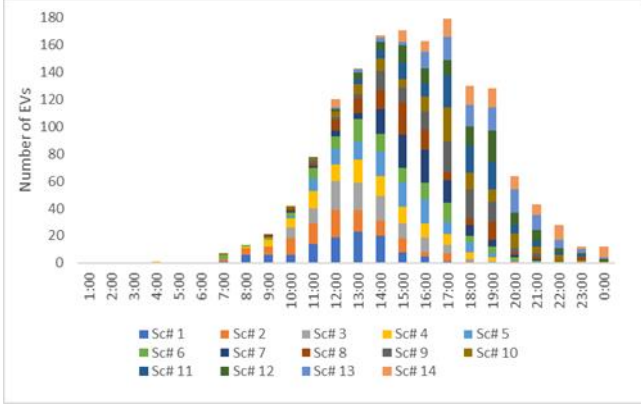


Fig. 2. Number of EVs for all examined scenarios at each hour of the day.

In order to define the time for the charging of each EV, it is necessary to know the SoC when the EV arrives in the respective residence for charging. We define a typical range of SoC at the arrival time between 20% to 50% while we consider that each EV can return in its residence once during the day. So, for each of the 14 scenarios, the SoC value for an EV upon its arrival has been set randomly between 20%-50% under normal distribution again. The time needed for each EV to be fully charged was computed by the expression in (1).

$$t = Car_{battery} \times \frac{1 - \frac{SoC}{100}}{Car_{charger}} \quad (1)$$

where:

- t = time of full charge
- $Car_{battery}$ = capacity of EV's battery (kWh)
- $Car_{charger}$ = charging capacity (kW)
- SoC = State of Charge

Based on the resulted time by (1) and the charging rate of the EV, the demand curve of the residence is reformed to consider the additional load resulted by the EV charging. For instance, the consumption of residence 1 is 0.154kWh from 16:00 to 17:00. EV 1 is expected to return for charging at 16:00. The capacity of EV's battery is 25 kWh and the SoC upon arrival is randomly set to 33%. Also, according to Table I the charging rate of the EV model in this residence is 6.6 kW. As a result, this EV needs 2.5 hours in order to be fully charged (SoC=100%) while the consumption of residence 1 changes to 6.754kWh from 16:00 to 17:00.

In this way, the power curves for all nodes-residences are reshaped and then the power flow analysis is performed. The simulations in this work concern only Battery Electric Vehicles (BEV) but Plug in Hybrid Electric Vehicles (PHEV) could also be considered.

The applied methodology in this paper is summarized in the flowchart presented in Fig.3.

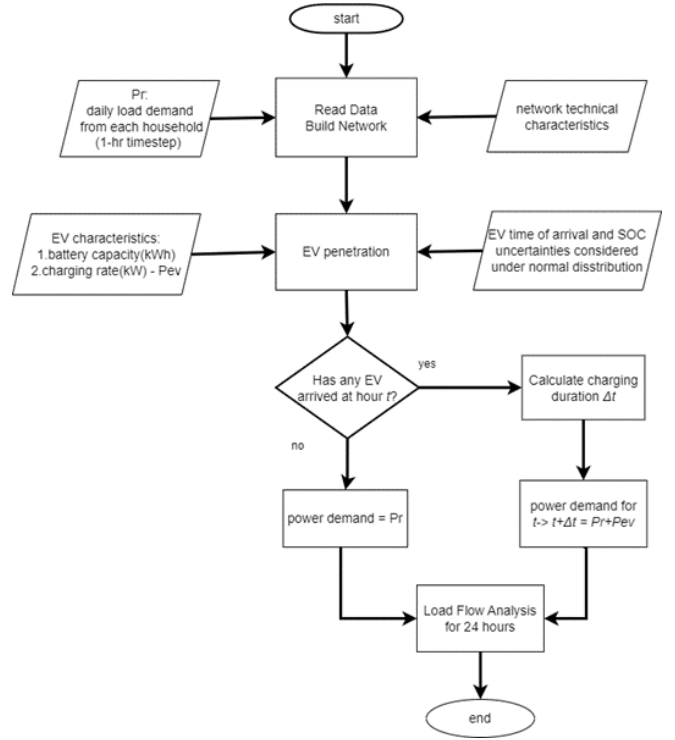


Fig. 3. Flowchart of the proposed methodology.

III. SIMULATION RESULTS

A. Penetration without PV

In this subsection, the results derived by the simulations for the EVs' charging are presented in order to highlight the impact of EVs penetration when considered as additional load to the DN. Also, based on the results, we can depict the nodes which undergo severe voltage drops due to EV charging. Firstly, in Fig.4 we present the power losses of the LV DN for the examined 14 scenarios for a time period of one day.

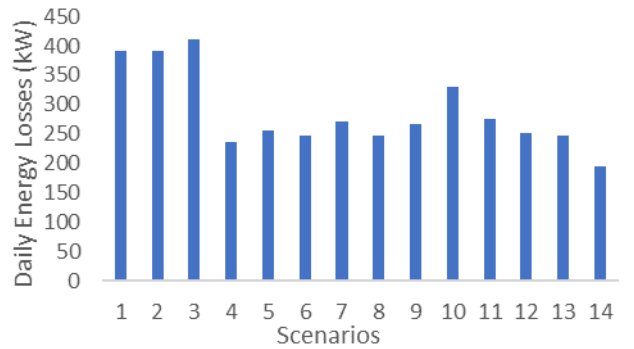


Fig. 4. Daily Energy Losses at each scenario without PV penetration

In Fig. 4, Sc#1,2 and 3 present the highest power losses, for the day examined. All the other scenarios have approximately the same magnitude for power losses except from Sc#10 which shows a slightly increased value compared to the others. In addition, Sc#14 presents the lowest power losses; this scenario has $\mu=18$ and $\sigma=3$. Generally, the power losses depend on the load profile, the time-of-arrival, the SoC and therefore the duration of charging. In Sc#14, the power losses are decreased as the time period defined by $[-\sigma, +\sigma]$ is from 15:00 to 21:00. During this period the load demand of the residences is low, thus the power losses are not so intense

as in the other scenarios. In addition, an important observation among the 14 scenarios is that under $\sigma=3$ power losses are lower than $\sigma=2$, because the distribution of time-of-arrival for EVs, especially regarding the time frame defined by $[-\sigma, +\sigma]$, is spread within a longer time period.

Furthermore, in all scenarios, the voltage profiles of the LV DN have been assessed. However, in this paper, only the color maps for Sc#1,2,13 and 14 are presented. Fig.5 presents the voltage profiles for Sc#1 and 2 (same $\mu=12$, $\sigma=2$ and $\sigma=3$ respectively).

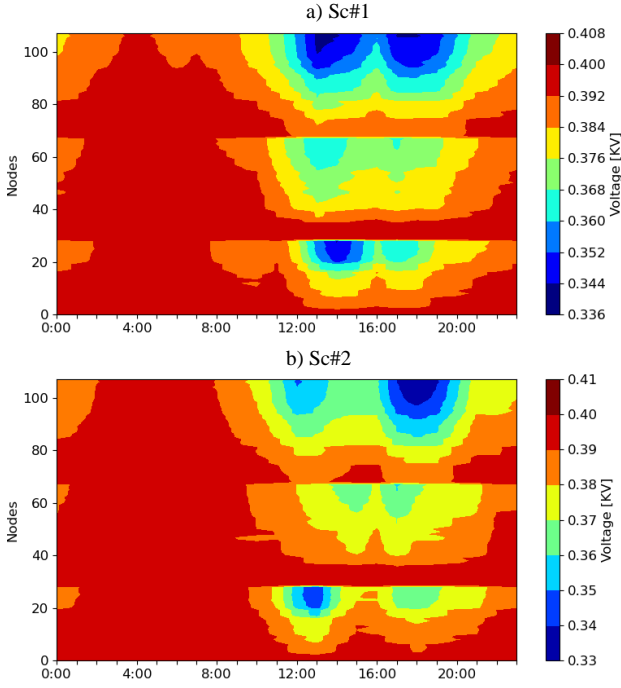


Fig. 5. LV DN voltage profile for a) Sc#1 and b) Sc#2

Based on the findings in Fig. 5, we could conclude that the network operates within normal voltage limits, i.e., between 400V and 380V from 00:00 to 10:00. This is expected as during the evening hours the load demand is low. On the other hand, intense voltage drops are observed from 11:00 to 20:00 which depend on the total number of EVs, the SoC and charging ratio for each EV. Also, Sc#2 with $\sigma=3$ presents to experience less undervoltage issues as the charging time of the EVs is distributed in a longer time period and therefore the total demand shows less demand peaks.

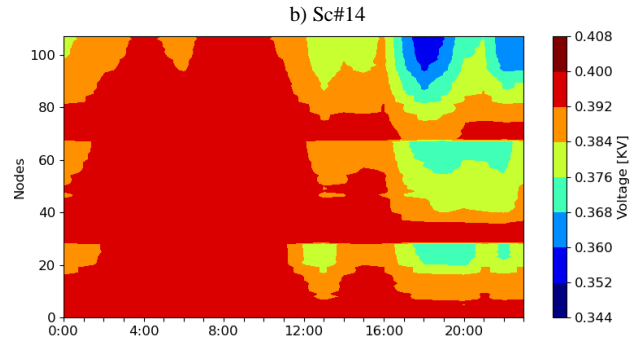
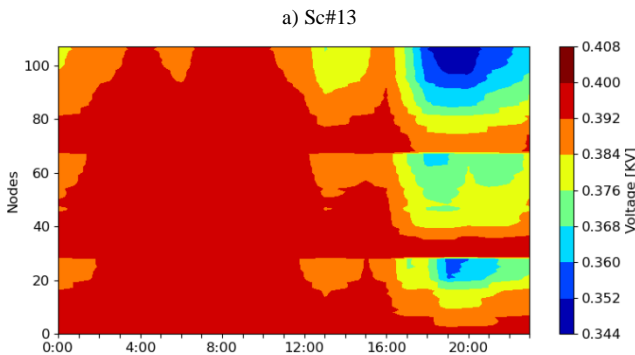


Fig. 6. LV DN voltage profile for a) Sc#13 and b) Sc#14

From Fig. 6, it becomes evident that for Sc#13 and 14 the DN experiences intense voltage drops during afternoon hours. In these scenarios, μ equals with 18 for both of them while $\sigma=2$ and $\sigma=3$ respectively, indicating that the EVs will arrive at home stations with 68% probability between 16:00 and 21:00. Consequently, the load demand will increase during that period time.

In summary, it is observed from the color maps in Figs. 5 and 6 the far end nodes, i.e., nodes 107 and 108, experience voltage drops under the threshold of 380 V for the longest time of the day while the most intense voltage drop could reach the value of 344 V. Finally, it is obvious that the non-scheduling time-of-arrival of EVs can cause significant problems in networks, i.e., increased power losses and poor voltage profile.

In Figs. 7 and 8, the impact on lines' loading in the LV DN is presented for the 24 hours period under study. We have chosen to present 2 lines from the upstream part of the DN because these lines constitute branches with high carrying current.

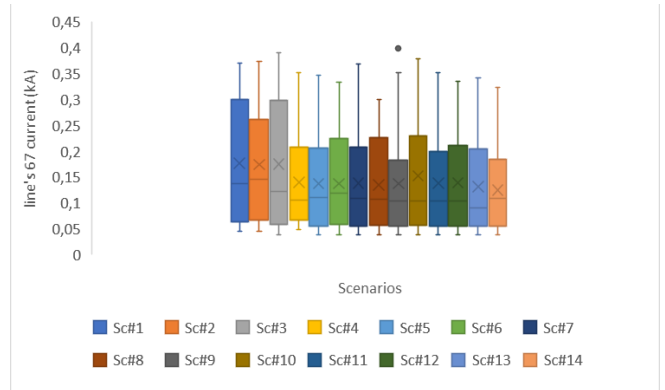


Fig. 7. Boxplot of current of line 67 for 14 scenarios

Fig. 7 presents the boxplots of the current values for line 67 for all examined scenarios. Based on the results in Fig.7 we observe that the high current values range between 300 and 350A in half of the scenarios. In the remaining scenarios, current values up to 380A are noticed (Sc#1,2,3,7,10). For example, in Sc#1, 25% of the observations refer to the lowest current values, i.e., 50-60A, 50% of the values belong to the range 60 to 300A and the other 25% present high values that lay between 300-360A. Also, only Sc#9 shows an outlier value which equals to 400A.

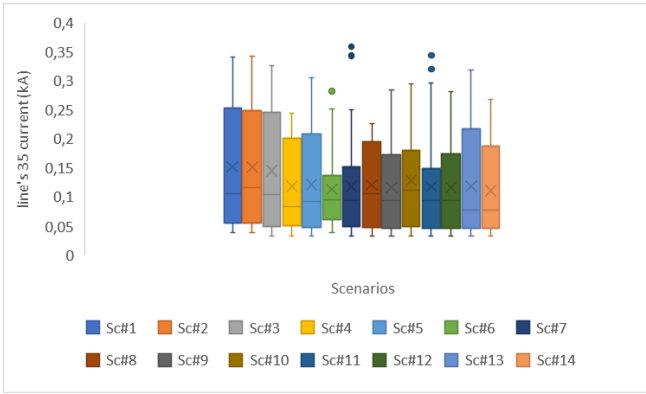


Fig. 8. Boxplot of current of line 35 for 14 scenarios

In addition, Fig. 8 displays the boxplots of current values for line 35. The maximum current value in this line is lower than the respective one of line 67. More specifically, in Sc#1, 25% of the current values range between 40-50A, while 50% range between 50-250A; the remaining 25% present high values up to 340A. Nevertheless, Sc#6 differs from the others, as 50% of current ranges lay between 60 -140A and 25% of between 140-250A. In Sc#6,7 and 11 outlier values are present. In Sc#7 the maximum current value is equal to 350A while in Sc#11 it reaches 370A.

Finally, in Figs. 7 and 8 is observed that Sc#1,2 and 3 share similar boxplots and have the highest value of currents except for the scenarios which display outliers.

B. Penetration with PV

In this section, the problem of reducing power losses caused by the unscheduled charging of EVs is faced based on depicting critical nodes for PV installation. One approach in this direction could refer to PV installation at each node of the DN. However, this approach could refer to high PV penetration related to possible overvoltage, especially during the midday when the power production of the PV is high.

Thus, in this paper, the installation of PVs in critical nodes is examined. As critical nodes we consider the nodes with the lowest voltage value magnitude. These nodes are highly possible to be the far end nodes, such as nodes 109 and 108. In order to decide on the level of criticality for the DN nodes, the first 25 nodes with the lowest voltage magnitude in each scenario are selected. In addition, the frequency of appearance for each of these 25 nodes in all 14 scenarios is compared and counted. Critical node is considered the node j for which the frequency of appearance t in 14 scenarios is greater than or equal to 7. In total, 15 nodes were present more than 7 times in 14 scenarios. Although the analysis here concerns one day the same concept for depicting the critical nodes throughout the whole year could also be applied. Also, the flowchart of this approach for selecting the critical nodes presented in Fig.9.

According to the recent subsidized program "PV in Roof" for the installation of domestic PV, the maximum rated power for each domestic installation has been set at 10.8 kW. Based on this, the maximum possible value for each PV installation at the critical nodes was also set to 10.8 kW. We examined 3 different cases regarding the siting and sizing of the PV systems at the critical nodes which are presented as follows:

- Installation of 1 PV 10.8kW at 15 critical nodes

- Installation of 1 PV 10.8kW at first 8 critical nodes
- Installation of 1 PV 8kW at 15 critical nodes

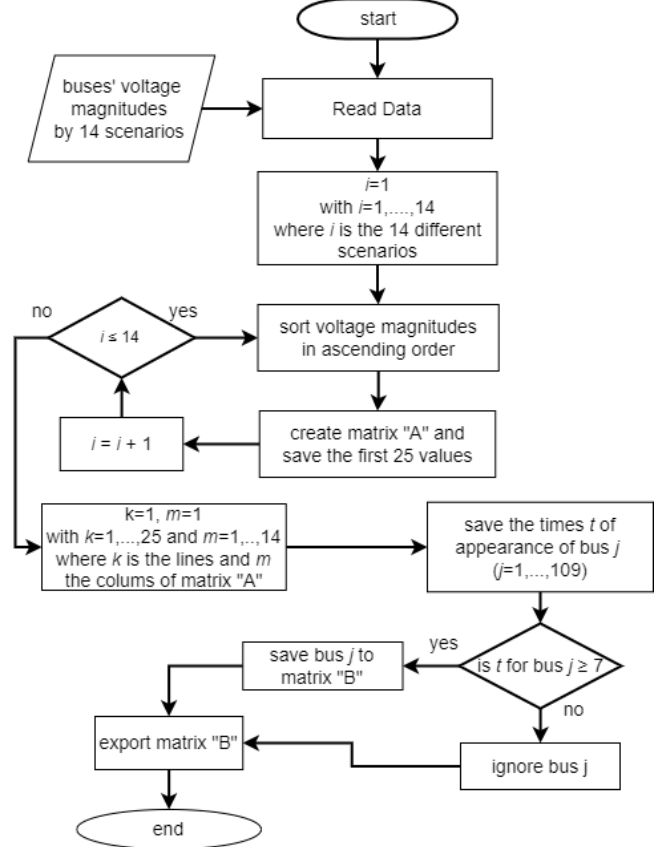


Fig. 9. Flowchart of critical nodes selecting

In Fig. 10, the daily power losses for the 14 scenarios regarding each one of the cases with PV penetration compared to the base case without PV penetration are shown. The results in Fig.10 present the alteration in power losses for the DN (reduction in most cases) due to PV installation to the critical nodes.

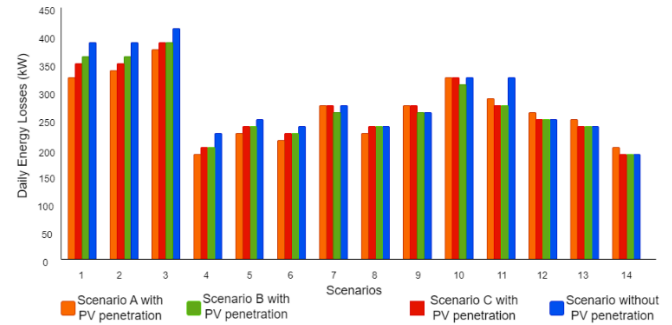


Fig. 10. Daily Energy Losses at each senario with and without PV penetration.

Case A (10.8kW at 15 critical nodes) decreases the power losses in most of the 14 scenarios but in the last three scenarios, power losses are increased compared to the basic case without PV system. Cases B and C decrease the daily power losses in most of the 14 scenarios; though in some of them the power losses remain almost equal as in the basic case without PV penetration. However, case B consistently yields lower power losses in respect to the base case. Based

on the results in Fig.10 case B seems to perform better in respect to the others.

Figs. 11 and 12 present the voltage profiles of the 14 scenarios for cases A and B respectively. The presented results concern simulations for a winter day, with PV production anticipated during morning and afternoon hours (7:00-16:00). The improvement in undervoltage issues due to PV penetration for the 15 critical nodes is presented in Fig.11. More specifically, the values of undervoltages fluctuate around 350V, lasting for 9 hours, compared to the case without PV penetration where the worst undervoltage is approximately 344V with 11 hours duration. However, in Case A, overvoltages occur during morning hours, ranging from 410V to 430V, lasting from 7:00 until 13:00. On the other hand, in Case B, as depicted in Fig. 12, overvoltages ranging from 410V to 420V, seem to last from 7:00 until 11:00. In addition, the worst undervoltages remain at 350V, but their duration is reduced to 8 hours. In Fig. 13, the voltage profile for Case C is depicted, which is similar to Case B. There are no changes regarding undervoltages, while overvoltages reach 420V which appear for longer durations. However, Case C enables more residences to install PV system, under similar voltage profile with Case B. Finally, it is concluded that case B presents better voltage profile than case A and C.

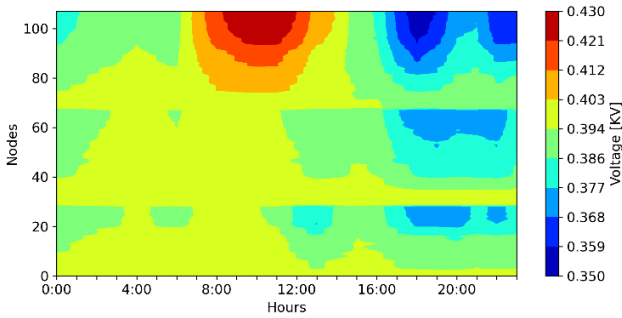


Fig. 11. LV DN voltage profile for SC#14 by Case A with PV penetration.

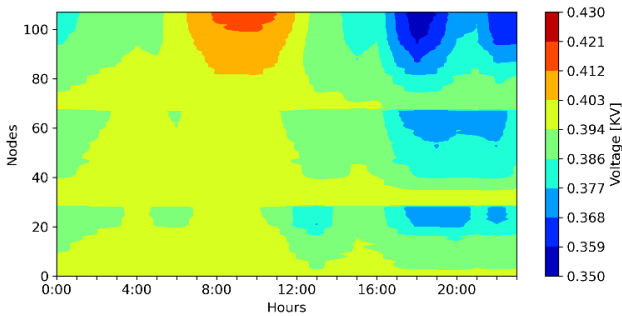


Fig. 12. LV DN voltage profile for SC#14 by Case B with PV penetration

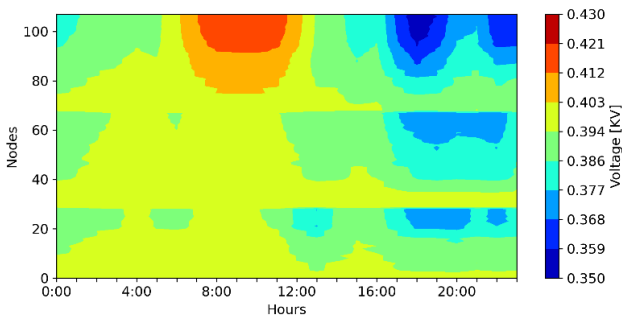


Fig. 13. LV DN voltage profile for SC#14 by Case C with PV penetration

IV. CONCLUSION

In this paper, the impact of EV penetration in DNs under non-scheduled charging is presenting. The raised issues regarding voltage quality and power losses are addressed with the installation of PV systems in critical nodes. However, high PV production during periods of low demand may lead to undesirable overvoltage, while EV charging during periods of high demand could cause severe voltage drops. Thus, it is important to depict the most critical nodes for PV installation and assess their impact on the operational characteristics of the DN. According to the results of the proposed methodology it seems when the arrival-time of EVs ranges within 12:00-18:00, coinciding with high demand periods, it could cause issues related to increased power losses and voltage profile issues. Based on the examined scenarios, under both EV penetration and PV installation on critical nodes for the DN, it becomes evident that power losses and undervoltage issues are both mitigated.

REFERENCES

- [1] I. T. Outlook, "Oecd publishing, paris," 2017.
- [2] European Commission. Communication from the Commission: The European Green Deal. COM(2019) 640 Final; European Commission: Brussels, Belgium, 2019. Available online: EUR-Lex - 52019DC0640 - EN - EUR-Lex (europa.eu)
- [3] Kothona, D.; Bouhouras, A.S. A Two-Stage EV Charging Planning and Network Reconfiguration Methodology towards Power Loss Minimization in Low and Medium Voltage Distribution Networks. *Energies* 2022, 15, 3808
- [4] A. S. Bouhouras et al., "Analysis of high penetration of electric vehicles and photovoltaics on a greek low-voltage network," 2017 52nd International Universities Power Engineering Conference (UPEC), Heraklion, Greece, 2017, pp. 1-6.
- [5] Bouhouras, Aggelos S., et al. "Distribution network energy loss reduction under EV charging schedule." *International Journal of Energy Research* 46.6 (2022): 8256-8270.
- [6] M. Sharma, T. Sangay, K. Rangrik, N. Dorji and S. Chopel, "Electric Vehicle Impact Assessment on Distribution Network of Phuentsholing," 2022 14th International Conference on Software, Knowledge, Information Management and Applications (SKIMA), Phnom Penh, Cambodia, 2022, pp. 110-113.
- [7] A. F. Soofi, R. Bayani and S. D. Manshadi, "Investigating the Impact of Electric Vehicles on the Voltage Profile of Distribution Networks," 2022 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT), New Orleans, LA, USA, 2022, pp. 1-5.
- [8] J. Zhao, A. Arefi, A. Borghetti, J. M. Delarestaghi and G. Shafiullah, "Characterization of Congestion in Distribution Network Considering High Penetration of PV Generation and EVs," 2019 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM), Atlanta, GA, USA, 2019, pp. 1-5.
- [9] David Fischer, Alexander Harbrecht, Arne Surmann, Russell McKenna, "Electric vehicles' impacts on residential electric local profiles – A stochastic modelling approach considering socio-economic, behavioural and spatial factors, *Applied Energy*, 2019, Pages 644-658.
- [10] Adaptive Charging Network Research Portal. Available online: <https://ev.caltech.edu/index> (accessed on 24 February 2021).

Προτεινόμενη Μεθοδολογία Σχεδιασμού Φίλτρων Σταθερής Χρονικής Καθυστέρησης Ομάδος Για Δίκτυα Διαμόρφωσης Δέσμης στην Ζώνη FR3.

Χατζή Χαραλαμπία

Καθηγητής Γεώργιος Κυριακού

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Η/Υ

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Η/Υ

Chatzicharalampia@gmail.com

gkyriac@ee.duth.gr

Περίληψη—Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στον σχεδιασμό φίλτρων σταθερής χρονικής καθυστέρησης ομάδος για δίκτυα διαμόρφωσης δέσμης συστοιχιών κεραιών που λειτουργούν στην ζώνη συχνοτήτων FR3 (7-24 GHz), εστιάζοντας στο εύρος ζώνης των 7-16 GHz, χρησιμοποιώντας γραμμές μεταφοράς και στελέχη (stubs). Τα φίλτρα με σταθερή καθυστέρηση ομάδος παρουσιάζουν ζωτική σημασία για την εξασφάλιση ακρίβειας στην καθοδήγηση της δέσμης και στην χωρική εστίαση. Η μεθοδολογία σχεδιασμού που προτείνεται χρησιμοποιεί αποκλειστικά γραμμές μεταφοράς και συντονισμένα στελέχη. Η συνολική μελέτη αποσκοπεί στην παροχή πληροφοριών σχετικά με τις απαραίτητες σχεδιαστικές εκτιμήσεις, τις προκλήσεις και τους συμβιβασμούς που σχετίζονται με τον σχεδιασμό αυτού του τύπου φίλτρων.

Λέξεις Κλειδιά— Μικροκυματικά Φίλτρα, Σταθερή χρονική καθυστέρηση ομάδος, Υπερευρεία ζώνη συχνοτήτων (7-16 GHz), στελέχη, μικροταινιακές γραμμές μεταφοράς, φαινόμενο στρέβλωσης δέσμης.

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην σφαίρα των δικτύων 5G, αλλά και των μελλοντικών δικτύων 6G, η ζώνη συχνοτήτων των 7-24 GHz, γνωστή και ως FR3 εμφανίζει απaráμιλλες ευκαιρίες αλλά και προκλήσεις. Το εκτεταμένο εύρος ζώνης και τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν οι υψηλές συχνότητες επιτρέπουν εξαιρετικά γρήγορους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και τεχνολογίες επικοινωνιών χαμηλής καθυστέρησης, καλύπτοντας την συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για εφαρμογές και υπηρεσίες που απαιτούν επαυξημένο εύρος ζώνης.

Στην Παγκόσμια Διάσκεψη Τηλεπικοινωνιών (World Radiocommunication Conference-WRC-2019) το 2019, εγκρίθηκε το ψήφισμα 245, προτείνοντας ότι οι Διεθνείς Κινητές Τηλεπικοινωνίες (IMT) θα μπορούσαν ενδεχομένως να χρησιμοποιήσουν το εύρος ζώνης 7.025-7.125 GHz

παγκοσμίως, την περιοχή 6.425-7.025 GHz για την Περιοχή 1 (Ευρώπη) και 10-10.5 GHz για την Περιοχή 2 (Αμερική). Αυτοί οι κανονισμοί, ουσιαστικά σημάνουν την χρήση αυτής της ζώνης συχνοτήτων για την λειτουργία ασυρμάτων συστημάτων 5G και 6G. Η ζώνη FR3 παρουσιάζει το σημαντικό πλεονεκτήματα έναντι της FR1 (410 MHz - 7125 MHz), ότι περιλαμβάνει αρκετές μη κατανομημένες συχνότητες για την υποστήριξη ενός ευρύτερου, όσον αφορά το εύρος ζώνης, καναλιού. Επιπλέον, σε σύγκριση με την ζώνη συχνοτήτων FR2 (52.6 GHz-71 GHz), τα συστήματα που λειτουργούν στην ζώνη FR3 παρουσιάζουν μικρότερες εξασθενίσεις και το κόστος υλοποίησης τους είναι σημαντικά μικρότερο.

Ωστόσο, η πλήρης αξιοποίηση των δυνατοτήτων του φάσματος FR3 απαιτεί εξελιγμένες τεχνικές διαμόρφωσης δέσμης για τη βελτιστοποίηση της διάδοσης του σήματος, την ενίσχυση της κάλυψης και τον μετριασμό των παρεμβολών σε πυκνά αστικά περιβάλλοντα. Εξαιτίας της ανάγκης για όλο και πιο διευρυμένα εύρη ζώνης, οι τεχνικές διαμόρφωσης δέσμης με φασιθέτες δεν είναι πλέον αποτελεσματικές και τεχνικές με εισαγωγή επίπεδων χρονικών καθυστερήσεων είναι απαραίτητες.

II. ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΣΤΡΕΒΛΩΣΗΣ ΔΕΣΜΗΣ

Ο κανονικοποιημένος παράγοντας συστοιχίας μίας γραμμικής συστοιχίας κεραιών παρουσιάζεται στην Εξίσωση (1):

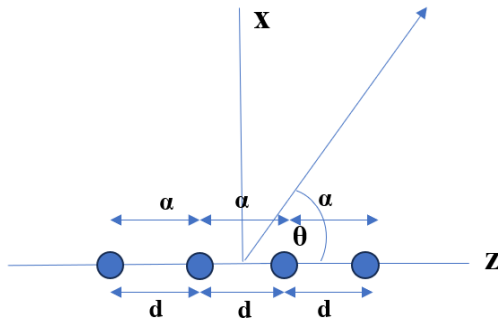
$$AF_n(\psi) = \frac{\sin\left(N\frac{\Psi}{2}\right)}{N\frac{\Psi}{2}} \quad (1)$$

Όπου η μεταβλητή Ψ , ονομάζεται σχετική φάση μεταξύ των στοιχείων που απαρτίζουν την συστοιχία και παρουσιάζεται στην Εξίσωση (2):

$$\Psi = kd \cos \theta + \alpha \quad (2)$$

Ως N συμβολίζεται ο αριθμός των κεραιών, k ο κυματάρθμος, d η απόσταση μεταξύ των στοιχείων, ως θ η γωνία παρατήρησης, η οποία υπολογίζεται σύμφωνα με τον

άξονα τον οποίο είναι τοποθετημένα τα στοιχεία (συνήθως άξονας-z) και ως a η διαφορά φάσης μεταξύ των στοιχείων. Στην Εικόνα (1) παρουσιάζεται μία γραμμική συστοιχία 4 κεραιών.



Εικόνα 1: Συστοιχία κεραιών 4 στοιχείων.

Ο παράγοντας συστοιχίας παρουσιάζει μοναδικό μέγιστο, στην γωνία παρατήρησης όπου η Εξίσωση (2) μηδενίζεται, δηλαδή ισχύει ότι $\Psi=0$.

$$\lim_{\Psi \rightarrow 0} \frac{\sin\left(N \frac{\Psi}{2}\right)}{N \frac{\Psi}{2}} = 1 \quad (3)$$

Από την Εξίσωση (3) προκύπτει το εξής:

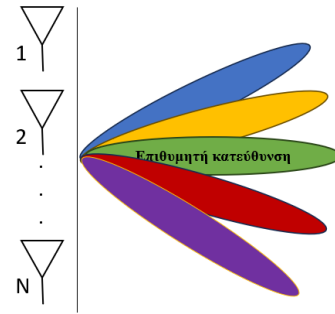
$$\psi = kd \cos \theta + \alpha = \pm 2m\pi \Rightarrow$$

$$\theta_m = \cos^{-1} \left[\frac{\lambda}{2\pi d} (-\alpha \pm 2m\pi) \right] \quad (4)$$

Το μοναδικό μέγιστο παρουσιάζεται όταν $m=0$, επομένως η Εξίσωση (4) αποκτά την μορφή:

$$\theta_m = \cos^{-1} \left(\frac{\lambda \alpha}{2\pi d} \right) \quad (5)$$

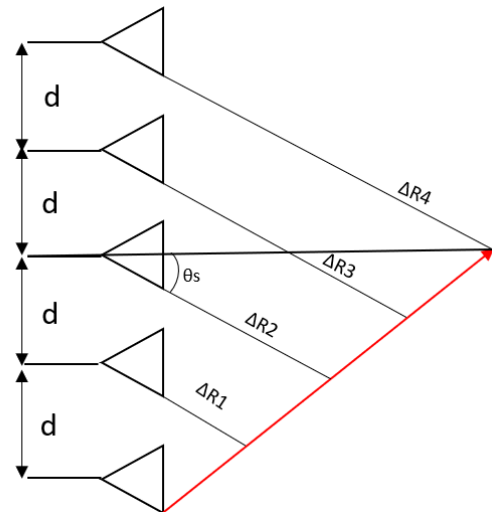
Όπου θ_m είναι η γωνία παρατήρησης για $\Psi=0$. Από την Εξίσωση (5), γίνεται αντιληπτό ότι η γωνία αυτή παρουσιάζει εξάρτηση από την συχνότητα, καθώς ένας παράγοντας της εξίσωσης είναι το μήκος κύματος λ . Για συστήματα με μικρά εύρη ζώνης, με τον έλεγχο της φάσης της τροφοδοσίας της κεραιάς μπορεί να ελεγχθεί ο προσανατολισμός του μεγίστου στον χώρο. Η διαδικασία αυτή μπορεί να υλοποιηθεί με απλούς φασιθέτες. Στην περίπτωση όμως που το εύρος ζώνης του σήματος είναι μεγάλο, η εξάρτηση από την συχνότητα δημιουργεί προβλήματα στην μετάδοση του σήματος. Καθώς η συχνότητα των σημάτων που εφαρμόζονται στη συστοιχία κεραιών μεταβάλλεται, μεταβάλλονται επίσης οι σχετικές διαφορές φάσης μεταξύ των σημάτων από τα διάφορα στοιχεία της κεραιάς. Αυτή η μεταβολή των διαφορών φάσης προκαλεί την απόκλιση της κύριας δέσμης της συστοιχίας κεραιών από την προβλεπόμενη κατεύθυνσή της σε διαφορετικές συχνότητες. Στην Εικόνα (2) παρουσιάζεται το φαινόμενο στρέβλωσης δέσμης (beam squint).



Διαμόρφωση Δέσμης σε Συστήματα Μεγάλου Εύρους Ζώνης

Εικόνα 2: Φαινόμενο Στρέβλωσης Δέσμης σε συστοιχίες κεραιών με μεγάλο εύρος ζώνης λειτουργίας.

Για την εξάλειψη του φαινομένου της στρέβλωσης της δέσμης, οι φασιθέτες αντικαθίστανται από στοιχεία σταθερής χρονικής καθυστέρησης. Έστω ότι ένα μεταδιδόμενο σήμα καταφθάνει σε μία συστοιχία N κεραιών, με συγκεκριμένη γωνία πρόσπτωσης θ_s . Η απόσταση μεταξύ των στοιχείων θα προκαλέσει καθυστερήσεις στην διάδοση, που εξαρτώνται από την γωνία πρόσπτωσης. Η διαφορά φάσης που θα προκληθεί, μπορεί να αναχθεί σε ζήτημα διαφοράς δρόμου, μέσω της Εξίσωσης (6), σε συνδυασμό με την Εικόνα (3):



Εικόνα 3: Μία συστοιχία κεραιών και με κόκκινο συμβολίζεται το μέτωπο φάσης.

Η διαφορά φάσης με την οποία θα φτάσει κάθε στοιχείο, δίνεται από την Εξίσωση (6):

$$\Delta\Phi_i = -k\Delta R_i \quad (6)$$

Όπου $\Delta R_i = id \sin \theta_s$, η οποία αποτελεί και την διαφορά δρόμου. Η Εξίσωση (6), ανάγεται ως εξής:

$$\Delta\Phi_i = -k id \sin \theta_s \quad (7)$$

Από την Εξίσωση (7), προκύπτει ότι η διαφορά φάσης μεταξύ του στοιχείου i και του αμέσως επόμενου, $i+1$ θα είναι ίση με:

$$\Delta\Phi_{i+1} - \Delta\Phi_i = kd\sin\theta_s \quad (8)$$

Όμως:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi f}{c} = \frac{\omega}{c}$$

Άρα η Εξίσωση (8), μετασχηματίζεται στην εξής μορφή:

$$\Delta\Phi_{i+1} - \Delta\Phi_i = \frac{\omega d}{c} \sin\theta_s \quad (9)$$

Για να παραμένει σταθερή η γωνία προσανατολισμού, η φάση των στοιχείων που απαρτίζουν την συστοιχία πρέπει να εμφανίζει αναλογική σχέση με την συχνότητα. Σύμφωνα με αυτό το χαρακτηριστικό, εξάγεται η Εξίσωση (10):

$$\Delta\Phi = \text{constant} \cdot \omega \quad (10)$$

Καθώς στον σχεδιασμό των φίλτρων αυτών θα χρησιμοποιηθούν μόνο μικροταινιακές γραμμές και στελέχη, η σχέση που αποδίδει την διαφοράς φάσης μεταξύ του σήματος εισόδου και του σήματος εξόδου ενός σήματος που διαδίδεται διαμέσου μίας γραμμής μεταφοράς, παρουσιάζεται στην Εξίσωση (11):

$$\Delta\Phi = -\beta l \quad (11)$$

Όπου l είναι το μήκος της γραμμής μεταφοράς και β η σταθερά διάδοσης. Το σήμα διαδίδεται μέσω της γραμμής, με ταχύτητα η οποία είναι ίση με την ταχύτητα ομάδος:

$$v_g = \frac{d\omega}{d\beta} \quad (12)$$

Η χρονική καθυστέρηση που εισάγεται από τη γραμμή μεταφοράς παρουσιάζεται στην Εξίσωση (13):

$$t_d = \frac{l}{v_g} = \frac{d(\beta l)}{d\omega} = -\frac{d(\Delta\Phi)}{d\omega} \quad (13)$$

Συνδυάζοντας τις Εξισώσεις (2) και (13), η απαιτούμενη χρονική καθυστέρηση για την ορθή στροφή του μεγίστου σε συγκεκριμένη γωνία (όταν $\Psi=0$), παρουσιάζεται στην Εξίσωση (14):

$$t_d = -\frac{d(\Delta\Phi)}{d\omega} = \frac{d(kd\cos\theta)}{d\omega} = \frac{\cos\theta}{2f_c} \quad (14)$$

Άρα, γνωρίζοντας την γωνία που η δέσμη πρέπει να στραφεί και με δεδομένη κεντρική συχνότητα λειτουργίας του συστήματος (f_c), μπορεί να υπολογιστεί η απαιτούμενη σταθερή χρονική καθυστέρηση ομάδος.

III. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΛΟΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΖΩΝΟΠΕΡΑΤΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ

Η προτεινόμενη μεθοδολογία σχεδιασμού φίλτρων σταθερής χρονικής καθυστέρησης βασίζεται στον συνδυασμό

δύο υπάρχουσών μεθοδολογιών, από τους D.M Pozar [4] και Matthaei et al [5]. Αρχικά, αφού υπολογιστεί η απαραίτητη ελάχιστη χρονική καθυστέρηση, για συγκεκριμένη στροφή δέσμης από την Εξίσωση (14), στην συνέχεια ακολουθεί υπολογισμός του αριθμού των στοιχείων που απαρτίζουν το ζωνοπερατό φίλτρο.

Η χρονική καθυστέρηση στο μέσο του εύρους ζώνης δίνεται από την Εξίσωση (15) [5]:

$$t_{d0} = \left(\frac{2\omega_1'}{\omega_2 - \omega_1} \right) t'_{d0} \quad (15)$$

Ός ω_1 και ω_2 συμβολίζονται οι ακτινικές, στα δύο άκρα του εύρους ζώνης συχνότητες, ω_1' συμβολίζεται η συχνότητα αποκοπής του αντίστοιχου πρότυπου χαμηλοπερατού φίλτρου και t'_{d0} συμβολίζεται η χρονική καθυστέρηση, μετρούμενη σε δευτερόλεπτα του πρότυπου χαμηλοπερατού φίλτρου. Για την συγκεκριμένη διαδικασία, πρέπει πρώτον να υπολογιστεί η χρονική καθυστέρηση t'_{d0} , μέσω της Εξίσωσης (16) [5]:

$$t'_{d0} = \left(\frac{\omega_2 - \omega_1}{2\omega_1'} \right) t_{d0} \quad (16)$$

Όπου $\omega_1'=1$ για το πρότυπο χαμηλοπερατό φίλτρο. Στην συνέχεια, για την εύρεση του αριθμού των στοιχείων του φίλτρου πρέπει να συνδυαστεί η Εξίσωση (17) [5], με τον Πίνακα 1 [5]:

$$t'_{d0} = C_n \quad (17)$$

Όπου C_n είναι συντελεστές ίσοι με την χρονική καθυστέρηση ομάδος σε δευτερόλεπτα, όταν η ακτινική συχνότητα ω' τείνει στο μηδέν. Οι συντελεστές αυτοί παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Συντελεστές C_n , ανάλογα με το πλήθος των στοιχείων του φίλτρου.

n	C_n	n	C_n
1	1.00	9	5.76
2	1.41	10	6.39
3	2.00	11	7.03
4	2.61	12	7.66
5	3.24	13	8.30
6	3.86	14	8.93
7	4.49	15	9.57
8	5.13		

Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, η τιμή του t'_{d0} δεν θα είναι ίση ακριβώς με την αντίστοιχη τιμή του C_n , αλλά θα βρίσκεται ενδιάμεσα σε δύο τιμές συντελεστών, που αντιστοιχούν σε διαφορετικό αριθμό στοιχείων. Στην περίπτωση αυτή, είναι στην ευχέρεια του σχεδιαστή να επιλέξει με ποιον αριθμό στοιχείων θα σχεδιάσει το κύκλωμα

του. Στην περίπτωση αυτή, το εύρος ζώνης πρέπει να μεταβληθεί σύμφωνα με την Εξίσωση (18) [5]:

$$\omega_2 - \omega_1 = \frac{2\omega_1 t'_{d0}}{t_{d0}} \quad (18)$$

Το επόμενο βήμα, είναι η εύρεση των τιμών των στοιχείων του πρότυπου χαμηλοπερατού φίλτρου, από τον Πίνακα 2, ο οποίος δίνεται από τον D.M Pozar [4].

Πίνακας 2: Τιμές στοιχείων πρότυπου χαμηλοπερατού φίλτρου για φίλτρα επίπεδης χρονικής καθυστέρησης [4]

N	g ₁	g ₂	g ₃	g ₄	g ₅	g ₆	g ₇	g ₈	g ₉	g ₁₀	g ₁₁
1	2.0000	1.0000									
2	1.5774	0.4226	1.0000								
3	1.2550	0.5528	0.1922	1.0000							
4	1.0598	0.5116	0.3181	0.1104	1.0000						
5	0.9303	0.4577	0.3312	0.2090	0.0718	1.0000					
6	0.8377	0.4116	0.3158	0.2364	0.1480	0.0505	1.0000				
7	0.7677	0.3744	0.2944	0.2378	0.1778	0.1104	0.0375	1.0000			
8	0.7125	0.3446	0.2735	0.2297	0.1867	0.1387	0.0855	0.0289	1.0000		
9	0.6678	0.3203	0.2547	0.2184	0.1859	0.1506	0.1111	0.0682	0.0230	1.0000	
10	0.6305	0.3002	0.2384	0.2066	0.1808	0.1539	0.1240	0.0911	0.0557	0.0187	1.0000

Το πρότυπο χαμηλοπερατό πρέπει να μετασχηματιστεί στο ζητούμενο ζωνοπερατό. Το πρώτο στοιχείο στον σχεδιασμό από παράλληλο πυκνωτή θα μετασχηματιστεί σε παράλληλο συντονισμένο LC, συνδεδεμένο παράλληλα. Οι τιμές των στοιχείων δίνονται μέσω των Εξισώσεων (19) και (20):

$$L_{k,shunt} = \frac{g_k Z_0}{\Delta\omega_c} \quad (19)$$

$$C_{k,shunt} = \frac{g_k}{Z_0 \Delta\omega_c} \quad (20)$$

Η μεταβλητή Δ ονομάζεται κλασματικό εύρος ζώνης και υπολογίζεται ως εξής:

$$\Delta = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_c} \quad (21)$$

Αντιστοίχως, το εν σειρά συνδεδεμένο πηνίο του πρότυπου χαμηλοπερατού, θα μετασχηματιστεί σε ένα εν σειρά συντονισμένο LC, συνδεδεμένο σε σειρά, με χωρητικότητα και αυτεπαγωγή που υπολογίζονται από τις Εξισώσεις (22) και (23).

$$L_{k,series} = \frac{Z_0 g_k}{\Delta\omega_c} \quad (22)$$

$$C_{k,series} = \frac{\Delta}{\omega_c g_k Z_0} \quad (23)$$

Εξαιτίας των υψηλών συχνοτήτων λειτουργίας, δεν είναι εφικτός ο σχεδιασμός με συγκεντρωμένα στοιχεία. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται συντονισμένα στελέχη, συνδεδεμένα παράλληλα, καθώς οι σχεδιασμοί που θα ακολουθήσουν στην πλειονοψηφία των στελεχών χρησιμοποιούν μικροταινιακά στελέχη, τα οποία υλοποιούνται μόνο ως παράλληλα. Τα ζωνοπερατά φίλτρα υλοποιούνται με στελέχη μήκους $\lambda_g/4$. Η χαρακτηριστική αντίσταση του παράλληλου στελέχους, που προκύπτει από το παράλληλα

συνδεδεμένο και παράλληλα συντονισμένο κύκλωμα, δίνεται από την Εξίσωση 24:

$$Z_{0s} = \frac{\pi}{4\omega_c C_k} \quad (24)$$

Τα σε σειρά LC, τα οποία είναι συνδεδεμένα σε σειρά, μετατρέπονται σε παράλληλα LC, συνδεδεμένα εν παραλλήλω, με την χρήση μετασχηματιστών, δηλαδή γραμμών μεταφοράς με μήκος $\lambda_g/4$. Οι μετασχηματιστές αυτοί συμβάλλουν και στον φυσικό διαχωρισμό μεταξύ των στοιχείων. Οι νέες τιμές των συγκεντρωμένων στοιχείων υπολογίζονται από τις Εξισώσεις (25) και (26):

$$L'_{k,shunt} = Z_0^2 C_{k,series} \quad (25)$$

$$C'_{k,shunt} = \frac{L_{k,series}}{Z_0^2} \quad (26)$$

Μετά την ολοκλήρωση της μετατροπής, η χαρακτηριστική αντίσταση του παράλληλου βραχυκυκλωμένου στελέχους υπολογίζεται από την Εξίσωση (24).

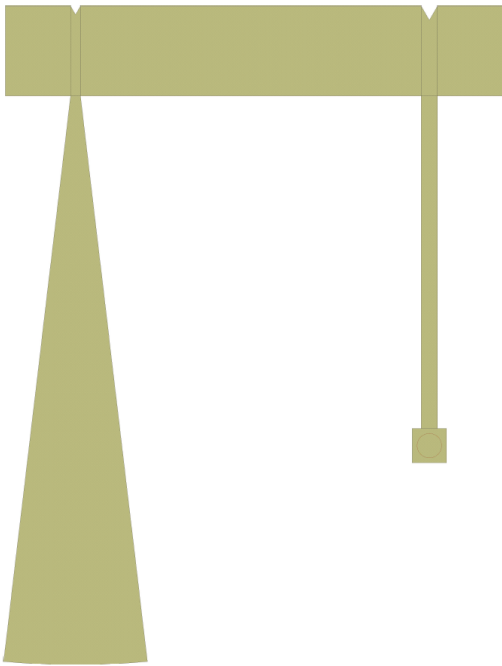
IV. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ

Η προσομοίωση που θα παρουσιαστεί σε αυτήν την εργασία αφορά ένα φίλτρο που εισάγει ελάχιστη χρονική καθυστέρηση 47.245 ps, για στροφή δέσμης στις 90 μοίρες, στο εύρος ζώνης 7-16 GHz. Σύμφωνα με την μεθοδολογία, θα χρειαστεί ένα φίλτρο δεύτερης τάξης, με τα στελέχη του να έχουν χαρακτηριστικές αντιστάσεις ίσες με 22.60 Ω και 84.29 Ω . Το στέλεχος με χαρακτηριστική αντίσταση 22.60 Ω επιλέχθηκε να είναι ακτινικό, διότι τα ακτινικά στελέχη προσφέρουν ευρυζωνικότητα και είναι ιδανικά για την περίπτωση όπου η χαρακτηριστική αντίσταση είναι μικρή και υπάρχει αβεβαιότητα για το σημείο εισόδου του στελέχους στην γραμμή εξαιτίας του μεγάλου πλάτους.

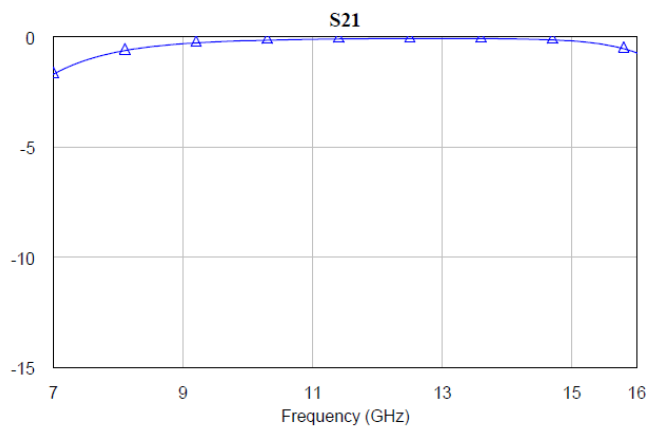
Η προσομοίωση έγινε με διηλεκτρικό στρώμα Rogers-4003C, με διηλεκτρική σταθερά σχεδιασμού 3.55, πάχος 0.508 mm και εφαπτομένη απωλειών 0.0027. Το ακτινικό στέλεχος, αντί βραχυκυκλωμένου με μήκος $\lambda_g/4$, υλοποιήθηκε ως ανοιχτοκυκλωμένο με μήκος $\lambda_g/2$, διότι η υλοποίηση βραχυκυκλωμένου απαιτεί πολλαπλές γειώσεις. Το layout της προσομοίωσης παρουσιάζονται στην Εικόνα (4).

Επιπρόσθετα, στις διακλαδώσεις-T, έγιναν εγκοπές με σκοπό την βελτίωση των ασυνεχειών και την μείωση των ανακλάσεων. Στην Εικόνα (5) παρουσιάζεται η απόκριση του φίλτρου (παράμετρος S21).

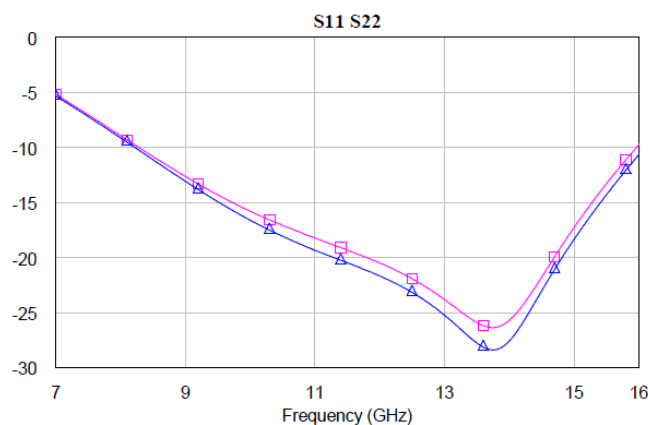
Επιπλέον, το γεγονός ότι το φίλτρο δεν παρουσιάζει αποκοπή στο σημείο των -3dB στα άκρα του εύρους ζώνης δεν αποτελεί ένδειξη προβληματικού σχεδιασμού. Ο ιδανικός σχεδιασμός ενός φίλτρου σταθερής χρονικής καθυστέρησης θα το καθιστούσε ολοπερατό φίλτρο. Το κύριο μέλημα στον σχεδιασμό είναι η επιπεδότητα στην απόκριση, η οποία έχει επιτευχθεί για ένα σημαντικό τμήμα του εύρους ζώνης. Στην Εικόνα (6), παρουσιάζονται οι παράμετροι S₁₁ (με μπλε) και S₂₂ (με ροζ) του φίλτρου.



Εικόνα 4: Layout του φίλτρου δεύτερης τάξης, υλοποιημένο με ακτινικά και ομοιόμορφα στελέχη

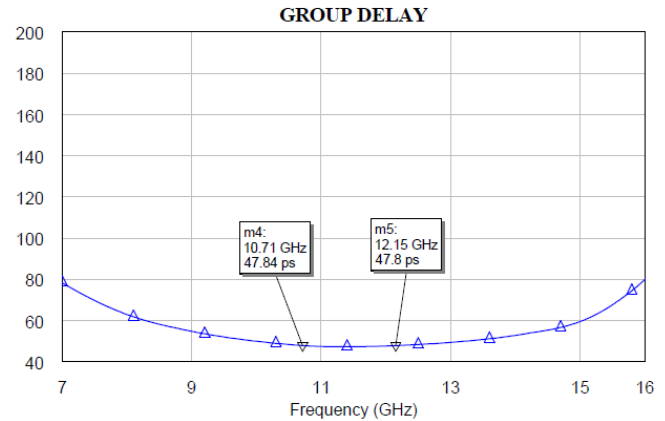


Εικόνα 5: Απόκριση S_{21} του φίλτρου

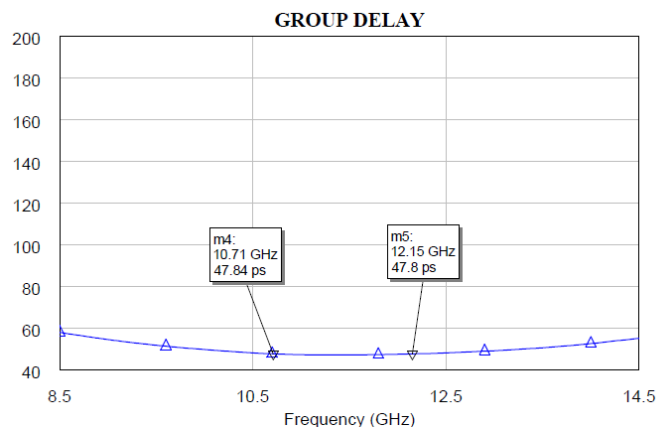


Εικόνα 6: Παράμετροι S_{11} και S_{22}

Στις Εικόνες (7) και (8), παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την χρονική καθυστέρηση ομάδος.



Εικόνα 7: Καθυστέρηση Ομάδος στο εύρος 7-16 GHz



Εικόνα 8: Καθυστέρηση ομάδος στο εύρος 8.5-14.5 GHz

Τέλος, στην Εικόνα (7), παρατηρείται ότι υπάρχει απόκλιση στην χρονική καθυστέρηση στα άκρα του εύρους ζώνης. Στην Εικόνα 8, γίνεται αντιληπτό ότι στα μέσα του εύρους ζώνης (περίπου 8.5-14.5 GHz) η χρονική καθυστέρηση ομάδος εμφανίζει σημαντική επιπεδότητα. Σε κάθε περίπτωση, γίνεται αντιληπτό ότι ο στόχος για ελάχιστη χρονική καθυστέρηση ίση με 47.245 ps έχει επιτευχθεί. Επομένως, πρέπει να γίνει συμβιβασμός για τον σχεδιασμό, ότι η χρονική καθυστέρηση δεν θα εμφανίζει επιπεδότητα σε όλο το εύρος ζώνης, αλλά στο μεγαλύτερο τμήμα αυτού.

V. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στην εργασία αυτή, πραγματοποιήθηκε ανάλυση για μία προτεινόμενη μέθοδο σχεδιασμού και προσομοίωση ενός φίλτρου δεύτερης τάξης, με επίπεδη χρονική καθυστέρηση ομάδος, για εισαγωγή ελάχιστης χρονικής καθυστέρησης 47.245 ps. Ο σκοπός σχεδιασμού του φίλτρου αυτού, είναι η χρήση του σε δίκτυα διαμόρφωσης δέσμης στην ζώνη συχνοτήτων 7-16 GHz. Από τις προσομοιώσεις προκύπτει ότι η χρονική καθυστέρηση εμφανίζει επιπεδότητα σε ένα σημαντικό τμήμα του εύρους ζώνης. Σε αυτήν την κατεύθυνση, το επόμενο βήμα είναι η περαιτέρω βελτίωση της επιπεδότητας στο ζητούμενο εύρος ζώνης και η

βελτίωση των παραμέτρων S_{11} και S_{22} . Ακόμη, είναι εφικτό να σχεδιαστούν φίλτρα μεγαλύτερης τάξης για την επίτευξη μεγαλύτερων χρονικών καθυστερήσεων, τα οποία όμως απαιτούν συνδυασμό τύπων στελεχών (για παράδειγμα συνδυασμό μικροταινιακών στελεχών και στελεχών ομοεπίπεδου κυματοδηγού), εξαιτίας της ανάγκης υλοποίησης μεγαλύτερων χαρακτηριστικών αντιστάσεων.

REFERENCES

- [1] C. A. Balanis, *Antenna theory: Analysis and Design*. Wiley, 1996
- [2] M. Q. Abdalrazak, A. H. Majeed, and R. A. Abd-Alhameed, "A Critical Examination of the Beam-Squinting Effect in Broadband Mobile Communication: Review paper," *Electronics*, vol. 12, no. 2, p. 400, Jan. 2023, doi: 10.3390/electronics12020400.
- [3] K. Spoof, V. Unnikrishnan, M. Zahra, K. Stadius, M. Kosunen, and J. Ryyänen, "True-Time-Delay beamforming receiver with RF Re-Sampling," *IEEE Transactions on Circuits and Systems I-regular Papers*, vol. 67, no. 12, pp. 4457–4469, Dec. 2020, doi: 10.1109/tcsi.2020.3005475.
- [4] D. M. Pozar, *Microwave engineering*. Wiley Global Education, 2021.
- [5] G. L. Matthaei, L. Young, and E. M. T. Jones, *Microwave filters, impedance-matching networks, and coupling structures*. Artech Microwave Library, 1980.
- [6] I. Rosu, "Microstrip, Stripline, CPW, and SIW Design." https://www.qsl.net/va3iul/Microstrip_Stripline_CPW_Design/Microstrip_Stripline_and_CPW_Design.pdf
- [7] Δ. Λιάλιος, "Σχεδιασμός Μιλιμετρικού (mmwaves) Δικτύου
- [8] Διαμόρφωσης Δέσμης Πραγματικού Χρόνου Καθυστέρησης με Χρήση Τεχνικών Φίλτρων Φάσης", 2019.
- [9] Rogers Corporation. "RO4000® Series High Frequency Circuit Materials." <https://rogerscorp.com/-/media/project/rogerscorp/documents/advanced-electronics-solutions/english/data-sheets/ro4000-laminates-ro4003c-and-ro4350b---data-sheet.pdf>
- [10] Z. Cui, P. Zhang, and S. Pollin, "6G wireless communications in 7-24 GHz band: Opportunities, techniques, and challenges," *arXiv (Cornell University)*, Oct. 2023, doi: 10.48550/arxiv.2310.06425.
- [11] F. Giannini, M. Ruggieri and J. Vrba, "Shunt-Connected Microstrip Radial Stubs," *IEEE Transactions on Microwave Theory Techniques*, Vol. 34, No. 3, 1986, pp. 363- 366. doi:10.1109/TMTT.1986.1133347

An AMR's (Autonomous Mobile Robot) journey to RoboCup@Work

Altzi Tsanko

*Department of Production and Management Engineering
Democritus University of Thrace
Xanthi, Greece
altztsan@duth.gr*

Athanasios Petsanis

*Department of Electrical and Computer Engineering
Democritus University of Thrace
Xanthi, Greece
athpets8@gmail.com*

Dimitrios Ellinoudis

*Department of Production and Management Engineering
Democritus University of Thrace
Xanthi, Greece
dellinou@pme.duth.gr*

Iordanis Iordanidis

*Department of Production and Management Engineering
Democritus University of Thrace
Xanthi, Greece
iordiord@pme.duth.gr*

Kiriaki Fanaridou

*Department of Electrical and Computer Engineering
Democritus University of Thrace
Xanthi, Greece
kyriakifana@gmail.com*

Maria Areti Germanou

*Department of Electrical and Computer Engineering
Democritus University of Thrace
Xanthi, Greece
mgermanou2000@gmail.com*

Orestis Tzafai

*Department of Production and Management Engineering
Democritus University of Thrace
Xanthi, Greece
orestisjf14@gmail.com*

Theodoros Rossidis

*Department of Electrical and Computer Engineering
Democritus University of Thrace
Xanthi, Greece
theoross@duth.gr*

Abstract—This document presents the work of Democritus Industrial Robotics (DIR), a start-up team currently focused on the RoboCup@Work League. It describes the route the team took to overcome and solve the league's challenges. Furthermore it is a guide for anyone that wants to use ROS for AMRs, since we have tried a lot of different approaches and noted down only the ones that worked.

Index Terms—RoboCup@Work, DIR, LRA, ROS, SLAM, AMCL, move_base, YOLOv4, RViz, Fusion 360, Flexbe, RealSense, Manipulation, WidowXL, IMU, Noise Filtering, AMR

I. OUR WORK

A. Autonomous Navigation & Mapping

The Autonomous Navigation (or simply Navigation) sub-team's purpose is to map Talos' environment, merge the sensors' measurements, and use localisation and autonomous navigation algorithms to accurately measure the robot's position, find the optimal path to a desired destination and guide the robot there. The navigation system is based on the ROS navigation stack. The following paragraphs are a description of the main components that constitute navigation

and are used in the same order as they are presented.

LiDARs: In a Laser Imaging, Detection, and Ranging (LiDAR or Lidar) system, laser beams are emitted from a rapidly firing source. These beams travel to the environment, in which a robot may move, and reflect on surfaces like wooden obstacles, walls and workstations. Then, the reflected beams return to the lidar sensor, where they are recorded. A lidar system measures the time it takes for an emitted beam to travel to an obstacle and back. That time is used to calculate the distance between the lidar sensor and the obstacle. The working principle of a lidar system is similar to that of a radar or a sonar. The difference between them is the type of wave that is used. Radar systems use radiowaves or microwaves, sonar systems use sound waves, and lidars use laser beams. TALOS has two lidar sensors.

Merger: Each one of TALOS' lidars publishes in its ROS own topic. An open source ROS node called "ira_laser_tools" is used to merge these topics into a single one.

LiDAR Noise Filtering: Lidar echo signals are easily contaminated by noise, which severely affects the retrieval accuracy and the effective detection range of the lidar system. Close proximity noise (noise relevant to an area $\leq 1.5m$

around the robot) has been the culprit of many issues the team has faced. This is why, DIR created a range filter algorithm which calculates the median of a region, defined by a number of rays, and then checks if any element of that region deviates more than 20% from the median. In that case, this element is replaced by another. The new element is located in an extreme distance from the robot (e.g. 10m). The output of this filter is published in a ROS topic and used when needed.

Mapping: For navigation to take place, a description of the environment is required. Mapping is the process where the robot explores the environment (oftentimes manually) and constructs a corresponding 2D map. Simultaneous Localisation and Mapping (SLAM) algorithms, like gmapping, are used. SLAM is able to produce a map -in pgm format- using the Lidars' laser scans. GNU Image Manipulator (GIMP) is, also, used to correct mistakes made by SLAM.

Sensor Fusion and Extended Kalman Filter (EKF): In dynamic and competitive environments, ensuring precise and agile navigation is paramount. To achieve this, integrating data from multiple sensors to offset the limitations of individual sensors is essential. This section outlines a system that fuses data from an Inertial Measurement Unit (IMU) and wheel odometry using an Extended Kalman Filter within the Robot Operating System (ROS) framework, aiming for enhanced navigation accuracy.

An Inertial Measurement Unit (IMU) is a critical sensor in robotics, providing vital information about the robot's orientation, angular velocity, and linear acceleration. Consisting of a combination of accelerometers, gyroscopes, and sometimes magnetometers, IMUs help in estimating the robot's pose and movements relative to its starting position. DIR uses an Arduino Nano 33 BLE, which has a built-in LSM9DS1 IMU. This is a 9-axis IMU that comprises of a 3-axis magnetometer, a 3-axis accelerometer and a 3-axis gyroscope. These values, however, do not directly provide information about the robot's position and orientation, which need to be derived. Specifically, DIR is interested in the x,y coordinates, and the z-axis angle of the robot, in the 2D plain, which are derived from the IMU's measurements with mathematical equations. In ROS, the IMU data is published on the `/imu` topic, utilising the sensor msgs/Imu message type. This message includes comprehensive details such as the orientation (expressed as quaternion components x, y, z, w), orientation covariance, angular velocity, angular velocity covariance, linear acceleration, and linear acceleration covariance.

Wheel odometry involves estimating the robot's pose and velocity based on the rotation of its wheels. This method is particularly useful for robots navigating on relatively flat and non-slippery surfaces, where the wheel rotations can be accurately translated into movements in space. In ROS, wheel odometry data is published on the `nav_msgs/Odometry` message, which is published on the `/odom_topic`. This message provides the robot's pose, which comprises its position and orientation, alongside its twist, capturing both

its linear and angular velocity, all within a specified frame of reference. Similar to the IMU data, the odometry message also includes covariance matrices for the pose and twist, reflecting the uncertainty of these measurements.

However, despite their utility, both IMU and wheel odometry sensors are subject to noise and inaccuracies that can introduce significant errors in pose estimation over time. This inherent noise underscores the necessity for a more advanced method to fuse these data streams effectively, thereby enhancing the reliability and accuracy of the robot's navigation system. For these reasons, the members of the Navigation sub-team have chosen to employ the Extended Kalman Filter (EKF), which is a statistical filter that operates recursively in a prediction and update block.

More specific, in Talos' case, the state is expressed as the position (x_t) , (y_t) and orientation (yaw_t) in a specified reference frame. The state prediction step is fundamentally dependent on the IMU data, which provide the control vector, at a frequency of 104 Hz, and is consisted of the linear velocity (v_t) and angular velocity (ω_t) . Among the various models available, the Constant Turn Rate and Velocity (CTRV) motion model has been selected for its efficacy in capturing the dynamics of vehicular motion. The update phase of the EKF relies on odometry data, serving as the measurement vector to correct the predicted state. This odometry data, which includes the robot's pose (x_t) , (y_t) , (yaw_t) is sampled at a frequency of 15 Hz. By integrating these measurements, the EKF refines its state estimate, improving the accuracy of the robot's perceived position and orientation.

Adaptive Monte Carlo Localisation (AMCL): Now that we possess the map and a good estimation of the robot's pose, we can run the localisation algorithm. Localisation means the robot must accurately infer it is located in the map and our algorithm of choice for this purpose is AMCL. As its name suggests, Adaptive Monte Carlo Localisation uses random sampling of the so-called particles (i.e. points in the map, with pose information, that the robot could be located at) to adapt the assumption of where the robot is located. AMCL takes as input the pre-scanned map, the current LiDAR measurements, the current EKF pose measurement and outputs the assumed location (and orientation) on the map based on the available sampled particles. It does this by figuring out which of the available particles match the current measurements. The estimation is improved progressively, meaning that the algorithm hones in on the true location of the robot as it moves around and observes more of its surrounding environment. We can execute the AMCL algorithm for either the static case -where the map is unchanged- or the dynamic case -where dynamic elements have been introduced inside the map like a new obstacle-.

Autonomous navigation needs to know three things: 1) its environment 2) its position in the environment 3) how it will move in one place to another. In order to achieve: 1) Firstly the map previously generated, is provided 2) then localization is

launched, the preferred algorithm is AMCL (Adaptive Monte Carlo Localization) 3) finally the `move_base` is launched to produce the optimal global & local path that avoid static obstacles. The global path is produced by **navfn algorithm** and the local by the **base_local_planner**. The importance of having a significant number of elements in the environment is enormous, otherwise the robot will not do proper localization and its belief in where it locates, will be constantly fluctuating.

Another innovative development by the team is the creation of a ROS wrapper for the IMU, which is publicly available at¹. The team accomplished this by utilizing the LSM303DLHC Python libraries provided by Adafruit [7] and leveraging their expertise in I2C protocols. The inspiration for this ROS wrapper stemmed from Ooyindamola's `lsm9ds1_ros_python` repository [8].

B. Manipulation

The Arm Manipulation (or Arm) sub-team's purpose is to programme the robot arm (or manipulator), so that it goes to an object's initial position, it grabs the object and gets it to its desired position.

The robot arm which has been chosen is the WidowXL Robot Arm Kit. This decision was based on several factors, such as: the cost, the maximum reach, the total payload etc. Up to the point of ordering, tests were made on a simulation, based on a step CAD file of the arm. Since the documentation for the WidowXL was deficient, customising and manually creating the URDF model and the MoveIt! configuration of the arm was necessary. The motion of the arm is controlled through the `move_group` python interface. More specifically, it receives a Pose Goal (x,y,z coordinates and orientation) for the end effector from the camera attached to the manipulator. By using inverse kinematics, the `move_group` plans a collision-free path to the object. Finally, the manipulator executes the planned motion in order to grasp the target and place it to the desired place.

In the immediate future, DIR plans to replace the WidowXL arm with the MyCobot 320 M5 arm by Elephant Robotics. This will address several technical problems the team has had.

C. Vision

The Vision sub-team's purpose is to train a computer vision model, which recognises every object that has to be recognised according to the RoboCup@Work rulebook, and pass the necessary information to Navigation or Arm packages.

The approach utilises a combination of deep learning techniques, traditional computer vision methods, and integration with the Robot Operating System (ROS) to achieve robust performance. Initially, a Deep Neural Network architecture based on YOLOv4, with the Darknet backbone,

is trained, on an extended dataset, to recognise the objects of interest, yielding satisfactory results with an average Intersection over Union (IoU) of 79.64% and mean Average Precision (mAP) of 98.97%, at an IoU Threshold of 50%. Additionally, traditional computer vision approaches are employed to address challenges such as object orientation, cavity detection, and barrier tape localisation, with ongoing efforts to enhance their reliability. Furthermore, a barrier tape localisation algorithm, utilising OpenCV and point cloud filtering, is developed and integrated into the common costmap, in order to facilitate obstacle avoidance during robot navigation. In pursuit of performance enhancement, our team is currently testing YOLOv5 and YOLOv8 models for deployment on the Jetson Xavier AGX platform. This endeavour aims to leverage the computational power and energy efficiency of the Jetson Xavier AGX to achieve real-time object detection with minimal latency, thereby augmenting the autonomy and responsiveness of the robotic system. Through rigorous testing, optimisation, and integration efforts, we strive to advance the capabilities of our computer vision system, ultimately enhancing the competitiveness of our team in the RoboCup@Work competition.

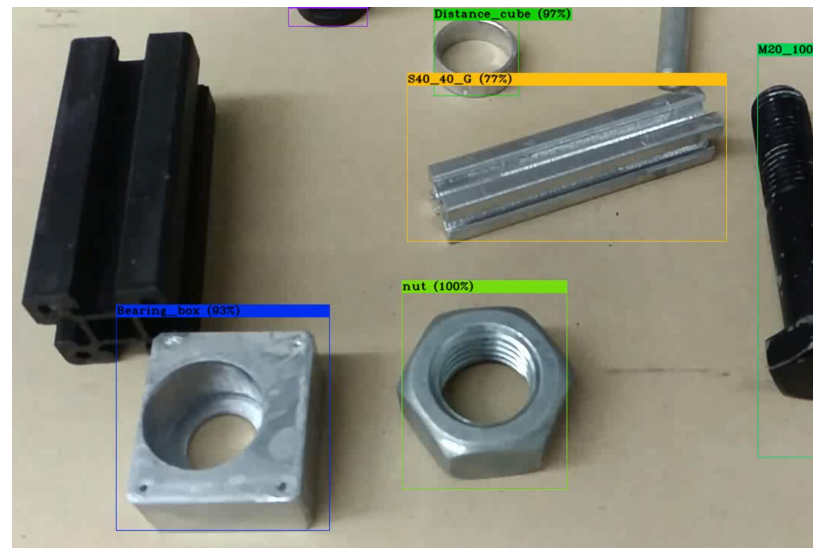


Fig. 1. YOLOv4 Predictions

Additionally, traditional computer vision approaches are implemented to solve the problems of object orientation, cavity and barrier tape detection and are currently working on making them more reliable.

To solve the barrier detection problem: 1) Firstly image taken is transformed into bird's eye view, 2) then converted the RGB image to HSV values, 3) run colour detection algorithms, 4) converted the image to grayscale and run edge detection algorithms, 5) finally combined the colour and edge detection and drew a bounding box around the barrier tape

¹https://github.com/sendrosath/lsm303dlhc_ros

D. State Machine

The robot’s behavior is dictated by the state machine overview shown in Fig. 2. The team went with a simple approach, trying to set a modular framework that satisfies the basic requirements of the underlying tasks but at the same time allows room for future improvements. The final behavior is split into five main sub-behaviors that communicate required information with each other:

- 1) The **Initialization behavior**. Responsible for receiving the map, alongside with its semantic information and localizing the robot on it. In the future, this behavior can also acquire a “discovery” feature that allows the robot to explore and map an unknown environment, gathering semantic information as it moves.
- 2) The **Task Planner**. Receives the generated tasks from the referee box and optimizes their order of execution using A* graph-based search. It is also responsible for prioritizing the manipulation of objects in the pick and place pipeline.
- 3) The **Navigation behavior**, which is essentially an implementation of the move_base functionality of ROS’s AMCL package.
- 4) The **Vision stack**; consisting of a set of states calling actions/ services that implement tasks such as object/ cavity detection and are callable by their respective clients.
- 5) The **Manipulation behavior**, which receives input from the Vision stack and with the help of MoveIt! controls the robotic arm to manipulate the requested objects.

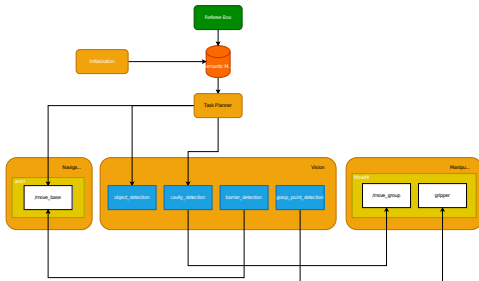


Fig. 2. Overview of the state machine framework.

The general goal for the state machine is to create a robust robot behavior that is not prone to failures by adding error handling capabilities and task re-routing. However, as of the conception of this paper no such functionality has been included for demonstration. The above implementation was achieved in FlexBe.

E. Simulation

Using the Unity game engine and Fusion360 as the main CAD program, the team successfully integrated the robot into a simulation virtual environment. This allowed for a comprehensive virtual simulation of the robot’s operations. The project utilized packages for ROS integration, comprising a set of component-level tutorials demonstrating how to establish communication between ROS and Unity, supported

within Unity. Additionally, a URDF importer was downloaded to the project. The setup of the simulation scene included the implementation of main and minimap cameras, akin to those found in a third-person shooter game. When modeling a robot in simulation, various components need to be considered, including visual meshes, collision meshes, and physical properties. Visual meshes are crucial for rendering the robot realistically, while collision meshes are essential for calculating collisions between the robot’s “links” and other objects in the environment. These meshes are typically less complex than visual meshes to ensure faster collision-checking, as it can be computationally intensive. Furthermore, accurate simulation of physical properties such as inertia, contact coefficients, and joint dynamics is vital for realistic physics simulation. This includes computing how forces on the robot’s links lead to changes in the robot’s state, such as pose, velocity, or acceleration. Fortunately, the ROS development workflow provides a standardized way of describing all these properties through the Universal Robot Description Format (URDF). URDF files, which are XML files, allow for the specification of visual, collision, and physical properties in a human-readable markup language. Additionally, URDF files can include mesh files for defining complex geometries.

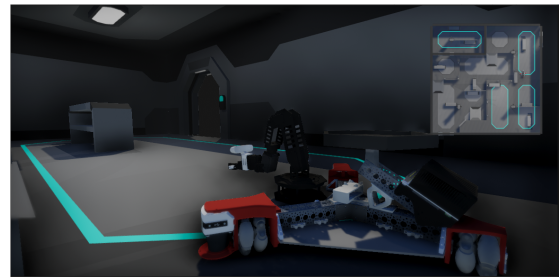


Fig. 3. TALOS in Unity

Both the navigation and manipulation stacks are implemented in order to work inside a gazebo simulation as you can see in the following snapshots:

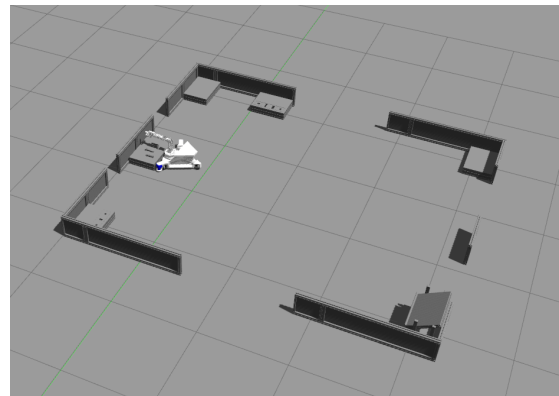


Fig. 4. Environment in gazebo

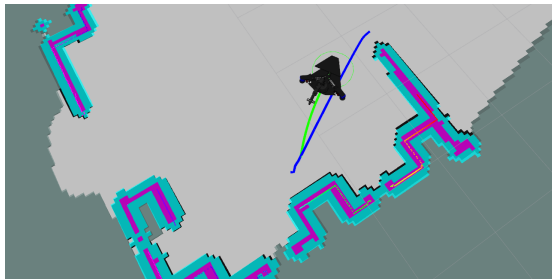


Fig. 5. Launching move_base along with AMCL

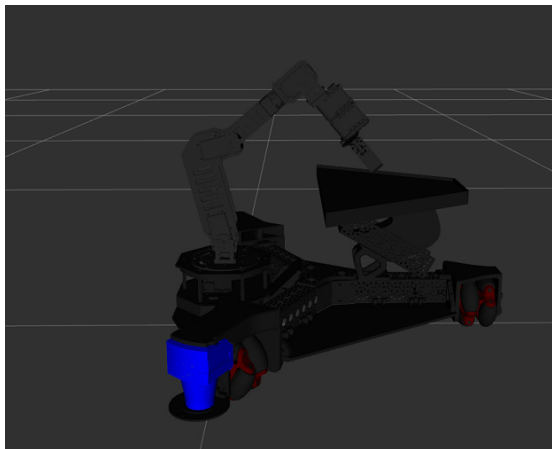


Fig. 6. Placing

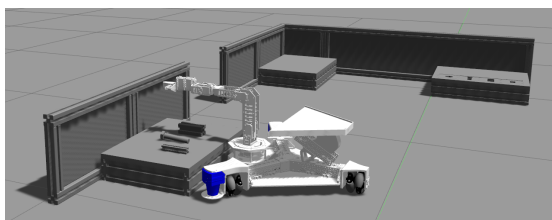


Fig. 7. Watching

II. ACKNOWLEDGEMENTS

Democritus Industrial Robotics (DIR) is a student group active in the field of Industrial Robotics, comprising robotics enthusiasts studying in Greek and other international universities. The vision of the team is to integrate robotic solutions into everyday life and industry. The DIR team works under the supervision of Professor Antonios Gasteratos, Head of the P.M.E. Department, and Assistant Professor Loukas Bampis, proudly representing the D.U.Th. university and the country of Greece in RoboCup, the biggest robotics competition worldwide.

DIR was founded in 2018 and currently engages 27 active members from several university departments across the university. Given the members' studies and their personal interest in robotics, the main goal is to develop a fully autonomous platform with object recognition and grasping capabilities. Towards this direction, a prototype was firstly built and

programmed, so that the team could study and experiment on a smaller scale. This is firmly considered a crucial step, as prototyping is of great importance in product engineering, and especially in innovative design. Having tested several algorithms, the team proceeded with the design, construction, and programming of the final robotic platform, which is the main topic of this paper.

DIR consists of the following three (3) departments: Programming, Construction, and Marketing.

III. TEAM

More information about the team structure and its members can be found at our website <https://dir.com.gr/>

REFERENCES

- [1] Codd-Downey, R., Mojiri Forooshani, P., Speers, A., Wang, H., & Jenkin, M. From ROS to unity: Leveraging robot and virtual environment middleware for immersive teleoperation. (2014)
- [2] Nikita Vaneev: Building a virtual environment in Unity based on a robot's perception. University of Twente, Netherlands (2018)
- [3] Zhirong Zhou, Dengxin Hua, Yufeng Wang, Qing Yan, Shichun Li, Yan Li, Hongwei Wang, Improvement of the signal to noise ratio of Lidar echo signal based on wavelet de-noising technique, Optics and Lasers in Engineering, Volume 51, Issue 8, 2013, Pages 961-966, ISSN 0143-8166, <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2013.02.011>.
- [4] Unity Blog, <https://blog.unity.com/technology/robotics-simulation-in-unity-is-as-easy-as-1-2-3>. (Nov 2020)
- [5] Github, <https://github.com/Unity-Technologies/Unity-Robotics-Hub>.
- [6] "navigation - ROS Wiki" <http://wiki.ros.org/navigation> (accessed Mar. 10, 2022)
- [7] "LSM303 Accelerometer + Compass Breakout," Adafruit Learning System. <https://learn.adafruit.com/lsm303-accelerometer-slash-compass-breakout/python-circuitpython> (accessed Mar. 10, 2022)
- [8] Ooyindamola/lsm9ds1_ros_python. 2020. Accessed: Mar. 10, 2022. [Online]. Available: https://github.com/Ooyindamola/lsm9ds1_ros_python

System Design of an X-Band Multistage High Power Amplifier with Electronically Controlled Output Power

Konstantinos Kermanidis, Dimitris Arnaoutoglou, Georgios Kyriacou

Abstract—In this letter, the system design of an X-Band multistage high power amplifier is reported. After a thorough investigation of different candidate designs, utilizing both commercial off-the-shelf (COTS) components and in-house designed circuits with different combinations and order, the final system architecture was chosen. The results show that the proposed system provides a stable 27 dBm output power, operating in the frequency range from 8 to 8.5 GHz, with the input power varying from -60 dBm to -15 dBm.

Keywords—Multistage High Power Amplifier (MHPA), Automatic Gain Control (AGC), AGC Algorithm, X-Band, VSS.

I. INTRODUCTION

The growing interest in the use of satellites in the telecommunications market, especially in modern era where new ways to achieve high data transfer speeds are sought. The reason is simple: the interconnection of any device wherever it is with the internet as defined by the Internet of Things (IoT). For this purpose, there is a need for the design and development of very high speed satellite communications (Very High Throughput Satellites, VHTS).

At the system level, this means an increase in the number of devices and thus requires a reduction in the dimensions of the transceiver circuits. The ultimate aim is to reduce the total mass and volume, achieving better thermal control and reliable operation in the space environment. So one of the most important, yet highly power consuming telecommunication's subsystem (about 75-85%) is the high power amplifier, [1]. The benefit of a Microwave Monolithic Integrated Circuit (MMIC) is the small footprint compared to a traditional travelling wave Tube (TWT). Furthermore, with today's data, their cost is significantly lower than tubes due to their mass production and its performance is significantly increased. However, the power levels at the output have not reached, yet, the levels of TWTs, especially at high frequencies (millimeter waves) where in the best cases they are just a few tens of Watts, [2].

In addition, wideband amplifiers are needed to achieve high data rates as demanded from 5G. The signals usually have a QPSK, QAM or OFDM digital modulation schemes which occupy a large bandwidth, especially in the case of OFDM, and leads to the appearance of an envelope. Phase and Amplitude distortions are likely to be observed due to the non-linear behavior of the amplifiers. For this reason, it is necessary to operate them in the linear region (back-off), with degraded efficiency compared to saturation point. At the same time, the high performance of the device is also required, as the smaller the device the greater the thermal

losses, which lead to various problems especially in the space environment where thermal management is of great importance, [3].

The X-Band frequency range has been allocated solely for naval, military and governmental use. X-Band radar is indispensable for naval operations including the searching and tracking of surface targets, while X-Band communication antenna systems provide internet access for operational and crew usage. Furthermore, X-Band frequencies are resilient to rain fade and signal problems caused by other adverse weather conditions. The operating frequency range of the reported system (8 to 8.5 GHz) refers to the downlink signal path, of the satellite's transponder.

The following section consists of a review of the system's specifications, the methodology that was followed to design the multistage high power amplifier, an analysis of the AGC loop and the algorithm, and finally the results from the system level simulations, using the AWR VSS Simulation Environment.

II. SYSTEM'S SPECIFICATIONS AND GENERAL METHODOLOGY

The final and optimized block diagram of the X-band system is presented in **Figure 1**. The system's architecture consists of four (4) LNAs and one (1) MPA need to be used, in order for the RF chain to exhibit sufficient gain that enables the output power to be at the desired levels. Specifically, a power level of at least 27 dBm is needed, while the minimum expected input power level will be approximately -60 dBm, and so the total gain of the low power section has to be 87 dB.

At the same time, the system input has a dynamic range of 45 dB, and therefore the maximum input power level is -15 dBm. For this reason, variable attenuator stages are added to the system, which with proper control, via a microcontroller, manage to compensate for the difference that occurs between the various input power levels. The variable attenuators are part of the Automatic Gain Control (AGC) subsystem. Therefore, theoretically, the required adjustable gain is $45+IL$ dB, where IL is the minimum insertion loss introduced by the microwave circuit. A dynamic range of this magnitude cannot be implemented with a commercial VVA. Therefore, the adjustable gain can be accomplished, exploiting VVAs, each one having a dynamic range of $22.5+IL$ dB, which will be controlled via a microcontroller, thus enabling the system to operate with constant output power.

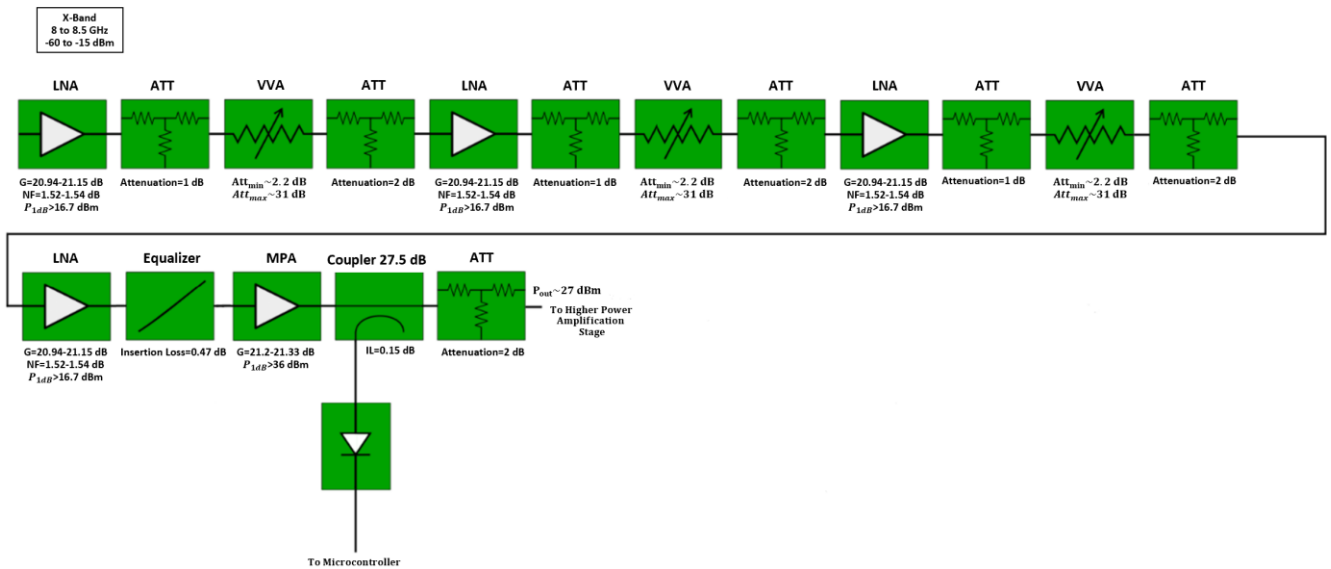


Figure 1: X-band Block Diagram Architecture of Low Power Section.

A challenge in this approach is to mitigate the high noise figure of the system. This phenomenon is caused by the high attenuation introduced from the two VVAs, that are necessarily placed in the early stages of the system, when the input power level is -15 dBm. The aim is to modify the architecture in order to limit the noise figure as much as possible. For this reason, due to the system limitations, one extra VVA (same part) must be introduced in the layout. The scope is to split the variable attenuation into three VVAs, thus decreasing their effect in the total noise figure.

Fixed attenuators are placed to improve the matching between the active parts (standing wave choke), and also assist with keeping each amplifier's output power below the 1dB gain compression point. If any mismatches are present, unwanted reflections may occur and cause degradation of the system's operation. The VVAs are implemented utilizing active elements (GaAs MESFETS), and due to the bad matching, the decision to include attenuation pads between the LNA and VVA blocks, was forced. Specifically, the LNA has maximum return loss values $S_{11} = -7.93$ dB and $S_{22} = -13.4$ dB, while the VVA presents $S_{11} = -9.5$ dB and $S_{22} = -11.2$ dB under maximum attenuation operation. This led to the decision of adding a 1 dB fixed attenuator in the VVA's input and a 2 dB fixed attenuator in the VVA's output. On top of that, copper patches are placed about the RF transmission lines, that interconnect the components, for tuning during the board evaluation lab process. The equalizer that was designed has $S_{11}, S_{22} < -17$ dB, and the MPA has $S_{11} \leq -9.95$ dB, thus it was decided that a fixed attenuator before or after the equalizer isn't necessary. Finally, a 2 dB fixed attenuator was placed in the system's output to offer extra isolation between this PCB and the next, which would have a high power amplifier as its first RF block. Attenuation pads are an easy solution to the issue, instead of designing matching networks for each one of the components. The main disadvantage of this choice is the insertion of additional losses, so more amplifiers are needed to compensate them.

The directional coupler will transfer a sample RF signal from the system to the peak detectors, which will convert the RF signal into DC voltage and feed it to the microcontroller.

Finally, because of the gain variance the cascaded amplifiers experience, a (positive) gain slope equalizer has been added to the system.

The coupler and the detector in combination work as a feedback network for the AGC loop. In the next section of this article, the operational principle of the system responsible for the automatic gain control, will be presented in combination with an algorithm flowchart, that explains the microcontroller's programming approach.

It should be mentioned that the choice of the coupling factor was based on the graphs provided in the detector's datasheet, regarding the detected power. The coupler was designed using the microwave office [2] design and simulation environment. It is generally desired to have large coupling values minimizing the insertion loss, but simultaneously, considering the chosen detector, it becomes clear that the detector's RF input power should preferably be between -8 and 8 dBm.

The coupler, the attenuation pad placed in the system's output and the equalizer were designed using microstrip line technology and KOA microwave resistors, while the LNAs, the MPA, the VVAs and the detector were COTS components.

III. AUTOMATIC GAIN CONTROL

The automatic gain control subsystem is utilized to eliminate the dependency of the system's RF output power to frequency and temperature variations. The directional coupler, preferably with low loss – high coupling characteristics, takes a sample of the RF signal and directs it towards the detector. A simplified schematic of the AGC is presented in Figure 2.

The analog signals, from the detector's output, are converted to digital words, through the ADC peripherals of the MCU. Then, a comparison between the digital word, that is chosen (pre-calculated) to represent the power detected level, and an internal digital reference (previously defined) is then performed, to set the duty cycle of a pulse-width modulated signal (ePWM Peripheral). The ADC is configured for continuous conversion. Because of the RF

board's need for multiple voltage variable attenuators (VVAs), multiple PWM outputs are going to be utilized, each one of them controlling one specific voltage input of a VVA. Specifically, 5 PWM outputs are required, since the first bias voltage of the first VVA stays stable at -5 V.

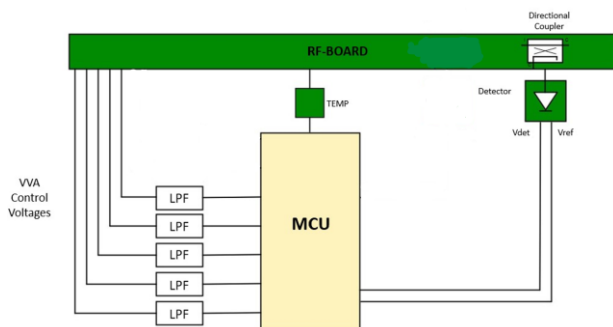


Figure 2: Automatic Gain Control System

The PWM signal is fed to an external low pass filter (LPF). PWM signals can be converted into analog signals using a simple RC type low-pass filter, higher order passive LPF, or even active LPFs (Operational Amplifiers). The PWM duty cycle determines the magnitude of the filter's output voltage. The PWM frequency determines the amount of attenuation the filter can produce. When the PWM frequency is close to the cut-off frequency, the filter responds quickly, but produces a high amount of ripple in the output signal. As the distance between the cut-off frequency and PWM frequency increases, the response time decreases, but the ripple in the output signal also decreases. Thus, the design of the LPF (etc. the order of the filter) is critical to the overall performance. Finally, these voltages will be driven to the VVAs that will adjust their attenuation accordingly to enforce a constant power output.

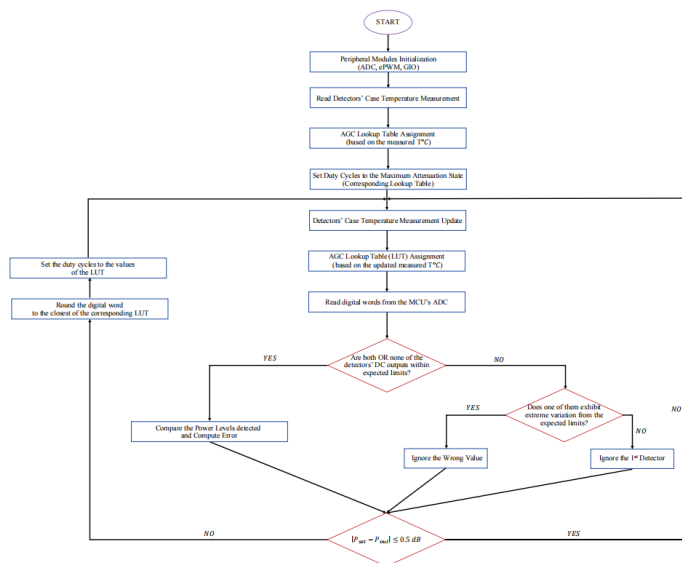
IV. ALGORITHM FLOWCHART

To decrease the computational burden of the microcontroller, as well as the minimization of some potential errors, the control algorithm was developed utilizing a lookup table. The lookup table approach entails the measurements of the system's responses under different control voltages to determine which combination of control voltage values will lead to the target output power level, with the smallest possible value for the system's noise figure. The drawback of this technique is the need to perform multiple board measurements to correctly define the required control voltages, for each VVA. First of all, the exact correlation between the control voltages and the variable attenuation must be determined. Then the cascaded gain, leading to the coupling point must be measured, as well as the detector's RF input power level and the DC output voltage it relates to. Finally, all of the aforementioned measurements must be repeated under different ambient temperatures (every 10-15°C). After this process is completed, the (finalized) Lookup Tables are going to be defined, consisting of the measured detector's DC values in correlation to the RF power level (90 different states) and the necessary attenuation, $V_{ctrl,1-5}$.

It should be noted that, in applications such as this, a second detected power level is expected from the next

amplification stage. The algorithm in this section, takes the extra MCU's input voltages into account.

Figure 3: Algorithm Flowchart.



The algorithm's flowchart is presented in Figure 3. First of all, the power up of the microcontroller and all its initialization procedures takes place. Afterwards, the detectors' temperature measurement is read, and the correct lookup table is chosen. The maximum attenuation state is selected for the first loop repetition, in order for the RF power to be below the gain compression region, taking a possible worst case scenario into account. Then the detectors' case temperature value is updated, and so is the lookup table. If both of the detectors' output values are close (taking the expected power difference between them into account), their detected power levels are compared, and a mean value is chosen. If one of the detected powers varies extremely from what is expected, then only the other detector will be utilized. If their detected powers exhibit greater variation than expected, but is not extreme, the 1st detector's output will be ignored, since the 2nd one takes more RF blocks into consideration. If the RF power still isn't at the expected level, after x amounts of program loops, the 1st detector will be considered and the 2nd one will be ignored (considered to be malfunctioning). Finally, if the difference between the detected and the expected power is less than 0.5 dB, the loop repeats as is (with the updated temperature and power measurements), else the digital word from the ADC gets rounded to the closest from the lookup table, and the appropriate duty cycle values are entered to the ePWM peripheral drivers.

V. BLOCK LEVEL SIMULATIONS

The scope is to create a test-bench capable of displaying the most important metrics of the system such as voltage standing wave ratio (VSWR), power gain (G), output power (Pout), noise figure (NF), etc. of the total structure versus the input power and operation frequency.

In this report, the approach of the look-up table was followed, with a small number of samples of input power levels, to validate the operation of the block level architecture. It is important to include in the analysis the best

($P_{in} = -15 \text{ dBm}$) and worst case ($P_{in} = -60 \text{ dBm}$) of input power.

As it was mentioned in the previous section of the report, each VVA has two control voltages. This kind of VVA cannot be incorporated in VSS because the variable blocks have only one port for the control signal. For this reason, the two control voltages were added and then inserted into the control port $V_c = V_{c1} + V_{c2}$. With this technique, the maximum attenuation could be achieved with a control voltage of $V_c = 0 \text{ V}$ ($V_c^{max} = 0 + 0$) while the minimum attenuation with -10 V ($V_c^{min} = -5 - 5$).

The blocks of **Figure 1**, apart from the tone source, are data-based blocks, derived from the datasheets of each (COTS) component or exported touchstone files from the simulations of the (in-house) designed components, to increase the accuracy of the simulation.

The simulation's swept parameters are both the frequency and the input power. The LNA is assumed non-linear elements considering the PGC_{1dB} , OIP_3 and NF for the nominal scenario (Temperature of 25°C) based on the data sheets. The MPA was simulated as non-linear circuit yielding only the power compression point as defined in data sheets while the OIP and the noise figure are not addressed. Assuming that the operation point will be at least 5dB below the power compression point 1dB, it is feasible to neglect the OIP3. In addition, the noise figure will not affect the overall noise due to the position of the MPA in the cascade architecture of the low power section.

The numerical results, of the proposed (87dB gain) amplification system, are going to be presented, utilizing the VSS's RF budget analysis. As aforementioned, for the maximum reduction of the noise figure, there is a need to apply different control voltage at each VVA, with the aim to have the first VVA insert the smallest possible attenuation, the second a little higher and the last one the maximum possible. The first VVA must insert less attenuation than the last ones to decrease the overall noise figure. This strategy is quite common in microwaves systems, where the first devices are the most impactful, determining the overall noise figure of the system. However, the selection of voltages following that methodology makes it more difficult to formulate an algorithm for the AGC to achieve such response. So, for that case a look-up table approach seems more reasonable.

The difficult in this task is located in keeping the LNAs operate below the saturation point to not distort the signal. It is expected that the second and third LNAs are more likely to saturate due to small attenuation. So, a trade-off have to be established between the noise figure and the output power of the LNAs.

In the present case, the LNAs would operate as linear as possible in order not to distort the modulated signal. So, the output power of the LNAs was targeted to be lower than 14.7dBm (2 dB lower than the output 1dB compression power) as depicted in **Figure 4**. In **Figure 4**, the output power at each LNA's output is shown, when the input power is at its highest value and so the second and third LNAs must be protected from gain compression. It is observable that the last LNA (fourth in order) is far below the saturation.

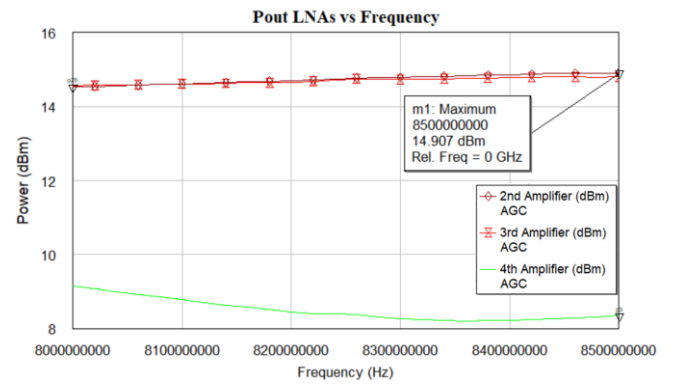


Figure 4: Input power levels at the output of each LNA vs frequency, for $P_{in} = -15 \text{ dBm}$.

The cascaded noise figure for the worst case scenario ($P_{in} = -15 \text{ dBm}$) versus the frequency is presented in **Figure 6**, where the maximum noise figure is lower than 3.3dB. This value is quite good for an amplification system, such as this. In the best case scenario ($P_{in} = -60 \text{ dBm}$), the noise figure is mainly determined from the noise figure of the LNA (around 1.64 dB) due to the low loss behavior of the VVAs as seen in **Figure 9**. The noise figure at the output of each component, at the highest frequency (largest noise figure) is shown in **Figure 5** for the largest input power (-15 dBm), and in **Figure 10**, for the smallest input power (-60 dBm).

From the **Figures 7, 11 and 12**, it is evident that the output power is between 27dBm and 27.18 dBm for an input power of -15, -60 and -35 dBm respectively. Thus, the design of the equalizer has achieved its purpose. From **Figure 8**, it becomes clear that the purpose of the control voltages from the lookup table was that the first and second VVAs introduce just enough attenuation so that the second and third LNA still work in the linear region, while the third VVA is responsible for maintaining the output power at around 27dBm.

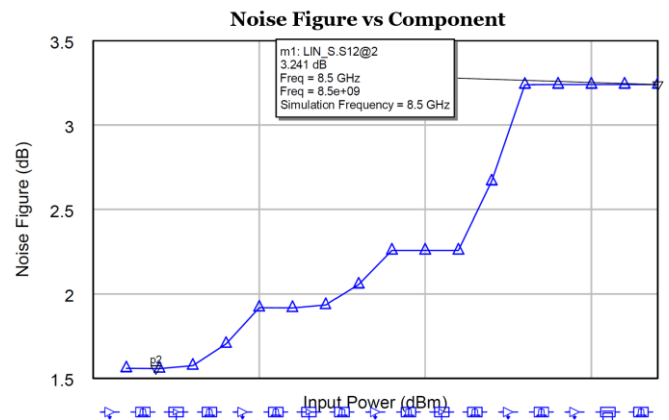


Figure 5: Noise Figure vs component for the worst case scenario ($P_{in} = -15 \text{ dBm}$).

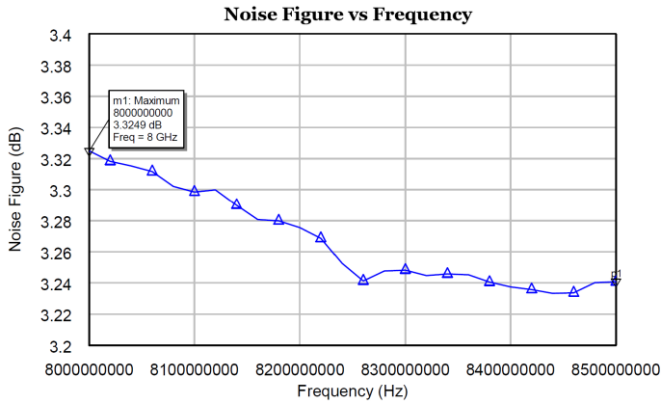


Figure 6: Noise Figure vs frequency for the worst case scenario ($P_{in} = -15$ dBm).

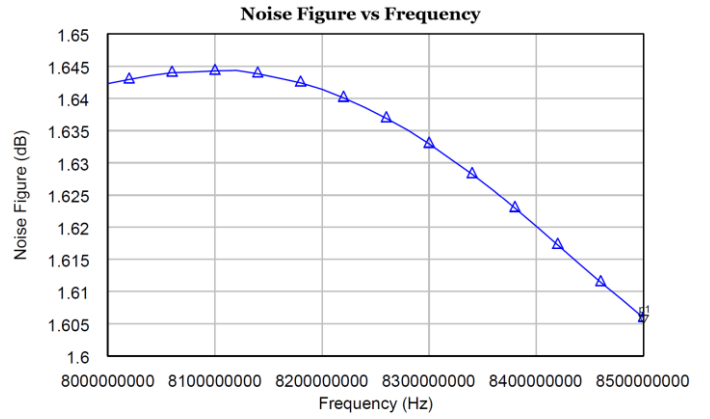


Figure 9: Noise Figure vs frequency for the best case scenario ($P_{in} = -60$ dBm).

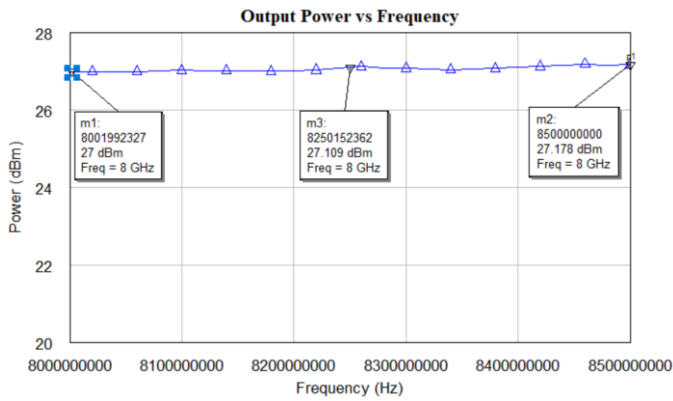


Figure 7: Output power vs frequency, for $P_{in} = -15$ dBm.

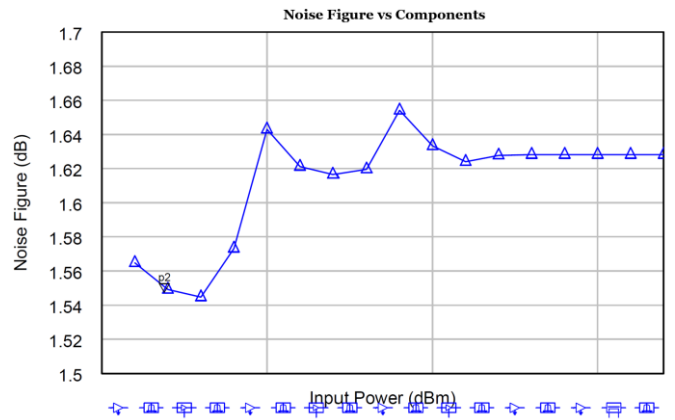


Figure 10: Noise Figure vs components for the best case scenario ($P_{in} = -60$ dBm).

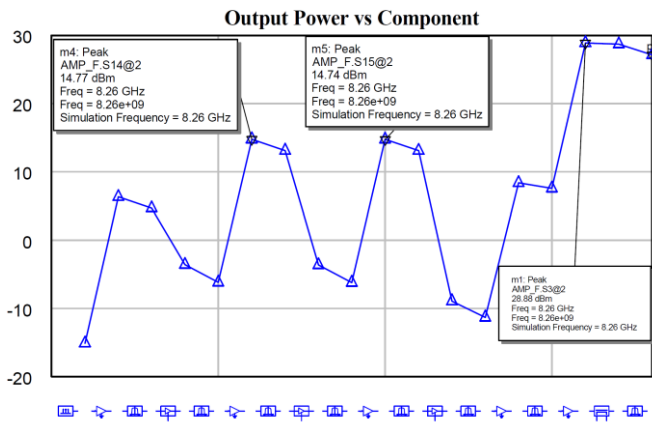


Figure 8: Output power vs component, for $P_{in} = -15$ dBm.

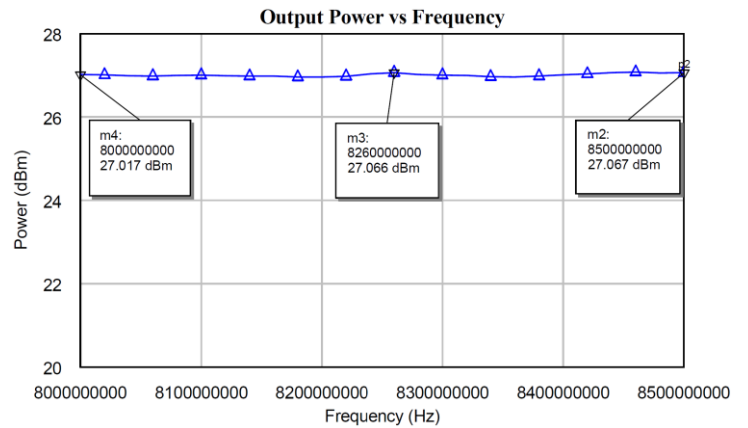


Figure 11: Output power vs frequency, for $P_{in} = -60$ dBm.

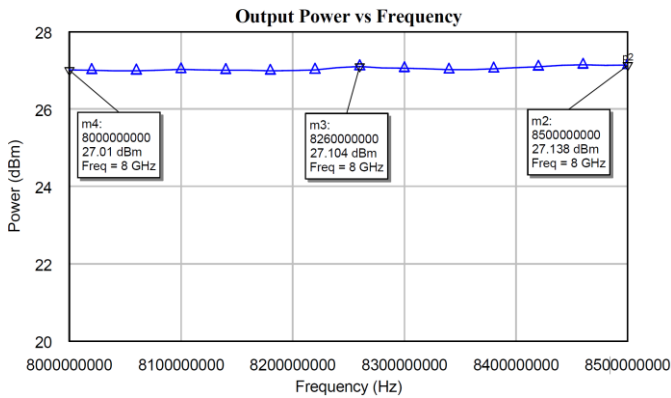


Figure 12: Output power vs frequency, for $P_{in} = -37.5$ dBm.

The slope of output power at frequency range was originally negative due to the dispersive characteristics of the LNAs and VVAs, but was stabilized with the addition of the equalizer. The output power, without the equalizer's block, is shown in **Figure 13**, where the power level experiences around 0.64 dB of variance.

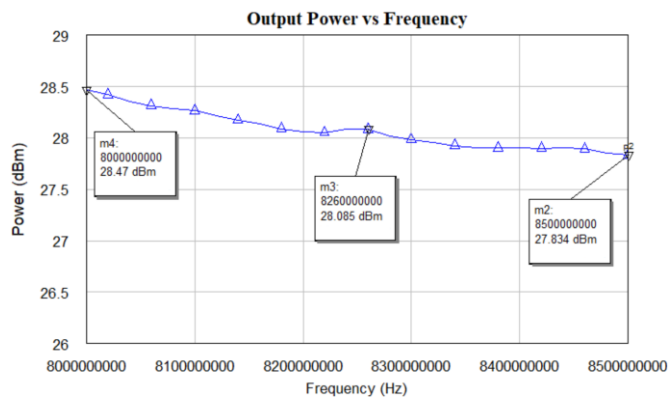


Figure 13: Output power vs frequency, for $P_{in} = -37.5$ dBm, without the use of the equalizer.

VI. CONCLUSIONS

In conclusion, the main components of the modern microwave architecture, that was designed to amplify a signal by 87 dB, include Low Noise Amplifiers, Medium Power Amplifiers, Voltage Variable Attenuators, Fixed Attenuators, a Directional Coupler, a Peak Detector and a Microcontroller/Microprocessor.

Due to the difficulties and tradeoffs, that were mentioned in the beginning of this article, there is an added complexity to the design of the RF board at this frequency band. The overall block diagram isn't as compact and effective/efficient as an RF designer would aim for it to be since the additional fixed attenuation in combination with the VVAs and the five (5) MMIC amplifiers seem counterintuitive.

Nonetheless, those additions are necessary to this system, which manages to deliver the desired output power (27dBm), with minimal variance (~0.15dB), and uses only one MPA (low total current consumption), while mismatches between any of the active devices are not going to appear.

Overall, after correctly assessing the importance of each tradeoff and the consequences each design choice has, as well as a thorough investigation of the most probable alternatives and considering the leeway an RF designer has, it was decided that this (**Figure 1**) is the block diagram of the RF board that should be designed. The next steps (future work), are the following:

- Design and EM/Thermal simulations of the complete RF board.
- Testing the designed PCB in the lab.

REFERENCES

- [1] H. Wang και ε. al., «Power Amplifiers Performance Survey 2000-Present.» [Online]. Available: https://gems.ece.gatech.edu/PA_survey.html.
- [2] V. Camarchia, R. Quaglia, A. Piacibello, D. P. Nguyen, H. Wang και A.-V. Pham, «A Review of Technologies and Design Techniques of Millimeter-Wave Power Amplifiers.» *IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES*, vol. 38, article. 7, 2020.
- [3] B. Kim1, B. Park και S. Jin, «Design of an Advanced CMOS Power Amplifier.» *JOURNAL OF ELECTROMAGNETIC ENGINEERING AND SCIENCE*, vol. 15, pp. 63-75, 2015.

Advancing Computing with Memristive Nanocircuits

Emmanouil Stavroulakis*, Ioannis Tompris*, Ioannis K. Chatzipaschalis*[†], Evangelos Tsipas*,
Theodoros Panagiotis Chatzinikolaou*, Iosif-Angelos Fyrigos*, and Georgios Ch. Sirakoulis*

* Department of Electrical and Computer Engineering, Democritus University of Thrace, Xanthi, Greece

[†] Department of Electronic Engineering, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spain

Abstract—There is an ever increasing need for computing due to the rise of big data and artificial intelligence applications. The utilization of bio-inspired and quantum-based methodologies is showing considerable potential in the advancement of innovative circuits and systems. These systems have the potential to address a broader range of challenges and enhance existing solutions. The performance of the von Neumann architecture, which has been widely used for many years, is currently being impeded by physical constraints. Consequently, new computing architectures, supported by innovative materials and circuit devices, are beginning to emerge and provide encouraging outcomes. As a result, in this paper the inherent advantageous characteristics of memristive nanocircuits based on emergent memristor devices for memory storage and computing are presented aiming to showcase their ability to evolve and accelerate traditional computing paradigms.

Keywords—Unconventional Computing, Memristors, Oscillators, Bio-inspired Computing, Quantum Computing

I. INTRODUCTION

A significant portion of contemporary nanotechnology research is dedicated to the identification of appropriate candidates for the advancement of transistor technology. The memristor, a novel two-terminal nanoelectronic device, was theoretically proposed by Leon Chua almost fifty years ago and is widely regarded as such [1]. In 2008, the implementation of this theoretical device became feasible due to advancements in materials and production techniques, which facilitated the introduction of nanoscale devices [2]. One of the notable characteristics that has garnered attention from researchers is the capacity of the device to adjust its resistance level, known as Memristance, in response to electrical stimuli applied at its two terminals. This ability to sustain this resistance level even in the absence of such stimuli establishes it as a non-volatile memory component. The introduction of several memristive devices has been facilitated by a wide range of materials and processes [3]. These devices exhibit diverse properties, including different ranges of memristance, switching mechanisms, required voltage levels, and voltage polarities, among others. Although memristors exhibit various characteristics, they generally possess intrinsic properties such as non-volatile information storage, scalability, decreased size, and low power consumption. Memristive devices are predominantly manufactured in the form of Metal-Insulator-Metal (*MIM*) architectures [4]–[6]. By enabling compatibility with existing CMOS fabrication techniques, memristors can be seamlessly integrated into the back end of the line (*BEOL*).

The increasing scientific interest in memristors can be understood by doing a comprehensive literature review, which highlights the wide range of domains in which memristors have been effectively utilized. The applications encompass a wide range of methods, including the utilization of Convolutional [7] and Spiking Neural Networks (SNNs) [8], [9], in-memory computing memory [10], [11] and logic architecture [12], as well as other unconventional approaches [13]. This paper delves into the territories of memristive nanocircuits, spotlighting their ability to evolve and accelerate traditional computing paradigms by demonstrating applications in artificial neural networks, quantum computing, oscillators, NP-complete problems and in-memory computing.

II. ARTIFICIAL MEMRISTIVE NEURAL NETWORKS

Memristors have been suggested as the electrical counterparts of biological synapses. The device can be described as a resistor with memory. The device's response is determined by its entire dynamical history. It exhibits a continuous range of resistance values, making it well-suited for adjusting the synaptic weights of artificial neural networks (ANNs). The artificial neural network (ANN) is a computational model that draws inspiration from the biological nervous system. It is designed as a parallel and distributed network consisting of basic nonlinear processing units. Hardware implementation (HW) of artificial neural networks (ANNs) is a crucial stage in achieving circuit-level functionalities that resemble those of the human brain. The fundamental constituents of artificial neural networks (ANNs) consist of neurons and synapses, such as the one shown in Fig. 1. The circuit representation of these components should primarily be compact in order to facilitate scaling up to the total number of biological devices (about 10^{11} neurons and 10^{15} synapses in the human brain).

III. CROSSBARS FOR ACCELERATING QUANTUM COMPUTING SIMULATIONS

Quantum computers can exponentially accelerate the search of solution in NP-complete problems by exploiting quantum mechanics, namely superposition and entanglement, enable massive parallel processing of information [15]. Combining a memristive circuit capable of accelerating quantum computing simulations with the aforementioned circuit implementations of interconnected cells can provide an efficient but also computationally capable hardware. The integration of a memristive

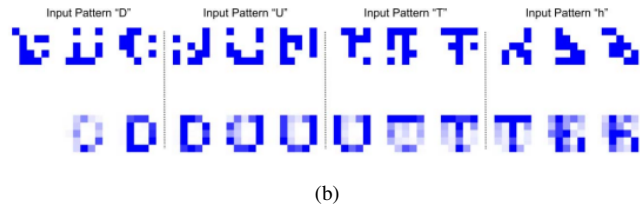
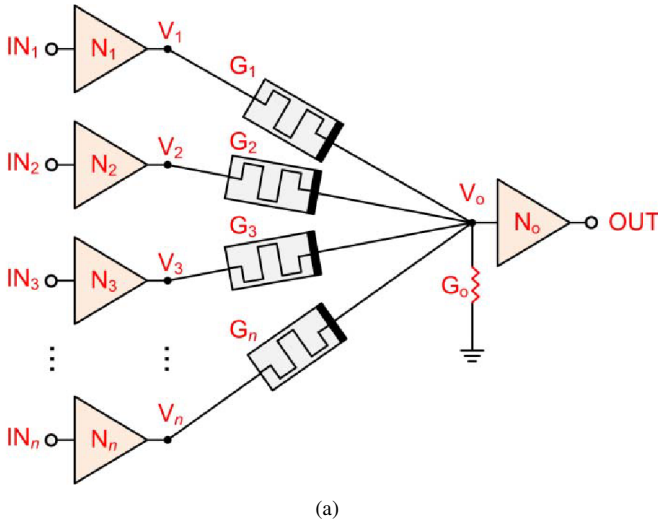


Fig. 1: (a) Generic implementation scheme for a single-layer ANN with n input neurons. (b) Snapshots of the input images in the HW during the 60s training period. White corresponds to low conductance and blue corresponds to high conductance (adopted from [14]).

circuit that can enhance quantum calculations with discussed circuit implementations of interconnected cells can yield a hardware system that is both efficient and computationally proficient. As a result of decoherence, which refers to the interaction between the environment and the qubits, the basic unit of information in quantum computers, the quantum state can undergo uncontrolled changes, leading to the loss of the stored information in the quantum computer. Consequently, the process of testing and developing quantum algorithms in physical quantum computers is not a straightforward task. This leads to an increasing demand for quantum computing simulations. The existing classical simulators exhibit a common limitation, whereby the exponential growth in the number of qubits results to a significant increase in both execution time and memory needs. In order to address these limitations, researchers are investigating innovative memristive devices that possess the ability to perform quantum calculations and represent qubit states. By employing memristive crossbar designs, quantum calculations can be efficiently performed in parallel, achieving a constant time complexity of $\mathcal{O}(1)$ regardless of the size of the system, while also reducing hardware complexity. In addition, the memristor crossbars have a high density, allowing for a greater number of qubits to be simulated compared to a standard computing device with

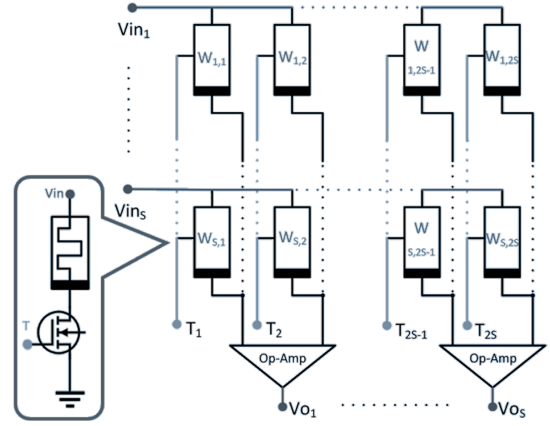


Fig. 2: Crossbar Vector-Matrix Multiplication circuit employed to perform the operations of quantum gates (adopted from [16]).

the same die-area. Moreover, the memristor crossbar circuit exhibits reconfigurability, enabling the implementation of alternative quantum algorithms on the same hardware medium, while maintaining the reprogrammability characteristic.

The inherent capability of the memristor crossbar to perform vector matrix multiplication (VMM) operations has been widely utilized in the advancement of memristive neuromorphic hardware. This hardware incorporates memristors to represent synaptic weights through the conductance value, as shown in Fig. 2. The proposed quantum simulator exploits the VMM principle to conduct quantum computations, simulating the computational capabilities of quantum computers.

IV. MEMRISTIVE OSCILLATORS

Memristive oscillators are gaining significant attention as a potential analog computing alternative and a promising area of research, presenting novel opportunities for the development and operation of innovative circuits. These particular oscillators have the capability to consume minimal power at nanoscale levels and may be seamlessly incorporated onto a microchip, hence facilitating a more streamlined and economically viable design. They possess promising prospects in many fields, encompassing signal processing, as well as non-traditional forms of computing, like neuromorphic [17]. Furthermore, their bio-inspired characteristics render them well-suited for tackling practical challenges.

A. Memristive Neuromorphic Voltage-Controlled Oscillators

Memristive Neuromorphic Voltage-Controlled Oscillators (MNVCOs) have the potential to be utilized in the automotive sector, particularly in distance detecting systems, by integrating signal processing with practical applications. Distance detection technologies, including ultrasonic sensors, radar systems, and vision-based techniques, are frequently employed to aid drivers in maintaining a secure distance from other cars, and pedestrians, so offering passive safety to the act of driving.

In this application, the MNVCO is integrated into a Voltage-to-Frequency Converter (VFC) circuit, which can be employed

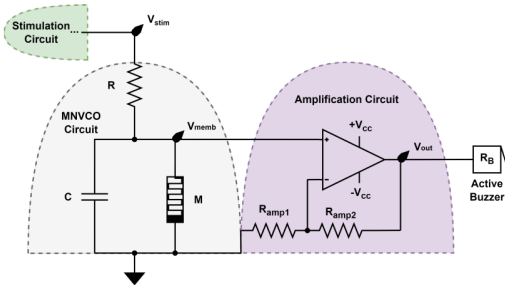


Fig. 3: The circuit performing the voltage-to-frequency conversion. The gray region encompasses the MNVCO circuit, while the purple region the amplification circuit (adopted from [18]).

for the purpose of Voltage-to-Frequency Mapping (VFM). This process involves the conversion of an analog voltage signal into a neuromorphic frequency-based output signal due to the charge and discharge of the capacitor C , providing a neuromorphic behavior, that correlates with the membrane voltage dynamics met in biological neurons. Thus, it can be utilized to activate the driver's attention as needed. The Voltage-to-Frequency Converter (VFC) can be engineered to possess a distinct voltage-to-frequency transfer function, which establishes the correlation between the input voltage and the resultant output frequency (Fig. 3). The methodology facilitates the transformation of continuous analog signals into distinct frequency signals, enabling convenient processing and analysis. Prior to implementing a basic VCO using CMOS technology, multiple studies have been conducted. Nevertheless, their primary limitation lies in its distinct frequency output and intricate construction. The proposed VFM is both fully analog and neuromorphic, meaning it does not have distinct output states. The output signal increases in direct proportion to the supplied input voltage, while also consuming very little power.

B. Memristive-RC Oscillators for NP-Complete Problems

A distinct subset of the aforementioned intricate issues comprises logic puzzles, such as the renowned Japanese Sudoku. The problem in question can be expressed in multiple forms, such as a constraint satisfaction or a graph-coloring problem. As a result, diverse approaches have been employed to find a suitable solution. However, these techniques' scalability is limited by the computational capability of the related algorithms.

Novel electrical hardware techniques have been developed to offer scalable solutions to complicated NP-Complete problems, going beyond traditional computers. Unlike traditional circuits and systems, these innovative circuits and systems take advantage of the unique properties of memristors. The solution arises naturally from the dynamics of the proposed approach.

To establish a connection between the Sudoku puzzle and an electronic circuitry capable of automatically generating a solution, the memristor-RC oscillator is employed as a Sudoku cell (N). The entire $n \times n$ Sudoku puzzle is composed of a grid of $n \times n$ memristive-RC oscillators, denoted as $N_{i,j}$, for

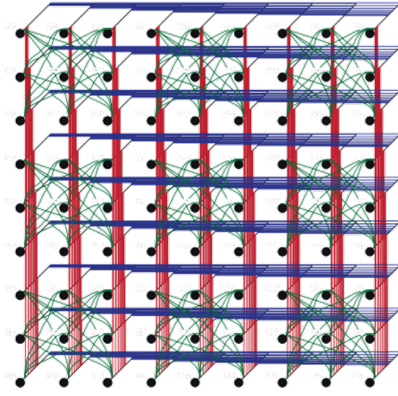


Fig. 4: Interconnections of the described circuit solving a 9×9 Sudoku puzzle (adopted from [19]).

$i, j = 1, \dots, n$. The oscillators are interconnected by coupling capacitors in a manner that exclusively connects the Sudoku cells, which are incapable of possessing identical numbers, in a direct manner. Therefore, the V_{OUT} of one oscillator is directly linked to every other oscillator in its row, column, and subgroup through the connection $C_{i,j}|i, j = 1, \dots, n \& i \neq j$. Fig. 4 illustrates an abstract depiction of the suggested approach for the traditional 9×9 Sudoku puzzle. A rise in the output voltage V_{OUT} of an oscillator $N_{i,j}$ leads to a corresponding increase in the V_{OUT} of a directly connected oscillator $N_{k,l}$. After this, the voltage across the memristor of the oscillator $N_{k,l}$ is decreased, resulting in a delay in the switching of the memristor's state and subsequently causing a delay in the functioning of $N_{k,l}$. By employing this delay, the suggested system can effectively isolate the oscillators that are directly coupled, resulting in a gradual synchronization of the non-directly connected oscillators. Consequently, the resolution of the Sudoku puzzle is achieved by the temporal separation of the oscillators, whereby cells possessing an equal number of sets K will exhibit simultaneous oscillations.

V. IN-MEMORY COMPUTING CROSSBAR WITH RISC-V COMPATIBILITY

The von Neumann architecture has been the fundamental architecture of the current era of computing systems, facilitating the execution of instructions stored in memory. Nevertheless, the ongoing proliferation of data-intensive applications in recent times has brought attention to the limitations of the conventional design, specifically the von Neumann bottleneck. This bottleneck occurs when the processing speed is constrained by the bandwidth between the processor and memory. Furthermore, this bottleneck hinders the power efficiency of contemporary computing systems as a result of the substantial energy consumption associated with these data transfers. Consequently, new methodologies can tackle this issue, with in-memory computing emerging as a viable technique that aims to mitigate the disparity between the CPU and memory.

This work aims to include a memristor-based in-memory block into the commonly used RISC-V architecture. This

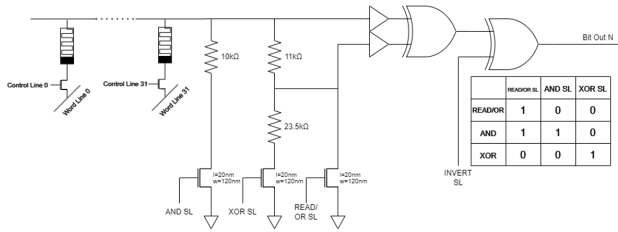


Fig. 5: Schematic of a crossbar row and the sense amplifier used to output the data of the in-memory computing circuit.

is achieved by introducing a customized instruction set and specialized hardware, taking use of the distinctive characteristics of memristors. Memristors, due to their combined capacity for information storage and processing within a single physical device, present a potentially advantageous approach for overcoming the conventional von Neumann bottleneck. These components showcase exceptional energy efficiency by facilitating analog-domain computations solely through the application of Kirchhoff's Law [20], [21]. This integration offers significant improvements in computational performance and addresses the issues of memory access latency and bandwidth limits that are inherent in traditional computer architectures.

This study delved into the essential elements of the design, specifically focusing on the 1T1R memory cell, the custom sense amplifier devices, the instruction set, and the memory controller utilized, depicted in Fig. 5. In conclusion, a comprehensive examination of a most unfavorable test-case scenario was undertaken, encompassing the utilization of alternating AND operations. The primary aim of this analysis was to showcase the feasibility and reliable state switching capabilities of the system.

VI. CONCLUSIONS

In this paper, the significant advancements and potential of memristive nanocircuits across various computing domains have been highlighted. These circuits are pivotal in addressing some of the core challenges in computing, such as the von Neumann bottleneck, through in-memory computing and simulation of quantum environments. Additionally, memristive oscillators demonstrate the broad applicability of this technology in enhancing computational efficiency. The integration of memristive nanocircuits into existing computing architectures offers a promising approach to overcoming current limitations, indicating a shift towards more efficient and scalable computing systems. Future research should focus on optimizing these circuits for broader applications, ensuring their compatibility and performance in a wider range of computational tasks.

REFERENCES

- [1] L. Chua, "Memristor—the missing circuit element," *IEEE Transactions on Circuit Theory*, vol. 18, no. 5, pp. 507–519, 1971.
- [2] D. B. Strukov, G. S. Snider, D. R. Stewart, and R. S. Williams, "The missing memristor found," *Nature*, vol. 453, no. 7191, pp. 80–83, 2008.
- [3] E. Tsipas, E. Stavroulakis, I. K. Chatzipaschalis, K. Rallis, N. Vasileiadis, P. Dimitrakis, A. Kostopoulos, G. Konstantinidis, and G. C. Sirakoulis, "Novel materials and methods for fabricating memristors for use in rf applications," in *2023 IEEE Nanotechnology Materials and Devices Conference (NMDC)*. IEEE, 2023, pp. 779–784.

- [4] E. Stavroulakis, N. Vasileiadis, A. Mavropoulis, I. K. Chatzipaschalis, E. Tsipas, K. Rallis, I. Vourkas, P. Dimitrakis, and G. C. Sirakoulis, "A tcad model for silicon nitride based memristive devices," in *2023 IEEE 23rd International Conference on Nanotechnology (NANO)*. IEEE, 2023, pp. 571–575.
- [5] Z. Cao, B. Sun, G. Zhou, S. Mao, S. Zhu, J. Zhang, C. Ke, Y. Zhao, and J. Shao, "Memristor-based neural networks: a bridge from device to artificial intelligence," *Nanoscale Horizons*, vol. 8, no. 6, pp. 716–745, 2023.
- [6] Y. Xiao, B. Jiang, Z. Zhang, S. Ke, Y. Jin, X. Wen, and C. Ye, "A review of memristor: material and structure design, device performance, applications and prospects," *Science and Technology of Advanced Materials*, vol. 24, no. 1, p. 2162323, 2023.
- [7] J. Park, S. Kim, M. S. Song, S. Youn, K. Kim, T.-H. Kim, and H. Kim, "Implementation of convolutional neural networks in memristor crossbar arrays with binary activation and weight quantization," *ACS Applied Materials & Interfaces*, vol. 16, no. 1, pp. 1054–1065, 2024.
- [8] L. A. Camuñas-Mesa, B. Linares-Barranco, and T. Serrano-Gotarredona, "Neuromorphic spiking neural networks and their memristor-cmos hardware implementations," *Materials*, vol. 12, no. 17, p. 2745, 2019.
- [9] M. E. Fouda, F. Kurdahi, A. Eltawil, and E. Neftci, "Spiking neural networks for inference and learning: A memristor-based design perspective," *Memristive Devices for Brain-Inspired Computing*, pp. 499–530, 2020.
- [10] H. Zhou, S. Li, K.-W. Ang, and Y.-W. Zhang, "Recent advances in in-memory computing: Exploring memristor and memtransistor arrays with 2d materials," *Nano-Micro Letters*, vol. 16, no. 1, p. 121, 2024.
- [11] A. Mehonic, A. Sebastian, B. Rajendran, O. Simeone, E. Vasilaki, and A. J. Kenyon, "Memristors—from in-memory computing, deep learning acceleration, and spiking neural networks to the future of neuromorphic and bio-inspired computing," *Advanced Intelligent Systems*, vol. 2, no. 11, p. 2000085, 2020.
- [12] M. Zahedi, M. A. Lebdeh, C. Bengel, D. Wouters, S. Menzel, M. Le Gallo, A. Sebastian, S. Wong, and S. Hamdioui, "Mnemose: Tile architecture and simulator for memristor-based computation-in-memory," *ACM Journal on Emerging Technologies in Computing Systems (JETC)*, vol. 18, no. 3, pp. 1–24, 2022.
- [13] L. Chua, G. C. Sirakoulis, and A. Adamatzky, *Handbook of Memristor Networks*. Springer Nature, 2019.
- [14] V. Ntinis, I. Vourkas, A. Abusleme, G. C. Sirakoulis, and A. Rubio, "Experimental study of artificial neural networks using a digital memristor simulator," *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, vol. 29, no. 10, pp. 5098–5110, 2018.
- [15] T. D. Ladd, F. Jelezko, R. Laflamme, Y. Nakamura, C. Monroe, and J. L. O'Brien, "Quantum computers," *Nature*, vol. 464, no. 7285, pp. 45–53, 2010.
- [16] I.-A. Fyrigos, V. Ntinis, N. Vasileiadis, G. C. Sirakoulis, P. Dimitrakis, Y. Zhang, and I. G. Karafyllidis, "Memristor crossbar arrays performing quantum algorithms," *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, vol. 69, no. 2, pp. 552–563, 2021.
- [17] T. P. Chatzinikolaou, I.-A. Fyrigos, V. Ntinis, S. Kitsios, P. Bousoulas, M.-A. Tsompanas, D. Tsoukalas, and G. C. Sirakoulis, "Memristive oscillatory networks for computing: The chemical wave propagation paradigm," in *2021 17th International Workshop on Cellular Nanoscale Networks and their Applications (CNNA)*. IEEE, 2021, pp. 1–5.
- [18] I. K. Chatzipaschalis, T. P. Chatzinikolaou, I.-A. Fyrigos, A. Rubio, and G. C. Sirakoulis, "A memristive neuromorphic voltage-to-frequency mapping oscillator for automotive applications," in *2023 18th International Workshop on Cellular Nanoscale Networks and their Applications (CNNA)*. IEEE, 2023, pp. 1–5.
- [19] T. P. Chatzinikolaou, I.-A. Fyrigos, R.-E. Karamani, V. Ntinis, G. Dimitrakopoulos, S. Cotofana, and G. C. Sirakoulis, "Memristive oscillatory circuits for resolution of np-complete logic puzzles: Sudoku case," in *2020 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, 2020, pp. 1–5.
- [20] Z. Sun, G. Pedretti, E. Ambrosi, A. Bricalli, W. Wang, and D. Ielmini, "Solving matrix equations in one step with cross-point resistive arrays," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 116, no. 10, pp. 4123–4128, 2019.
- [21] Z. Wang, C. Li, W. Song, M. Rao, D. Belkin, Y. Li, P. Yan, H. Jiang, P. Lin, M. Hu *et al.*, "Reinforcement learning with analogue memristor arrays," *Nature Electronics*, vol. 2, no. 3, pp. 115–124, 2019.

Πολυεδρική Συστοιχία Μικροταινιακών Κεραιών Ραντάρ Ανίχνευσης Υπεριπτάμενων Οχημάτων

Αλέξανδρος Δημακόπουλος
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
Ξάνθη
alexdim@ee.duth.gr

Δημήτρης Αρναούτογλου
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
Ξάνθη
darnaout@ee.duth.gr

Γέωργιος Κυριακού
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
Ξάνθη
gkyriac@gmail.com

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται την ανάλυση και τη σχεδίαση των επιμέρους γραμμικών συστοιχιών κεραιών φάσης, που αποτελούν τις έδρες μίας ευρύτερης πολυεδρικής συστοιχίας, με τη βοήθεια του προγράμματος ηλεκτρομαγνητική προσομοίωσης CST. Συγκεκριμένα, σχεδιάζεται το μεμονωμένο στοιχείο των συστοιχιών ως επίπεδη μικροταινιακή κεραία, από το οποίο στη συνέχεια υλοποιούνται δυο διπλά στοιχεία και στη συνέχεια δύο διαφορετικές γραμμικές συστοιχίες οκτώ στοιχείων. Οι συστοιχίες αυτές μελετούνται ως προς τη μετωπική τους ακτινοβολία αλλά και τον έλεγχο-μεταγωγή της δέσμης ακτινοβολίας, που γίνεται μέσω της τροφοδοσία της συστοιχίας από έναν πίνακα Butler. Τέλος, γίνεται μία προσομοίωση παρουσία ανακλαστήρα και τα αποτελέσματα συγκρίνονται μεταξύ τους οπότε εξάγονται ανάλογα συμπεράσματα.

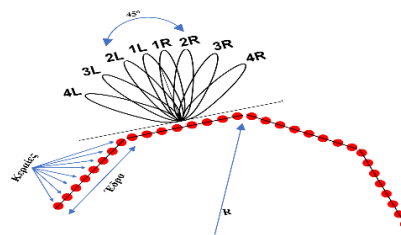
Λέξεις Κλειδιά—Συστοιχίες Κεραιών, Μικροταινιακές Κεραίες, Πίνακας Butler, Πολυεδρική Συστοιχία

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά κανόνα, ένα μεμονωμένο στοιχείο (μία μεμονωμένη κεραία) έχει σχετικά ευρύ διάγραμμα ακτινοβολίας και παρέχει χαμηλή κατευθυντικότητα. Ωστόσο σε πολλές εφαρμογές, όπως σε εφαρμογές ραντάρ, είναι επιτακτικό να σχεδιάζονται κεραίες υψηλής κατευθυντικότητας, προκειμένου να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις του συστήματος για ανίχνευση στόχων σε μεγάλες αποστάσεις. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μόνο με την αύξηση του ηλεκτρικού μεγέθους της κεραίας [1].

Εκτός από τη μεγέθυνσή των φυσικών διαστάσεων της κεραίας, εναλλακτικός τρόπος αύξησης της κατευθυντικότητας είναι η συγκρότηση μίας δομής αποτελούμενης από πολλαπλά στοιχεία ακτινοβολίας, η οποία αποκαλείται συστοιχία (array) [1].

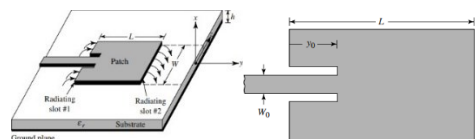
Μία ιδιαίτερη κατηγορία σύμμορφων συστοιχιών αποτελούν οι πολυεδρικές συστοιχίες (multifaceted arrays). Στη πράξη, αποτελούνται από πολυεδρικές επιφάνειες οι οποίες προσομοιάζουν αντίστοιχες κυκλικές, κυλινδρικές ή σφαιρικές συστοιχίες, όπως φαίνεται στην **Σχήμα 1**. Οι πολυεδρικές συστοιχίες μπορούν να κατασκευαστούν από πολλαπλές γραμμικές ή επίπεδες συστοιχίες ενωμένες μεταξύ τους, αντί για μία καμπύλη επιφάνεια που απαιτεί μια κυρτή συστοιχία. Συνεπώς, είναι ευκολότερες στη σχεδίαση ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζουν παρόμοια ηλεκτρομαγνητική συμπεριφορά με τις κυρτές συστοιχίες τις οποίες προσεγγίζουν [2].



Σχήμα 1 Γεωμετρία πολυεδρική συστοιχίας

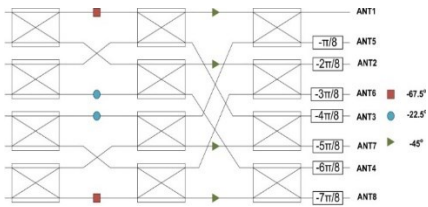
Ο βασικός λόγος που οδήγησε στην επιλογή της πολυεδρικής γεωμετρίας είναι η ευκολία υλοποίησης και η αποδοτική σάρωση δέσμης που παρέχει η γραμμική συστοιχία της κάθε έδρας. Για μια συστοιχία τεσσάρων εδρών, θα πρέπει η δέσμη να σαρώνει έναν γωνιακό τομέα 180° . Οπότε, αρκεί η εκάστοτε έδρα να μπορεί να σαρώνει έναν γωνιακό τομέα 45° . Μία γραμμική συστοιχία οκτώ στοιχείων έχει άνοιγμα μισής ισχύος, που προσεγγίζεται ως $HPBW = 104^\circ/8 = 13^\circ$. Έτσι ο γωνιακός τομέας 45° υπερκαλύπτεται από τις τέσσερις εσωτερικές δέσμες μίας τέτοιας γραμμικής συστοιχίας (δέσμες 2L έως και 2R), όπως φαίνεται στο **Σχήμα 1**.

Ως μεμονωμένο στοιχείο που θα δομήσει τη συστοιχία, επιλέχθηκε η κεραία μικροταινιακής (microstrip patch antenna) που φαίνεται στο **Σχήμα 2** και χαρακτηρίζεται από χαμηλό προφίλ, απλότητα και χαμηλό κόστος κατασκευής, αλλά και ευελιξία στη συχνότητα συντονισμού, στην πόλωση, στο διάγραμμα ακτινοβολίας και στην εμπέδηση [1].



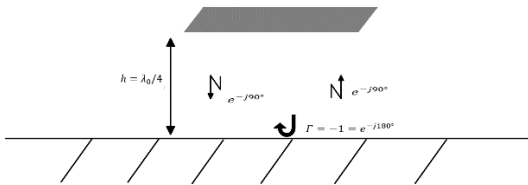
Σχήμα 2 Γεωμετρία μικροταινιακής κεραίας με ένθετη τροφοδοσία [1]

Σύμφωνα με τη θεωρία για τις συστοιχίες, μία πολύ σημαντική ιδιότητα τους είναι ο προσανατολισμός της ακτινοβολίας σε διαφορετικές γωνίες (γωνιακή σάρωση) ανάλογα με τις φάσεις των ρευμάτων με τα οποία τροφοδοτούνται. Οι φάσεις αυτές ελέγχονται από ένα παθητικό δίκτυο τροφοδοσίας το οποίο συνδέεται απευθείας με τις εισόδους των στοιχείων και απαρτίζεται από υβριδικούς συζεύκτες και φασηθέτες, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 3**, και ονομάζεται Πίνακας Butler. Η θύρα εισόδου του Πίνακα Butler που θα ενεργοποιηθεί κάθε φορά ελέγχεται με τη σειρά της από ηλεκτρικά ελεγχόμενους διακόπτες SP8T.



Σχήμα 3 Σχηματικό διάγραμμα πίνακα Butler 8 εισόδων-εξόδων (8x8) [3]

Μετά τη σχεδίαση των συστοιχιών και του δικτύου τροφοδοσίας τους, το ολοκληρωμένο σύστημα μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω με τη προσθήκη ανακλαστήρα. Ο ανακλαστήρας είναι μία μεγάλη μεταλλική επιφάνεια που κατευθύνει την ενέργεια της συστοιχίας στην επιθυμητή διεύθυνση εξαιτίας της ανάκλασης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε αγωγό. Η τοποθέτηση ανακλαστήρα σε απόσταση $\lambda_0/4$ (Σχήμα 4) εξασφαλίζει την ισοφασική συμβολή του κύματος που ακτινοβολείται από την κεραία, με αυτό που ανακλάται από το μεταλλικό επίπεδο. Συγκεκριμένα κάθε διαδρομή προ τον ανακλαστήρα, εισάγει διαφορά φάσης -90° , ενώ η ανάκλαση -180° . Έτσι προκύπτει φάση -360° , δηλαδή θετική συμβολή με το άμεσα ακτινοβολούμενο κύμα.



Σχήμα 4 Λειτουργία επίπεδου ανακλαστήρα

II. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΠΙΠΕΔΗΣ ΜΙΚΡΟΤΑΙΝΙΑΚΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ

Μία τυπική μορφή μικροταινιακής κεραίας φαίνεται στο Σχήμα 2 και αποτελείται από το επίπεδο γείωσης και ένα λεπτό μεταλλικό φύλλο (μικροταινία ή patch) με διαστάσεις μήκους και πλάτους L και W . Το επίπεδο γείωσης και η μικροταινία διαχωρίζονται από ένα στρώμα διηλεκτρικού πάχους h και διηλεκτρικής σταθεράς ϵ_r , γνωστό ως υπόστρωμα (substrate). Μεταξύ άλλων δημοφιλών τρόπων τροφοδοσίας, ο τρόπος που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία είναι η ένθετη τροφοδοσία (inset feed) από μικροταινιακή γραμμή πλάτους W_0 , που εισχωρεί στο patch κατά έναν παράγοντα y_0 , και δημιουργεί δύο πλευρικές εγκοπές (Σχήμα 2).

Σύμφωνα με τη θεωρία [1], το μήκος L της ταινίας είναι η απόσταση μεταξύ των ακτινοβολουσών σχισμών #1 και #2 πρέπει να διασφαλίζει τον συντονισμό της κεραίας στον κυρίαρχο ρυθμό TM_{010} , όπου η συχνότητα συντονισμού f_r είναι

$$f_r^{TM_{010}} \approx \frac{c}{2L\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (1)$$

με c να είναι η ταχύτητα του φωτός στον ελεύθερο χώρο και ϵ_{reff} η ενεργός διηλεκτρική σταθερά που οφείλεται στη διαρροή του πεδίου από τις ακμές της μικροταινίας (φαινόμενο των κροσσών). Το πλάτος W είναι η διάσταση των ακτινοβολουσών σχισμών που επιλέγεται για τη

βέλτιστη απόδοση, και ορίζεται έτσι ώστε να μην επιτρέπεται η διέγερση επιπλέον ρυθμών (όπως του TM_{020})

$$W = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2)$$

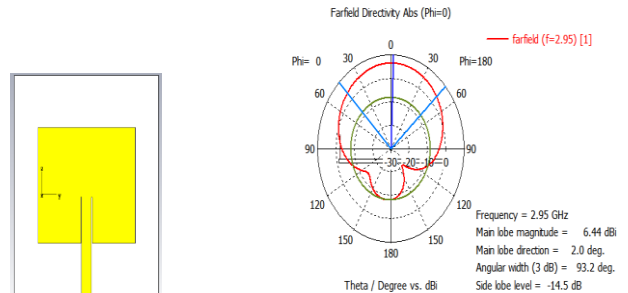
Επειδή η κεραία λειτουργεί σε παράλληλο συντονισμό, αυτός θα βρίσκεται στη συχνότητα όπου το πραγματικό μέρος της αντίστασης εισόδου θα είναι μέγιστο. Η αντίσταση αυτή όμως, θα πρέπει να προσδιοριστεί στο σημείο τροφοδοσίας $y = y_0$ με την τεχνική της αποεμβάπτισης (de-embedding) και δίνεται από την εξίσωση

$$R_{in}(y=y_0) = \frac{1}{2(G_1 \mp G_{12})} \cos^2\left(\frac{\pi}{L}y_0\right) \quad (3)$$

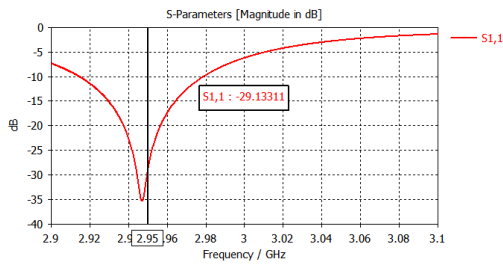
όπου G_1 η πραγματική αγωγιμότητα της ακτινοβούσας σχισμής #1 της μικροταινίας και G_{12} η αμοιβαία πραγματική αγωγιμότητα μεταξύ των σχισμών #1 και #2.

Για τη κεραία της εργασίας (συχνότητα λειτουργίας 2.95 GHz) χρησιμοποιήθηκε το υπόστρωμα ROGERS4003C [4] με $\epsilon_r = 3.55$ και $h = 1.52mm$, και προέκυψαν μετά από βελτιστοποίηση διαστάσεις $L = 26.3mm$, $W = 33.72mm$, σημείο τροφοδοσίας $y_0 = 10.45mm$ και πλάτος γραμμής τροφοδοσίας $W_0 = 3.42mm$ που υπολογίστηκε σύμφωνα με τη θεωρία των μικροταινιακών γραμμών, για να εμφανίζεται χαρακτηριστική αντίσταση ίση με 50Ω . Οι εγκοπές της γραμμής υπολογίστηκαν σύμφωνα με την εργασία [5], στα $0.258mm$.

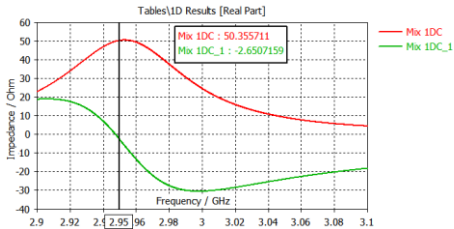
Το διάγραμμα ακτινοβολίας στο Σχήμα 5 είναι αρκετά κοντά στο θεωρητικά αναμενόμενο, με έναν κύριο μετωπικό λοβό με κατευθυντικότητα ίση με 6.44 dBi και έναν μόνο δευτερεύοντα λοβό προς τα πίσω για γωνία ίση με 180° με επίπεδο κατά 14.5dB χαμηλότερο από τον κύριο, ενώ σημειώνεται μεγάλο άνοιγμα μισής ισχύος ίσο με 93° . Όσον αφορά τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά, τα πρακτικά αποδεκτά όρια για τη κεραία στη συχνότητα 2.95 GHz ορίζονται ως $50/\sqrt{2} \leq \text{Real}(Z_{in}) \leq 50/\sqrt{2}$ που αντιστοιχεί σε συντελεστή ανάκλασης $|S_{11}| < -10dB$ στον συντονισμό. Παρατηρείται στο Σχήμα 6 ότι ο συντελεστής ανάκλασης βρίσκεται στα -29 dB, άρα κρίνεται ικανοποιητικός. Στο Σχήμα 7, ο συντονισμός της κεραίας σημειώνεται στα 2.95 GHz για μέγιστη αντίσταση 50Ω , που είναι το βέλτιστο, ωστόσο εμφανίζεται μικρό φανταστικό μέρος το οποίο πρέπει να εξαλειφθεί. Τέλος, το εύρος ζώνης λειτουργίας βρίσκεται στα 2.92-2.98 GHz, που χαρακτηρίζεται αρκετά στενό (3%).



Σχήμα 5 Γεωμετρία σχεδιασμένης επίπεδης μικροταινιακής κεραίας ένθετης τροφοδοσίας (αριστερά) και διάγραμμα ακτινοβολίας (δεξιά)



Σχήμα 6 Συντελεστής ανάκλασης $|S_{11}|$ επίπεδης μικροταινιακής κεραίας



Σχήμα 7 Αποεμβατισμένο πραγματικό και φανταστικό μέρος αντίστασης εισόδου επίπεδης μικροταινιακής κεραίας

III. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΕΡΑΙΑΣ ΤΥΠΟΥ I

Όπως φάνηκε στη προηγούμενη ενότητα, η κατευθυντικότητα και το άνοιγμα μισής ισχύος που υπολογίστηκαν δεν είναι σε ικανοποιητικά επίπεδα για να δικαιολογήσουν τη χρησιμοποίηση της επίπεδης μικροταινιακής κεραίας ως μεμονωμένο στοιχείο στη προτεινόμενη συστοιχία. Για τον λόγο αυτό προτείνεται μία εναλλακτική δομή στοιχείου που αποτελείται από δύο κεραίες τροφοδοτούμενες από το ίδιο ομοαξονικό καλώδιο 50Ω (το οποίο σχεδιάστηκε σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του προϊόντος [6]) που θα ονομαστεί Κεραία Τύπου I και φαίνεται στο **Σχήμα 8**.

Ο γενικός κανόνας για την απόσταση μεταξύ των στοιχείων σε μια συστοιχία ώστε να αποφεύγεται το φαινόμενο των οχληρών λοβών (grating lobes), ορίζεται ως ([1])

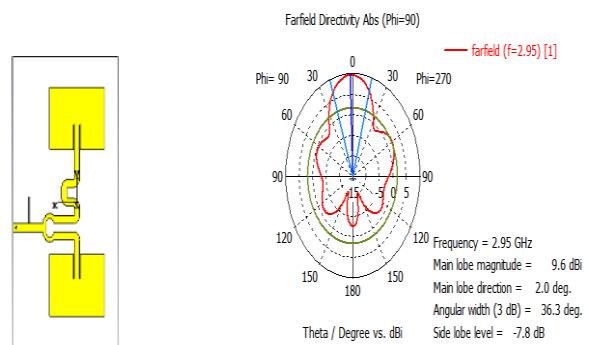
$$d_{max} \leq \frac{\lambda_0}{1 + |\sin \theta_0|} \quad (4)$$

όπου θ_0 η γωνία του μεγίστου στην οποία μπορεί να στραφεί ο κύριος λοβός. Αφού η συστοιχία περιορίζει τη δέσμη μόνο στο αζιμούθιο, στο επίπεδο ανύψωσης απαιτείται μετωπικό διάγραμμα ακτινοβολίας, άρα $\theta_{el} = \theta_0 = 0^\circ$ που δίνει $d_{elmax} \leq \lambda_0$. Αντίθετα, για τη κάλυψη γωνιακού τομέα ίσου με 45° (δηλαδή για 22.5° απόκλιση από τη μετωπική διεύθυνση) για τη κάθε έδρα στο αζιμούθιο, προκύπτει $d_{azmax} \leq 0.72\lambda_0$.

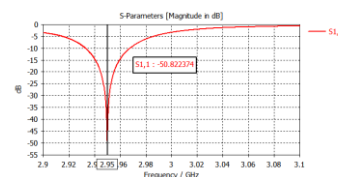
Στη προσπάθεια να διατηρηθούν οι πλευρικοί λοβοί χαμηλοί, η βέλτιστη απόσταση μεταξύ των σημείων τροφοδοσίας των κεραιών βρέθηκε ότι είναι $0.65\lambda_0$. Ο τρόπος με τον οποίο τοποθετούνται οι δύο κεραίες και η γραμμή τροφοδοσίας στο υπόστρωμα επιτρέπουν τη γραμμική κατακόρυφη πόλωση. Παρατηρεί κανείς πως υπάρχει μία μετατόπιση του ομοαξονικού καλωδίου από το κέντρο της συστοιχίας καθιστώντας τα μήκη της γραμμής που καταλήγουν στις κεραίες άνισα. Αυτή η διαφοροποίηση στα μήκη εφαρμόζεται γιατί η τροφοδοσία στη μέση της γραμμής και επομένως οι ίσες αποστάσεις προς τις κεραίες θα

οδηγούσαν στη τροφοδοσία των κεραιών με ρεύματα ίδιου πλάτους και διαφοράς φάσης 180° . Η παραπάνω τοπολογία παράγει ακροποροδοτικό διάγραμμα ακτινοβολίας που είναι ανεπιθύμητο για την εφαρμογή της εργασίας. Έτσι λοιπόν με τη μεταβολή της θέσης τροφοδοσίας, τα ρεύματα που φτάνουν στις κεραίες είναι τα ίδια οδηγώντας σε μετωπική ακτινοβολία. Στη συνέχεια προστίθεται ο διαιρέτης Wilkinson για την επίτευξη ίσης διαιρέση της ισχύος στις κεραίες. Ωστόσο αποδείχτηκε πως ο διαιρέτης εξαιτίας της μετατόπισης της τροφοδοσίας που εφαρμόστηκε παραπάνω, βρισκόταν πολύ κοντά στην ακτινοβολούσα πλευρά της κάτω κεραίας εμφανίζοντας έτσι ισχυρή σύζευξη. Ως λύση, η δομή του διαιρέτη μαζί με το ομοαξονικό καλώδιο μετακινήθηκαν μακριά από τη κάτω κεραία κατά μια μικρή απόσταση έτσι ώστε να υπάρχει ένα κενό τουλάχιστον 5mm. Αυτή η τελευταία κίνηση προφανώς επηρεάζει τη διαφορά φάσης μεταβάλλοντάς την από την επιθυμητή των 180° . Για να διορθωθεί το συγκεκριμένο πρόβλημα, προστίθεται η μαιανδρική γραμμή. Τέλος, παρατηρήθηκε μεγάλο φανταστικό μέρος στην αντίσταση εισόδου το οποίο εξουδετερώθηκε με προσαρμογή με ένα ανοιχτοκυκλωμένο μικροταινιακό stub. Σημειώνεται ότι το δίκτυο τροφοδοσίας βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με τη τυπωμένη κεραία, και επομένως η γραμμή και το stub επηρεάζουν το διάγραμμα ακτινοβολίας.

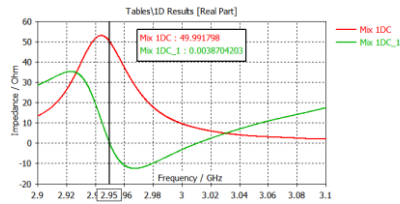
Από τη παρατήρηση των αποτελεσμάτων από τέως το **Σχήμα 10** επιβεβαιώνεται η σωστή λειτουργία όλων των τροποποιήσεων και των επιμέρους δομών που σχεδιάστηκαν. Το διάγραμμα ακτινοβολίας στο **Σχήμα 8** είναι μετωπικό, με καλή συμμετρία, αυξημένη κατευθυντικότητα στα 9.6 dBi, μειωμένο άνοιγμα μισής ισχύος στις 36° αλλά υψηλό επίπεδο πλευρικών λοβών στα -7.8 dB. Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά της κεραίας είναι πολύ κοντά στα ιδανικά, όπως επιβεβαιώνεται από το **Σχήμα 9** όπου ο συντελεστής ανάκλασης βρίσκεται στα -50 dB και από την αντίσταση εισόδου στο **Σχήμα 10** που δείχνει τιμές κοντά στις θεωρητικές που φάνηκαν και στη κεραία της προηγούμενης ενότητας. Τα αποτελέσματα για τον συντελεστή ανάκλασης αποδεικνύουν την επιτυχής σχεδίαση του διαιρέτη Wilkinson, ενώ η αντίσταση εισόδου μαρτυρά τη καλή λειτουργία του stub ($Re(Z_{in}) = 50 \Omega, Im(Z_{in}) = 0$).



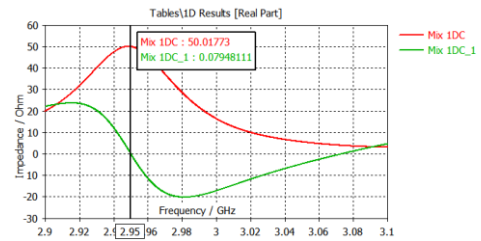
Σχήμα 8 Γεωμετρία Κεραίας Τύπου I (αριστερά) και διάγραμμα ακτινοβολίας (δεξιά)



Σχήμα 9 Συντελεστής ανάκλασης $|S_{11}|$ Κεραίας Τύπου I



Σχήμα 10 Πραγματικό και φανταστικό μέρος αντίστασης εισόδου Κεραίας Τύπου I

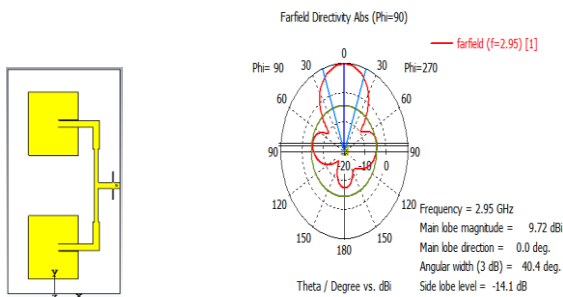


Σχήμα 13 Πραγματικό και φανταστικό μέρος αντίστασης εισόδου Κεραίας Τύπου II

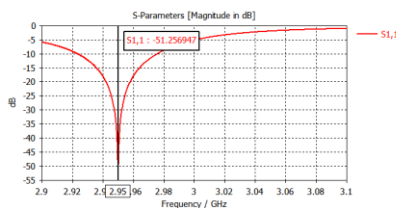
IV. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΕΡΑΙΑΣ ΤΥΠΟΥ II

Η σχεδίαση της Κεραίας Τύπου II προήλθε από την ανάγκη απλοποίησης της Κεραίας Τύπου I καθώς και από την ανάγκη υλοποίησης μιας συμμετρικής διάταξης. Στο Σχήμα II φαίνονται δύο επίπεδες μικροταινιακές κεραίες ένθετης τροφοδοσίας που έχουν περιστραφεί κατά 90° σε σχέση με τη προηγούμενη κεραία, ώστε να ενεργοποιείται η οριζόντια γραμμική πόλωση. Η απόσταση μεταξύ τους έχει καθοριστεί να είναι $0.65\lambda_0$ για την κεντρική συχνότητα λειτουργίας με στόχο την αύξηση της κατευθυντικότητας, ενώ τροφοδοτούνται από έναν διαιρέτη ισχύος τύπου T 3dB ο οποίος σχεδιάστηκε σύμφωνα με την εργασία [7]. Ο διαιρέτης με τη σειρά του τροφοδοτείται με ομοαξονικό καλώδιο 50 Ω. Το φανταστικό μέρος της αντίστασης εισόδου αναιρείται και πάλι με προσαρμογή με ανοιχτοκυκλωμένο stub, το οποίο αυτή τη φορά είναι διπλό για να κατορθώνεται καλύτερη συμμετρία. Η Κεραία Τύπου II απεικονίζεται στο Σχήμα 11 και τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων δίνονται από το Σχήμα 11 έως το Σχήμα 13

Μελετώντας της συμπεριφορά της Κεραίας Τύπου II μπορεί εύκολα να διαπιστώσει την ορθή λειτουργία της. Το διάγραμμα ακτινοβολίας στο Σχήμα 11 εμφανίζει πολύ μεγάλη κατευθυντικότητα των 9.72 dBi ταυτόχρονα με χαμηλό επίπεδο πλευρικών λοβών στα -14.1 dB. Επίσης επιτυγχάνεται αξονική συμμετρία του διαγράμματος ακτινοβολίας θυσιάζοντας ελάχιστα από την απαίτηση για μικρό άνοιγμα μισής ισχύος το οποίο προκύπτει 40.4° . Ο συντελεστής ανάκλασης στο Σχήμα 12 και η αντίσταση εισόδου στο εμφανίζουν σχεδόν ιδανικές τιμές, γεγονός που σημαίνει επιτυχή σχεδίαση διαιρέτη T και επιτυχής προσαρμογή.



Σχήμα 11 Γεωμετρία Κεραίας Τύπου II (αριστερά) και διάγραμμα ακτινοβολίας (δεξιά)

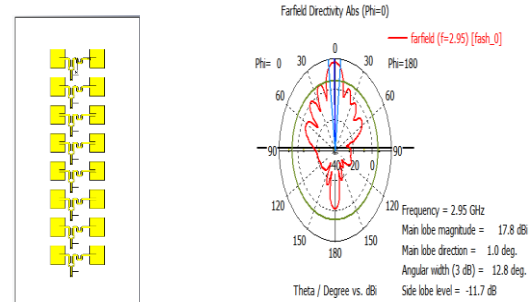


Σχήμα 12 Συντελεστής ανάκλασης $|S_{11}|$ Κεραίας Τύπου II

V. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ ΤΥΠΟΥ I

Στο Σχήμα 14 φαίνεται η Γραμμική Συστοιχία Τύπου I με οκτώ στοιχεία που υλοποιήθηκε από Κεραίες Τύπου I με απόσταση μεταξύ στοιχείων $\lambda_0/2$, και το μετωπικό διάγραμμα ακτινοβολίας που παράγεται από τη ταυτόχρονη τροφοδοσία όλων των στοιχείων από ίδιο πλάτος και φάση, ενώ παράλληλα έχει προεκταθεί το επίπεδο γείωσης και υποστρώματος κατά 50mm.

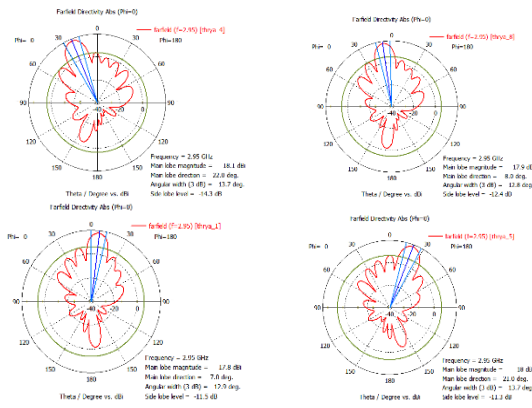
Είναι εμφανής η ασυμμετρία που επικρατεί στις στάθμες των λοβών του διαγράμματος (Σχήμα 14) που βρίσκονται στις $+60^\circ$ και -60° . Έχει επιτευχθεί μεγάλη κατευθυντικότητα στα 17.8 dBi και ο λόγος πλευρικών λοβών μεταβλήθηκε συγκριτικά με τη Κεραία Τύπου I και μειώθηκε στα -11.7 dB.



Σχήμα 14 Γραμμική Συστοιχία Τύπου I (αριστερά) και μετωπικό διάγραμμα ακτινοβολίας (δεξιά)

Στη συνέχεια γίνεται η προσομοίωση της γωνιακή σάρωσης, τροφοδοτώντας τα στοιχεία της συστοιχίας με τις φάσεις ρεύματος που παράγει ένας θεωρητικός Πίνακας Butler 8×8 , οι οποίες αναφέρονται στην εργασία [8].

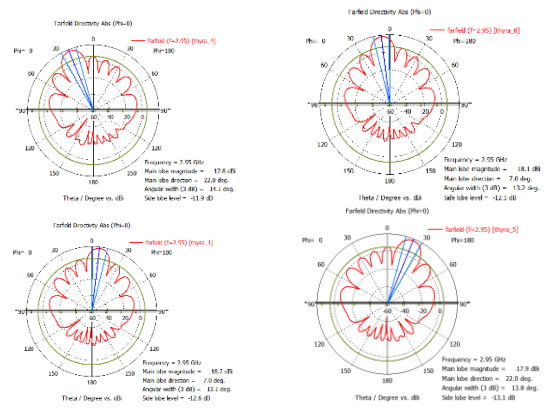
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που δείχνει ο Πίνακας 1 (που περιέχει τη κατευθυντικότητα D, τη διεύθυνση κύριου λοβού θ_0 , το άνοιγμα μισής ισχύος HPBW, επίπεδο πλευρικών λοβών SLL) και το Σχήμα 15, αποδεικνύουν πως η συστοιχία ανταποκρίνεται όπως προβλέπει η θεωρία και η κύρια δέσμη στρέφεται ανάλογα με τη θύρα του πίνακα Butler που ενεργοποιείται. Παρατηρήθηκε κατά τη προσομοίωση, ότι καθώς η δέσμη στρέφεται, μειώνεται η κατευθυντικότητα και ιδιαίτερα στη περίπτωση των ακραίων δεσμών, χειροτερεύει σημαντικά ο λόγος πλευρικών λοβών οποίος έφτασε έως και τα -5.8 dB. Το φαινόμενο αυτό συναντάται γενικότερα στις συστοιχίες φάσης και είναι θεωρητικά αναμενόμενο, αφού $HPBW(\theta_0) = HPBW(\theta_0 = 0^\circ) / \cos \theta_0$. Στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν είναι αιτία προβληματισμού αφού οι ακραίες δέσμες (4L,3L,3R,4R) δε χρειάζονται για τη κάλυψη του γωνιακού τομέα και έτσι οι αντίστοιχες προσομοιώσεις για τις δέσμες αυτές, δεν έχουν αξία να παρουσιαστούν στην εργασία.



Σχήμα 15 Διάγραμμα ακτινοβολίας Γραμμικής Συστοιχίας Τύπου I για ενεργοποίηση δεσμών 2L έως και 2R

Πίνακας 1 Αποτελέσματα γωνιακής σάρωσης Γραμμικής Συστοιχίας Τύπου I

Διεγερμένη θύρα Πίνακα Butler	D (dBi)	θ_0 (°)	HPBW (°)	SLL (dB)
Θύρα 1 (1R)	17.8	+7	12.9	-11.5
Θύρα 4 (2L)	18.1	-22	13.7	-14.3
Θύρα 5 (2R)	18	+21	13.7	-11.3
Θύρα 8 (1L)	17.9	-8	12.8	-12.4



Σχήμα 17 Διάγραμμα ακτινοβολίας Γραμμικής Συστοιχίας Τύπου II για ενεργοποίηση για ενεργοποίηση δεσμών 2L έως και 2R

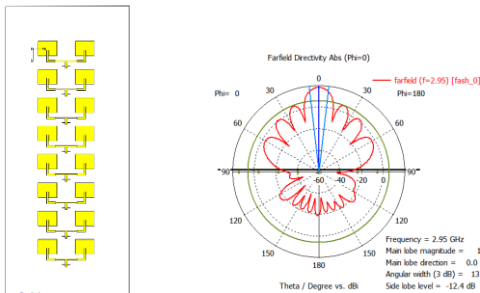
Πίνακας 2 Αποτελέσματα γωνιακής σάρωσης Γραμμικής Συστοιχίας Τύπου II

Διεγερμένη θύρα του Πίνακα Butler	D (dBi)	θ_0 (°)	HPBW (°)	SLL (dB)
Θύρα 1 (1R)	18.2	+7	13.1	-12.6
Θύρα 4 (2L)	17.8	-22	14.1	-11.9
Θύρα 5 (2R)	17.9	+22	13.8	-13.8
Θύρα 8 (1L)	18.1	-7	13.2	-12.1

VI. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ ΤΥΠΟΥ II

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία για τη Γραμμική Συστοιχία Τύπου I, σχεδιάζεται η Γραμμική Συστοιχία Τύπου II από Κεραίες Τύπου II, με επίσης απόσταση μεταξύ τους $\lambda_0/2$.

Στο **Σχήμα 16** όπου φαίνεται το μετωπικό διάγραμμα ακτινοβολίας, παρατηρείται εύκολα πως έχει επιτευχθεί μεγάλη κατευθυντικότητα στα 18.2 dBi, ταυτόχρονα με καλή συμμετρία και χαμηλό επίπεδο πλευρικών λοβών που υπολογίζεται στα -12.4 dBi.



Σχήμα 16 Γραμμική Συστοιχία Τύπου II (πάνω) και μετωπικό διάγραμμα ακτινοβολίας (κάτω)

Το **Σχήμα 17** απεικονίζει τη προσομοίωση της γωνιακής σάρωσης της συστοιχίας με τη χρήση του Πίνακα Butler και ο **Πίνακας 2** συνοψίζει τα αριθμητικά αποτελέσματα. Σχολιάζεται θετικά η ικανότητα της συστοιχίας να διατηρεί τη κατευθυντικότητα της καθώς προσανατολίζεται ο κύριος λοβός. Παρόμοια με τη Γραμμική Συστοιχία Τύπου I, ένα ανεπιθύμητο χαρακτηριστικό είναι ο αυξημένος λόγος πλευρικών λοβών που εμφανίζεται στις περιπτώσεις στροφής της δέσμης στις ακραίες γωνίες που φτάνει έως και τα -10.2 dB, φαινόμενο όμως που είναι κατεσταλμένο συγκριτικά με τη Γραμμική Συστοιχία Τύπου I.

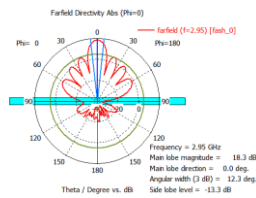
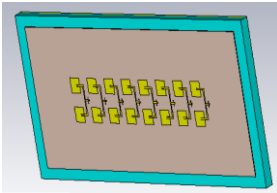
VII. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ

Για την υλοποίηση της τελικής πολυεδρικής συστοιχίας, οι επιμέρους γραμμικές συστοιχίες τοποθετούνται σε κάθε ακμή του πολυεδρικού σχήματος που δημιουργείται, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 1**. Δηλαδή κάθε συστοιχία θα πρέπει να “κουμπώσει” σε μία ακμή μίας μεταλλικής πολυεδρικής κατασκευής που θα λειτουργεί ως μηχανική στήριξη για τη συστοιχία. Αύτη η κατασκευή μπορεί να λειτουργήσει σαν ένας ανακλαστήρας ο οποίος μειώνει τον πίσω λοβό του διαγράμματος ακτινοβολίας. Ταυτόχρονα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα υπόστρωμα μεταξύ του επιπέδου γείωσης και τον ανακλαστήρα, το οποίο θα αποτελείται από αφρώδες υλικό με διηλεκτρική σταθερά κοντά στο 1, ενώ το πάχος του θα είναι $\lambda_0/4$, για τους λόγους που εξηγήθηκαν στην Εισαγωγή.

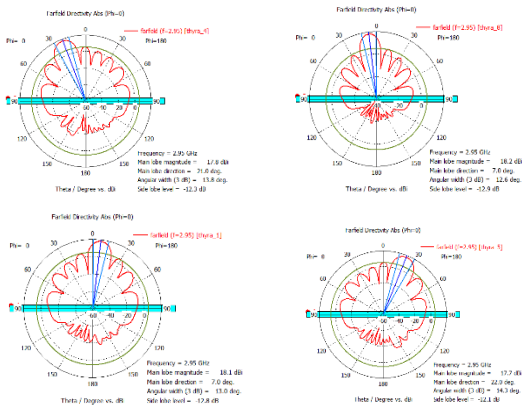
Στη προσομοίωση του CST, ο ανακλαστήρας αναπαρίστανται από ένα λεπτό φύλλο χαλκού και το αφρώδες υπόστρωμα που χρησιμοποιήθηκε είναι το RF2200 από την εταιρεία GeneralPlastics [9], με διηλεκτρική σταθερά 1.060. Παράλληλα, το υπόστρωμα και το επίπεδο γείωσης της κεραίας (ROGERS 4003C) επεκτείνεται κατά επιπλέον 50mm, ενώ βρέθηκε ότι ο ανακλαστήρας μαζί με το αφρώδες υπόστρωμα λειτουργούν ικανοποιητικά όταν προεξέχουν από τα υπόλοιπα επίπεδα κατά 25mm.

Στο **Σχήμα 18** φαίνεται η Γραμμική Συστοιχία Τύπου II με τη προσθήκη ανακλαστήρα και το μετωπικό διάγραμμα ακτινοβολίας. Το αντίστοιχο διάγραμμα ακτινοβολίας για προσανατολισμό δέσμης φαίνεται στο **Σχήμα 19**, και ο **Πίνακας 3** καταγράφει τα αριθμητικά αποτελέσματα. Είναι φανερό η βελτίωση του επιπέδου πλευρικών λοβών για το μετωπικό διάγραμμα στο **Σχήμα 18**, σε σχέση με τις προσομοιώσεις που έγιναν χωρίς ανακλαστήρα. Θεωρητικά, με τη στροφή της δέσμης σε όλο και πιο ακραίες γωνίες, το φαινόμενο χειροτέρευσης του SLL, θα πρέπει να είναι πιο έκδηλο συγκριτικά με τις προσομοιώσεις χωρίς

ανακλαστήρα, αφού αυτός οδηγεί στη συμβολή των κυμάτων στη μετωπική κατεύθυνση όπου τώρα όμως βρίσκεται πλευρικός λοβός. Στη πράξη όμως, από τη στιγμή που οι δέσμες 4L,3L,3R,4R δεν χρησιμοποιούνται για τη περίπτωση της εργασίας, ο Πίνακας 3 δείχνει πως το φαινόμενο δεν είναι έντονο στις ενδιάμεσες δέσμες που προσομοιώθηκαν.



Σχήμα 18 Εφαρμογή ανακλαστήρα (αριστερά), μετωπικό διάγραμμα ακτινοβολίας (δεξιά)



Σχήμα 19 Διάγραμμα ακτινοβολίας Γραμμικής Συστοιχίας Τύπου II με ανακλαστήρα για ενεργοποίηση δεσμών 2L έως και 2R

Πίνακας 3 Αποτελέσματα γωνιακής σάρωσης Γραμμικής Συστοιχίας Τύπου II με ανακλαστήρα

Διεγερμένη θύρα Πίνακα Butler	D (dBi)	θ_0 (°)	HPBW (°)	SLL (dB)
Θύρα 1 (1R)	18.1	+7	13	-12.8
Θύρα 4 (2L)	17.8	-21	13.8	-12.3
Θύρα 5 (2R)	17.7	+22	14.3	-12.1
Θύρα 8 (1L)	18.2	-7	12.6	-12.9

VIII. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην συγκεκριμένη εργασία μελετήθηκαν δύο τύποι κατευθυντικών κεραιών και οι γραμμικές συστοιχίες τους για την ανάπτυξη μιας πολυεδρικής συστοιχίας.

Αρχικά σχεδιάστηκε μια κεραιά κάθετης πόλωσης η οποία όμως κρίθηκε δύσκολη στην υλοποίηση της καθώς απαιτούνται πολλαπλά στοιχεία για την ανάπτυξη της. Επίσης παρουσίαζε σημαντική ασυμμετρία και υψηλή στάθμη πλευρικών λοβών στην περίπτωση της χρήσης της σε συστοιχία 8 στοιχείων. Από την άλλη πλευρά η Κεραιά τύπου II με οριζόντια πόλωση εμφάνισε πιο επιθυμητά χαρακτηριστικά μειώνοντας, ταυτόχρονα, την πολυπλοκότητα της δομής.

Μετά την προσθήκη του ανακλαστήρα, η Γραμμική Συστοιχία II βελτιώθηκε ακόμη περισσότερο χωρίς ιδιαίτερο κόστος και αξιοποίηση επιπλέον πόρων, αυξάνοντας τη κατευθυντικότητα και μειώνοντας το επίπεδο πλευρικών

λοβών στο μετωπικό διάγραμμα ακτινοβολίας, όπως υποδεικνύει ο Πίνακας 4.

Πίνακας 4 Σύγκριση Συστοιχιών ως προς το μετωπικό διάγραμμα ακτινοβολίας

Συστοιχία	Μετωπικό διάγραμμα ακτινοβολίας		
	D (dBi)	HPBW (°)	SLL (dB)
Τύπου I	17.8	12.8	-11.7
Τύπου II	18.2	13	-12.4
Τύπου II ανακλαστήρα	18.3	12.3	-13.3

IX. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- C. A. Balanis, Antenna Theory, Wiley, 2016.
- Φ. Ε. Φακουκάκης, «Μικροκυματικές Τεχνικές Προσανατολισμού Ακτινοβόλουμένης Δέσμης,» Democritus University of Thrace, Xanthi, 2014.
- X. Κολιτσιδάς, «Ανάπτυξη Συστήματος Προσδιορισμού Γωνίας Σήματος σε Τομέα 360 μοιρών με Χρήση Πίνακα Butler και Κυκλικής Συστοιχίας,» Democritus University of Thrace, Xanthi, 2008.
- Rogers Corporation, «RO3003™ Laminates,» 2022. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.rogerscorp.com/advanced-electronics-solutions/ro3000-series-laminates/ro3003-laminates>. [Πρόσβαση 20 January 2024].
- M. Matin and A. Sayeed, "A Design Rule for Inset-Fed Rectangular Microstrip Patch Antenna,," WSEAS TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, January 2010.
- Amphenol SV Microwave, «Amphenol SV Microwave SF3321-60033 RF Cable Assemblies,» 2 February 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.ersaelectronics.com/p/amphenol-sv-microwave-sf3321-60033-16351519?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw17qvBhBrEiwA1rU9w0whnE2odprToLPYpxzDP5LIFeKpMMO6RU8fKSZT6LiuLezNem9l0RoC5KsQAvD_BwE. [Πρόσβαση 20 January 2024].
- D. Guarnera, S. Pavone, O. Chrisafulli, L. Di Donato, A. Morabito, T. Isernia και G. Sorbello, «Design of a Wideband Dual-Polarized Stacked Antenna Array for SATCOM Applications,» Eu Cap2023 Preliminary Programm, 31 March 2023.
- Π. Καπετανίδης, «Σχεδιασμός Τρισδιάστατου Διτκού Διαμόρφωσης Πολλαπλών Μεταγόμενων Δεσμών με Βάση Πίνακες Butler για Υπερευρείς Ζώνες RF3: 6 έως 16 GHz και 7 έως 24GHz,» Democritus University of Thrace, Xanthi, 2023.
- COMPANY, GENERAL PLASTICS MANUFACTURING, «LAST-A-FOAM RF-2200 RIGID POLYURETHANE FOAM,» General Plastics, 4 April 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.generalplastics.com/products/rf-2200>. [Πρόσβαση 20 January 2024].

Improving Fire Detection into Forests with the use of Environmental Sensors

Ioannis Giordamliis, Dimitrios Platsas, Sarantis Antoniou

Department of Electrical and Electronics Engineering and Department of Production & Management Engineering

Democritus University of Thrace

johngiordamliis@gmail.com, dimplatsas@gmail.com, santonio@pme.duth.gr

Abstract— This paper presents a state-of-the-art system for environmental monitoring, air quality and detection of forest fires using sensors. The proposed system can monitor environmental conditions such as temperature, humidity and organic compounds. By monitoring these indexes, it can detect and identify forest fires and their location as well as inform about the contamination levels of the environment. The solution is equipped with four sensors that measure the temperature, humidity, CO, CO₂, NO_x, and Volatile Organic Compounds (VOCs) which are gases emitted during forest fires. The proposed system is a versatile solution that can be implemented in various applications such as Unmanned Aerial Vehicles, Ground Vehicles and Clusters of Nodes.

Keywords—*Environmental Monitoring, IOT, Sensors, Fire Detection, CO, CO₂, NO_x, Volatile Organic Compounds (VOCs)*

I. THE IMPORTANCE OF ENVIRONMENTAL MONITORING IN FOREST FIRE DETECTION

A. The Importance of Forest Fire Prevention

Forests are critical to the health of our planet and play a crucial role in sustaining life on Earth. However, their resilience in recent years is severely threatened by the prevalence of forest fires. These fires are extremely common during the summer months when temperatures reach new heights due to the effects of global warming and human activities. Forest Fires are considered one of the most severe disasters that occur throughout the year, which threaten forest resources, the environment, human and animal lives. During these, nature and the wellbeing of living organisms is threatened due to the damage caused by the fire and the emission of toxic gases [1], [2]. For these reasons Forest Fire Prevention Departments worldwide are very cautious about the fires and the effects they have and take measures to minimize their prevalence and effect.

B. A Modern Approach in Fire Detection

To prevent and detect forest fires, Forest Fire Prevention Departments take measures such as satellite monitoring, watch towers, video surveillance and aerial and ground patrolling.

These conventional methods can assist the situation, however they have some deficiencies, which a new method for environmental and air quality monitoring could further support the situation.

In environmental monitoring, nodes with integrated sensors and processing units can be deployed in the monitoring area and collect relevant information regarding the environment. This data can be processed and then transferred to the user. For this solution nodes can be deployed in forests and used to collect information

about the temperature, humidity, and concentration of compounds such as CO, CO₂, NO_x, and Volatile Organic Compounds (VOCs) [1-2]. This data can be sent to relevant departments which can then assess the situation better and take the appropriate measures to extinguish the fire and help in decision making.

II. FOREST FIRE DETECTION BASED ON ENVIRONMENTAL SENSORS

Most of the fire detection systems nowadays rely on a variety of passive and active sensors that collect data about the environment in which they are deployed. These sensors include:

- Video Cameras. These collect images and detect smoke during the day and flames during the night.
- Infrared Cameras. These detect heat fluctuation due to fire, [3], [4].
- Optical spectrometry that identifies the characteristics of smoke, [5].
- Clusters of Nodes with Sensors that collect data regarding the condition of the environment, [6], [7], [8].
- Airplanes and Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) that monitor the aerial space of the forest, [9].
- Satellite Imagery like Copernicus monitors using various types of cameras from the space.

However, each of those systems has limitations that requires a more integrated and combined approach to effectively monitor and act during a fire.

First of all, automatic video surveillance systems require direct visual line and special condition to install and operate them in forests, [10]-[12]. Airplanes also are costly moving systems with limitations in use, [13]-[15]. Satellite imagery can be inconsistent due to its partial availability, image resolution, delay in processing the data and it is also largely impacted by weather conditions, [16], [17]. For example, clouds and extreme weather conditions absorb parts of the frequency and spectrum and reduce spectral resolution of satellite imagery and can drastically reduce accuracy. Also, most weather sensors today take into consideration temperature, humidity and wind direction which do not describe the whole situation. All the current solutions do not accomplish timely detection and do not account for how the

changing conditions during the fire affect the environment and human and animal lives on a physio-chemical level.

A holistic approach requires a system that enables better and more consistent ground monitoring and allow local authorities to make better decisions and react in a timelier manner, accurately and appropriately in the event of a forest fire. This is accomplished with the implementation of sensors that allow the monitoring of chemical compounds that are prevalent during fires. These compounds include CO, CO₂, NO_x, and Volatile Organic Compounds (VOCs) which are the main gases emitted during a forest fire. This data enables authorities to monitor the environmental conditions in the area and help assess whether people and animals should evacuate the area. Furthermore, with the inclusion of temperature and humidity sensors the proposed solution is able to determine the location of the fire source. Moreover, such solution need to have low power consumption and sustainable to the forest environment. This system can be implemented in various applications such as nodes that can be installed in forests to measure air quality or aerial or ground vehicles like UAVs that can patrol the area and get samples of data in various locations.

III. SYSTEM DESCRIPTION

The proposed system consists of a temperature and humidity sensor, a CO and NO₂ sensor, a CO₂, a Volatile Organic Compound and NO_x sensor and an Arduino Uno Microcontroller. The exact sensors used are:

- BME280 that is responsible for the temperature and humidity estimation in the environment and is able to determine how close to the fire we are by processing these values.
- MISC-4514 that measures the density of CO and NO₂ gasses in ppm (parts per million) which reduce the ability of blood to carry oxygen and lead to breathing problems.
- USEQGSEA82180 to measure the density of CO₂ in the atmosphere that not only damages the environment but also living organisms.
- SGP41-D-R4 which collects data regarding the change in Volatile Organic Compounds and NO_x which are gases that are produced during fires and cause eye, nose, throat irritation, headaches and lung damage.

All the data from the sensors are processed with the Arduino microcontroller and then fused together for risk assessment. This is done by observing whether the estimated values exceed a certain threshold that is considered healthy. All this data can be crucial for authorities for better and faster decision making.

IV. System Designing

The PCB incorporates four sub-circuits of the above-mentioned sensors to monitor key environmental changes during wildfires.

This PCB boasts a two-layer design, optimizing space utilization and ensuring efficient routing. A polygon pour was chosen for ground connections, enhancing stability and performance. It leverages low-power I2C communication for efficient data acquisition from three sensors and utilizes an analog input for the fourth sensor (MISC-4514).

Designed for seamless integration with the Arduino Uno as a shield for enhanced stability, easy and versatile mounting, and minimal power consumption.

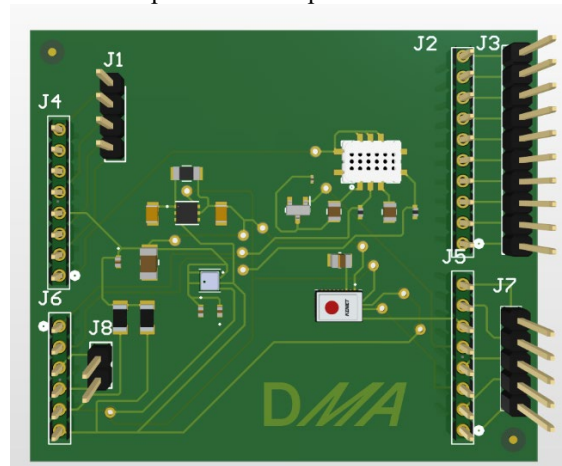


Fig. 1. Image of the PCB

The PCB design is split into 5 sub-systems.

- The BME280 sub-system consists of the temperature and humidity sensor as well as two capacitors that communicate with the VDD and VDDIO ports of the sensor to regulate the voltage [Fig. 2].
- The MISC-4514 which consists of the sensor, five resistors and one MOSFET which creates a short-circuit with the resistor in parallel that is responsible for warming up the sensor [Fig. 3].
- The USEQGSEA82180 sub-system consists of the sensor, two capacitors that regulate the input voltage and one that communicates with the CAP port [Fig. 4].
- The SGP41-D-R4 sub-system consists of the sensor, one resistor and one capacitor that regulates the voltage for the VDD port and one capacitor that regulates the voltage for the VDDH port [Fig. 5].
- The Arduino Uno ports that are placed on the left and right side of the PCB are used as a hat to connect the Arduino ports with the PCB components. There are also external male-pin ports that enable access to any unused Arduino port.

Regarding data transfer and communication, the MISC-4514 utilizes analog input for data communication and the other three sensors communicate using the I2C protocol.

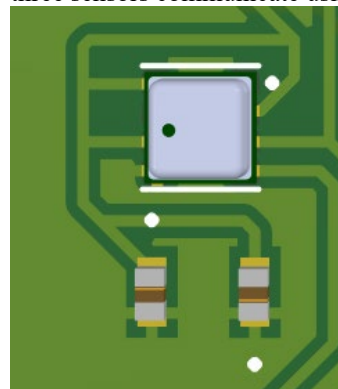


Fig. 2 Image of BME280 Sub-System

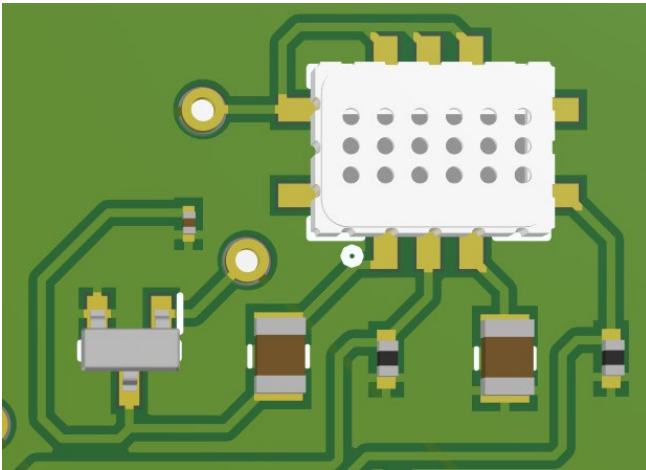


Fig. 3 Image of MISC-4514 Sub-System

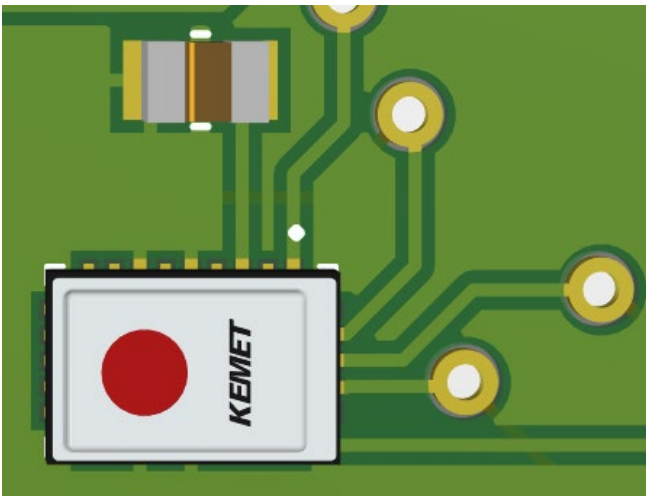


Fig. 4 Image of USEQGSEA82180 Sub-System

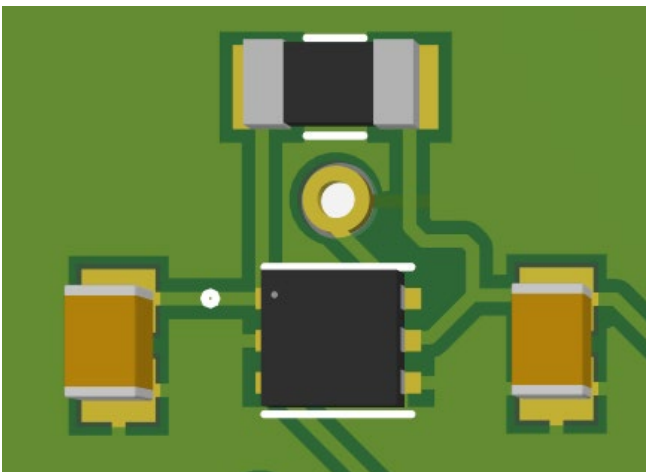


Fig. 5 Image of SGP41-D-R4 Sub-System

V. SYSTEM INTEGRATION AND APPLICATIONS

Due to its versatile nature the proposed system can be applied to many different applications. The current goal is for it to be integrated into UAVs which combining optical data with the system's sensor data can more accurately calculate the location of the fire source and give information about the actual environment conditions. However, it can also be implemented in ground vehicles or even as a cluster of nodes

which can be installed in forests to continuously monitor the environmental conditions.

VI. CONCLUSION

The paper presents a novel integrated system for early detection of wild forest fire as well as an environmental pollution measurement. The proposed solution consists of four environmental sensors that measure the temperature, humidity and air quality and assess the threat to human and animal lives by comparing the environmental measurements with healthy indexes.

The system can provide accurate data to key authorities in order to enable better decision making. The main advantages of the system is its low cost, versatility, low power consumption and plethora of sensors that provide environmental data.

REFERENCES

- [1] MIROSLAV RADOJEVIC "Chemistry of Forest Fires and Regional Haze with Emphasis on Southeast Asia".
- [2] S. C. Joshi "Impact of forest fires on the regional climate".
- [3] L. Hua and G. Shao, "The progress of operational forest fire monitoring with infrared remote sensing,".
- [4] B. C. Arrue, A. Ollero, and J. R. M. de Dios, "An intelligent system for false alarm reduction in infrared forest-fire detection".
- [5] "Forest fire finder", <http://www.ngnsis.com/html/florestas>.
- [6] Junguo ZHANG, Wenbin LI, Zhongxing YIN, Shengbo LIU, Xiaolin GUO "Forest Fire Detection System based on Wireless Sensor Network".
- [7] B. Son and Y.-s. Her, "A design and implementation of forest-fires surveillance system based on wireless sensor networks for south korea mountains,".
- [8] Y. G. Sahin, "Animals as mobile biological sensors for forest fire detection," in *Sensors*, 2007.
- [9] George Georgiades, Xanthi S. Papageorgiou, Savvas G. Loizou "Integrated Forest Monitoring System for Early Fire Detection and Assessment".
- [10] A. Alkhatib, "A review on forest fire detection techniques," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 2014, 2014.
- [11] E. den Breejen, M. Breuers, F. Cremer, R. Kemp, M. Roos, K. Schutte, and J. De Vries, "Autonomous forest fire detection," 07 2001.
- [12] "Fire watch web page," <http://www.fire-watch.de/>.
- [13] C. Yuan, Y. Zhang, and Z. Liu, "A survey on technologies for automatic forest fire monitoring, detection and fighting using uavs and remote sensing techniques,"

[14] H. Cruz, M. Eckert, J. Meneses, and J.-F. Martínez, "Efficient Forest fire detection index for application in unmanned aerial systems (uass)," *Sensors (Switzerland)*, vol. 16, no. 6, 2016.

[15] J. de Dios, L. Merino, F. Caballero, and A. Ollero, "Automatic forestfire measuring using ground stations and unmanned aerial systems," *Sensors*, vol. 11, no. 6, pp. 6328–6353, 2011.

[16] "Modis web page," <http://modis.gsfc.nasa.gov>.

[17] "Avhrr web page," <http://noaasis.noaa.gov/noaasis/ml/avhrr.html>.

[18] "Copernicus web page," <https://www.copernicus.eu/en>

On Body Radar System as Navigational Aid for the Visually Impaired

Kiouis Panagiotis, Markantonatou Eirini, Rodis Georgios, Solomonidi Eleftheria, Soukaras Georgios
ECE Department, University of Patras, Greece

I. INTRODUCTION

Inclusivity is imperative for any society that promotes equality and diversity. One billion people, or 15% of the world's population, experience some form of disability. Disability comes with its own set of challenges but the inability to move freely is detrimental to the physical and mental health of the person. Visually impaired people, especially, are excluded from many activities. Obstacles, noise disturbances, and randomly-placed objects make a simple walk have its own set of difficulties. Even when walking indoors, head-level and trip accidents are existent. In recent years, most developed societies have made progress in the welfare of blind people. Still, a blind stick, the dominant mobility aid in markets should be held constantly and can only detect ground obstacles.

In this work, we propose an innovative, compact, low cost radar setup whose main purpose is to warn visually impaired people every time it detects an obstacle in close distance and thus make every environment, both indoors and outdoors, more accessible. The compactness of the system makes it suitable for both classroom demonstrations and testing, including the evaluation of the implemented antennas' performance. To that end, we intertwine a variety of technologies and measurement techniques such as radars, flexible on-body antennas, nanoVNAs, wireless communication, RF energy harvesting and signal processing, to create a WBAN (Wireless Body Area Network) able to perform as a navigation system for the visually impaired.

To convey the concepts in a way that is easy for non-specialists to understand, the paper is organized as follows: Firstly, we provide background information about Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) radars, scattering parameters (S_{11} , S_{21}) and basic antenna parameters. Then, we showcase how our system will operate as a FMCW radar using the nanoVNA as a power source and a measurement instrument [1]. To improve our system's battery vitality and decrease its energy consumption, we implement RF energy harvesting, and explain thoroughly the way it supports our design. The mathematical foundation supporting our system including all signal processing techniques executed by a Raspberry-Pi and a computer connected to the nanoVNA, such as direct and inverse Fast Fourier Transform (FFT and IFFT), follows. Next, we discuss how our material can be introduced into the class. Lastly, a bill of materials is given.

II. DEFINITIONS

A. FMCW Radar. We will employ a form of repeatable frequency modulation known as a sawtooth wave to generate a chirp signal. The term "sawtooth" refers to a wave whose frequency is linearly increased from a minimum value (F_{min}) up to a maximum value (F_{max}), in a predefined time rate (chirp time "T"). In Fig. 1, the signal is transmitted from an antenna (red line), travels up to a target, reflects back and is captured by the receiving antenna. The received signal (blue line) is a time shifted by a " Δt " copy of the transmitted signal. The constant difference in frequency of the two signals is called beat frequency (Δf or f_b). From basic trigonometry we can see that

$$f_b = \frac{B \cdot \Delta t}{T} \quad (1)$$

where $B = (F_{max} - F_{min})$. The distance from the target is

$$R = \frac{c \cdot \Delta t}{2} = \frac{Up \cdot T \cdot f_b}{2B} \quad (2)$$

where c is the free space light velocity. The distance accuracy of the calculation, is proportional to the factor $\frac{1}{2B}$. Hence, the precision of the calculations is proportional to "B". For example, a bandwidth of 150-200 MHz corresponds to a precision of around 50cm.

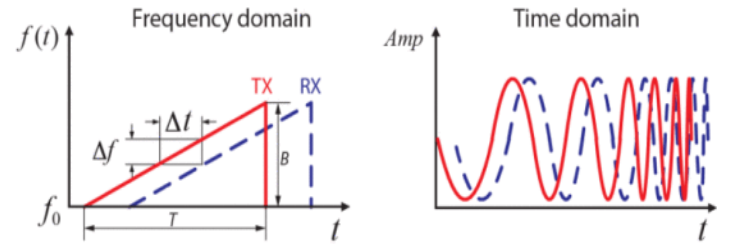


Fig. 1 Emitted Chirp signal from nanoVNA ([2])

B. S-Parameters. They are frequency domain quantities that describe the relationships between ports in an electrical system and relate incident waves to transmitted or reflected ones. They are used to evaluate high frequency circuits and are usually measured with the help of a VNA (Vector Network Analyzer). In a two-port system, S_{11} denotes the ratio between the signal reflected from port 1 over the signal incident to port 1, while S_{21} denotes the ratio between the signal arriving at port 2 over the signal leaving port 1. S_{21} can be linked to the power transmitted from port 1 to port 2, that is

$$S_{21}^2 = \frac{P_{incident \text{ at Port 2}}}{P_{emitted \text{ from Port 1}}} \quad (3)$$

C. S_{11} and impedance matching. The measured S_{11} of a Device Under Test (DUT) connected to the output of a VNA is related to its impedance by

$$S_{11} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (4)$$

where Z_0 is the characteristic impedance of the cable between the DUT and the nano-VNA and Z_L is the impedance of our load (in our case an antenna). If the DUT is an antenna, its impedance's real and imaginary part vary with frequency. The antenna is tuned at its "resonance frequency" and thus, the amplitude of S_{11} is minimized when the input impedance Z_L is matched to Z_0 . This can be observed by a deep in VNA's frequency response of S_{11} .

D. Radiation Efficiency. It is defined as the radiated power from the antenna over the delivered power to the antenna. Efficiency is affected by the losses an antenna can have from the material it is built from. In our case, it is also affected from the human body it is placed on.

III. PRACTICAL APPLICATION

A. Main Idea. A blind person moves in a straight direction and once the radar system comes across an obstacle it detects its relative position in real time. If the obstacle is close enough, the user is warned by a sound whose intensity is dependent on the distance of the obstacle.

B. Proposed Setup. The arrangement includes: two on-body antennas, a nanoVNA, a Raspberry-Pi, an RF-harvesting circuit and an audio system.

Fig. 2 illustrates the arrangement and connections of the components. The nanoVNA and the Raspberry-Pi are placed on a personalized belt and the two on-body antennas (transmitter & receiver) are placed on the user's abdomen with an in-between distance of $2\lambda-3\lambda$ to minimize possible interference. They are then connected to the two ports of the nanoVNA with the transmitter being connected to port 1 and the receiver to port 2. The nanoVNA is set to perform S_{21} measurements on a specific frequency range, while transmitting a chirp signal with a certain period and bandwidth through port 1 of the radar system. It uses USB port to connect to the Raspberry-Pi (and to our laptop for demonstration purposes). The Raspberry-Pi is tasked with processing the information from the connected nanoVNA and performs signal processing methods (analyzed in Section VI) to acquire the relative distance from the obstacle. Next, it sends an output via Bluetooth to the connected earphone placed on the user's ear which is assisted by an ambient RF energy harvesting system. The earphone's output will be controlled by the Raspberry-Pi, such that as distance decreases the sound's intensity increases.

C. Stability. By varying our setup between people and body positions we will confirm that the system works in the same way and thus its stability.

IV. COMPONENTS

A. Resources. For the realization of the proposed work, antennas will be designed and simulated with the help of HFSS electromagnetic software. In addition, Keysight Advanced Design System (ADS) will be employed for circuit analysis. Matlab Simulink will help tune the

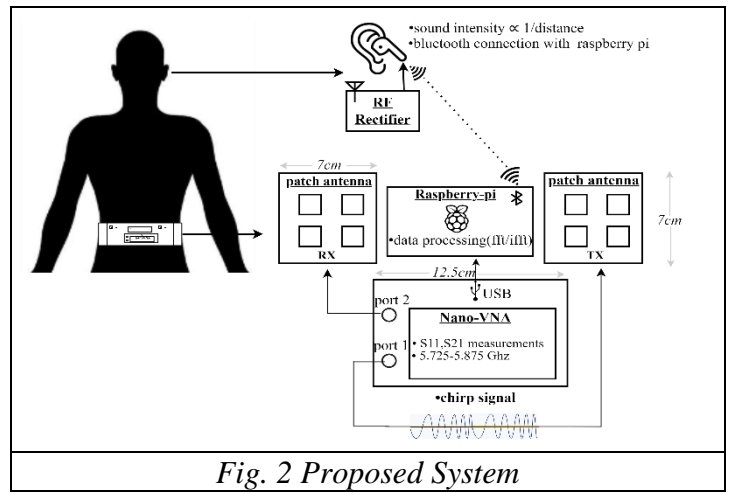


Fig. 2 Proposed System

system before building it up. It will also provide educational material for the in-class demonstration. Finally, in-house workshop will allow for fabricating the antenna and circuits.

B. Antennas. Our goal is to design a 2x2 or larger microstrip patch array operating at 5.8 GHz. Patch antennas are preferred for their easy fabrication, cost-effectiveness, and suitability for on-body applications. We need an array and not a single patch in order to achieve a beamwidth of less than 45° (achievable by a 2 x 2 patch array according to performed calculations) aiming to focus the electromagnetic wave on the obstacle and not the surroundings. From Matlab Simulink simulations of the system we will define the maximum allowed beamwidth. High frequency and wide bandwidth are necessary in order to achieve the desired resolution from the setup, so we choose to operate in the 5.725-5.875 GHz ISM band. This bandwidth (150 MHz) will give us a resolution of the target's distance of around 50 cm.

For demonstration and educational purposes we firstly design the antennas in free space. Because $\lambda \approx 5\text{cm}$, from basic antenna theory [3] we come up with an array with less than $7 \times 7 \text{ cm}^2$ aperture, including ground plane, if a 2 x 2 microstrip patch array is to be utilized. The array is fed by a corporate feeding network which is obtained with the help of ADS. Then, in simulations, we place the antenna on a phantom representing the human body and we observe the new resonance frequency of the antenna. We make slight changes in the dimensions of the antenna until the array resonates in the desired frequency. By this procedure we make the antenna smaller while resonating in the same frequency achieving thus miniaturization.

C. nanoVNA. It is set to perform S_{11} and S_{21} measurements in the ISM band, 5.725-5.875 GHz. To achieve a satisfactory distance resolution from the data processing, we will use 512 sweep points for the S_{21} parameter which will then be forwarded to the Raspberry-Pi for further processing. We are going to use the NanoRFE VNA6000 for two key reasons. First, it is one of the very few in its category which allows the measurement of RF signals up to 6 GHz, something

crucial for our application, as higher frequency requires small antennas and leads to better distance resolution. Secondly, it allows for selecting up to 4096 sweep points and most importantly with a sweep time < 0.2s per 100 sweep points [4]. This will give us a sweep(chirp) time of less than 1 sec (for 512 sweep points), hence alert the user fast enough to avoid possible accidents .

D. Raspberry-PI. To calculate the distance of the target, we need to process the S_{21} data from the nanoVNA with a portable high performance device. IFFT should be executed rapidly so that the system is constantly warning the user. Bluetooth connection should support earphone's protocols. A Raspberry Pi-5 [5] with a processor operating at 2.4 GHz, is preferable, as it performs the necessary FFT in a few hundred μ s and will allow us to control the earphone remotely via compatible Bluetooth protocol.

E. Earphone and Rectifying Circuit. The earphone must meet two fundamental criteria. Firstly, it needs to support the Bluetooth protocol of the Raspberry-Pi. Secondly, its energy consumption should be as low as possible, for continuous use. In order to enhance its energy efficiency, we will employ an RF energy harvesting circuit [6]. The system's basic components are a rectenna (antenna which receives RF signals) and a rectifier which is connected to the rectenna through a matching circuit. The low input rectifier is responsible for producing a DC voltage output while receiving an RF signal by the rectenna. At this point, we will interfere with the earphone's circuitry and place the terminals of the output rectifying circuit in series with its battery. By implementing this approach, the small but steady extra supply voltage extends the battery's life. In general, ambient RF harvesting offers small levels of energy. In our setup though, the user's cell phone will be constantly close to the rectifier. Thus, it can act as a reliable RF source and the rectifier will be able to produce satisfying levels of energy.

V. MEASUREMENTS

First, we will calibrate the nanoVNA. The parameters measured by the nanoVNA are complex numbers. The phase of these parameters ranges from 0° to $\pm 180^\circ$. In order to have accurate phase calculations we have to define these two boundaries (0° and 180°) for our system. Also, we need to define the zero reflection point ($Z_L = Z_0$). The nanoVNA has two ports (port 1, port 2), both of which are used. All available calibrations (open, load, short, through) are performed.

- First, we calibrate the "open", by placing the "open" component in port 1. In this case, as equation (4) suggests, we anticipate S_{11} to be equal to 1 with 0° phase.
- Then we connect the "short" component to port 1 and calibrate "short". From equation (4) we anticipate magnitude of $S_{11}=1$ and phase= 180° .
- Next, we connect the 50 ohm load to port 1 and calibrate the "load". As the input impedance of the

nanoVNA is also 50 ohms, we have almost a perfect match. This defines the reference input impedance.

- Next, we calibrate "through", by placing the respective component among the two ports. This calibrates the delay of the electrical signal from port 1 to port 2.
- We save the calibration.

After user calibration, we connect the transmitter Tx antenna at port 1 and measure the S_{11} parameter and its impedance given by the nanoVNA. The receiver antenna (Rx) can be tested by interchanging ports 1 and 2 and obtain S_{22} parameter. Naturally, since the two antennas are identical, S_{11} and S_{22} should be virtually equal. We set a center frequency at 5.8 GHz with a span of 250 MHz and observe the corresponding value. These measurements will validate the results found by the simulation as mentioned in Section IV.B.

Next, we will estimate the radiation efficiency of our antennas or in other words estimate how well they can radiate. Radiation efficiency, as defined in Section II.D, of Rx and Tx should be very similar (affected slightly by antenna position) and will be considered equal. In Fig. 3b, radiation efficiency of Tx or Rx antenna can be calculated as:

$$r_{e2} = r_{e1} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_4}{P_3} \quad (6)$$

Our radar system along with a metallic parabolic surface (from an off-the-self parabolic antenna), operating as a reflector, is sufficient for performing these calculations (see Fig. 3b). The metallic surface is placed in front of the user in a distance R_0 , in the far field region which can be calculated as follows:

$$\text{Far Field Region} > \left(\frac{2d^2}{\lambda} \right) \quad (7)$$

where d is the array dimension and λ the wavelength. In our case, we select $R_0=1$ m. From geometric optics, we can obtain the angular placement of the surface that gives the maximum reception to the Rx.

The described process is based on S_{21} measurements via a reflector. The antennas are considered directive with one main narrow beam while the sidelobes are low (see Fig. 3a). Antennas have the same orientation, hence the same polarization which is linear [7]. The distance of the reflector while it is greater than that required it is short enough to collect most of the emitted power. Simulations will serve as an additional verification factor for our measurements. Since the receiver antenna can receive some signal directly from the transmitting antenna due to near field reflections and on body surface currents, it perturbs S_{21} . We increase the accuracy of S_{21} , via time gating [8]. The lower and upper limits of the time window are defined by the minimum and maximum time respectively the signal needs to travel to the reflector and return. S_{21} is transformed in time domain through IFFT. All the values outside the time window are rejected. The result is then transformed back to the frequency domain and we obtain corrected value of S_{21} . We set the nanoVNA in the frequency band

5.675-5.925 GHz. P_l is given by (see Fig. 3b):

$$P_l = P_{in}(1 - |S_{11}^2|) \quad (8)$$

whereas S_{11} and P_{in} are given by the nanoVNA. Equally

$$P_r = P_4(1 - |S_{22}^2|) \quad (9)$$

while free space path loss, (a loss factor due to distance and wavelength) is given by: $L = \frac{P_3}{P_2} = \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2$ (10)

where $R \approx 2 * R_o$. Then from (3),

$$S_{21}^2 = \frac{P_r}{P_{in}} = \frac{r_{e2} \cdot P_3 \cdot (1 - |S_{22}^2|)}{P_l \cdot (1 - |S_{11}^2|)} = \frac{r_{e2} \cdot P_2 \cdot L \cdot (1 - |S_{22}^2|)}{P_l \cdot (1 - |S_{11}^2|)} = r_{el}^2 L \quad (11)$$

$$\text{So, finally } r_{el} = \frac{S_{21}}{\sqrt{L}} \quad (12)$$

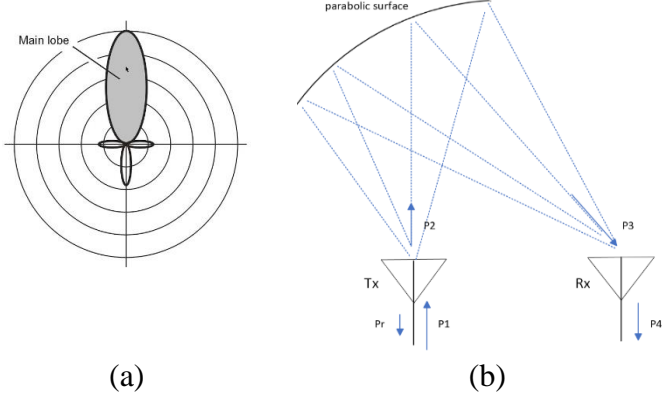


Fig. 3 (a) RX/TX System with one main lobe (b) Efficiency Measurement Setup

VI. SIGNAL PROCESSING

This section describes the method used to calculate the distance of the obstacle. Firstly, as described previously, time gating will be performed to correct the S_{21} data measured by the nanoVNA. The received signal $S_r(f)$ is given by multiplying $S_{21}(f)$ with the transmitted signal $S_t(f)$ (multiplication is done element-wise using the samples of each signal), since the transmitted signal is a chirp signal of known frequency and bandwidth. Then performing IFFT on $S_r(f)$ gives $s_r(t)$ and multiplying this signal with $s_t(t)$ in the time domain leads to a signal which can be written as the sum of a harmonic term (cosine with constant frequency) and another chirp signal. A Low Pass Filter filters out the chirp signal and the beat frequency is determined by calculating the FFT of the remaining signal. Lastly, the distance of the object is calculated by applying equation (2).

VII. CLASSROOM DEMONSTRATION PROCEDURE

This paper intentionally preserves an educational character that will be reinforced by presenting step by step the calibration and measurement procedure. Matlab Simulink will be utilized to model the main idea of the radar system and the FFT calculations. The developed model will help to demonstrate the system operation in class. Electromagnetic analysis will be used for presenting the array performance. A set of instructions will accompany the system presentation:

- 1) Calibrate the nanoVNA (Section V), and place it on the user, preferably on a belt (Section III.B), to create a compact and stable structure.
- 2) Connect the nanoVNA through a USB cable to your

computer and install NanoVNA Saver to interact and get readings from a distance.

- 3) Place on the user two on-body patch arrays and connect them to the nanoVNAs port's (Section III.B)
- 4) From this point on, depending on the actions you want to support, either detect obstacles or calculate antenna parameters, the steps change accordingly:

Navigation system demonstration:

- a) Program a Raspberry-Pi to perform the calculations explained in Section V and place it on the same belt as the nanoVNA (or close enough to connect them via USB). NanoVNA Saver works well on the Raspberry Pi models.
- b) Unplug your computer from the nanoVNA and connect the Raspberry Pi to your nanoVNA (Section III.B) to get real-time S_{21} readings.
- c) Connect an earphone via Bluetooth to the Raspberry-Pi.
- d) Place different kinds of obstacles in close distance, start walking towards them and listen to the warning sound's intensity increase while you approach them.

Antenna Parameters Measurement Tool:

- a) Place a metallic parabolic surface in front of the user and perform the experiment presented in Section V to get the radiation efficiency of the antennas.
- b) Read from the computer the impedance of the antennas and cables and tune the antennas, as explained in Section (V).

VIII. BILL OF MATERIALS

NanoRFE VNA6000	\$ 790
Raspberry Pi 5	\$ 120
RF Harvesting Circuit Components	\$ 80
Earphone	\$ 50
Dielectric Substrates (Antennas)	\$ 150
Parabolic Surface (Antenna)	\$ 200
TOTAL COST	\$ 1390

REFERENCES

- [1] A. A. Pramudita et al, "Radar modeling experiment using vector network analyzer," in 2020 Int. Symp. Ant. Prop, Osaka, Japan, pp. 99–100.
- [2] C. Li et al., "A Review on Recent Progress of Portable Short-Range Noncontact Microwave Radar Systems," in IEEE Trans. MTT, vol. 65, no. 5, pp. 1692–1706.
- [3] C. A. Balanis, "Antenna Theory: Analysis and Design", 4th edition, New Jersey: Wiley, 2016.
- [4] <https://nanorfe.com/vna6000.html>
- [5] <https://www.raspberrypi.com>
- [6] HP Partal et al "Design and realization of an ultra-low power sensing RF energy harvesting module with its RF and DC sub-components," Int J RF Microw Comput Aided Eng. 2019;29:e21622.
- [7] <https://www.digikey.gr/en/blog/antenna-polarization-what-it-is-and-why-it-matters>
- [8] Agilent. Time Domain Analysis Using a Network Analyzer. Application Note 1287-12