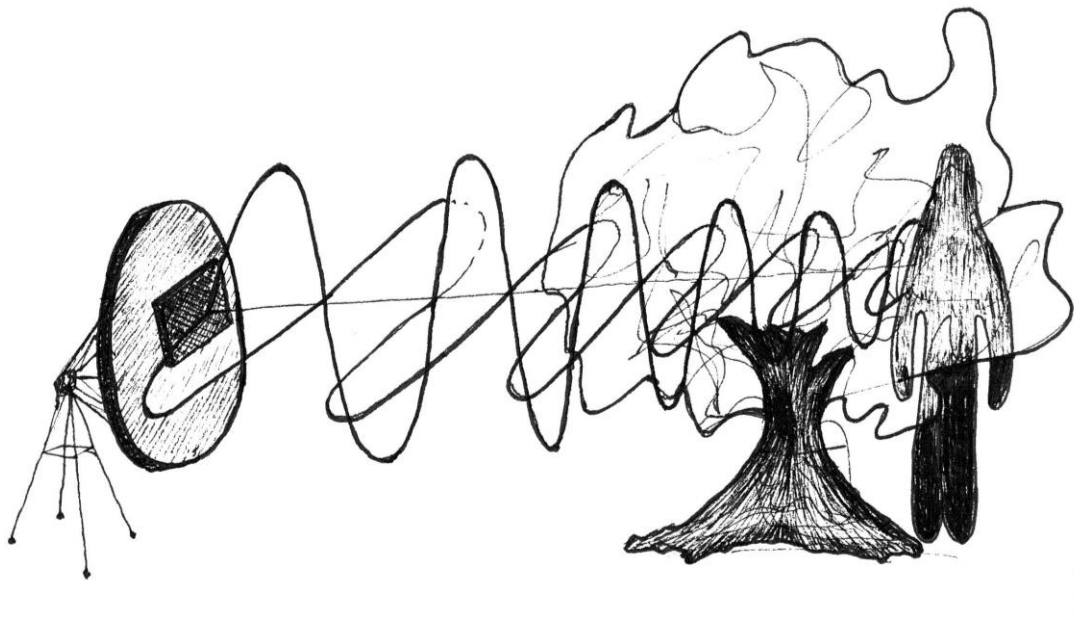




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

Ανίχνευση ζωής παρουσία φυλλώματος με χρήση ραντάρ και μηχανικής μάθησης



Φοιτητές: Παλιοδήμος Ευστράτιος – Παπαδόπουλος Φώτιος
ΑΜ: 503262017073 – 503262017067

Επιβλέπων Καθηγητής:
Στέλιος Μυτιληναίος, Αναπληρωτής Καθηγητής,
Τμήμα ΗΗΜ, ΠΑΔΑ

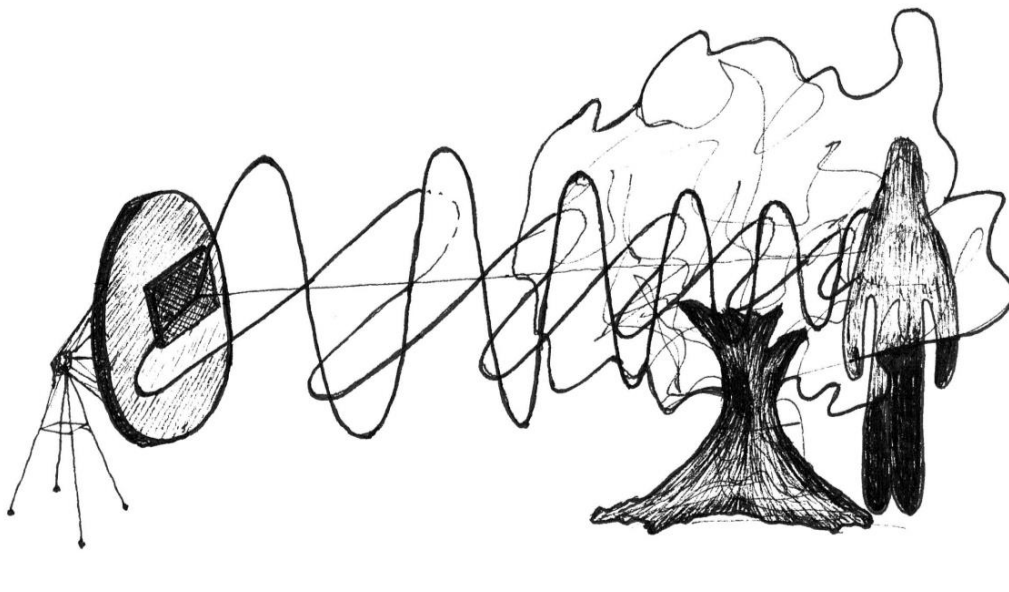
ΑΘΗΝΑ – ΑΙΓΑΛΕΩ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2023



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING**

Diploma Thesis

Life detection through foliage using Radar and Machine Learning



**Students: Paliodimos Efstratios – Papadopoulos Fotios
Registration Number: 503262017073 – 503262017067**

**Supervisor:
Stelios Mitilineos Associate Professor,
Department of EEE, UNIWA**

ATHENS – EGALEO, SEPTEMBER 2023

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Στέλιος Μυτιληναίος, Αν. Καθ. (Επιβλέπων)	Στυλιανός Σαββαΐδης, Καθ. (Μέλος 1)	Χαράλαμπος Πατρικάκης, Καθ. (Μέλος 2)
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Παλιοδήμος Ε. – Παπαδόπουλος Φ.,
Σεπτέμβριος, 2023**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

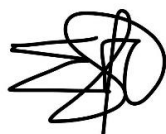
ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι Παλιοδήμος Ευστράτιος του Νικολάου με αριθμό μητρώου 503262017073 και Παπαδόπουλος Φώτιος του Γεωργίου με αριθμό μητρώου 503262017067 φοιτητών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

δηλώνουμε υπεύθυνα ότι:

«Είμαστε συγγραφείς αυτής της διπλωματικής εργασίας και κάθε βοήθεια την οποία είχαμε για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες κάναμε χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνουμε ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από εμάς αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μας, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μας ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μας.»

Οι Δηλούντες



ΠΑΛΙΟΔΗΜΟΣ ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ



ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ ΦΩΤΙΟΣ

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε αρχικά τον επιβλέποντα καθηγητή μας κ. Στέλιο Μυτιληναίο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος ΗΗΜ του ΠΑΔΑ, για την καθοδήγηση που μας προσέφερε και την καθοριστική συμβολή του στην εκπόνηση της εργασίας αυτής. Επιπλέον θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον μεταδιδάκτορα ερευνητή του Τμήματος ΗΗΜ του ΠΑΔΑ, κ. Δ. Ουζουνίδη, για την βοήθεια που παρείχε κατά διαστήματα.

Οφείλουμε επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ, σε όλους εκείνους που συνέβαλαν έμπρακτα στην διεξαγωγή των μετρήσεων καθώς επίσης και τον συνάδελφο και φίλο Φίλιππο Μπαλαμάτσια για την καλλιτεχνική παρέμβαση στο εξώφυλλο της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μας για την ψυχική και οικονομική τους συνεισφορά, καθώς και τους συγγενείς και φίλους για την ηθική υποστήριξη σε όλο το διάστημα των σπουδών μας.

Περίληψη

Το ραντάρ, όπως έχει αποδειχτεί είναι ικανό να δώσει λύση σε πληθώρα προβλημάτων, τα οποία δεν αντιμετωπίζονται με συμβατικές μεθόδους. Η δυνατότητα που έχει να «βλέπει» πίσω από αδιαπέραστα (με οπτικά μέσα) εμπόδια είναι αυτή που το καθιστά απαραίτητο για πολλές περιπτώσεις. Η κατάλληλη παραμετροποίηση και ο σωστός χειρισμός είναι το κλειδί της επιτυχίας. Τέτοιες τεχνολογίες είναι αυτές όπου προσφέρουν στον άνθρωπο καλύτερες και ασφαλέστερες υπηρεσίες γενικότερα. Ένας από τους τομείς με μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον είναι η ασφάλεια του ανθρώπου. Πάνω σε αυτό θα επικεντρωθούμε και εμείς.

Ο συνήθης τρόπος εύρεσης και διάσωσης ανθρώπων γίνεται με οπτικά μέσα όπως είναι κάμερες θερμικές και μη. Οι ομάδες διάσωσης ανιχνεύουν την γύρω τους περιοχή και βασίζονται σε θερμικές κάμερες για να εντοπίσουν χαμένους ανθρώπους. Στην περίπτωση όπου το μέρος όπου ψάχνουν τυχόν θύματα είναι ένα δάσος, τότε είναι πολύ πιθανό το θύμα να έχει σκεπαστεί με κλαδιά και φύλλα ή να μπει μέσα σε ένα θάμνο, με σκοπό να διατηρήσει ευκολότερα την θερμοκρασία του σώματός του. Σε μία τέτοια περίπτωση, η εύρεσή του με οπτικά μέσα είναι απίθανη και υπάρχει μεγάλο ενδεχόμενο η ομάδα διάσωσης μέχρι και να περάσει ακριβώς δίπλα από το θύμα και να μην το αναγνωρίσει.

Ένα σύστημα, λοιπόν το οποίο θα έκανε χρήση της τεχνολογίας του ραντάρ σε ζωντανό χρόνο είναι αυτό όπου θα έδινε τη λύση σε ένα τόσο σοβαρό θέμα όπου μπορεί να σώσει ζωές. Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα αναλύσουμε σε βάθος όλες τις θεωρητικές και πρακτικές λεπτομέρειες που χρειάζονται για την λύση του προβλήματος. Το πρόβλημα της εύρεσης του ανθρώπου πίσω από φύλλωμα είναι αρκετά σύνθετο, και όπως θα δούμε παρακάτω, η κατάλληλη παραμετροποίηση του ραντάρ και η επεξεργασία του σήματος θα παίξουν πολύ μεγάλο ρόλο στην λύση του.

Μετά από κατάλληλη επεξεργασία του σήματος, θα είμαστε σε θέση να τροφοδοτήσουμε ένα σύστημα μηχανικής μάθησης, ώστε και αυτό με τη σειρά του να μπορεί να αποφασίζει εάν υπάρχει ή όχι άνθρωπος πίσω από το ανιχνεύόμενο φύλλωμα. Τα ποσοστά επιτυχίας εύρεσης του ανθρώπου, όπως θα δούμε, θα είναι αρκετά υψηλά και δίνοντας έτσι τη δυνατότητα να βασιστούμε στο εν λόγω σύστημα. Φυσικά, εμείς θα μελετήσουμε σε απλοποιημένη μορφή και σε συγκεκριμένες περιπτώσεις το πρόβλημα καθώς πρόκειται για μία πρώτη προσέγγιση και δεν αποτελεί έτοιμο ή τελικό προϊόν.

Λέξεις – κλειδιά

Ραδιοεντοπιστής, Παλμικό ραντάρ, Μηχανική μάθηση, Επεξεργασία σήματος, Εύρεση ανθρώπου, Μοτίβο αναπνοής, Φύλλωμα, Νευρωνικό δίκτυο, Οπισθοσκεδαζόμενο σήμα, Κεραία εκπομπής, Κεραία λήψης, Χαρακτηριστικά σήματος, Συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο

Abstract

Radar has proven its ability to solve a multitude of problems that cannot be addressed by conventional methods. The capability to "see" through impenetrable obstacles, not discernible through visual means, is what renders it essential in many situations. Proper configuration and handling are key to success. Technologies like these offer people better and safer services in general. The area of greatest research interest is human safety, which is our primary focus.

The typical approach to locating and rescuing people relies on visual methods, including thermal and non-thermal cameras. Rescue teams scan their surroundings and depend on thermal cameras to locate missing individuals. In cases where the search occurs in a forest, it is highly likely that the victim may have covered themselves with branches and leaves or taken shelter in a bush to maintain body temperature. In such instances, finding the victim visually is improbable, increasing the likelihood that the rescue team might unknowingly pass by the victim without recognizing them.

Therefore, a system utilizing live radar technology holds the potential to address this critical issue and save lives. In this thesis, we will comprehensively analyse both the theoretical and practical aspects required to address this problem. The challenge of detecting humans concealed behind foliage is quite complex, and as we will discuss further below, proper radar configuration and signal processing will play a significant role in its solution.

After the signal is properly processed, we will be able to input it into a machine learning system, enabling it to determine whether a human is present behind the detected foliage. As we will demonstrate, the success rates of detecting humans will be quite high, making this system reliable. It is important to note that our study will initially focus on simplified scenarios and specific cases, as this is an initial approach and not a fully developed, ready-to-use product.

Keywords

Radiolocator, Pulse radar, Machine learning, Signal processing, Human detection, Breathing pattern, Foliage, Neural networks, Backscattered signal, Transmitting antenna, Receiving antenna, Signal characteristics, Convolutional Neural Network

Περιεχόμενα

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	12
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	13
ΑΛΦΑΒΗΤΙΚΟ ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ	17
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	18
ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	18
ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ	18
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	18
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ	18
ΔΟΜΗ	18
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^Ο : ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	20
1.1 Το ΡΑΝΤΑΡ.....	20
1.1.1 <i>Round Trip Time</i>	20
1.1.2 <i>Pulse Repetition Frequency και Interval</i>	21
1.1.3 <i>Maximum Unambiguous Range</i>	22
1.1.4 <i>Η εξίσωση του ραντάρ</i>	22
1.1.5 <i>Radar Cross Section</i>	22
1.1.6 <i>Πολυδιαδρομική διάδοση (Multipath)</i>	23
1.1.7 <i>Άμεση Διαδρομή (Direct Path)</i>	23
1.2 Το ΠΑΛΜΙΚΟ ΡΑΝΤΑΡ (IMPULSE RADAR)	24
1.2.1 <i>Ιστορική αναδρομή</i>	24
1.2.2 <i>Το παλμικό ραντάρ - θεωρία</i>	24
1.2.3 <i>Η κεραία του ραντάρ</i>	27
1.3 ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ.....	28
1.3.1 <i>Νευρωνικά δίκτυα</i>	28
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^Ο ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΗΜΑΤΩΝ	29
2.1 ΗΕΑΤΜΑΡ	32
2.2 ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ (STANDARD DEVIATION).....	34
2.3 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ FOURIER (FT).....	35
2.4 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ (REAL TIME REPRESENTATION).....	37
2.5 2D CONTINUOUS WAVELET TRANSFORM (2D CWT)	39
2.6 ΕΝΤΡΟΠΙΑ WAVELET (WAVELET ENTROPY)	43
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^Ο Η ΔΙΑΤΑΞΗ	46
3.1 RADAR.....	46
3.2 ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	48
3.2.1 <i>Ανεμόμετρα</i>	48
3.2.2 <i>Πρωτόκολλο RS-485</i>	49
3.2.3 <i>Arduino UNO</i>	50
3.3 ΖΩΝΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΝΑΠΝΟΩΝ	50
3.4 RADAR ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΤΥΠΟ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ	52
3.4.1 <i>Κατασκευή θήκης – βάσης στήριξης</i>	52
3.4.2 <i>Ραντάρ και Teflon</i>	54
3.4.3 <i>Μελέτη επίδρασης κατασκευής στο μοτίβο αναπνοής</i>	54
3.4.4 <i>Αντίκτυπο παρεμβολών χειριστή ραντάρ</i>	60
3.4.5 <i>Ανεμόμετρα</i>	62

3.4.6	Τελικό κουτί.....	65
3.4.7	Προσθήκη ανακλαστήρα	66
3.4.8	Βοηθητικό κουτί ηλεκτρονικών εξαρτημάτων	68
3.5	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗ ΡΑΝΤΑΡ	69
3.5.1	Frame rate (fps).....	69
3.5.2	Resolution (res).....	71
3.5.3	Frequency region (tx_region).....	71
3.5.4	Δοκιμές συνδυασμών pps & iter.....	72
	Pulses Per Step (pps)	72
	Iterations (iter)	72
3.5.4.1	Δοκιμές συνδυασμών pps & iter – εσωτερικός χώρος.....	72
3.5.4.2	Δοκιμές μετρήσεων για συνδυασμούς pps & iter – εσωτερικός χώρος (με ανακλαστήρα).....	75
3.5.4.3	Δοκιμές μετρήσεων για συνδυασμούς pps & iter – εξωτερικός χώρος (με ανακλαστήρα).....	77
3.5.5	Θέση ανακλαστήρα	81
3.5.6	Transmission power (tx_power)	85
3.6	ΣΥΝΟΨΗ ΡΥΘΜΙΣΕΩΝ ΡΑΝΤΑΡ.....	88
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	89
4.1	ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	89
4.2	ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΑΝΑΠΝΟΗ ΚΑΙ ΡΑΝΤΑΡ.....	89
4.2.1	Μηχανισμός ανθρώπινης αναπνοής.....	89
4.2.2	Ραντάρ και αναπνοή	90
4.2.3	Συμπεριφορά φυλλώματος.....	92
4.2.4	Επίδραση ανέμου.....	93
4.2.5	Διαβάθμιση δυσκολίας του προβλήματος	94
4.2.5.1	Αναγνώριση ανθρώπινης παρουσίας χωρίς εμπόδιο.....	94
4.2.5.2	Αναγνώριση ανθρώπινης παρουσίας με σταθερό εμπόδιο	95
4.2.5.3	Αναγνώριση ανθρώπινης παρουσίας με δυναμικό εμπόδιο.....	96
4.3	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ.....	98
4.3.1	Χρήση Matlab.....	99
4.3.2	Αποθήκευση και συσχέτιση δεδομένων μέτρησης	99
4.3.3	Χωρική διάταξη της μέτρησης	99
5	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ – DATASET	100
5.1	ΟΡΓΑΝΩΣΗ DATASET	100
5.2	ΔΟΜΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΡΑΝΤΑΡ	101
5.3	FEATURE EXTRACTION	102
5.4	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	102
5.5	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	104
5.5.1	Με χρήση Heatmap.....	104
5.5.2	Με χρήση Continuous Wavelet Transform	105
5.5.3	Με χρήση FFT.....	107
5.5.4	Με χρήση STD.....	109
5.5.5	Με χρήση Wavelet Entropy.....	111
6	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΝΘΡΩΠΟΥ ΜΕΣΩ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ.....	115
6.1	ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	115
6.2	SQUEEZE NET	115
6.3	ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	117
6.4	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙΤΥΧΙΑΣ.....	117
6.5	ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – CONFUSION MATRIX.....	118
6.5.1	Αποτελέσματα Heatmap.....	120

6.5.2	Αποτελέσματα FFT.....	121
6.5.3	Αποτελέσματα Tsallis Wavelet Entropy.....	122
6.5.4	Αποτελέσματα Wavelet.....	123
6.6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	124
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	125
7.1	ΈΚΒΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΙΔΕΑΣ ΚΑΙ ΕΝΔΕΧΟΜΕΝΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ	125
7.2	ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	125
7.3	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	126
8	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	127
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΦΑΚΕΛΟΥ ΚΩΔΙΚΩΝ MATLAB.....	130
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β - ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΑ MODULES	131
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ – ΣΥΣΚΕΥΗ ΡΑΝΤΑΡ.....	132
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ – ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΑ.....	133
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε – ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟΙ ΚΩΔΙΚΕΣ MATLAB	134

Κατάλογος Πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΩΝ	48
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2 MODBUS FRAME SETUP.....	50
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3 ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ITERATIONS – PPS ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΧΩΡΙΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ.	73
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4 ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ITERATIONS – PPS ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΜΕ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ.....	75
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.5 ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ITERATIONS – PPS ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ, ΣΕ ΦΥΛΛΩΜΑ, ΜΕ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ, ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΑΝΘΡΩΠΟΥ.....	77
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.6 ΔΟΚΙΜΕΣ ΘΕΣΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ ΕΝΔΙΑΜΕΣΩΝ ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΩΝ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ.....	81
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.7 ΣΥΝΤΟΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΕΚΠΟΜΠΟΥ. ΠΗΓΗ: [31].....	85
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.8 ΔΟΚΙΜΕΣ ΡΥΘΜΙΣΕΩΝ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΜΕ ΣΤΟΧΟ ΚΑΙ ΘΗΚΗ.	86
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.9 ΣΥΝΟΨΗ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΩΝ ΡΥΘΜΙΣΕΩΝ ΡΑΝΤΑΡ.....	88
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1 ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΩΝ.	103
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	116
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟΥ ΓΙΑ HEATMAP	120
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟΥ ΓΙΑ FFT.....	121
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟΥ TSALLIS WAVELET ENTROPY.....	122
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟΥ ΓΙΑ WAVELET	123

Κατάλογος Εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 1.1 PULSE REPETITION INTERVAL IN A PULSE TRAIN. ΠΗΓΗ: [1]	21
ΕΙΚΟΝΑ 1.2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΠΟΛΙΚΟΥ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ RCS ΣΤΗ ΖΩΝΗ 24-25 GHz ΚΑΙ ΤΕΣΣΕΡΑ ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΑ ΤΟΥ ΑΝΔΡΕΙΚΕΛΟΥ ΣΤΟ TURNTABLE. ΠΗΓΗ: [4]	23
ΕΙΚΟΝΑ 1.3 A BASEBAND RADAR FRAME. ΠΗΓΗ: [2]	23
ΕΙΚΟΝΑ 1.4 ΜΠΛΟΚ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΚΠΟΜΠΟΥ UWB RADAR. ΠΗΓΗ: [5]	24
ΕΙΚΟΝΑ 1.5 ΜΠΛΟΚ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΕΚΤΗ UWB RADAR. ΠΗΓΗ: [5]	25
ΕΙΚΟΝΑ 1.6 ΦΑΣΜΑ ΗΜΙΤΟΝΟΕΙΔΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΜΟΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ 0.1 ns. ΠΗΓΗ: [6]	26
ΕΙΚΟΝΑ 1.7 ΦΑΣΜΑΤΑ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗΣ ΕΝΟΣ ΚΥΚΛΟΥ ΣΕ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΟ ΦΑΣΜΑ ΜΙΑΣ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗΣ ΔΥΟ ΚΑΙ ΔΕΚΑ ΚΥΚΛΩΝ. ΑΚΟΜΗ ΚΑΙ ΜΕ $N=10$, ΤΟ ΦΑΣΜΑ ΕΞΑΚΟΛΟΥΘΕΙ ΝΑ ΔΕΙΧΝΕΙ ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑ, ΥΠΟΔΕΙΚΝΥΟΝΤΑΣ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΡΝΗΤΙΚΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ. ΠΗΓΗ: [6]	26
ΕΙΚΟΝΑ 1.8 ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΗ ΜΟΡΦΗ ΚΕΡΑΙΑΣ ΜΙΚΡΟΤΑΙΝΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ. ΠΗΓΗ: [7]	27
ΕΙΚΟΝΑ 2.1 ΜΙΓΑΔΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ ΕΞΟΔΟΥ ΤΟΥ ΡΑΝΤΑΡ ΓΙΑ ΟΛΑ ΤΑ FRAMES (ΜΕΤΡΗΣΗ:1686564925)..	29
ΕΙΚΟΝΑ 2.2 ΠΛΑΤΟΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΕΞΟΔΟΥ ΤΟΥ ΡΑΝΤΑΡ ΓΙΑ ΟΛΑ ΤΑ FRAMES (ΜΕΤΡΗΣΗ:1686564925).	30
ΕΙΚΟΝΑ 2.3 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΕΞΟΔΟΥ ΤΟΥ ΡΑΝΤΑΡ ΓΙΑ ΟΛΑ ΤΑ FRAMES ΕΚΤΟΣ ΤΩΝ ΑΡΧΙΚΩΝ 20. (ΜΕΤΡΗΣΗ:1686564925).	30
ΕΙΚΟΝΑ 2.4 ΦΑΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ ΕΞΟΔΟΥ ΤΟΥ ΡΑΝΤΑΡ ΓΙΑ ΟΛΑ ΤΑ FRAMES (ΜΕΤΡΗΣΗ:1686564925).	31
ΕΙΚΟΝΑ 2.5 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΦΑΣΗΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΕΞΟΔΟΥ ΤΟΥ ΡΑΝΤΑΡ ΓΙΑ ΟΛΑ ΤΑ FRAMES (ΜΕΤΡΗΣΗ:1686564925).....	31
ΕΙΚΟΝΑ 2.6 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΜΟΡΦΗ HEATMAP ΤΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΟΛΟΚΛΗΡΟΥ ΜΙΓΑΔΙΚΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΡΑΝΤΑΡ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΩΡΟ ΚΑΙ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ (ΜΕΤΡΗΣΗ:1686564925).....	32
ΕΙΚΟΝΑ 2.7 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΜΟΡΦΗ HEATMAP ΤΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΤΟΥ ΜΙΓΑΔΙΚΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΡΑΝΤΑΡ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΩΡΟ ΚΑΙ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΑΦΑΙΡΕΜΕΝΟΥ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥ (ΜΕΤΡΗΣΗ:1686564925).....	33
ΕΙΚΟΝΑ 2.8 ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΕΥΡΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΡΑΝΤΑΡ (ΜΕΤΡΗΣΗ:1686564925).....	34
ΕΙΚΟΝΑ 2.9 Ένα σήμα στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας. ΠΗΓΗ: [12].....	35
ΕΙΚΟΝΑ 2.10 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ FOURIER ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΧΡΟΝΟ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗ (ΜΕΤΡΗΣΗ:1688675764). ..	36
ΕΙΚΟΝΑ 2.11 USER INTERFACE ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΝ ΧΡΟΝΙΚΗ ΣΤΙΓΜΗ 2.29SEC (ΜΕΤΡΗΣΗ:1688675764).....	38
ΕΙΚΟΝΑ 2.12 USER INTERFACE ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΝ ΧΡΟΝΙΚΗ ΣΤΙΓΜΗ 7.53SEC (ΜΕΤΡΗΣΗ:1688675764).....	38
ΕΙΚΟΝΑ 2.13 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ MORLET WAVELET. ΠΗΓΗ: [15]	39
ΕΙΚΟΝΑ 2.14 SCALOGRAMS ΚΑΙ OSCILLOGRAPHIES ΑΠΟΤΟΜΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΟΥ POWER QUALITY: IMPULSIVE TRANSIENT (A), OSCILLATORY TRANSIENT (B). ΠΗΓΗ: [16]	39
ΕΙΚΟΝΑ 2.15 ΑΠΟΣΥΝΘΕΣΗ ΑΡΧΙΚΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ WAVELET ΣΤΑ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΗΜΑΤΑ WAVELET. ΠΗΓΗ: [18].....	40
ΕΙΚΟΝΑ 2.16 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ WAVELET ΓΙΑ ΔΥΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ. ΠΗΓΗ: [18]	41
ΕΙΚΟΝΑ 2.17 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΤΟΥ ΙΔΙΟΥ ΑΡΧΙΚΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΟΝ ΙΔΙΟ ΤΥΠΟ WAVELET, ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΛΙΜΑΚΑΣ. ΠΗΓΗ: [18]	41
ΕΙΚΟΝΑ 2.18 ΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ WAVELET	41
ΕΙΚΟΝΑ 2.19 ΣΗΜΑ EEG-ERP (ΕΠΑΝΩ) ΚΑΙ Η ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑ SHANNON ΕΝΤΡΟΠΙΑ ΤΟΥ (ΚΑΤΩ). ΠΗΓΗ: [19]	43
ΕΙΚΟΝΑ 3.1 ΑΠΛΟΥΣΤΕΥΜΕΝΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΡΑΝΤΑΡ SLMX4. ΠΗΓΗ: [2].....	46
ΕΙΚΟΝΑ 3.2 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΡΑΝΤΑΡ X4. ΠΗΓΗ: [2]	46
ΕΙΚΟΝΑ 3.3 ΠΟΛΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ ΕΛΛΕΙΠΤΙΚΗΣ ΜΙΚΡΟΤΑΙΝΙΑΣ (ΕΡΑΜ) ΣΤΟ ΑΖΙΜΟΥΘΙΟ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΑΝΥΨΩΣΗ (ΔΕΞΙΑ). ΠΗΓΗ: [24]	47
ΕΙΚΟΝΑ 3.4 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΑΝΕΜΟΥ (ΔΕΞΙΑ) ΤΥΠΟΥ RS485.....	48
ΕΙΚΟΝΑ 3.5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΤΗΣ ΖΩΝΗΣ. ΠΗΓΗ: [25]	50
ΕΙΚΟΝΑ 3.6 USER INTERFACE ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΛΗΨΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΖΩΝΗΣ ΑΝΑΠΝΟΩΝ.....	51
ΕΙΚΟΝΑ 3.7 ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.	52
ΕΙΚΟΝΑ 3.8 ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ ΘΗΚΗΣ – ΒΑΣΗΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ.....	52
ΕΙΚΟΝΑ 3.9 ΠΙΣΩ ΟΨΗ ΘΗΚΗΣ – ΒΑΣΗΣ.....	52

ΕΙΚΟΝΑ 3.10 ΠΡΟΣΟΨΗ ΘΗΚΗΣ - ΒΑΣΗΣ.....	52
ΕΙΚΟΝΑ 3.11 ΧΩΡΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ – ΔΟΚΙΜΩΝ ΡΑΝΤΑΡ	53
ΕΙΚΟΝΑ 3.12 ΣΤΗΡΙΞΗ ΠΛΑΚΕΤΑΣ – ΡΑΝΤΑΡ ΕΚΤΟΣ ΒΑΣΗΣ	53
ΕΙΚΟΝΑ 3.13 ΜΠΡΟΣΤΙΝΟ ΜΕΡΟΣ ΒΑΣΗΣ – ΤΑΠΩΝ	54
ΕΙΚΟΝΑ 3.14 ΠΙΣΩ ΜΕΡΟΣ ΒΑΣΗΣ – ΤΑΠΩΝ	54
ΕΙΚΟΝΑ 3.15 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΟΤΙΒΟΥ ΑΝΑΠΝΟΗΣ ΑΠΟΥΣΙΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑ (ΔΕΞΙΑ) ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΩΝ ΤΑΠΩΝ	55
ΕΙΚΟΝΑ 3.16 ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΤΩΝ ΑΝΩΤΕΡΩ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΤΑΠΩΝ (ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ: 1678887729 & 1678884823).....	55
ΕΙΚΟΝΑ 3.17 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΟΤΙΒΟΥ ΑΝΑΠΝΟΗΣ ΜΕ ΤΟ ΡΑΝΤΑΡ ΕΝΤΟΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΕΚΤΟΣ (ΔΕΞΙΑ) ΒΑΣΗΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ.....	56
ΕΙΚΟΝΑ 3.18 ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΤΩΝ ΑΝΩΤΕΡΩ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΒΑΣΗΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΤΙΒΟ ΑΝΑΠΝΟΗΣ	57
ΕΙΚΟΝΑ 3.19 ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΣ ΣΤΟΧΟΣ ΔΟΚΙΜΩΝ ΡΑΝΤΑΡ ΤΥΠΟΥ ΑΣΤΕΡΑ, ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ LAB-VOLT.	57
ΕΙΚΟΝΑ 3.20 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΣΤΟΧΟΥ ΤΥΠΟΥ ΑΣΤΕΡΑ ΜΕ ΤΟ ΡΑΝΤΑΡ ΕΝΤΟΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΕΚΤΟΣ (ΔΕΞΙΑ) ΒΑΣΗΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ.....	58
ΕΙΚΟΝΑ 3.21 ΛΟΓΟΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣ ΘΟΡΥΒΟ ΤΗΣ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΣΤΟΧΟΥ ΤΥΠΟΥ ΑΣΤΕΡΑ ΜΕ ΤΟ ΡΑΝΤΑΡ ΕΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΚΤΟΣ ΘΗΚΗΣ	59
ΕΙΚΟΝΑ 3.22 ΛΟΓΟΣ SNR ΤΗΣ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΣΤΟΧΟΥ ΤΥΠΟΥ ΑΣΤΕΡΑ ΜΕ ΤΟ ΡΑΝΤΑΡ ΕΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΚΤΟΣ ΘΗΚΗΣ, ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΔΕΙΚΤΩΝ	59
ΕΙΚΟΝΑ 3.23 ΕΣΤΙΑΣΜΕΝΟ ΜΗΚΟΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΣΤΙΣ ΘΕΣΕΙΣ ΤΩΝ ΧΕΙΡΙΣΤΩΝ ΤΟΥ ΡΑΝΤΑΡ, ΜΕ ΤΟ ΑΥΤΟ ΕΝΤΟΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΕΚΤΟΣ (ΔΕΞΙΑ) ΒΑΣΗΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ (ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ: 1680107468 - ΑΡΙΣΤΕΡΑ & 1680112592 - ΔΕΞΙΑ)....	60
ΕΙΚΟΝΑ 3.24 ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΤΩΝ ΑΝΩΤΕΡΩ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΤΟΧΟ (ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ: 1680107468 & 1680112592).....	61
ΕΙΚΟΝΑ 3.25 ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΩΝ – ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ ΘΕΣΗΣ.	62
ΕΙΚΟΝΑ 3.26 ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ ΥΠΑΡΞΗΣ ΚΑΙ ΜΗ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΩΝ ΣΕ ΟΛΗ ΤΗΝ ΕΜΒΕΛΕΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΡΑΝΤΑΡ.....	63
ΕΙΚΟΝΑ 3.27 ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ ΥΠΑΡΞΗΣ ΚΑΙ ΜΗ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΩΝ ΣΕ ΟΛΗ ΤΗΝ ΕΜΒΕΛΕΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΡΑΝΤΑΡ ΑΦΑΙΡΕΜΕΝΟΥ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥ (ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ: 1682428355 & 1682428694).....	63
ΕΙΚΟΝΑ 3.28 ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ ΥΠΑΡΞΗΣ ΚΑΙ ΜΗ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΩΝ, ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΑΝΘΡΩΠΟΥ ΣΕ ΟΛΗ ΤΗΝ ΕΜΒΕΛΕΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΡΑΝΤΑΡ ΑΦΑΙΡΕΜΕΝΟΥ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥ (ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ: 1682428511 & 1682428773).....	64
ΕΙΚΟΝΑ 3.29 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΑΞΟΝΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΡΑΝΤΑΡ ΕΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΚΤΟΣ ΘΗΚΗΣ.....	65
ΕΙΚΟΝΑ 3.30 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΜΕΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΩΝ ΚΑΙ ΚΕΡΑΙΩΝ. ΠΗΓΗ: [7]	66
ΕΙΚΟΝΑ 3.31 ΑΥΤΟΣΧΕΔΙΟΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑΣ.....	67
ΕΙΚΟΝΑ 3.32 ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΥ ΚΟΥΤΙΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.	68
ΕΙΚΟΝΑ 3.33 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΣΕ ΕΝΗΛΙΚΕΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΤΗΝ ΑΣΘΕΝΕΙΑ. ΠΗΓΗ: [27]	69
ΕΙΚΟΝΑ 3.34 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΙΔΙΟΥ ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΟΥ ΚΑΙ ΕΜΠΟΔΙΟΥ ΓΙΑ ΔΥΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ FPS	70
ΕΙΚΟΝΑ 3.35 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΙΔΙΟΥ ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΟΥ ΚΑΙ ΕΜΠΟΔΙΟΥ ΓΙΑ ΔΥΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ FPS,	71
ΕΙΚΟΝΑ 3.36 ΚΕΡΔΟΣ ΔΙΕΠΑΦΗΣ ΔΕΚΤΗ ΣΕ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟ ΕΥΡΟΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ. ΠΗΓΗ: [29]	72
ΕΙΚΟΝΑ 3.37 HEATMAPS ΣΥΝΔΥΑΣΜΩΝ ITERATIONS – PPS, ΔΙΧΩΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΑΝΘΡΩΠΟΥ ΣΤΑ 3Μ.....	73
ΕΙΚΟΝΑ 3.38 ΛΟΓΟΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣ ΘΟΡΥΒΟ ΤΩΝ ΣΥΝΔΥΑΣΜΩΝ ITERATIONS – PPS, ΔΙΧΩΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ, ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΑΝΘΡΩΠΟΥ ΣΤΑ 3Μ.	74
ΕΙΚΟΝΑ 3.39 ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΔΥΑΣΜΩΝ ITERATIONS – PPS, ΔΙΧΩΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ, ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΑΝΘΡΩΠΟΥ ΣΤΑ 3Μ.....	74
ΕΙΚΟΝΑ 3.40 HEATMAPS ΣΥΝΔΥΑΣΜΩΝ ITERATIONS – PPS, ΜΕ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΑΝΘΡΩΠΟΥ ΣΤΑ 3Μ.	75
ΕΙΚΟΝΑ 3.41 ΛΟΓΟΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣ ΘΟΡΥΒΟ ΤΩΝ ΣΥΝΔΥΑΣΜΩΝ ITERATIONS – PPS, ΔΙΧΩΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΑΝΘΡΩΠΟΥ ΣΤΑ 3Μ.	76
ΕΙΚΟΝΑ 3.42 ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΔΥΑΣΜΩΝ ITERATIONS – PPS, ΔΙΧΩΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΑΝΘΡΩΠΟΥ ΣΤΑ 3Μ.....	76
ΕΙΚΟΝΑ 3.43 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΧΩΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΩΝ ITERATIONS – PPS ΣΕ ΦΥΛΛΩΜΑ ΜΕ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ, ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΑΝΘΡΩΠΟΥ.	77

ΕΙΚΟΝΑ 3.44 HEATMAP ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΕ ΦΥΛΛΩΜΑ, ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ITERATION & PPS ΓΙΑ ΘΕΣΗ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ 3Λ.	78
ΕΙΚΟΝΑ 3.45 ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΕ ΦΥΛΛΩΜΑ, ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ITERATION & PPS ΓΙΑ ΘΕΣΗ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ 3Λ.	78
ΕΙΚΟΝΑ 3.46 HEATMAP ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΕ ΦΥΛΛΩΜΑ, ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ITERATION & PPS ΓΙΑ ΘΕΣΗ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ 2Λ.	79
ΕΙΚΟΝΑ 3.47 ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΕ ΦΥΛΛΩΜΑ, ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ITERATION & PPS ΓΙΑ ΘΕΣΗ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ 2Λ.	79
ΕΙΚΟΝΑ 3.48 HEATMAP ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΕ ΦΥΛΛΩΜΑ, ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ITERATION & PPS ΓΙΑ ΘΕΣΗ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ Λ.	80
ΕΙΚΟΝΑ 3.49 ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΕ ΦΥΛΛΩΜΑ, ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ITERATION & PPS ΓΙΑ ΘΕΣΗ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ Λ.	80
ΕΙΚΟΝΑ 3.50 ΛΟΓΟΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣ ΘΟΡΥΒΟ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΣΥΝΔΥΑΣΜΩΝ ITERATIONS – PPS, ΣΕ ΦΥΛΛΩΜΑ, ΜΕ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΑΝΘΡΩΠΟΥ ΣΤΑ 5.3Μ.	81
ΕΙΚΟΝΑ 3.51 HEATMAPS ΔΟΚΙΜΩΝ ΘΕΣΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ ΕΝΔΙΑΜΕΣΩΝ ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΩΝ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ 2Λ+Λ/2 (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), 2Λ+Λ/4 (ΚΕΝΤΡΟ), 2Λ (ΔΕΞΙΑ).	82
ΕΙΚΟΝΑ 3.52 ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΔΟΚΙΜΩΝ ΘΕΣΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ ΕΝΔΙΑΜΕΣΩΝ ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΩΝ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ.	82
ΕΙΚΟΝΑ 3.53 HEATMAPS ΔΟΚΙΜΩΝ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ, ΜΕ ΑΝΘΡΩΠΟ ΣΤΑ 3Μ.	83
ΕΙΚΟΝΑ 3.54 ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΔΟΚΙΜΩΝ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ, ΜΕ ΑΝΘΡΩΠΟ ΣΤΑ 3Μ (ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ: 1686249127 & 1686249944).	84
ΕΙΚΟΝΑ 3.55 ΛΟΓΟΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣ ΘΟΡΥΒΟ ΔΟΚΙΜΩΝ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ, ΜΕ ΑΝΘΡΩΠΟ ΣΤΑ 3Μ.	84
ΕΙΚΟΝΑ 3.56 HEATMAPS ΣΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΙΣΧΥΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ.	86
ΕΙΚΟΝΑ 3.57 ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΣΗΜΑΤΟΣ ΛΗΨΗΣ, ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΙΣΧΥΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ.	87
ΕΙΚΟΝΑ 3.58 ΛΟΓΟΣ SNR ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΙΣΧΥΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ.	87
ΕΙΚΟΝΑ 4.1 ΣΧΗΜΑ ΚΟΙΛΙΑΚΗΣ ΚΑΙ ΘΩΡΑΚΙΚΗΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ. Η ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΝΟΗ ΓΙΝΕΤΑΙ ΜΕ ΔΙΑΣΤΟΛΗ ΤΗΣ ΚΟΙΛΙΑΣ ΜΕΣΩ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑ, ΕΝΩ Η ΘΩΡΑΚΙΚΗ ΑΝΑΠΝΟΗ ΜΕ ΔΙΑΣΤΟΛΗ ΤΟΥ ΘΩΡΑΚΑ. ΠΗΓΗ: [32].	89
ΕΙΚΟΝΑ 4.2 ΑΞΟΝΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ ΑΝΟΨΗΣ, ΠΡΟΣΟΨΗΣ ΚΑΙ ΠΛΑΓΙΑΣ ΟΨΗΣ ΘΩΡΑΚΙΚΗΣ ΚΑΙ ΚΟΙΛΙΑΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ. ΠΗΓΗ: [32]	90
ΕΙΚΟΝΑ 4.3 HEATMAPS ΣΗΜΑΤΟΣ ΘΩΡΑΚΙΚΗΣ & ΚΟΙΛΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ (ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ: 1683116667 ΑΡΙΣΤΕΡΑ & 1683116907 ΔΕΞΙΑ.).	90
ΕΙΚΟΝΑ 4.4 ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ ΘΩΡΑΚΙΚΗΣ (TB) & ΚΟΙΛΙΑΚΗΣ (AB) ΑΝΑΠΝΟΗΣ (ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ: 1683116667 & 1683116907).	91
ΕΙΚΟΝΑ 4.5 ΛΟΓΟΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣ ΘΟΡΥΒΟ ΘΩΡΑΚΙΚΗΣ (TB) & ΚΟΙΛΙΑΚΗΣ (AB) ΑΝΑΠΝΟΗΣ (ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ: 1683116667 & 1683116907).	91
ΕΙΚΟΝΑ 4.6 ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΡΑΝΤΑΡ – ΖΩΝΗΣ (ΜΕΤΡΗΣΗ: 1683817368).	92
ΕΙΚΟΝΑ 4.7 HEATMAP ΔΟΚΙΜΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΕ ΑΝΕΜΟ (ΜΕΤΡΗΣΗ: 1688729232).	93
ΕΙΚΟΝΑ 4.8 ΈΝΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΥ (ΜΕΤΡΗΣΗ: 1688729232)	93
ΕΙΚΟΝΑ 4.9 ΠΛΑΤΟΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΡΑΝΤΑΡ ΜΕ ΣΤΟΧΟ ΑΝΘΡΩΠΟ, ΧΩΡΙΣ ΕΜΠΟΔΙΟ (ΜΕΤΡΗΣΗ: 1686148752).	94
ΕΙΚΟΝΑ 4.10 ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ ΡΑΝΤΑΡ ΜΕ ΣΤΟΧΟ ΑΝΘΡΩΠΟ, ΧΩΡΙΣ ΕΜΠΟΔΙΟ (ΜΕΤΡΗΣΗ: 1686148752).	95
ΕΙΚΟΝΑ 4.11 HEATMAP ΣΗΜΑΤΟΣ ΡΑΝΤΑΡ ΜΕ ΣΤΟΧΟ ΑΝΘΡΩΠΟ ΚΑΙ ΕΜΠΟΔΙΟ ΤΟΙΧΟ.	95
ΕΙΚΟΝΑ 4.12 ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ ΡΑΝΤΑΡ ΜΕ ΣΤΟΧΟ ΑΝΘΡΩΠΟ ΚΑΙ ΕΜΠΟΔΙΟ ΤΟΙΧΟ.	96
ΕΙΚΟΝΑ 4.13 HEATMAP ΣΗΜΑΤΟΣ ΡΑΝΤΑΡ ΜΕ ΣΤΟΧΟ ΑΝΘΡΩΠΟ ΚΑΙ ΕΜΠΟΔΙΟ ΘΑΜΝΟ.	97
ΕΙΚΟΝΑ 4.14 ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ ΡΑΝΤΑΡ ΜΕ ΣΤΟΧΟ ΑΝΘΡΩΠΟ ΚΑΙ ΕΜΠΟΔΙΟ ΘΑΜΝΟ.	97
ΕΙΚΟΝΑ 4.15 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ.	98
ΕΙΚΟΝΑ 5.1 ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΜΕΝΩΝ RAW ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΡΑΝΤΑΡ.	101
ΕΙΚΟΝΑ 5.2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ – OVERLAP (ΜΕΤΡΗΣΗ: 1683138129).	102
ΕΙΚΟΝΑ 5.3 ΘΗΚΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΡΙΘΜΟΥ ΑΝΑΠΝΟΩΝ ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΩΝ ΠΟΥ ΣΥΜΠΕΡΙΛΗΦΘΗΚΑΝ ΣΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.	103
ΕΙΚΟΝΑ 5.4 HEATMAP ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΙΣΧΥΡΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ ΜΕ ΘΑΜΝΟ (ΜΕΤΡΗΣΗ: 1685005070).	104
ΕΙΚΟΝΑ 5.5 HEATMAP ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΣΘΕΝΟΥΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ ΜΕ ΘΑΜΝΟ (ΜΕΤΡΗΣΗ: 1687854515).	105

ΕΙΚΟΝΑ 5.6 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ WAVELET ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΙΣΧΥΡΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ ΜΕ ΘΑΜΝΟ (ΜΕΤΡΗΣΗ: 1685005070).	106
ΕΙΚΟΝΑ 5.7 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ WAVELET ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΣΘΕΝΟΥΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ ΜΕ ΘΑΜΝΟ (ΜΕΤΡΗΣΗ: 1687854515).	106
ΕΙΚΟΝΑ 5.8 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ FFT ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΙΣΧΥΡΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ ΜΕ ΘΑΜΝΟ (ΜΕΤΡΗΣΗ: 1685005070).	107
ΕΙΚΟΝΑ 5.9 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ FFT ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΣΘΕΝΟΥΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ ΜΕ ΘΑΜΝΟ (ΜΕΤΡΗΣΗ: 1687854515).	108
ΕΙΚΟΝΑ 5.10 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ STD ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΙΣΧΥΡΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ ΜΕ ΘΑΜΝΟ (ΜΕΤΡΗΣΗ: 1685005070).	109
ΕΙΚΟΝΑ 5.11 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ STD ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΙΣΧΥΡΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ ΜΕ ΘΑΜΝΟ (ΜΕΤΡΗΣΗ: 1687854515).	110
ΕΙΚΟΝΑ 5.12 ΕΝΤΡΟΠΙΑ WAVELET ΚΑΤΑ RYNYI ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΙΣΧΥΡΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ ΜΕ ΘΑΜΝΟ (ΜΕΤΡΗΣΗ: 1685005070).	111
ΕΙΚΟΝΑ 5.13 ΕΝΤΡΟΠΙΑ WAVELET ΚΑΤΑ SHANNON ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΙΣΧΥΡΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ ΜΕ ΘΑΜΝΟ (ΜΕΤΡΗΣΗ: 1685005070).	112
ΕΙΚΟΝΑ 5.14 ΕΝΤΡΟΠΙΑ WAVELET ΚΑΤΑ TSALLIS ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΙΣΧΥΡΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ ΜΕ ΘΑΜΝΟ (ΜΕΤΡΗΣΗ: 1685005070).	112
ΕΙΚΟΝΑ 5.15 ΕΝΤΡΟΠΙΑ WAVELET ΚΑΤΑ RYNYI ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΣΘΕΝΟΥΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ ΜΕ ΘΑΜΝΟ (ΜΕΤΡΗΣΗ: 1687854515).	113
ΕΙΚΟΝΑ 5.16 ΕΝΤΡΟΠΙΑ WAVELET ΚΑΤΑ SHANNON ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΣΘΕΝΟΥΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ ΜΕ ΘΑΜΝΟ (ΜΕΤΡΗΣΗ: 1687854515).	113
ΕΙΚΟΝΑ 5.17 ΕΝΤΡΟΠΙΑ WAVELET ΚΑΤΑ TSALLIS ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΣΘΕΝΟΥΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ ΜΕ ΘΑΜΝΟ (ΜΕΤΡΗΣΗ: 1687854515).	114
ΕΙΚΟΝΑ 6.1 ΔΟΜΗ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ SQUEEZNET. ΠΗΓΗ: [36]	116
ΕΙΚΟΝΑ 6.2 ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΟΝΟΜΑΤΟΔΟΣΙΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.	117
ΕΙΚΟΝΑ 6.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟΥ ΣΕ ΜΟΡΦΗ CONFUSION MATRIX.	118
ΕΙΚΟΝΑ 6.4 ΘΗΚΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟΥ ΓΙΑ HEATMAP.	120
ΕΙΚΟΝΑ 6.5 ΘΗΚΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟΥ ΓΙΑ FFT.	121
ΕΙΚΟΝΑ 6.6 ΘΗΚΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟΥ ΓΙΑ TSALLIS WAVELET ENTROPY.	122
ΕΙΚΟΝΑ 6.7 ΘΗΚΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟΥ ΓΙΑ WAVELET.	123

Αλφαβητικό Ευρετήριο

HM	Ηλεκτρομαγνητικός
AB	Abdominal breathing
bmp	Breaths per minute
CRC	Cyclic Redundancy Check
CWT	Continuous Wavelet Transform
DAC	Digital to Analog Converter
DFT	Discrete Fourier Transform
EPAM	Elliptical Patch Antenna Microstrip
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FB	Free breathing
FCC	Federal Communications Commission
FT	Fourier Transform
FPS	Frames Per Second
FFT	Fast Fourier Transform
GPU	Graphics Processing Unit
IEEE	The Institute for Electrical and Electronics Engineers
IR	Impulse Radar
RF	Radio Frequency
RR	Respiration Rate
PRF	Pulse Repetition Frequency
PRI	Pulse Repetition Interval
RADAR	RAdio Detection and Ranging
RCS	Radar Cross Section
RTT	Round Trip Time
SAR	Synthetic Aperture Radar
SGDM	Stochastic Gradient Descent with Momentum
SNR	Signal to Noise Ratio
SoC	System on Chip
STD	Standard Deviation
SVM	Support Vector Machine
TB	Thorax breathing
TGT	Target
UI	User Interface
UWB	Ultra Wideband Radar
VGG	Very Deep Convolutional Networks
VHF	Very High Frequency
WE	Wavelet Entropy

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανίχνευση ζωής πίσω από εμπόδια προϋποθέτει μια σειρά βημάτων, όπου πρέπει να ακολουθήσουμε. Ξεκινώντας με σωστή επιλογή εξοπλισμού, κατάλληλη παραμετροποίηση και αρμόζουσα επεξεργασία σημάτων, καταφέρνουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Το κύριο θέμα της μελέτης η οποία εκπονήθηκε είναι η ανίχνευση παρουσίας ανθρώπου πίσω από φύλλωμα. Η ανάγκη για την επίλυση αυτού του θέματος πηγάζει από επιβεβαιωμένες περιπτώσεις μη εύρεσης ανθρώπων κρυμμένων – σκεπασμένων, πίσω από φυλλώματα σε δάση. Ο βασικότερος λόγος για τον οποίο παρουσιάζει ενδιαφέρον το παρόν θέμα είναι η διάσωση όσων περισσότερων ζωών είναι εφικτό από ομάδες έρευνας και διάσωσης που επιχειρούν σε πυκνές δασικές εκτάσεις.

Σκοπός και στόχοι

Ο κύριος σκοπός της εργασίας αυτής, είναι η αναγνώριση ενός μοτίβου που μπορεί να μας αποκαλύψει την αναπνοή του ανθρώπου. Για επιτευχθεί ο σκοπός αυτός, υπάρχουν επιμέρους στόχοι που πρέπει να πραγματοποιηθούν. Ο πρώτος είναι η σωστή παραμετροποίηση του ραντάρ ώστε να έχει τη βέλτιστη ανάλυση και SNR. Ο δεύτερος στόχος, είναι η ανάπτυξη κατάλληλου κώδικα για την ορθή λήψη και αποθήκευση των δεδομένων από το ραντάρ, τα ανεμόμετρα και την ζώνη καταγραφής των αναπνοών. Ο τρίτος, είναι η εύρεση των καλύτερων μορφών αναπαράστασης του σήματος. Τέλος, είναι η συλλογή ενός πλήρους και ποικίλλου από άποψη φυλλώματος και θυμάτων για την μετέπειτα εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου, το οποίο αποτελεί τον πέμπτο και τελευταίο στόχο.

Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε περιείχε την εκτενή βιβλιογραφική μελέτη τρόπων αναγνώρισης μοτίβων αναπνοής με χρήση ραντάρ καθώς και των ενδιάμεσων βημάτων ανάλυσης σημάτων, αποθορυβοποίησης. Ακόμη, η ανάλυση και σύγκριση του σήματος σε διάφορες διατάξεις τοποθέτησης του ραντάρ και καταγραφής εξωτερικών παραγόντων, όπου όπως θα δούμε επηρεάζουν άρδην το τελικό μας σήμα. Συνεπώς, θα υλοποιηθούν συγκεκριμένες μέθοδοι για την ελαχιστοποίηση του θορύβου και τη μεγιστοποίηση του λόγου σήματος προς θόρυβο. Επιπροσθέτως, από το μεγάλο πλήθος δοκιμών για την εύρεση των κατάλληλων παραμέτρων για την εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου καταλήγουμε και στα καλύτερα features για τον χαρακτηρισμό της υπό έρευνα μέτρησης.

Καινοτομία

Η καινοτομία της παρούσας διπλωματικής είναι η χρήση του ραντάρ για την ανίχνευση ζωής πίσω από φύλλωμα. Μέχρι τώρα δεν υπάρχει στην βιβλιογραφία οποιαδήποτε τέτοια εφαρμογή. Η δυσκολία του δυναμικού εμποδίου είναι αυτή που απαιτούσε ιδιαίτερη μεταχείριση και διαφοροποιεί το πρόβλημά μας από τα ήδη λυμένα που αφορούν σε σταθερά εμπόδια, όπως τοίχοι.

Δομή

Το πρώτο κεφάλαιο περιγράφει βασικές έννοιες μηχανικής μάθησης όπως τα νευρωνικά δίκτυα, κεραιών, όπως κεραιές μικροταινίας και μια σύντομη ανάλυση της λειτουργίας των παλμικών ραντάρ, ξεκινώντας με μια ομαλή εισαγωγή στο θέμα. Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στην

αξιολόγηση των σημάτων που λαμβάνονται από το ραντάρ, περιγράφοντας το θεωρητικό υπόβαθρο για την κατανόηση των επιμέρους εννοιών. Έπειτα στο τρίτο κεφάλαιο παρατίθεται αναλυτικά η διάταξη της κατασκευής, η παραμετροποίηση της συσκευής του ραντάρ, καθώς και όλου του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε όπως η θήκη του ραντάρ, το teflon, τα ανεμόμετρα, η ζώνη αναπνοών κλπ. Επιπλέον, παρουσιάζονται όλες οι δοκιμές που έγιναν ώστε να κριθεί κατάλληλη η κατασκευή για χρήση ή όχι στην συλλογή δεδομένων για την τροφοδοσία του νευρωνικού δικτύου στη συνέχεια. Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το πλαίσιο της ερευνητικής εργασίας, η ανάλυση του προβλήματος του μοτίβου της αναπνοής, η επίδραση του ανέμου στην εκάστοτε μέτρηση αλλά και η διαβάθμιση του προβλήματος συγκριτικά με σταθερό ή μη εμπόδιο. Ακόμη περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία συλλογής των δεδομένων. Στο πέμπτο κεφάλαιο, συγκρίνονται τα δεδομένα του ραντάρ με χρήση διαφορετικών μεθόδων για την αξιολόγησή τους. Το έκτο και τελευταίο κεφαλαίο πραγματεύεται την ανίχνευση της παρουσίας του ανθρώπου με χρήση του νευρωνικού δικτύου με όλα τα αποτελέσματα των δοκιμών που έγιναν για διαφορετικά χαρακτηριστικά περιγραφής του σήματος (features).

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Εισαγωγικές έννοιες

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα γίνει μια σύντομη αλλά περιεκτική ανάλυση των θεωρητικών εννοιών που πρέπει να γίνει λόγος για την κατανόηση των διαδικασιών και των βημάτων που περιγράφονται σε επόμενα κεφάλαια.

1.1 Το ραντάρ

Με τον όρο ραντάρ ή ραδιοεντοπιστή, χαρακτηρίζουμε ένα ΗΜ σύστημα ανίχνευσης και εντοπισμού αντικειμένων, όπως προκύπτει και από το όνομα αυτού RAdio Detection and Ranging. Αναπτύχθηκε για πρώτη φορά ως συσκευή ανίχνευσης, για να προειδοποιεί την προσέγγιση εχθρικών αεροσκαφών και να κατευθύνει αντιαεροπορικά όπλα. Αν και ένα καλοσχεδιασμένο σύγχρονο ραντάρ μπορεί συνήθως να εξάγει περισσότερες πληροφορίες από το σήμα – στόχο παρά απλώς την εμβέλεια και την ταχύτητά του, η μέτρηση της εμβέλειας εξακολουθεί να είναι μια από τις πιο σημαντικές λειτουργίες του. Δεν φαίνεται να υπάρχουν άλλες ανταγωνιστικές τεχνικές που να μπορούν να μετρήσουν την εμβέλεια τόσο καλά ή τόσο γρήγορα όσο ένα ραντάρ. Η λειτουργία του βασίζεται στη μετάδοση συγκεκριμένου τύπου κυματομορφών, για παράδειγμα ένα ημιτονοειδές κύμα διαμορφωμένου παλμού, με στόχο την ανίχνευση της φύσης των σημάτων ηχούς, που θα λάβει ως ανάκλαση πίσω στην κεραία λήψης. Βασικό πλεονέκτημα του συστήματος αυτού, αποτελεί η αναγνώριση αντικειμένων εκεί όπου η ανθρώπινη όραση δεν μπορεί να το κάνει. Αυτό σημαίνει την εύρεση αντικειμένων στο σκοτάδι, την ομίχλη, το χιόνι, πίσω από αντικείμενα ή σε τεράστιες αποστάσεις.

Μια στοιχειώδης μορφή ραντάρ αποτελείται από μια κεραία εκπομπής που εκπέμπει ΗΜ ακτινοβολία, η οποία προέρχεται από κάποιον ταλαντωτή (oscillator) και μια συσκευή ανίχνευσης ενέργειας την λεγόμενη κεραία λήψης. Ένα τμήμα του μεταδιδόμενου σήματος αναχαιτίζεται από ένα ανακλαστικό αντικείμενο (στόχος) και ακτινοβολείται εκ νέου προς όλες τις κατευθύνσεις. Πρωταρχικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η απ' ευθείας οπισθοσκεδαζόμενη ενέργεια από τον στόχο, μιας και αυτή θα φέρει την περισσότερη ισχύ. Η κεραία λήψης συλλέγει την επιστρεφόμενη ενέργεια παραδίδοντάς την στο δέκτη όπου υποβάλλεται σε επεξεργασία για την ανίχνευση παρουσίας στόχου, εξάγοντας έτσι τη θέση και την σχετική ταχύτητα που παρουσιάζει. Η κατεύθυνση ή η γωνιακή θέση του στόχου, μπορεί να προσδιοριστεί (από συγκεκριμένο τύπο ραντάρ), από την κατεύθυνση της άφιξης, τη λεγόμενη γωνία πρόσπτωσης του ανακλώμενου μετώπου κύματος. Η συνήθης μέθοδος μέτρησης της κατεύθυνσης άφιξης, γίνεται με στενές δέσμες εκπομπής σε ραντάρ τύπου στοιχειοκεραίας. Εάν υπάρχει σχετική κίνηση μεταξύ στόχου και ραντάρ, η μετατόπιση στη φέρουσα συχνότητα του ανακλώμενου κύματος (φαινόμενο Doppler) είναι μια μέτρηση της σχετικής (ακτινικής) ταχύτητας του στόχου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διάκριση κινούμενων στόχων από ακίνητα αντικείμενα.

1.1.1 Round Trip Time

Η απόσταση, ή εμβέλεια καθορίζεται από την μέτρηση του χρόνου που απαιτείται για να ταξιδέψει ο παλμός από την κεραία εκπομπής, στον στόχο, έως την κεραία λήψης, γνωστή και ως διαδρομή RTT (Round Trip Time) ή πιο απλουστευμένα T_R . Εφόσον το ΗΜ κύμα ταξιδεύει με την ταχύτητα του φωτός προκύπτει ότι:

$$R = \frac{cT_R}{2} \quad (1.1)$$

Ο παράγοντας 2 στον παρονομαστή εμφανίζεται λόγω της αμφίδρομης διάδοσης του ραντάρ.

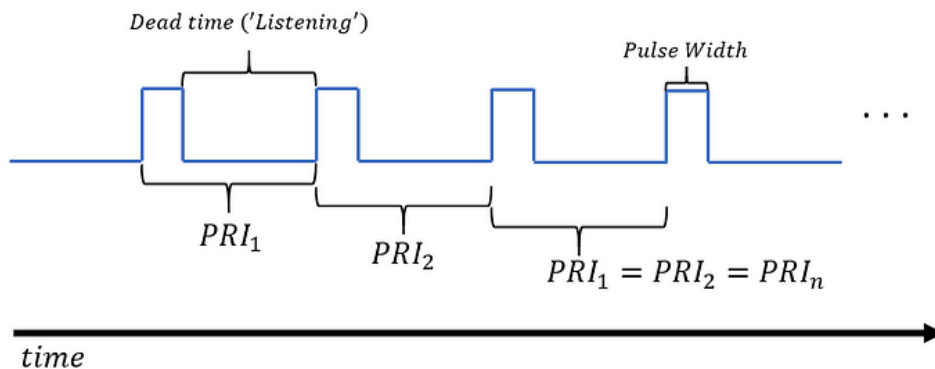
1.1.2 Pulse Repetition Frequency και Interval

Μόλις ο εκπεμπόμενος παλμός αρχίσει να διαδίδεται από το ραντάρ, πρέπει να περάσει ένας συγκεκριμένος χρόνος (Dead Time) για να επιτραπεί η τυχόν επιστροφή σημάτων ηχούς και η ανίχνευση πριν από τη μετάδοση του επόμενου παλμού. Επομένως ο ρυθμός με τον οποίο μπορούν να μεταδοθούν οι παλμοί καθορίζεται από τη μέγιστη απόσταση στην οποία αναμένεται να ανιχνευτεί κάποιος στόχος. Εάν η συχνότητα επανάληψης των παλμών (Pulse Repetition Frequency ή PRF) είναι υψηλή, ενδέχεται να ληφθούν σήματα ηχούς από ορισμένους στόχους μετά τη μετάδοση του επόμενου παλμού, προσδίδοντας έτσι ασαφείς μετρήσεις με σφάλματα.

Το διάστημα επανάληψης παλμών (Pulse Repetition Interval ή PRI) αναφέρεται στο χρονικό διάστημα μεταξύ της έναρξης των διαδοχικών παλμών ραντάρ. Είναι το αντίστροφο του PRF και μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τον τύπο:

$$PRI = \frac{1}{PRF} \quad (1.2)$$

Το PRI μετριέται συνήθως σε δευτερόλεπτα. Είναι σημαντικό γιατί επηρεάζει την ικανότητα του ραντάρ να ανιχνεύει και να διακρίνει πολλαπλούς στόχους σε διαφορετικές εμβέλειες.



Εικόνα 1.1 Pulse Repetition Interval in a pulse train. Πηγή: [1]

Ο τρόπος υπολογισμού είναι:

$$PRI = t_{n+1} - t_n \quad (1.3)$$

όπου t_n η χρονική διάρκεια του παλμού n .

Ένα μεγαλύτερο PRI επιτρέπει στο ραντάρ να ακούει την ηχώ επιστροφής από μακρινούς στόχους πριν στείλει έναν άλλο παλμό. Αυτό είναι σημαντικό για την αποφυγή ασαφειών εμβέλειας (range ambiguities), όπου το ραντάρ λαμβάνει ηχώ από διαφορετικές περιοχές που επικαλύπτονται χρονικά. Ένα μικρότερο PRI, από την άλλη πλευρά, επιτρέπει στο ραντάρ να σαρώνει γρήγορα μικρότερες αποστάσεις, κάτι που μπορεί να είναι χρήσιμο για την παρακολούθηση αντικειμένων που κινούνται γρήγορα ή για εφαρμογές που απαιτούν υψηλούς ρυθμούς ανανέωσης.

1.1.3 Maximum Unambiguous Range

Το σήμα που φτάνει μετά τη μετάδοση του επόμενου παλμού ονομάζεται “ηχώ δεύτερου χρόνου” ή second – time – around echo. Ένα τέτοιο σήμα θα φαινόταν να βρίσκεται σε πολύ μικρότερη απόσταση από την πραγματική απόσταση που θα έπρεπε να εμφανίζει ο στόχος και μάλιστα θα μπορούσε να γίνει παραπλανητικό, αν δεν είναι γνωστό το ότι αποτελεί ηχώ δεύτερου χρόνου. Το εύρος λοιπόν πέρα από το οποίο οι στόχοι εμφανίζονται ως ηχώ δεύτερου χρόνου, ονομάζεται μέγιστη αδιαμφισβήτητη εμβέλεια ή maximum unambiguous range και καθορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$R_{unamb} = \frac{c}{2f_p} \quad (1.4)$$

όπου f_p ορίζεται η συχνότητα επανάληψης παλμών σε Hz.

1.1.4 Η εξίσωση του ραντάρ

Η εξίσωση του ραντάρ συσχετίζει την εμβέλεια ενός ραντάρ με τα χαρακτηριστικά του παλμού, του δέκτη, της κεραίας, του στόχου και του περιβάλλοντος. Είναι χρήσιμο όχι μόνο ως μέσο για την κατασκευή της κεραίας, αλλά και για τον προσδιορισμό της μέγιστης απόστασης από το ραντάρ στον στόχο, καθώς επίσης μπορεί να χρησιμεύσει και ως εργαλείο για την ενδιάμεση λειτουργία του ραντάρ και ως βάση για το σχεδιασμό του. Η βασική της μορφή φαίνεται παρακάτω,

$$P_r = \frac{P_t G A_e \sigma}{(4\pi)^2 R^4} \quad (1.5)$$

όπου A_e η ενεργός περιοχή της κεραίας λήψης

P_r η ισχύς λήψης στο ραντάρ

G το κέρδος της κεραίας

σ η διατομή του ραντάρ

R η απόσταση ραντάρ – στόχου

1.1.5 Radar Cross Section

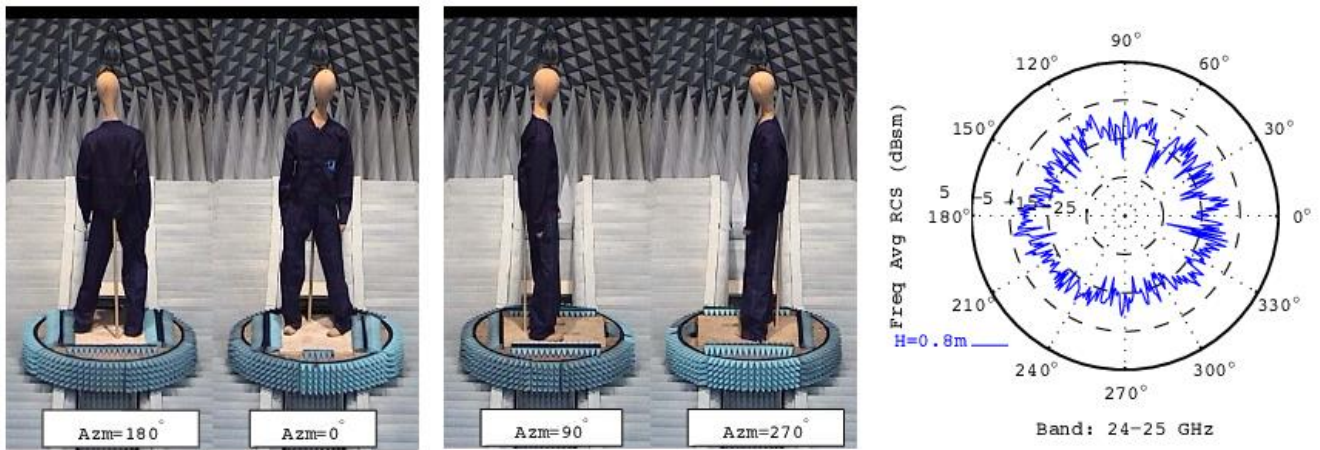
Το ραντάρ καταγράφει τις αντανακλάσεις κάθε αντικείμενου στο οπτικό του πεδίο και η απόσταση από το αντικείμενο αντιστοιχεί στη θέση της ανάκλασης όπως αυτή καταγράφηκε από το ραντάρ στο εκάστοτε frame. Τα μεγαλύτερα αντικείμενα δίνουν αντανακλάσεις με μεγαλύτερα πλάτη, ενώ το πλάτος της ανάκλασης μειώνεται όσο πιο μακριά βρίσκεται το αντικείμενο. Το υλικό του αντικείμενου παίζει επίσης ρόλο καθώς κάθε υλικό δίνει διαφορετικά μοτίβα ανακλάσεων, για παράδειγμα ένα μεταλλικό αντικείμενο δίνει μεγαλύτερη ανάκλαση από ένα πλαστικό αντικείμενο. Η ποσότητα ενέργειας που ανακλάται στο ραντάρ αναφέρεται ως Radar Cross Section ή RCS [2]. Μαθηματικά αποτυπώνεται ως,

$$\sigma = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{|E_s|^2}{|E_i|^2} \quad (1.6)$$

όπου R η απόσταση μεταξύ ραντάρ και στόχου

E_s η ένταση του οπισθοσκεδαζόμενου πεδίου στο ραντάρ

E_i η ένταση του προσπίπτοντος πεδίου στο στόχο [3]



Εικόνα 1.2 Παράδειγμα πολικού διαγράμματος του μέσου RCS στη ζώνη 24-25 GHz και τέσσερα στιγμιότυπα του ανδρείκελου στο turntable. Πηγή: [4]

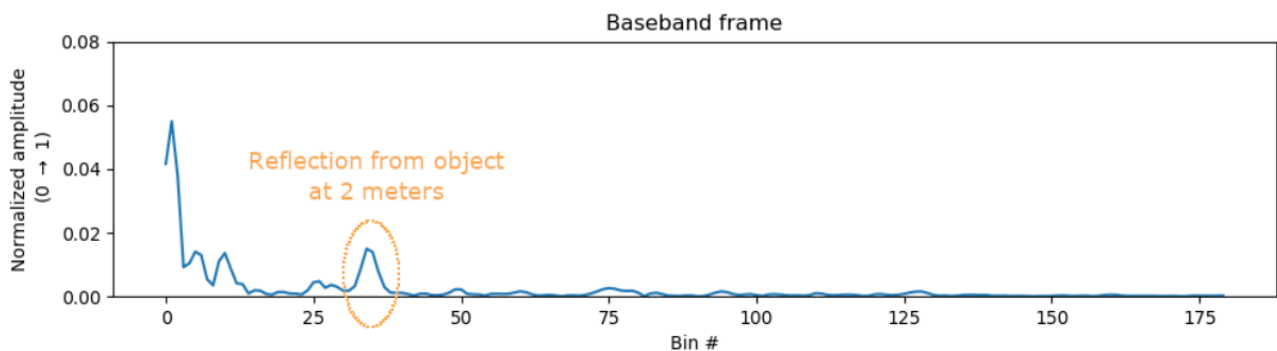
Παραπάνω βλέπουμε ένα παράδειγμα μέτρησης RCS ενός ανδρείκελου μέσα σε έναν ανηχοϊκό θάλαμο. Όπως γίνεται αντιληπτό το RCS ενός ανθρώπινου στόχου παρουσιάζει μεγάλη μεταβλητότητα ανάλογα τη γωνία σκόπευσης.

1.1.6 Πολυδιαδρομική διάδοση (Multipath)

Εκτός από την αρχική ανάκλαση από ένα αντικείμενο, υπάρχουν πρόσθετες αντανακλάσεις πολλαπλών διαδρομών για ένα αντικείμενο σε πιο μακρινές αποστάσεις. Αυτό συμβαίνει επειδή η ανάκλαση από το αντικείμενο μπορεί να προσκρούσει, για παράδειγμα αν η μέτρηση λαμβάνει χώρα σε εσωτερικό χώρο, στην οροφή και να επιστρέψει στο ραντάρ. Εφόσον αυτή η ανάκλαση ταξιδεύει σε μεγαλύτερη διαδρομή, θα εμφανίζεται σε απόσταση πιο μακριά από την αρχική ανάκλαση του αντικειμένου αλλά με μικρότερο πλάτος [2]. Το πρόβλημα αυτό αλλά και τον περιορισμό του, θα τα δούμε αναλυτικότερα σε επόμενο κεφάλαιο.

1.1.7 Άμεση Διαδρομή (Direct Path)

Ένα φαινόμενο το οποίο παρατηρείται αρκετά σε ραντάρ τα οποία χρησιμοποιούν δύο κεραιές, εκπομπής και λήψης ονομάζεται Direct Path ή άμεση διαδρομή.



Εικόνα 1.3 A baseband radar frame. Πηγή: [2]

Ο ισχυρός παλμός που ξεκινά από τη θέση 0 στο παραπάνω σχήμα προκαλείται από την ενέργεια που μεταβαίνει απευθείας από την κεραία εκπομπής (Tx) στην κεραία λήψης (Rx), η οποία αναφέρεται ως η άμεση διαδρομή. Η ποσότητα ενέργειας στην απευθείας διαδρομή καθορίζεται από την απομόνωση μεταξύ των κεραιών εκπομπής και λήψης και την απόσταση των δύο κεραιών, ενώ διαφέρει από τύπο σε τύπο αλλά και ρυθμίσεις κεραιών.

1.2 Το Παλμικό Ραντάρ (Impulse Radar)

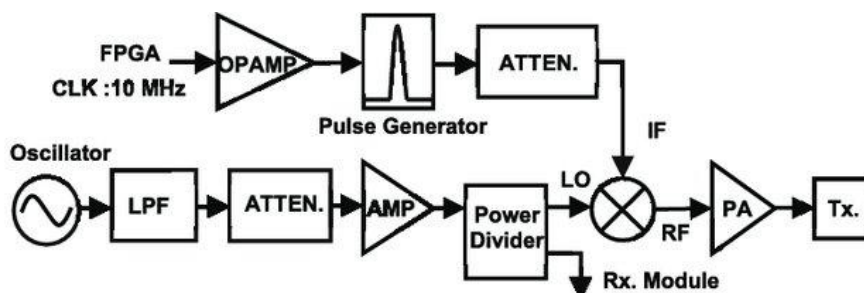
Το ραντάρ το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της εργασίας αυτής ανήκει στην κατηγορία των παλμικών ραντάρ και πιο συγκεκριμένα στην κατηγορία *Ultra – Wideband Impulse Radar*. Ο όρος υπερευρεία ζώνη (UWB) έχει χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει ένα ραντάρ παλμών. Το ραντάρ παλμού είναι ένα παράδειγμα συστήματος UWB, αλλά υπάρχουν και άλλες κυματομορφές που είναι επίσης UWB. Η συμπίεση παλμών ή το ραντάρ κλιμακωτής συχνότητας είναι παραδείγματα ραντάρ UWB όταν χρησιμοποιούν μεγάλο σχετικό εύρος ζώνης.

1.2.1 Ιστορική αναδρομή

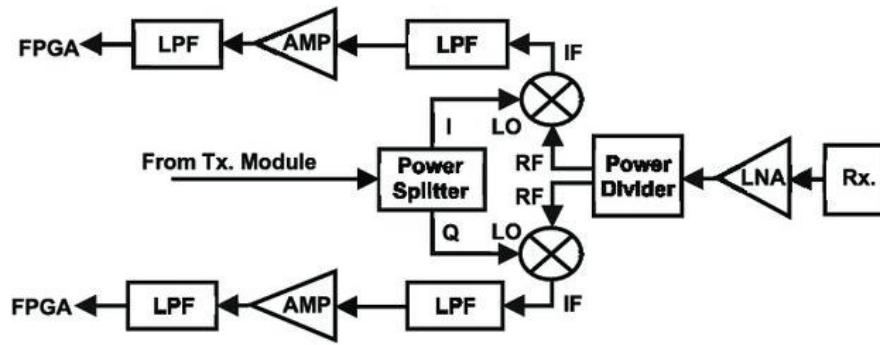
Το παλμικό ραντάρ χρονολογείται πολλές δεκαετίες πίσω, τουλάχιστον στις αρχές της του 1960. Η πρώτη δημοσιευμένη αναφορά σε αυτόν τον τύπο ραντάρ φαίνεται να είναι το έγγραφο του 1960 του John C. Cook. Πρότεινε ένα ραντάρ VHF ενός κύκλου για τη μέτρηση του πάχους του πάγου, τη λεπτομέρεια των περιγραμμάτων του βράχου που βρίσκονται κάτω από τον πάγο αλλά και για τον προσδιορισμό της έκτασης και του πάχους του μόνιμου παγετού. Το παλμικό ραντάρ ερευνήθηκε στις αρχές της δεκαετίας του '60 από το Υπουργείο Εθνικής Άμυνας των ΗΠΑ ως πιθανή μέθοδος για τον εντοπισμό υπόγειων σηράγγων στο Βιετνάμ. Αργότερα εξερευνήθηκε από ενδιαφερόμενους για την τηλεπισκόπηση φυσικών υπόγειων σχηματισμών, θαμμένων αντικειμένων και πάγου. Μετά από αυτό, εφαρμόστηκε με επιτυχία εμπορικά ως αισθητήρας για την ανίχνευση θαμμένων καλωδίων κοινής ωφελείας, σωλήνων και άλλων σκεδαστών λίγα μέτρα κάτω από την επιφάνεια της γης. Σημαντική διερεύνηση της τεχνολογίας των ραντάρ παλμών υψηλής ισχύος πραγματοποιήθηκε τη δεκαετία του 1970 από τον Paul Van Etten και τους συναδέλφους του στο Κέντρο Αεροπορικής Ανάπτυξης της Ρώμης της Πολεμικής Αεροπορίας των ΗΠΑ.

1.2.2 Το παλμικό ραντάρ - θεωρία

Ένα παλμικό ραντάρ είναι αρκετά διαφορετικό από τα άλλα ραντάρ μιας και η κυματομορφή του είναι ένα ημιτονοειδές κύμα ενός κύκλου (0 έως 2π). Κατά συνέπεια, η φασματική έκτασή του είναι πολύ μεγαλύτερη από το σχετικά στενό φασματικό πλάτος των συμβατικών κυματομορφών ραντάρ. Ένα ημιτονικό κύμα ενός κύκλου έχει περίπου 100% εύρος ζώνης, όπου το ποσοστό εύρους ζώνης (ονομάζεται επίσης σχετικό εύρος ζώνης) ορίζεται ως 100 φορές το απόλυτο εύρος ζώνης διαιρούμενο με την κεντρική συχνότητα. Αυτό σημαίνει ότι το φασματικό πλάτος ενός παλμικού ραντάρ είναι περίπου ίσο με τη φέρουσα συχνότητά του. Το εξαιρετικά μεγάλο φασματικό πλάτος του παλμικού ραντάρ είναι ο λόγος που παρουσιάζει ενδιαφέρον και είναι ο λόγος που τα χαρακτηριστικά και η λειτουργία του διαφέρουν από τα πιο συμβατικά συστήματα.



Εικόνα 1.4 Μπλοκ διάγραμμα εκπομπού UWB radar. Πηγή: [5]



Εικόνα 1.5 Μπλοκ διάγραμμα δέκτη UWB radar. Πηγή: [5]

Η κυματομορφή που εκπέμπεται από ένα τέτοιο ραντάρ δεν ορίζεται στην πραγματικότητα ως μια «κρουστική διέγερση» (impulse). Σύμφωνα με το Πρότυπο Λεξικό IEEE, μια κρουστική διέγερση είναι «μια κυματομορφή που προσεγγίζει μια συνάρτηση δέλτα Dirac». Μια ώθηση έχει μια συνιστώσα dc, αλλά μια συνιστώσα συνεχούς ρεύματος όπως είναι γνωστό, δεν μπορεί να ακτινοβοληθεί στο χώρο. Πολλοί πομποί παλμικών ραντάρ ωστόσο, παράγουν μια κρουστική διέγερση υψηλής τάσης με τη σωστή έννοια του ορισμού. Όταν ένας τέτοιος παλμός διεγείρει μια κεραία, τα στοιχεία συνεχούς ρεύματος και χαμηλής συχνότητας αφαιρούνται, έτσι ώστε η κυματομορφή που ακτινοβολείται να μοιάζει με έναν μόνο κύκλο. Η κυματομορφή παλμικού ραντάρ μοιάζει περισσότερο με αυτό που το Πρότυπο Λεξικό IEEE ονομάζει διπλή ώθηση (doublet impulse), η οποία έχει ίσες θετικές και αρνητικές κορυφές. Αρχικά ένα ραντάρ με κυματομορφή ενός κύκλου ονομαζόταν μονοκυκλικό ραντάρ (monocycle radar). Αυτό είναι ένα περιγραφικό όνομα για τον τύπο του ραντάρ που αποτελεί το βασικό εργαλείο αυτής της εργασίας, αλλά δεν έχει γίνει ευρέως αποδεκτό με την ορολογία αυτή [6].

Η χαρακτηριστική διαφορά μεταξύ ενός παλμικού ραντάρ και των υπολοίπων ραντάρ UWB έγκειται στο φάσμα του. Μια χρονική κυματομορφή $s(t)$ έχει ένα φάσμα συχνοτήτων $S(f)$ που δίνεται από τον μετασχηματισμό Fourier,

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (1.7)$$

Αν το σήμα $s(t)$ είναι παλμός ημιτονοειδούς κύματος συχνότητας f_0 και διάρκειας τ , η παραπάνω εξίσωση μετατρέπεται ως εξής,

$$S(f) = \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} s(2\pi f_0 t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (1.8)$$

$$= \frac{j}{2\pi} \left[\frac{\sin \pi(f_0 + f)\tau}{f_0 + f} - \frac{\sin \pi(f_0 - f)\tau}{f_0 - f} \right] \quad (1.9)$$

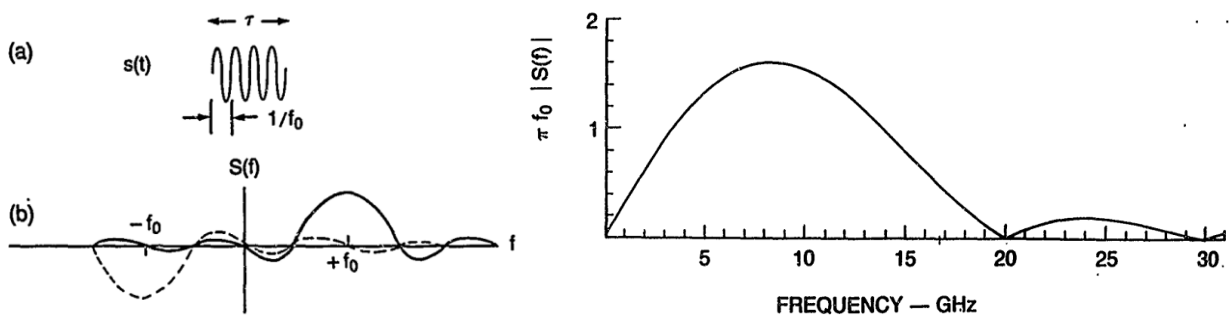
Όταν η διάρκεια του παλμού περιέχει ακριβώς N κύκλους, το $\tau = N/f_0$ αντικαθίσταται στην παραπάνω εξίσωση και το μέγεθος του φάσματος μπορεί να γραφτεί ως

$$|S(f)| = \frac{1}{\pi f_0} \left| \frac{\sin \frac{N\pi f}{f_0}}{1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2} \right| \quad (1.10)$$

Ο πρώτος όρος της εξ. 1.9 αντιπροσωπεύει αρνητικές συχνότητες και ο δεύτερος όρος αντιπροσωπεύει θετικές συχνότητες. Η εξ. 1.10, η οποία προέρχεται από την εξ. 1.9, δεν έχει σαφείς αρνητικές συχνότητες. Η εξ. 1.10 και οι δύο όροι της εξ. 1.9 είναι σκιαγραφημένα στην Εικόνα 1.6. (Το αρνητικό μέρος της εξ. 1.9 απεικονίζεται στην πραγματικότητα καθώς είναι πιο συνηθισμένο να σχεδιάζονται οι θετικές συχνότητες με θετικό πλάτος.) Ένα ραντάρ παλμών αντιστοιχεί σε $N = 1$ (ένας κύκλος). Όταν το $N = 1$ αντικαθίσταται στην εξ. 1.11, το μέγεθος του φάσματος ενός ημιτονοειδούς κύματος ενός κύκλου είναι

$$|S(f)| = \frac{1}{\pi f_0} \left| \frac{\sin \frac{\pi f}{f_0}}{1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2} \right| \quad (1.11)$$

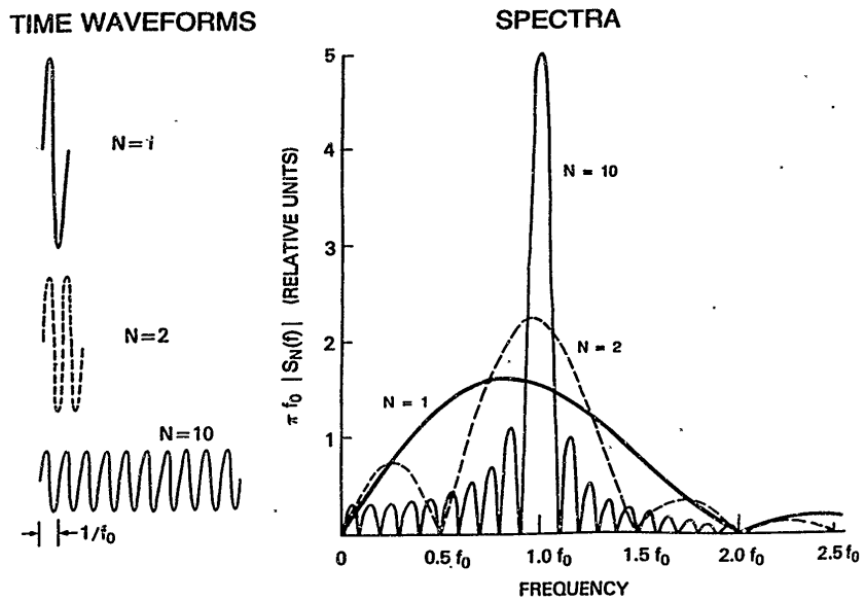
Αυτό φαίνεται γραφικά στην ακόλουθη εικόνα, για $\tau = 0.1 \text{ ns}$, που αντιστοιχεί σε $f_0 = 10 \text{ GHz}$.



Εικόνα 1.6 Φάσμα ημιτονοειδούς κύματος μονού κύκλου διάρκειας 0.1 ns. Πηγή: [6]

Η παραπάνω εικόνα δείχνει ότι το φάσμα είναι αρκετά ευρύ και εκτείνεται από το 0 έως και πέραν του $2f_0$. Το φάσμα δεν είναι συμμετρικό ως προς τη φέρουσα συχνότητα f_0 . Έχει μέγιστο περίπου στα $0.84f_0$. Η ασυμμετρία οφείλεται στην επίδραση των αρνητικών συχνοτήτων.

Το παλμικό ραντάρ μπορεί να θεωρηθεί ως μια εξατομικευμένη περίπτωση μιας κυματομορφής μικρού παλμού, αλλά το εξαιρετικά μεγάλο εύρος ζώνης ενός μόνο κύκλου, το καθιστά θεμελιωδώς διαφορετικό από έναν σύντομο παλμό.



Εικόνα 1.7 Φάσματα κυματομορφής ενός κύκλου σε σύγκριση με το φάσμα μιας κυματομορφής δύο και δέκα κύκλων. Ακόμη και με $N=10$, το φάσμα εξακολουθεί να δείχνει ασυμμετρία, υποδεικνύοντας τα αποτελέσματα αρνητικών συχνοτήτων. Πηγή: [6]

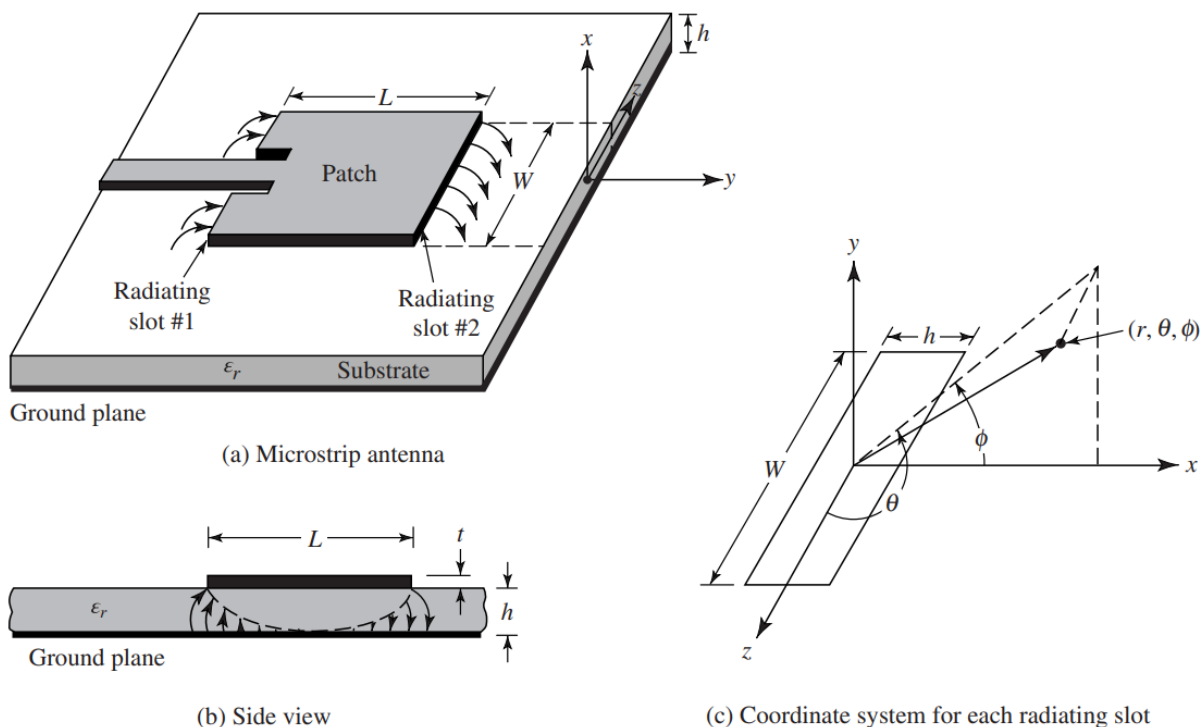
Στην Εικόνα 1.7 συγκρίνεται το φάσμα μιας κυματομορφής ενός κύκλου με αυτό μιας κυματομορφής δύο κύκλων και ενός μικρού παλμού που αποτελείται από δέκα κύκλους, που παρουσιάζονται στην ίδια κλίμακα και με την ίδια ενέργεια στις τρεις κυματομορφές (στα 10 GHz, ένας παλμός διάρκειας 1 ns θα περιέχει δέκα κύκλους).

Είναι προφανές από τη φύση των φασμάτων σε αυτό το σχήμα, ότι ένα ραντάρ με κυματομορφή ενός κύκλου μπορεί να έχει διαφορετικές ιδιότητες από αυτές ενός ραντάρ μικρού παλμού με πολλούς κύκλους στην κυματομορφή του.

1.2.3 Η κεραία του ραντάρ

Η κεραία ενός παλμικού ραντάρ, όπως ο πομπός και ο δέκτης του, είναι αρκετά απαιτητική και διαφορετική από ό,τι χρησιμοποιείται συνήθως σε ένα συμβατικό ευρυζωνικό ραντάρ. Τα περισσότερα συμβατικά ραντάρ χρησιμοποιούν μία μόνο κεραία τόσο για εκπομπή όσο και για λήψη. Το ραντάρ για το οποίο θα γίνει λόγος σε επόμενα κεφάλαια, είναι το SLMX4 της εταιρίας Novelda και χρησιμοποιεί δύο κεραίες ίδιου τύπου, μια για την εκπομπή και μία για την λήψη του σήματος. Ο τύπος των κεραιών αυτών, ανήκουν στις κεραίες μικροταινίας (Microstrip).

Οι κεραίες μικροταινίας έγιναν πολύ δημοφιλείς τη δεκαετία του 1970 κυρίως για διαστημικές εφαρμογές. Σήμερα χρησιμοποιούνται για κυβερνητικές και εμπορικές εφαρμογές. Αυτές οι κεραίες αποτελούνται όπως δηλώνει και το όνομά τους από μια μεταλλική ταινία – έμπλαστρο σε ένα γειωμένο υπόστρωμα. Το μεταλλικό έμπλαστρο μπορεί να λάβει πολλές διαφορετικές διαμορφώσεις, με την κεραία του ραντάρ το οποίο πραγματευόμαστε να ανήκει στις κεραίες μικροταινίας ελλειπτικής γεωμετρίας [7]. Όπως παρατηρούμε παρακάτω η κεραία αυτή έχει συγκεκριμένες διαστάσεις (W, L και h) οι οποίες καθορίζουν και τα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας, τη μέγιστη ισχύ λειτουργίας, την χαρακτηριστική αντίσταση που διαθέτει, την συχνότητα συντονισμού κλπ.



Εικόνα 1.8 Γενικευμένη μορφή κεραίας μικροταινίας και συστήματος συντεταγμένων. Πηγή: [7]

1.3 Μηχανική μάθηση

Η μηχανική μάθηση αξιοποιεί στο έπακρο την δύναμη των δεδομένων. Καταφέρνει και μαθαίνει, αποκτά λογική και εξάγει συμπεράσματα πάνω σε ένα θέμα. Θα μπορούσαμε να πούμε πως η μηχανική μάθηση είναι ένα είδος προγραμματισμού βασισμένος σε παραδείγματα [8]. Στην ουσία προγραμματίζουμε την «μηχανή» να βγάζει συμπεράσματα για ένα πρόβλημα χωρίς να την έχουμε προγραμματίσει για αυτό καθ' αυτό. Όσο περισσότερα παραδείγματα μπορούμε να εισάγουμε, τόσο καλύτερα αποτελέσματα θα μπορέσει να μας δώσει [9]. Εξίσου σημαντικό είναι να καθορίσουμε τον τρόπο εκπαίδευσης της «μηχανής» μας. Με άλλα λόγια, χρησιμοποιώντας στατιστικές μεθόδους για την εύρεση μοτίβων στα εισαχθέντα δεδομένα μπορούμε να προβούμε σε συμπεράσματα γενικεύοντας τα παραδείγματα με τα οποία εκπαιδεύσαμε το σύστημα χωρίς να ξέρουμε τίποτα για την πραγματική συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων αυτών.

Τα είδη μηχανικής μάθησης όπου μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε χωρίζονται σε επιβλεπόμενη και μη επιβλεπόμενη μάθηση (supervised και unsupervised learning). Στην πρώτη κατηγορία εκπαιδεύουμε το σύστημα χρησιμοποιώντας δεδομένα με ετικέτες ενώ στην δεύτερη όχι. Αυτό σημαίνει πως δηλώνουμε στο σύστημα εξ αρχής το ποιόν του κάθε δείγματος. Στην περίπτωση όπου δεν το κάνουμε, το σύστημα ψάχνει μόνο του να εντοπίσει μοτίβα και σχέσεις μεταξύ των δεδομένων. Στην δική μας περίπτωση, η πιο κατάλληλη κατηγορία είναι αυτή της επιβλεπόμενης μάθησης. Έτσι, σκοπός είναι να εισάγουμε στο σύστημα ένα μεγάλο dataset με μετρήσεις, κατηγοριοποιημένες σε παρουσίας ή απουσίας ανθρώπου.

Τα πιο δημοφιλή μοντέλα επιβλεπόμενης μάθησης είναι τα SVMs (Support Vector Machines), η Gaussian process, η ταξινόμηση Bayes και τα νευρωνικά δίκτυα. Εμείς θα επικεντρωθούμε στα τελευταία καθώς είναι αυτά που θα μας δώσουν καλύτερα αποτελέσματα συγκριτικά με το πρόβλημά μας.

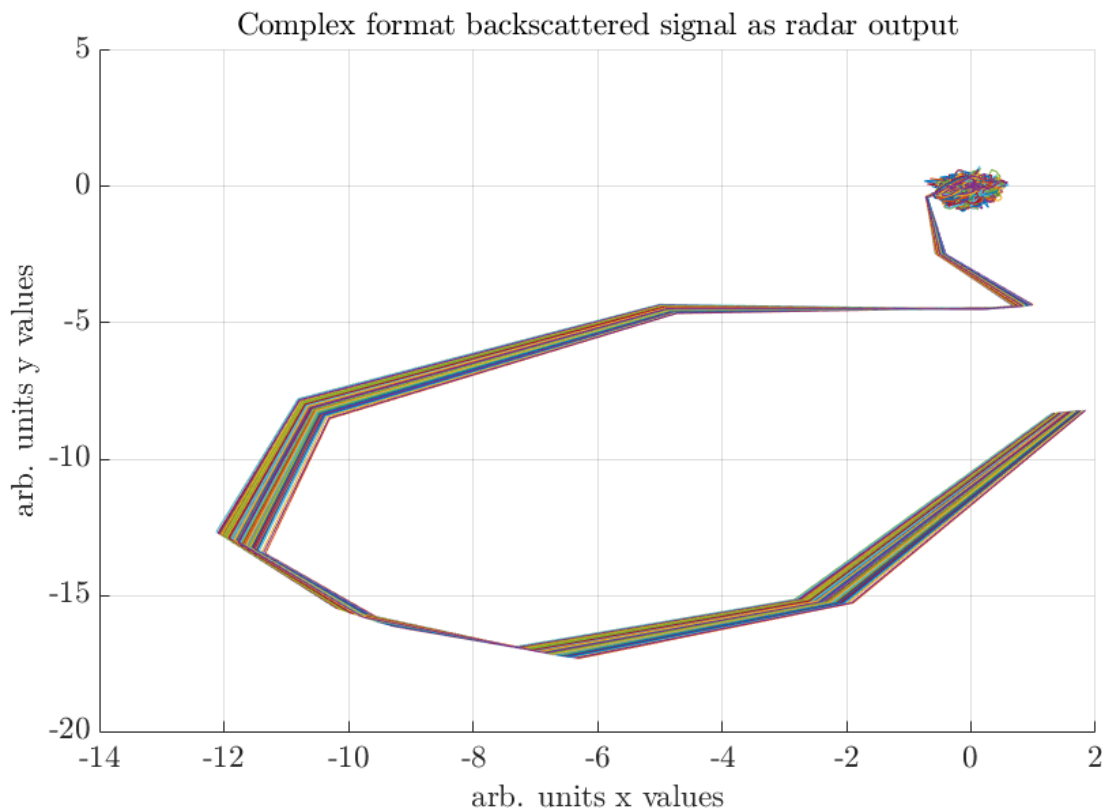
1.3.1 Νευρωνικά δίκτυα

Τα νευρωνικά δίκτυα είναι εμπνευσμένα από τον τρόπο λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου. Ένα νευρωνικό δίκτυο είναι μια μηχανή σχεδιασμένη ώστε να μοντελοποιεί τον τρόπο με τον οποίο ο εγκέφαλος εκτελεί μία συγκεκριμένη διαδικασία [10]. Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούνται από διασυνδεδεμένους τεχνητά νευρώνες, ή κόμβους, οργανωμένους σε επίπεδα. Κάθε κόμβος λαμβάνει εισερχόμενα σήματα, πραγματοποιεί υπολογισμό και περνά την έξοδο του στους επόμενους κόμβους, καταλήγοντας στην παραγωγή του επιθυμητού αποτελέσματος. Το θεμέλιο στοιχείο ενός νευρωνικού δικτύου είναι ο τεχνητός νευρώνας, γνωστός και ως perceptron. Αυτός δέχεται έναν συνδυασμένο σταθμισμένο άθροισμα των εισόδων του, εφαρμόζει μια συνάρτηση ενεργοποίησης και παράγει έξοδο. Τα βάρη που συσχετίζονται με κάθε είσοδο καθορίζουν τη δύναμη της συνεισφοράς της στην έξοδο του νευρώνα, ενώ η συνάρτηση ενεργοποίησης εισάγει μη γραμμικότητες, επιτρέποντας στα νευρωνικά δίκτυα να μάθουν πολύπλοκα πρότυπα και σχέσεις στα δεδομένα. Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούνται από ένα layer εισόδου, ένα ή περισσότερα κρυφά layers και ένα layer εξόδου. Το layer εισόδου λαμβάνει τα αρχικά εισερχόμενα δεδομένα, τα οποία μπορεί να είναι εικόνες, κείμενο ή οποιοδήποτε άλλο δομημένο ή μη δομημένο δεδομένο. Τα κρυφά layers, τα οποία συνήθως αποτελούνται από πολλούς νευρώνες, εκτελούν ενδιάμεσους υπολογισμούς, μετασχηματίζοντας την είσοδο με ιεραρχικό τρόπο. Το τελικό layer εξόδου παρέχει την πρόβλεψη ή την κατηγοριοποίηση του δικτύου με βάση τις εκμαθημένες αναπαραστάσεις.

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο Αξιολόγηση σημάτων

Στο κεφάλαιο αυτό θα δούμε την ιδέα – θεωρία πίσω από τον τρόπο (ο οποίος θα περιγραφεί αναλυτικότερα σε επόμενο κεφάλαιο) με τον οποίο εξάγουμε συγκεκριμένα κάθε χαρακτηριστικό για κάθε σήμα – μέτρηση λαμβάνοντας υπόψη το πλάτος του, τη συχνότητα που εμφανίζει σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές μέσω του μετασχηματισμού Fourier, την τυπική του απόκλιση, την αναπαράσταση του σε πραγματικό χρόνο, την εντροπία του και τέλος τον μετασχηματισμό Wavelet.

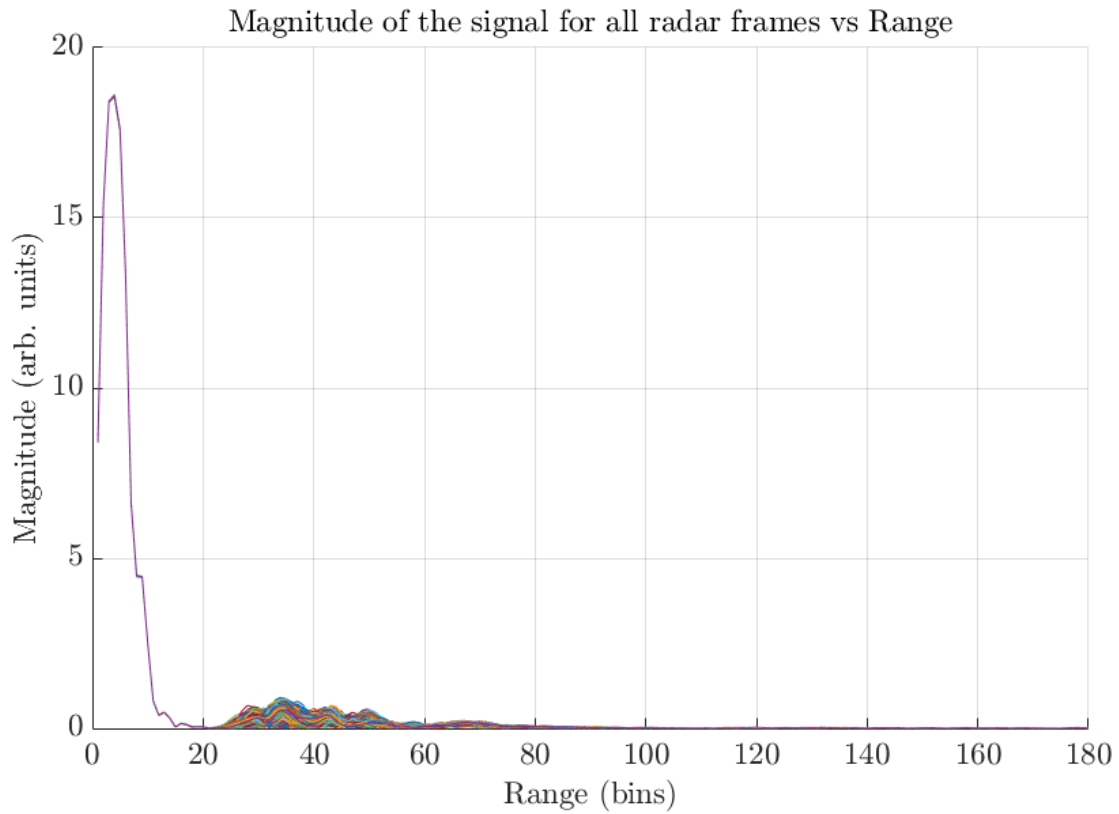
Το ραντάρ δίνει ως έξοδο ένα μιγαδικό σήμα όπως φαίνεται παρακάτω. Από την εικόνα αυτή δεν μπορούμε να εξάγουμε κανένα απολύτως συμπέρασμα για το τι συμβαίνει κατά τη διάρκεια της μέτρησης.



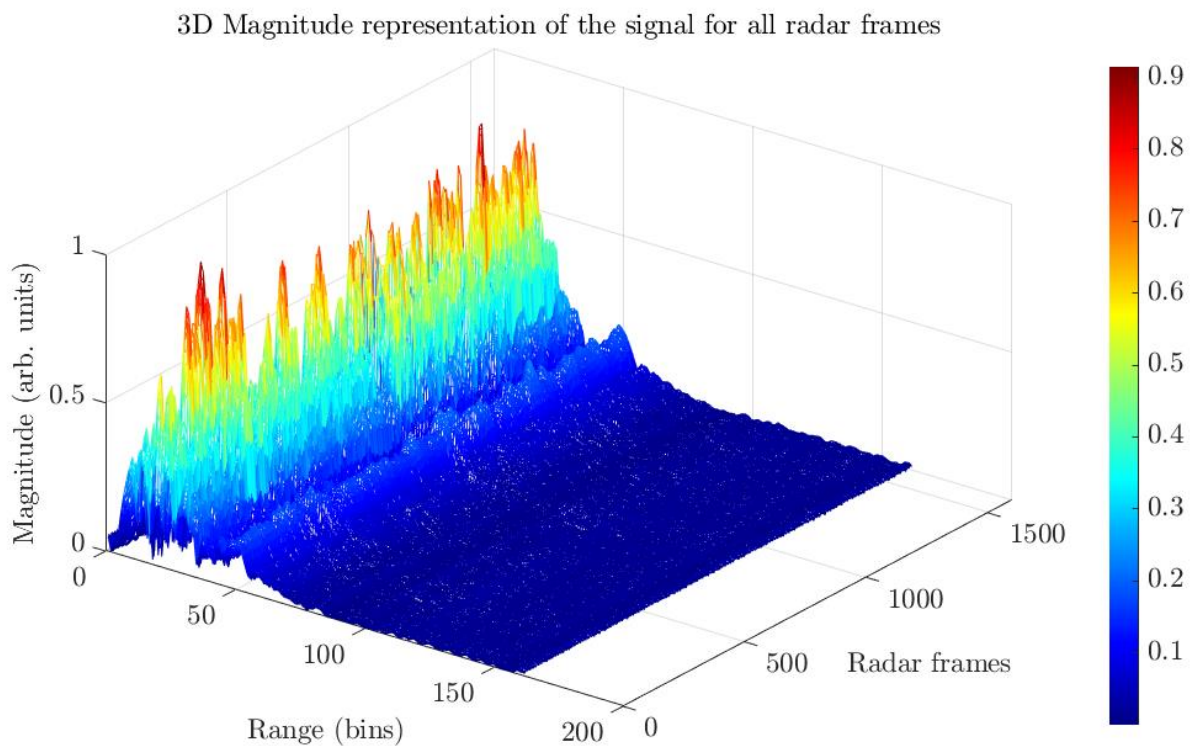
Εικόνα 2.1 Μιγαδική αναπαράσταση σήματος εξόδου του ραντάρ για όλα τα frames (Μέτρηση: 1686564925).

Προκειμένου να μεταφραστούν οπτικά τα παραπάνω σήματα, πρέπει να χωριστούν στο μέτρο και τη φάση τους. Το μέτρο του μιγαδικού σήματος, είναι το πλάτος του σήματος που λαμβάνουμε ως ανάκλαση ενώ η φάση επηρεάζεται, μεταξύ άλλων, από τις μικρομεταβολές της απόστασης μεταξύ του στόχου και του ραντάρ. Έτσι λαμβάνουμε δύο επιμέρους γραφικές παραστάσεις, σε δισδιάστατη και τρισδιάστατη μορφή. Για την τρισδιάστατη απεικόνιση του πλάτους κόβουμε τα πρώτα 20 bins από την απόσταση, όπου και συμβαίνει το φαινόμενο direct path όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ώστε να έχουμε μια καλύτερη εικόνα στα σημεία που μας ενδιαφέρει, δηλαδή εκεί όπου υπάρχει μοτίβο αναπνοής.

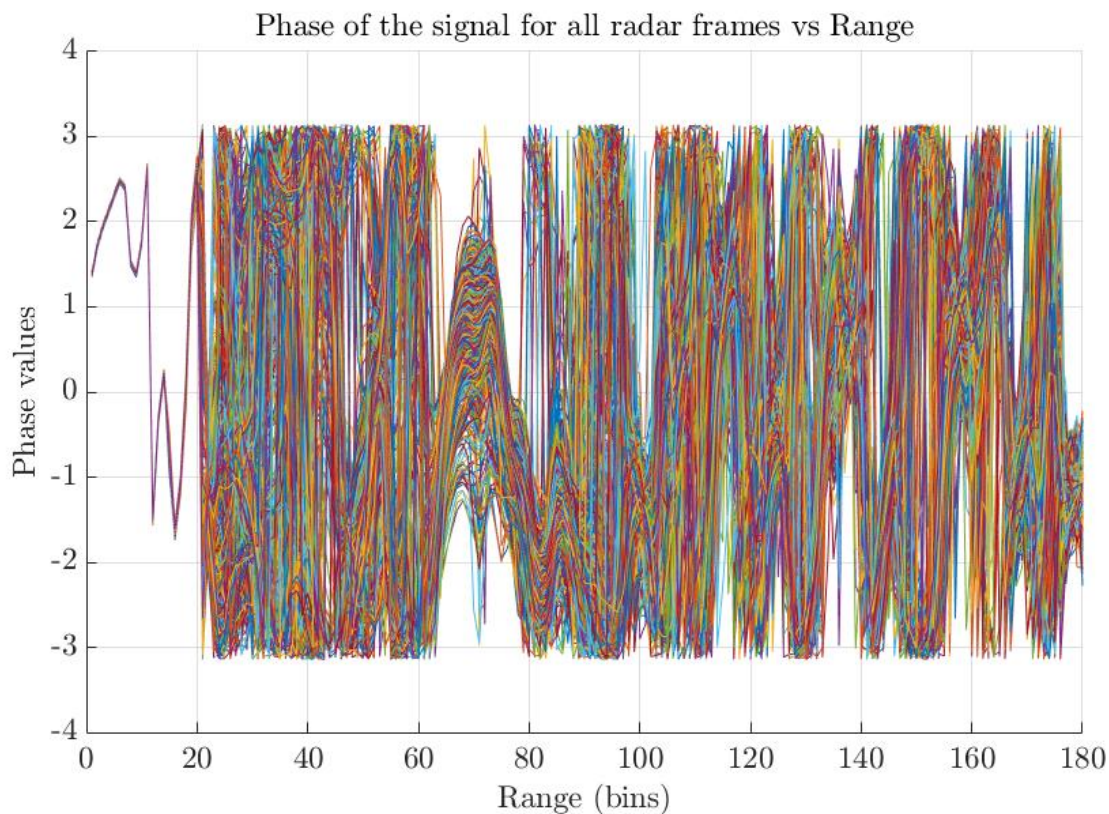
Όπως θα γίνει αντιληπτό στις ακόλουθες εικόνες, η φάση παρουσιάζει αμεσότερες και ακαθόριστες μεταβολές συγκριτικά με το πλάτος. Επομένως αξιοποιήσιμο εργαλείο για την επεξεργασία του σήματος σε πρώτο στάδιο, κρίνεται το πλάτος του.



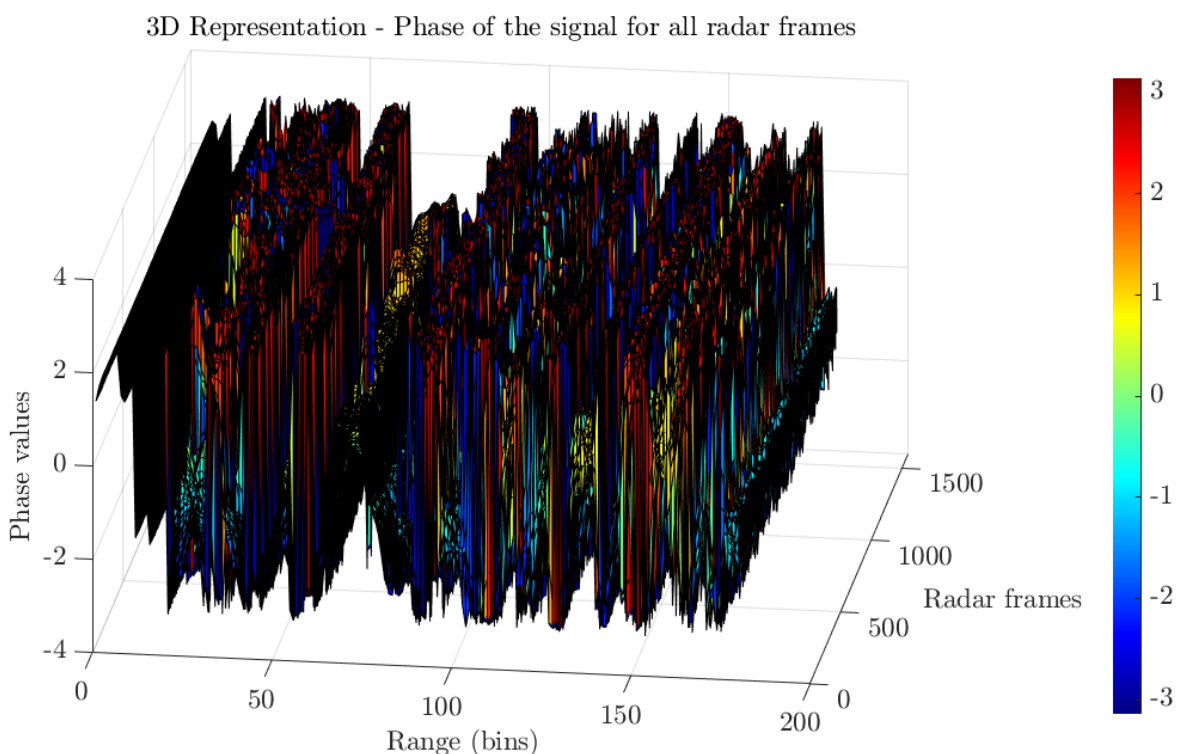
Εικόνα 2.2 Πλάτος σήματος εξόδου του ραντάρ για όλα τα frames (Μέτρηση: 1686564925).



Εικόνα 2.3 Τρισδιάστατη απεικόνιση του πλάτους του σήματος εξόδου του ραντάρ για όλα τα frames εκτός των αρχικών 20. (Μέτρηση: 1686564925).



Εικόνα 2.4 Φάση σήματος εξόδου του ραντάρ για όλα τα frames (Μέτρηση:1686564925).



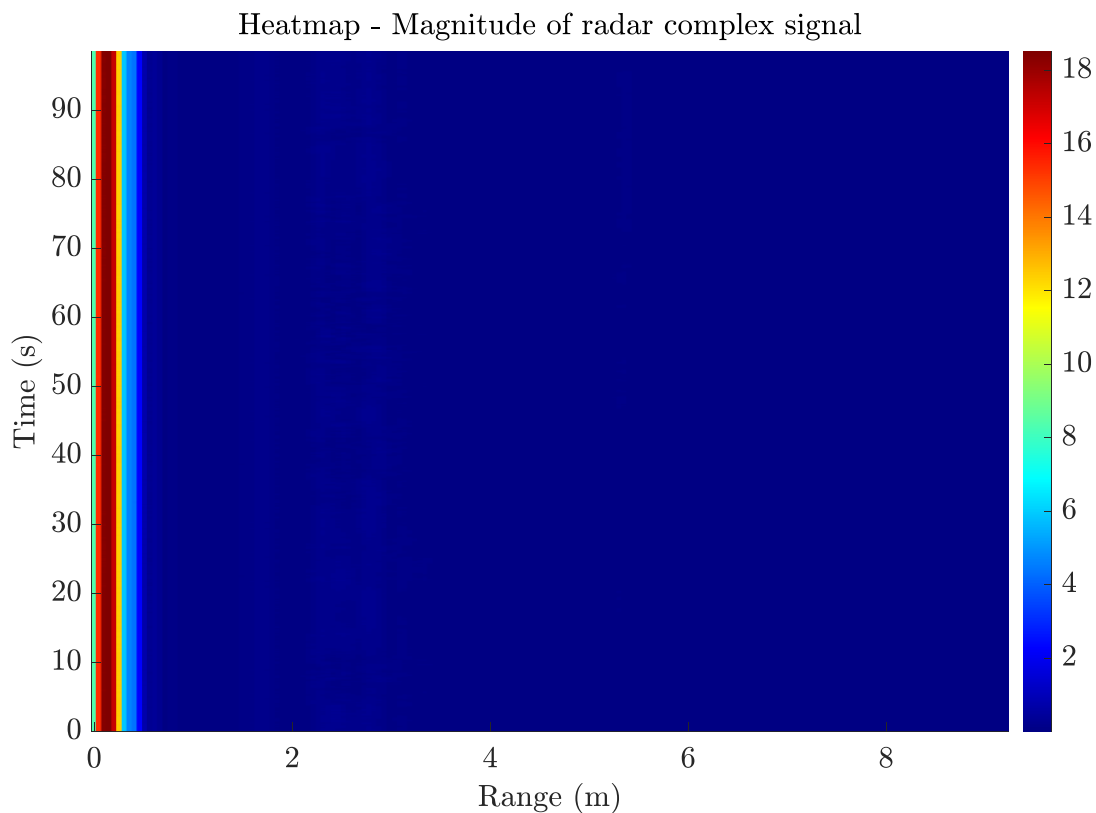
Εικόνα 2.5 Τρισδιάστατη απεικόνιση φάσης σήματος εξόδου του ραντάρ για όλα τα frames (Μέτρηση:1686564925).

Από τα παραπάνω, συμπεραίνουμε πως πρέπει να βρεθεί τρόπος, ώστε να εξάγουμε τα χαρακτηριστικά που μας δίνει το σήμα της εκάστοτε μέτρησης, για την επεξεργασία και την μετέπειτα χρήση της στην τροφοδοσία του νευρωνικού μας δικτύου.

2.1 Heatmap

Ως heatmap όπως θα δούμε και σε επόμενη ενότητα, εννοούμε μια διδιάστατη απεικόνιση (για λόγους ευκολίας ανάγνωσης) ενός τρισδιάστατου διαγράμματος, στο οποίο παρατηρούνται οι αλλαγές του πλάτους του σήματος λήψης στο ραντάρ, σε σχέση με το χρόνο (y άξονας) και την απόσταση (x άξονας). Πριν τροφοδοτηθεί η συνάρτηση απεικόνισης, αποσπάται μόνο το πραγματικό μέρος του μιγαδικού σήματος λήψης, μιας και το φανταστικό μέρος, δηλαδή η φάση δεν μπορεί να αξιοποιηθεί άμεσα όπως είδαμε παραπάνω.

Οι αλλαγές του σήματος λήψης, αποδίδονται σε μια κλίμακα η οποία αντιστοιχίζεται αυτόματα με τη χρήση της συνάρτησης “*imagesc()*”, σε ένα χρωματικό εύρος “*colormap('jet')*”, αποτέλεσμα της οποίας είναι η απεικόνιση με μορφή χρωματικών αλλαγών. Το εύρος αυτό φαίνεται στην κάθετη μπάρα δεξιά του διαγράμματος στην παρακάτω εικόνα.

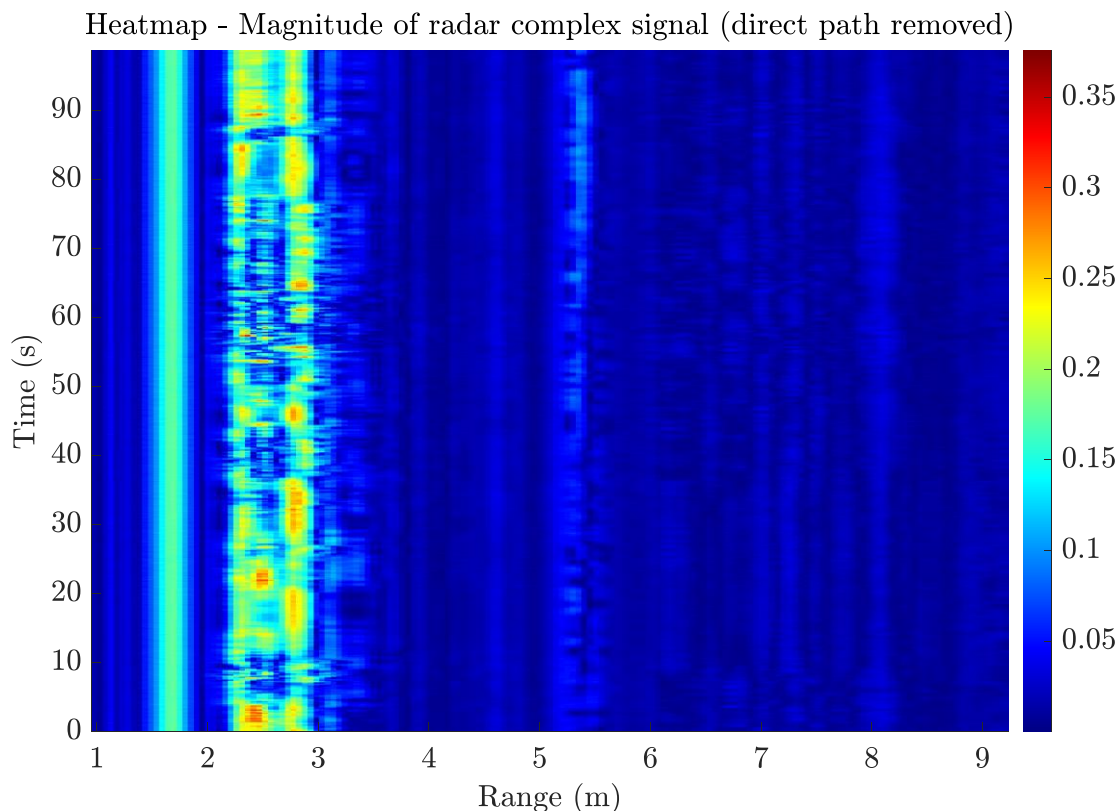


Εικόνα 2.6 Απεικόνιση με την μορφή heatmap του πλάτους ολόκληρου μιγαδικού σήματος του ραντάρ σε σχέση με το χώρο και τον χρόνο (Μέτρηση: 1686564925).

Το παραπάνω heatmap εμπεριέχει την εμβέλεια στην οποία το ραντάρ έχει ρυθμιστεί να λειτουργεί. Ο λόγος για τον οποίο εμφανίζεται μια τεράστια ανάκλαση στην αρχή της γραφικής, με τις υπόλοιπες ανακλάσεις που μας ενδιαφέρουν να φαίνονται αμυδρά με ένα αρκετά χαμηλό πλάτος, οφείλεται όπως έχουμε προαναφέρει στο direct path. Για τον λόγο αυτό από εδώ κι έπειτα θα απορρίπτουμε το πρώτο μέτρο των μετρήσεων, μιας και αυτό εκτός του ότι δεν έχει κάποια αξία από άποψη πληροφορίας σήματος, μας επιφέρει επιπλέον θόρυβο στο σήμα μας, εισάγοντας περεταίρω δυσκολία στην ανάλυση και την περιγραφή των μετρήσεων.

Παρακάτω, βλέπουμε το heatmap αφότου έχει αφαιρεθεί το πρώτο μέτρο σε απόσταση από την κεραία του ραντάρ, με αρκετά patterns να έχουν γίνει αρκετά πιο ευδιάκριτα σε σχέση με πριν. Πιο

συγκεκριμένα στα 1.5 – 3.5 μέτρα παρατηρείται ο θάμνος, με το πλάτος του να μεταβάλλεται στο χρόνο, λόγω των αλλαγών του ανέμου. Ακόμη, φαίνεται να υπάρχει ένα σήμα στα περίπου 5.5 μέτρα, το οποίο εμφανίζει μια περιοδικότητα και δεν είναι άλλο από το σήμα της αναπνοής του ανθρώπου. Όλα τα υπόλοιπα μοτίβα, αποτελούν απόρροια του φαινομένου της πολυδιαδρομικής διάδοσης των ανακλώμενων σημάτων τα οποία προσπίπτουν σε κοντινά εμπόδια και ανακλώνται πάλι πίσω στην κεραία λήψης του ραντάρ.



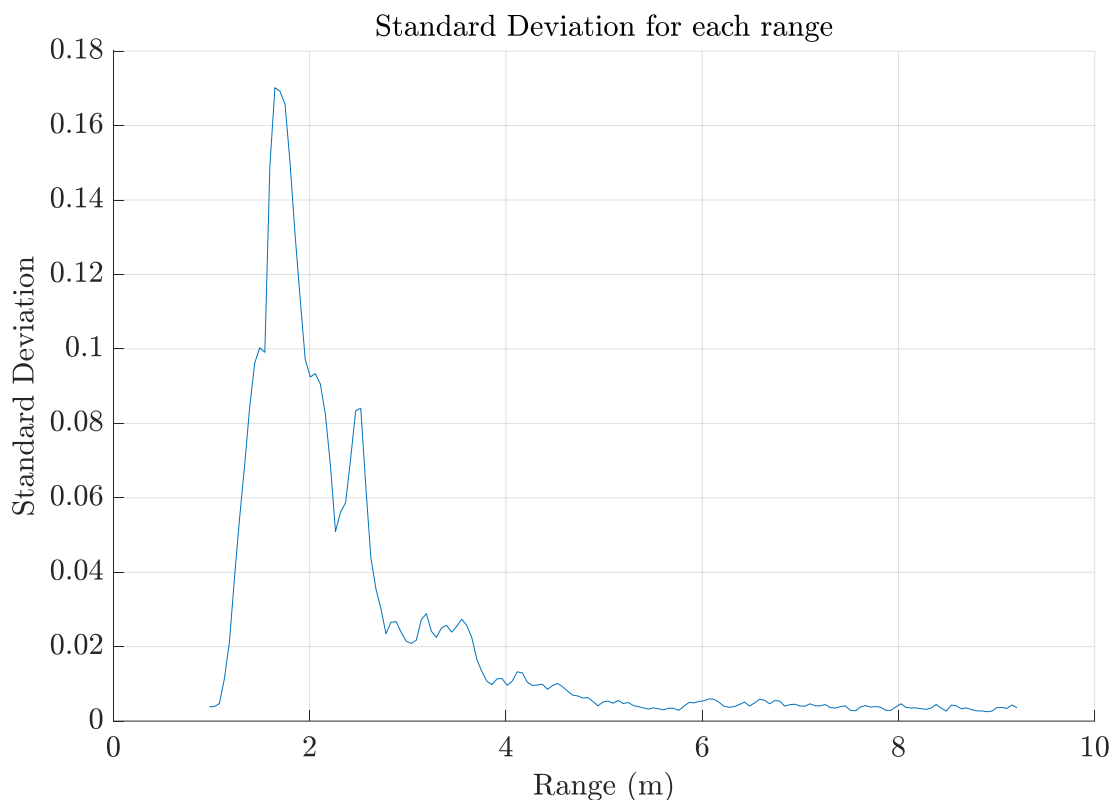
Εικόνα 2.7 Απεικόνιση με την μορφή heatmap του πλάτους του μιγαδικού σήματος του ραντάρ σε σχέση με το χώρο και τον χρόνο αφαιρεμένου του πρώτου μέτρου (Μέτρηση:1686564925).

2.2 Τυπική απόκλιση (Standard Deviation)

Μια μέθοδος περιγραφής μαζικών δεδομένων είναι η τυπική απόκλιση, εργαλείο χρήσιμο για τη στατιστική μελέτη σημάτων μεταβαλλόμενα στο χρόνο. Πιο συγκεκριμένα, με τον όρο τυπική απόκλιση, εννοούμε ένα δείκτη, για το πόσο κοντά τα επιμέρους σημεία των δεδομένων συγκεντρώνονται, γύρω από τη μέση τιμή [11]. Η τυπική απόκλιση ορίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}} \quad (2.1)$$

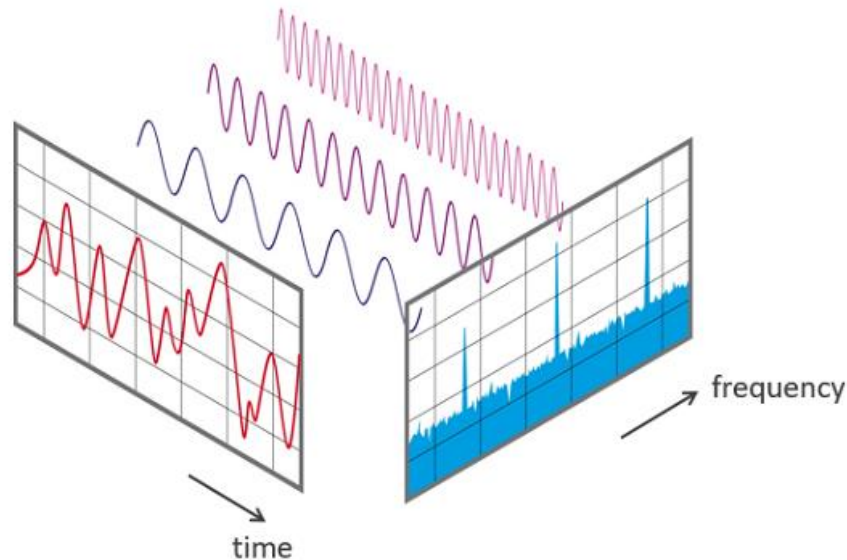
Εφαρμόζοντας την παραπάνω εξίσωση ως προς την διάσταση του χρόνου ανά απόσταση από το ραντάρ (εφαρμογή συνάρτησης ανά στήλη, για όλες τις στήλες του πίνακα σήματος λήψης) προκύπτει ένας μονοδιάστατος πίνακας, ήτοι η χρονική τυπική απόκλιση για κάθε απόσταση από το ραντάρ, η οποία απεικονίζεται παρακάτω.



Εικόνα 2.8 Τυπική απόκλιση σε σχέση με το εύρος λειτουργίας του ραντάρ (Μέτρηση: 1686564925).

2.3 Μετασχηματισμός Fourier (FT)

Ο μετασχηματισμός Fourier αποτελεί μια διαδικασία μετατροπής σημάτων από το πεδίο χρόνου, στο πεδίο της συχνότητας. Ορίζεται ως μια συνεχής εξίσωση σε ένα πεπερασμένο εύρος, ως ο συνδυασμός πολλών ημιτονικών εξισώσεων.



Εικόνα 2.9 Ένα σήμα στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας. Πηγή: [12]

Σύμφωνα με το θεώρημα του μετασχηματισμού ένα βασικό σήμα,

$$f(t) = \frac{b_0}{2} + \int_{+\infty}^{-\infty} (b_n \cos(n\omega_0 t) + a_n n\omega_0 t) \quad (2.2)$$

όπου,

ω_0 γωνιακή συχνότητα,

b_0 , η DC συνιστώσα του σήματος,

a_n, b_n , οι συντελεστές του πραγματικού και του μιγαδικού μέρους του σήματος λήψης και t , ο χρόνος δειγματοληψίας

Συνεπώς, η συνάρτηση του μετασχηματισμού για το παραπάνω σήμα, μπορεί να οριστεί ως εξής:

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (2.3)$$

όπου,

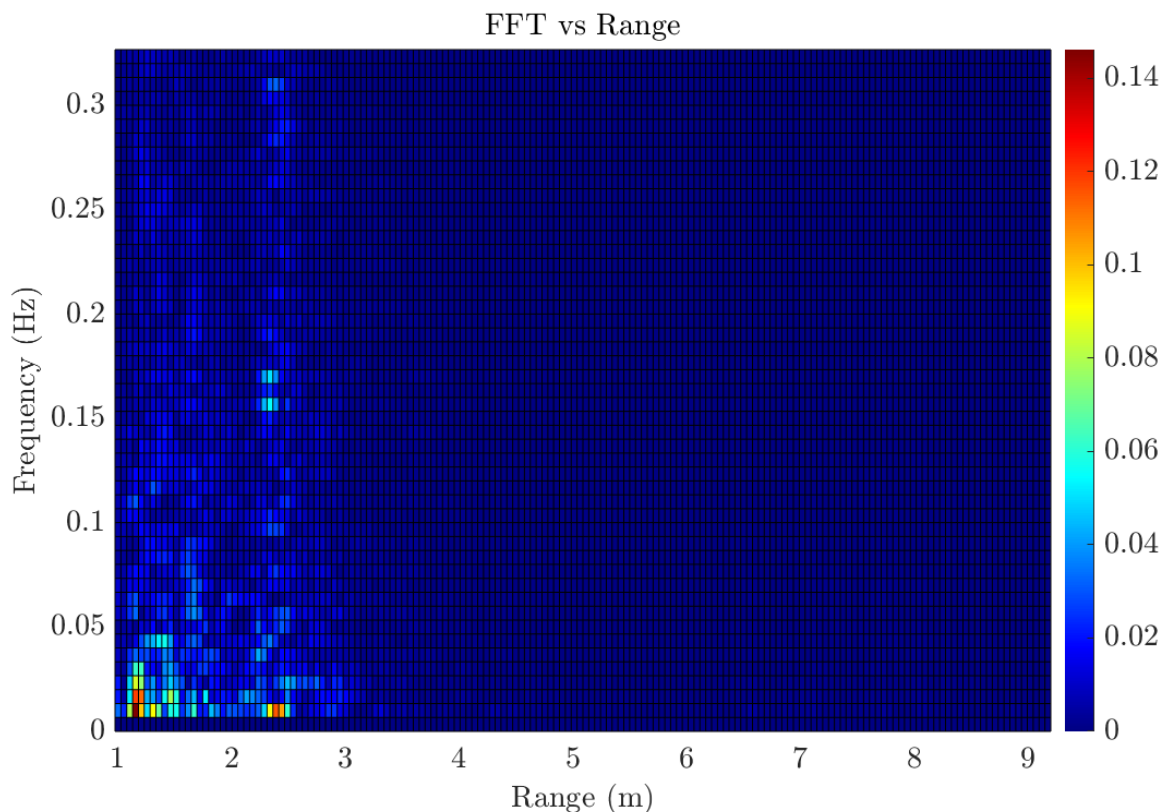
$X(\omega)$ το αποτέλεσμα του μετασχηματισμού στο πεδίο της συχνότητας και

$\omega, x(t)$ η είσοδος του μετασχηματισμού στο πεδίο του χρόνου [13]

Για τον αριθμητικό υπολογισμό του FT σε έναν υπολογιστή, απαιτείται διακριτοποίηση και αριθμητική ολοκλήρωση. Αυτή είναι μια προσέγγιση του πραγματικού, αναλυτικά καθορισμένου FT σε ένα συνθετικό (ψηφιακό) περιβάλλον και ονομάζεται Discrete Fourier Transform. Παρ' όλα αυτά, απαιτεί υπερβολικό χρόνο υπολογισμού, ιδιαίτερα όταν ο αριθμός των δειγμάτων N είναι υψηλός, όπως στην περίπτωση μας.

Ο Fast Fourier Transform, είναι ένας αλγόριθμος για την επιτάχυνση των υπολογισμών του DFT. Επιβάλλει μια περαιτέρω υπόθεση, ότι το N είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του 2. Αυτό επιτρέπει να συμβούν ορισμένες συμμετρίες, μειώνοντας τον αριθμό των υπολογισμών [14].

Ο τρόπος με τον οποίο εφαρμόζεται ο FFT στο σήμα λήψης (θα αναλυθεί περαιτέρω σε επόμενο κεφάλαιο), είναι πως επιλέγουμε μια συγκεκριμένη απόσταση από το ραντάρ και εφαρμόζουμε τον μετασχηματισμό για κάθε χρονική στιγμή. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλες τις αποστάσεις του ραντάρ, λαμβάνοντας τελικά ως αποτέλεσμα όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα, έναν πίνακα ο οποίος περιέχει την ένταση της κάθε συχνότητας για κάθε μήκος.



Εικόνα 2.10 Μετασχηματισμός Fourier σήματος στο χρόνο ως προς την απόσταση (Μέτρηση: 1688675764).

Στην προκειμένη περίπτωση βλέπουμε μια άριστη μέτρηση με δύο χαρακτηριστικά peak στη συχνότητα κοντά στα 0.16 και 0.18 Hz, όπου αυτό σημαίνει πως υπάρχει παρουσία ανθρώπου στα 2.5 μέτρα από το ραντάρ.

Η ύπαρξη ποικίλων και αρκετά χαμηλών συχνοτήτων, κάτω από 0.05 Hz οφείλεται στις μετακινήσεις του φυλλώματος λόγω της επίδρασης των ακαθόριστων μεταβολών του ανέμου αλλά και των αρμονικών συχνοτήτων που παράγονται. Επιπλέον, τέτοιου είδους συχνότητες εμφανίζονται και στη θέση που είναι τοποθετημένο το υποκείμενο. Αυτές, οφείλονται στην ακούσια κίνηση εμπρός και πίσω λόγω της όρθιας στάσης του υπό μέτρηση υποκειμένου, αλλά και του φαινομένου ghosting μέσω του οποίου μεταφέρονται μέρη της κίνησης του θάμνου σε όλες τις αποστάσεις μετά από αυτόν.

2.4 Αναπαράσταση σε πραγματικό χρόνο (Real Time Representation)

Αυτός ο τρόπος αξιολόγησης, δημιουργήθηκε κατά την έναρξη της έρευνας και των πειραμάτων, με σκοπό την αναγνώριση της αναπνοής μέσω της αναπαράστασης του σήματος λήψης σε πραγματικό χρόνο, καθώς επίσης και τη σύγκριση μετρήσεων. Κατ' αυτό τον τρόπο, μπορεί να γίνει μια ανάλυση του οπισθοσκεδαζόμενου σήματος όχι μόνο από τον στόχο, αλλά και από τον θάμνο. Ακόμη, μπορεί να γίνει ορατό το επίπεδο του θορύβου με τις μεταβολές του. Έτσι μπορούμε να κρίνουμε, να επιβεβαιώσουμε και να μεταφράσουμε, όσα είδαμε σε μια στατική εικόνα, αυτή που μας παρείχε η τυπική απόκλιση, σε προηγούμενη παράγραφο.

Η αναπαράσταση σε πραγματικό χρόνο λοιπόν, υλοποιείται σε ένα δισδιάστατο διάγραμμα, με τον x άξονα να περιέχει τις αποστάσεις από το ραντάρ και τον y άξονα να περιέχει τα πλάτη του σήματος στις αντίστοιχες θέσεις. Γίνεται απεικόνιση του πρώτου frame του σήματος που λήφθηκε, ενώ μεσολαβεί χρονική διάρκεια καθυστέρησης, όση και η συχνότητα δειγματοληψίας που έχει οριστεί, μέχρις ότου να προχωρήσουμε στην απεικόνιση του δεύτερου frame. Έτσι, βλέπουμε ένα βίντεο στα περίπου 16 FPS κάθε φορά το οποίο προσεγγίζει σε πολύ καλό βαθμό την πραγματικότητα.

Η χρονική διάρκεια λοιπόν που μεσολαβεί από απεικόνιση σε απεικόνιση για το συγκεκριμένο setup, προκύπτει ως εξής. Αρχικά ορίζεται ένα χρονικό όριο *timeLimit*, υπολογισμένο ως εξής:

$$timeLimit = total_time_matrix(end, 1) - total_time_matrix(1,1) \quad (2.4)$$

το οποίο καθορίζει το πέρας της μέτρησης, όπως αυτό υπολογίζεται για την εκάστοτε μέτρηση και το χρονικό παράθυρο – καθυστέρηση μεταξύ των απεικονίσεων *timeslot*, το οποίο προκύπτει ως εξής:

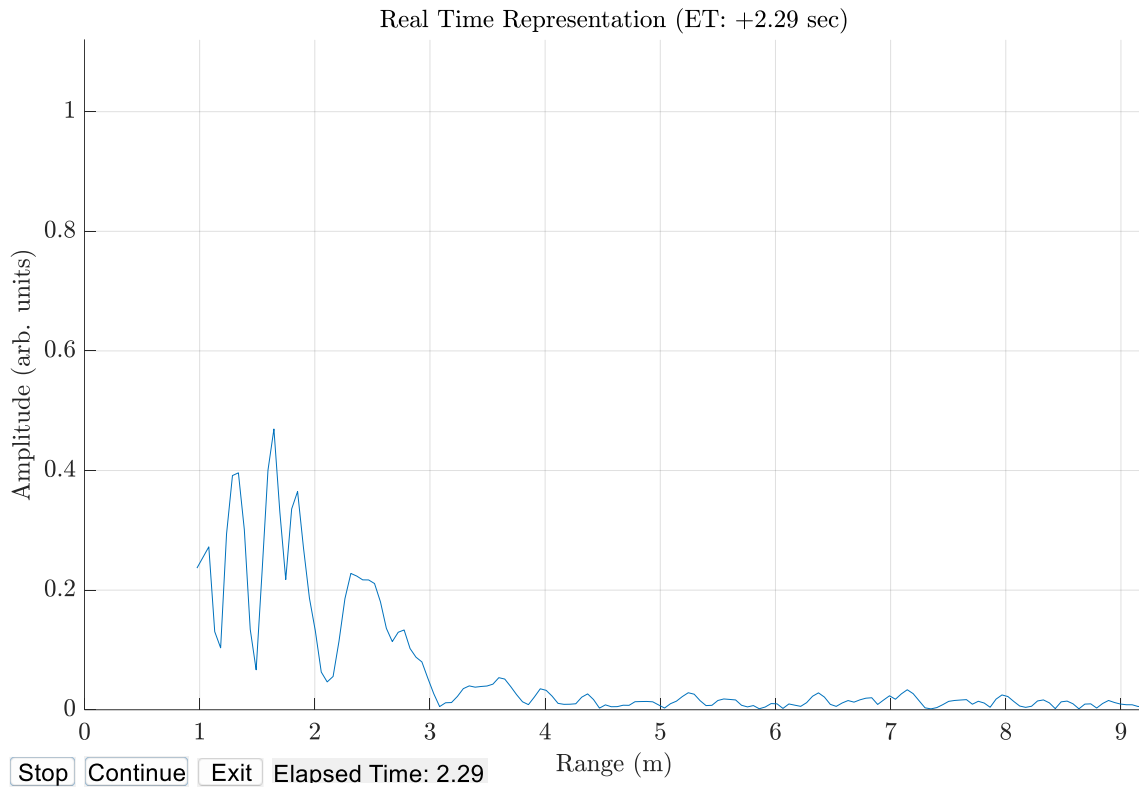
$$timeslot = \frac{timeLimit}{size(total_amp, 1)} \quad (2.5)$$

όπου ο παρονομαστής αναφέρεται στον μέγιστο αριθμό frames που λήφθηκαν κατά την μέτρηση.

Ο λόγος για τον οποίο δεν είναι προκαθορισμένη η τιμή του χρονικού παραθύρου, είναι διότι σε κάθε μέτρηση, παρότι το ραντάρ έχει ρυθμιστεί να γράφει στα 16 FPS, μπορεί να προκύψουν μικρές καθυστερήσεις λήψης έστω και σε ένα frame, επηρεάζοντας έτσι τα τελικά FPS της μέτρησης. Επομένως κάθε φορά τα πραγματικά FPS δεν είναι ποτέ τα ίδια.

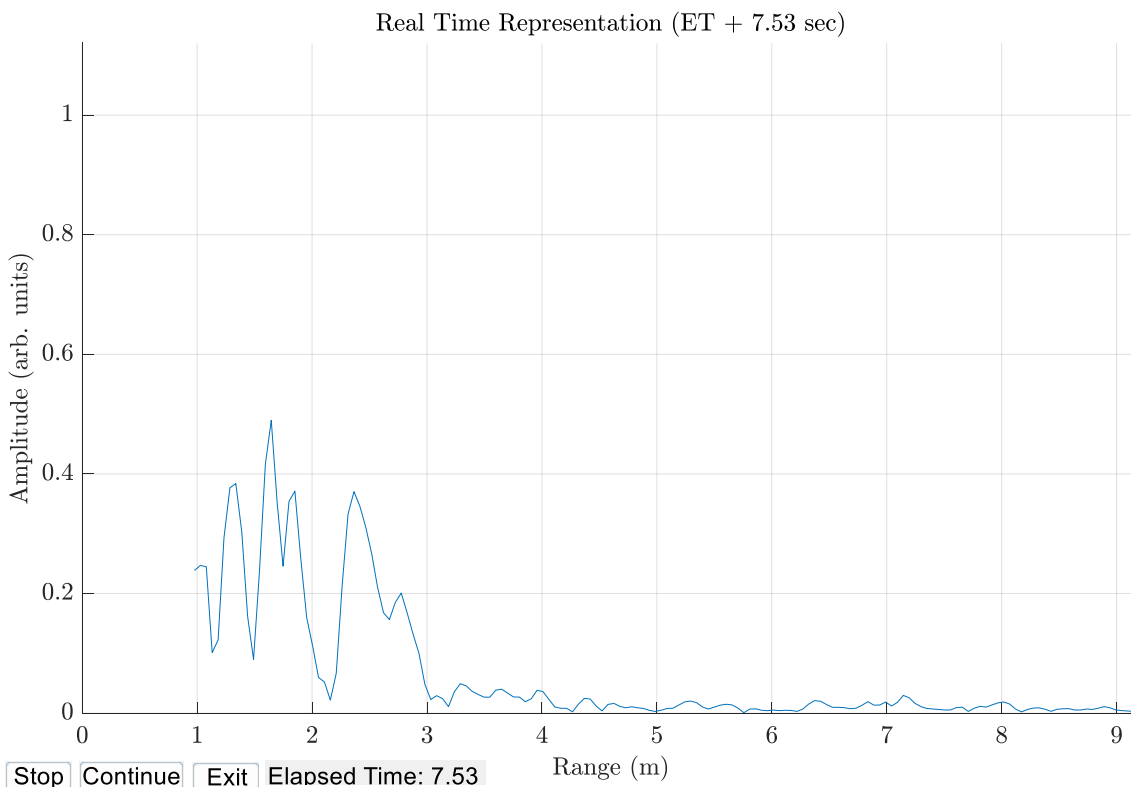
Παρακάτω, παρουσιάζονται δύο εικόνες με ένα απλουστευμένο UI το οποίο υλοποιήθηκε, όπου βλέπουμε τη χρονική στιγμή των frame που απεικονίζονται όπως αυτά συνέβησαν στην πραγματικότητα και τρία κουμπιά για το χειρισμό της απεικόνισης.

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε παρακάτω στην απόσταση 1 – 2 μέτρα υπάρχει ο θάμνος, ενώ στα 2.5 μέτρα υπάρχει ένα *reak*, που μοιάζει με τα μέχρι τώρα δεδομένα με μοτίβο αναπνοής.



Εικόνα 2.11 User Interface αναπαράστασης πραγματικού χρόνου μέτρησης την χρονική στιγμή 2.29sec (Μέτρηση:1688675764).

Πράγματι, λίγα frame αργότερα, όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα, παρατηρούμε ότι το peak αυτό έχει εμφανίσει αυξημένη και ομοιόμορφη μεταβολή, ενώ τα πλάτη στις υπόλοιπες αποστάσεις, δηλαδή ο θόρυβος, έχει μεταβληθεί κι αυτός με τη σειρά του σε πολύ μικρότερο επίπεδο. Επομένως εντοπίστηκε μια εκπνοή του υπό μέτρηση υποκειμένου.



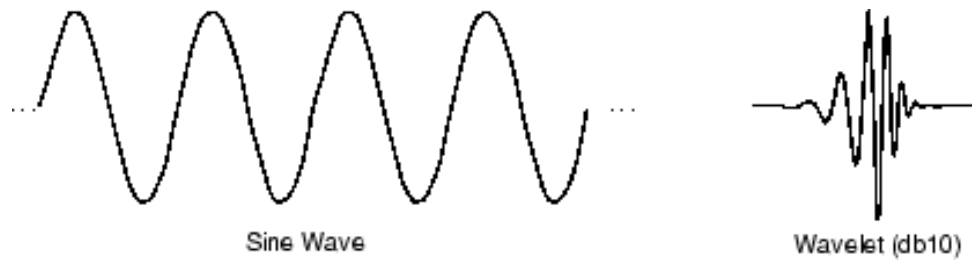
Εικόνα 2.12 User Interface αναπαράστασης πραγματικού χρόνου μέτρησης την χρονική στιγμή 7.53sec (Μέτρηση:1688675764).

2.5 2D Continuous Wavelet Transform (2D CWT)

Η λέξη wavelet χρησιμοποιείται εδώ και αρκετές δεκαετίες στην επεξεργασία ψηφιακών σημάτων και στην γεωφυσική. Η αντίστοιχη γαλλική λέξη *ondelette*, που σημαίνει «μικρό κύμα» χρησιμοποιήθηκε από τους Morlet και Grossmann στις αρχές της δεκαετίας του 1980, ονόματα τα οποία αποδόθηκαν σε μετασχηματισμούς wavelet.

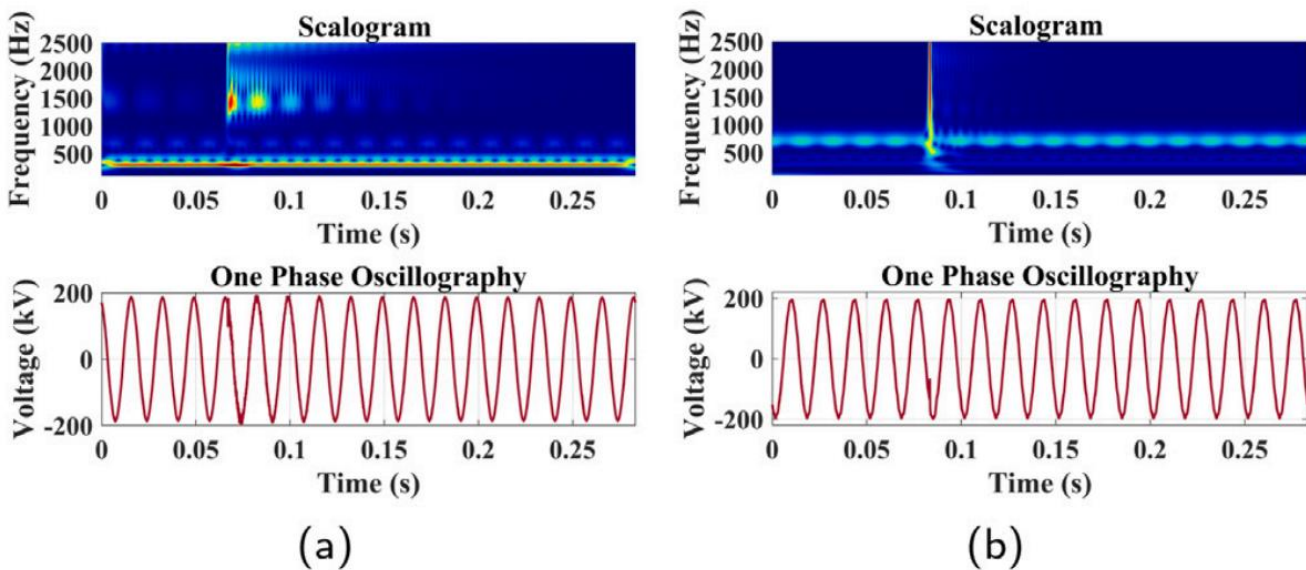
Μετασχηματισμός Wavelet

Το wavelet ή κυματίδιο, είναι μια κυματοειδής ταλάντωση περιορισμένης διάρκειας, μηδενική μέση τιμή, με πλάτος που ξεκινά από το μηδέν, αυξάνεται ή μειώνεται και στη συνέχεια επιστρέφει στο μηδέν μία ή περισσότερες φορές ανάλογα τον τύπο του.



Εικόνα 2.13 Απεικόνιση Morlet Wavelet. Πηγή: [15]

Μέσω της ανάλυσης Fourier το σήμα διασπάται σε ημιτονοειδή κύματα διαφόρων συχνοτήτων. Ομοίως και η ανάλυση wavelet είναι η διάσπαση ενός σήματος σε μετατοπισμένες και κλιμακώμενες εκδόσεις του αρχικού wavelet (Mother Wavelet). Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε και στην ακόλουθη εικόνα, οι απότομες και μεμονωμένες αλλαγές των σημάτων που απεικονίζονται στο πεδίο του χρόνου, μπορούν να αναλυθούν και να γίνουν πιο άμεσα αντιληπτές μέσω της χρήσης της ανάλυσης wavelet.



Εικόνα 2.14 Scalograms και Oscillographies απότομων μεταβολών του Power Quality: Impulsive Transient (a), Oscillatory Transient (b). Πηγή: [16]

Συνεχής δισδιάστατος μετασχηματισμός Wavelet

Ο δισδιάστατος μετασχηματισμός wavelet, διασπά ένα σήμα σε ένα σύνολο βασικών διανυσμάτων, τα οποία είναι όλα κλιμακώμενα, μετατοπισμένα και περιστρεφόμενα, αποτελέσματα των αρχικών συναρτήσεων του wavelet (mother wavelet) [17]. Όπως ο μετασχηματισμός Fourier, έτσι και ο συνεχής μετασχηματισμός wavelet (CWT) χρησιμοποιεί εσωτερικά γινόμενα για να υπολογίσει την ομοιότητα μεταξύ του υπό μελέτη σήματος και της συνάρτησης που χρησιμοποιείται για την ανάλυσή του.

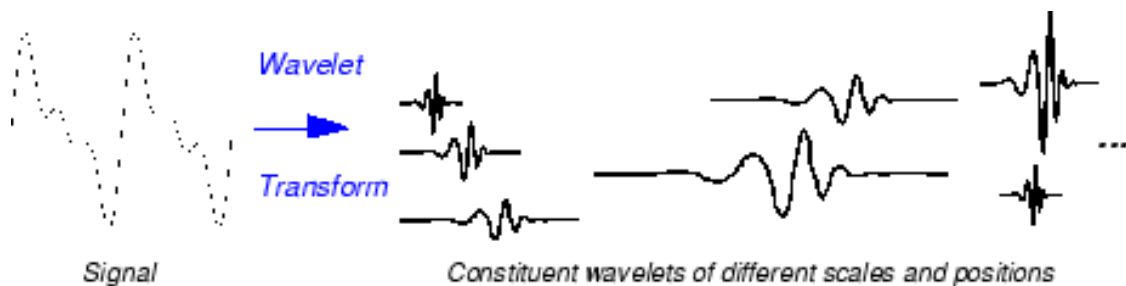
Στον CWT, η συνάρτηση γενικεύεται ως ένα κυματίδιο ψ . Ο CWT συγκρίνει το σήμα με μετατοπισμένες και συμπιεσμένες ή ανοιγμένες εκδόσεις αυτής της συνάρτησης. Η σύγκριση του σήματος με το wavelet σε διάφορες κλίμακες και θέσεις, δίνει μια συνάρτηση δύο μεταβλητών. Εάν το wavelet είναι μιγαδικής μορφής, ο CWT είναι μια συνάρτηση κλίμακας – θέσης με μιγαδικές τιμές. Αντίστοιχα, αν το σήμα έχει μόνο πραγματικές τιμές ο CWT θα είναι επίσης μια συνάρτηση κλίμακας – θέσης πραγματικών τιμών [18].

Για παράμετρο κλίμακας $a > 0$ και παράμετρο θέσης b , ο CWT διαμορφώνεται ως εξής:

$$C(a, b; f(t), \psi(t)) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{1}{a} \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \quad (2.6)$$

όπου * υποδηλώνει το συζυγή μιγαδικό.

Οι συντελεστές του CWT επηρεάζονται όχι μόνο από τις τιμές κλίμακας και θέσης αλλά και από την επιλογή του τύπου του wavelet. Μεταβάλλοντας συνεχώς τις τιμές των παραμέτρων a και b , λαμβάνουμε τους συντελεστές του CWT. Πολλαπλασιάζοντας κάθε συντελεστή με το κατάλληλο – πιο κοντά στο αρχικό σήμα, κλιμακούμενο και μετατοπιζόμενο wavelet αποδίδονται τα wavelet που συνθέτουν το αρχικό σήμα.



Εικόνα 2.15 Αποσύνθεση αρχικού σήματος μέσω του μετασχηματισμού wavelet στα επιμέρους σήματα wavelet. Πηγή: [18]

Ο CWT προσφέρει μια πικιοιλία επιλογών του τύπου του wavelet που θα χρησιμοποιήσουμε ανάλογα πάντα με το χαρακτηριστικό και τη «συμπεριφορά» που θέλουμε να εξάγουμε από το σήμα μας, είτε σε συγκεκριμένα σημεία είτε καθ' όλη τη διάρκεια αυτού. Για παράδειγμα εάν προσπαθούμε να ανιχνεύσουμε και να απομονώσουμε απότομες ασυνέχειες μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε διαφορετικό τύπο wavelet, απ' ότι όταν προσπαθούμε να ανιχνεύσουμε ομαλές ταλαντώσεις και μετατοπίσεις.

Κλίμακα (Scale)

Όπως η έννοια της συχνότητας, έτσι και η κλίμακα είναι μια ακόμη χρήσιμη έννοια για την επεξεργασία σημάτων και εικόνων. Για παράδειγμα, μπορούμε να αναλύσουμε δεδομένα θερμοκρασίας με τις αλλαγές τους σε διαφορετικές κλίμακες, παρατηρώντας τις αλλαγές τους από λεπτό σε λεπτό, είτε από έτος σε έτος. Ορισμένες διαδικασίες αποκαλύπτουν ενδιαφέρουσες αλλαγές σε μικρές χρονικές ή χωρικές κλίμακες (όπως και στην περίπτωση της έρευνάς μας), οι οποίες δεν είναι εμφανείς σε μεγαλύτερες κλίμακες. Αυτές οι διαφοροποιήσεις της κλίμακας συμπίεσης ή μεγέθυνσης όπως αναφέραμε σε προηγούμενη παράγραφο, χαρακτηρίζονται από τον παράγοντα a , με τις τιμές τις οποίες μπορεί να λάβει να είναι πάντα μεγαλύτερες του μηδενός. Όσο μικρότερος ο παράγοντας κλίμακας τόσο πιο συμπιεσμένη θα εμφανίζεται η συνάρτηση του wavelet και αντίθετα.



Εικόνα 2.16 Συναρτήσεις wavelet για δύο διαφορετικούς συντελεστές κλίμακας. Πηγή: [18]

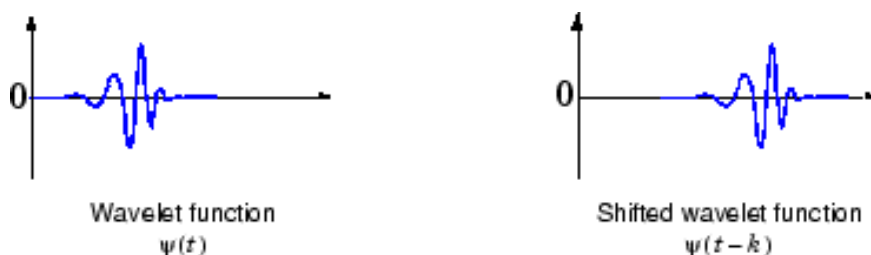
Όσο πιο μεγάλο το wavelet, τόσο μεγαλύτερο και το τμήμα του σήματος με το οποίο συγκρίνεται, επομένως τόσο πιο κακής ποιότητας – ανάλυσης, είναι τα χαρακτηριστικά που μετρώνται από τους συντελεστές των wavelet.



Εικόνα 2.17 Παράδειγμα σύγκρισης του ίδιου αρχικού σήματος με τον ίδιο τύπο wavelet, διαφορετικών παραμέτρων κλίμακας. Πηγή: [18]

Μετατόπιση (Shifting)

Η διαδικασία του CWT όπως προαναφέραμε έχει να κάνει με την μετατόπιση των wavelet, σύμφωνα με τον συντελεστή b , στο αρχικό σήμα, προκειμένου να αναγνωριστούν τυχόν ομοιότητες και διαφορές. Η μετατόπιση αυτή δεν είναι τίποτε άλλο παρά μια καθυστέρηση ή προέλασή του. Μαθηματικά, η καθυστέρηση μιας συνάρτησης $f(t)$ κατά k αναπαρίσταται ως $f(t - k)$.



Εικόνα 2.18 Χρονική μετατόπιση wavelet

2D CWT Wavelet esmexh

Στην έρευνα που έγινε για την εύρεση των βέλτιστων feature για την περίπτωση του CWT χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση των wavelet, **Esmexh**. Το wavelet της συνάρτησης Esmexh ορίζεται στο πεδίο συχνότητας και χώρου [17] ως εξής:

$$\Psi(\omega_x, \omega_y) = \sin(T) \cdot [(\omega_x)^2 + (\omega_y)^2] \cdot e^{-\sigma^2 \frac{[(\omega_x)^2 + (\omega_y)^2]}{2}} \cdot e^{-\frac{T^2}{2}} \quad (2.7)$$

και το T εκφράζεται ως εξής:

$$T = T(\omega_x, \omega_y) = \alpha \tan 2 \left(\frac{(\omega_x, \omega_y)}{\varepsilon} \right), \quad \varepsilon > 0 \quad (2.8)$$

όπου, ε αδιάστατη σταθερά

σ είναι η απόκλιση του wavelet από τη μέση τιμή του, με $\sigma \in \mathbb{R}$

2.6 Εντροπία Wavelet (Wavelet Entropy)

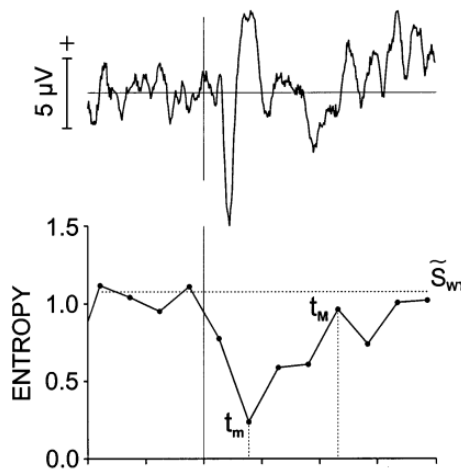
Εντροπία

Προκειμένου να ποσοτικοποιήσουμε την τυχαιότητα ενός συνόλου δεδομένων, χρησιμοποιούμε τον όρο *εντροπία*, η οποία μπορεί να οριστεί στατιστικά για ένα σύστημα στοχαστικών χρονοσειρών (frames) και μπορεί να λάβει τιμές μεταξύ 0 και 1. Όσο πιο κοντά στην τιμή 0, τόσο πιο υψηλό το επίπεδο της αβεβαιότητας και της ακανόνιστης διαταραχής των δεδομένων.

Έστω τυχαίες μεταβλητές $X \in R^n$ οι οποίες έχουν δημιουργηθεί τυχαία και ανεξάρτητα μεταξύ τους. Τότε, ορίζουμε την εντροπία ως,

$$S = \int_0^{\infty} -(p) \log(p) dx \quad (2.9)$$

όπου το p αναφέρεται στη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (pdf).



Εικόνα 2.19 Σήμα EEG-ERP (επάνω) και η συνολική κατά Shannon εντροπία του (κάτω). Πηγή: [19]

Εντροπία Wavelet

Εάν τα δεδομένα περιέχουν πληθώρα χαρακτηριστικών τα οποία εμφανίζονται ταυτόχρονα στην ίδια χρονοσειρά (frame), η εντροπία μπορεί να αποβεί παραπλανητικός παράγοντας στην αποσαφήνισή τους, υποτιμώντας ενδεχομένως την τυχαιότητα που αυτά παρουσιάζουν [20]. Για τον λόγο αυτό γίνεται χρήση της *εντροπίας wavelet* όπου υπολογίζεται η τιμή της εντροπίας της συνάρτησης pdf, της κατανομής της ενέργειας των συντελεστών wavelet κατά τον CWT, ως εξής

$$WE = \sum_{j=1}^M P_j \ln P_j P_j = \frac{E_j}{\sum_{j=1}^M E_j} = \frac{\sum_{t=1}^n n(f(t))^2}{\sum_{j=1}^{M_i} \left(\sum_{t=1}^n (f_j(t))^2 \right)}, M_i = 1, \dots, M \quad (2.10)$$

Όσο μικρή η τιμή της εντροπίας wavelet τόσο πιο οργανωμένα είναι τα δεδομένα. Αντίθετα, όσο πιο μεγάλη η τιμή της, τόσο μεγαλύτερη αβεβαιότητα εμφανίζουν. Η μεγάλη διαφοροποίηση σε σχέση με την εντροπία και την εντροπία wavelet, είναι πως η δεύτερη, θα λάβει υπόψη την διαρθρωτική κατανομή της τυχαιότητας μεταξύ των διαφορετικών κλιμάκων και θα αναγνωρίσει δεδομένα που παραμένουν σε συγκεκριμένες κλίμακες διαχωρίζοντάς τα από τον θόρυβο [20]. Η εντροπία όμως μπορεί να επηρεαστεί άμεσα από δεδομένα θορύβου, αγνοώντας σημαντικά μέρη των δεδομένων.

Τύποι εντροπίας wavelet

Για την ανάλυση των σημάτων τα οποία λήφθηκαν από το ραντάρ αναφορικά με την εντροπία τους χρησιμοποιήθηκε η εντροπία wavelet κατά Renyi, Shannon και Tsallis, όπως θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο. Οι τρεις αυτές εντροπίες συνδέονται άμεσα μεταξύ τους [21], όπως θα δούμε στη συνέχεια.

Shannon wavelet entropy

Για μια τυχαία μεταβλητή X , εντροπία Shannon περιγράφεται από την εξίσωση,

$$H(X) = - \sum_i \mathbb{P}(X = x_i) \ln(\mathbb{P}(X = x_i)) \quad (2.11)$$

Στον υπολογισμό της εντροπίας wavelet κατά Shannon, η αποσύνθεση wavelet και η εντροπία Shannon ενσωματώνονται μαζί, παρέχοντας τη μεταβλητότητα που σχετίζεται με διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων. Οι συντελεστές των wavelet που λαμβάνονται μέσω του CWT χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της ενέργειας αυτών των σημάτων υποζώνης (sub – band signals) κατά προσέγγιση.

Εάν το E_i , υποδηλώνει την ενέργεια του συστήματος της i – οστής υποζώνης που υπολογίζεται από τους συντελεστές wavelet τότε η συνολική ενέργεια του σήματος μπορεί να υπολογιστεί ως,

$$E_t = \sum_{i=1}^K E_i \quad (2.12)$$

όπου το K δηλώνει τον συνολικό αριθμό των σημάτων υποζώνης που λαμβάνονται από τον CWT του σήματος. Η σχετική ενέργεια του wavelet μπορεί να οριστεί ως,

$$q_i = \frac{E_i}{E_t} \quad (2.13)$$

Τέλος η εντροπία wavelet που χρησιμοποιεί τον τύπο της εντροπίας κατά Shannon διαμορφώνεται ως εξής:

$$S_{WE} = - \sum_{i=1}^K q_i \log(q_i) \quad (2.14)$$

Renyi wavelet entropy

Όμοια με προηγουμένως, η εντροπία Renyi ορίζεται ως,

$$H_r(X) = \frac{1}{1-a} \ln \left(\sum_i (\mathbb{P}(X = x_i))^a \right) \quad (2.15)$$

όπου $a \geq 0$, με την παραπάνω εξίσωση να προκύπτει από το όριο της εντροπίας Shannon ως εξής:

$$\lim_{a \rightarrow 1} H_r(X) = H(X) \quad (2.16)$$

Για τον υπολογισμό της εντροπίας wavelet κατά Renyi ενός σήματος χρησιμοποιούμε την εξίσωση:

$$R_{WE} = \frac{1}{1-a} \log \left(\sum_{i=1}^K q_i^a \right), \quad a \neq 1 \quad (2.17)$$

Tsallis wavelet entropy

Η εντροπία Tsallis, ορίζεται ως εξής:

$$H_t(X) = \frac{1}{q-1} \ln \left(\sum_i (\mathbb{P}(X = x_i))^q \right) \quad (2.18)$$

όπου $q \in \mathbb{R}$ και $q \neq 1$ με την παραπάνω εξίσωση να προκύπτει από το όριο της εντροπίας Shannon ως εξής:

$$\lim_{q \rightarrow 1} H_t(X) = H(X) \quad (2.19)$$

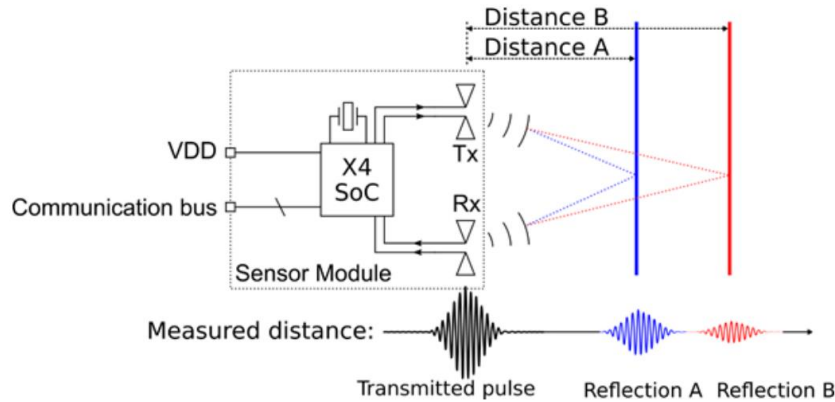
Η εντροπία wavelet κατά Tsallis έχει αποδειχθεί [22] πως μπορεί να εξάγει βελτιωμένα χαρακτηριστικά του σήματος (όπως θα δούμε στο Κεφάλαιο 5.5, της αξιολόγησης των σημάτων του ραντάρ) μειώνοντας τις αρνητικές επιπτώσεις της αλλοίωσης των wavelets [23]. Υπολογίζεται ως εξής:

$$T_{WE} = \frac{1}{a-1} \left(1 - \sum_{i=1}^K q_i^a \right), \quad a \neq 1 \quad (2.20)$$

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο Η διάταξη

3.1 Radar

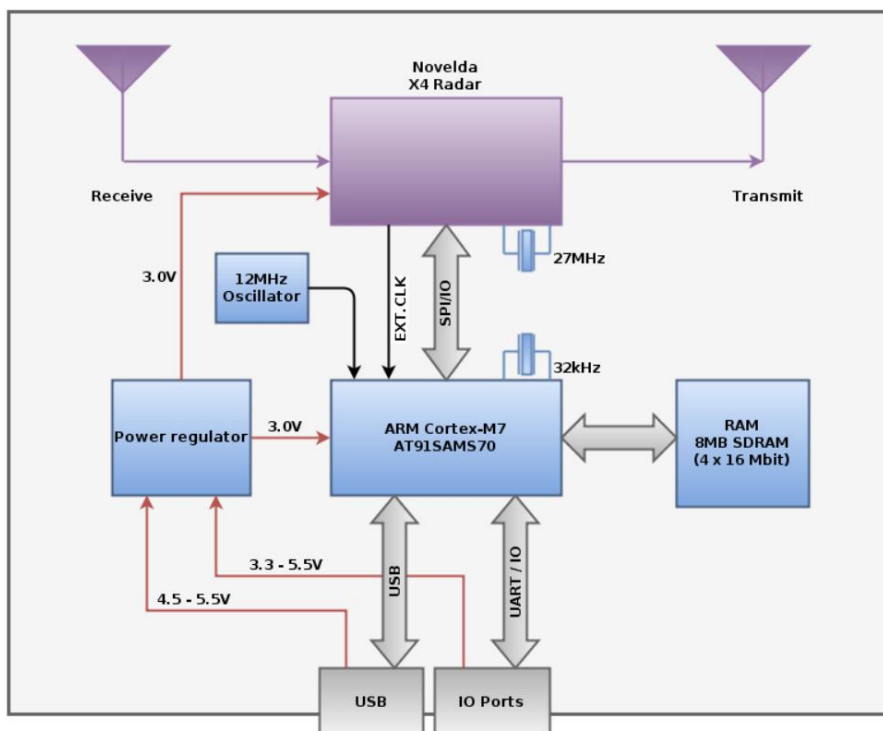
Το ραντάρ όπως αναφερθήκαμε και στην παράγραφο 1.2.2, αποτελείται από αρκετά και πολύπλοκα συστήματα. Στην δική μας περίπτωση το hardware που χρησιμοποιήθηκε χάρη στις εταιρίες *Novelda* και *Sensor Logic*, έχει υλοποιηθεί και ενσωματωθεί εντός ενός SoC, όπως θα αναλύσουμε στη συνέχεια.



Εικόνα 3.1 Απλοστευμένη αναπαράσταση του ραντάρ SLMX4. Πηγή: [2]

To SLMX4 radar ως hardware

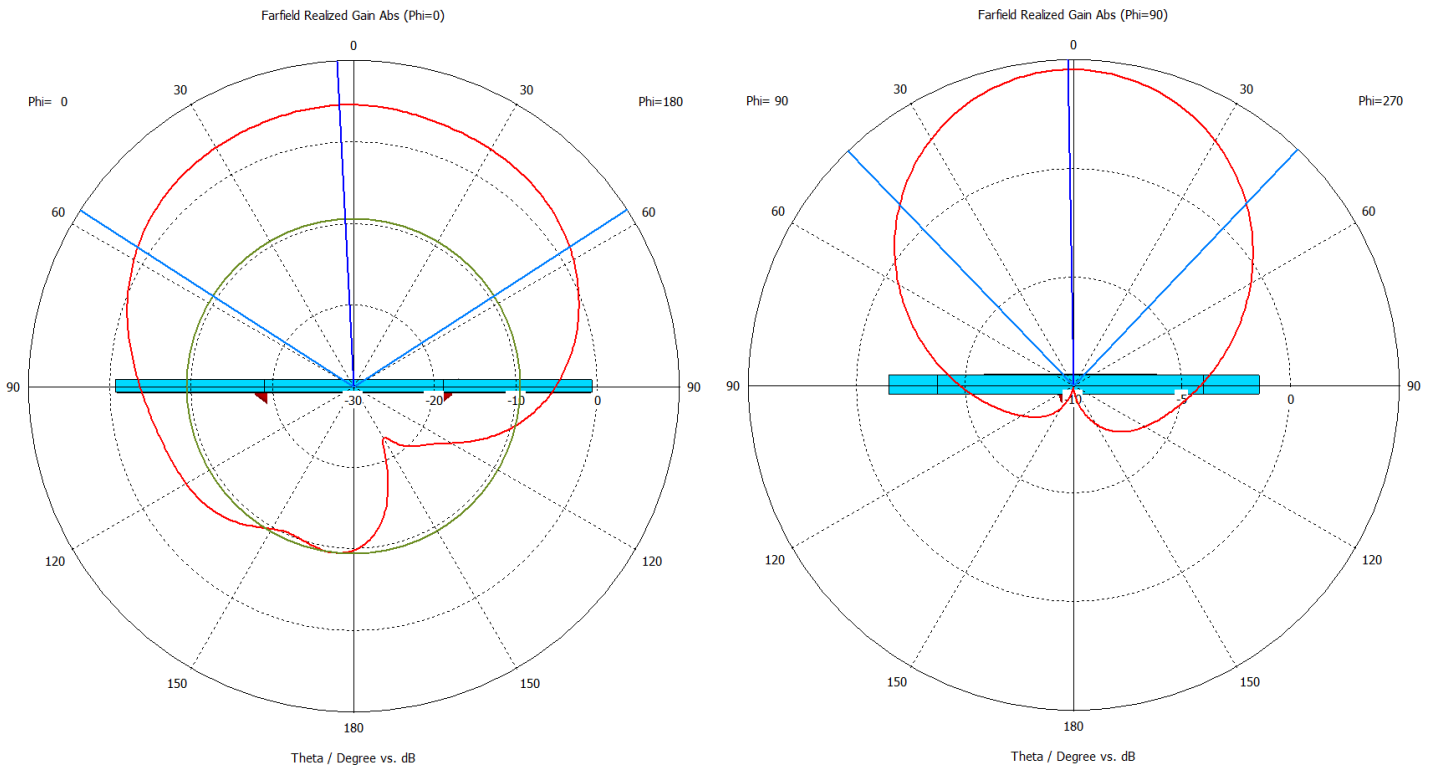
Το ραντάρ SLMX4 χρησιμοποιεί το chip X4 της Novelda, το οποίο εμπεριέχει έναν μικροεπεξεργαστή της NXP. Πιο συγκεκριμένα, ο μικροεπεξεργαστής είναι τεχνολογίας ARM Cortex-M7 και είναι ικανός να υποστηρίξει πολλές λειτουργίες, με χαμηλή κατανάλωση ρεύματος. Ο παραπάνω μικροεπεξεργαστής είναι υπεύθυνος για την διαχείριση των λειτουργιών του ραντάρ, όπως τον έλεγχο του RF transceiver, την επεξεργασία των σημάτων (φυσικά σε πρώιμο στάδιο) και την επικοινωνία με εξωτερικές συσκευές.



Εικόνα 3.2 Σχηματική αναπαράσταση του ραντάρ X4. Πηγή: [2]

Η διαχείριση της τροφοδοσίας όλων των στοιχείων της πλακέτας γίνεται από τον Power Regulator του συστήματος. Επίσης, ο προγραμματιστής μπορεί να μεταβάλλει την ισχύ που τροφοδοτείται το ραντάρ, προκειμένου να υπάρξουν τα βέλτιστα αποτελέσματα σε κάθε περίπτωση.

Αναφορικά με την κεραία η οποία έχει προσαρμοστεί στην πλακέτα αυτή, είναι τύπου μικροταινίας και μάλιστα ελλειπτικής γεωμετρίας (Elliptical Patch Antenna Microstrip – EPAM). Εξ αρχής, έχουμε ορίσει τις ρυθμίσεις του ραντάρ, στη μέγιστη εκπεμπόμενη ισχύ και συχνότητα λειτουργίας τα 7.29 GHz, για την οποία έχουμε τα ακόλουθα πολικά διαγράμματα για το αζιμούθιο και την ανύψωση, όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 3.3 Πολικό διάγραμμα της κεραίας ελλειπτικής μικροταινίας (EPAM) στο αζιμούθιο (αριστερά) και στην ανύψωση (δεξιά).
Πηγή: [24]

3.2 Ανεμολογικά δεδομένα

Η επίδραση του φυλλώματος στη μέτρηση έχει άμεση σχέση – όπως είναι προφανές – με την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου. Όσο πιο δυνατός ο άνεμος σε μια χρονική στιγμή τόσο μεγαλύτερου πλάτους θόρυβος θα εισάγεται στα δεδομένα του ραντάρ. Το ίδιο ισχύει και για τις απότομες ριπές ανέμου αλλά και για την αλλαγή κατεύθυνσης. Συνεπώς έχοντας όλες αυτές τις πληροφορίες για τον άνεμο, μπορούμε να αναγνωρίσουμε πως επιδρά ο τελευταίος στη μέτρηση καθώς και να τον αφαιρέσουμε – αγνοήσουμε την εκάστοτε χρονική στιγμή που συμβαίνει.

3.2.1 Ανεμόμετρα

Στην περίπτωσή μας μετράμε την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου, ώστε να έχουμε μία καλή «εικόνα» για τις συνθήκες που επηρεάζουν το σήμα του ραντάρ. Αυτό, το καταφέρνουμε με τη χρήση δύο ανεμομέτρων, ένα για την ταχύτητα και ένα για την κατεύθυνση του αέρα.



Εικόνα 3.4 Αισθητήρας ταχύτητας (αριστερά) και κατεύθυνσης ανέμου (δεξιά) τύπου RS485.

Ο αισθητήρας ταχύτητας του αέρα «DFRobot RS485 Wind Speed Transmitter (SKU: SEN0483)» χρησιμοποιεί μηχανικό τρόπο ώστε να μετρήσει την ταχύτητα του αέρα. Το ανεμόμετρο έχει τρεις συλλέκτες αέρα κολλημένους σε έναν άξονα, οι οποίοι εκμεταλλεύονται την κίνηση του ανέμου, κινούν τον ρότορα. Ο ρότορας, με την σειρά του, κινεί έναν μικρό μαγνήτη, του οποίου παρακολουθούμε την κίνηση με ένα αισθητήρα Hall. Ο τελευταίος δημιουργεί ηλεκτρομαγνητικούς παλμούς – ανάλογα με την ταχύτητα κίνησης του μαγνήτη. Στη συνέχεια ο αισθητήρας, μετρώντας τους παλμούς, μετατρέπει την κίνηση αυτή σε m/s και έτσι μπορούμε να αναγνωρίσουμε την ταχύτητα του ανέμου εκείνη την στιγμή.

	Αισθητήρας ταχύτητας	Αισθητήρας κατεύθυνσης
Εύρος μέτρησης	0 – 32.4 m/s	0 – 360°
Ελάχιστη ταχύτητα μέτρησης	0.2 – 0.4 m/s	0.3 m/s
Ακρίβεια	± 0.3 m/s	± 0.3 m/s
Τάση λειτουργίας	7 – 24 V	7 – 24 V

Πίνακας 3.1 Χαρακτηριστικά ανεμομέτρων

Με παρόμοιο τρόπο λειτουργεί και το ανεμόμετρο κατεύθυνσης που χρησιμοποιούμε, το «DFRobot RS485 Wind Direction Transmitter (SKU: SEN0482)». Εξοπλισμένο με έναν έλικα

μικρής αδράνειας, μπορεί και «δείχνει» την κατεύθυνση από όπου φυσά ο άνεμος, ακόμη και αν αυτός είναι περιορισμένης έντασης. Μεταβάλλοντας την κατεύθυνση κινείται ένας άξονας, ο οποίος είναι προσκολλημένος σε έναν μαγνήτη. Αντίστοιχα με προηγούμενως, μετράμε την κίνηση του μαγνήτη με αισθητήρα τύπου Hall και έτσι καταφέρνουμε να γνωρίζουμε με μεγάλη ακρίβεια την κατεύθυνση του ανέμου εκείνη τη στιγμή.

Και οι δύο αισθητήρες επικοινωνούν με το πρωτόκολλο RS485 – το οποίο θα αναλυθεί παρακάτω – επιτρέποντάς μας να λαμβάνουμε τις μετρήσεις εύκολα, με χρήση μικροελεγκτή. Επίσης, τα συγκεκριμένα ανεμόμετρα είναι ανθεκτικά σε καταπονήσεις και αδιάβροχα, ώστε να είναι αξιόπιστα ακόμη και υπό δύσκολες καιρικές συνθήκες.

3.2.2 Πρωτόκολλο RS-485

Το RS485 είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιείται ευρέως σε βιομηχανικά συστήματα ελέγχου και σε άλλες εφαρμογές που απαιτούν επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις μεταξύ πολλών συσκευών. Πρόκειται για ένα half-duplex πρωτόκολλο που υποστηρίζει έως 32 συσκευές σε ένα μόνο bus, με ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων έως 10 Mbps σε μήκη καλωδίων έως και 1200 μέτρα.

Το πρωτόκολλο RS485 χρησιμοποιεί διαφορεικά σήματα, τα οποία μειώνουν την επίδραση του θορύβου και άλλων παρεμβολών στη γραμμή μετάδοσης. Υποστηρίζει επίσης συνδέσεις πολλαπλών σημείων, δηλαδή πολλαπλές συσκευές μπορούν να συνδεθούν στο ίδιο bus και να επικοινωνούν μεταξύ τους.

Στην επικοινωνία RS485, τα δεδομένα μεταδίδονται σε μορφή frames που αποτελούνται από ένα start bit, data bits, parity bits, και ένα stop bit. Το πρωτόκολλο περιλαμβάνει επίσης χαρακτηριστικά για τον εντοπισμό και τη διόρθωση σφαλμάτων, όπως τον υπολογισμό του CRC (Cyclic Redundancy Check).

Για να διασφαλιστεί η σωστή επικοινωνία, το RS485 απαιτεί οι συσκευές στο bus να έχουν μοναδικές διευθύνσεις και να μεταδίδουν δεδομένα μόνο μία συσκευή τη φορά. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μιας αρχιτεκτονικής master-slave, όπου μία συσκευή λειτουργεί ως master και ξεκινά την επικοινωνία, ενώ οι άλλες συσκευές λειτουργούν ως slave και απαντούν σε αιτήματα του master. Το μεγάλο πλεονέκτημα, είναι πως μεταξύ πολλών συσκευών με ένα request του master ανταποκρίνεται μόνο μία συσκευή.

Στην δική μας περίπτωση έχουμε τον αισθητήρα ταχύτητας του ανέμου συνδεδεμένο στην διεύθυνση 0x05 και τον αισθητήρα κατεύθυνσης του ανέμου στην διεύθυνση 0x0D. Στέλνουμε αρχικά ένα request στον πρώτο αισθητήρα, λαμβάνουμε την απάντησή του και έπειτα κάνουμε το ίδιο για τον δεύτερο. Παρακάτω βλέπουμε το request όπου στέλνουμε για να διαβάσουμε τις τιμές των αισθητήρων. Αντίστοιχα μπορούμε να αλλάξουμε τις διευθύνσεις των συσκευών αλλά και να τροποποιήσουμε άλλες παραμέτρους. Από την απάντηση που θα λάβουμε μπορούμε να καταλάβουμε με την απαραίτητη μετατροπή την ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου, σε m/s και μοίρες αντίστοιχα. Το ένα request με το επόμενο έχουν μία ελάχιστη χρονική διαφορά (delay) του τύπου 50 ms, ώστε να μην συμπίπτουν μεταξύ τους.

Sensor	Station number	Function code	Register address	Register length	High bit of check code	Check code low bit
Speed	0x05	0x03	0x00 0x00	0x00 0x01	0x84	0x39
Direction	0x0D	0x03	0x00 0x00	0x00 0x01	0x84	0x39

Πίνακας 3.2 Modbus frame setup

3.2.3 Arduino UNO

Το Arduino UNO είναι ένας μικροελεγκτής, ιδανικός για την περίπτωση μας, καθώς μπορεί με ένα επιπλέον shield να επικοινωνήσει με τα ανεμόμετρα τα οποία επικοινωνούν με το πρωτόκολλο RS485 το οποίο θα αναλυθεί παρακάτω.

Το Arduino UNO ένα πολυχρηστικό και ευέλικτο αναπτυξιακό το οποίο μπορεί να προγραμματιστεί σε πολλές γλώσσες προγραμματισμού και έτσι μπορεί να εξατομικευτεί στις ανάγκες του κάθε project.

Είναι βασισμένο στον μικροεπεξεργαστή ATmega328P. Έχει 14 ψηφιακές εισόδους – εξόδους, 6 αναλογικές εισόδους και λειτουργεί στα 5V, τροφοδοτούμενο από το USB του υπολογιστή ή από εξωτερική πηγή. Όλες οι επαφές του μπορούν να διαχειριστούν μέχρι 20mA. Υποστηρίζει αρκετές τεχνολογίες επικοινωνίας όπως UART, SPI, και I2C. Στην περίπτωση μας, χρησιμοποιούμε ένα επιπλέον shield RS485 για την επικοινωνία με τα ανεμόμετρα. Το shield αυτό έχει εισόδους τροφοδοσίας – γείωσης και RX, TX για την σειριακή επικοινωνία με το Arduino. Τα ανεμόμετρα που χρησιμοποιούμε είναι συνδεδεμένα παράλληλα στα A+, B-, όπου εκεί θα μπορούσαμε να συνδέσουμε και άλλες συσκευές με το ίδιο πρωτόκολλο· εδώ έχουμε δύο, για κατεύθυνση και για ταχύτητα του αέρα.

3.3 Ζώνη μέτρησης αναπνοών

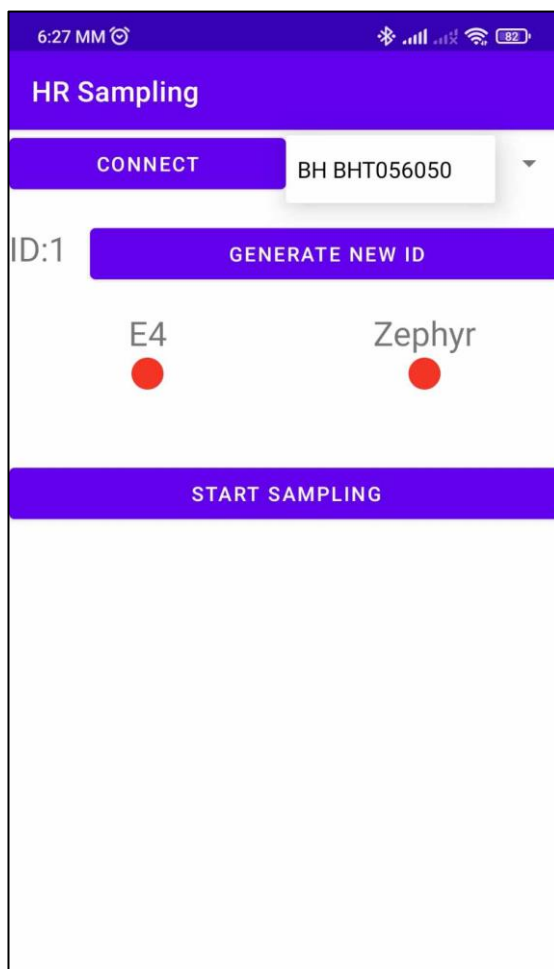
Σε κάθε πειραματική διάταξη, έτσι και εδώ, χρειάζεται να γνωρίζουμε την πραγματική κατάσταση του μετρούμενου δείγματος, ώστε να μπορούμε να προβαίνουμε σε συμπεράσματα σχετικά με την ορθότητα των μετρήσεων. Για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιούμε μία ζώνη μέτρησης αναπνοών. Με αυτή καταφέρνουμε να έχουμε ένα ground truth – τα πραγματικά δεδομένα με τα οποία μπορούμε να συγκρίνουμε το σήμα του ραντάρ. Η ζώνη χρησιμοποιεί μεταξύ άλλων, έναν αισθητήρα πίεσης, ο οποίος εφαρμόζει επάνω στα πλευρά, πλάγια του θώρακα ώστε να μετράει την μετατόπισή του κατά την αναπνοή. Καταγράφοντας 18 δείγματα το δευτερόλεπτο καταφέρνουμε να έχουμε πάρα πολύ καλή ακρίβεια στο χρόνο αναφορικά με την αναπνοή. Η συγκεκριμένη ζώνη (Zephyr Bioharness 3.0 [25]) αποθηκεύει επίσης καρδιολογικά δεδομένα και θέσης – κατεύθυνσης στον χώρο.



Εικόνα 3.5 Παράδειγμα τοποθέτησης της ζώνης. Πηγή: [25]

Η λειτουργία της ζώνης γίνεται με χρήση Android εφαρμογής, η οποία μετά την επιτυχή σύζευξη ζώνης – κινητού με τεχνολογία Bluetooth, αποθηκεύει τα δεδομένα σε φάκελο του κινητού για το χρονικό διάστημα μέτρησης που επιθυμεί ο χρήστης. Για κάθε ένα δευτερόλεπτο μέτρησης που περνάει μία γραμμή προστίθεται στο αρχείο τύπου csv που δημιουργείται. Πρώτα αναγράφεται το timestamp του δευτερολέπτου και στη συνέχεια οι 18 μετρήσεις που λήφθηκαν. Ούτω καθ' εξής για την υπόλοιπη διάρκεια. Στη συνέχεια χρειάζεται να μετατρέψουμε αυτήν την διάταξη σε στυλ ίδιο με αυτό του ραντάρ και των ανεμομέτρων για περαιτέρω επεξεργασία. Τελικά, πρέπει να έχουμε έναν πίνακα με την πρώτη στήλη να έχει τις χρονικές στιγμές και η δεύτερη στήλη τις μετρούμενες τιμές. Απαραίτητο είναι οι χρονικές στιγμές να είναι μοναδικές. Για αυτόν τον λόγο – και επειδή 18 μετρήσεις έχουν το ίδιο timestamp κατά την δημιουργία τους – προσθέτουμε ένα δέκατο όγδοο της διαφοράς του επόμενου με του τρέχοντος timestamp σε κάθε μία για να υπάρχει αυτή η διαφοροποίηση μεταξύ των τιμών τους.

Για την λήψη των δεδομένων από τη ζώνη αυτή, χρησιμοποιήθηκε εφαρμογή ειδικά διαμορφωμένη από την ομάδα CONSERT του Πανεπιστημίου. Η εφαρμογή αυτή χρησιμοποιεί το Bluetooth της κινητής συσκευής προκειμένου να συνδεθεί ασύρματα με την ζώνη πατώντας το κουμπί “Connect”. Εφόσον αποκατασταθεί η σύνδεση, πράγμα το οποίο επιβεβαιώνεται από το UI Led με το όνομα “Zephyr” όταν αυτό αρχίσει να αναβοσβήνει, τότε με τη χρήση του κουμπιού “Start Sampling” ξεκινά η λήψη των δεδομένων από τη ζώνη. Ταυτόχρονα γίνεται save ένα αρχείο csv το οποίο περιέχει πληροφορίες για το timestamp, τα δεδομένα αναπνοών, τους καρδιακούς παλμούς και τα δεδομένα των αισθητήρων του γυροσκοπίου.



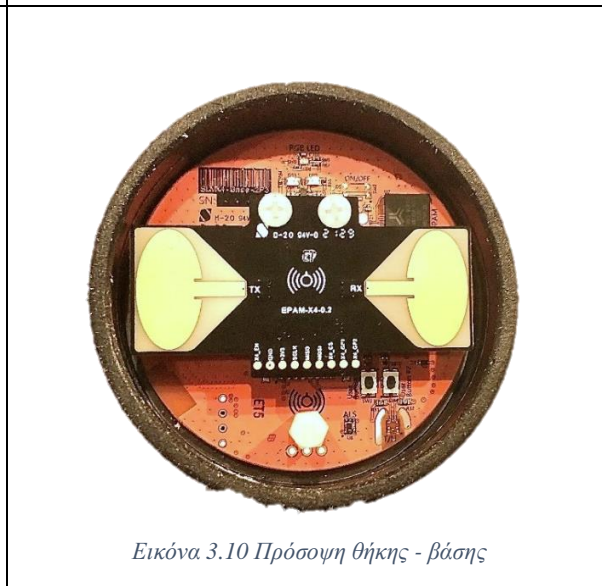
Εικόνα 3.6 User Interface εφαρμογής λήψης δεδομένων ζώνης αναπνοών.

3.4 Radar και αντίκτυπο παρεμβολών

Όπως συζητήθηκε στην παράγραφο 3.1, το συγκεκριμένο ραντάρ, λόγω της υλοποίησης της κεραίας του και της κατευθυντικότητας που αυτή εμφανίζει, μπορεί να ανιχνεύσει μεταβολές εμπρός αλλά και πίσω από την θέση του. Φυσικά αυτό για την περίπτωση μας, αλλά και για τις περισσότερες εφαρμογές, αποτελεί ανεπιθύμητη παρεμβολή στο σήμα μας. Σε αυτήν την παράγραφο, θα δούμε πως το σήμα μας επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες, καθώς και την επίδραση της θήκης – βάσης του ραντάρ στην ισχύ τη σήματος, αλλά και στην ευαισθησία του. Όπως παρατηρήσαμε μέσα από πολλές δοκιμές, η μέτρηση επηρεάζεται από το σχήμα και το υλικό της περιβάλλουσας κατασκευής, αλλά και από την τοποθέτηση του ραντάρ μέσα σε αυτή.

3.4.1 Κατασκευή θήκης – βάσης στήριξης

Με γνώμονα την ασφαλή μεταφορά, την μείωση των παρεμβολών αλλά και διατήρηση των διακριτικών δυνατοτήτων του ραντάρ κατασκευάσαμε μία βάση – θήκη, η οποία προσαρμόζεται επάνω σε ένα τρίποδο. Παρακάτω, παρουσιάζονται μερικές εικόνες της αρχικής κατασκευής καθώς επίσης και 4 βασικές καταστάσεις, οι οποίες χρήζουν σχολιασμού.



Πριν προβούμε στην λήψη μετρήσεων για τη συλλογή του dataset, προηγήθηκαν αρκετές λεπτομερείς μετρήσεις, οι σημαντικότερες των οποίων θα παρουσιαστούν στη συνέχεια. Οι μετρήσεις αυτές έγιναν στην ταράτσα του κτηρίου ΖΒ της Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα, όπου ο χώρος σε περίμετρο 9 μέτρων (που είναι και το εύρος του ραντάρ) ήταν ανοιχτός, χωρίς κανένα εμπόδιο. Η χωρική διάταξη των μετρήσεων αυτών φαίνεται παρακάτω, όπου ο χειριστής βρίσκεται στα 3.5m περίπου πίσω από το ραντάρ ενώ ο στόχος βρίσκεται μπροστά και στο ίδιο ύψος με αυτό της κεραίας του. Στην προκειμένη περίπτωση βλέπουμε σταθερό μεταλλικό στόχο.



Εικόνα 3.11 Χωρική διάταξη μετρήσεων – δοκιμών ραντάρ

Για τις μετρήσεις όπου το ραντάρ χρειάστηκε να παραμείνει εκτός κουτιού, η στήριξη του έγινε με απλό τρόπο, όπως φαίνεται παρακάτω. Η μόνη διαφορά, είναι πως ο χειριστής αναγκαστικά ήρθε πιο κοντά στην κεραία, σε απόσταση περίπου 1 με 1.5m, το οποίο βέβαια δεν αποτελεί άμεσο πρόβλημα μιας και στην μετέπειτα επεξεργασία των μετρήσεων το πρώτο μέτρο δε λαμβάνεται υπόψη.



Εικόνα 3.12 Στήριξη πλακέτας – ραντάρ εκτός βάσης

3.4.2 Ραντάρ και Teflon

Η ανάγκη για προστασία από τις καιρικές συνθήκες κατά τη διάρκεια των μετρήσεων αλλά και της ασφαλούς μεταφοράς της πλακέτας, μας οδήγησαν στην κατασκευή ειδικών ταπών για το εμπρόσθιο και οπίσθιο μέρος του κυλίνδρου. Για το εμπρόσθιο μέρος, η τάπα διαμορφώθηκε κατάλληλα, έτσι ώστε το μεγαλύτερο μέρος της να αποτελείται από Teflon, υλικό με αρκετά χαμηλή διηλεκτρική επιτρεπτότητα ($\epsilon_r = 2.02$) [26], ώστε να μην επηρεάζεται η εκάστοτε μέτρηση από άποψης μείωσης της ισχύος λήψης.



Εικόνα 3.13 Μπροστινό μέρος βάσης – ταπών

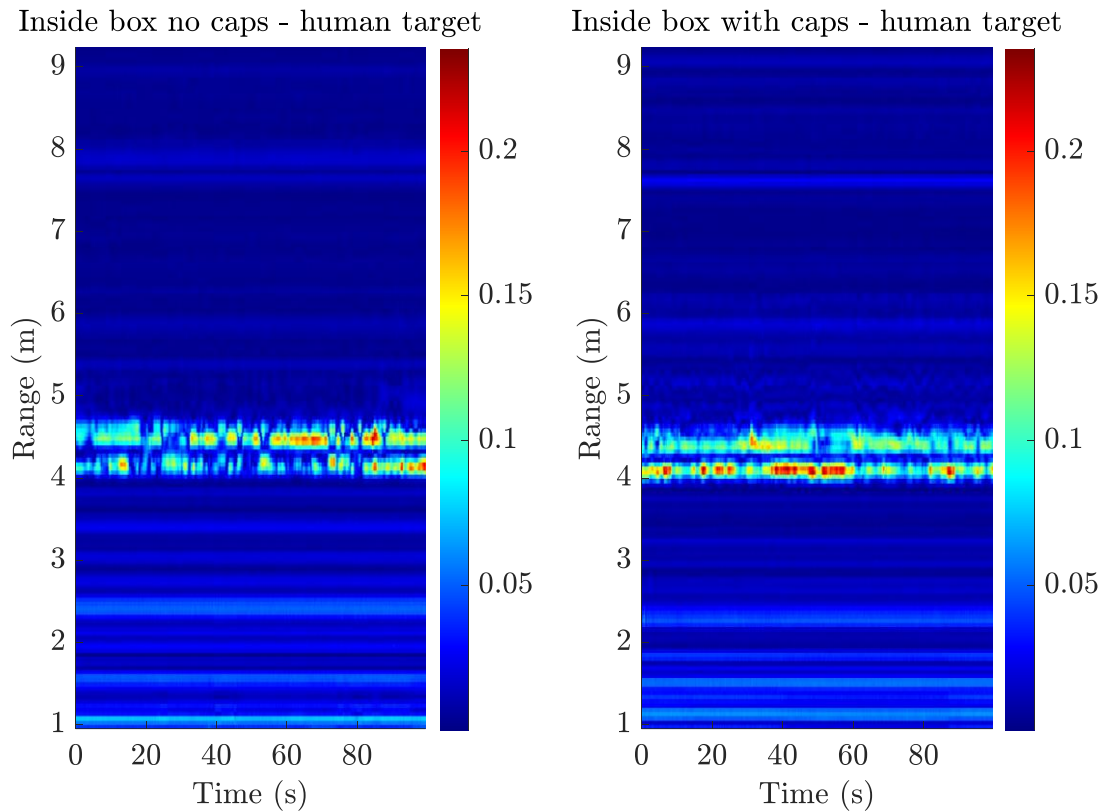


Εικόνα 3.14 Πίσω μέρος βάσης – ταπών

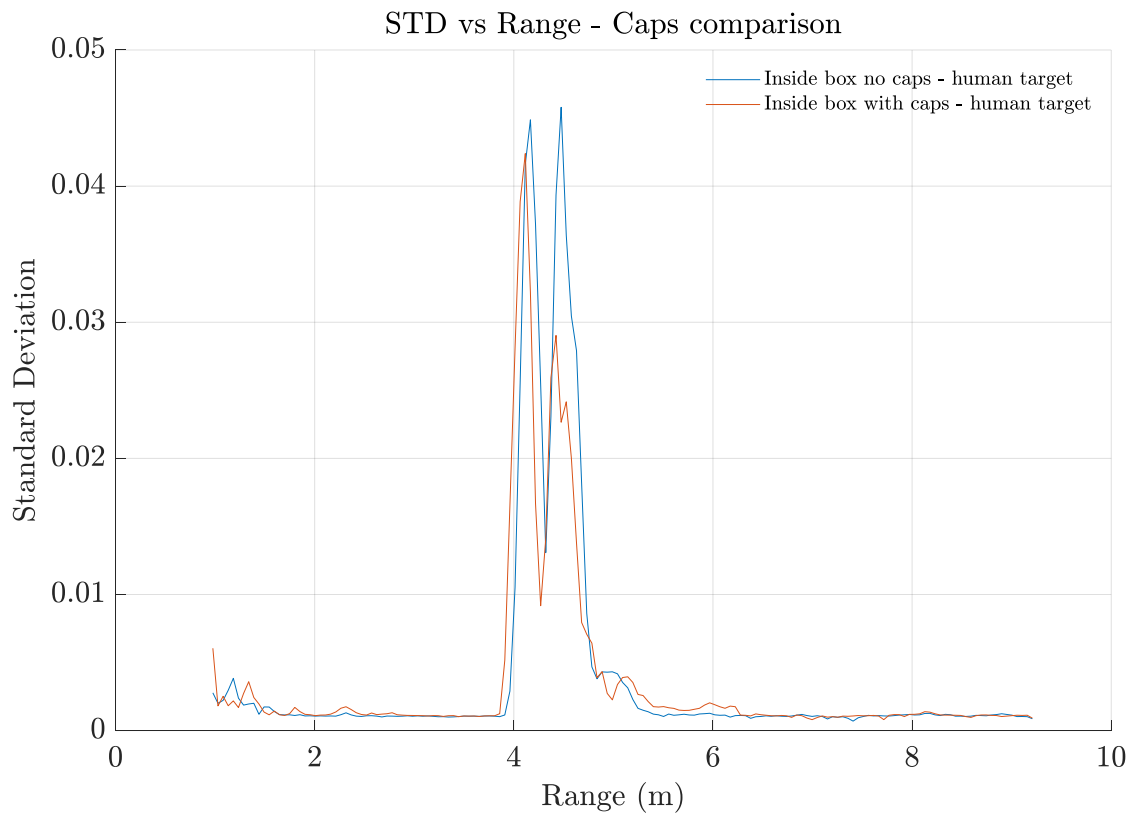
3.4.3 Μελέτη επίδρασης κατασκευής στο μοτίβο αναπνοής

Αρχικά, παρουσιάζεται μέτρηση με στόχο άνθρωπο και κουτί, με και χωρίς τις προστατευτικές τάπες. Ο σκοπός αυτής της σύγκρισης, είναι η παρατήρηση της επίδρασης ή μη, του κυλίνδρου στο οποίο τοποθετήθηκε το ραντάρ και των προστατευτικών ταπών, αναφορικά με το μοτίβο αναπνοής του ανθρώπου. Όπως είδαμε και στις φωτογραφίες παραπάνω, τα καπάκια μπορούν να αφαιρεθούν. Σε όλες τις περιπτώσεις των συγκρίσεων η κλίμακα του πλάτους προσαρμόζεται ανάλογα και σε κάθε μέτρηση κρατώντας πάντα τη μέγιστη προκειμένου να είναι πιο εμφανείς οι μεταβολές που παρουσιάζονται.

Στο αριστερό heatmap έχουν αφαιρεθεί, ενώ στο δεξί βρίσκονται βιδωμένα στο κουτί καθ' όλη τη διάρκεια της μέτρησης. Επίσης, η σύγκριση έγινε για το ίδιο subject, υπό τις ίδιες συνθήκες θέσης χειριστή, ραντάρ και subject.



Εικόνα 3.15 Σύγκριση μοτίβου αναπνοής απουσία (αριστερά) και παρουσία (δεξιά) προστατευτικών ταπών (Μετρήσεις: 1678887729 - αριστερά & 1678884823 - δεξιά).

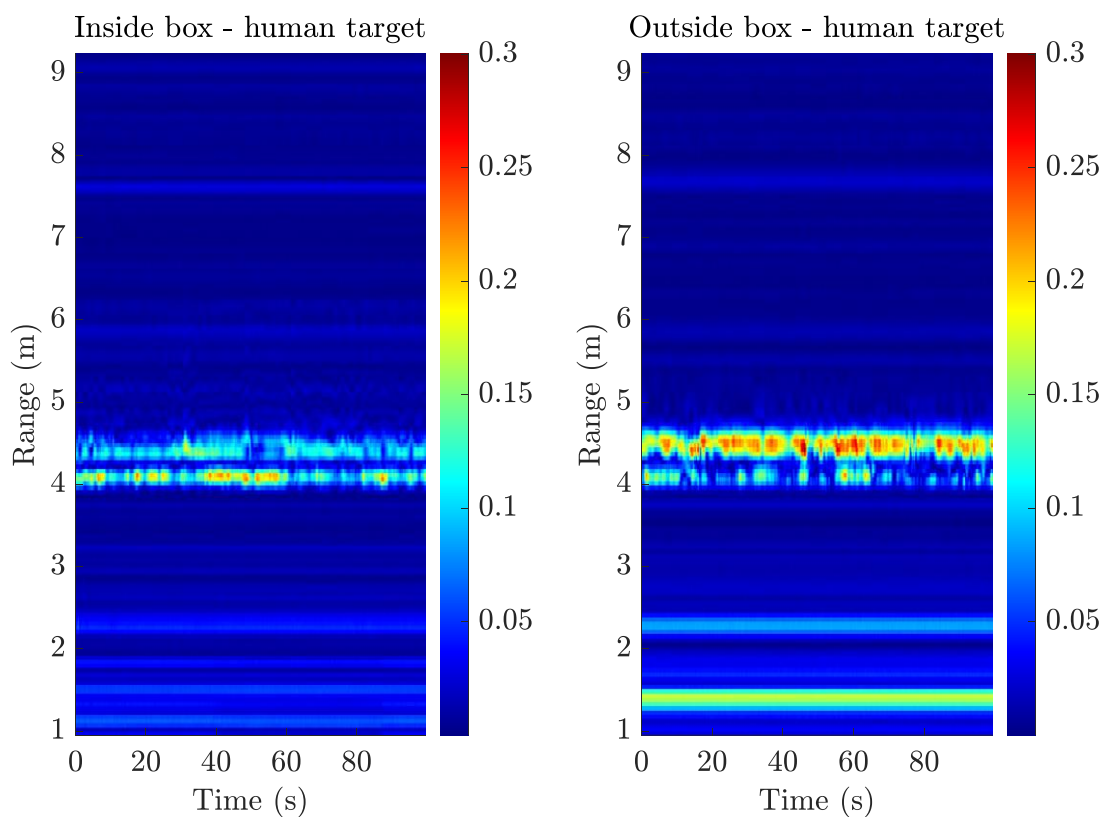


Εικόνα 3.16 Τυπική απόκλιση των ανωτέρω μετρήσεων σύγκρισης ταπών (Μετρήσεις: 1678887729 & 1678884823).

Παρατηρούμε πως μετά την προσθήκη των ταπών το ραντάρ συνεχίζει να «βλέπει» το στόχο με σχεδόν μηδαμινή διαφορά στο πλάτος της αναπνοής ελάχιστα διαφοροποιημένο, ενώ ο θόρυβος παρέμεινε σχεδόν ίδιος σε κάθε σημείο του χώρου όπως προκύπτει από την τυπική απόκλιση. Από άποψη SNR (ή Signal to Noise Ratio), θα πρέπει να γίνει μέτρηση σε σταθερό στόχο, ώστε να επιβεβαιωθεί, αν πράγματι το πλάτος του σήματος λήψης επηρεάστηκε η όχι.

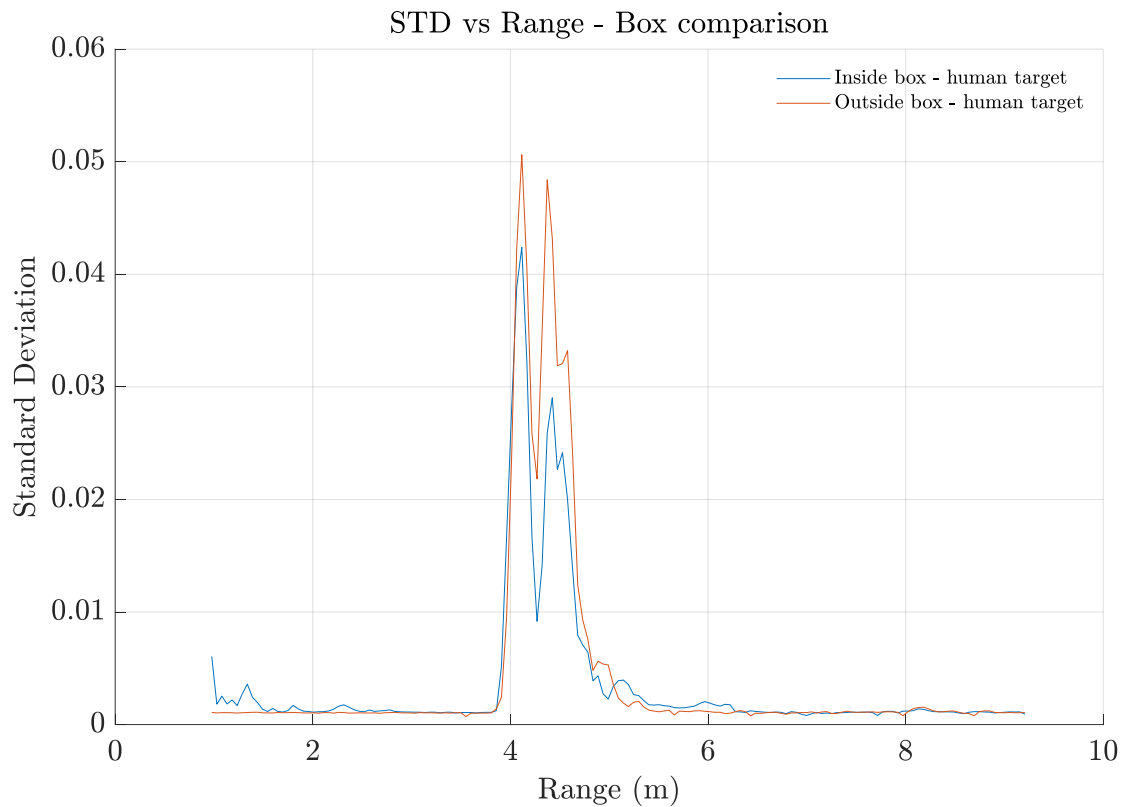
Έπειτα, παρουσιάζεται μέτρηση της οποίας σκοπός, είναι η παρατήρηση της επίδρασης ή μη, του καπακιού από Teflon αλλά και του κουτιού στην μέτρηση, σε σχέση με το ραντάρ εντελώς εκτός κουτιού, ώστε να έχουμε μια γενική εικόνα της πιθανής μεταβολής του σήματος λήψης.

Στα παρακάτω heatmaps έχουμε τον άνθρωπο στα 4.5 μέτρα μετά το ραντάρ σε σχέση με το χρόνο. Η μόνη διαφορά μεταξύ τους, είναι στην διάταξη του ραντάρ.



Εικόνα 3.17 Σύγκριση μοτίβου αναπνοής με το ραντάρ εντός (αριστερά) και εκτός (δεξιά) βάσης στήριξης (Μετρήσεις: 1678884823 - αριστερά & 1678887182 - δεξιά).

Παρατηρούμε πως δεν επηρεάζεται η μέτρηση, με το πλάτος της αναπνοής του ανθρώπου να είναι εξίσου έντονα αποτυπωμένο και στα δύο διαγράμματα. Τα δύο σήματα είναι παρεμφερή και άκρως συγκρίσιμα. Οι διαφορές στην τυπική απόκλιση όπως φαίνεται παρακάτω, είναι και εδώ ελάχιστες.



Εικόνα 3.18 Τοπική απόκλιση των ανωτέρω μετρήσεων σύγκρισης βάσης στήριξης για το μοτίβο αναπνοής (Μετρήσεις: 1678884823 & 1678887182).

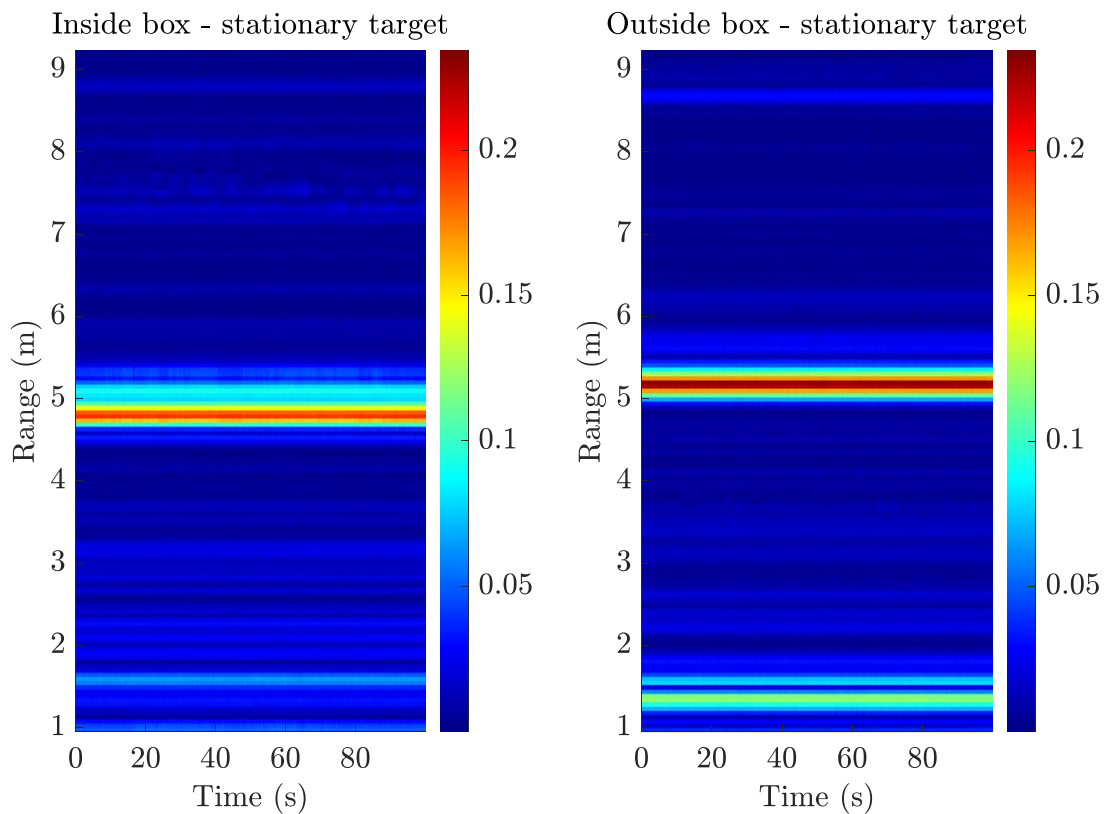
Έπειτα παρουσιάζεται μέτρηση στην οποία ο στόχος είναι μεταλλικός, τοποθετημένος στο ίδιο ύψος με αυτό του ραντάρ, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.11. Ο στόχος φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 3.19 Μεταλλικός στόχος δοκιμών ραντάρ τύπου αστέρα, της εταιρίας Lab-Volt.

Η διαδικασία αυτή διεξήχθη, με στόχο την έρευνα τυχόν διαφορών στην ισχύ λήψης του σήματος σε κάθε περίπτωση αλλά και της μεταβολής του SNR. Με ευκολία μπορεί να σημειωθεί πως εκτός του κουτιού (δεξιά) το ραντάρ παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία «βλέποντας» τον στόχο πιο καθαρά και έντονα. Φυσικά δεν μπορεί να παραλειφθεί, πως μαζί με την αύξηση του πλάτους του σήματος, υπάρχει αύξηση και στο πλάτος του θορύβου, όπως προκύπτει αμέσως μετά, από την τυπική απόκλιση του σήματος στα σημεία αυτά. Το άμεσο συμπέρασμα στο οποίο καταλήγουμε, είναι πως γενικά το κουτί κάνει το ραντάρ λιγότερο ευαίσθητο, είτε στον στόχο, είτε στον θόρυβο με το μοτίβο αναπνοής να μην επηρεάζεται.

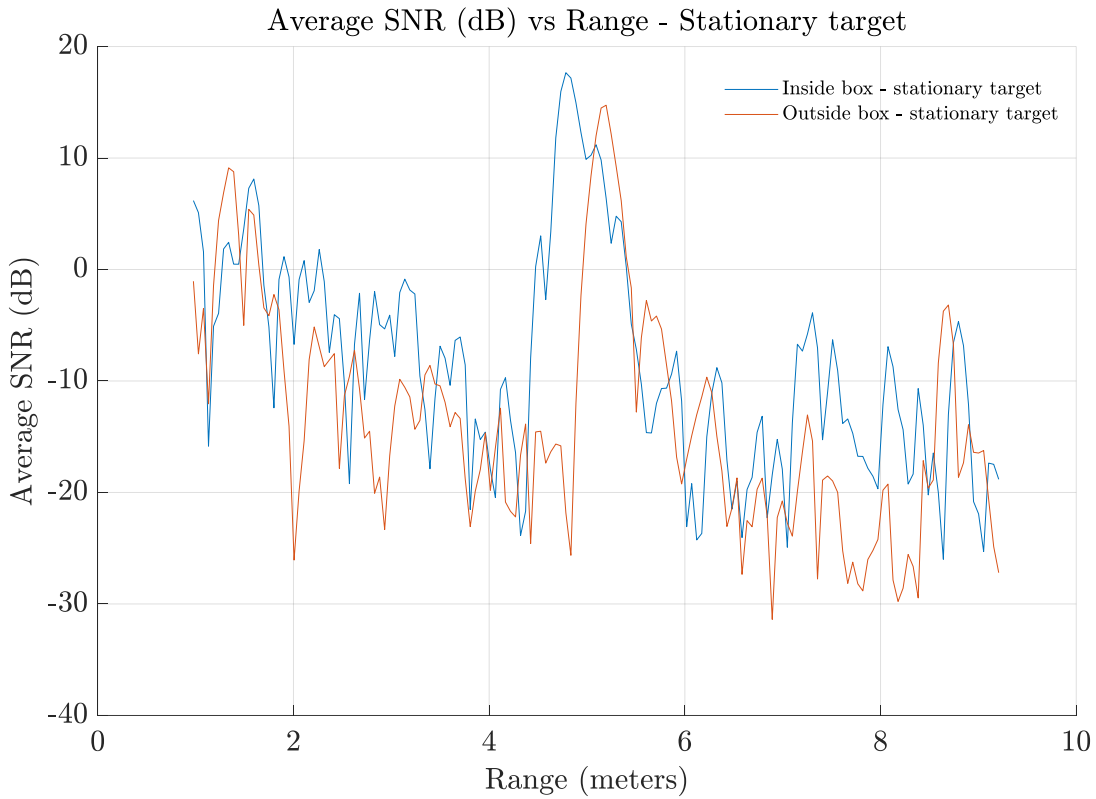
Στα παρακάτω heatmaps, μπορούμε να δούμε και να συγκρίνουμε την συμπεριφορά του ραντάρ εντός και εκτός του κουτιού, κατά τη μέτρηση σταθερού στόχου στα περίπου 5 μέτρα. Η μικρή μετατόπιση του στόχου στην περίπτωση «Εκτός κουτιού – Σταθερού στόχου» έγκειται στη δυσκολία στήριξης και επανατοποθέτησης του ραντάρ, στην ίδια θέση με αυτή του κουτιού που είχε αρχικά.



Εικόνα 3.20 Σύγκριση σήματος σταθερού στόχου τύπου αστέρα με το ραντάρ εντός (αριστερά) και εκτός (δεξιά) βάσης στήριξης (Μετρήσεις: 1680107468 - αριστερά & 1680112592 - δεξιά).

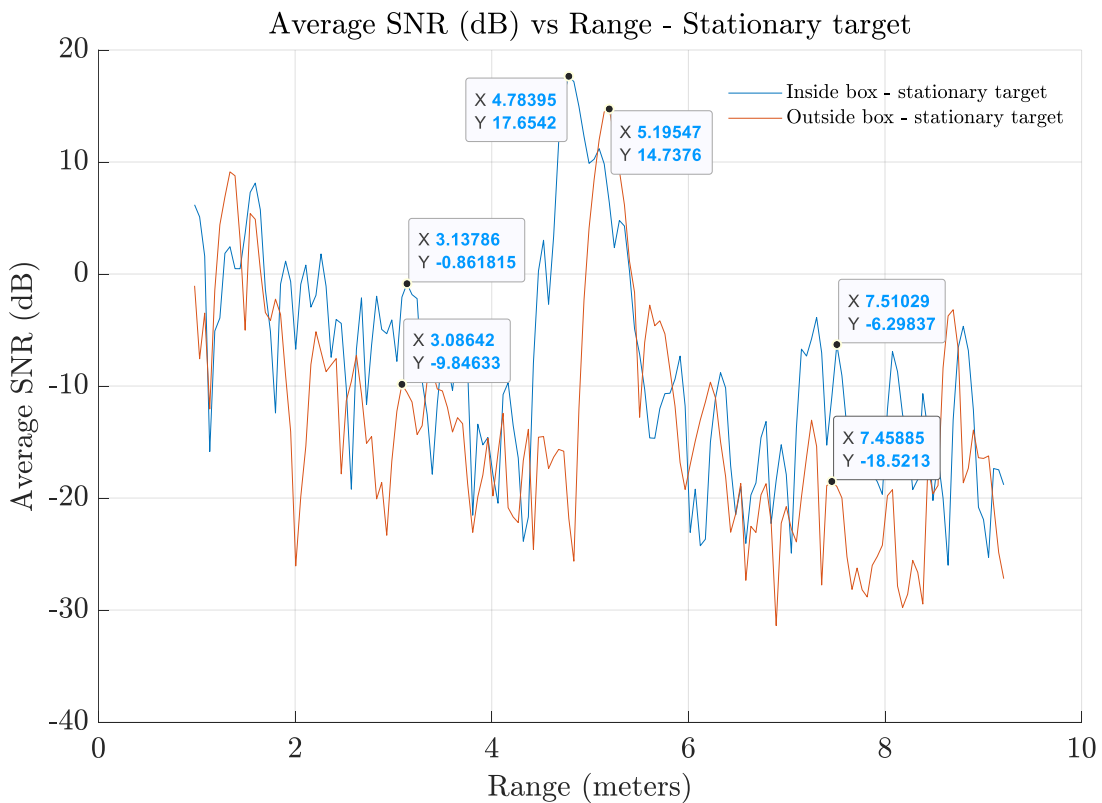
Εντούτοις, και στις δύο περιπτώσεις εκτός της ύπαρξης του στόχου στα περίπου 5 μέτρα, παρατηρείται και η ύπαρξη ενός μοτίβου αναπνοής να εμφανίζεται με χαμηλό πλάτος, συγκριτικά με αυτό του στόχου στα μήκη 7.5m και 3.5m. Αυτό επιβεβαιώνεται, εάν εστιάσουμε στα heatmaps, καθώς επίσης και από την τυπική απόκλιση του σήματος στις αντίστοιχες αποστάσεις, όπως θα αναλύσουμε στην επόμενη παράγραφο.

Μιλώντας για ανίχνευση μεταβολών ισχύος σήματος και στις δυο περιπτώσεις, μπορούμε να απεικονίσουμε γραφικά σε dB τον λόγο SNR, προκειμένου να έχουμε μια καλύτερη εικόνα του σήματος που λάβαμε στην κεραία του ραντάρ.



Εικόνα 3.21 Λόγος σήματος προς θόρυβο της σύγκρισης σήματος σταθερού στόχου τύπου αστέρα με το ραντάρ εντός και εκτός θήκης (Μετρήσεις: 1680107468 & 1680112592).

Παρατηρούμε πως στην θέση του σταθερού μεταλλικού στόχου στα περίπου 5m και στις δυο περιπτώσεις, έχουμε εντός κουτιού σήμα 17.65 dB και 14.74 dB όπως βλέπουμε πιο κάτω.



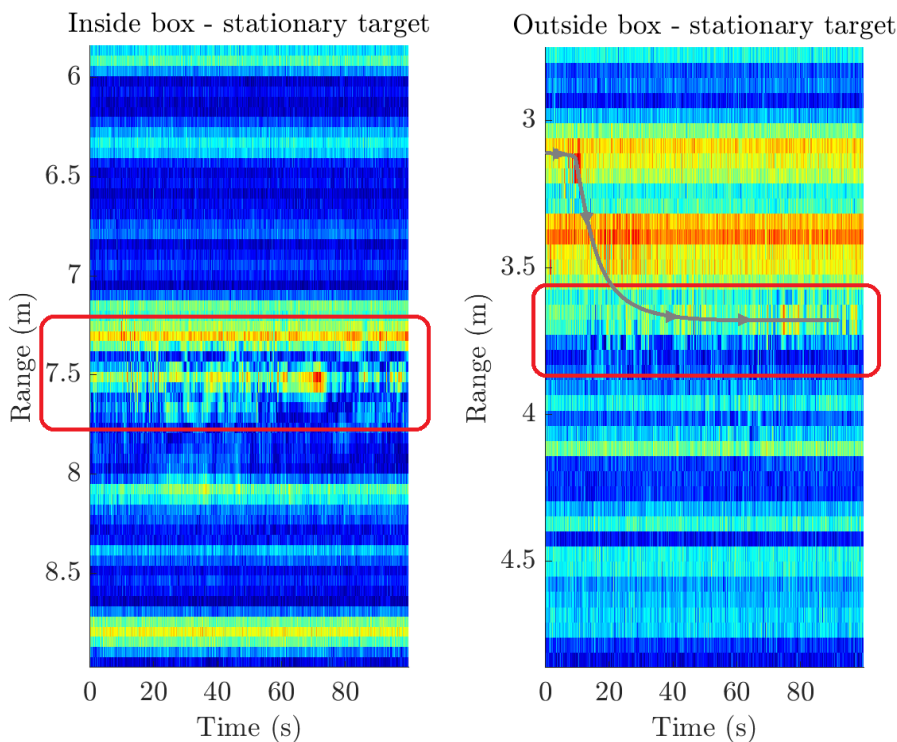
Εικόνα 3.22 Λόγος SNR της σύγκρισης σήματος σταθερού στόχου τύπου αστέρα με το ραντάρ εντός και εκτός θήκης, προσθήκη δεικτών (Μετρήσεις: 1680107468 & 1680112592).

Παραδόξως, το σήμα μας εντός κουτιού είναι περίπου 3 dB πιο πάνω από αυτό που λαμβάνουμε εκτός κουτιού. Μια επίσης σημαντική παρατήρηση, είναι πως ο θόρυβος σε όλα τα μήκη εντός κουτιού είναι και αυτός υψηλότερος από αυτόν που έχουμε εκτός αυτού στα περίπου 10 dB τιμή πολύ υψηλή για τα δεδομένα μας, ειδικά στη λειτουργία σε κενό χώρο δίχως εμπόδια.

3.4.4 Αντίκτυπο παρεμβολών χειριστή ραντάρ

Το ραντάρ κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, παρατηρήσαμε πως κατοπτρίζει τις κινήσεις του χειριστή – ο οποίος στέκεται πίσω από αυτό – στην περιοχή εμπρός του σε συμμετρικό σημείο. Αυτό οφείλεται άμεσα στην κατηγορία στην οποία ανήκει, αυτή των παλμικών ραντάρ ευρείας ζώνης, σε αντίθεση με τα ραντάρ στοιχειοκεραίας (Phased Array Radar) ή τα ραντάρ συνθετικού διαφράγματος (Synthetic Aperture Radar – SAR) τα οποία μπορούν να κάνουν τρισδιάστατη αναπαράσταση του χώρου. Ο θόρυβος αυτός, (για την περίπτωση μας κατηγοριοποιείται ως θόρυβος) είναι έντονος και αρκετά παραπλανητικός σε σχέση με το ζητούμενο της μέτρησης, καθώς σε κάποιες περιπτώσεις υπάρχει η δυνατότητα της αναγνώρισης μέχρι και της αναπνοής του χειριστή όπως θα διαπιστωθεί παρακάτω. Για τους παραπάνω λόγους, χρειάστηκε ο χειριστής να μεταφερθεί όσο το δυνατόν πιο μακριά από το ραντάρ (περί τα 3 μέτρα) αλλά και να παραμείνει ακίνητος κατά την διάρκεια κάθε μέτρησης. Εκτός αυτού, προβήκαμε στην βελτίωση του κουτιού – βάσης στήριξης με σκοπό την εξασθένιση της παρεμβολής του χειριστή προσθέτοντας έναν κυκλικό δίσκο, ειδικά διαμορφωμένο για ανακλαστήρα σε συγκεκριμένη θέση πίσω από την κεραία του ραντάρ.

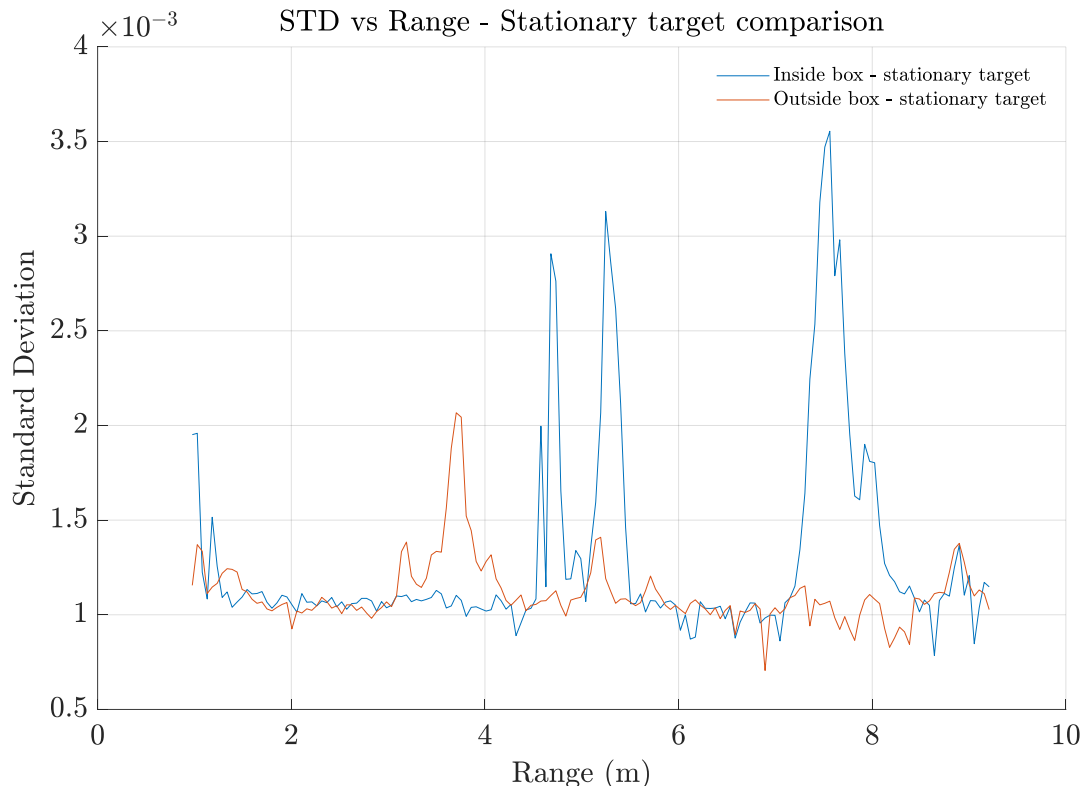
Όπως είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο στην Εικόνα 3.20, όπου παρουσιάζεται η σύγκριση σήματος σταθερού στόχου τύπου αστέρα, με το ραντάρ εντός και εκτός βάσης στήριξης, εστιάζοντας στα μήκη 7.5m και 3.5m παρατηρούμε αμυδρά, μοτίβα που μοιάζουν με αναπνοή. Μάλιστα στη μέτρηση εκτός της βάσης στήριξης, το ραντάρ εντοπίζει τη μετακίνηση ενός εκ των χειριστών από τα 3 στα 4m, όπως επιβεβαιώνουμε παρακάτω.



Εικόνα 3.23 Εστιασμένο μήκος απεικόνισης στις θέσεις των χειριστών του ραντάρ, με το αυτό εντός (αριστερά) και εκτός (δεξιά) βάσης στήριξης (Μετρήσεις: 1680107468 - αριστερά & 1680112592 - δεξιά).

Με κόκκινο πλαίσιο φαίνεται το μοτίβο και στις δύο περιπτώσεις, ενώ η γκρι γραμμή (δεξιά) δείχνει την κίνηση του χειριστή στο χώρο, κατά τη διάρκεια της μέτρησης της δεύτερης περίπτωσης, πράγμα μη επιθυμητό μιας και εισάγει σημαντικό σφάλμα στον ακριβή εντοπισμό του υπό μέτρηση υποκειμένου.

Από την τυπική απόκλιση δεν αναμένουμε την αναγνώριση του υπό μέτρηση στόχου, λόγω του ότι είναι σταθερός, αλλά την ανίχνευση των μεταβολών – θορύβου σε διαφορετικά μήκη στο πλάτος, λόγω της ύπαρξης των χειριστών πίσω από το ραντάρ.



Εικόνα 3.24 Τυπική απόκλιση των ανωτέρω μετρήσεων με σταθερό στόχο (Μετρήσεις: 1680107468 & 1680112592).

Πράγματι, η τυπική απόκλιση στα αντίστοιχα μήκη όπου εστίασαμε στα heatmaps της Εικόνας Εικόνα 3.23 εμφανίζει μικρής κλίμακας μεταβολές, πολύ κοντά στον θόρυβο, της τάξης του $2.5 \cdot 10^{-3}$, παρόλα αυτά ανεπιθύμητες μιας και στην προσπάθεια εύρεσης ανθρώπου θαμμένο στο θόρυβο, θα υπάρχουν προβλήματα διαχωρισμού του χειριστή, απ' το υπό αναζήτηση υποκείμενο.

3.4.5 Ανεμόμετρα

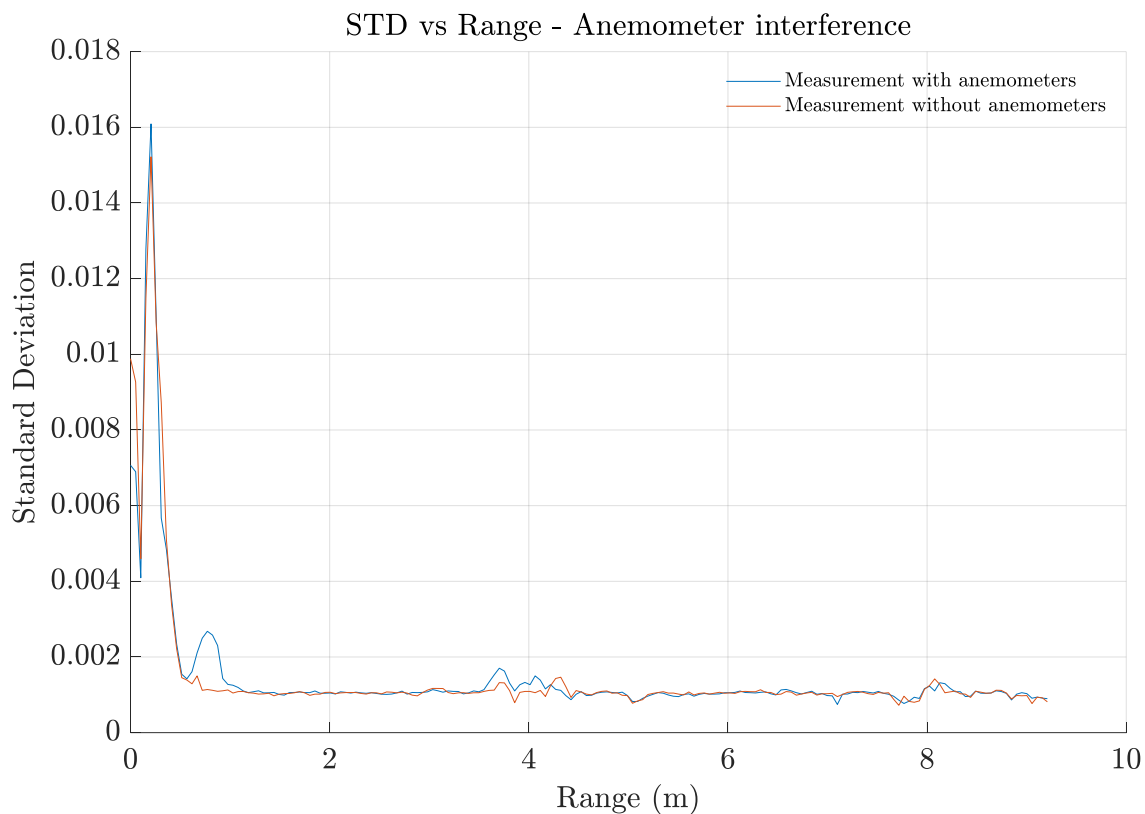
Τα ανεμόμετρα είναι κατασκευασμένα από μέταλλο. Το γεγονός αυτό κίνησε προβληματισμούς, ιδιαίτερα στην επιλογή της θέσης τους, σε σχέση με το ραντάρ. Φυσικά, δεν δύναται να τοποθετηθούν στο πεδίο της μέτρησης, δηλαδή ακριβώς δίπλα στον στόχο, όπως θα έπρεπε ιδανικά να γίνει, ώστε να παρέχεται μια ακριβής εικόνα για τις συνθήκες του ανέμου, στην συγκεκριμένη θέση του φυλλώματος μιας και το ανακλώμενο σήμα από την κατασκευή τους θα ήταν αρκετά υψηλό, μη επιθυμητό αποτέλεσμα κατά τη διάρκεια μιας μέτρησης. Σύμφωνα με το πολικό διάγραμμα, που παραθέτει η εταιρία για την κεραία του ραντάρ [2], αλλά και με πληθώρα δοκιμών που έγιναν, καταλήξαμε πως το καλύτερο σημείο για την τοποθέτησή τους, είναι ακριβώς πίσω και χαμηλότερα από το ραντάρ, όπως βλέπουμε παρακάτω.



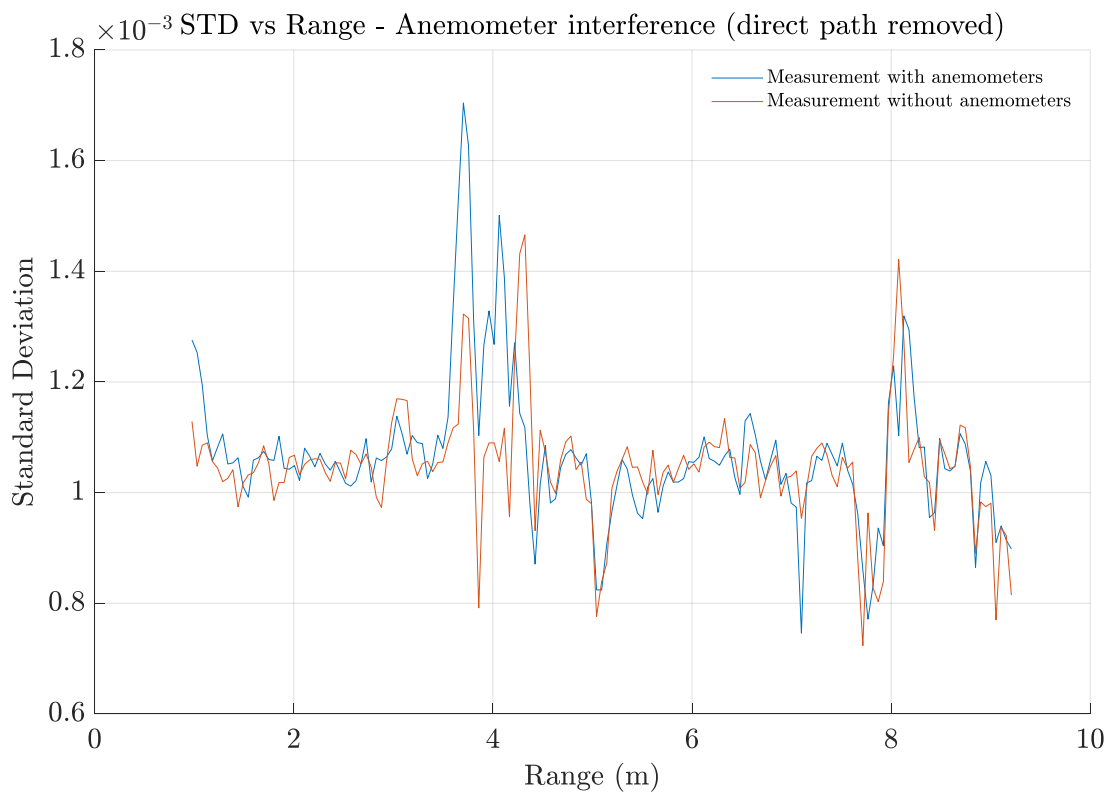
Εικόνα 3.25 Προσωρινή τοποθέτηση ανεμομέτρων – έλεγχος πιθανότητας παρεμβολών θέσης.

Η μέτρηση όπως θα διαπιστώσουμε στη συνέχεια, δεν επηρεάζεται καθόλου από την ύπαρξη και την κίνηση των ανεμομέτρων, όσο δυνατός κι αν είναι ο άνεμος. Αυτό που μένει είναι ο έλεγχος της προσθήκης θορύβου λόγω αυτών στα υπόλοιπα μήκη από το ραντάρ.

Παρακάτω, παρουσιάζεται η σύγκριση μεταξύ των τεσσάρων περιπτώσεων, με και χωρίς ανεμόμετρα παρουσία ή μη ανθρώπου. Μέσω της τυπικής απόκλισης, παρατηρούμε πως στη θέση των ανεμομέτρων υπάρχει σχετική διαφορά με και χωρίς αυτά. Βέβαια θέση στην οποία είναι τοποθετημένα, στα περίπου 70cm από το ραντάρ, απορρίπτεται όπως έχουμε αναφέρει σε προηγούμενο κεφάλαιο. Παρόλα αυτά θα μελετήσουμε και τις θέσεις αυτές, ώστε να ελέγξουμε τη συμπεριφορά τους σε αυτές αλλά και στις υπόλοιπες.

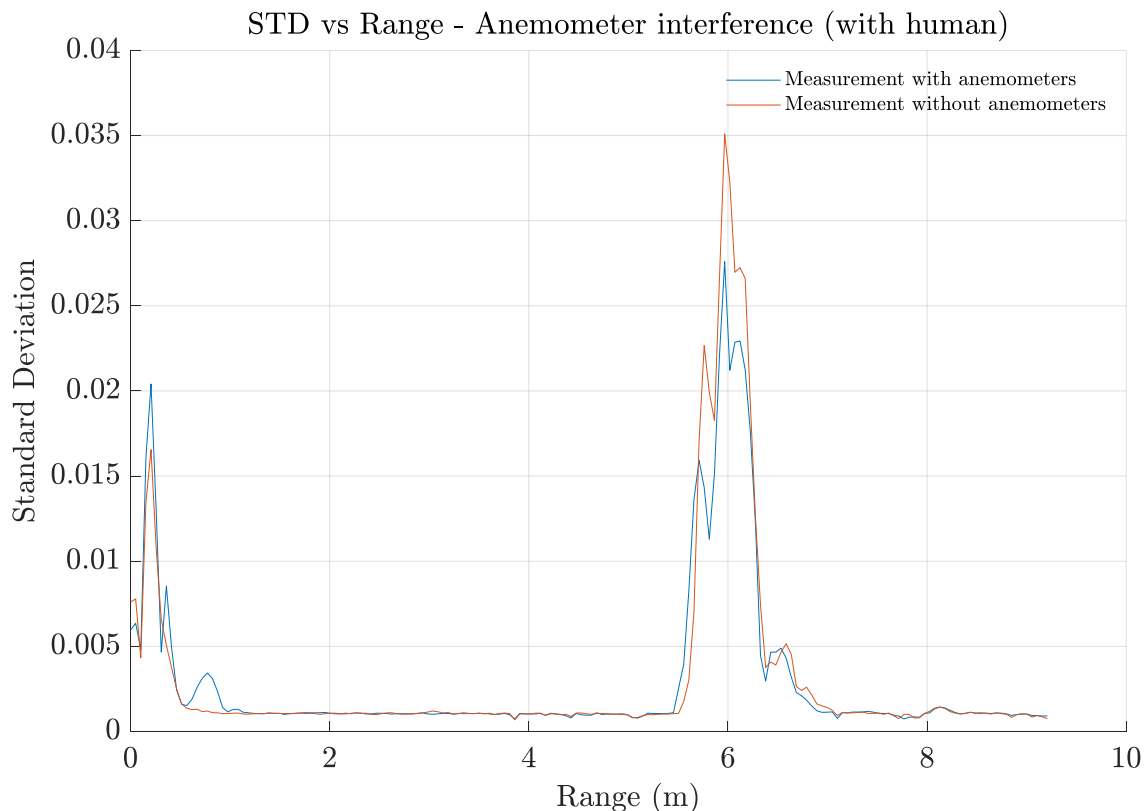


Εικόνα 3.26 Τυπική απόκλιση μελέτης παρεμβολών ύπαρξης και μη ανεμομέτρων σε όλη την εμβέλεια λειτουργίας του ραντάρ (Μετρήσεις: 1682428355 & 1682428694).



Εικόνα 3.27 Τυπική απόκλιση μελέτης παρεμβολών ύπαρξης και μη ανεμομέτρων σε όλη την εμβέλεια λειτουργίας του ραντάρ αφαιρεμένου του πρώτου μέτρου (Μετρήσεις: 1682428355 & 1682428694).

Οι μικρές διαφορές κοντά στα 4m, οφείλονται και εδώ στον χειριστή του ραντάρ και όχι στην κίνηση των ανεμομέτρων. Προχωράμε στον έλεγχο της τυπικής απόκλισης για μέτρηση παρουσία ανθρώπου με και χωρίς ανεμόμετρα.



Εικόνα 3.28 Τυπική απόκλιση μελέτης παρεμβολών ύπαρξης και μη ανεμομέτρων, παρουσία ανθρώπου σε όλη την εμβέλεια λειτουργίας του ραντάρ αφαιρεμένου του πρώτου μέτρου (Μετρήσεις: 1682428511 & 1682428773).

Όπως βλέπουμε η τυπική απόκλιση στη θέση των ανεμομέτρων, εμφανίζει διαφορά σε σχέση με την ύπαρξη ή όχι αυτών. Αντίθετα, στη θέση του ανθρώπου κοντά στα 6m, δεν παρατηρείται κάποια σχετική διαφορά στο μοτίβο. Το γεγονός ότι η τυπική απόκλιση απουσία ανεμομέτρων, είναι λίγο υψηλότερη σε σχέση με την περίπτωση της παρουσίας τους, οφείλεται ξεκάθαρα στον αριθμό αναπνοών που είχε το υπό μέτρηση υποκείμενο στην συγκεκριμένη μέτρηση.

3.4.6 Τελικό κουτί

Οι παραπάνω δοκιμές, με κυριότερη αυτή του SNR εντός και εκτός θήκης, ήταν καταλυτικές στην απόφαση να τροποποιηθεί ξανά η κατασκευή, ώστε να μας δίνεται η επιλογή να αλλάζουμε την θέση του ραντάρ μέσα σε αυτή και μετέπειτα την προσθήκη ανακλαστήρα. Με αυτόν τον τρόπο, όπως φαίνεται στις εικόνες παρακάτω, η πλακέτα μπορεί να αλλάξει θέση για την εκτέλεση μιας μέτρησης (εκτός κυλίνδρου) και για την μεταφορά και αποθήκευση (εντός κυλίνδρου). Έτσι, καταφέρνουμε να έχουμε όλα τα πλεονεκτήματα της μέτρησης εκτός κουτιού, αλλά και της ασφαλούς μεταφοράς και στήριξης, όπου είχαμε επιτύχει και με την αρχική κατασκευή.

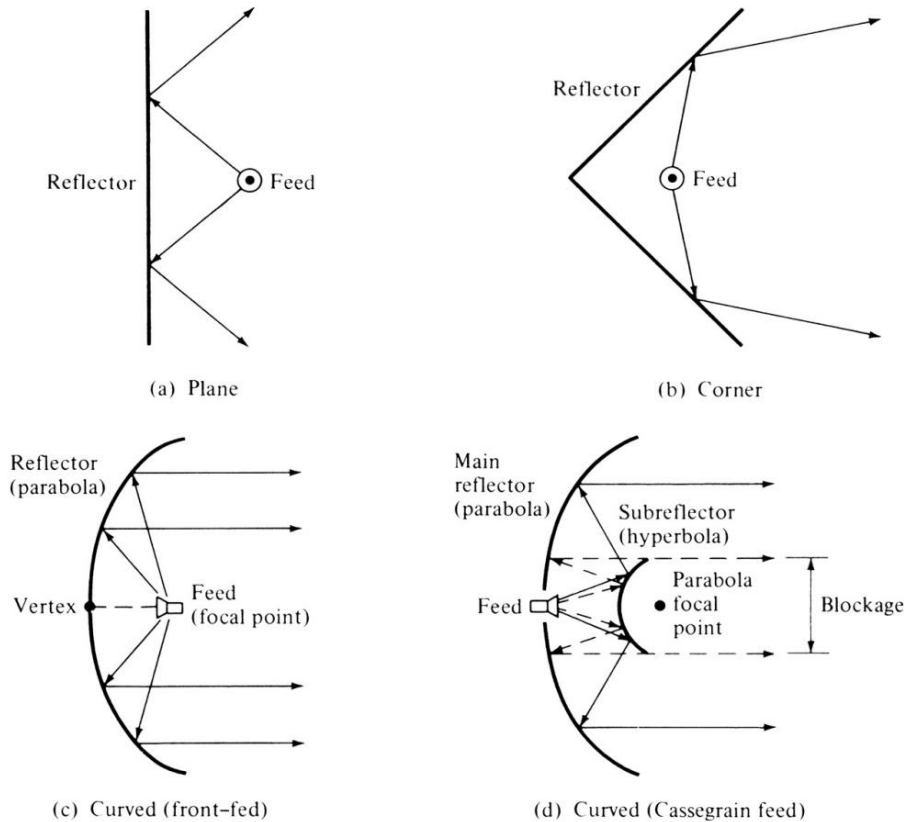
Αυτό, γίνεται με τη βοήθεια ενός κεντρικού άξονα, στηριγμένου σε έναν εσωτερικό δακτύλιο από plexiglass, ο οποίος προσαρμόστηκε στο κέντρο και εσωτερικά του κουτιού, ώστε να παρέχεται πρόσθετη σταθερότητα. Ο άξονας αυτός, μπορεί όπως προαναφέραμε να μετακινεί μαζί του το ραντάρ εντός, για την ασφαλή μεταφορά του ή εκτός κουτιού για την διεκπεραίωση των μετρήσεων καθώς επίσης, όπως θα δούμε στη συνέχεια και την παροχή στήριξης για τον ανακλαστήρα.



Εικόνα 3.29 Τροποποίηση κατασκευής με προσαρμογή κεντρικού άξονα μετακίνησης ραντάρ εντός και εκτός θήκης.

3.4.7 Προσθήκη ανακλαστήρα

Ο ανακλαστήρας χρησιμοποιείται στην διάδοση ΗΜ κυμάτων από την ανακάλυψή τους, από το 1888, από τον Hertz, με την περεταίρω ανάλυση και τον σχεδιασμό τους να λαμβάνουν χώρα κατά τον Β' παγκόσμιο πόλεμο με τις πολυάριθμες εφαρμογές ραντάρ που προέκυψαν [7]. Παρόλο που οι ανακλαστήρες (μαζί με αυτούς και οι λεγόμενες κεραιές ανακλαστήρα) έχουν πολλές γεωμετρικές διατάξεις μερικά από τα πιο δημοφιλή σχήματα παρουσιάζονται παρακάτω.



Εικόνα 3.30 Γεωμετρικές διατάξεις μερικών συστημάτων ανακλαστήρων και κεραιών. Πηγή: [7]

Η ιδέα της τοποθέτησης του ανακλαστήρα έγκειται σε δύο βασικούς λόγους, με κυριότερο λόγο την μετατροπή της κεραιάς του ραντάρ σε μια πιο κατευθυντική προκειμένου να αποκόψουμε το διάγραμμα ακτινοβολίας στις $90^\circ - 270^\circ$ (πίσω από το ραντάρ), όπου βρίσκεται τοποθετημένος ο χειριστής του και τα ανεμόμετρα. Έτσι, επιτυγχάνουμε την απόκρυψη του χειριστή, των ανεμομέτρων αλλά και την απόσβεση του πρόσθετου θορύβου που επικρατεί από ανακλάσεις αντικειμένων πίσω από το ραντάρ. Τέλος, με την κατάλληλη τοποθέτηση σε συγκεκριμένη απόσταση μπορούμε να επωφεληθούμε την ενισχυτική συμβολή που συμβαίνει στα προσπίπτοντα ΗΜ κύματα πάνω σε αυτόν σε σχέση με αυτά που μεταδίδονται από το ραντάρ, βελτιώνοντας κατ' αυτό τον τρόπο το κέρδος της κεραιάς του.

Επίπεδος ανακλαστήρας (Plane Reflector)

Ο απλούστερος τύπος ανακλαστήρα που μπορούμε να συναντήσουμε, είναι ο επίπεδος ανακλαστήρας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.30 πιο πάνω. Έχει αποδειχθεί πως η πόλωση της πηγής ακτινοβολίας και η θέση της σε σχέση με την ανακλώμενη επιφάνεια (όπως θα δείξουμε αναλυτικά μέσα από ποικίλες δοκιμές που εκτελέστηκαν, Παράγραφος 3.5.5), μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα για τον έλεγχο των ιδιοτήτων ακτινοβολίας, όπως η κατευθυντικότητα ή το κέρδος [7].

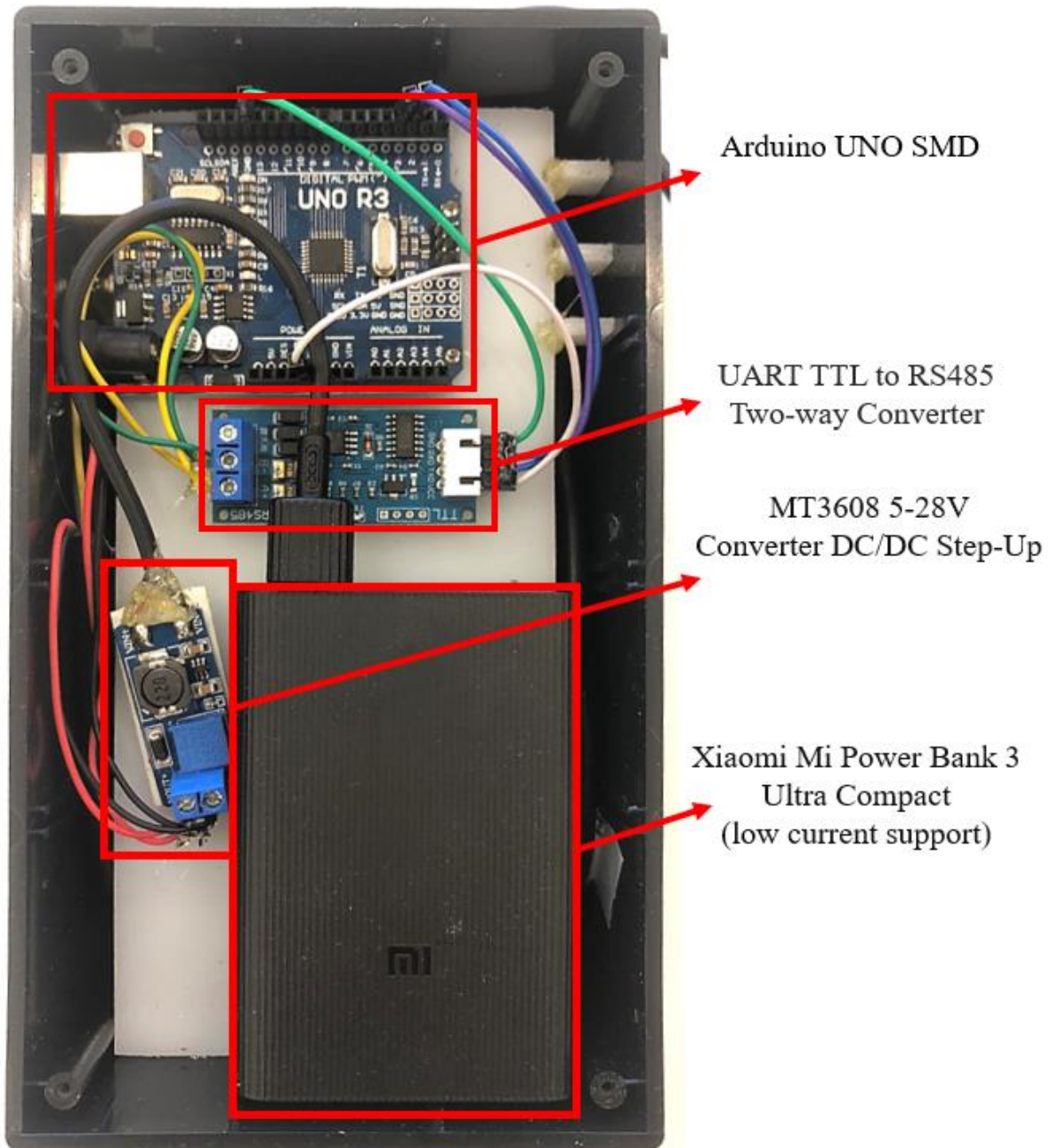
Η επιλογή του συγκεκριμένου τύπου ανακλαστήρα, έγινε λόγω της απλής διαδικασίας της κατασκευής του, καθώς όπως βλέπουμε παρακάτω αποτελείται από ένα χαρτόνι κομμένο σε μορφή επίπεδου δίσκου, περιτυλιγμένο με αλουμινόχαρτο.



Εικόνα 3.31 Αυτοσχέδιος ανακλαστήρας.

3.4.8 Βοηθητικό κουτί ηλεκτρονικών εξαρτημάτων

Υποστηρικτικά για τις μετρήσεις χρειάζεται ένα ακόμα κουτί προσκολλημένο στο τρίποδο το οποίο περιέχει μέσα του αναγκαία ηλεκτρονικά εξαρτήματα για τη λειτουργία των ανεμομέτρων, καθώς και μία μπαταρία για την τροφοδοσία τους. Η λειτουργία, η αναγκαιότητα και η αξιοποίηση των ανεμομέτρων περιγράφεται λεπτομερώς σε επόμενες ενότητες. Αναφορικά όμως με το περιεχόμενο του βοηθητικού κουτιού, περιέχει ένα Arduino UNO, τα απαραίτητα shields, μετατροπείς τάσεις, καλωδιώσεις, μία μπαταρία τύπου power bank κινητού. Στο περίβλημα υπάρχουν τρεις οπές – θύρες USB. Μία για τη σύνδεση του Arduino με τον υπολογιστή (τύπου B) και δύο τύπου A, βραχυκυκλωμένες για την σύνδεση του ραντάρ με τον υπολογιστή.



Εικόνα 3.32 Εσωτερικό βοηθητικού κουτιού συστήματος.

3.5 Παραμετροποίηση ραντάρ

Για την καλύτερη ανάλυση της απεικόνισης του μοτίβου αναπνοής των μετρήσεων αλλά και της καταπίεσης του θορύβου μπορούμε να ρυθμίσουμε κατάλληλα το ραντάρ. Οι παράμετροι που μπορούμε να μεταβάλλουμε στο συγκεκριμένο ραντάρ είναι περίπου 33. Στην παρούσα έρευνα που έγινε, ασχοληθήκαμε μόνο με τις ακόλουθες:

- Iterations (iter)
- Resolution (res)
- Pulses Per Step (pps)
- Frame rate (fps)
- Frequency region (tx_region)
- Transmission power (tx_power)

Παρακάτω θα δούμε αναλυτικά τις τιμές των ρυθμίσεων που κρίθηκαν βέλτιστες, έπειτα από πληθώρα δοκιμών και συγκρίσεων.

3.5.1 Frame rate (fps)

Με το όρο Frame rate ή ρυθμό ανά καρέ στα βίντεο, αναφερόμαστε τη συχνότητα αλλαγής των καρέ που απεικονίζονται ανά δευτερόλεπτο. Όσο περισσότερα καρέ εμφανίζονται, τόσο μεγαλύτερη πληροφορία εμφανίζεται, επομένως τόσο βελτιώνεται η ανάλυση της εικόνας την οποία παρατηρούμε.

Στην δική μας περίπτωση, αναφερόμαστε στη συχνότητα δειγματοληψίας των frames μέσω του ραντάρ, επομένως θα μπορούσαμε να πούμε πως ισχύουν τα ίδια από άποψη πληροφορίας σήματος. Παρόλα αυτά, το σήμα το οποίο αναζητούμε, αυτό της αναπνοής του ανθρώπου, μεταβάλλεται αρκετά αργά στον χρόνο. Το εύρος αναπνοών του ανθρώπου ανάλογα την κατάσταση στην οποία βρίσκεται (δραστηριότητα, ηλικία, πιθανή ασθένεια κ.α.) ποικίλλει με ένα εύρος τιμών το οποίο μπορεί να βρίσκεται μεταξύ 7 – 25bpm.

Table 1. Respiratory rate classification in adult patients	
RR	Range
Eupnoea (normal relaxed breathing)	12-20bpm (Royal College of Physicians, 2017)
Normal range >65 years	12-25bpm (Rodrigues-Molinero et al, 2013)
Normal range >80 years	10-30bpm (Rodrigues-Molinero et al, 2013)
Bradypnoea (slow RR)	<12bpm (RCP, 2017)
Tachypnoea (fast RR)	>20bpm (RCP, 2017)

bpm = breaths per minute; RR = respiratory rate

Εικόνα 3.33 Κατηγοριοποίηση αναπνευστικού ρυθμού σε ενήλικες ανάλογα την ασθένεια. Πηγή: [27]

Επομένως, λόγω της μικρής μεταβολής στο χρόνο του σήματος της αναπνοής και της ταχύρρυθμης μεταβολής της κίνησης του φυλλώματος, μπορούμε να μειώσουμε σε μεγάλο βαθμό τον θόρυβο

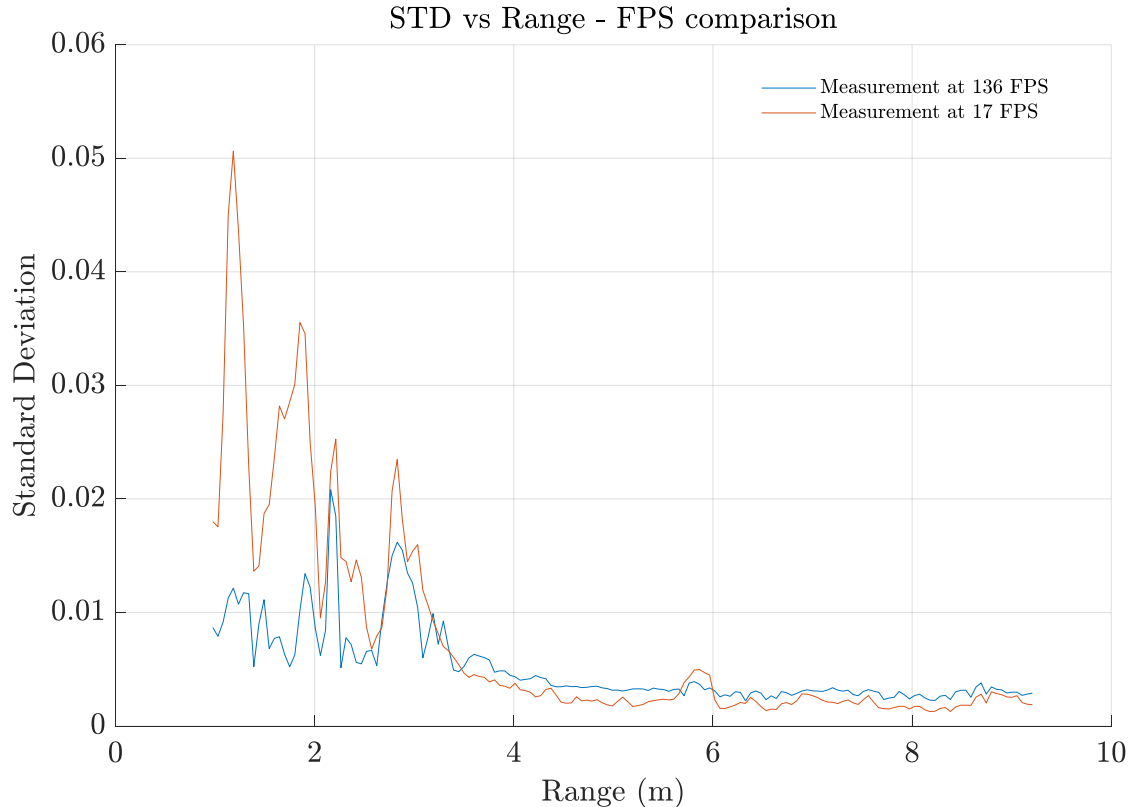
(κίνηση φυλλώματος), μειώνοντας τα FPS δηλαδή το πόσο συχνά δειγματοληπτούμε από το ραντάρ. Έτσι, λαμβάνοντας λιγότερα frames το δευτερόλεπτο η αναπνοή θα συνεχίσει να φαίνεται, δίχως να «ρίχνουμε την ανάλυσή της» σε μεγάλο βαθμό, ενώ θα χάνουμε από την ανάλυση της κίνησης του φυλλώματος.

Ο τρόπος υπολογισμού των FPS γίνεται μέσω της ακόλουθης εξίσωσης,

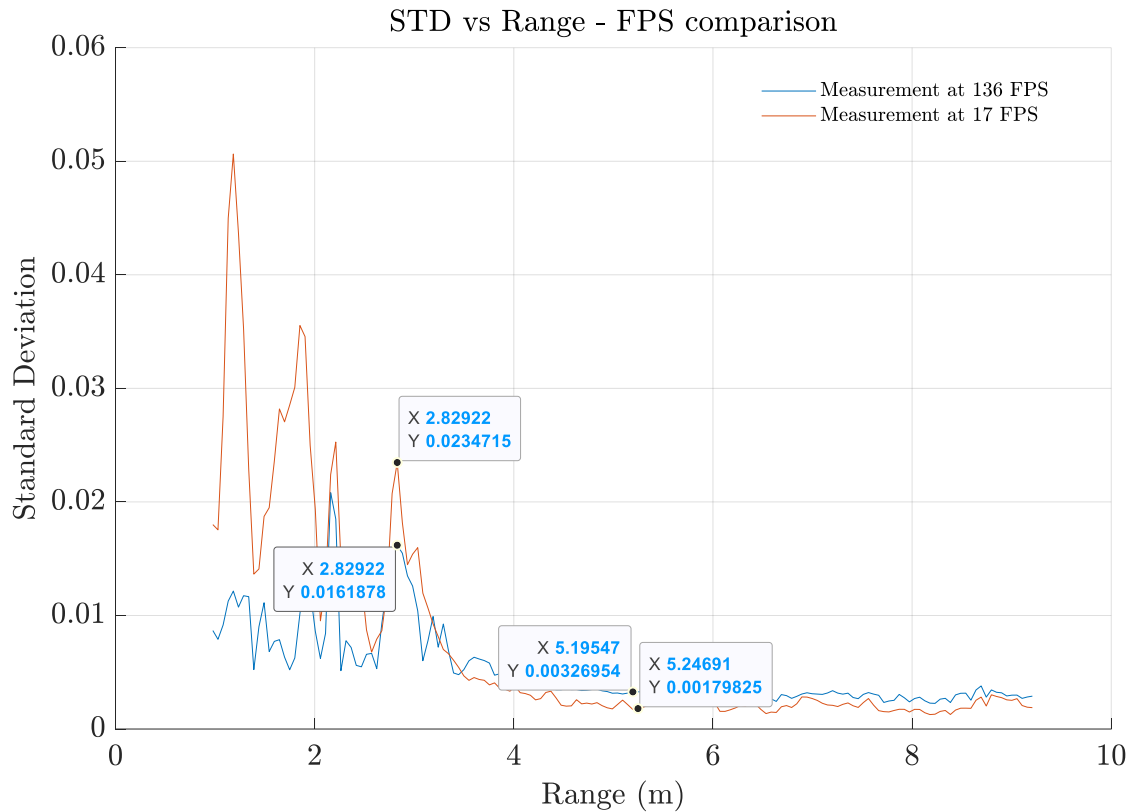
$$FPS = \frac{PRF * D}{iter * pps * (dac_max - dac_min + 1)} \quad (3.1)$$

- όπου *dac_max* η μέγιστη τιμή του DAC
- dac_min* η ελάχιστη τιμή του DAC
- PRF* το pulse repetition frequency
- pps* τα pulses per step
- iter* τα iterations
- D* το duty cycle

Έπειτα από αρκετές δοκιμές καταλήξαμε πως η βέλτιστη τιμή είναι στα **17 FPS**, βελτιστοποιώντας έτσι το SNR. Ένα παράδειγμα σύγκρισης φαίνεται παρακάτω. Το υποκείμενο βρίσκεται στα 2.8m και στις δύο περιπτώσεις. Όπως παρατηρούμε το επίπεδο του θορύβου μετά τα 3m στην περίπτωση των 17 FPS, είναι σε όλη την εμβέλεια πιο χαμηλά από αυτό των 136 FPS. Στη θέση του υποκειμένου το μοτίβο παραμένει ίδιο με το πλάτος να είναι πιο ψηλά στην περίπτωση των 17 FPS, λόγω της καταπίεσης του θορύβου.



Εικόνα 3.34 Σύγκριση μετρήσεων ίδιου υποκειμένου και εμποδίου για δύο διαφορετικές ρυθμίσεις FPS (Μετρήσεις: 1670580758 & 1670580955).



Εικόνα 3.35 Σύγκριση μετρήσεων ίδιου υποκειμένου και εμποδίου για δύο διαφορετικές ρυθμίσεις FPS, (Μετρήσεις: 1670580758 & 1670580955).

3.5.2 Resolution (res)

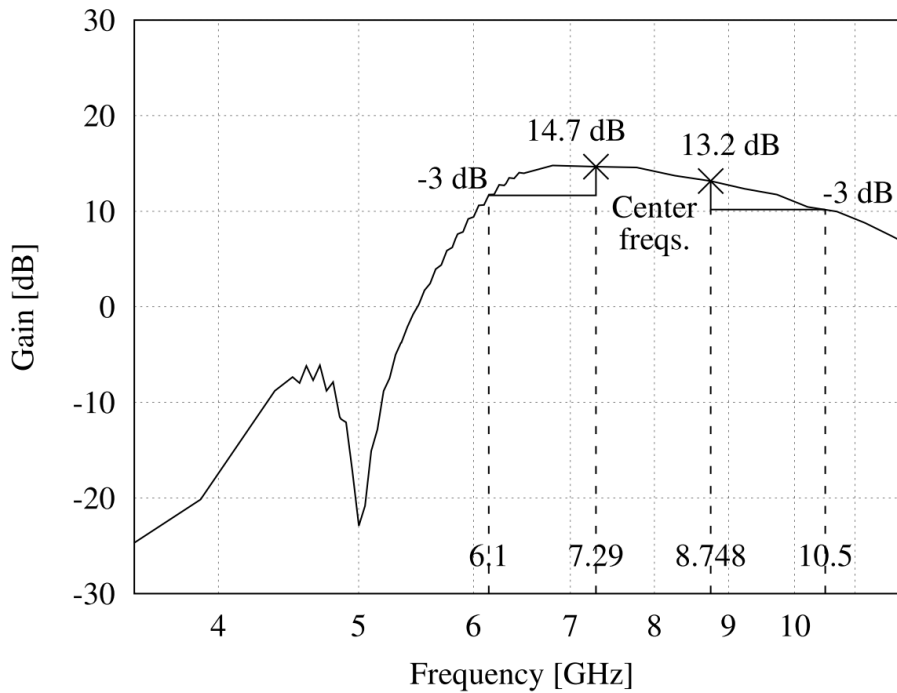
Αναφορικά με την συγκεκριμένη παράμετρο του ραντάρ, μπορούμε να ρυθμίσουμε κατάλληλα την ανάλυσή του στο χώρο, δηλαδή την ευκρίνεια της αναγνώρισης αντικειμένων σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους. Η ανθρώπινη αναπνοή έχει ως αποτέλεσμα τη μετατόπιση του θώρακα μπροστά και πίσω ανάλογα το σωματότυπο και τον τρόπο αναπνοής, μερικά εκατοστά. Για παράδειγμα, σε ρυθμό αναπνοής ηρεμίας του τύπου 12 – 16 bpm αντιστοιχεί μετατόπιση του θωρακικού τοιχώματος κατά περίπου 4 – 12 mm [28]. Ακόμη, ο άνθρωπος, όταν παραμένει όρθιος κατά τη διάρκεια της μέτρησης, όπως θα δούμε παρακάτω δεν μπορεί να μείνει ακίνητος με αποτέλεσμα να μετατοπίζεται ελάχιστα μπροστά και πίσω από την αρχική του θέση. Προκειμένου να εμφανίζονται πάντα τέτοιου είδους μικρές μεταβολές στην εμβέλεια του ραντάρ, η ανάλυση που θα εισάγουμε θα είναι της τάξης των 0.0514 m. Το ραντάρ έτσι θα σκανάρει το χώρο ανά περίπου μισό εκατοστό ανιχνεύοντας την κίνηση του θώρακα, λαμβάνοντας υπόψη λιγότερες μεταβολές του φυλλώματος, οι οποίες εισάγουν σημαντικό θόρυβο στις μετρήσεις μας.

3.5.3 Frequency region (tx_region)

Το ραντάρ το οποίο χρησιμοποιούμε δύναται να λειτουργεί σε δύο συγκεκριμένες μάντες συχνοτήτων, όπου συμμορφώνεται με τα πρότυπα που υποδεικνύουν οι ρυθμιστικοί φορείς FCC και ETSI αναφορικά με τη μέση μεταδιδόμενη συχνότητα και ισχύ [29]. Υπάρχουν δύο σχετικές ρυθμίσεις για την κεντρική συχνότητα εκπομπής [30],

- $Tx3 = 7.29 \text{ GHz}$ με bandwidth $6 \text{ GHz} < f < 8.2 \text{ GHz}$
- $Tx4 = 8.748 \text{ GHz}$ με bandwidth $7.2 \text{ GHz} < f < 10.2 \text{ GHz}$

Σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα, η ρύθμιση που έχει οριστεί για την κεντρική συχνότητα κατά τη διεκπεραίωση όλων των μετρήσεων είναι στα 7.29 GHz. Παρακάτω βλέπουμε για διαφορετικές συχνότητες συμπεριλαμβανομένων και αυτών των ρυθμίσεων τα αντίστοιχα κέρδη για την διεπαφή του δέκτη του ραντάρ.



Εικόνα 3.36 Κέρδος διεπαφής δέκτη σε συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων. Πηγή: [29]

3.5.4 Δοκιμές συνδυασμών pps & iter

Pulses Per Step (pps)

Για κάθε βήμα DAC το κατώφλι διατηρείται σταθερό, ενώ το ραντάρ λαμβάνει τα οπισθοσκεδαζόμενα σήματα για έναν δεδομένο παλμό. Η μεταβλητή “pps” ελέγχει πόσους παλμούς θα στείλουμε ανά βήμα DAC. Αυξάνοντας τον αριθμό των παλμών βελτιώνεται το SNR αλλά μειώνεται ο χρόνος που χρειάζεται για τη δημιουργία ενός καρέ, μειώνοντας έτσι τα συνολικά FPS της μέτρησης. Οι τιμές που μπορεί να πάρει αυτή η μεταβλητή είναι μεταξύ 1 και 65535 [2].

Iterations (iter)

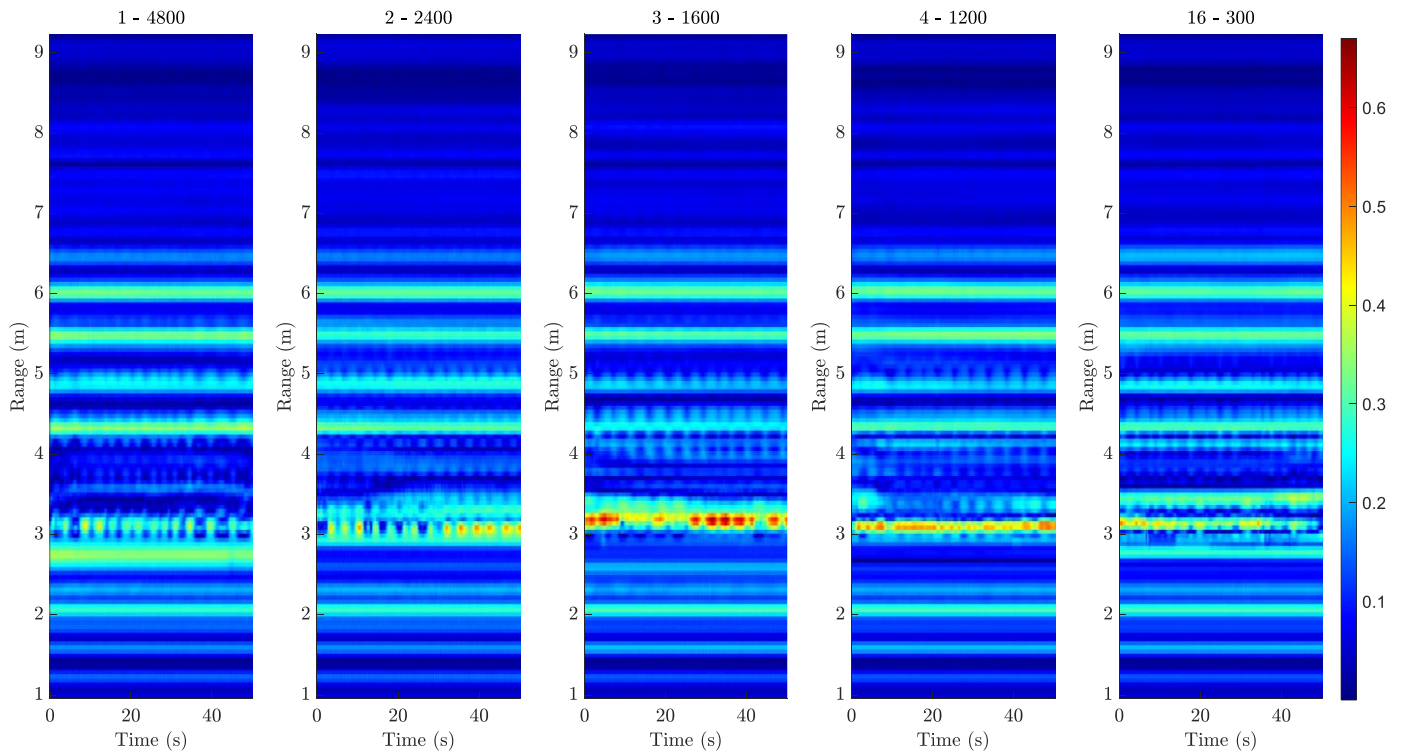
Το ραντάρ προκειμένου να ελέγξει το κατώφλι κβαντοποίησης του δειγματολήπτη χρησιμοποιεί έναν αποκωδικοποιητή ψηφιακού σε αναλογικό σήμα (Digital to Analog Converter – DAC) με εύρος από 0 έως 2047. Το πόσες φορές επαναλαμβάνεται η σάρωση του DAC (DAC sweep) από το ραντάρ μπορεί να ρυθμιστεί από την παράμετρο “iter” [2]. Οι τιμές που μπορεί να λάβει είναι μεταξύ 1 – 255 και πρέπει να διαιρούνται με το 4.

3.5.4.1 Δοκιμές συνδυασμών pps & iter – εσωτερικός χώρος

Για διαφορετικές ρυθμίσεις pps πρέπει αναγκαστικά να αλλάζουμε κάθε φορά και την ρύθμιση για τα iterations μιας και είναι τιμές που επηρεάζουν άμεσα την τιμή των FPS και μάλιστα αντιστρόφως ανάλογα όπως δείξαμε στην Εξίσωση 3.1. Οι δοκιμές που εκτελέστηκαν, ήταν όλες σε εσωτερικό χώρο για το λόγο αυτό παρατηρούνται και πολλές ανακλάσεις μετά την θέση του στόχου, φαινόμενο αρκετά σύνηθες (φαινόμενο cluttering ή ghosting), ιδιαίτερα όταν κοντά στο ραντάρ υπάρχουν μεγάλα αντικείμενα (στην περίπτωσή μας μεγάλος τοίχος αριστερά και δεξιά του σε σχετικά κοντινή απόσταση).

Measurement No.	Reflector	Iterations	pps
1685642340	—	1	4800
1685642223	—	2	2400
1685643605	—	3	1600
1685643816	—	4	1200
1685644036	—	16	300

Πίνακας 3.3 Πίνακας δοκιμών συνδυασμού iterations – pps εσωτερικού χώρου χωρίς ανακλαστήρα.



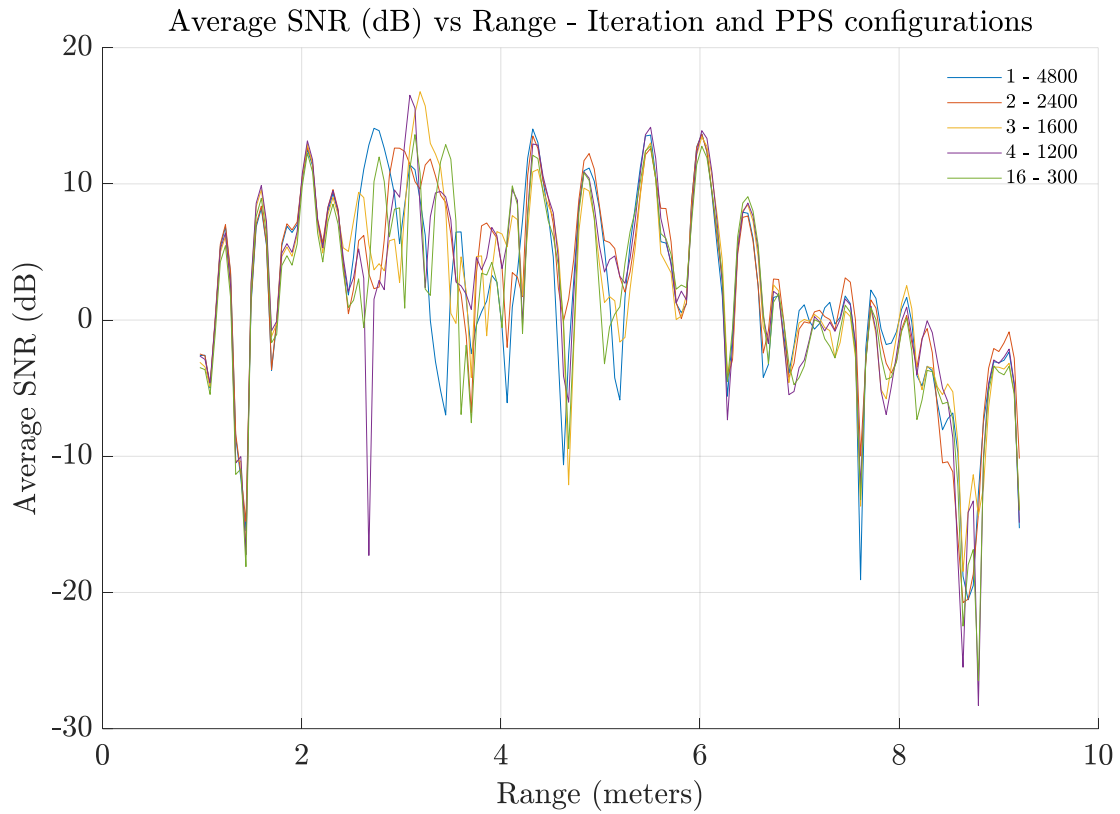
Εικόνα 3.37 Heatmaps συνδυασμών iterations – pps, δίχως ανακλαστήρα παρουσία ανθρώπου στα 3m.

Στα παραπάνω heatmaps παρατηρούμε πως έχουμε την καλύτερη περίπτωση, από άποψη πλάτους σήματος για τον συνδυασμό 3 – 1600. Το μοτίβο της αναπνοής φαίνεται επίσης σε αυτή την περίπτωση αρκετά καθαρό, με ακόμα καλύτερη ευκρίνεια όμως στις περιπτώσεις των συνδυασμών 1 – 4800 και 2 – 2400.

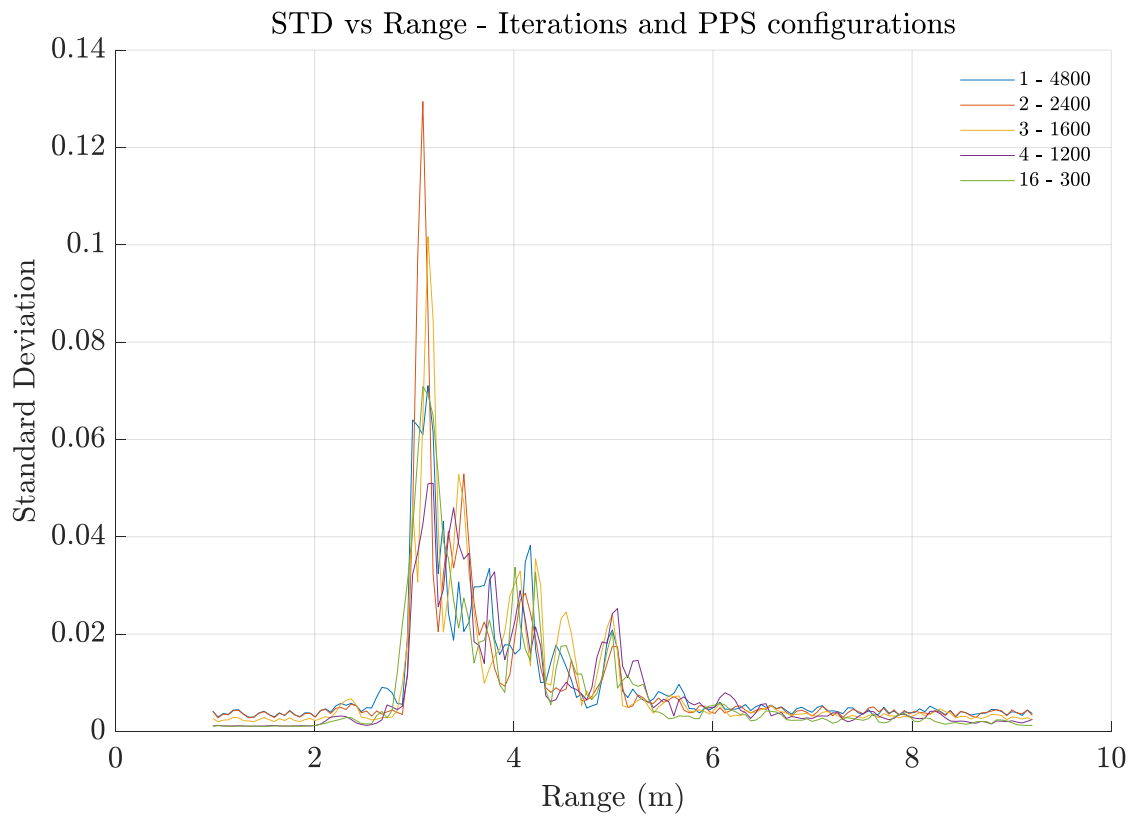
Αυτό επιβεβαιώνεται και από την επόμενη εικόνα όπου έχουμε αναλυτικά το λόγο SNR σε κάθε μήκος του ραντάρ αφαιρεμένου του πρώτου μέτρου. Όλα τα σήματα των συνδυασμών είναι παρεμφερή με καλύτερη περίπτωση αυτή του συνδυασμού 3 – 1600.

Τέλος, στην τυπική απόκλιση βλέπουμε μεγάλη διαφορά στο πλάτος της, για τους συνδυασμούς 2 – 2400 και 3 – 1600 με τις διαφορές στο επίπεδο του θορύβου να είναι ανύπαρκτες. Βέλτιστη περίπτωση για την τυπική απόκλιση έχουμε για τον συνδυασμό 2 – 2400.

Από όλα τα παραπάνω, καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως σε **περιβάλλον εσωτερικού χώρου** δίχως κανένα εμπόδιο, ο συνδυασμός που πετυχαίνει **καλύτερο αποτέλεσμα** από άποψη πλάτους σήματος και μοτίβου αναπνοής, είναι ο **2 – 2400**.



Εικόνα 3.38 Λόγος σήματος προς θόρυβο των συνδυασμών iterations – pps, δίχως ανακλαστήρα, παρουσία ανθρώπου στα 3m.



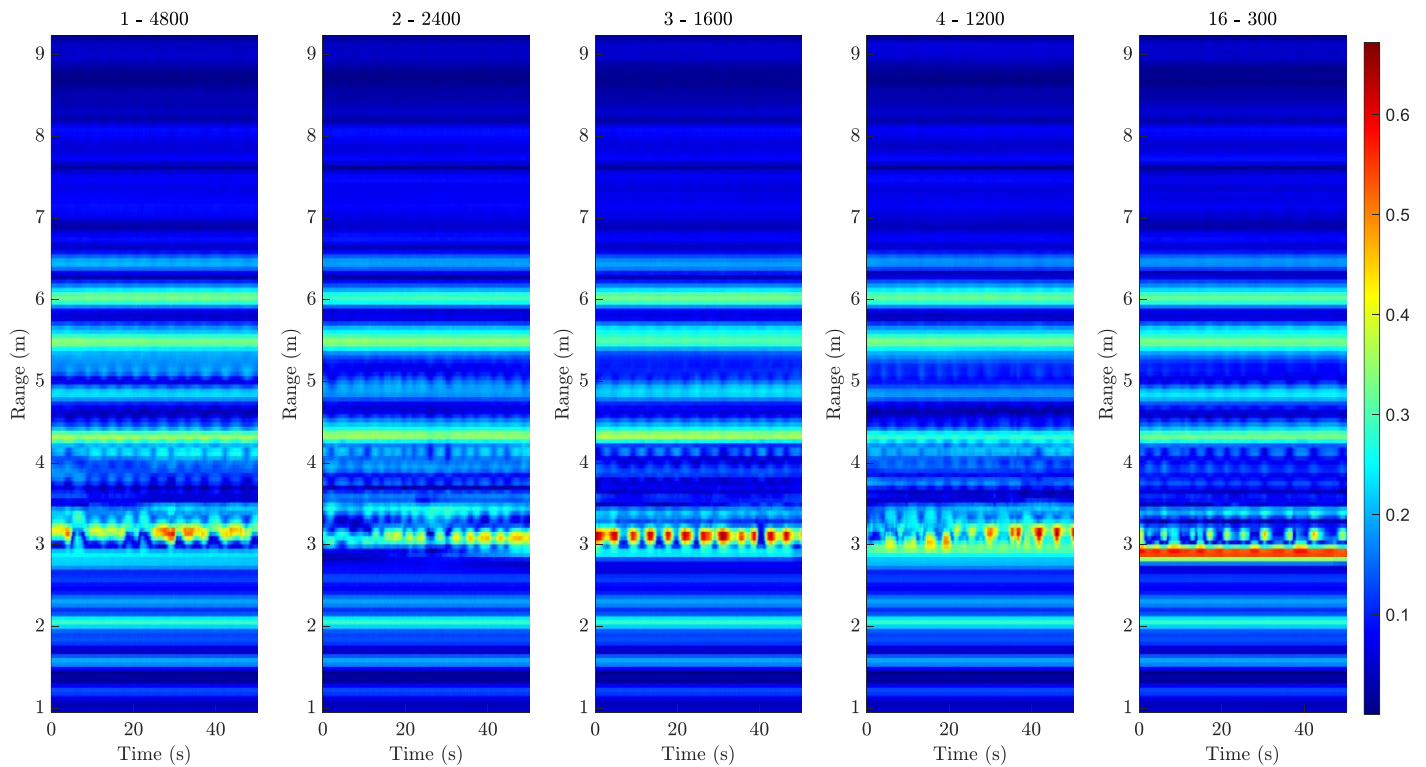
Εικόνα 3.39 Τυπική απόκλιση των συνδυασμών iterations – pps, δίχως ανακλαστήρα, παρουσία ανθρώπου στα 3m.

3.5.4.2 Δοκιμές μετρήσεων για συνδυασμούς *pps* & *iter* – εσωτερικός χώρος (με ανακλαστήρα)

Στις ακόλουθες δοκιμές, επαναλάβαμε τις μετρήσεις με τη διάταξη όπως ακριβώς υπήρχε πριν, με τη μόνη διαφορά της προσθήκης ανακλαστήρα στη θέση 2λ, (βέλτιστη περίπτωση όπως προέκυψε από τις δοκιμές που φαίνονται στην Παράγραφο 3.5.5) προκειμένου να βρεθεί ο πιο αποδοτικός συνδυασμός ρυθμίσεων, για την τελική κατασκευή.

<i>Measurement No.</i>	<i>Reflector</i>	<i>Iterations</i>	<i>pps</i>
1685642597	2λ	1	4800
1685642714	2λ	2	2400
1685642839	2λ	3	1600
1685642961	2λ	4	1200
1685643075	2λ	16	300

Πίνακας 3.4 Πίνακας δοκιμών συνδυασμού *iterations* – *pps* εσωτερικού χώρου με ανακλαστήρα.

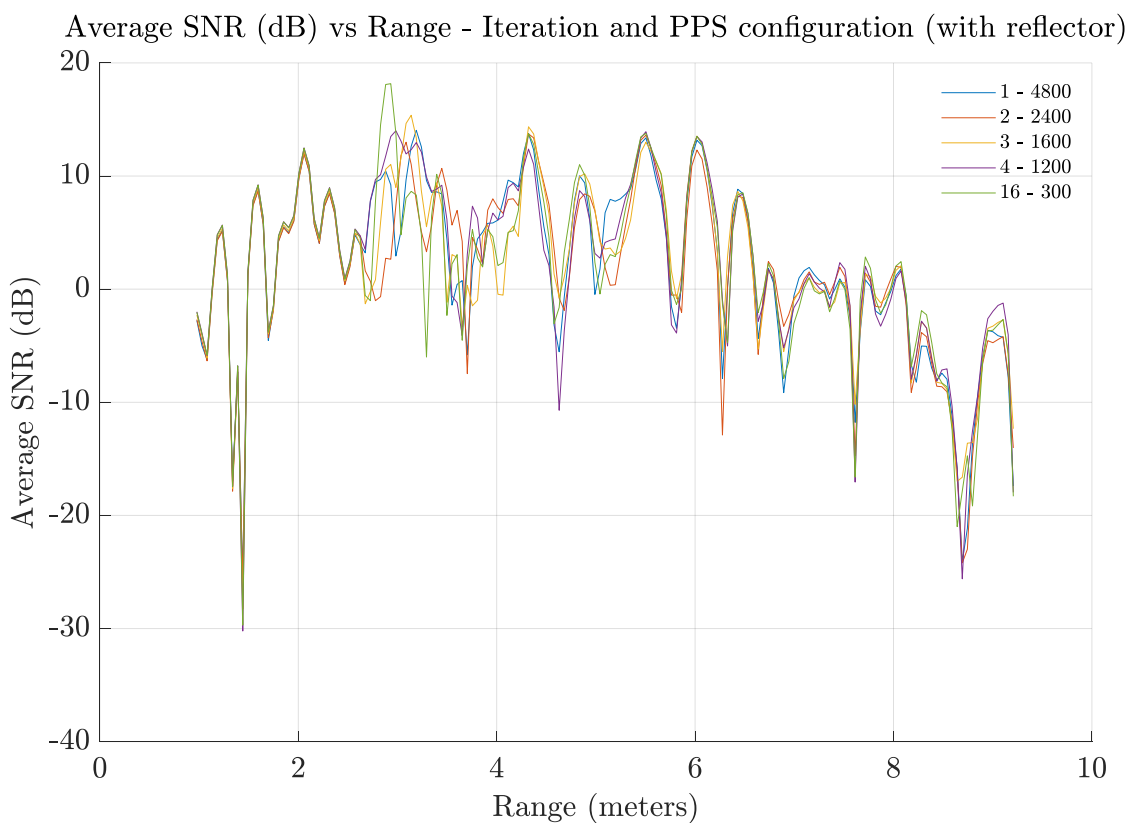


Εικόνα 3.40 Heatmaps συνδυασμών *iterations* – *pps*, με ανακλαστήρα παρουσία ανθρώπου στα 3m.

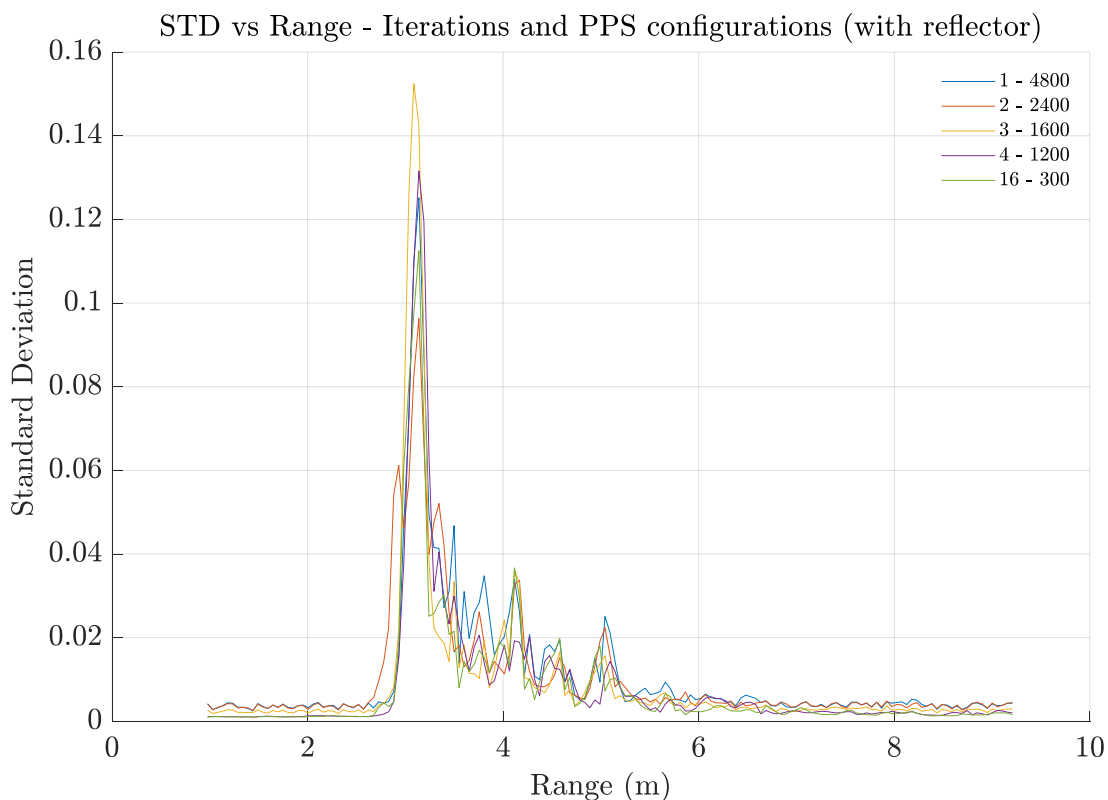
Όπως και προηγουμένως στα παραπάνω heatmaps παρατηρούμε πως έχουμε την καλύτερη περίπτωση, από άποψη πλάτους σήματος για τον συνδυασμό 3 – 1600, αρκετά βελτιωμένη μετά την προσθήκη ανακλαστήρα, τόσο που μπορούμε ξεκάθαρα να τις μετρήσουμε με μεγαλύτερη ακρίβεια. Το μοτίβο της αναπνοής φαίνεται λιγότερο καθαρό και ανίσχυρο, σε κάθε άλλη περίπτωση.

Όμοια, όλα τα σήματα των συνδυασμών SNR είναι παρεμφερή με καλύτερη περίπτωση αυτή του συνδυασμού 3 – 1600. Τέλος, στην τυπική απόκλιση βλέπουμε μεγάλη διαφορά στο πλάτος του ίδιου συνδυασμού, 3 – 1600.

Από όλα τα παραπάνω, καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως σε **περιβάλλον εσωτερικού χώρου με ανακλαστήρα**, δίχως κανένα εμπόδιο, ο συνδυασμός που πετυχαίνει **καλύτερο αποτέλεσμα** από άποψη πλάτους σήματος και μοτίβου αναπνοής, είναι ο **3 – 1600**.



Εικόνα 3.41 Λόγος σήματος προς θόρυβο των συνδυασμών iterations – pps, δίχως ανακλαστήρα παρουσία ανθρώπου στα 3m.



Εικόνα 3.42 Τυπική απόκλιση των συνδυασμών iterations – pps, δίχως ανακλαστήρα παρουσία ανθρώπου στα 3m.

3.5.4.3 Δοκιμές μετρήσεων για συνδυασμούς *pps* & *iter* – εξωτερικός χώρος (με ανακλαστήρα)

Οι παραπάνω δοκιμές εύρεσης των βέλτιστων συνδυασμών *pps* & *iter*, έγιναν σε εσωτερικό χώρο. Όλες οι μετρήσεις για τη συλλογή του dataset θα εκτελεστούν σε εξωτερικό χώρο, όπου ο θόρυβος από το φύλλωμα και τα τριγύρω εμπόδια θα εμφανίζεται διαφορετικά και πιο έντονα. Για το λόγο, αυτό έγιναν οι ακόλουθες δοκιμές με ανακλαστήρα σε όλες τις θέσεις πολλαπλάσιες του μήκους κύματος, των δοκιμών που κρίθηκαν εντός εργαστηρίου βέλτιστες, σε φύλλωμα με στόχο άνθρωπο.



Εικόνα 3.43 Παράδειγμα χωρικής διάταξης δοκιμαστικής μέτρησης επαλήθευσης συνδυασμών *iterations* – *pps* σε φύλλωμα με ανακλαστήρα, παρουσία ανθρώπου.

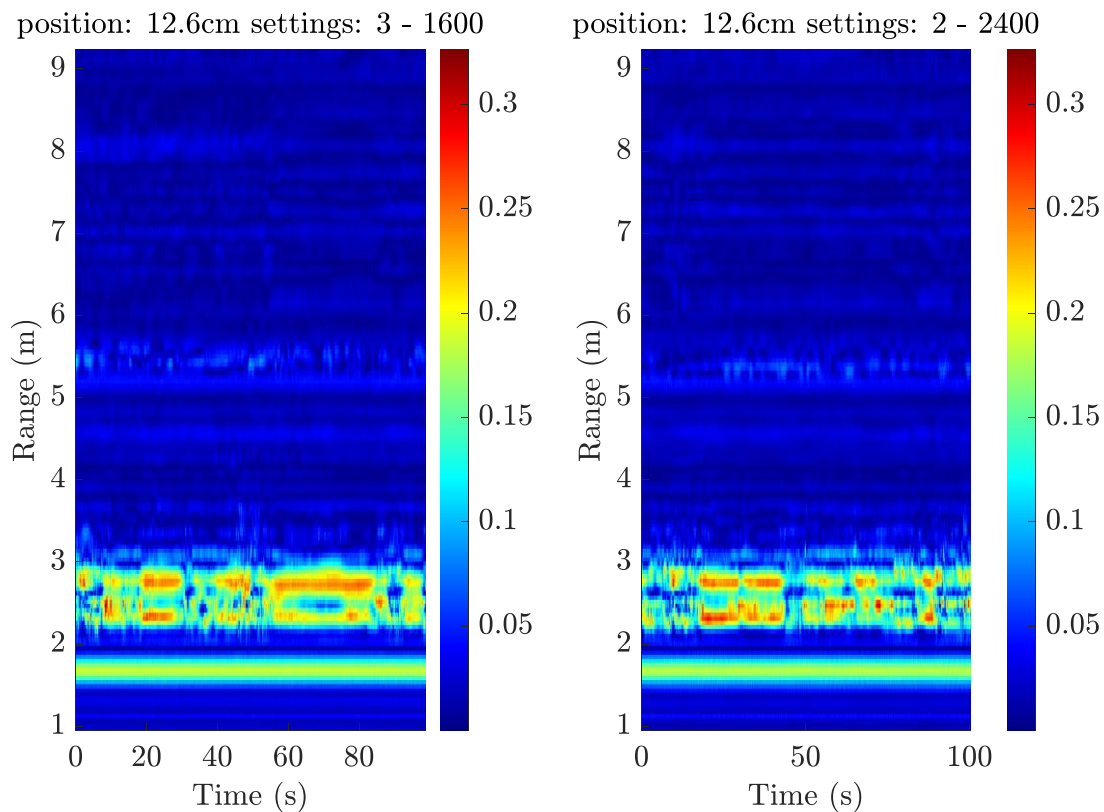
Οι δοκιμές που έγιναν εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα. Για λόγους ευκολίας της διεξαγωγής των μετρήσεων αλλά και σύγκρισης των δεδομένων διατηρήσαμε τους συνδυασμούς 2 – 2400 και 3 – 1600 για τα *iterations* και *pps*.

<i>Measurement No.</i>	<i>Reflector</i>	<i>Reflector position</i>	<i>Iterations</i>	<i>pps</i>
1686561036	✓	3λ	3	1600
1686561377	✓	3λ	2	2400
1686561624	✓	2λ	3	1600
1686561787	✓	2λ	2	2400
1686562028	✓	λ	3	1600
1686562198	✓	λ	2	2400

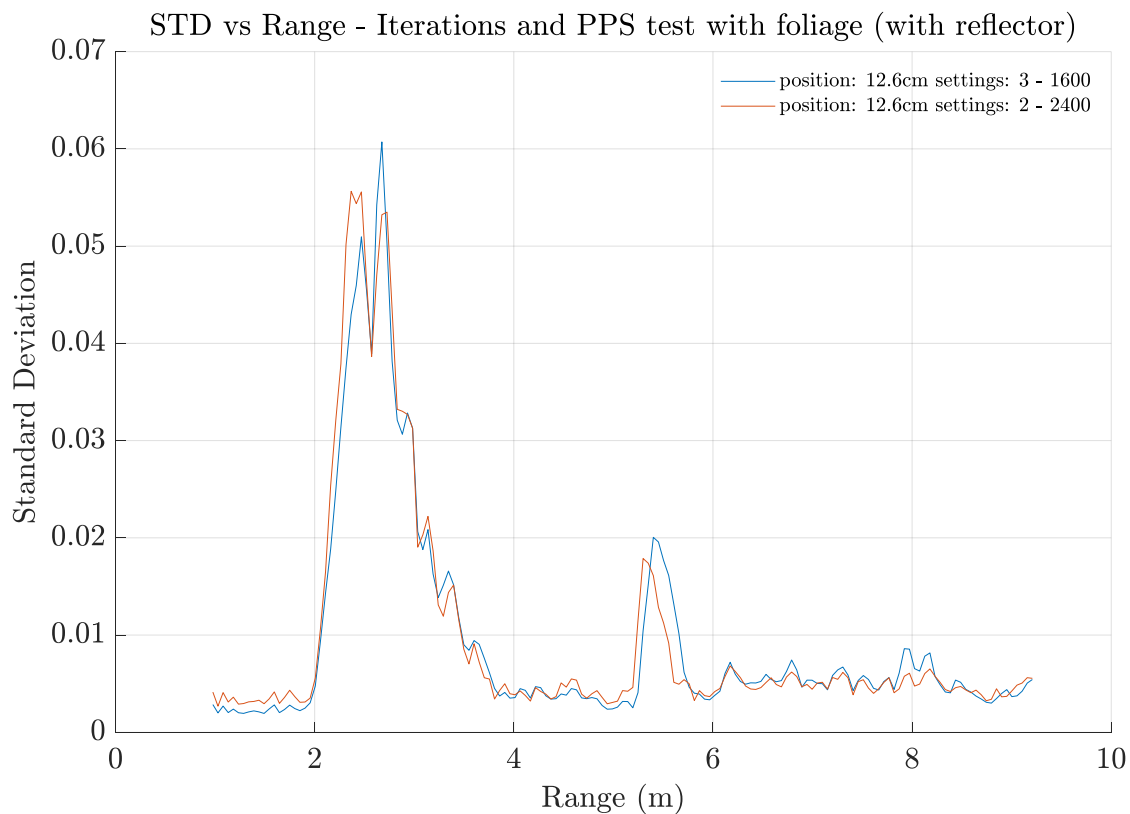
Πίνακας 3.5 Πίνακας δοκιμών συνδυασμού *iterations* – *pps* εξωτερικού χώρου, σε φύλλωμα, με ανακλαστήρα, παρουσία ανθρώπου.

Παρακάτω θα δούμε τα heatmaps σε ζευγάρια μεταβάλλοντας αρχικά τις παραμέτρους για τα *iteration* και τα *pps* κρατώντας ίδια τη θέση του ανακλαστήρα, ραντάρ και υποκειμένου, επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία για τις τρεις θέσεις ανά μήκος κύματος.

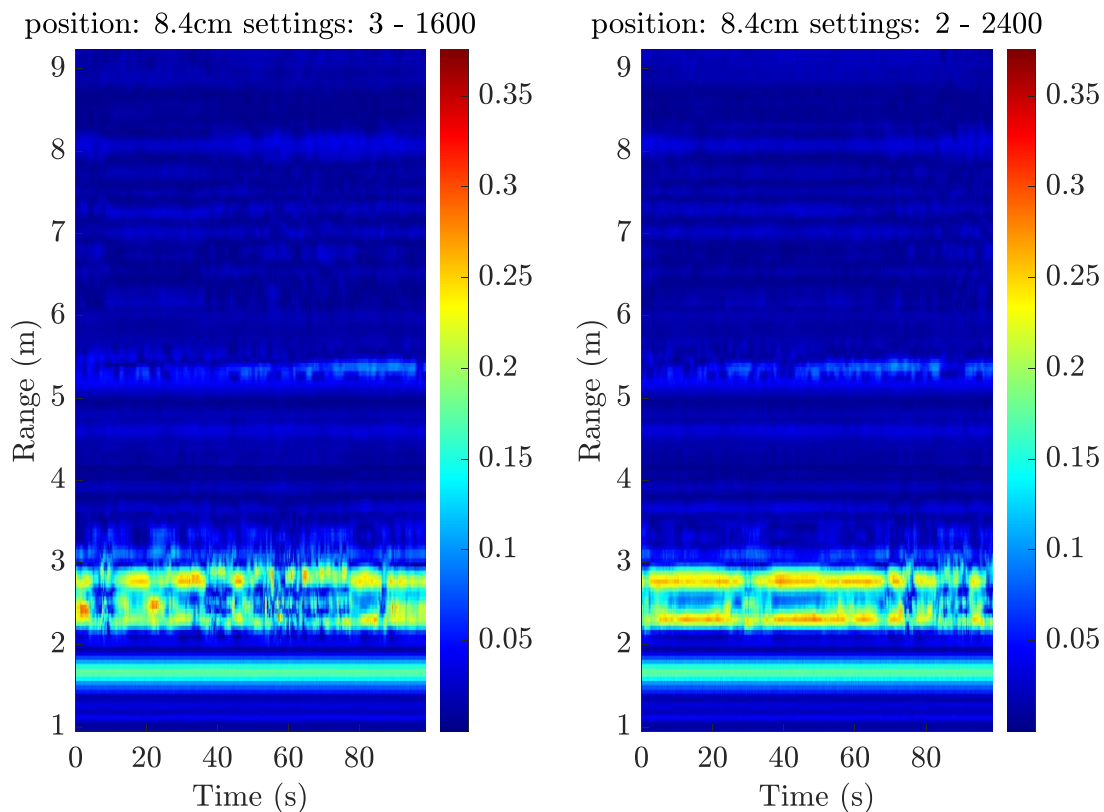
Από τις παρακάτω δοκιμές καταλήγουμε πως **βέλτιστη θέση** ανακλαστήρα έχουμε στα **2λ** με ρυθμίσεις ***iterations* και *pps* 2 – 2400** αντίστοιχα.



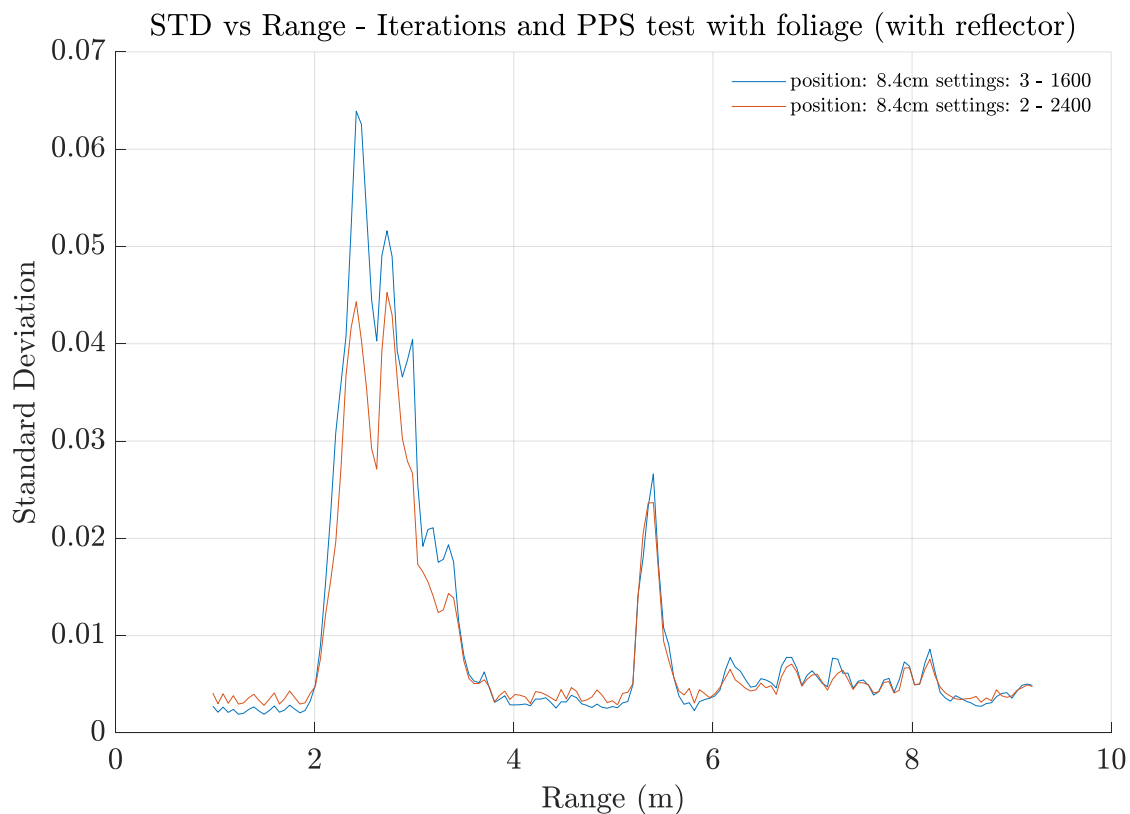
Εικόνα 3.44 Heatmap μέτρησης σε φύλλωμα, επαλήθευσης των παραμέτρων iteration & rps για θέση ανακλαστήρα 3λ.



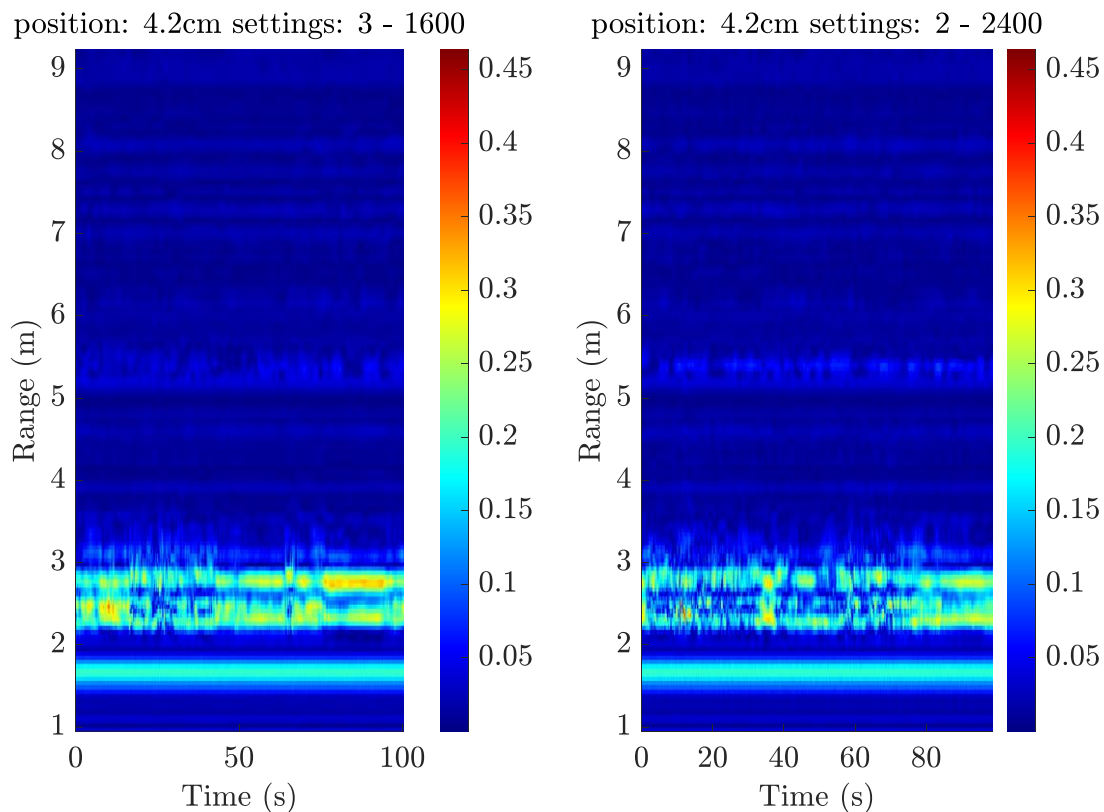
Εικόνα 3.45 Τυπική απόκλιση μέτρησης σε φύλλωμα, επαλήθευσης των παραμέτρων iteration & rps για θέση ανακλαστήρα 3λ.



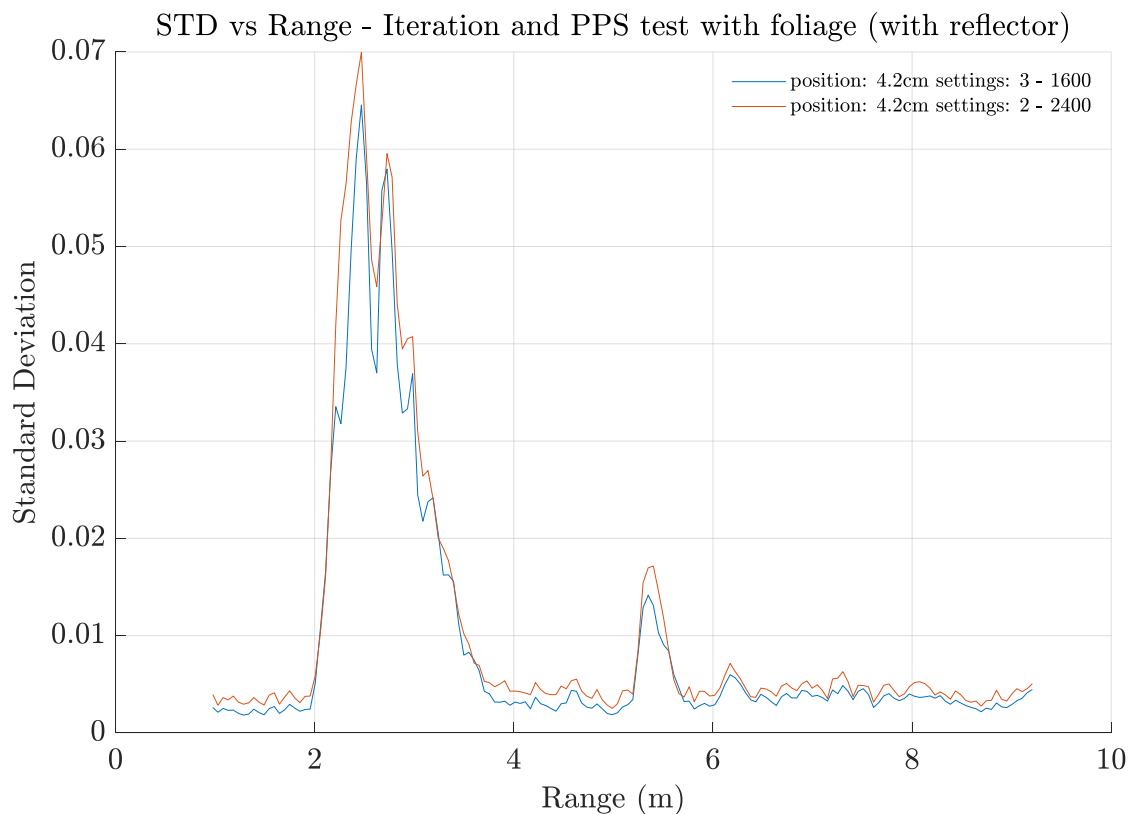
Εικόνα 3.46 Heatmap μέτρησης σε φύλλωμα, επαλήθευσης των παραμέτρων iteration & prp για θέση ανακλαστήρα 2λ.



Εικόνα 3.47 Τυπική απόκλιση μέτρησης σε φύλλωμα, επαλήθευσης των παραμέτρων iteration & prp για θέση ανακλαστήρα 2λ.



Εικόνα 3.48 Heatmap μέτρησης σε φύλλωμα, επαλήθευσης των παραμέτρων iteration & prps για θέση ανακλαστήρα λ.



Εικόνα 3.49 Τοπική απόκλιση μέτρησης σε φύλλωμα, επαλήθευσης των παραμέτρων iteration & prps για θέση ανακλαστήρα λ.



Εικόνα 3.50 Λόγος σήματος προς θόρυβο δοκιμαστικών μετρήσεων των συνδυασμών iterations – pps, σε φύλλωμα, με ανακλαστήρα παρουσία ανθρώπου στα 5.3m.

Όλα τα παραπάνω, επιβεβαιώνονται και από το λόγο του SNR στη θέση του ανθρώπου στα περίπου 5.5m όπου η 4^η περίπτωση έχει υψηλό πλάτος στην θέση αυτή περί τα 10.35 dB, ενώ στις υπόλοιπες θέσεις λαμβάνει πολύ χαμηλότερες τιμές (μειώνοντας έτσι το θόρυβο).

3.5.5 Θέση ανακλαστήρα

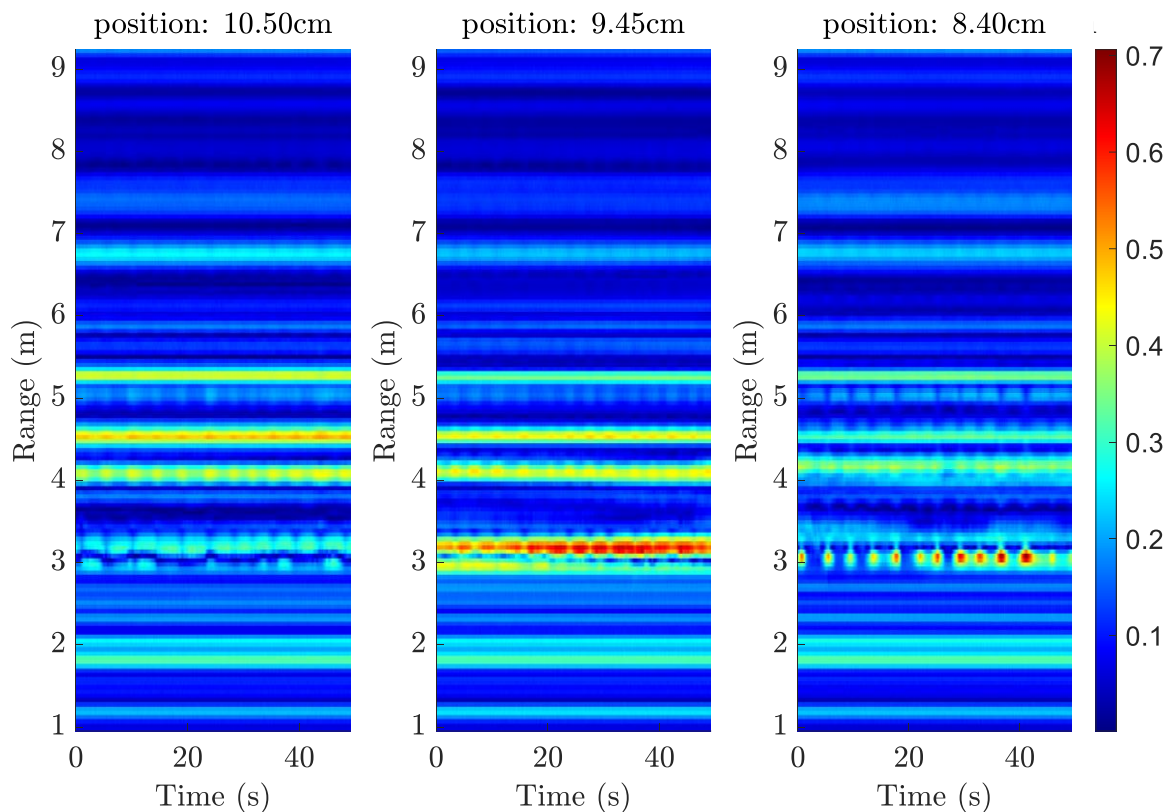
Η θετική επίδραση ενός ανακλαστήρα στη συνολική διάταξη, δεν έγκειται μόνο στο σχήμα και τις φυσικές του διαστάσεις, αλλά και στην απόσταση όπου τοποθετείται από την κεραία του ραντάρ. Διάφορα είδη ανακλαστήρων ελέγχθηκαν καθώς και ξεχωριστές θέσεις πάνω στον άξονα που είναι τοποθετημένο το ραντάρ. Οι αποστάσεις οι οποίες ελέγχθηκαν αναφορικά με την τοποθέτησή του δεν ήταν τυχαίες αλλά βασισμένες στο μήκος κύματος εκπομπής του ραντάρ, λ . Πιο συγκεκριμένα, για συχνότητα λειτουργίας 7.29 GHz το μήκος κύματος ορίζεται ως,

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{7.29 \cdot 10^9} \rightarrow \lambda \cong 0.042m \text{ ή } 4.2cm \quad (3.2)$$

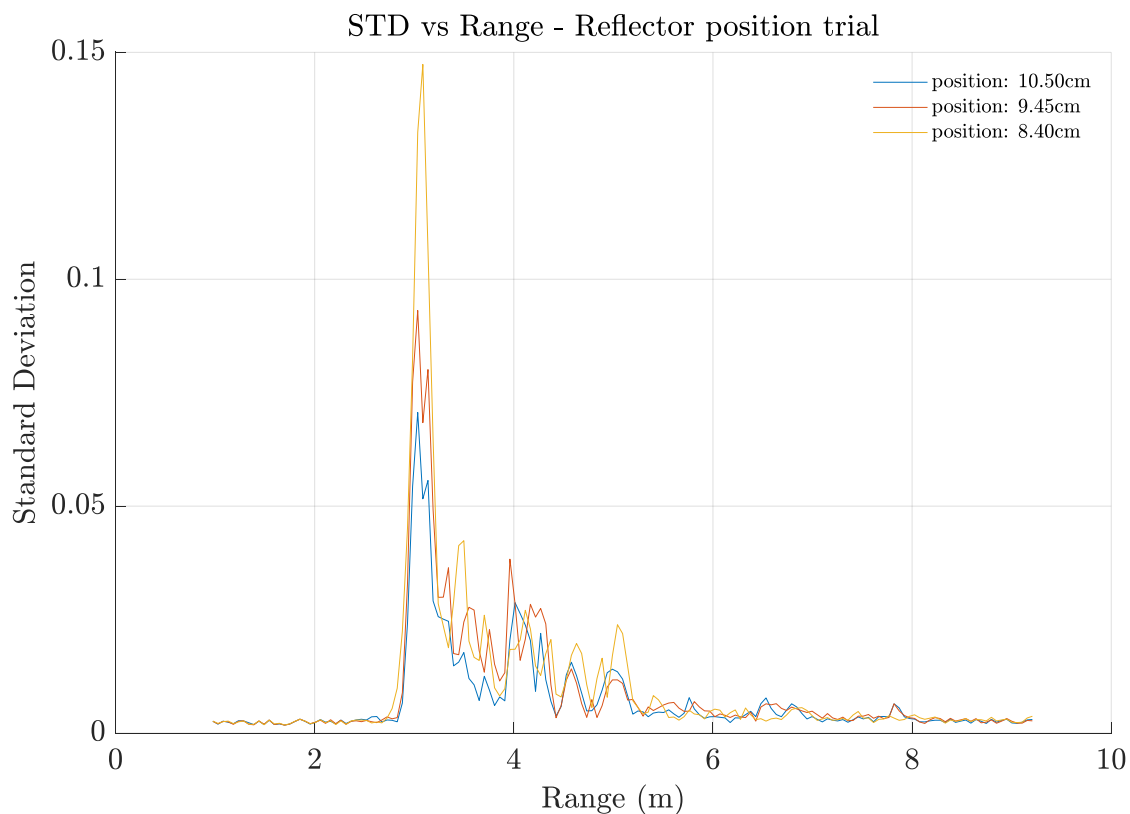
Οι δοκιμές έγιναν αρχικά σε αποστάσεις – μήκη από την κεραία του ραντάρ, πολλαπλάσια του μήκους κύματος λ προκειμένου να βρεθεί η βέλτιστη απόσταση, αποφεύγοντας το φαινόμενο της αποσβεστικής συμβολής των ανακλώμενων, με τα σήματα λήψης και ταυτόχρονα την ενίσχυση των εκπεμπόμενων κυμάτων. Λόγω της πληθώρας των δοκιμών θα παρουσιάσουμε παρακάτω τρεις ενδεικτικές δοκιμές για συνδυασμό iteration και pps 3 – 1600 αντίστοιχα.

Measurement No.	Reflector	Reflector position	Iterations	pps
1686148253	✓	$2\lambda + \lambda/2$	3	1600
1686148457	✓	$2\lambda + \lambda/4$	3	1600
1686148752	✓	2λ	3	1600

Πίνακας 3.6 Δοκιμές θέσης ανακλαστήρα ενδιάμεσων πολλαπλάσιων μήκους κύματος.



Εικόνα 3.51 Heatmaps δοκιμών θέσης ανακλαστήρα ενδιάμεσων πολλαπλάσιων μήκους κύματος $2\lambda + \lambda/2$ (αριστερά), $2\lambda + \lambda/4$ (κέντρο), 2λ (δεξιά).



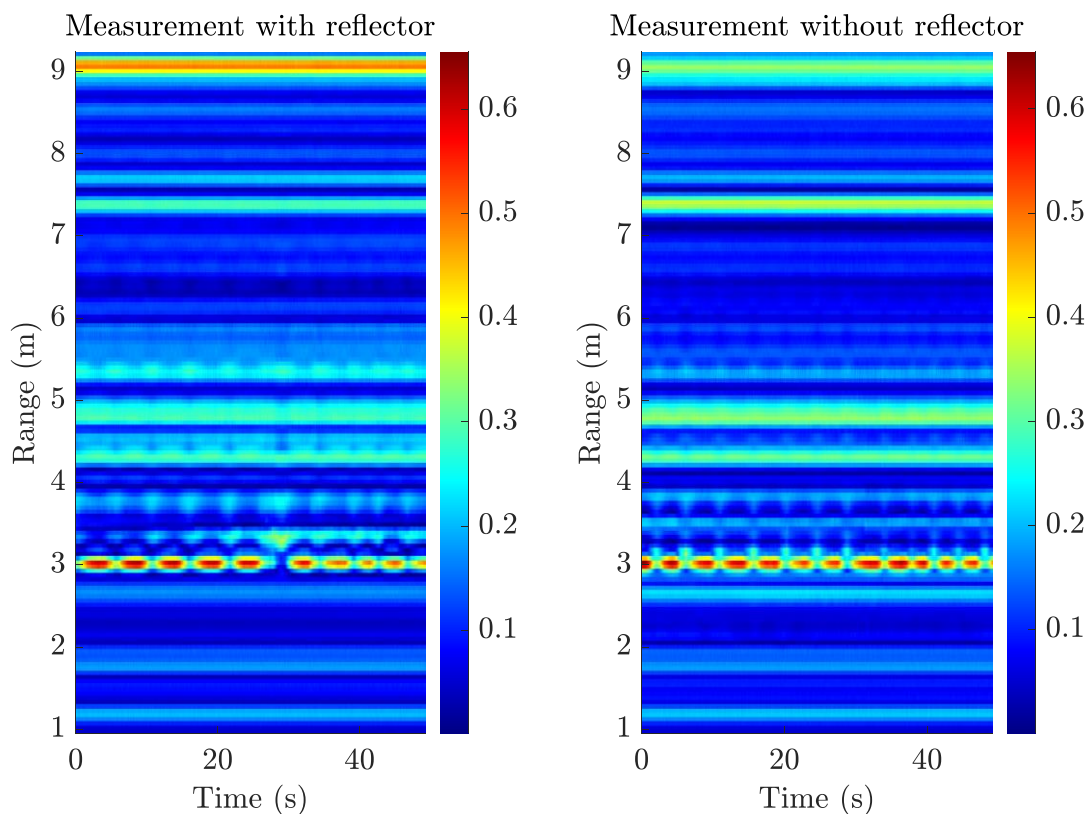
Εικόνα 3.52 Τυπική απόκλιση δοκιμών θέσης ανακλαστήρα ενδιάμεσων πολλαπλάσιων μήκους κύματος.

Σημείωση: Λόγω ακρίβειας της τοποθέτησης της θέσης του ανακλαστήρα από τη στρογγυλοποίηση του αποτελέσματος για το μήκος κύματος, αλλά και της δυσκολίας μέτρησης της ακριβούς απόστασης από την κεραία του ραντάρ, δεν πετυχαίνουμε πάντα αυτό που θα έπρεπε να δούμε θεωρητικά – πχ μηδενισμό του πλάτους – αλλά κάτι πολύ κοντά σε αυτό.

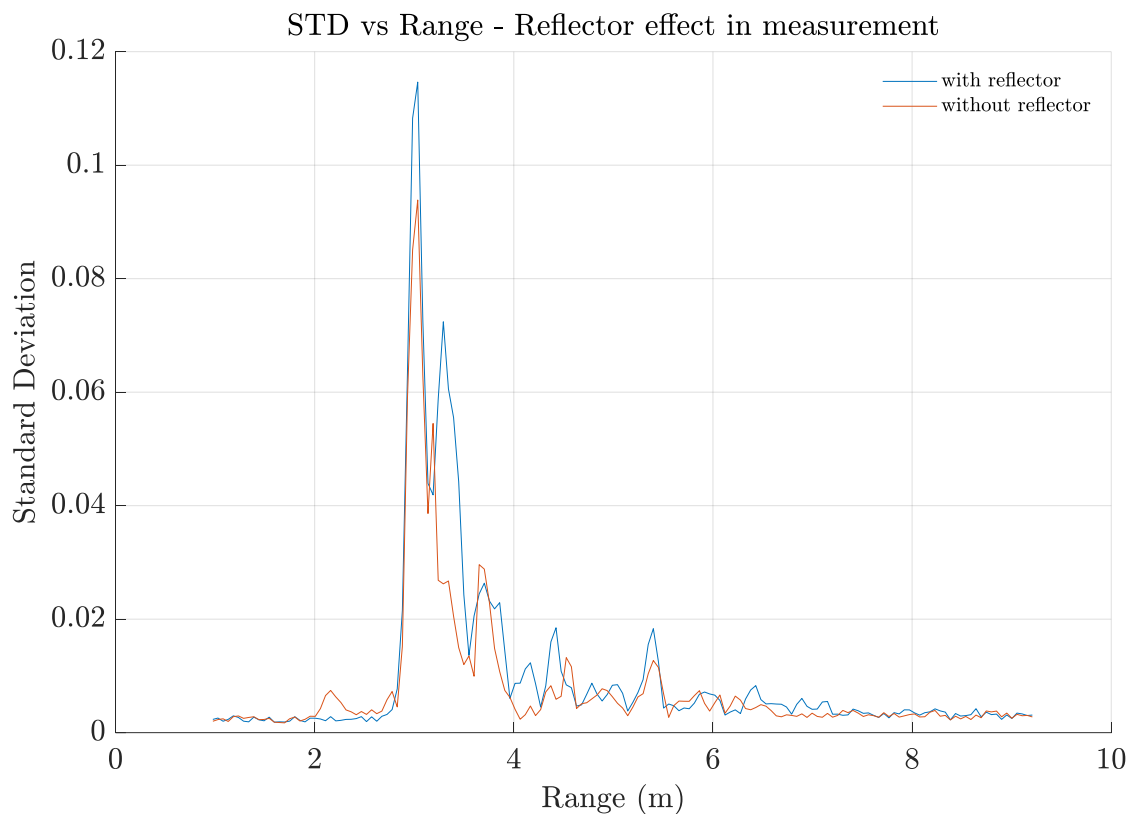
Πράγματι, από τα heatmap παρατηρούμε πως στη θέση 2λ, το μοτίβο της αναπνοής φαίνεται ξεκάθαρο, με τις τριγύρω ανακλάσεις να υπάρχουν αλλά να απεικονίζονται με μικρότερο πλάτος. Στη θέση $2\lambda + \lambda/2$, το πλάτος του μοτίβου της αναπνοής λόγω της αποσβεστικής συμβολής, όπως προκύπτει από τη θέση του ανακλαστήρα, έχει καταπιεστεί σε πολύ μεγάλο βαθμό στο σημείο του θώρακα (περισσότερες λεπτομέρειες στην παράγραφο 4.2), συγκριτικά με την εικόνα που έχουμε για το πλάτος, από την θέση 2λ. Τέλος, στη θέση $2\lambda + \lambda/4$, οι ανακλάσεις υπάρχουν σε μεγαλύτερο πλάτος, με το μοτίβο της αναπνοής να μην είναι ξεκάθαρο σχετικά με τις άλλες περιπτώσεις.

Η τυπική απόκλιση δίνει ένα σχεδόν διπλάσιο peak και μάλιστα πιο αιχμηρό σε σχέση με τις άλλες δύο περιπτώσεις παρόλο που ο ρυθμός αναπνοών παρέμεινε εσκεμμένα ίδιο και στις τρεις περιπτώσεις.

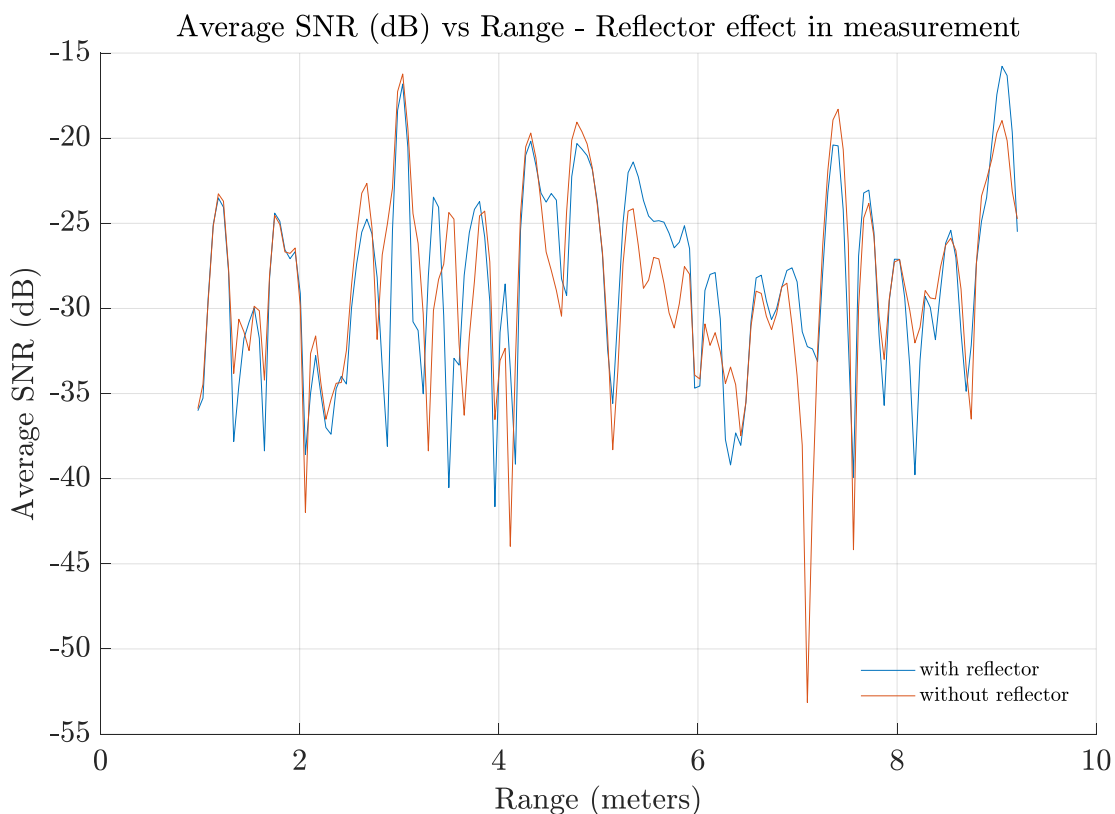
Από τα παραπάνω επιβεβαιώνουμε πως το φαινόμενο της συμβολής των ΗΜ κυμάτων, δρα θετικά όταν οι θέσεις είναι μόνο πολλαπλάσια του μήκους κύματος και όχι ενδιάμεσες τιμές. Λόγω αυτών των συμπερασμάτων – επιβεβαίωσης, προβήκαμε στις δοκιμές των θέσεων στα 3λ, έπειτα στα 2λ και στο λ. Βέλτιστη θέση και εδώ βρέθηκε η θέση για 2λ. Άξιο αναφοράς και σχολιασμού είναι η απόκρυψη του χειριστή και των ανακλάσεων του πίσω μέρους του ραντάρ, μέσω της προσθήκης του ανακλαστήρα όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 3.53 Heatmaps δοκιμών προσθήκης ανακλαστήρα, με άνθρωπο στα 3m (Μετρήσεις: 1686249127 αριστερά & 1686249944 δεξιά).



Εικόνα 3.54 Τυπική απόκλιση δοκιμών προσθήκης ανακλαστήρα, με άνθρωπο στα 3m (Μετρήσεις: 1686249127 & 1686249944).



Εικόνα 3.55 Λόγος σήματος προς θόρυβο δοκιμών προσθήκης ανακλαστήρα, με άνθρωπο στα 3m (Μετρήσεις: 1686249127 & 1686249944).

Από τα παραπάνω heatmaps, πίσω από το ραντάρ πριν την προσθήκη ανακλαστήρα (δεξιά heatmap) παρατηρούμε αμυδρά ένα μοτίβο αναπνοής κοντά στα 2.2m το οποίο αποτυπώνεται και

στη γραφική της τυπικής απόκλισης σε μεγαλύτερο βαθμό. Μετά την προσθήκη ανακλαστήρα, όλα είναι πιο καθαρά πίσω από το ραντάρ με το μοτίβο αναπνοής του χειριστή να έχει εξαφανιστεί. Ο θόρυβος συνολικά πίσω από αυτό έχει μειωθεί σε αρκετά σημεία, ενώ μετά τα 3m στις περισσότερες θέσεις όλα τα πλάτη έχουν ενισχυθεί.

3.5.6 Transmission power (tx_power)

Μια από τις σημαντικότερες ρυθμίσεις του ραντάρ είναι αυτή της ισχύος εκπομπής του. Η ισχύς αυτή, καθορίζει όχι μόνο το επίπεδο της ισχύος εκπομπής αλλά και της ισχύος λήψης του οπισθοσκεδαζόμενου σήματος, στο ραντάρ. Έδω λοιπόν έρχεται το δίλημμα της αύξησης της ισχύος και της συμπεριφοράς του θορύβου στο σήμα μας. Αυξάνοντας την ισχύ λήψης αυξάνεται μαζί και ο θόρυβος. Για τον λόγο αυτό, κρίθηκε απαραίτητη η μελέτη της συμπεριφοράς του ραντάρ στις ακόλουθες ρυθμίσεις της ισχύος εκπομπής,

- Επίπεδο ισχύος 0 ($tx_power = 0$), μηδενική ισχύς, ραντάρ τυπικά κλειστό
- Επίπεδο ισχύος 1 ($tx_power = 1$), ισχύς -0.7 dBm ή 0.85 mW
- Επίπεδο ισχύος 2 ($tx_power = 2$), ισχύς 4.1 dBm ή 2.57 mW
- Επίπεδο ισχύος 3 ($tx_power = 3$), ισχύς 6.3 dBm ή 4.27 mW

Όλα τα παραπάνω επιβεβαιώθηκαν από δοκιμές εντός εργαστηρίου [31], και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα για την μέγιστη ισχύ του εκπεμπόμενου παλμού κατά τα πρότυπα ETSI.

Parameter	Test level	Min	Typ	Max	Unit	Note
TX center frequency, ETSI/FCC compliant (FBDIV _{Tx} = 5)	IV		7.29		GHz	
	IV		8.748		GHz	
TX center frequency, KCC/FCC compliant (FBDIV _{Tx} = 6)	IV		8.748		GHz	
	IV		8.748		GHz	
TX bandwidth (-10 dB)	ETSI	III(tr)	1.4		GHz	
	KCC	III(tr)	1.5		GHz	
Energy per pulse	ETSI	Low	III(ti)	0.45	pJ	
		Medium	III(ti)	1.47	pJ	
		High	III(ti)	2.6	pJ	
	KCC	Low	III(ti)	0.3	pJ	
		Medium	III(ti)	0.9	pJ	
		High	III(ti)	1.7	pJ	
Peak pulse output power, ETSI	Low	III(tr)	-0.7		dBm	
	Medium	III(tr)	4.1		dBm	
	High	III(tr)	6.3		dBm	
Maximum pulse repetition frequency	IV			40.5	MHz	The pulse repetition frequency (PRF) is set by an integer division of the common PLL output, which has a nominal frequency of 243 MHz. The valid divider range is 6-255.
S22	V		< -10		dB	
Differential output impedance	V		100		Ohm	

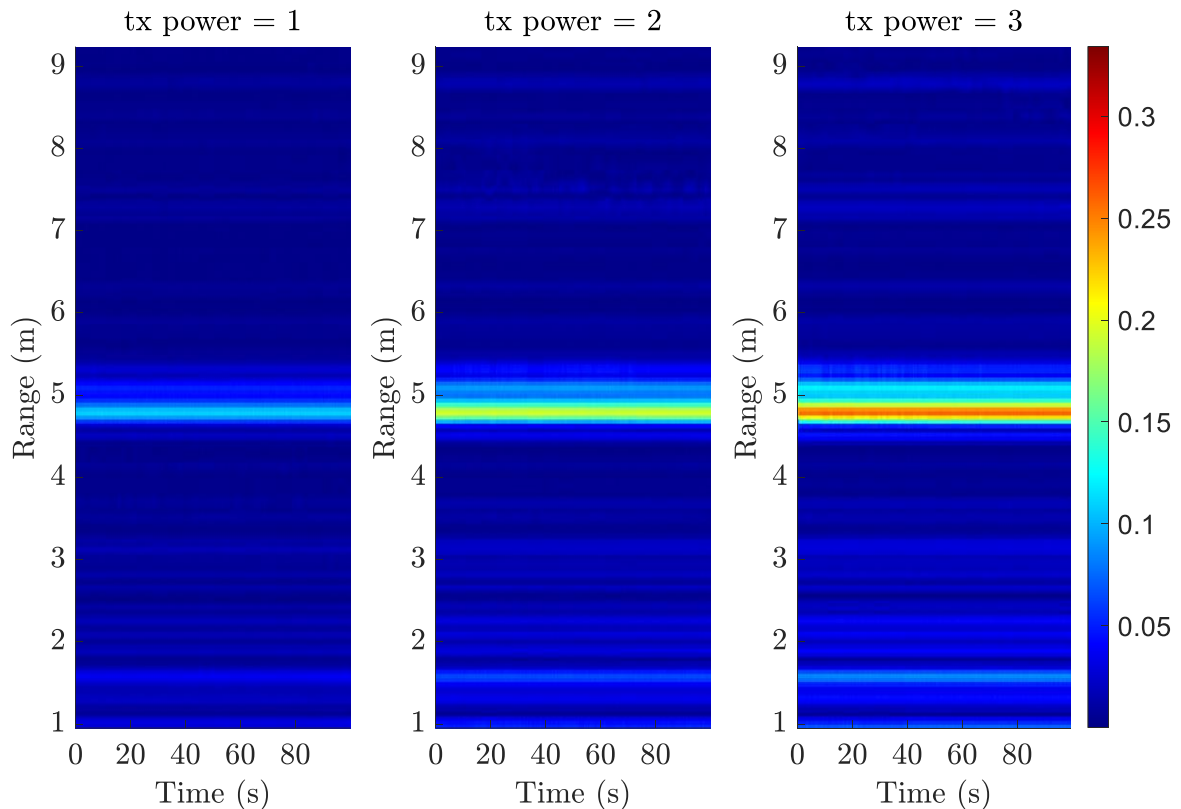
Πίνακας 3.7 Σύντομη αναφορά παραμέτρων εκπομπού. Πηγή: [31]

Παρακάτω θα δούμε τα αποτελέσματα δοκιμών σταθερού στόχου, για όλες τις ρυθμίσεις της εκπομπής ισχύος εντός της θήκης, για τον έλεγχο της μεταβολής του σήματος αλλά και των μεταβολών του επιπέδου του θορύβου.

<i>Measurement No.</i>	<i>Protective case</i>	<i>tx_power</i>	<i>target</i>
1680107241	✓	1	star
1680107468	✓	2	star
1680107653	✓	3	star

Πίνακας 3.8 Δοκιμές ρυθμίσεων εκπομπής ισχύος με στόχο και θήκη.

Παρακάτω, βλέπουμε πως για μέγιστη εκπομπή ισχύος έχουμε και το μέγιστο πλάτος στη θέση του σταθερού στόχου κοντά στα 5m, κάτι που ήταν αναμενόμενο.

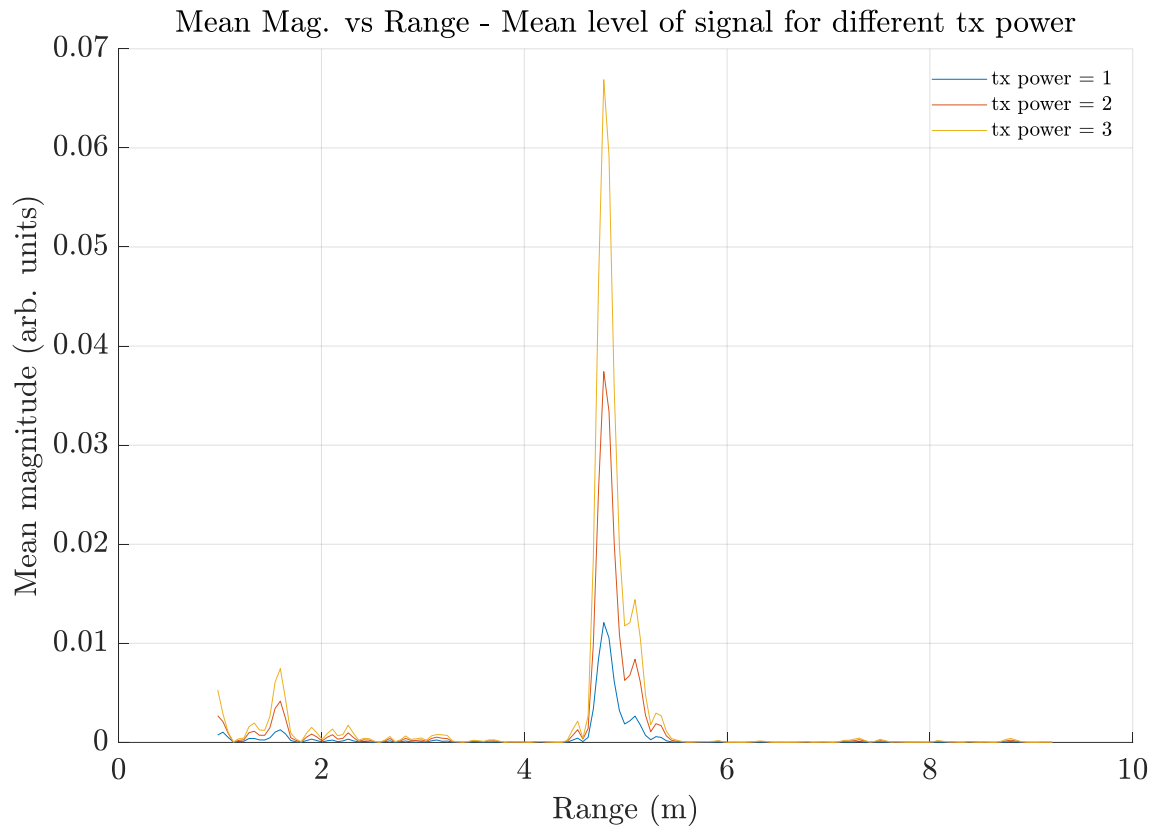


Εικόνα 3.56 Heatmaps σήματος για τις τρεις διαφορετικές ρυθμίσεις ισχύος εκπομπής.

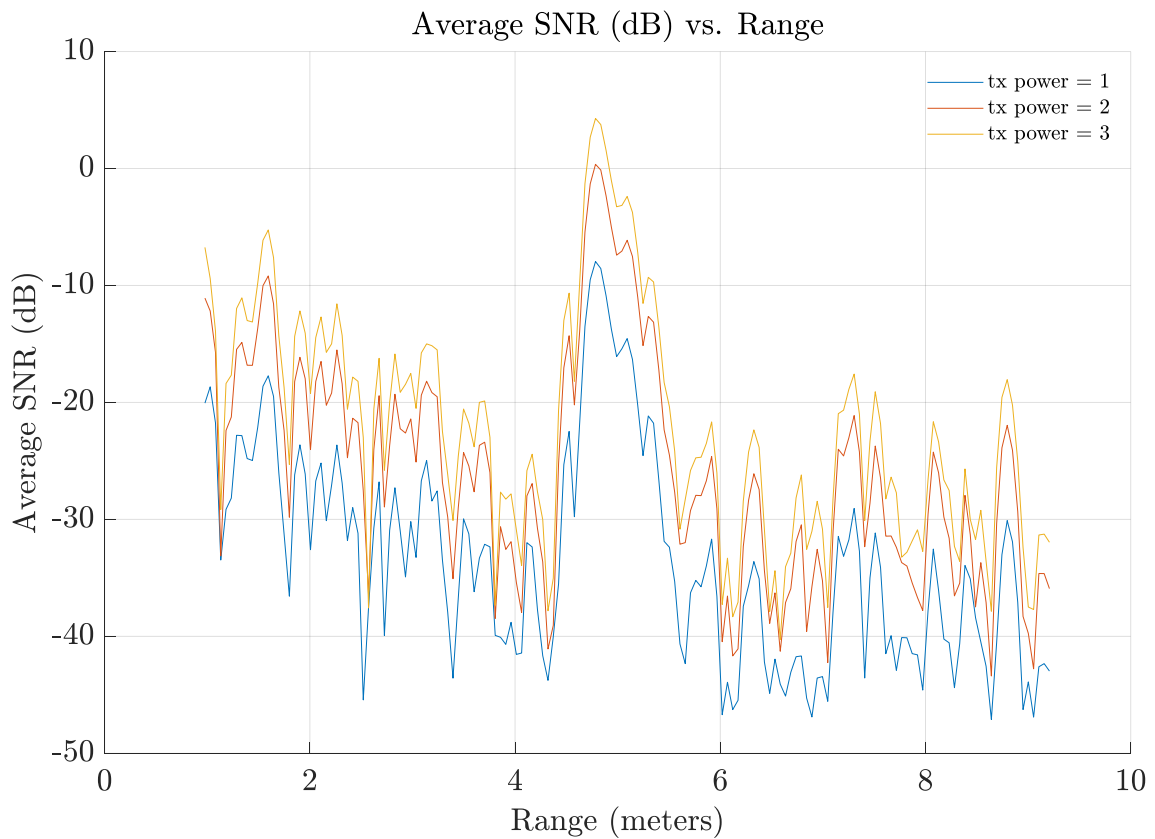
Ταυτόχρονα, το επίπεδο του θορύβου όπως παρατηρούμε στην επόμενη εικόνα δεν έχει επηρεαστεί αρκετά, συγκρίνοντάς το με τη θέση του σήματος στη θέση του στόχου που φέρει αρκετά υψηλότερη ενέργεια. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το επίπεδο του SNR για τρεις διαφορετικές ρυθμίσεις, όπου,

- για $tx\ power = 1$, επίπεδο SNR $-28.54\ dB$, επίπεδο θορύβου $-49.42\ dB$
- για $tx\ power = 2$, επίπεδο SNR $-25.33\ dB$, επίπεδο θορύβου $-46.94\ dB$
- για $tx\ power = 3$, επίπεδο SNR $-23.51\ dB$, επίπεδο θορύβου $-45.39\ dB$

Συνεπώς για μέγιστη εκπομπή ισχύος, $tx\ power = 3$ έχουμε τα καλύτερα αποτελέσματα με τον θόρυβο να παραμένει σχεδόν ίδιος.



Εικόνα 3.57 Μέση τιμή σήματος λήψης, για διαφορετικές ρυθμίσεις ισχύος εκπομπής.



Εικόνα 3.58 Λόγος SNR για διαφορετικές ρυθμίσεις ισχύος εκπομπής.

3.6 Σύνοψη ρυθμίσεων ραντάρ

Έπειτα από όλες τις παραπάνω δοκιμές μπορούμε να παραμετροποιήσουμε με τις καταλληλότερες ρυθμίσεις το ραντάρ και να προχωρήσουμε στην συλλογή του dataset. Μια σύνοψη των ρυθμίσεων παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα.

<i>Radar settings</i>	<i>Settings values</i>
<i>Average power</i>	6.3 dBm
<i>Transmission power (tx_power)</i>	3
<i>Centered frequency</i>	7.29 GHz
<i>Frequency region (tx_region)</i>	3
<i>Bandwidth</i>	1.4 GHz
<i>Resolution</i>	0.0514
<i>DAC minimum</i>	949
<i>DAC maximum</i>	1100
<i>Iterations</i>	2
<i>Pulses Per Step (PPS)</i>	2400
<i>Pulse Repetition Frequency (PRF)</i>	15.2 MHz
<i>Sampling Rate</i>	2.91 GHz
<i>Number of samples</i>	180
<i>Frames per second (FPS)</i>	≅ 16

Πίνακας 3.9 Σύνοψη σημαντικότερων ρυθμίσεων ραντάρ

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο Ανάλυση προβλήματος

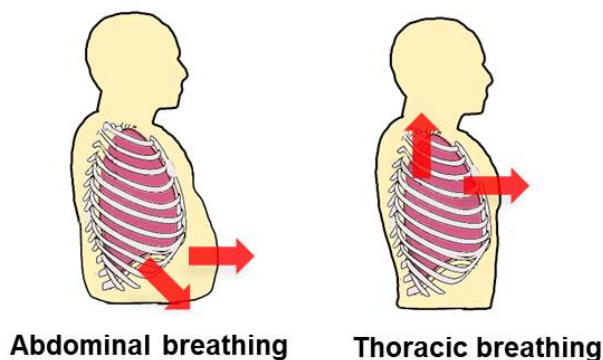
4.1 Πλαίσιο ερευνητικής εργασίας

Το ερευνητικό πλαίσιο στο οποίο πραγματευόμαστε έχει ως ορόσημο συγκεκριμένα *χαρακτηριστικά* που εμφανίζουν τα σήματα της κάθε μέτρησης, τα οποία προσπαθούμε να αναγνωρίσουμε, να εξάγουμε και την κατάλληλη παραμετροποίηση του ραντάρ όπως έχουμε ήδη αναφέρει. Στη συνέχεια, την επιλογή κατάλληλων μεθόδων αναπαράστασης του σήματος και μία κατηγοριοποίηση των χαρακτηριστικών που λαμβάνουμε. Εφόσον γίνει αυτή η κατηγοριοποίηση και είμαστε σε θέση να αναγνωρίσουμε το σήμα μέσω μίας οπτικής αναπαράστασης, τότε καθίσταται εφικτή και η αναγνώριση από ένα συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο αναγνώρισης εικόνων. Συνεπώς, χρειάζεται να μελετήσουμε το πώς επιδρά το κάθε αντικείμενο όπου βρίσκεται στον χώρο της μέτρησης, στο σήμα μας. Τρεις είναι οι κύριοι παράγοντες οι οποίοι θα μας απασχολήσουν. Ο πρώτος παράγοντας είναι η ανθρώπινη αναπνοή με το μοτίβο που εμφανίζει και διαφοροποιείται κάθε φορά, η οποία είναι το βασικό στοιχείο που μας ενδιαφέρει, ενώ ο δεύτερος και τρίτος παράγοντας είναι θόρυβος για το σήμα μας, καθώς μιλάμε για το φύλλωμα αλλά και τον άνεμο αντίστοιχα.

4.2 Ανθρώπινη αναπνοή και ραντάρ

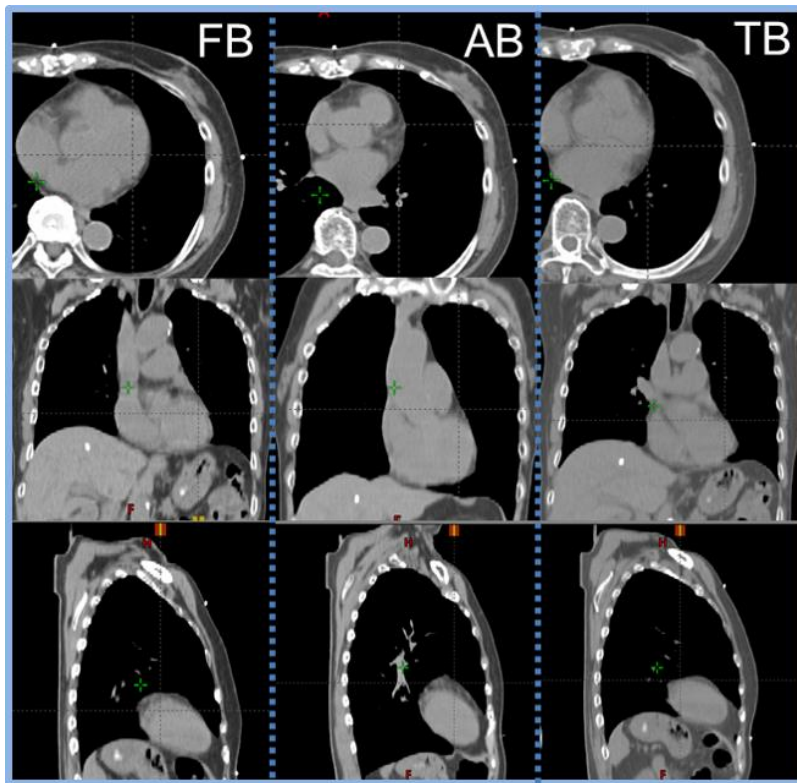
4.2.1 Μηχανισμός ανθρώπινης αναπνοής

Αν και η αναπνευστική κίνηση έχει μοντελοποιηθεί με διάφορους τρόπους, τα αποτελέσματα των διαφορετικών αναπνευστικών ελιγμών δεν είναι απόλυτα γνωστά. Η αναπνοή χωρίζεται σε δύο βασικούς τρόπους, την διαφραγματική και την θωρακική αναπνοή. Οι μύες που χρησιμοποιούνται στην διαφραγματική αναπνοή, όπως δηλώνει και το όνομά της, είναι το διάφραγμα για την εισπνοή. Η θωρακική αναπνοή από την άλλη, είναι μια μέθοδος αναπνοής που περιλαμβάνει κυρίως την κίνηση των πλευρών, όπου κατά την εισπνοή χρησιμοποιούνται οι εξωτερικοί μεσοπλεύριοι μύες [32].



Εικόνα 4.1 Σχήμα κοιλιακής και θωρακικής αναπνοής. Η διαφραγματική αναπνοή γίνεται με διαστολή της κοιλιάς μέσω διάφραγμα, ενώ η θωρακική αναπνοή με διαστολή του θώρακα. Πηγή: [32].

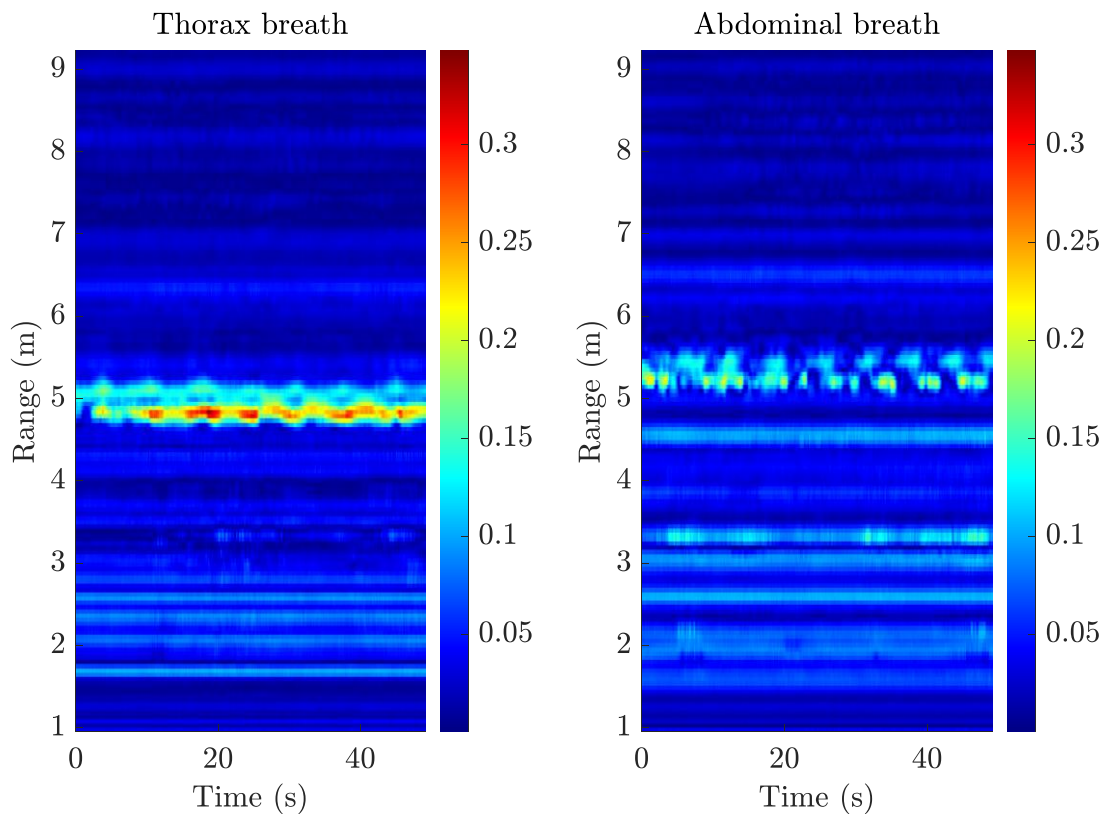
Η κίνηση και η παραμόρφωση του πνεύμονα κατά την ελεύθερη αναπνοή (FB), την διαφραγματική αναπνοή (AB) και την θωρακική αναπνοή (TB) παρουσιάζει διαφορά στον τρόπο απεικόνισης του σήματος στο ραντάρ μιας και σε κάθε περίπτωση διαφέρει η μετακίνηση του διαφράγματος με αποτέλεσμα την δημιουργία περισσότερου χώρου για τον εισπνεόμενο αέρα στους πνεύμονες. Στην περίπτωση AB, ο χώρος που δημιουργείται, είναι αρκετά περισσότερος από αυτόν της περίπτωσης TB κι αυτό, διότι το διάφραγμα μπορεί να διασταλεί περισσότερο απ' ό τι ο θώρακας κατά την εισπνοή.



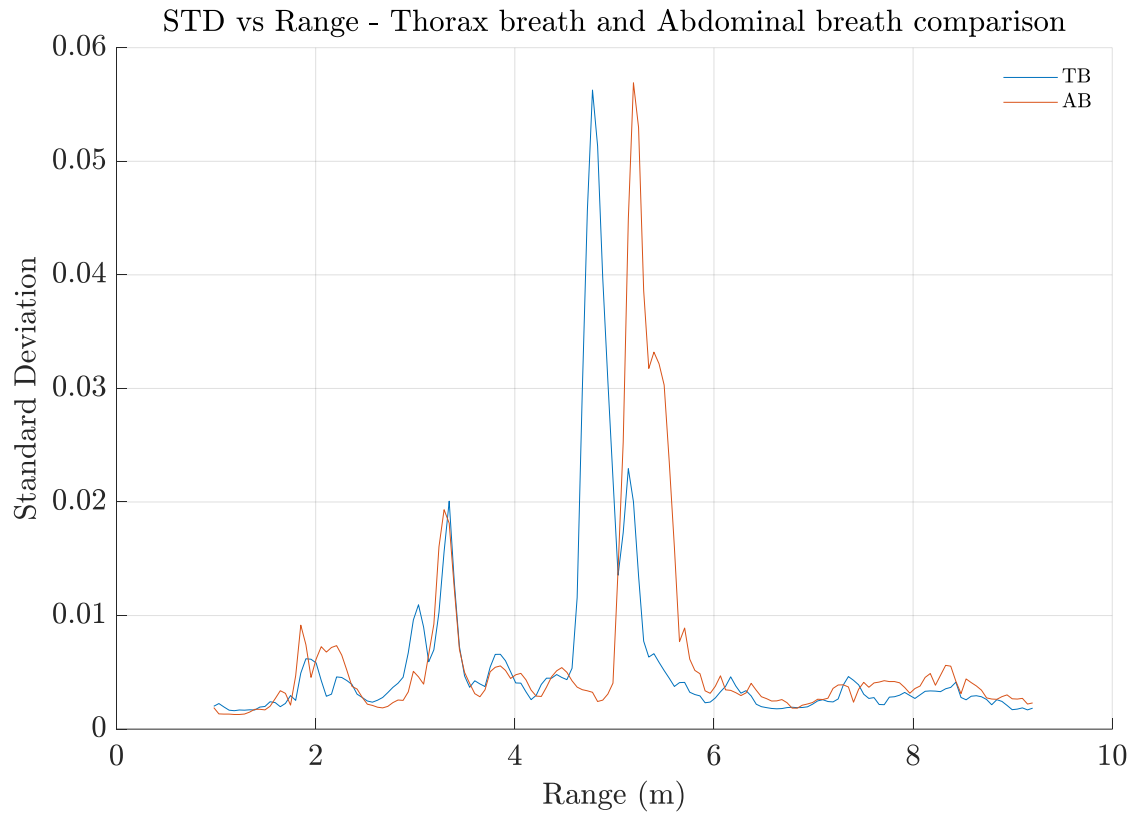
Εικόνα 4.2 Αξονική τομογραφία άνοψης, πρόσοψης και πλάγιας όψης θωρακικής και κοιλιακής περιοχής ανθρώπινου σώματος. Πηγή: [32]

4.2.2 Ραντάρ και αναπνοή

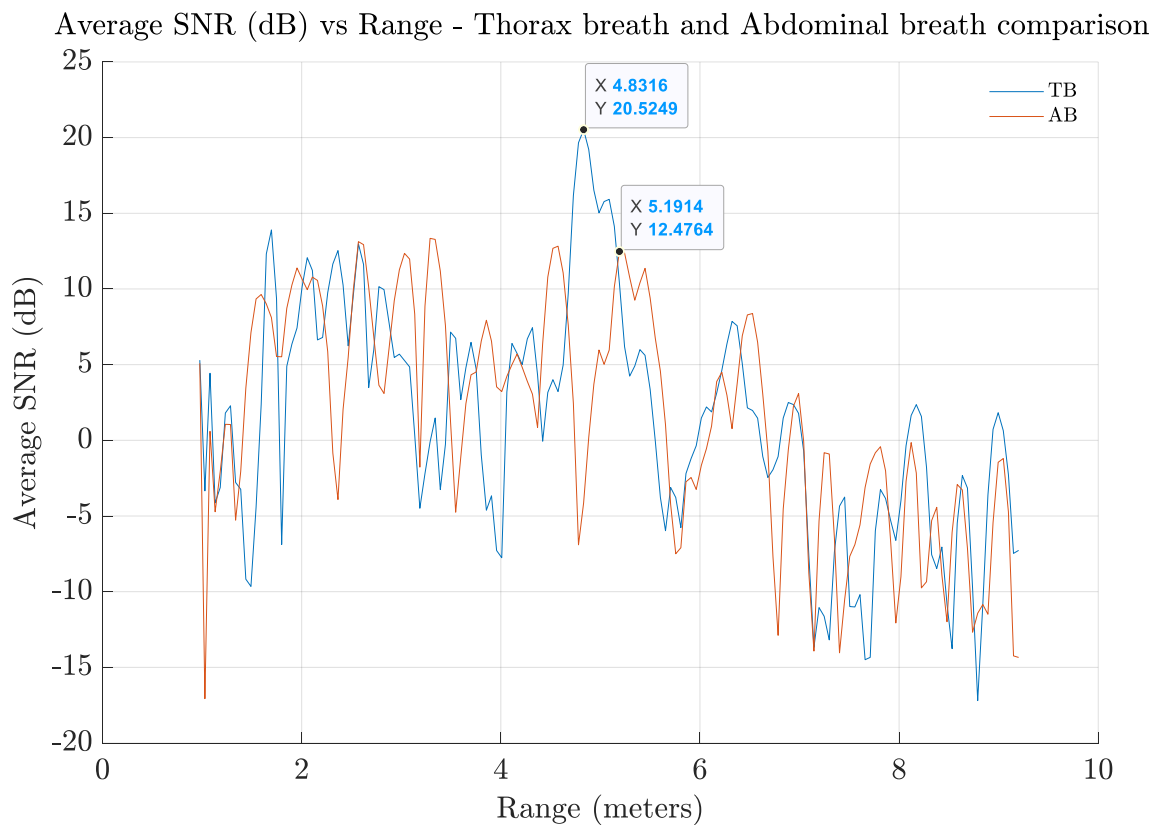
Στην περίπτωση της αναπνοής υπάρχει έντονη η μεταβολή της ανακλαστικότητας του σώματος στην περιοχή του θώρακα και της κοιλιάς. Με την εισπνοή η επιτρεπτότητα του [33], λαμβάνει την τιμή 17.7, ενώ στην εκπνοή 41.7, για συχνότητα εκπομπής στα 7.29 GHz.



Εικόνα 4.3 Heatmaps σήματος θωρακικής & κοιλιακής αναπνοής (Μετρήσεις: 1683116667 αριστερά & 1683116907 δεξιά.).



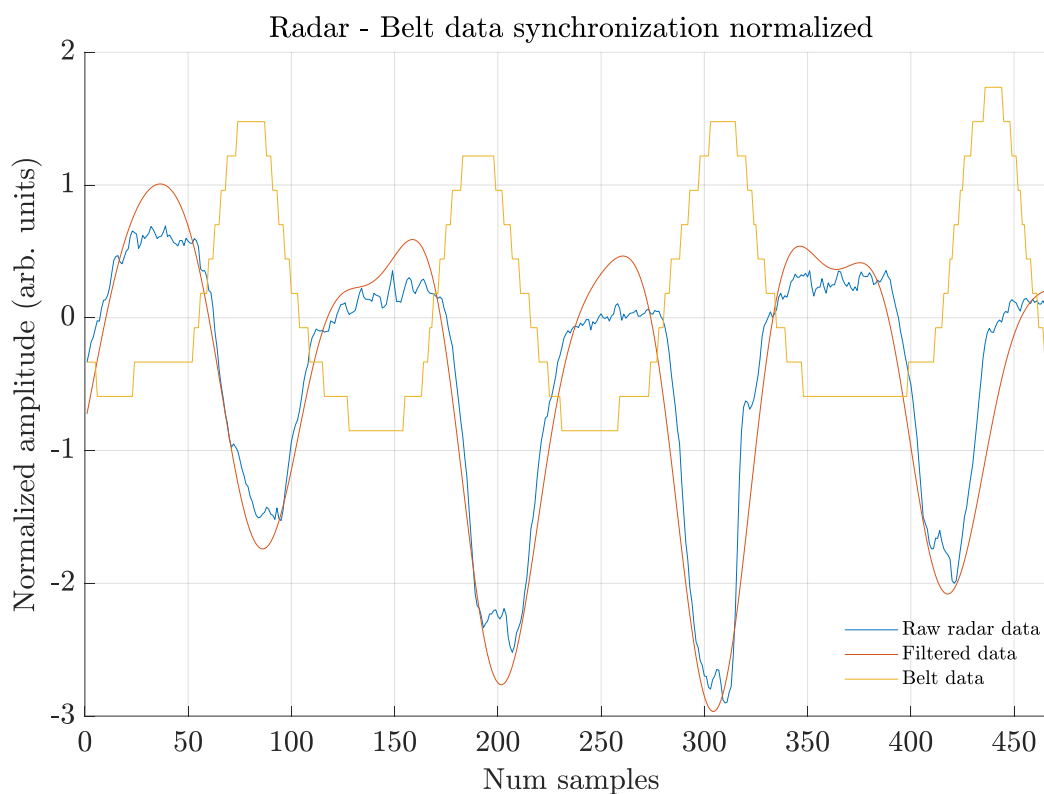
Εικόνα 4.4 Τυπική απόκλιση σήματος θωρακικής (TB) & κοιλιακής (AB) αναπνοής (Μετρήσεις: 1683116667 & 1683116907).



Εικόνα 4.5 Λόγος σήματος προς θόρυβο θωρακικής (TB) & κοιλιακής (AB) αναπνοής (Μετρήσεις: 1683116667 & 1683116907).

Στις παραπάνω μετρήσεις εκτελέστηκαν επιτηδευμένες αναπνοές θωρακικής και κοιλιακής αναπνοής με το υπό μέτρηση υποκείμενο στην ίδια ακριβώς θέση κάθε φορά. Από την τυπική απόκλιση βλέπουμε τις απομονωμένες κινήσεις θώρακα και διαφράγματος. Πράγματι, επιβεβαιώνουμε πως ο λόγος σήματος προς θόρυβο για την περίπτωση TB είναι υψηλότερος, διότι ο αέρας που εισέρχεται στο σώμα όπως προαναφέραμε είναι μικρότερης ποσότητας, άρα το σήμα παρουσιάζει μικρότερη εξασθένιση, με τιμή 20.5 dB . Αντίθετα, στην περίπτωση της AB έχουμε εξασθένιση περίπου 8 dB . Το διαφορετικό μοτίβο αναπνοής, υπάρχει διαφορετικά αποτυπωμένο και στα heatmap, όπου στην περίπτωση AB έχουμε χαμηλότερο πλάτος αλλά πολύ πιο καθαρό μοτίβο αναπνοών συγκριτικά με την περίπτωση TB.

Τα δύο peak που εμφανίζονται σε ορισμένες περιπτώσεις, οφείλονται στον απλούστατο λόγο του συνδυασμού και των δύο μεθόδων αναπνοής (FB), στον οποίο συμμετέχουν και το διάφραγμα και ο θώρακας, ακανόνιστα κάθε φορά. Ακριβώς αυτήν την αλλαγή θέλουμε να παρατηρήσουμε στο οπισθοσκεδαζόμενο σήμα. Τον εντοπισμό αυτό, μπορούμε να παρατηρήσουμε μέσω της ταυτόχρονης αναπαράστασης του σήματος του ραντάρ και της ζώνης αναπνοών.



Εικόνα 4.6 Συγχρονισμός δεδομένων ραντάρ – ζώνης (Μέτρηση: 1683817368).

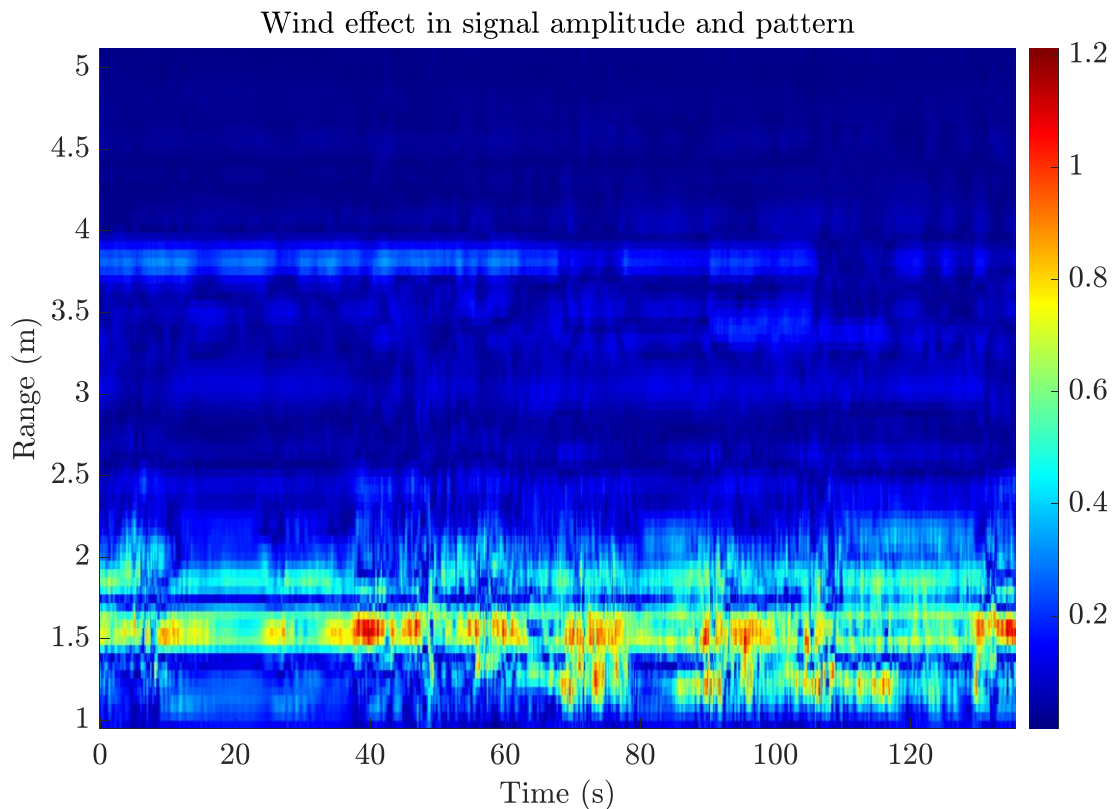
4.2.3 Συμπεριφορά φυλλώματος

Το φύλλωμα σε πλήρη άπνοια μπορεί να θεωρηθεί ως ένα στατικό εμπόδιο το οποίο με ευκολία διαπερνάται από τα σήματα του ραντάρ. Ανάλογα με την φύση του, το είδος του φυλλώματος και την πυκνότητά του, μπορεί να επηρεαστεί εύκολα ή δύσκολα από τον άνεμο. Η επίδραση αυτή, αποτυπώνεται σε κίνηση των φύλλων αλλά και των κλαδιών είτε μιλάμε για μέρος δέντρου είτε θάμνου. Ο τρόπος με τον οποίο θα κινηθεί το φύλλωμα έχει να κάνει εκτός των ανωτέρων, με την ποιότητα και ποσότητα του ανέμου. Φυσικά όταν κινείται ένα κλαδί πάντα εκτελεί περιοδική κίνηση για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, αφού πάντα το έλκει προς το κέντρο του η βάση του κλαδιού. Παρατηρήθηκε πως φυλλώματα κινούνται με μεγάλη ποικιλία

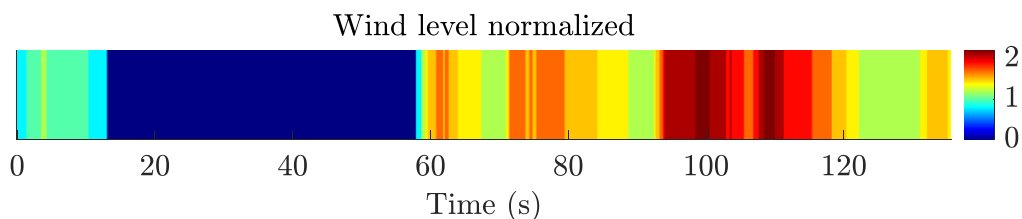
συχνοτήτων – δηλαδή πόσο χρόνο χρειάζεται για να εκτελέσει μία πλήρη κίνηση ταλάντωσης. Εν ολίγοις, δεν είμαστε σε θέση να φιλτράρουμε, αργότερα, το σήμα μας ως προς τις συχνότητες του φυλλώματος καθώς δεν μπορούμε να τις προσδιορίσουμε με ευκολία. Ένα ακόμη στοιχείο που μας δυσκολεύει, είναι το φαινόμενο του ghosting ή cluttering, δηλαδή το φύλλωμα επηρεάζει την απεικόνιση του ανθρώπου, ακόμα και αν απέχουν αρκετά μεταξύ τους. Όσο μεγαλύτερος και πυκνότερος είναι ο θάμνος ή το δέντρο που εξετάζουμε, τόσο πιο έντονο είναι το παραπάνω φαινόμενο.

4.2.4 Επίδραση ανέμου

Ο άνεμος δρα καθοριστικά στο σήμα μας διότι σε αυτόν οφείλεται η κίνηση του φυλλώματος, άρα και του θορύβου. Σε περιπτώσεις απόλυτης άπνοιας, θα μπορούσαμε να πούμε πως το πρόβλημα εύρεσης του ανθρώπου περιορίζεται σε ακίνητο στόχο, γεγονός που κάνει την επίλυσή του αρκετά ευκολότερη. Δυστυχώς όμως, συνθήκες μηδενικού ανέμου είναι εξαιρετικά σπάνιο να έχουμε κατά τη μέτρηση ή καθ' όλη τη μέτρηση καθώς επίσης δεν αποτελεί ρεαλιστικό σενάριο σε περιπτώσεις διάσωσης. Συνήθως υπάρχουν δύο περιπτώσεις ανεμολογικών συνθηκών, η μία να υπάρχει άνεμος σταθερής ταχύτητας και κατεύθυνσης και η άλλη περίπτωση να υπάρχει άπνοια σε συνδυασμό απότομων ριπών αέρα. Παρακάτω μπορούμε να δούμε την επίδραση που έχει στο σήμα μας ο αέρας.



Εικόνα 4.7 Heatmap δοκιμής μέτρησης με άνεμο (Μέτρηση: 1688729232)



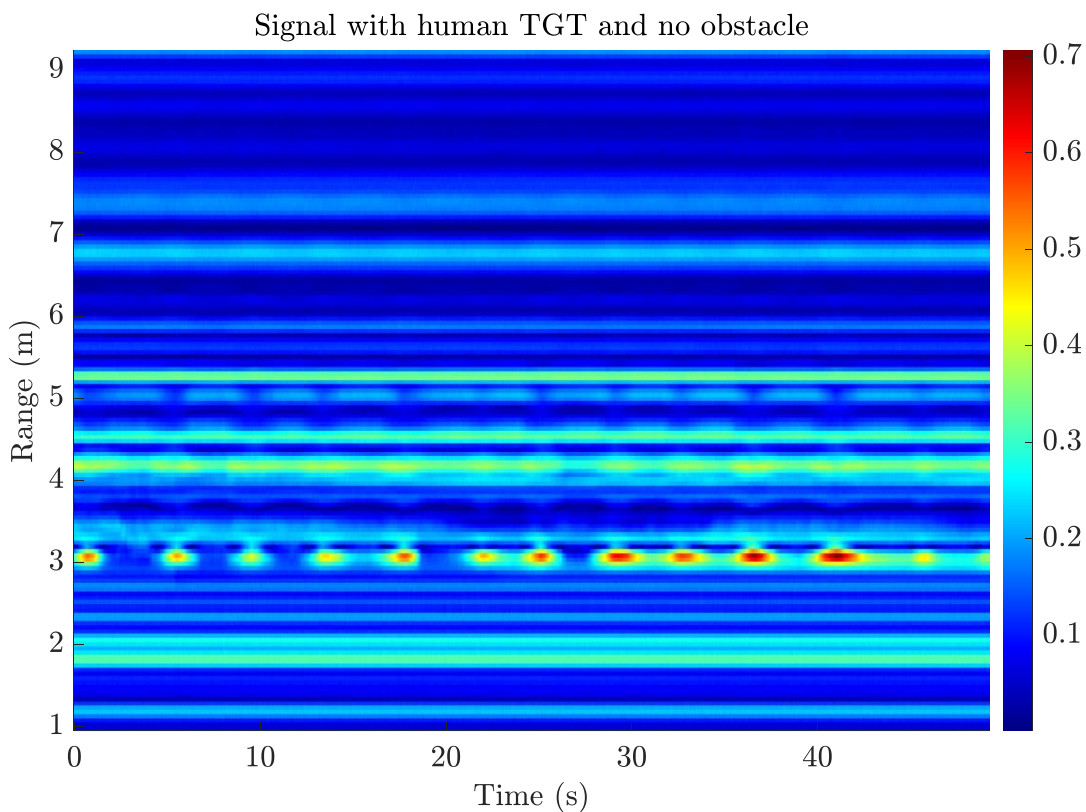
Εικόνα 4.8 Ένταση ανέμου (Μέτρηση: 1688729232)

4.2.5 Διαβάθμιση δυσκολίας του προβλήματος

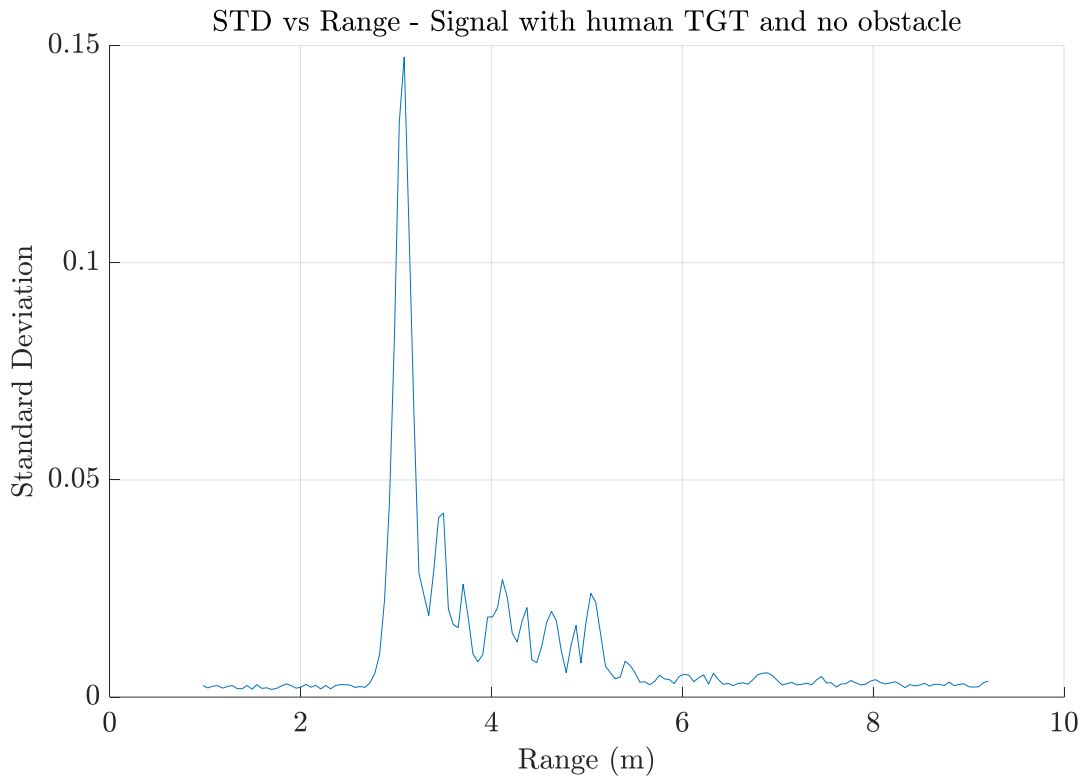
Για να προσεγγίσουμε το πρόβλημα, χρειάζεται πρώτα μελετήσουμε το φαινόμενο σε μέρη με διαβαθμισμένη δυσκολία. Αρχικά θα μελετήσουμε την συμπεριφορά του ανθρώπου, όπως αυτή καταγράφεται στο ραντάρ, χωρίς κάποιο εμπόδιο. Στη συνέχεια θα δούμε πως επιδρά ένα σταθερό εμπόδιο στην αναγνώριση του ανθρώπου και τελικά την συνεισφορά του δυναμικού στοιχείου του εμποδίου (φύλλωμα) στην εύρεση του ανθρώπου.

4.2.5.1 Αναγνώριση ανθρώπινης παρουσίας χωρίς εμπόδιο

Το σήμα φαίνεται πεντακάθαρο σε μέτρηση χωρίς εμπόδιο. Έντονα αποτυπωμένο πλάτος παρατηρείται μόνο στην θέση όπου βρίσκεται τοποθετημένο το υποκείμενο, ενώ σε όλες τις υπόλοιπες αποστάσεις τα πλάτη είναι σχεδόν μηδενικά, με εξαίρεση ορισμένες θέσεις όπου υπήρχαν αντικείμενα τα οποία επέστρεφαν μια μέσου επιπέδου ανάκλαση, παρόλα αυτά σταθερή. Με βεβαιότητα μπορούμε να υποθέσουμε τη θέση του στόχου και να μετρήσουμε τις αναπνοές του.



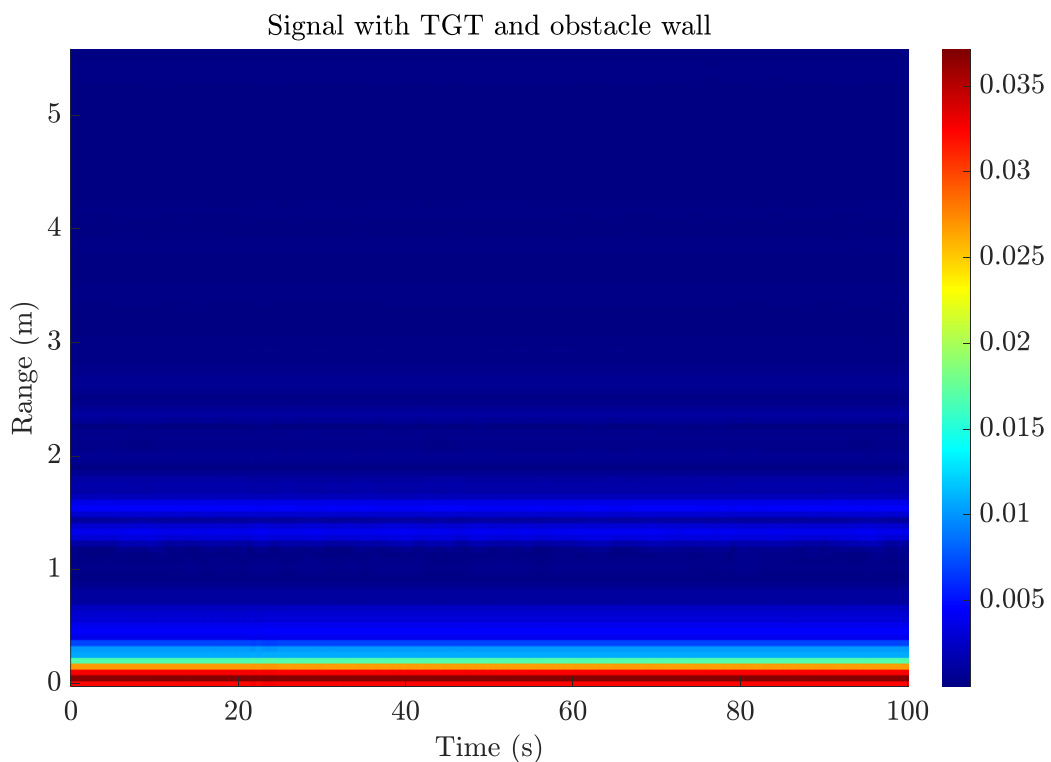
Εικόνα 4.9 Πλάτος σήματος ραντάρ με στόχο άνθρωπο, χωρίς εμπόδιο (Μέτρηση: 1686148752).



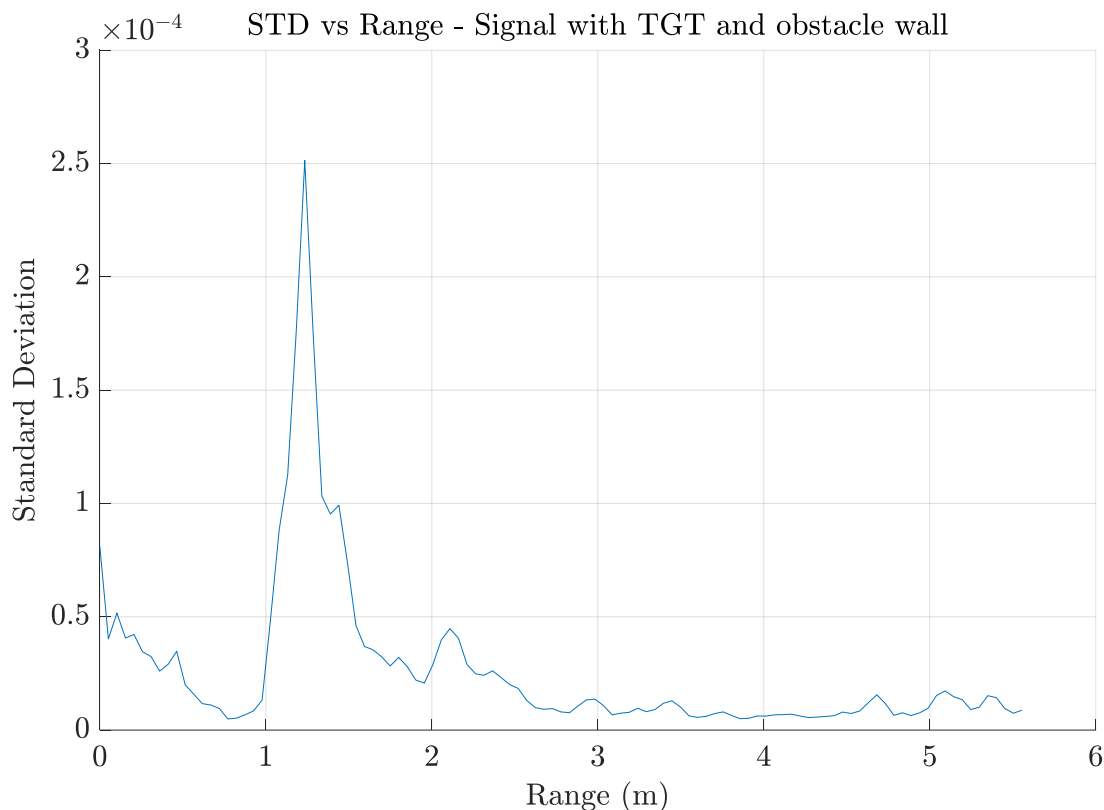
Εικόνα 4.10 Τυπική απόκλιση σήματος ραντάρ με στόχο άνθρωπο, χωρίς εμπόδιο (Μέτρηση: 1686148752).

4.2.5.2 Αναγνώριση ανθρώπινης παρουσίας με σταθερό εμπόδιο

Όπως είναι λογικό, το σήμα του ραντάρ εξασθενεί όταν χρειάζεται να διέλθει μέσα από κάποιο εμπόδιο. Εισάγοντας, λοιπόν, τείχο για εμπόδιο μεταξύ ραντάρ και ανθρώπου, έχουμε διαφορετική συμπεριφορά στο σήμα που λαμβάνουμε πίσω στην κεραία του ραντάρ.



Εικόνα 4.11 Heatmap σήματος ραντάρ με στόχο άνθρωπο και εμπόδιο τείχο.

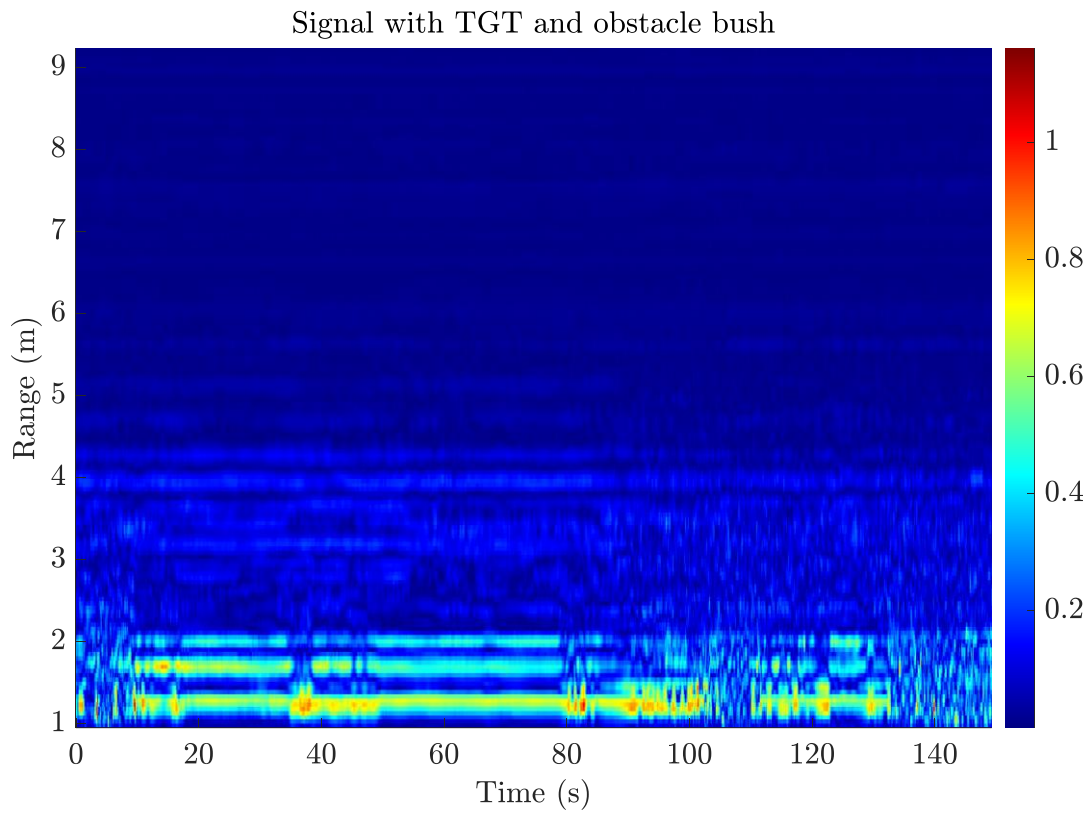


Εικόνα 4.12 Τυπική απόκλιση σήματος ραντάρ με στόχο άνθρωπο και εμπόδιο τοίχο.

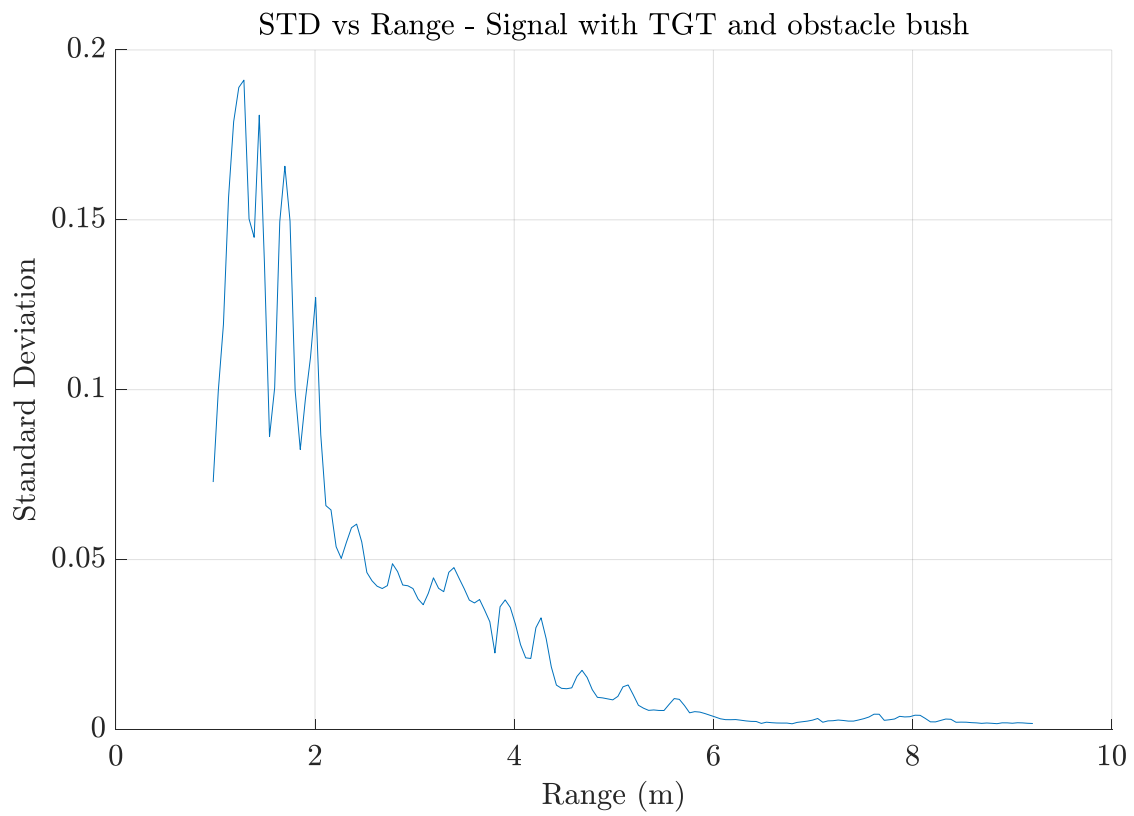
Στην περίπτωση αυτή το heatmap δεν μπορεί να δώσει κάποια ξεκάθαρη πρόβλεψη της θέσης ή της αναπνοής του υποκειμένου. Αυτό διότι η υψηλή ανάκλαση που δεχόμαστε από τον τοίχο εκτός του ότι εξασθενεί αρκετά το σήμα, αλλάζει το scale του πλάτους με αποτέλεσμα να χρειάζεται περαιτέρω επεξεργασία (πχ Z – score κανονικοποίηση κ.α.) συνεισφέροντας στην δυσκολία αναγνώρισης της θέσης. Η τυπική απόκλιση όμως, επειδή το εμπόδιο είναι σταθερό, καταπιέζει όλα τα υψηλά πλάτη στις θέσεις όπου δεν υπάρχει κίνηση, αποκαλύπτοντας την θέση του υποκειμένου λόγω της αναπνοής.

4.2.5.3 Αναγνώριση ανθρώπινης παρουσίας με δυναμικό εμπόδιο

Τέλος, η δυσκολία μεγιστοποιείται όταν το εμπόδιο είναι δυναμικό, δηλαδή αλλάζει στο χρόνο. Η κίνηση του εμποδίου (εδώ φύλλωμα) ανατρέπει αρκετά την προσέγγιση που είχαμε μέχρι και την προηγούμενη υπό-παράγραφο. Τώρα, χρειάζεται να λάβουμε και άλλα στοιχεία υπόψιν όπως είναι η χωρική διάταξη του πειράματος, δηλαδή πάντα έχουμε πρώτα το εμπόδιο και μετά τον άνθρωπο, το συχνοτικό περιεχόμενο της κίνησης του εμποδίου, αλλά και το είδος της κίνησης (εκτεταμένη περιοδικότητα και συγκεκριμένη τροχιά).



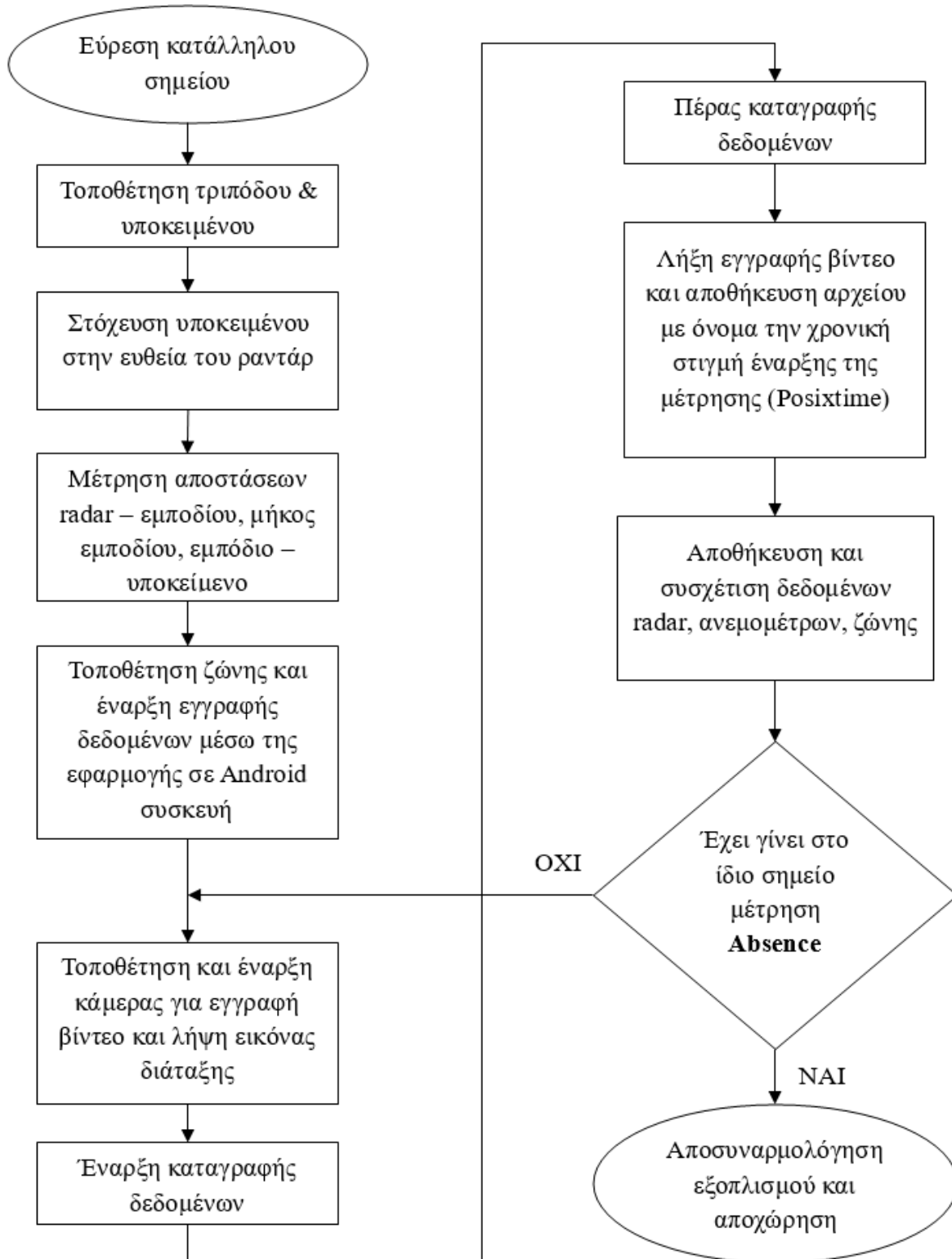
Εικόνα 4.13 Heatmap σήματος ραντάρ με στόχο άνθρωπο και εμπόδιο θάμνο.



Εικόνα 4.14 Τυπική απόκλιση σήματος ραντάρ με στόχο άνθρωπο και εμπόδιο θάμνο.

4.3 Διαδικασία μέτρησης

Η συλλογή των μετρήσεων χρειάζεται να έχει ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά, ώστε το dataset να είναι σωστό και χωρίς διαφοροποιήσεις. Παρακάτω, θα περιγράψουμε την διαδικασία των μετρήσεων ως προς την χρήση του Matlab, τοποθέτηση του στόχου – ραντάρ – εμποδίου στον χώρο και την διαδικασία αποθήκευσης και συσχέτισης των δεδομένων. Το παρακάτω διάγραμμα ροής, περιγράφει την σειρά εκπόνησης όλων των διαδικασιών.



Εικόνα 4.15 Διάγραμμα ροής διαδικασίας μέτρησης.

4.3.1 Χρήση Matlab

Η διαδικασία της μέτρησης πραγματοποιείται με τη χρήση του Matlab, όσον αφορά στα ανεμόμετρα και το ραντάρ. Χρειάζεται να έχουμε ανοιχτά δύο παράθυρα του προγράμματος, ώστε να μπορούν να «τρέχουν» παράλληλα. Σε αυτό το σημείο, να σημειωθεί πως για την ομαλή εγγραφή των δεδομένων του ραντάρ, αποθηκεύουμε κάθε 800 δείγματα σε ένα *workspace* του Matlab και τα ενώνουμε κατά τον τερματισμό της εγγραφής, έτσι ώστε ασχέτως της συνολικής διάρκειας της μέτρησης να εξασφαλίσουμε ομαλή ροή και να αποφύγουμε τυχόν κατάρρευση του προγράμματος. Για να έχουμε σταθερή διάρκεια σε όλες τις μετρήσεις, πρώτα ξεκινάμε την εγγραφή των ανεμολογικών δεδομένων και έπειτα του ραντάρ για διάρκεια ίση με 3 *workspaces* (αντιστοιχεί σε περίπου 150 δευτερόλεπτα). Μόλις το ραντάρ ολοκληρώσει την εγγραφή και σταματήσει, ειδοποιεί τον χειριστή με έναν χαρακτηριστικό ήχο και στη συνέχεια τον προτρέπει να συμπληρώσει τις λεπτομέρειες της μέτρησης. Αυτές είναι ο τύπος της μέτρησης, εάν δηλαδή πρόκειται για μέτρηση με άνθρωπο πίσω από φύλλωμα ή όχι και σε περίπτωση παρουσίας ανθρώπου τις αποστάσεις μεταξύ ραντάρ – θάμνου και θάμνου – ανθρώπου, καθώς και το μήκος του θάμνου. Στη συνέχεια πραγματοποιείται αποθήκευση σε ορισμένο φάκελο του υπολογιστή, ενώ ταυτόχρονα σταματά η μέτρηση των ανεμομέτρων στο δεύτερο παράθυρο Matlab.

4.3.2 Αποθήκευση και συσχέτιση δεδομένων μέτρησης

Για να μπορέσει να εκτελεστεί επόμενη μέτρηση θα πρέπει πρώτα να συσχετιστούν τα δεδομένα του ραντάρ με αυτά των ανεμομέτρων. Αυτό γίνεται με ένα επιπλέον script που έχει αναπτυχθεί, το «*windData_matching.m*», όπου ταιριάζει τα δεδομένα μεταξύ τους, βάσει των χρονικών στιγμών της λήψης τους. Ένα σημείο που αξίζει να σημειωθεί είναι πως το ραντάρ λαμβάνει δεδομένα 17 φορές το δευτερόλεπτο, ενώ τα ανεμόμετρα 4 φορές το δευτερόλεπτο. Για να γίνει συσχέτιση λοιπόν, επαναλαμβάνουμε κάποια δεδομένα των ανεμομέτρων, ώστε να δημιουργήσουμε πλασματικά τον ίδιο αριθμό δειγμάτων ανά δευτερόλεπτο στις δύο μετρήσεις. Στη συνέχεια μπορούμε να αντιστοιχήσουμε τις μετρήσεις μέσω του προαναφερθέντος κώδικα. Φυσικά αποθηκεύουμε τα συσχετισμένα δεδομένα μέσω του κώδικα «*windData_storing.m*» αλλά και τα αρχικά δεδομένα, ώστε να μπορούμε να ανατρέξουμε σε αυτά εάν χρειαστεί στο μέλλον.

Το ίδιο πρόβλημα αντιμετωπίσαμε στην συσχέτιση των δεδομένων της ζώνης με του ραντάρ, αφού η ζώνη αποθηκεύει 18 δείγματα το δευτερόλεπτο.

4.3.3 Χωρική διάταξη της μέτρησης

Η διάταξη της μέτρησης στον χώρο έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά. Αρχικά ο χώρος επιλέγουμε να μην έχει εμπόδια, μεταλλικές κατασκευές, αρκετά ανώμαλο έδαφος και περαστικούς ανθρώπους. Το τρίποδο του ραντάρ τοποθετείται σε απόσταση συγκεκριμένη πίσω από τον θάμνο, συνήθως 1 μέτρο. Ο θάμνος προσέχουμε να έχει πλάτος από 1 μέχρι 3 μέτρα, ενώ ο άνθρωπος στέκεται ακίνητος και όρθιος σε διάφορες αποστάσεις μετά το τέλος του θάμνου, κοιτώντας το ραντάρ. Μερικά μέτρα μακριά στήνεται επίσης το δεύτερο τρίποδο για την βιντεοσκόπηση. Ο υπολογιστής συνδέεται με το ραντάρ και τα ανεμόμετρα με καλώδιο USB μήκους 3 μέτρων, ώστε ο χειριστής να μην είναι ακριβώς δίπλα στο ραντάρ και επηρεάζει την μέτρηση. Κατά τη μέτρηση ο χειριστής απομακρύνεται από το πεδίο εάν κρίνεται πως επηρεάζει τη μέτρηση λόγω της θέσης του, ενώ ειδοποιείται με ηχητικά σήματα για την έναρξη και το πέρας αυτής.

5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο Αποτελέσματα μετρήσεων – Dataset

5.1 Οργάνωση Dataset

Το Dataset αποτελεί ένα πακέτο δεδομένων, με το οποίο θα εκπαιδεύσουμε αργότερα το σύστημά μας, ώστε να μπορεί να συμπεραίνει εάν υπάρχει ή όχι ανθρώπινη ζωή πίσω από το φύλλωμα όπου μελετάμε. Τα δεδομένα αυτά θα πρέπει να έχουν ληφθεί υπό τις ίδιες συνθήκες και να διαθέτουν κάποια συγκεκριμένα γνωρίσματα που αναλύονται παρακάτω. Όσο πιο πλήρες και μεγάλο είναι το Dataset, τόσο πιο καλά αποτελέσματα θα μας δώσει το σύστημα στο τέλος. Για να είναι πλήρες – όπως προαναφέραμε – ένα Dataset, θα πρέπει να έχει αρκετά παραδείγματα, τα οποία να καλύπτουν όλες τις περιπτώσεις που μπορεί να προκύψουν σχετικά με το πρόβλημά μας. Εν προκειμένω, θα πρέπει να έχουμε περιπτώσεις από διάφορα φυλλώματα (είδος φύλλου και πυκνωση), διαφορετικές καταστάσεις ανέμου (ένταση, κατεύθυνση και ριπές), διαφορετικές αποστάσεις ραντάρ – φυλλώματος – ανθρώπου, όπως και ανάσας (ένταση και ρυθμός).

Με στόχο την αρτιότητα του Dataset αλλά και την ευκολία αξιοποίησής του, θα χρειαστεί να μορφοποιήσουμε κατάλληλα τα δεδομένα μας. Κάθε μία μέτρηση θα αποθηκεύεται σε έναν φάκελο με όνομα την χρονική στιγμή όπου ξεκίνησε η μέτρηση. Για να καταφέρουμε να έχουμε με μεγάλη ακρίβεια την χρονική στιγμή αυτή, χρησιμοποιούμε την εντολή «*posixtime(datetime)*» με την οποία λαμβάνουμε μία αριθμητική τιμή σε δευτερόλεπτα που έχουν περάσει, από την 1^η Ιανουαρίου 1970 μέχρι την τρέχουσα χρονική στιγμή.

Με αυτόν τον τρόπο καταφέρνουμε να αποθηκεύουμε τις μετρήσεις μας σε χρονολογική σειρά και με μοναδικό όνομα αρχείου. Όπως θα δούμε παρακάτω, αυτήν την τεχνική ονοματοδοσίας, θα την χρησιμοποιήσουμε αρκετά, ώστε να έχουμε κοινές ονομασίες μεταξύ των αρχείων.

Κάθε φάκελος μέτρησης περιέχει τα εξής αρχεία:

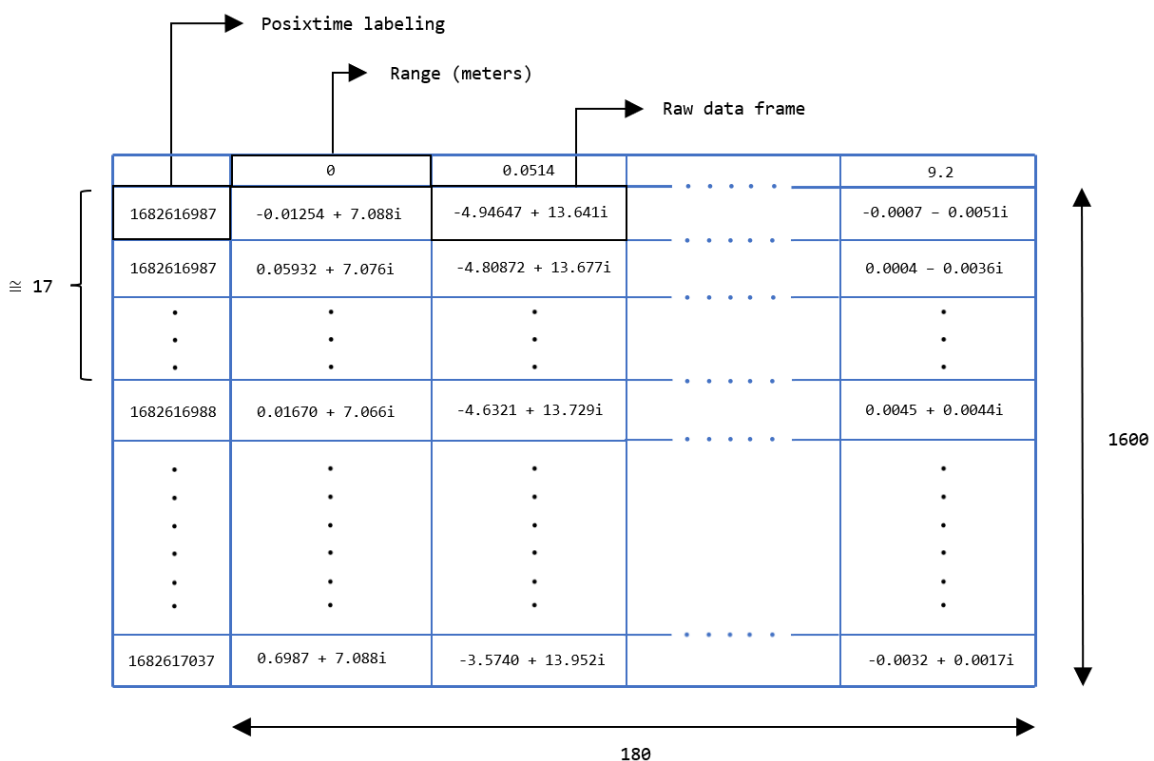
- Αρχείο τύπου Excel με όνομα το *posixtime* της χρονικής στιγμής εκκίνησης της μέτρησης, με έναν πίνακα ο οποίος περιέχει την συνολική μέτρηση του ραντάρ. Στην πρώτη γραμμή του πίνακα υπάρχει – σε μέτρα – η απόσταση του μετρούμενου σημείου από το ραντάρ και στην πρώτη στήλη – σε δευτερόλεπτα – η χρονική διαφορά της κάθε μέτρησης από την αρχή όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.1.
- Έναν φάκελο με όνομα «*Workspaces_X*» όπου *X*, το μοναδικό *posixtime* της αρχής της μέτρησης. Μέσα σε αυτόν υπάρχουν αρχεία τύπου MATLAB Data, εκ των οποίων ένα με τίτλο «*settings.mat*» περιέχει όλες τις ρυθμίσεις που έχουμε εισάγει στο ραντάρ και επηρεάζουν τη συγκεκριμένη μέτρηση (όπως επίσης και την πληροφορία των αποστάσεων εμποδίου, στόχου και μεγέθους εμποδίου), ένα αρχείο με όνομα «*windData_original.mat*», ο οποίος περιέχει τα ανεμολογικά δεδομένα της μέτρησης, όπως αυτά λήφθηκαν. Επιπλέον, βρίσκονται τα *workspaces* τα οποία δημιουργήθηκαν κατά την μέτρηση. Κατά την ολοκλήρωση της μέτρησης, ενώνουμε τα στοιχεία όλων των *workspaces* με σκοπό να έχουμε μόνο ένα αρχείο με τη μέτρηση. Ο λόγος για τον οποίο δεν αποθηκεύουμε εξ αρχής σε ένα *workspace* τα δεδομένα, είναι γιατί υπάρχει κίνδυνος κατάρρευσης του συστήματος λόγω μεγάλου όγκου δεδομένων.

- Αρχείο τύπου *csv* με όνομα «*windData_X*» όπου *X*, το μοναδικό *posixtime* της αρχής της μέτρησης. Εντός του, θα βρούμε τα ανεμολογικά δεδομένα, προσαρμοσμένα με τα δεδομένα του ραντάρ.
- Δύο αρχεία τύπου *csv* με όνομα την ημερομηνία και ώρα λήψης των δεδομένων της ζώνης. Το πρώτο αρχείο, με κατάληξη «*.general.csv*» περιέχει πληροφορίες για τον ρυθμό αναπνοής την κάθε χρονική στιγμή καθώς και άλλες πληροφορίες που επί της παρούσης δεν μας χρειάζονται. Το δεύτερο αρχείο με κατάληξη «*.wave.csv*» έχει ανά δευτερόλεπτο τις τιμές των μετρήσεων της ανάσας.
- Ένα αρχείο βίντεο.

5.2 Δομή δεδομένων ραντάρ

Το ραντάρ μας, SLMX4, έχει μέγιστη απόσταση μέτρησης περίπου τα 9.2m με βήμα 0.0514 του μέτρου το λεγόμενο resolution του ραντάρ. Αυτό σημαίνει πως για κάθε δειγματοληψία που πραγματοποιεί, μας δίνει 180 στοιχεία (μικαδικούς αριθμούς). Όσον αφορά στην ανάλυσή του στον χρόνο μπορεί να δειγματοληφτεί με 136 δείγματα το δευτερόλεπτο ενώ εμείς έχουμε επιλέξει την ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψίας, τα 17 Hz. Ο λόγος αυτού είναι πως η αλλαγές στην ανάσα είναι πολύ αργές, με αποτέλεσμα να μπορούμε να τις αναγνωρίσουμε εύκολα σε αυτό τον ρυθμό. Ένας επιπλέον λόγος είναι πως όσο μεγαλύτερη συχνότητα δειγματοληψίας έχουμε, τόσο πιο πολύ θα αυξηθεί το SNR.

Πειραματικά παρατηρήσαμε μικρές αλλαγές στο τελευταίο. Παρατηρώντας τα δεδομένα που μας δίνει το ραντάρ μας, βλέπουμε πως κατά την εκκίνηση της μέτρησης δεν έχουμε 17 δείγματα για το πρώτο δευτερόλεπτο, αλλά λιγότερα (περίπου 14) ενώ στη συνέχεια τα δείγματα συνήθως 17 το δευτερόλεπτο – κάποιες φορές 16.

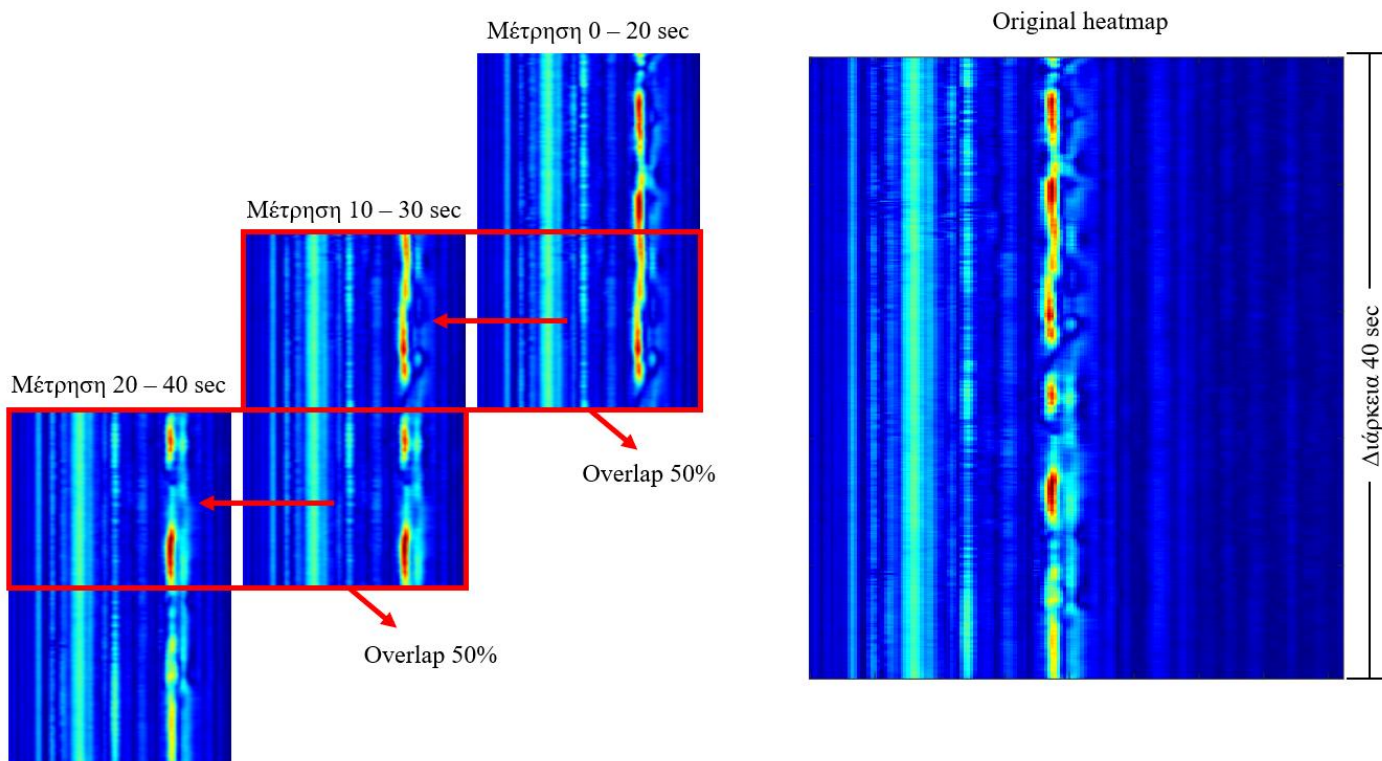


Εικόνα 5.1 Πίνακας αναπαράστασης αποθηκευμένων raw δεδομένων από το ραντάρ.

5.3 Feature extraction

Όπως είδαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, ένα πολύ χρήσιμο «εργαλείο» για την καλύτερη αξιολόγηση των μετρήσεων είναι η απεικόνισή τους, μέσω κάποιων features. Ξεχωρίζοντας και αναδεικνύοντας κάποιο χαρακτηριστικό της μέτρησης, μπορούμε να παρατηρήσουμε ή όχι την διακύμανση της ανάσας στο χρόνο ή στο πεδίο της συχνότητας.

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήσαμε είχαν διάρκεια περίπου 150 δευτερόλεπτα εκάστη (πλην κάποιων μετρήσεων με μικρότερη διάρκεια). Αυτό μας δίνει την δυνατότητα να τις αξιοποιήσουμε ολόκληρες ή να τις χωρίσουμε σε μικρότερα κομμάτια. Για τον καλύτερο εντοπισμό της παρουσίας του ανθρώπου στον χρόνο παρατηρήσαμε πως η καλύτερη τεχνική τεμαχισμού μίας μέτρησης είναι με επικάλυψη σε ποσοστό 50%. Ως εκ τούτου, μία μέτρηση περίπου 150 δευτερολέπτων, θα μας δώσει 11 μέρη διάρκειας περίπου 20 δευτερολέπτων. Για να γίνει πιο ξεκάθαρη η ανάγκη δημιουργίας μικρότερων μερών με επικάλυψη, έστω πως έχουμε μία μέτρηση 20 δευτερολέπτων και την κόβουμε σε δύο των 10. Έστω πως η ανάσα του ανθρώπου, γίνεται πιο εύκολα αντιληπτή μεταξύ των δευτερολέπτων 8 και 12. Στην περίπτωση όπου κρατήσουμε δύο μέρη 1-10 και 11-20, η ανάσα δεν θα αποτυπωθεί σωστά, και πιθανότατα θα χαθεί. Εάν όμως σπάσουμε πάλι σε μέρη 10 δευτερολέπτων αλλά με επικάλυψη, και πάρουμε τα εξής μέρη, 1-10, 6-15, 11-20, θα παρατηρήσουμε πως στο μεσαίο μέρος, υπάρχει έντονη επίδραση της ανάσας στο σήμα μας. Με αυτήν την τεχνική καταφέρνουμε να αναδείξουμε σημεία του σήματος όπου θα χάναμε.



Εικόνα 5.2 Παράδειγμα διαχωρισμού μέτρησης με τη μέθοδο της επικάλυψης – overlap (Μέτρηση: 1683138129).

5.4 Στατιστικά δεδομένα

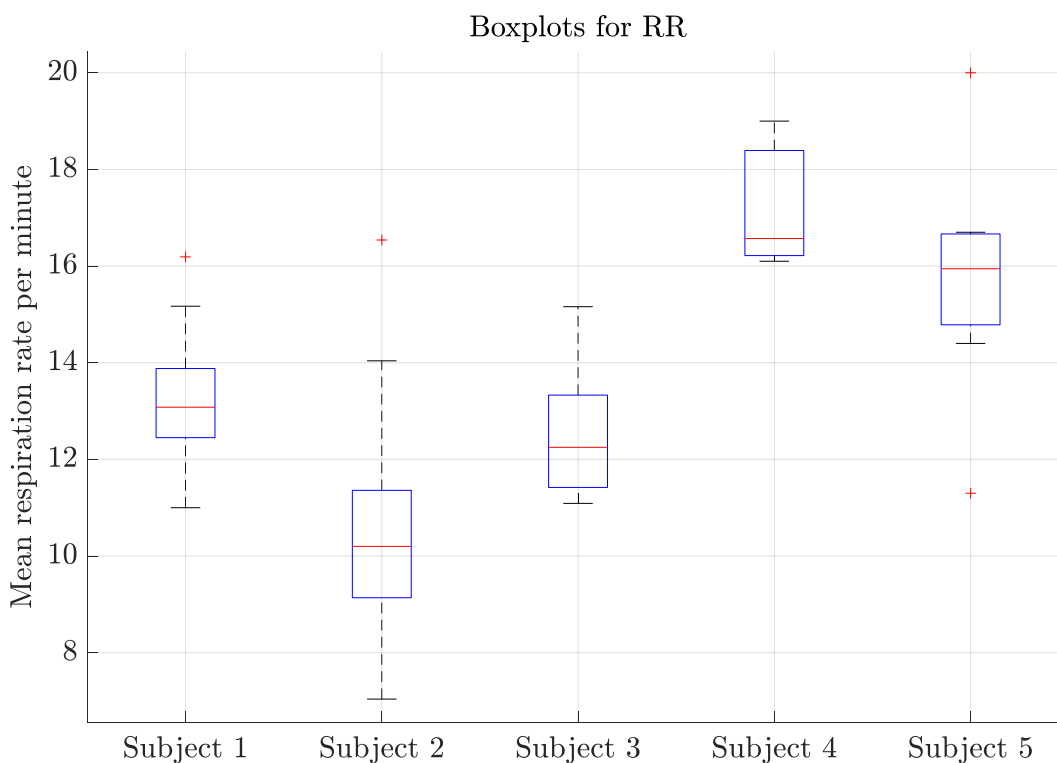
Κατά την δημιουργία του Dataset, έγιναν 522 μετρήσεις, από τις οποίες μόλις 209 κρίθηκαν αξιοποιήσιμες. Αυτό συνέβη καθώς στην πορεία των μετρήσεων, έπειτα από πολλές δοκιμές καταφέραμε να εντοπίσουμε τις βέλτιστες ρυθμίσεις για το ραντάρ αλλά και για την υπόλοιπη διάταξη, αναφορικά πάντα με το πρόβλημα το οποίο κληθήκαμε να αντιμετωπίσουμε. Από το

υποσύνολο των αξιοποιήσιμων μετρήσεων, 66 είναι χωρίς παρουσία ανθρώπου και 143 είναι με παρουσία ανθρώπου, ενώ εάν θέλουμε να κατηγοριοποιήσουμε περαιτέρω τα δεδομένα αυτά, μπορούμε να πούμε πως σε 40 από αυτές οι συνθήκες ευνοούν αρκετά την εύρεση του ανθρώπου, σε 41 παρότι υπάρχει αυξημένος θόρυβος λόγω φυλλώματος μπορούμε και πάλι να αναγνωρίσουμε τον άνθρωπο. Στις υπόλοιπες 42 και 20 μετρήσεις βλέπουμε πολύ έντονο και τεράστιο θόρυβο αντίστοιχα.

Σε όλες τις παραπάνω μετρήσεις έγινε επιλογή 5 διαφορετικών υποκειμένων. Ο λόγος αυτού είναι πως παρατηρήσαμε ότι ο κάθε άνθρωπος, έχει διαφορετικό ρυθμό και μοτίβο αναπνοής και σαφώς θα ήταν παράλογο να εκπαιδεύσουμε αργότερα το νευρωνικό με μόνο ένα παράδειγμα ανθρώπου. Παρακάτω βλέπουμε ορισμένα στατιστικά των υποκειμένων με βασικότερο την διαφορά των αναπνοών τους

Subject	Number of measurements	Mean breaths/min	Weight (kg)	Gender
1	64	13.1	72	Male
2	55	10.2	77	Male
3	5	12.2	78	Male
4	14	16.6	115	Male
5	5	15.9	82	Male
Total	143	-	-	-

Πίνακας 5.1 Πληροφορίες μετρήσεων και υποκειμένων.



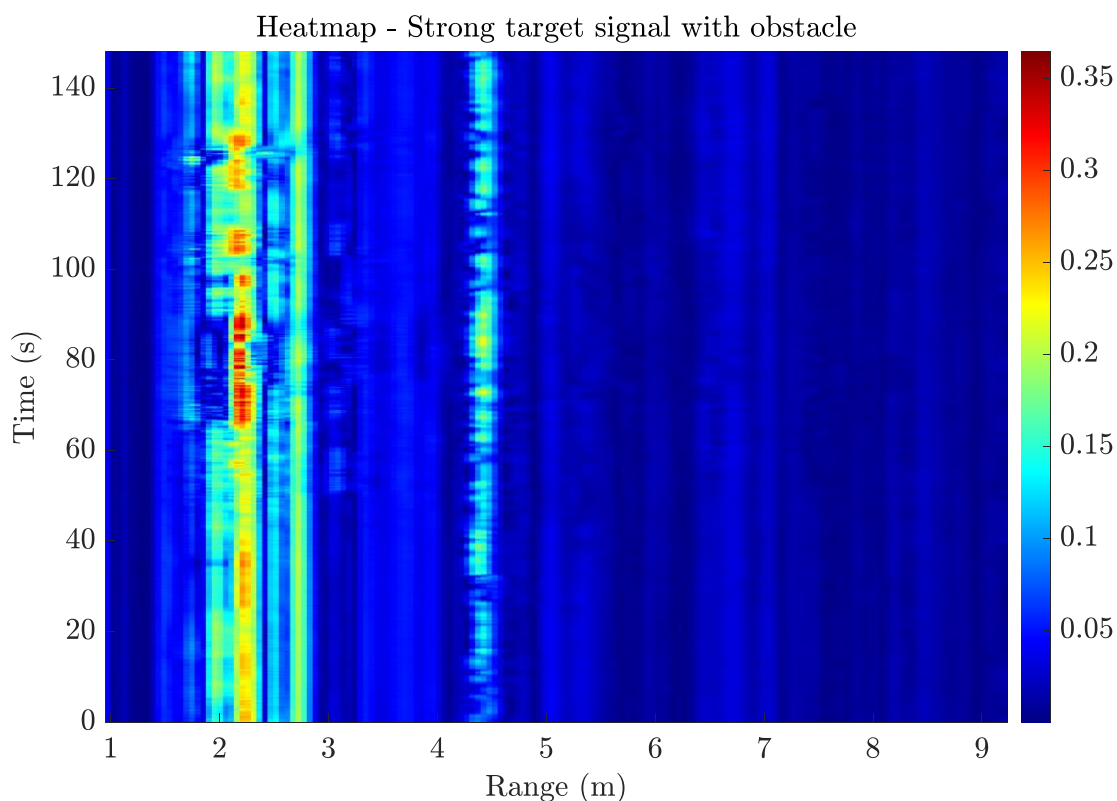
Εικόνα 5.3 Θηκογράμματα ανάλυσης δεδομένων αριθμού αναπνοών υποκειμένων που συμπεριλήφθηκαν στις μετρήσεις.

5.5 Αξιολόγηση μετρήσεων

Βάσει των παραπάνω features μπορούμε να αξιολογήσουμε τις μετρήσεις ως προς την ευκρινή απεικόνιση της ανάσας του ανθρώπου. Το κάθε ένα γνώρισμα της μέτρησης μας δίνει μία διαφορετική οπτική του σήματος, συνεπώς πρέπει να παρατηρούμε ξεχωριστά το κάθε ένα. Ακολουθεί σχολιασμός των features.

5.5.1 Με χρήση Heatmap

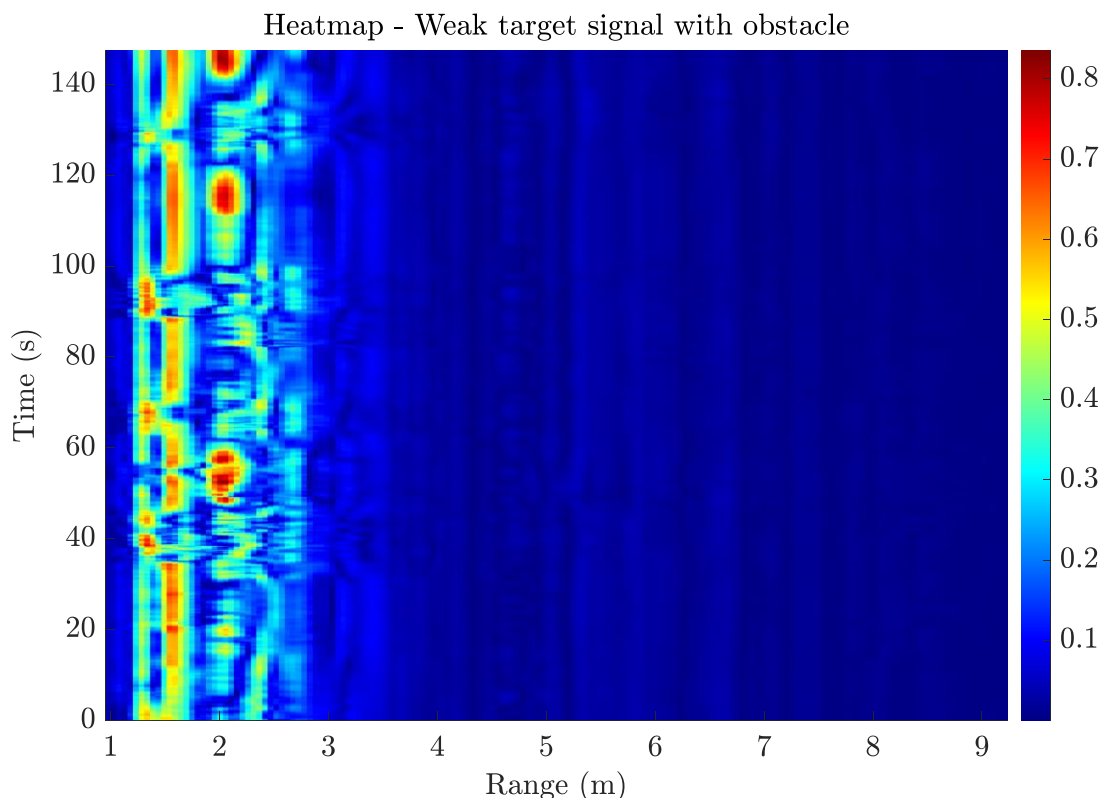
Με το heatmap, όπως είδαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, παρατηρούμε την διακύμανση του πλάτους του σήματος στον χρόνο σε κάθε απόσταση. Συνεπώς, προσπαθούμε να εντοπίσουμε την διαφοροποίηση της εικόνας του heatmap όταν υπάρχει άνθρωπος ή όχι. Αυτό που αξίζει να αναφερθεί, είναι πως παρότι χρωματικά το μεγαλύτερο πλάτος είναι πιο έντονο, στην περίπτωση μας δεν αναζητούμε την μεγαλύτερη ανάκλαση, αλλά την ευκρίνεια του μοτίβου της αναπνοής. Το φύλλωμα, δημιουργεί μεγαλύτερη ανάκλαση ανά περίπτωση σε σχέση με τον τρόπο αναπνοής με αποτέλεσμα στο σημείο του ανθρώπου, να έχουμε μικρότερο πλάτος στο σήμα.



Εικόνα 5.4 Heatmap μέτρησης ισχυρού σήματος αναπνοής με θάμνο (Μέτρηση: 1685005070).

Στο πρώτο heatmap βλέπουμε τον άνθρωπο στα περίπου 4.5 μέτρα από το ραντάρ και το φύλλωμα να εκτείνεται από το 2ο μέτρο μέχρι περίπου το 3ο. Το πλάτος στο σημείο του φυλλώματος είναι μεγαλύτερο σε σχέση με του ανθρώπου όμως, παρόλαυτα, μπορούμε να ξεχωρίσουμε πως στο σημείο αυτό υπάρχει παρουσία ανθρώπου από την περιοδική αλλαγή του σήματος. Παρατηρούμε πως σχηματίζονται μικρά παραλληλόγραμμα σχήματα με διαφορετικά μεγέθη και συγκεκριμένες αποχρώσεις. Με ανοιχτό πράσινο, προς το κίτρινο εμφανίζεται η εκπονοή ενώ με σκούρο μπλε η εισπνοή. Για τα σημεία όπου το φύλλωμα έχει σταθερό πλάτος, χωρίς να μεταβάλλεται ιδιαίτερα στον χρόνο, συμπεραίνουμε πως ο αέρας είναι ασθενής. Αντίθετα, στα σημεία όπου αλλάζει το πλάτος στον χρόνο (παράδειγμα σημείο 65-90 δευτερόλεπτα), ο αέρας μετακινεί το φύλλωμα

αυξάνοντας το πλάτος του οπισθοσκεδαζόμενου σήματος. Τέλος, μπορούμε με ευκολία να εξάγουμε το συμπέρασμα πως η συγκεκριμένη μέτρηση έχει πολλή καλή ευκρίνεια ως προς την αναπνοή του ανθρώπου.

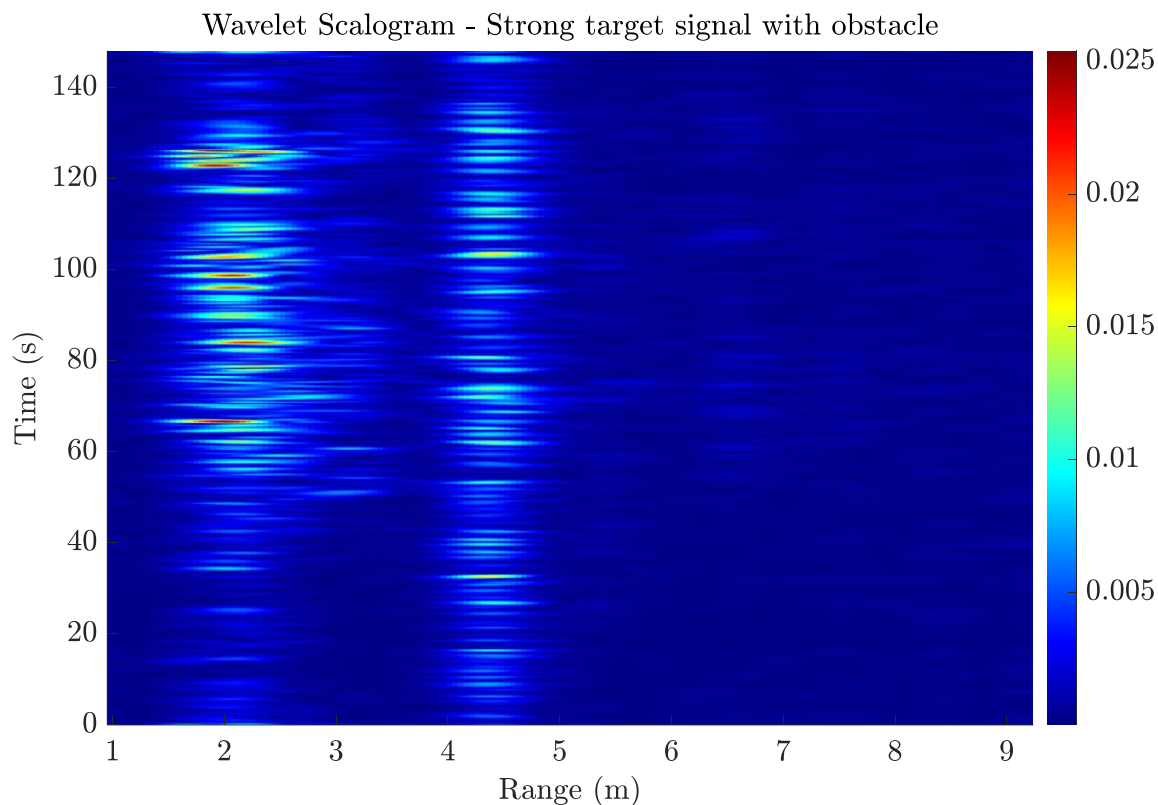


Εικόνα 5.5 Heatmap μέτρησης ασθενούς σήματος αναπνοής με θάμνο (Μέτρηση: 1687854515).

Στο παραπάνω heatmap βλέπουμε ένα αρκετά ασθενές σήμα όσον αφορά στην ευκρίνεια της ανθρώπινης αναπνοής. Αυτό οφείλεται σε σειρά παραγόντων, όπως στην μεγαλύτερη απόσταση του στόχου από το ραντάρ και στο μεγαλύτερο σε μήκος φυλλώματος. Όπως φαίνεται το φύλλωμα εκτείνεται από τα περίπου 1.2 με 2.7 μέτρα, δηλαδή έχει περίπου διπλάσιο μήκος από το φύλλωμα της προηγούμενης μέτρησης. Εστιάζοντας όμως στην εύρεση του μοτίβου της αναπνοής θα παρατηρήσουμε πως στα περίπου 4.7 μέτρα υπάρχει μια διαρκής αυξομείωση του πλάτους σχεδόν περιοδική. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να εντοπίσουμε τον άνθρωπο ακόμα και σε τόσο χαμηλό επίπεδο πλάτους σήματος. Το άλλο πόρισμα όπου μπορούμε να εξάγουμε από το παραπάνω heatmap, είναι πως το φύλλωμα της μέτρησης δεν έχει ίδια κατανομή σε όλο του το μήκος. Το πρώτο μισό μέτρο του είναι πιο πυκνό και σταθερό, ενώ η συνέχεια του είναι πιο αραιή και επιρρεπής στον άνεμο.

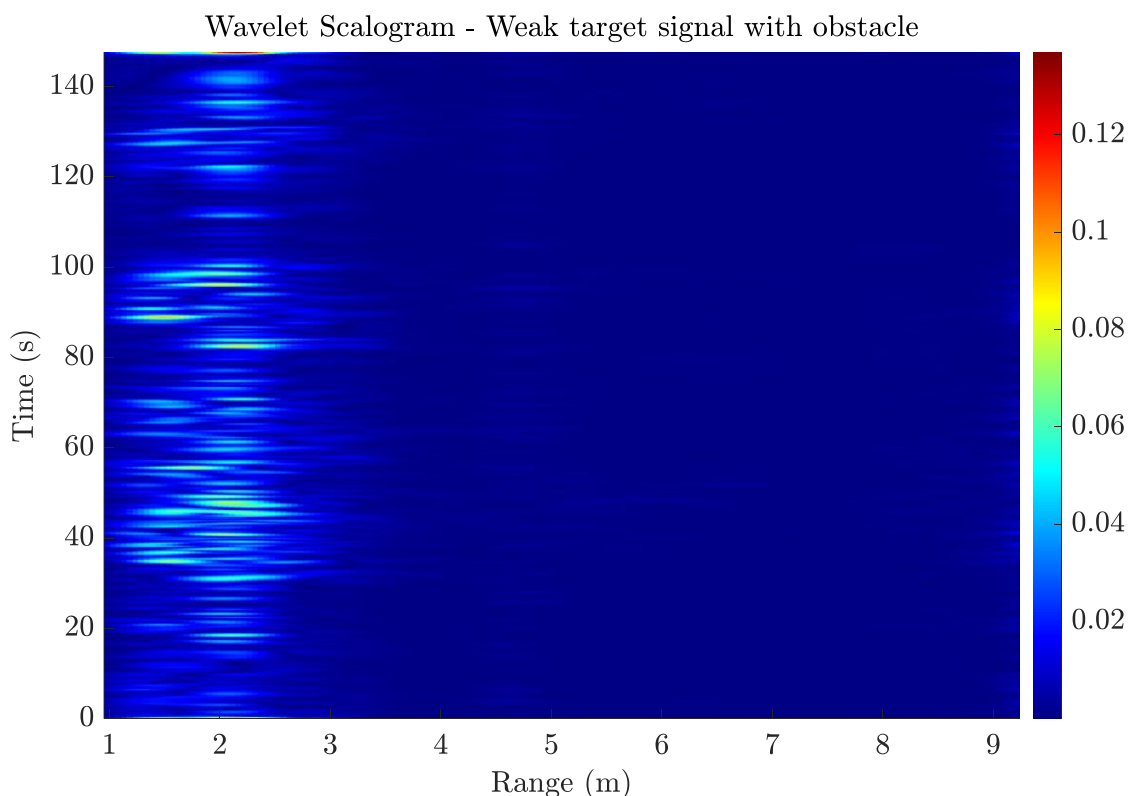
5.5.2 Με χρήση Continuous Wavelet Transform

Μέσω του wavelet, μπορούμε επίσης να εντοπίσουμε τις αναπνοές του ανθρώπου. Εστιάζοντας στο ίδιο σημείο που εντοπίσαμε την αναπνοή μέσω του heatmap για την πρώτη μέτρηση, βλέπουμε στα 4.5 μέτρα να υπάρχουν αρκετά ξεκάθαρες οι ανάσες του ανθρώπου. Διαφέρουν έντονα από τον θάμνο ο οποίος δεν παρουσιάζει όμοια, μερικώς περιοδική συμπεριφορά για όλη τη διάρκεια της μέτρησης.



Εικόνα 5.6 Αναπαράσταση Wavelet μέτρησης ισχυρού σήματος αναπνοής με θάμνο (Μέτρηση: 1685005070).

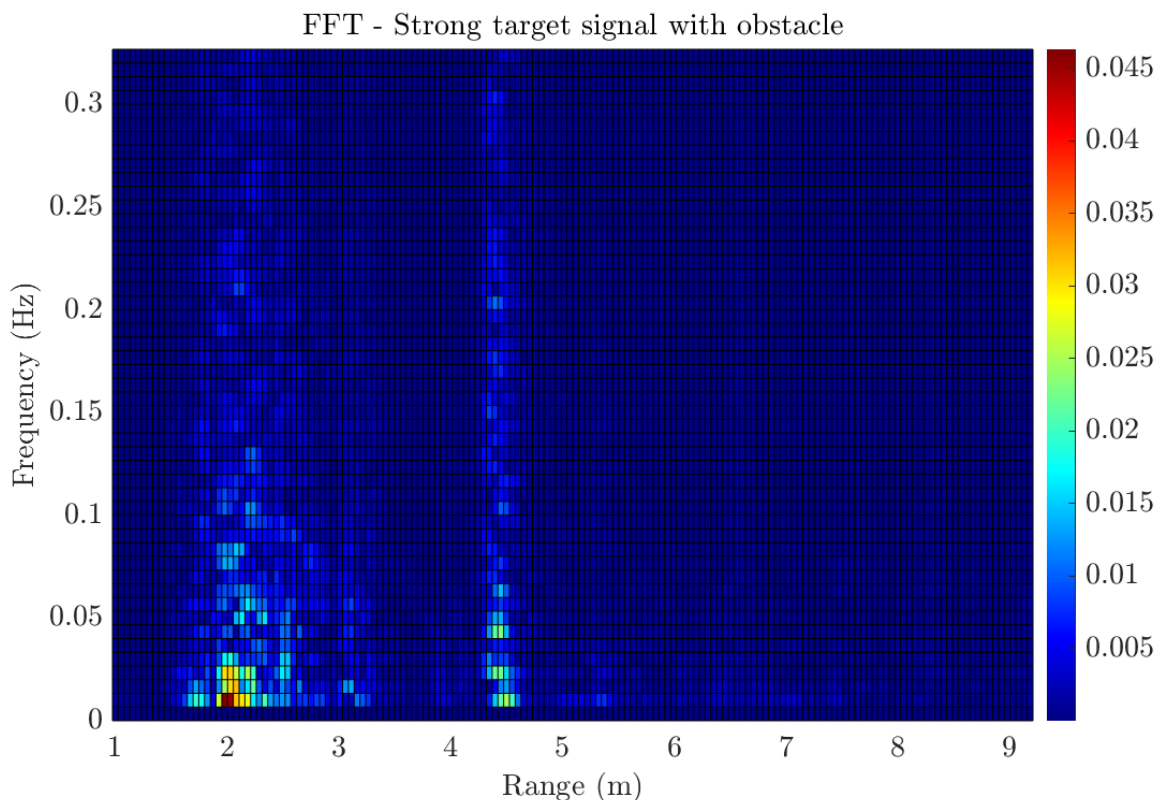
Αντίστοιχα, η δεύτερη μέτρηση, η οποία είχε αρκετά περισσότερο άνεμο, μας δείχνει πολύ «αχνά» την θέση και τις αναπνοές του ανθρώπου, λίγο μετά από τα 4.5m. Ο θόρυβος που μας δημιουργεί ο θάμνος έχει πλάτος περίπου 1.5m, γεγονός που μας κάνει ξεκάθαρο το ότι μιλάμε για μέτρηση παρουσίας ανθρώπου καθώς το wavelet στη θέση ανθρώπου έχει πάχος το πολύ 0.5m.



Εικόνα 5.7 Αναπαράσταση Wavelet μέτρησης ασθενούς σήματος αναπνοής με θάμνο (Μέτρηση: 1687854515).

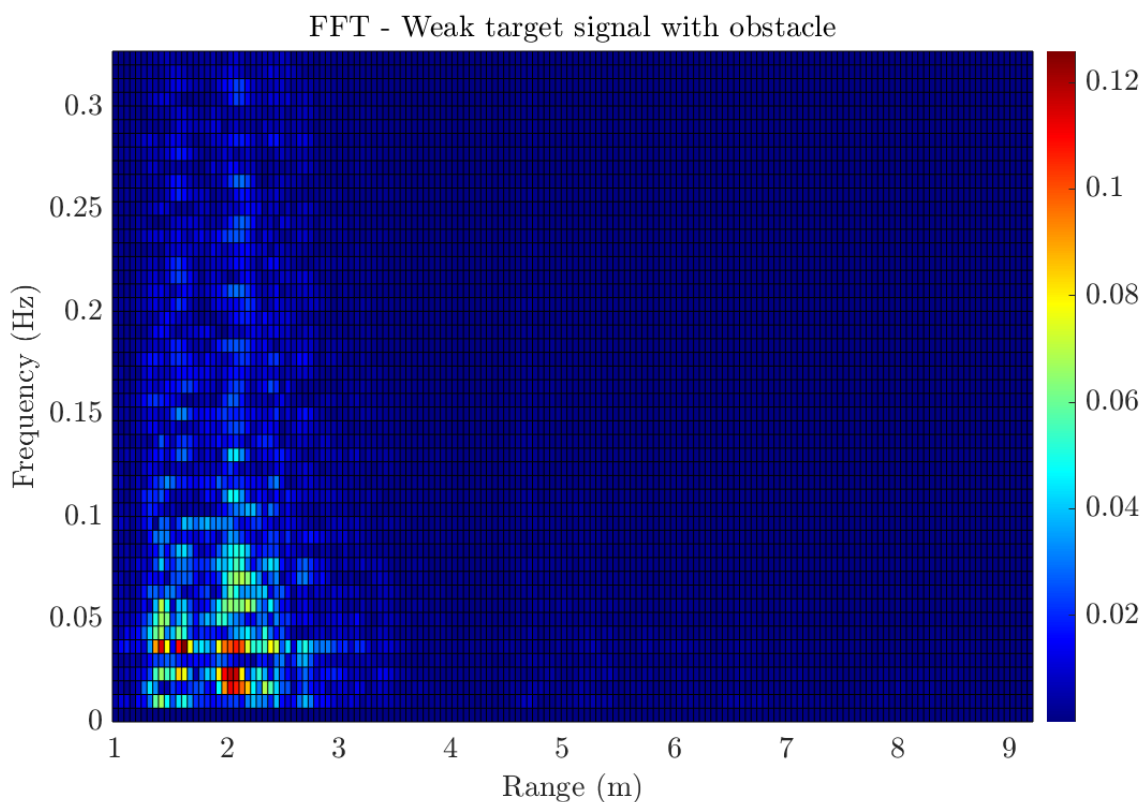
5.5.3 Με χρήση FFT

Μέσω του Fast Fourier Transform, μπορούμε να μεταβούμε στο πεδίο της συχνότητας και να αξιολογήσουμε το σήμα μας από διαφορετική σκοπιά. Τα απαραίτητα δεδομένα μας για αυτήν την ανάλυση είναι η συχνότητα αναπνοής του ανθρώπου αλλά και οι συχνότητες κίνησης του φυλλώματος. Ένας άνθρωπος σε ηρεμία παίρνει από 12 μέχρι 16 αναπνοές το λεπτό όπως αναλύσαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Αυτό αντιστοιχεί σε συχνότητες μεταξύ 0.2 μέχρι 0.26 Hz. Θεωρώντας όμως ένα μεγαλύτερο συχνοτικό εύρος ώστε να συμπεριλάβουμε όλες τις περιπτώσεις συχνότητας αναπνοών που μπορούμε να συναντήσουμε, εστιάζουμε το ενδιαφέρον μας στις συχνότητες από 0 μέχρι 0.3 Hz. Οτιδήποτε μεγαλύτερο από 0.3 Hz το θεωρούμε θόρυβο για το σήμα μας, καθώς περιλαμβάνει μόνο αρμονικές συχνότητες, άρα δεν το λαμβάνουμε υπόψιν. Το φύλλωμα, δυστυχώς, δεν μπορούμε να το προσδιορίσουμε ως προς τις συχνότητες με τις οποίες κινείται, καθώς αυτή του η κίνηση επηρεάζεται από τυχαίους παράγοντες, όπως η ταχύτητα και κατεύθυνση του ανέμου, η πύκνωση και ο τύπος του φυλλώματος. Στο παρακάτω γράφημα βλέπουμε στον κατακόρυφο άξονα τις συχνότητες, στον οριζόντιο την απομάκρυνση σε μέτρα από το ραντάρ και με διαφορετικά χρώματα την συγκέντρωση συχνοτήτων. Όσο πιο θερμό το χρώμα τόσο περισσότερες φορές έχει εμφανιστεί η συγκεκριμένη συχνότητα στο εκάστοτε σημείο. Παρατηρούμε, λοιπόν, πως στα 1.7 με 2.6 μέτρα έχουμε έντονη συγκέντρωση συχνοτήτων από 0.01 μέχρι περίπου 0.1 Hz όπως και στα 4.5 μέτρα συχνότητες από 0.01 μέχρι 0.2 Hz. Γνωρίζοντας το εύρος συχνοτήτων των αναπνοών του ανθρώπου είναι εύκολο να συμπεράνουμε προσεγγιστικά, πως ο άνθρωπος κατά τη συγκεκριμένη μέτρηση, είχε περίπου 0.2 Hz, ή διαφορετικά, 12 ανάσες το λεπτό. Οι συχνότητες μέχρι 0.07 Hz, οι οποίες συγκεντρώνονται έντονα στην απόσταση του ανθρώπου οφείλονται στην θορυβοποίηση που δημιουργεί το φύλλωμα.



Εικόνα 5.8 Αναπαράσταση FFT μέτρησης ισχυρού σήματος αναπνοής με θάμνο (Μέτρηση: 1685005070).

Στο γράφημα που ακολουθεί έχουμε ξανά την δεύτερη και πιο «αδύναμη» μέτρηση. Παρατηρούμε αρχικά πως στο σημείο του φυλλώματος έχουμε αρκετά μεγαλύτερη συγκέντρωση συχνοτήτων, οι οποίες μάλιστα έχουν μέγιστη τιμή συγκέντρωσης τα 0.12 Hz σε αντίθεση με προηγουμένως όπου το μέγιστο άγγιζε τα 0.045 Hz . Ως εκ τούτου, η συγκέντρωση αναπνοών του ανθρώπου η οποία προφανώς παραμένει ίδια ανεξαρτήτως του αέρα ή των συνθηκών γενικά, δεν είναι εύκολο να ξεχωρίσει σε σχέση με τον θάμνο, ο οποίος έχει αυξηθεί τόσο πολύ σε συγκέντρωση συγκριτικά με πριν. Παρόλα αυτά είμαστε σε θέση να επιβεβαιώσουμε – μέσω της αχνής γραμμής – την θέση και ύπαρξη του ανθρώπου στα περίπου 4.5 μέτρα.

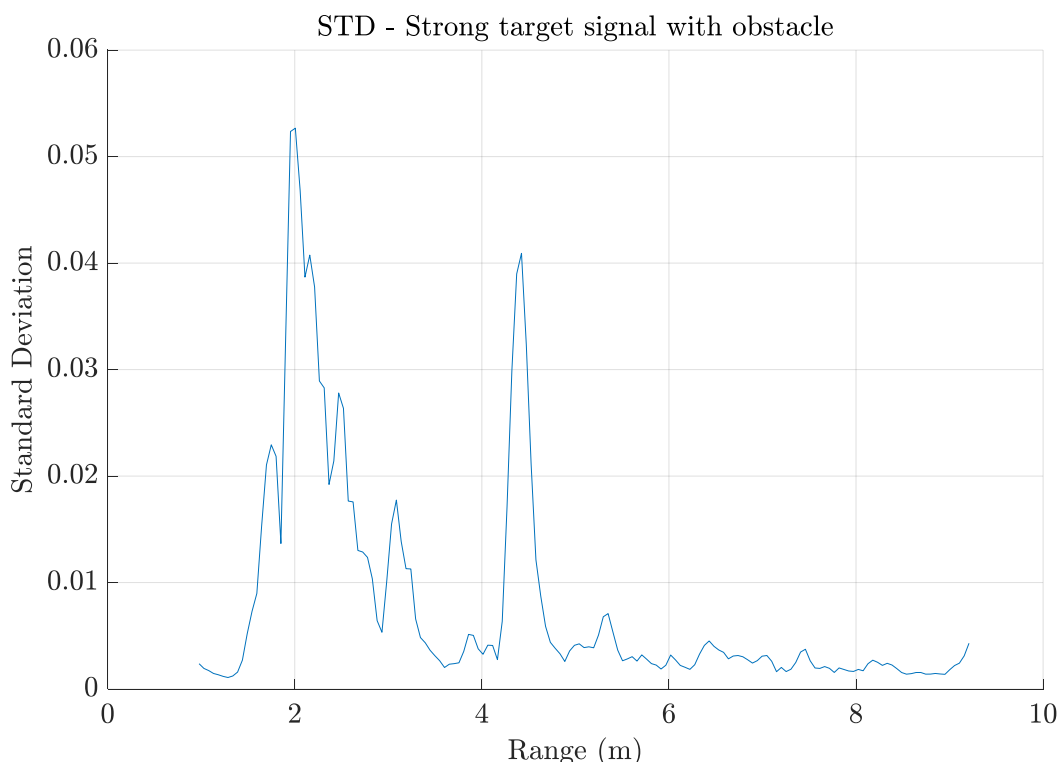


Εικόνα 5.9 Αναπαράσταση FFT μέτρησης ασθενούς σήματος αναπνοής με θάμνο (Μέτρηση: 1687854515).

5.5.4 Με χρήση STD

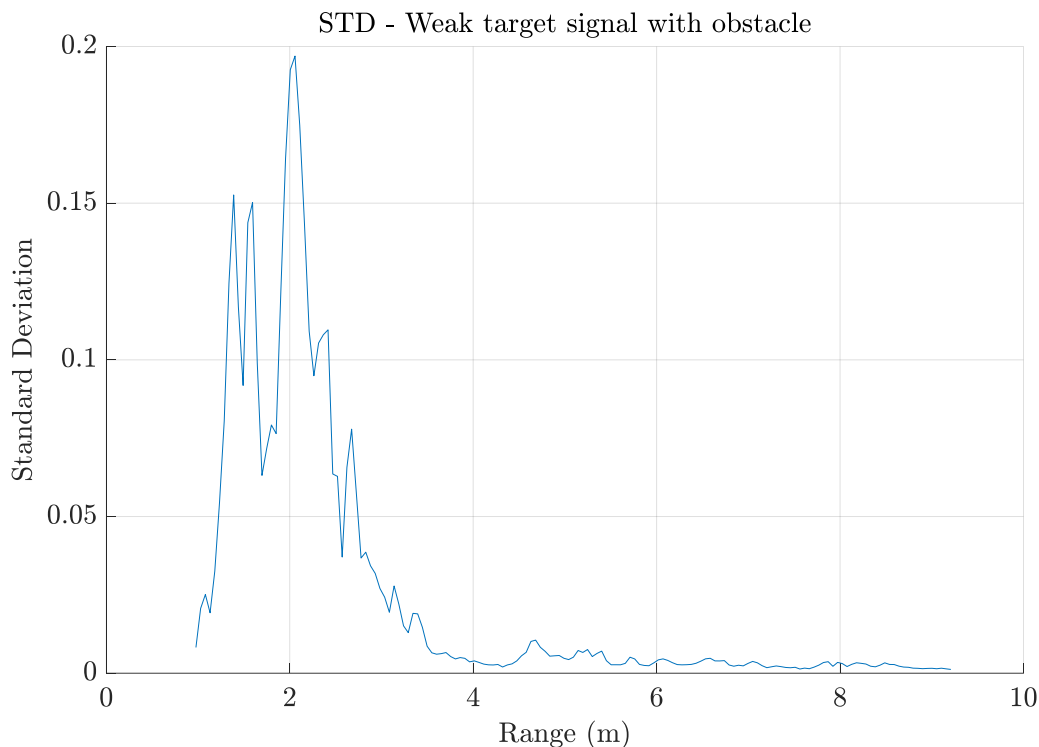
Ένα ακόμα πολύ χρήσιμο εργαλείο είναι η τυπική απόκλιση, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί όχι μόνο για την αναζήτηση μοτίβων αναπνοής αλλά και για τη μελέτη του θορύβου στο χώρο. Όπως είδαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, παρατηρώντας το πόσο αποκλίνει το σήμα μας σε σχέση με τη μέση τιμή, μπορούμε να προσδιορίσουμε σε ποιες αποστάσεις βρίσκεται ο στόχος και ο θάμνος, καθώς επίσης και πόσο πολύ φύσηξε κατά τη μέτρηση. Εάν για παράδειγμα δούμε την τυπική απόκλιση του θάμνου να είναι χαμηλότερη σε πλάτος από αυτή του ανθρώπου, σημαίνει πως ο αέρας ήταν ελάχιστος κατά τη μέτρηση. Φυσικά αυτό είναι απλώς μια ένδειξη και όχι τεκμαρτό στοιχείο που μπορεί να εξάγει σίγουρο συμπέρασμα, καθώς το πλάτος της τυπικής απόκλισης προκύπτει από συνδυασμό παραγόντων, όπως είναι ο ρυθμός αναπνοής του ανθρώπου και ο άνεμος. Ένα αρνητικό που παρουσιάζει το εργαλείο αυτό, είναι πως εάν δεν υπάρχει σχετική απόσταση του εμποδίου από το υπό μέτρηση υποκείμενο, τότε δεν είναι ξεκάθαρο το μοτίβο αναπνοής μιας και οι αυξημένες μεταβολές σε διαφορετικές αποστάσεις θα υπερκαλύπτουν τις μεταβολές που θα εμφάνιζε ένας κανονικός ρυθμός αναπνοής (κυρίως λόγω του φαινομένου του cluttering).

Στο παρακάτω διάγραμμα STD βλέπουμε πως το φύλλωμα ξεκινά λίγο πριν τα 2 μέτρα και σταματά λίγο μετά τα 3, ενώ ο άνθρωπος είναι περίπου στα 4.5 μέτρα. Στην περίπτωση όπου όλες οι μετρήσεις είχαν αυτήν την συμπεριφορά, θα μπορούσαμε με ευκολία να ορίσουμε ένα κατώφλι (threshold) πάνω από το οποίο θα συμπεραίναμε εάν υπάρχει άνθρωπος ή όχι. Δυστυχώς όμως στις περισσότερες μετρήσεις, ο αέρας είναι εντονότερος (πράγμα το οποίο είναι κοντινότερο σε ένα πιο ρεαλιστικό σενάριο του προβλήματος), με αποτέλεσμα το πλάτος του STD του ανθρώπου να είναι αρκετά χαμηλότερο σε σχέση με το φύλλωμα και έτσι να μην ξεχωρίζει τόσο. Με λίγα λόγια, δεν μπορούμε να ορίσουμε κάποιο confidence level, για το οποίο να είμαστε σίγουροι για τον εντοπισμό η μή ανθρώπινης ζωής.



Εικόνα 5.10 Αναπαράσταση STD μέτρησης ισχυρού σήματος αναπνοής με θάμνο (Μέτρηση: 1685005070).

Στο επόμενο διάγραμμα STD παρατηρούμε πως το πλάτος του ανθρώπου είναι αισθητά χαμηλότερο από την προηγούμενη μέτρηση αλλά και σε σχέση με το φύλλωμα. Ο άνεμος σε αυτήν την περίπτωση είναι πολύ υψηλότερος σε σχέση με την προηγούμενη. Αυτό φαίνεται από το μέγιστο πλάτος όπου στην προκειμένη αγγίζει τα 0.2 – σχεδόν δέκα φορές μεγαλύτερο από πριν. Γνωρίζοντας όμως πως πρόκειται για μέτρηση με άνθρωπο στα περίπου 4.5 μέτρα, μπορούμε αναγνωρίσουμε το τοπικό μέγιστο που δημιουργείται στην γύρω περιοχή.

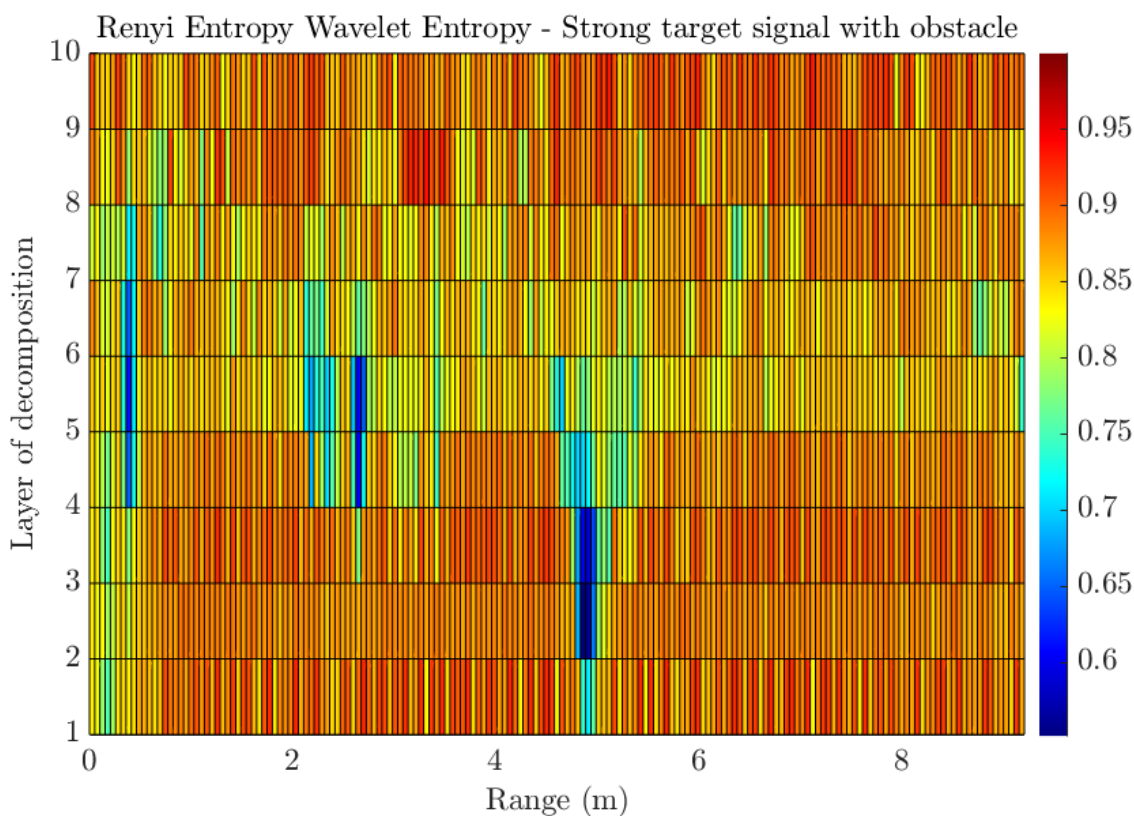


Εικόνα 5.11 Αναπαράσταση STD μέτρησης ισχυρού σήματος αναπνοής με θάμνο (Μέτρηση: 1687854515).

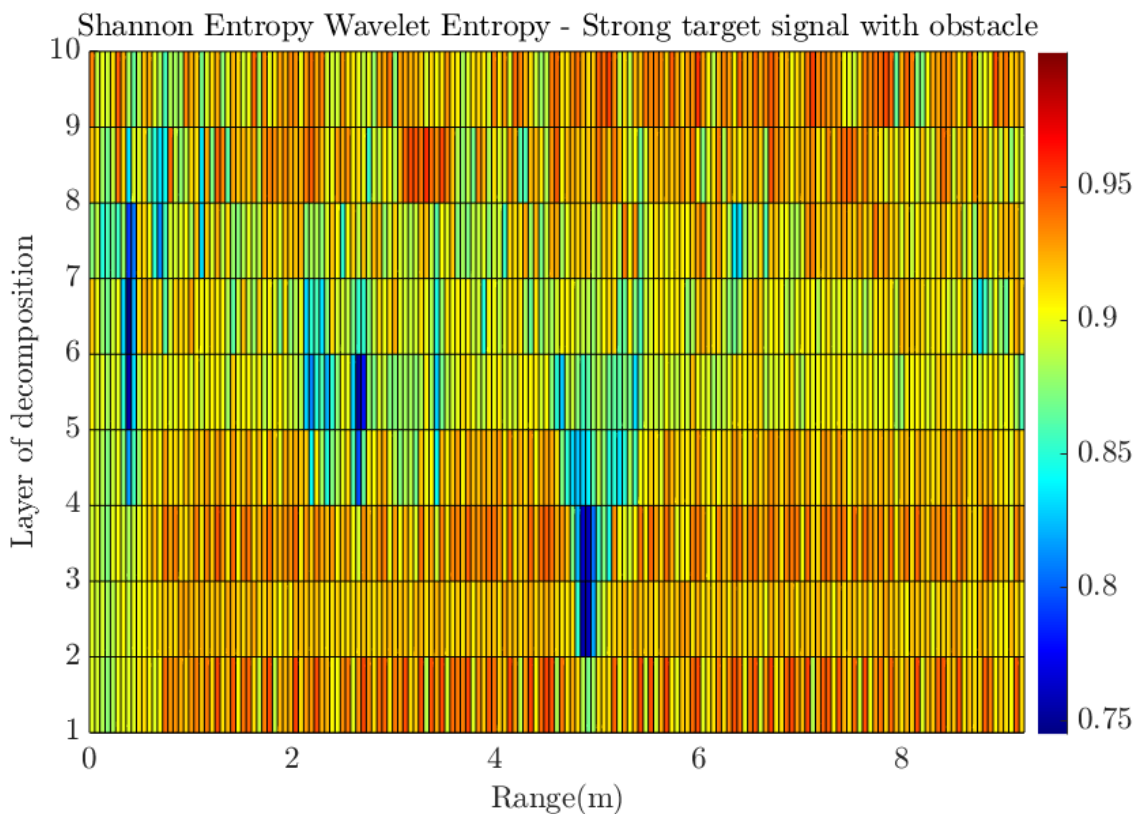
5.5.5 Με χρήση Wavelet Entropy

Η τελευταία μέθοδος αξιολόγησης του σήματος του ραντάρ που θα μελετήσουμε είναι οι εντροπίες Wavelet. Με αυτές, μπορούμε να παρατηρήσουμε την κατανομή της ενέργειας του σήματος του ραντάρ και να ανιχνεύσουμε ανωμαλίες στη συνέχεια του σήματος. Όπως φαίνεται παρακάτω, στον οριζόντιο άξονα έχουμε την απομάκρυνση σε μέτρα από το ραντάρ ενώ στον κατακόρυφο έχουμε την συγκέντρωση της ενέργειας, αποτέλεσμα του scale decomposition [34].

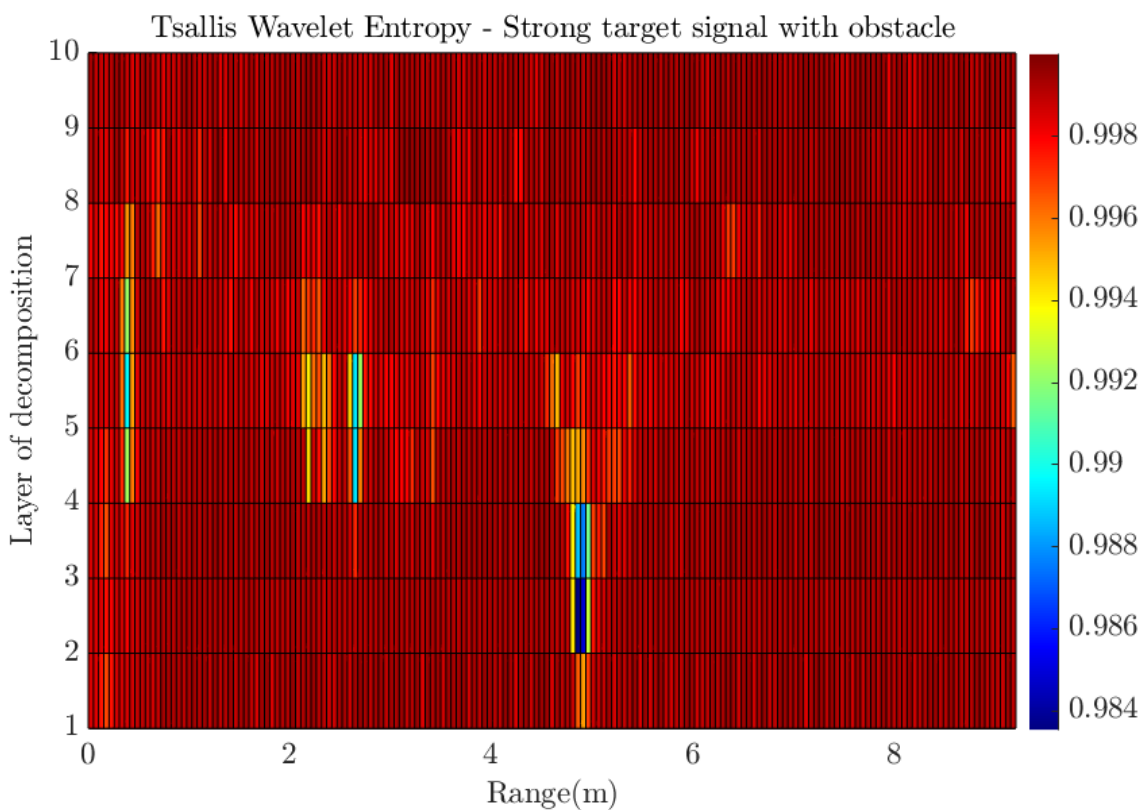
Κατά τη μελέτη μας θα αναλύσουμε τρία είδη εντροπίας, την Renyi, την Shannon και την Tsallis. Ακολουθεί σύγκριση των τριών, για περίπτωση μέτρησης με χαμηλό θόρυβο και για περίπτωση υψηλού θορύβου. Εύκολα παρατηρούμε πως λίγο πριν τα 5 μέτρα φανερώνεται η θέση του ανθρώπου. Η καλύτερη σχέση απεικόνισης θορύβου - ανθρώπου παρατηρείται στην εντροπία Tsallis. Με ξεκάθαρο τρόπο χρωματίζεται η θέση του ανθρώπου, ενώ ο θόρυβος στο υπόλοιπο σήμα είναι αρκετά καταπιεσμένος, με τεράστια διαφορά σε σχέση με τις άλλες δύο εντροπίες.



Εικόνα 5.12 Εντροπία Wavelet κατά Renyi μέτρησης ισχυρού σήματος αναπνοής με θάμνο (Μέτρηση: 1685005070).



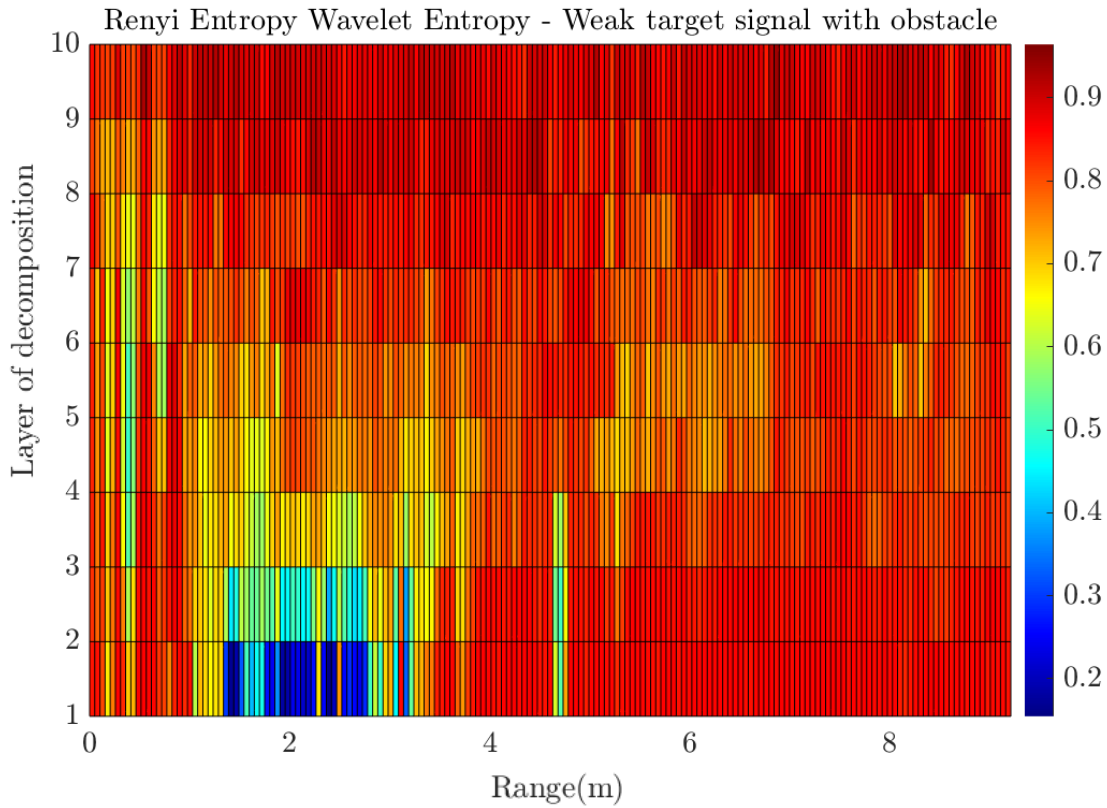
Εικόνα 5.13 Εντροπία Wavelet κατά Shannon μέτρησης ισχυρού σήματος αναπνοής με θάμνο (Μέτρηση: 1685005070).



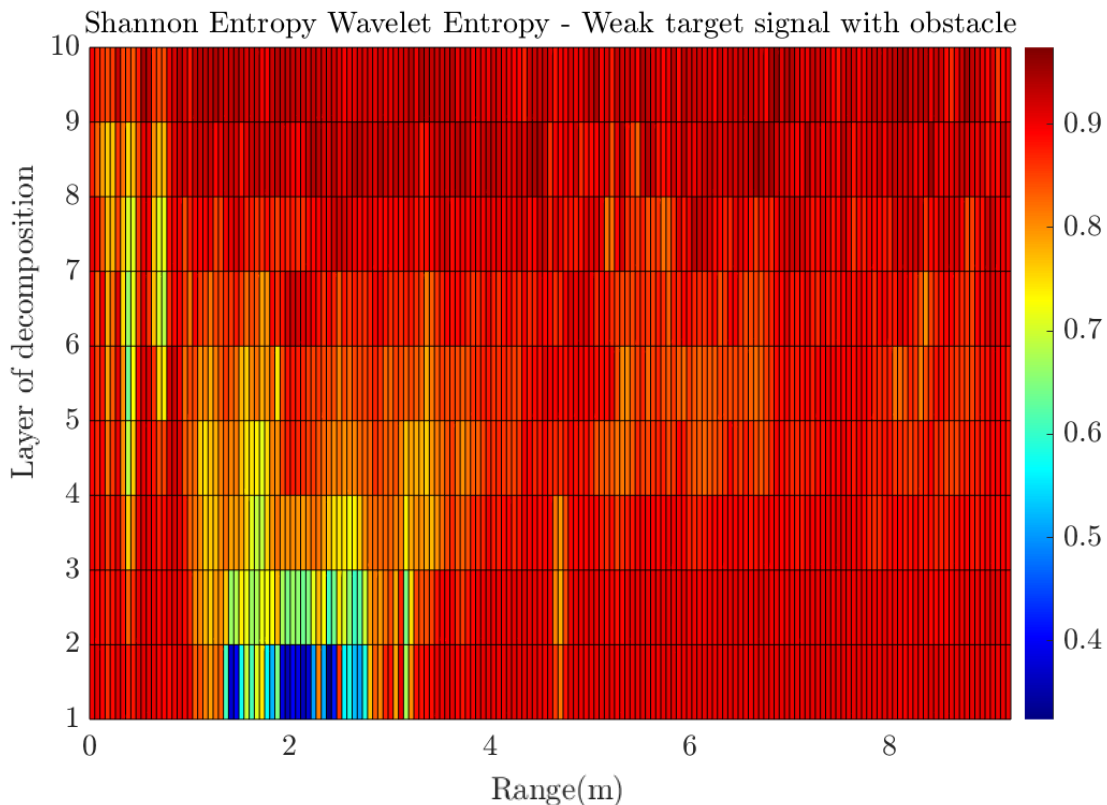
Εικόνα 5.14 Εντροπία Wavelet κατά Tsallis μέτρησης ισχυρού σήματος αναπνοής με θάμνο (Μέτρηση: 1685005070).

Το ίδιο θα παρατηρήσουμε και στο ασθενές σήμα που ακολουθεί. Ο θόρυβος εξαφανίζεται στην περίπτωση του Tsallis Entropy. Βέβαια ο άνθρωπος δεν φαίνεται τόσο καθαρά όσο στην προηγούμενη μέτρηση, όμως αυτό συμβαίνει καθώς η ίδια η μέτρηση είναι αρκετά πιο θορυβώδης,

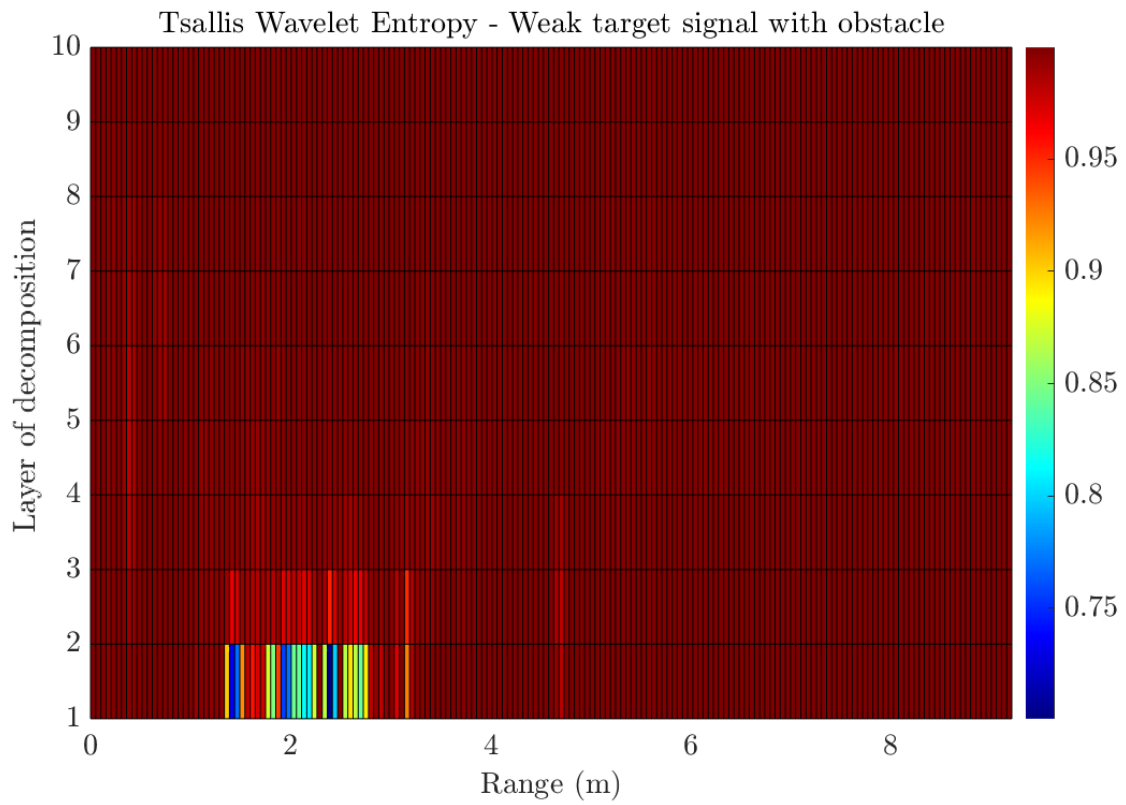
με το φύλλωμα να πρωταγωνιστεί. Παρά την χειρότερη κατάσταση μέτρησης από άποψη θορύβου, είμαστε σε θέση να αναγνωρίσουμε την απόσταση του ανθρώπου λίγο πριν τα 5 μέτρα από το ραντάρ και στην περίπτωση αυτή.



Εικόνα 5.15 Εντροπία Wavelet κατά Renyi μέτρησης ασθενούς σήματος αναπνοής με θάμνο (Μέτρηση: 1687854515).



Εικόνα 5.16 Εντροπία Wavelet κατά Shannon μέτρησης ασθενούς σήματος αναπνοής με θάμνο (Μέτρηση: 1687854515).



Εικόνα 5.17 Εντροπία Wavelet κατά Tsallis μέτρησης ασθενούς σήματος αναπνοής με θάμνο (Μέτρηση: 1687854515).

6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο Ανίχνευση ανθρώπου μέσω μηχανικής μάθησης

Υπάρχουν πολλές επιλογές μοντέλων μηχανικής μάθησης, η κάθε μία με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της. Όπως θα δούμε παρακάτω, επιλέχθηκαν και δοκιμάστηκαν νευρωνικά δίκτυα, τα οποία έδωσαν ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Μετά από πληθώρα δοκιμών και κατάλληλων παραμετροποιήσεων, καταφέραμε να έχουμε μία άξια λόγου επιτυχία εύρεσης του ανθρώπου πίσω από φύλλωμα, αλλά και της απουσίας αυτού. Λόγω της φύσης του προβλήματος, εκτελώντας δυαδική κατηγοριοποίηση (binary classification), έχουμε διαφορετική σπουδαιότητα στην λανθασμένη πρόβλεψη για την περίπτωση της παρουσίας ή απουσίας του ανθρώπου. Με άλλα λόγια στην περίπτωση όπου το νευρωνικό, μας δώσει λανθασμένη απάντηση, πως υπάρχει άνθρωπος πίσω από το φύλλωμα, τότε η ομάδα διάσωσης, θα ερευνήσει τον χώρο, δίχως να εντοπίσει το θύμα, συνεχίζοντας την αναζήτησή του. Αντίθετα, στην περίπτωση όπου το νευρωνικό, μας δώσει λανθασμένη απάντηση πως δεν υπάρχει άνθρωπος πίσω από το φύλλωμα, αυτό θα έχει ως συνέπεια η ομάδα διάσωσης να μην ψάξει στον χώρο αυτό, συνεχίζοντας την αναζήτηση, αφήνοντας εκεί το θύμα. Συνεπώς, γίνεται αντιληπτή η μεγάλη έμφαση που πρέπει να δοθεί στην τελευταία περίπτωση.

6.1 Διαχωρισμός δεδομένων

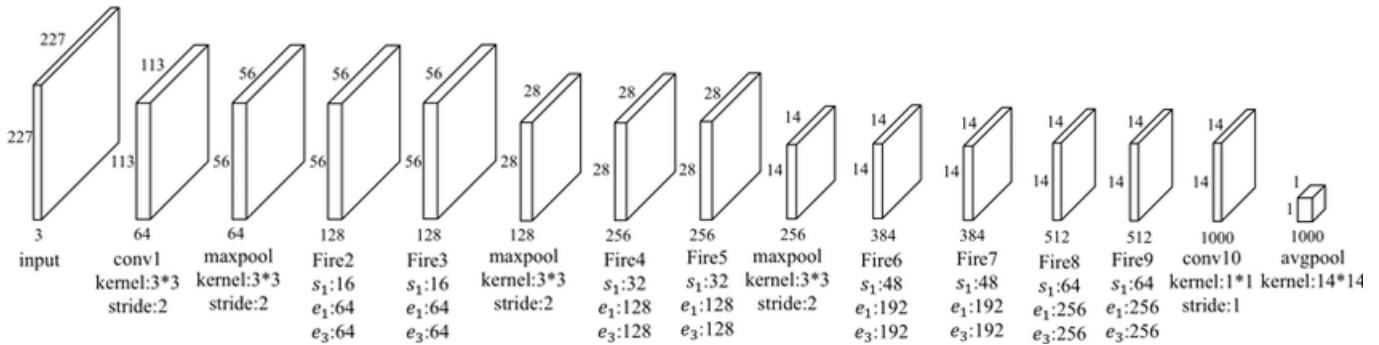
Όπως εξηγήσαμε σε προηγούμενη παράγραφο, τα αξιοποιήσιμα δεδομένα με παρουσία ανθρώπου, τα διαχωρίσαμε σε Καλά (Good), Μέτρια (Ok), Άσχημα (Bad) και Πολύ Άσχημα (Very Bad) δίνοντας ιδιαίτερη βάση στην διακριτότητα της αναπνοής του ανθρώπου. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούμε να εκπαιδεύσουμε και δοκιμάσουμε το δίκτυό μας με όσους συνδυασμούς δεδομένων τελικά έχουν νόημα για δοκιμή (αξιόλογα αποτελέσματα ποσοστών επιτυχίας). Οι περισσότερες απόπειρες έγιναν με το συνδυασμό Καλών και Μέτριων μετρήσεων.

Σε αυτό το σημείο είναι χρήσιμο να σχολιάσουμε την σχέση που έχουν τα εξαγμένα features με επικάλυψη της κάθε μέτρησης μεταξύ τους. Κάθε μία μέτρηση μπορεί να χωριστεί σε 7 ή 11 μέρη, ανάλογα με την διάρκειά της. Χωρίζοντας όμως τα δεδομένα μας σε δεδομένα εκπαίδευσης (Training) και δεδομένα ελέγχου (Test), είναι πολύ σημαντικό να μην χωριστούν τα μέρη της κάθε μέτρησης στις παραπάνω υποκατηγορίες εκπαίδευσης και ελέγχου. Αυτό έχει τεράστια σπουδαιότητα, καθώς εάν εκπαιδεύσουμε το δίκτυό μας με τα μέρη 1, 2, 3 και 4 μίας μέτρησης, και έπειτα ελέγξουμε τον έλεγχο με τα μέρη 5, 6, 7 της ίδιας μέτρησης είναι πολύ πιθανό, το νευρωνικό να τα καταφέρει με ολική επιτυχία, αφού θα έχει ήδη εκπαιδευτεί στην ίδια μέτρηση. Μία τέτοια κατάσταση, θα ήταν παραπλανητική και χρήζει προσοχής. Διαχωρίζοντας, λοιπόν, τα δεδομένα σε Train και Test θα πρέπει να προσέξουμε, κάθε μέτρηση να είναι σε μία και μόνο κατηγορία. Ποσοστιαία, θα χωρίσουμε τα δεδομένα σε περίπου 70% για εκπαίδευση και 30% για έλεγχο.

6.2 SqueezeNet

Στην παρούσα φάση, προτιμήθηκε να χρησιμοποιηθεί ένα νευρωνικό δίκτυο με εκπαιδευμένα όλα τα επίπεδά του, εκτός από ορισμένα τελευταία. Το SqueezeNet είναι ένα βαθύ νευρωνικό δίκτυο για Computer Vision το οποίο δημοσιεύτηκε το 2016 από την εταιρία DeepScale και πανεπιστημιακές ομάδες της Αμερικής. Το δίκτυο αυτό είναι ευρέως διαδεδομένο για την αρκετά μειωμένη επεξεργαστική ισχύ που χρειάζεται και τα εξίσου καλά αποτελέσματα που πετυχαίνει σε σχέση με άλλα δίκτυα, όπως το AlexNet και τα VGG (Very Deep Convolutional

Networks). Η καινοτομία στη σχεδίασή του, όπως φανερώνει και το όνομά του, είναι η σύμπτυξη που κάνει στα δεδομένα εισόδου, ώστε να μειώσει την πολυπλοκότητά τους. Αυτό το ήδη εκπαιδευμένο νευρωνικό, έχει σχεδιαστεί για να αναγνωρίζει έγχρωμες (RGB) εικόνες με διαστάσεις $227 \times 227 \times 3$ και να τις κατηγοριοποιεί σε μέχρι 1000 περιπτώσεις [35]. Σύνολο έχει 68 επίπεδα (layers) ενώ εμείς διατηρούμε τα πρώτα 64 και εκπαιδύουμε τα τελευταία 4, ώστε να τα προσαρμόσουμε στα δικά μας δεδομένα. Εμείς χρειαζόμαστε μόνο δύο κατηγορίες στο τελικό classification, μία για παρουσία (Presence) και μία για απουσία (Absence) ανθρώπου. Συνεπώς, η εκπαίδευση θα πάρει σημαντικά λιγότερο χρόνο, ο οποίος εξαρτάται από το πλήθος των δεδομένων και την ανάγκη για πολλές ή λίγες εποχές.



Εικόνα 6.1 Δομή νευρωνικού δικτύου Squeezenet. Πηγή: [36]

Το Matlab υποστηρίζει το SqueezeNet μέσω του Deep Learning Toolbox. Με μόλις μία εντολή, `net = squeezeNet`, το Matlab φορτώνει το εκπαιδευμένο νευρωνικό. Στην περίπτωση όπου χρησιμοποιήσουμε το Deep Network Designer μπορούμε να επιλέξουμε το συγκεκριμένο δίκτυο, να το δούμε και να το επεξεργαστούμε οπτικοποιημένο. Κατόπιν, έχουμε την δυνατότητα να εισάγουμε τις εικόνες που θέλουμε να αναγνωρίσει και να το εκπαιδύσουμε. Στην δική μας περίπτωση, δεν χρησιμοποιήθηκε το Deep Network Designer, αλλά φορτώσαμε και παραμετροποιήσαμε το δίκτυο μέσω εντολών. Οι παράμετροι αυτές αναφέρονται στον ακόλουθο πίνακα.

Neural Network Parameters	Parameter Values
Weight Learn Rate Factor	10
Bias Learn Rate Factor	10
Initial Learn Rate	1e-4
Max Epochs	NaN
Mini Batch Size	NaN

Πίνακας 6.1 Παράμετροι νευρωνικού δικτύου

Ως optimizer (βελτιστοποιητή) χρησιμοποιήθηκε ο sgdm (stochastic gradient descent with momentum). Αυτή η μέθοδος αξιοποιεί την «αδράνεια» του από την εκπαίδευση προηγούμενης, και έτσι βελτιστοποιεί και επισπεύδει την υποκείμενη εκπαίδευση. Έγιναν δοκιμές και με άλλους βελτιστοποιητές όπως ο adam και rmsprop, όμως στις παρούσες δοκιμές δεν έδιναν καλύτερα αποτελέσματα.

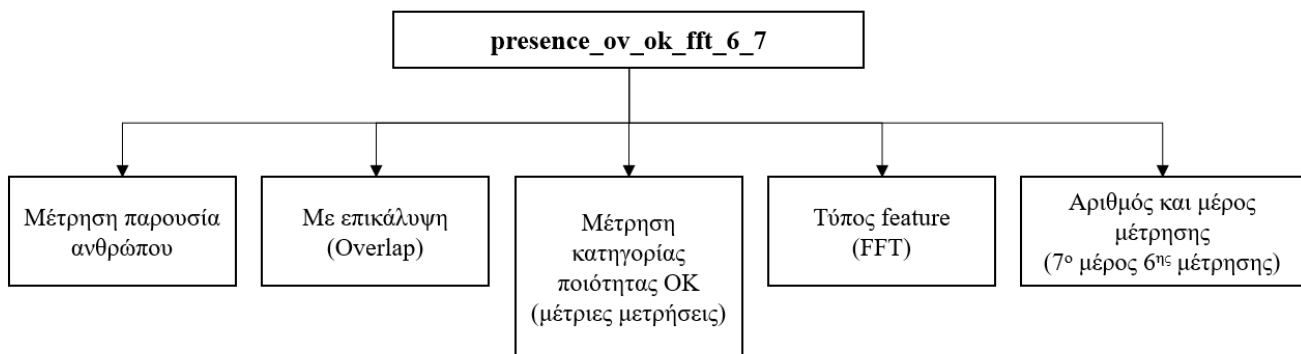
6.3 Εκπαίδευση νευρωνικού δικτύου

Η εκπαίδευση του νευρωνικού μας δικτύου δεν απαιτεί σύστημα μεγάλης υπολογιστικής ισχύος λόγω των μόνο τεσσάρων επιπέδων που εκπαιδεύουμε. Σε σύστημα χωρίς κάρτα γραφικών (GPU) παρατηρήσαμε πως ο χρόνος εκπαίδευσης ήταν από περίπου 5 λεπτά έως κάποιες ώρες, ανάλογα με τα δεδομένα και τις ρυθμίσεις. Όμως σε υπολογιστή με GPU, ο χρόνος αυτός ήταν τουλάχιστον 5 φορές μικρότερος. Η πιο περίπλοκη για το σύστημα περίπτωση, ήταν αυτή της εντροπίας, η οποία χρειάστηκε μέχρι και 450 εποχές για την πλήρη εκπαίδευση. Αυτό διήρκησε περίπου 40 λεπτά ανά εκπαίδευση, ενώ σχεδόν όλες οι υπόλοιπες περιπτώσεις κυμαίνονταν στα 3-15 λεπτά. Οι περισσότερες εκπαιδεύσεις έγιναν στην RTX 2060 8GB.

6.4 Πραγματικό ποσοστό επιτυχίας

Κατά την προετοιμασία των δεδομένων μας, ξεκινήσαμε χωρίζοντας την κάθε μέτρηση σε μικρότερες με επικάλυψη 50%. Το νευρωνικό εκπαιδεύτηκε και ελέγχθηκε με αυτά τα μικρά μέρη της κάθε μέτρησης. Το ποσοστό επιτυχίας που μας δίνει κάθε φορά αφορά στα επιμέρους κομμάτια της μέτρησης και όχι σε ολόκληρη τη μέτρηση. Το γεγονός αυτό, μειώνει το ποσοστό επιτυχίας της εκάστοτε εκπαίδευσης, καθώς μπορεί ορισμένα μέρη της ίδιας μέτρησης να θεωρηθούν αντίθετα της πραγματικότητας. Μπορούμε όμως να ενεργήσουμε κατάλληλα, έτσι ώστε να δούμε την πραγματική επιτυχία του νευρωνικού.

Η ιδέα πίσω από την τεχνική που θα αναπτύξουμε, είναι να εκμεταλλευτούμε το γεγονός πως γνωρίζουμε, για κάθε κομμάτι, από ποια μέτρηση προέρχεται και να τα ομαδοποιήσουμε. Η ονομασία που έχει χρησιμοποιηθεί για τα μέρη της κάθε μέτρησης είναι η ακόλουθη.



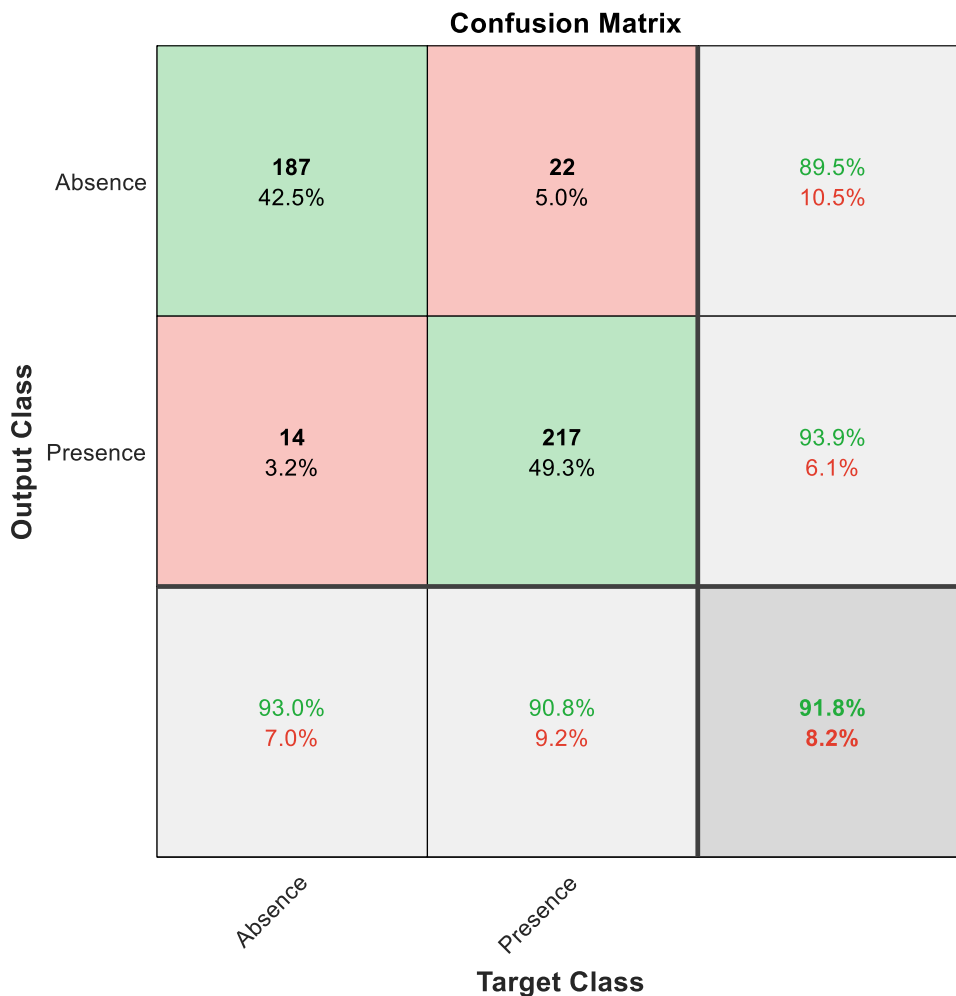
Εικόνα 6.2 Επεξήγηση ονοματοδοσίας εικόνων μετρήσεων.

Φυσικά, δεν θα χρησιμοποιήσουμε την πληροφορία πως πρόκειται για μέτρηση με άνθρωπο αλλά μόνο τον αριθμό της μέτρησης. Με τη χρήση του κώδικα «*ML_overlap_X_extraction.m*» όπου *X* ο τύπος του feature που επιλέγουμε κάθε φορά, καταφέρνουμε ελέγχοντας την λίστα με τις μετρήσεις, να ομαδοποιήσουμε τα μέρη και πλέον να εργαστούμε σε επίπεδο μέτρησης και όχι μέρους της. Μόλις διαβάσουμε μία προς μία τις μετρήσεις, ελέγχουμε την κλάση του κάθε μέρους της εκάστοτε μέτρησης και έπειτα συμπεριφερόμαστε σαν να ψηφίζει το κάθε μέρος για την τελικά κλάση – συνολικά – όπου θα λάβει η μέτρηση. Εάν για παράδειγμα η μέτρηση No 6 αποτελείται από 11 μέρη (συνήθως 7 ή 11) και τα 7 έχουν κλάση Presence ενώ τα υπόλοιπα 4 έχουν κλάση Absence, τότε αλλάζουμε τα λιγότερα (εδώ 4) σε Presence. Με αυτήν την τεχνική το ποσοστό επιτυχίας του νευρωνικού θα αυξηθεί εάν όντως πρόκειται για μέτρηση Presence, ενώ θα μειωθεί εάν ήταν Absence. Τις περισσότερες φορές όμως, το ποσοστό θα αυξάνεται καθώς είναι πιο πιθανό

η πλειοψηφία των μερών να έχει βρεθεί σωστά ως προς την κλάση, παρά το αντίθετο. Έτσι, μπορούμε να δούμε τα ποσοστά του νευρωνικού τα οποία θα αφορούν την πραγματικότητα, για κάθε μέτρηση αυτή καθ' αυτή.

6.5 Σχολιασμός αποτελεσμάτων – Confusion Matrix

Από τον Confusion Matrix μπορούμε να κατανοήσουμε την επιτυχία του δικτύου μας. Αφορά μόνο τα στοιχεία ελέγχου και όχι τα στοιχεία με τα οποία εκπαιδεύτηκε. Το πιο βασικό αποτέλεσμα όπου παίρνουμε από τον πίνακα, είναι η επιτυχία στην αναγνώριση των κλάσεων, δηλαδή τα στοιχεία της διαγώνιου. Το αμέσως επόμενο σε σπουδαιότητα αποτέλεσμα, είναι το ποσοστό των μετρήσεων που το νευρωνικό μας έδωσε ψευδή κλάση απουσίας ανθρώπου, δηλαδή τις περιπτώσεις όπου υπήρξε άνθρωπος πίσω από το φύλλωμα και το νευρωνικό δεν κατάφερε να τον εντοπίσει. Αυτή, είναι η χειρότερη περίπτωση γιατί σύμφωνα με την αρχική παραδοχή του προβλήματος διάσωσης του ανθρώπου, αυτό το ποσοστό μεταφράζεται σε ανθρώπινες ζωές που δεν αναγνωρίστηκαν από το νευρωνικό και έτσι η ομάδα διάσωσης δεν εντόπισε το θύμα στην περιοχή της επιχείρησης.



Εικόνα 6.3 Παράδειγμα αποτελέσματος εκπαίδευσης νευρωνικού σε μορφή Confusion Matrix

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε παράδειγμα ενός Confusion Matrix για δίκτυο που αναγνωρίζει τον άνθρωπο μέσω Heatmaps. Στα αριστερά βρίσκεται ο άξονας των προβλέψεων που έκανε το νευρωνικό, ενώ οριζόντια έχουμε την πραγματική κατάσταση. Στην διαγώνιο, με πράσινο χρώμα, βλέπουμε τα ποσοστά επιτυχίας για Absence και Presence καθώς και την συνολική επιτυχία. Τα

προαναφερθέντα ποσοστά παρουσιάζονται σε σχέση με το σύνολο των δεδομένων και όχι ανά κλάση. Ανά κλάση, τα αποτελέσματα φαίνονται στα ακριανά κελιά. Εν προκειμένω, το δίκτυο κατάφερε 89.5% επιτυχία στην εύρεση της περίπτωσης Absence, ενώ 93.9% ήταν το ποσοστό όπου πέτυχε για την εύρεση της περίπτωσης Presence.

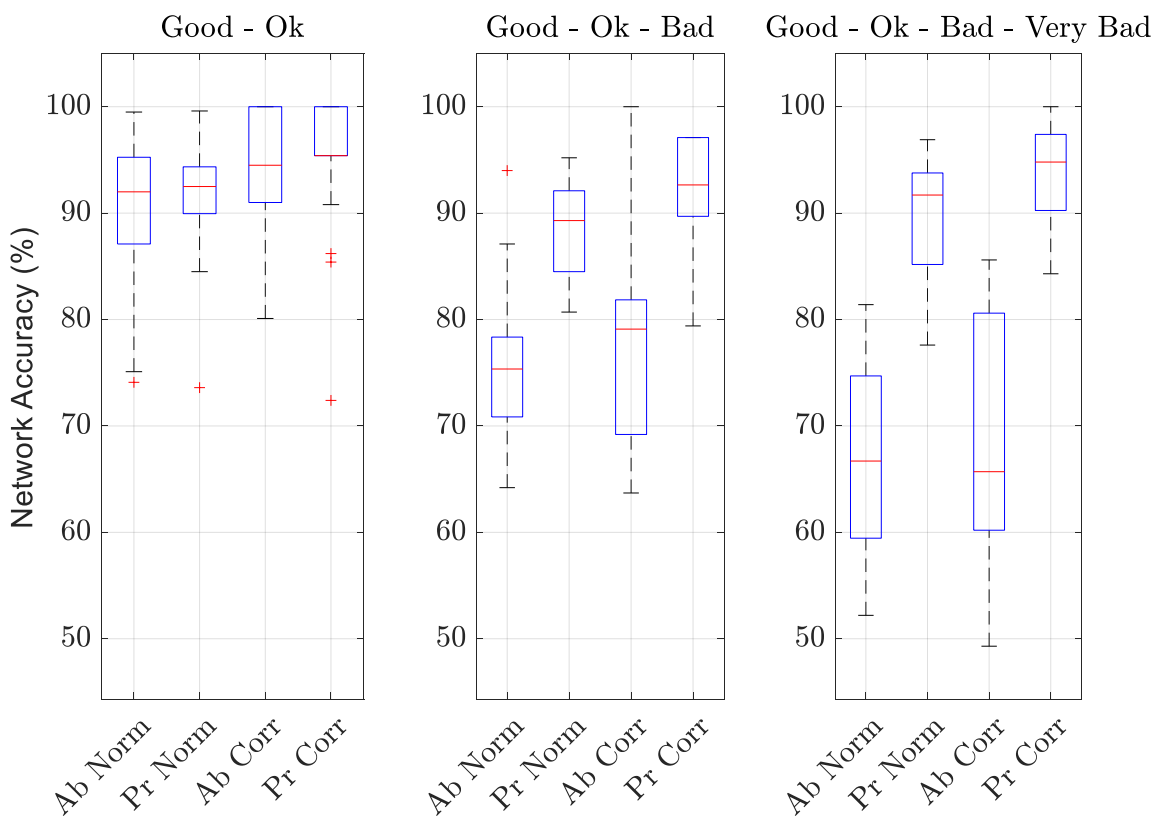
Κρίνοντας όμως τα αποτελέσματα από τη σκοπιά των απαντήσεων που έδωσε το νευρωνικό, μπορούμε να πούμε πως από τις φορές που κατέληξε πως οι μετρήσεις είναι κατηγορίας Absence, το 93% αυτών ήταν σωστό. Αντίστοιχα, από τις φορές όπου το νευρωνικό θεώρησε πως υπάρχει άνθρωπος πίσω από το φύλλωμα (Presence) το 90.8% επρόκειτο για σωστές υποθέσεις. Από την άλλη, με ερυθρό χρώμα φαίνονται οι αποτυχίες του συστήματος. Από τις 440 περιπτώσεις, τις 22 το δίκτυο συμπέρανε πως δεν υπάρχει άνθρωπος πίσω από το φύλλωμα, όμως υπήρχε, ενώ τις 14 περιπτώσεις συμπέρανε πως υπάρχει άνθρωπος ενώ δεν υπήρχε. Αυτές οι δύο κατηγορίες καλούνται και ως **false negative** και **false positive** αντίστοιχα. Όπως έχουμε αναφέρει παραπάνω, η πιο κρίσιμη κατηγορία λάθους είναι η false negative.

Στη συνέχεια ακολουθεί σύνοψη δοκιμών που έγιναν με διαφορετικά dataset, δηλαδή την επιτυχία του κάθε feature βάσει της κατηγορίας των μετρήσεων (Good, Ok, Bad ή Very Bad), όπως φαίνεται στην πρώτη στήλη. Στην δεύτερη στήλη αναφέρεται η κατάσταση των μετρήσεων, δηλαδή εάν είναι ολόκληρες (μία εικόνα ανά μέτρηση), Split (περισσότερες εικόνες ανά μέτρηση) ή Split with overlap (περισσότερες εικόνες ανά μέτρηση με επικάλυψη). Τα ποσοστά στις στήλες 3, 4 και 5 προκύπτουν από τις εικόνες, που καλώς προβλέφθηκαν προς τις συνολικές εικόνες της κάθε κατηγορίας (συνολικό, Absence και Presence). Τα ποσοστά των τριών τελευταίων στηλών προκύπτουν μετά τον υπολογισμό του πραγματικού ποσοστού επιτυχίας, όπως αυτό αναλύεται παραπάνω και εφαρμόζεται μόνο σε split δεδομένα.

Οι μόνες παράμετροι που μεταβάλλαμε ήταν το Batch size και οι εποχές που διήρκησε η εκπαίδευση. Ο τρόπος δε που επιλέγαμε τις τιμές αυτές ήταν με δοκιμές (trial and error). Συνεπώς, στα boxplots που ακολουθούν, τα διάφορα ποσοστά επιτυχίας προκύπτουν από τις διαφορετικές τιμές batch size και εποχών που ορίζουμε.

6.5.1 Αποτελέσματα Heatmap

Σε αυτήν την κατηγορία έχουμε κάνει 86 διαφορετικές εκπαιδεύσεις στο νευρωνικό με όλους τους συνδυασμούς κατηγοριών ποιότητας. Δοκιμάστηκαν οι μετρήσεις ολόκληρες και split με επικάλυψη. Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μέσω όρων των δοκιμών, τα οποία υπάρχουν και στον πίνακα πιο κάτω.



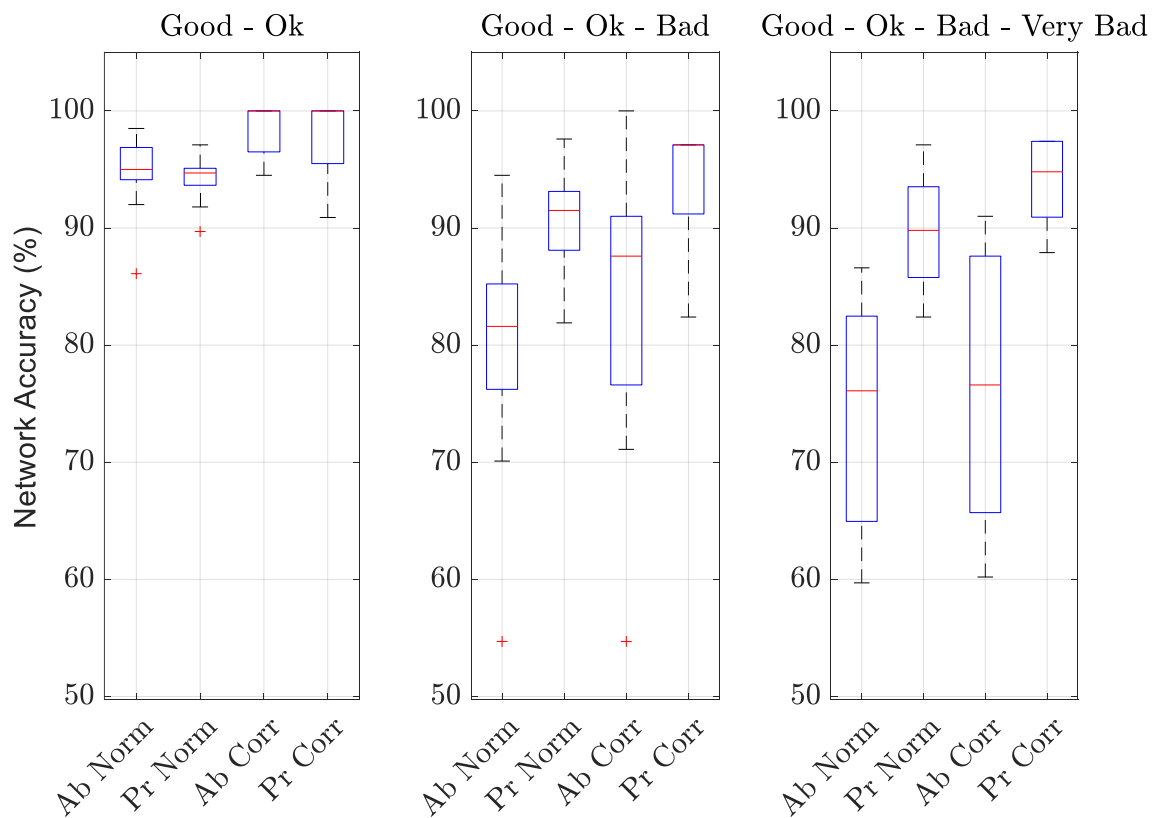
Εικόνα 6.4 Θηκογράμματα αποτελεσμάτων νευρωνικού για Heatmap

Ποιότητα μετρήσεων	Κατάσταση μετρήσεων	Συνολικό ποσοστό επιτυχίας	Ποσοστό επιτυχίας Absence	Ποσοστό επιτυχίας Presence	Πραγματικό συνολικό ποσοστό επιτυχίας	Πραγματικό ποσοστό επιτυχίας Absence	Πραγματικό ποσοστό επιτυχίας Presence
Good, Ok	Split - overlap	91.40	90.85	91.95	95.00	94.63	95.38
Good, Ok, Bad	Split - overlap	82.27	75.99	88.55	84.79	77.60	92.00
Good, Ok, Bad, Very Bad	Split - overlap	78.45	67.33	89.57	78.45	68.40	93.42

Πίνακας 6.2 Αποτελέσματα νευρωνικού για Heatmap

6.5.2 Αποτελέσματα FFT

Σε αυτήν την κατηγορία έχουμε κάνει 133 διαφορετικές εκπαιδεύσεις στο νευρωνικό με όλους τους συνδυασμούς κατηγοριών ποιότητας. Δοκιμάστηκαν οι μετρήσεις ολόκληρες (40 κομμάτια) και split με επικάλυψη (81 κομμάτια). Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μέσω όρων των δοκιμών, τα οποία υπάρχουν και στον πίνακα πιο κάτω.



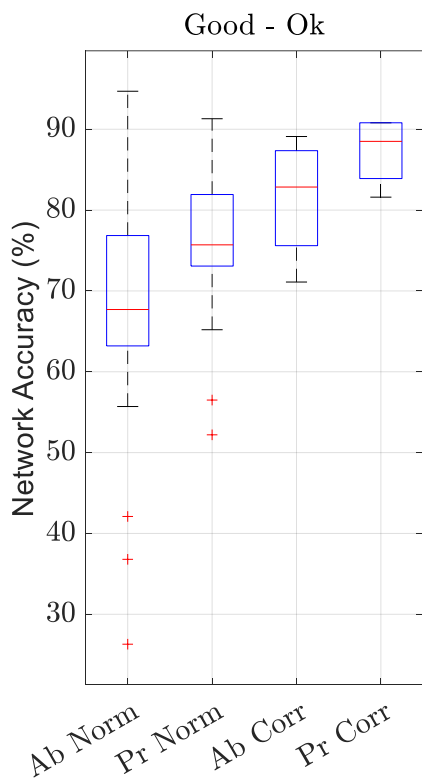
Εικόνα 6.5 Θηκογράμματα αποτελεσμάτων νευρωνικού για FFT.

Ποιότητα μετρήσεων	Κατάσταση μετρήσεων	Συνολικό ποσοστό επιτυχίας	Ποσοστό επιτυχίας Absence	Ποσοστό επιτυχίας Presence	Πραγματικό συνολικό ποσοστό επιτυχίας	Πραγματικό ποσοστό επιτυχίας Absence	Πραγματικό ποσοστό επιτυχίας Presence
Good, Ok	Normal	89.52	89.72	89.31	—	—	—
Good, Ok	Split with overlap	92.21	91.82	92.6	98.35	98.5	98.19
Good, Ok, Bad	Split with overlap	85.15	80.01	90.3	89.08	84.5	93.65
Good, Ok, Bad, Very Bad	Split with overlap	82.14	75.13	89.14	85.06	76.91	93.2

Πίνακας 6.3 Αποτελέσματα νευρωνικού για FFT

6.5.3 Αποτελέσματα Tsallis Wavelet Entropy

Σε αυτήν την κατηγορία έχουμε κάνει 30 διαφορετικές εκπαιδεύσεις στο νευρωνικό. Οι συνδυασμοί κατηγοριών ποιότητας μετρήσεων ήταν Good, Ok και Good, Ok, Bad. Επίσης δοκιμάστηκαν οι μετρήσεις ολόκληρες (15 κομμάτια) και split με επικάλυψη (14 κομμάτια). Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των δοκιμών.



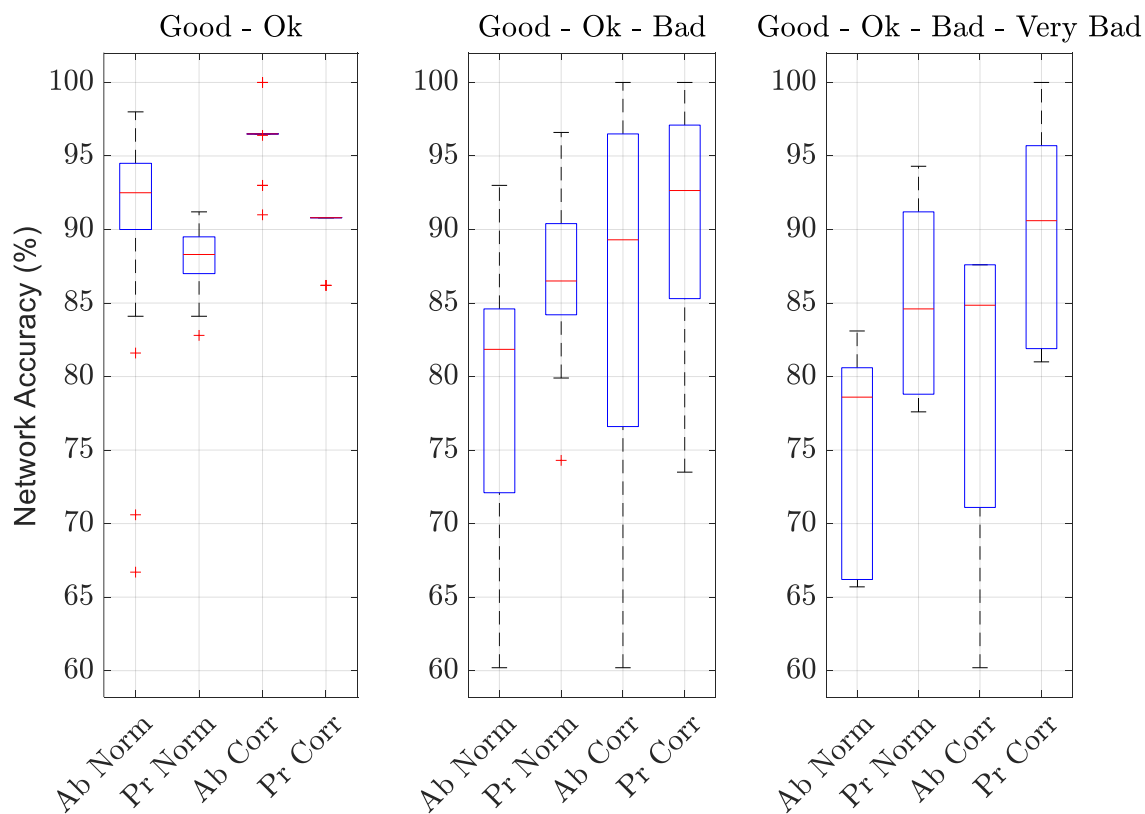
Εικόνα 6.6 Θηκογράμματα αποτελεσμάτων νευρωνικού για Tsallis Wavelet Entropy

Ποιότητα μετρήσεων	Κατάσταση μετρήσεων	Συνολικό ποσοστό επιτυχίας	Ποσοστό επιτυχίας Absence	Ποσοστό επιτυχίας Presence	Πραγματικό συνολικό ποσοστό επιτυχίας	Πραγματικό ποσοστό επιτυχίας Absence	Πραγματικό ποσοστό επιτυχίας Presence
Good, Ok	Normal	68.79	62.81	74.78	—	—	—
Good, Ok	Split with overlap	73.85	71.19	76.5	84.36	81.6	87.12
Good, Ok, Bad	Split with overlap	65.45	48.8	82.1	71.6	49.3	93.9

Πίνακας 6.4 Αποτελέσματα νευρωνικού Tsallis Wavelet Entropy

6.5.4 Αποτελέσματα Wavelet

Σε αυτήν την κατηγορία έχουμε κάνει 87 διαφορετικές εκπαιδεύσεις στο νευρωνικό με όλους τους συνδυασμούς κατηγοριών ποιότητας. Επίσης δοκιμάστηκαν οι μετρήσεις ολόκληρες και split με επικάλυψη. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των δοκιμών.



Εικόνα 6.7 Θηκογράμματα αποτελεσμάτων νευρωνικού για Wavelet

Ποιότητα μετρήσεων	Κατάσταση μετρήσεων	Συνολικό ποσοστό επιτυχίας	Ποσοστό επιτυχίας Absence	Ποσοστό επιτυχίας Presence	Πραγματικό συνολικό ποσοστό επιτυχίας	Πραγματικό ποσοστό επιτυχίας Absence	Πραγματικό ποσοστό επιτυχίας Presence
Good, Ok	Split with overlap	89.91	91.29	88.53	92.91	95.26	90.56
Good, Ok, Bad	Split with overlap	82.86	87.82	87.00	88.14	84.72	91.55
Good, Ok, Bad, Very Bad	Split with overlap	80.33	75.47	85.18	84.97	79.37	89.97

Πίνακας 6.5 Αποτελέσματα νευρωνικού για Wavelet

6.6 Συμπεράσματα αποτελεσμάτων νευρωνικού δικτύου

Τα αποτελέσματα σε κάθε κατηγορία feature για τα οποία έγιναν οι αντίστοιχες εκπαιδεύσεις, ποικίλουν λόγω της διαφορετικότητάς τους ως προς τον τρόπο απεικόνισης της κάθε μέτρησης. Παρατηρούμε πως τα καλύτερα αποτελέσματα, ήταν για εικόνες heatmap στις οποίες εμφανίζονται καλύτερα τα χαρακτηριστικά όπου διαφοροποιούν τις μετρήσεις από Absence σε Presence. Κάθε ένα feature έχει σημεία στα οποία τα καταφέρνει καλύτερα. Όμως, σε γενικό βαθμό τα καλύτερα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν από το heatmap σε split κατάσταση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι όλα τα υπόλοιπα features βασίζονται στο heatmap, μιας και εάν εξαρχής το heatmap δεν βρίσκεται στις καλές κατηγορίες ποιότητας, αναμένεται σε μεγάλο βαθμό τα επιμέρους features να μην δώσουν ορθό αποτέλεσμα.

Όλα τα features έδωσαν ικανοποιητικά αποτελέσματα με ποσοστά επιτυχίας άνω του αποδεκτού και πολύ κοντά μεταξύ τους. Το μοναδικό feature που δεν έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα για όλους τους τύπους κατηγοριών ποιότητας των μετρήσεων ήταν αυτό της εντροπίας κατά Tsallis. Οι δοκιμές που πραγματοποιήσαμε ήταν αποτρεπτικές με αποτέλεσμα να μην υπάρξει περαιτέρω εκπαίδευση του νευρωνικού με όλους τους τύπους μετρήσεων, όπως στις προηγούμενες περιπτώσεις των υπόλοιπων features. Τέλος, ένα ακόμη feature το οποίο δεν μπόρεσε να μας δώσει καθόλου αποτελέσματα – επιτυχία μικρότερη της τυχαιότητας (50%) - ήταν το Standard deviation, το οποίο είχαμε τροφοδοτήσει σε νευρωνικό τύπου Long short-term memory.

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1 Έκβαση αρχικής ιδέας και ενδεχόμενες βελτιώσεις

Το πιο αισιόδοξο αποτέλεσμα όπου λάβαμε κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας αυτής, ήταν πως η αρχική ιδέα περί χρήσης ραντάρ για τον εντοπισμό ανθρώπου πίσω από φυλλώματα από ομάδες διάσωσης πεζοπόρων τμημάτων ήταν ορθή. Επαληθεύθηκε η θεωρία πως η διακριτική ικανότητα του ραντάρ ως προς τον χώρο, μπορεί να μας δώσει την πολυπόθητη απάντηση του εάν υπάρχει η όχι ανεξιχνίαστο θύμα στην περιοχή παρατήρησης. Φυσικά, η υλοποίηση που παρουσιάσαμε είναι σε αρκετά πρώιμο στάδιο και χρειάζεται αρκετές τροποποιήσεις και βελτιώσεις.

Η βασικότερη βελτίωση που απαιτείται, είναι η βελτιστοποίηση της υλοποίησης του κουτιού και του ραντάρ. Η αναβάθμιση του ραντάρ σε ένα υψηλότερης ισχύος (εντός των προβλεπόμενων ορίων, αναφορικά με τη μέγιστη απορρόφηση ακτινοβολίας του ανθρώπινου σώματος) και διαφορετικής συχνότητας, αλλά και η βελτίωση της κεραίας του σε μια πιο κατευθυντική, θα οδηγούσε στο να αποκτήσει το σήμα της αναπνοής του ανθρώπου υψηλότερο και ευκρινέστερο πλάτος, μειώνοντας τον επιμέρους θόρυβο από τα τριγύρω εμπόδια. Ακόμη μια πιο ενδεδειγμένη έρευνα για διαφορετικό τύπο ανακλαστήρα (πχ. παραβολικό) ίσως να βοηθούσε ακόμη περισσότερο στην μεγιστοποίηση του SNR.

Μια ακόμη βελτίωση που θα μπορούσε να γίνει από άποψη dataset, είναι η συλλογή ενός μεγαλύτερου dataset με ποικιλία υποκειμένων, καιρικών συνθηκών, ρυθμών αναπνοής υποκειμένων, αλλά και ποικιλίας θάμνων σχετικά με τον τύπο του φυλλώματος ή του μεγέθους τους και ίσως κατηγοριοποίησή τους. Ακόμη θα μπορούσε να τοποθετηθεί το υπό μέτρηση υποκείμενο στο έδαφος και όχι όρθιο, για να είναι πιο ρεαλιστικό το σενάριο, πράγμα το οποίο θα βοηθούσε και στην εξάλειψη της ακουσίας κίνησής του στο χώρο, με αποτέλεσμα ένα πιο ακριβές και σταθερό μοτίβο αναπνοής, με δυνατότητα εξαγωγής μέχρι και FFT για τον εντοπισμό του ρυθμού αναπνοής.

Τέλος, για το νευρωνικό, μια σημαντική βελτίωση θα μπορούσε να είναι η υλοποίηση νευρωνικού, το οποίο θα μπορεί εξάγει συμπεράσματα από όλα τα υπόλοιπα νευρωνικά για καθένα feature, εισάγοντας αντίστοιχα βάρη, για να δώσει ένα πιο ακριβές συμπέρασμα στο πρόβλημα της δυαδικής κατηγοριοποίησης.

7.2 Αξιοπιστία συστήματος

Η αξιοπιστία του συστήματος όπου αναπτύχθηκε, ελέγχθηκε με τους τρόπους που αναλύθηκαν παραπάνω, όσον αφορά στις μετρήσεις που εισήχθησαν στο νευρωνικό. Σχεδόν όλες οι περιπτώσεις Presence εντοπίστηκαν επιτυχώς με πάνω από 90% επιτυχία, ενώ οι περισσότερες από τις περιπτώσεις Absence αναγνωρίστηκαν. Το ποσοστό επιτυχίας στην τελευταία κατηγορία μειώνεται καθώς στο dataset εμπεριέχουμε και δεδομένα με κακή ευκρίνεια, αγγίζοντας το 68% στην χειρότερη περίπτωση. Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενη ενότητα, υπάρχουν σημαντικοί περιορισμοί ως προς την ποιότητα, την πυκνότητα και τον όγκο του φυλλώματος καθώς επίσης – και πιο βασικά – την κατάσταση του ανέμου εκείνη την στιγμή. Θα μπορούσαμε να πούμε πως για θάμνους μέχρι 3 μέτρα πάχους και μέτριο αέρα, το παρόν σύστημα μπορεί να δώσει μια αρκετά καλή πρόβλεψη.

7.3 Εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες

Όπως έχουμε προαναφέρει, η παρούσα μελέτη αφορά σε συγκεκριμένη διάταξη, εξοπλισμό, υποκείμενα υπό μέτρηση, καθώς και συνθήκες όπου επικρατούν. Στην περίπτωση όπου θέλουμε να προσεγγίσουμε μία πραγματική κατάσταση εντοπισμού θυμάτων, θα πρέπει να μελετήσουμε αρχικά την μορφολογία του σήματος του ραντάρ που λαμβάνουμε, η οποία είναι διαφορετική κάθε φορά διαφορετική (πλάτος σήματος αναπνοής, κινήσεις θάμνου, επίδραση ανέμου κ.α.), αλλά και την πρακτικότητα του συστήματος ως προς την χρήση του. Η κατασκευή η οποία υλοποιήθηκε για τους σκοπούς του πειράματος, είναι μία πρώτη προσέγγιση του προβλήματος και δεν καθιστά λύση τελικού προϊόντος. Σε πραγματικές συνθήκες, η πιο εύκολη και υποσχόμενη λύση θα ήταν η τοποθέτηση του ραντάρ σε κάποιο τηλεκατευθυνόμενο ή αυτόνομο όχημα παντός εδάφους ή σε ιπτάμενο μέσο. Το νέο σύστημα θα μπορεί να κινείται σε μία έκταση που θα του έχει οριστεί και σε αυτήν να ξεκινήσει την διαδικασία ανίχνευσης ανθρώπινης ζωής. Αυτή η τεχνική περιλαμβάνει δύο πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα, αρχικά την αποφυγή των παρεμβολών που προκαλεί ο χειριστής – διασώστης στη μέτρηση, εκμεταλλευόμενοι έτσι και την ομοιοκατευθυντική κεραία του ραντάρ για έρευνα θυμάτων σε μεγαλύτερη περιοχή γύρω από αυτό, και έπειτα την ικανότητα ενός τέτοιου οχήματος να ανιχνεύει σε μέρη όπου ο άνθρωπος δεν θα μπορούσε να προσεγγίσει εύκολα (όπως χαράδρες και μέρη τα οποία ίσως έθεταν σε κίνδυνο την ίδια την ομάδα διάσωσης). Τεχνολογίες μετάδοσης δεδομένων και ασύρματες επικοινωνίες UxV, θα μπορούσαν να συμβάλλουν καταλυτικά στην εφαρμογή αυτή και να δώσουν τη δυνατότητα της εξ αποστάσεως επιχείρησης διάσωσης μέσω της επικοινωνίας του οχήματος με έναν σταθμό βάσης.

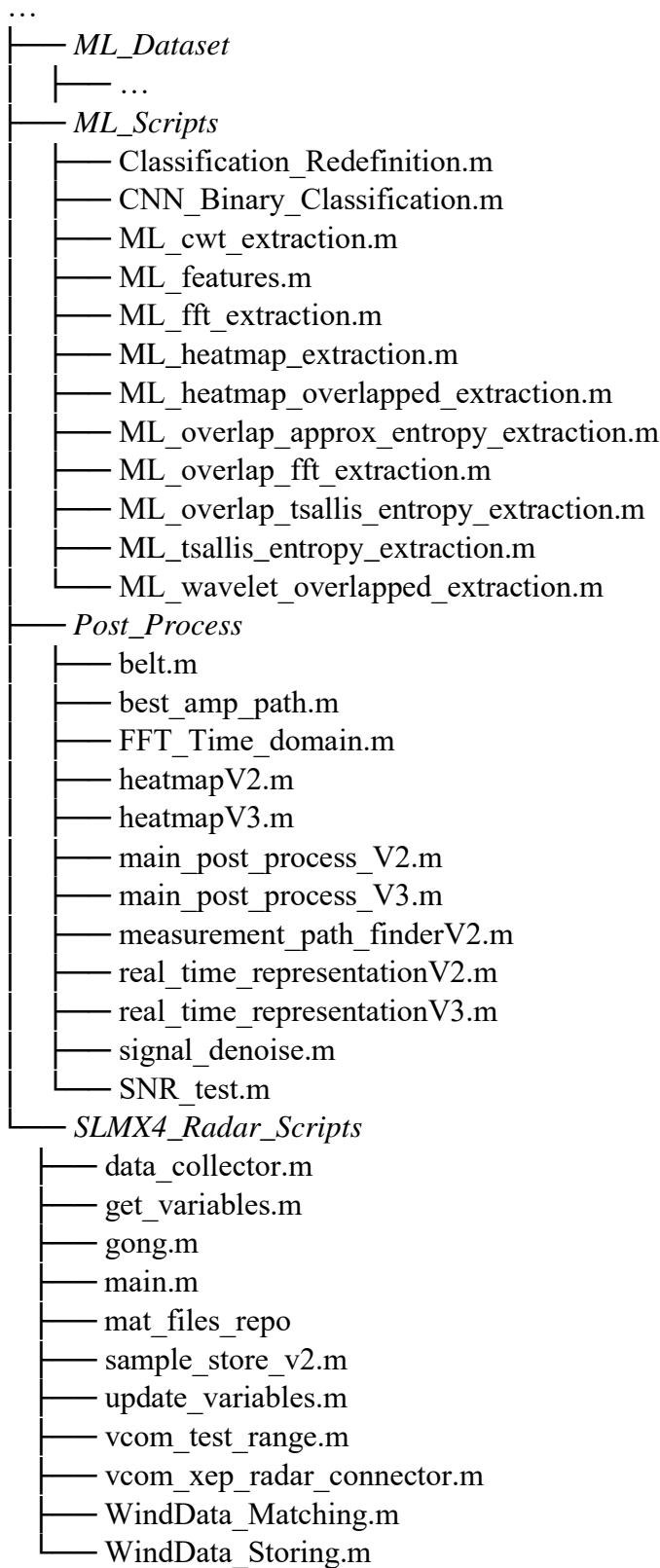
8 Βιβλιογραφία

- [1] T. Higginson, «Electronic Warfare Basics: Pulse Repetition Interval (PRI),» *Medium*, 02 Apr 2022.
- [2] Novelda, «XeThru X4 Radar User Guide, UWB Basic Principles and X4 Operation,» 25 September 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://github.com/SensorLogicInc/modules/blob/main/docs/XTAN-13_XeThruX4RadarUserGuide_rev_a.pdf.
- [3] H.-J. Li, «Radar and inverse scattering,» σε *The Electrical Engineering Handbook*, Elsevier eBooks, 2005, p. 671–690.
- [4] F. Joaquim και Chareau Jean-Marc, «Radar Cross Section Measurements of Pedestrian Dummies and Humans in the 24/77 GHz Frequency Bands,» *Semantic Scholar*, 2013.
- [5] L. Ren, Y. S. Koo, H. Wang, S. Wang, Q. Liu και A. E. Fathy, «Noncontact multiple heartbeats detection and subject localization using UWB impulse doppler radar,» *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, τόμ. 25, αρ. 10, p. 690–692, Oct 2015.
- [6] M. I. Skolnik, INTRODUCTION TO RADAR SYSTEMS, MCGRAW-HILL BOOK COMPANY , 1962.
- [7] C. A. Balanis, Antenna Theory Analysis and Design, 4th επιμ., New Jersey: John Wiley & Sons, 2016.
- [8] A. Lindholm, N. Wahlstrom, F. Lindsten και T. B. Schon, Machine Learning - A First Course for Engineers and Scientists, Cambridge University Press, 2022.
- [9] I. Goodfellow, Y. Bengio και A. Courville, Deep Learning, The MIT Press, 2016.
- [10] S. Haykin, «Τι είναι ένα νευρωνικό δίκτυο;», σε *Νευρωνικά Δίκτυα και Μηχανική Μάθηση*, Αθήνα, Παπασωτηρίου, 2010, pp. 1-3.
- [11] H. Hashani, M. Ghodsi και G. R. Howell, «A note on standard deviation and standard error,» *Teaching Mathematics and Its Applications*, τόμ. 29, pp. 108-112, 2010.
- [12] «NTI Audio,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.nti-audio.com/en/support/know-how/fast-fourier-transform-fft>.
- [13] B. S. B. Dewantara, S. Dhuha, B. S. Marta και D. Pramadihanto, «FFT-based Human Detection using 1-D Laser Range Data,» *IEEE Xplore*, July 2020.
- [14] L. Sevgi, «Fourier Transform and Fourier Series,» *IEEE Xplore*, pp. 71 - 94, 2014.
- [15] MathWorks, «What is a Wavelet? - MATLAB & Simulink,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.mathworks.com/help/wavelet/gs/what-is-a-wavelet.html>.
- [16] R. S. Salles και P. F. Ribeiro, «The use of deep learning and 2-D wavelet scalograms for power quality

- disturbances classification,» *Electric Power Systems Research*, τόμ. 214, Jan 2023.
- [17] M. Johari, F. Esmaeili, A. Andalib, S. Garjani και H. Saberkari, «A novel thresholding based algorithm for detection of vertical root fracture in nonendodontically treated premolar teeth,» *Journal of Medical Signals and Sensors*, τόμ. 6, p. 81, Jan 2016.
- [18] MathWorks, «Continuous Wavelet Transform and Scale-Based Analysis - MATLAB & Simulink.,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.mathworks.com/help/wavelet/gs/continuous-wavelet-transform-and-scale-based-analysis.html>.
- [19] O. A. Rosso, «Wavelet entropy: a new tool for analysis of short duration brain electrical signals,» *Journal of Neuroscience Methods*, τόμ. 105, p. 65–75, Jan 2001.
- [20] Y. Zou, L. Yu και K. He, «WAVELET Entropy based analysis and forecasting of crude oil price dynamics,» τόμ. 17, Oct 2015.
- [21] MathWorks, «Wavelet entropy - MATLAB wentropy».
- [22] R. Sharma, R. B. Pachori και U. R. Acharya, «An integrated index for the identification of focal electroencephalogram signals using discrete wavelet transform and entropy measures,» *Entropy*, τόμ. 17, Jul 2015.
- [23] J. Chen και G. Li, «Tsallis Wavelet Entropy and its Application in Power Signal Analysis,» *Entropy*, τόμ. 16, May 2014.
- [24] SensorLogic, Inc., «SensorLogic Radar Modules,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://github.com/SensorLogicInc/modules/commit/8888697a88e641255bbf8448c04f4406bd232992>.
- [25] ZEPHYR™ Performance Systems, «<https://www.zephyranywhere.com/>,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.zephyranywhere.com/media/download/bioharness3-user-manual.pdf>.
- [26] Teledyn Storm Microwave, «HIGH PERFORMANCE MICROWAVE INTERCONNECT PRODUCTS-DIELECTRIC OPTIONS,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.teledynedefenseelectronics.com/stormmicrowave/resources/Documents/DielectricOptions.pdf>. [Πρόσβαση 24 05 2023].
- [27] N. Contributor, «Respiratory rate 3: how to take an accurate measurement,» *Nursing Times*, Apr 2023.
- [28] A. Singh, S. U. Rehman, S. Yongchareon και P. H. J. Chong, «Modelling of chest wall motion for cardiorespiratory activity for Radar-Based NCVS systems,» *Sensors (Basel)*, τόμ. 20, Sep 2020.
- [29] N. Andersen, «A 118-MW Pulse-Based radar SOC in 55-Nm CMOS for Non-Contact human vital signs detection,» *IEEE Journal of Solid-state Circuits*, τόμ. 52, Dec 2017.
- [30] SensorLogicInc, «GitHub,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://github.com/SensorLogicInc/modules/blob/main/matlab/readme.md>.

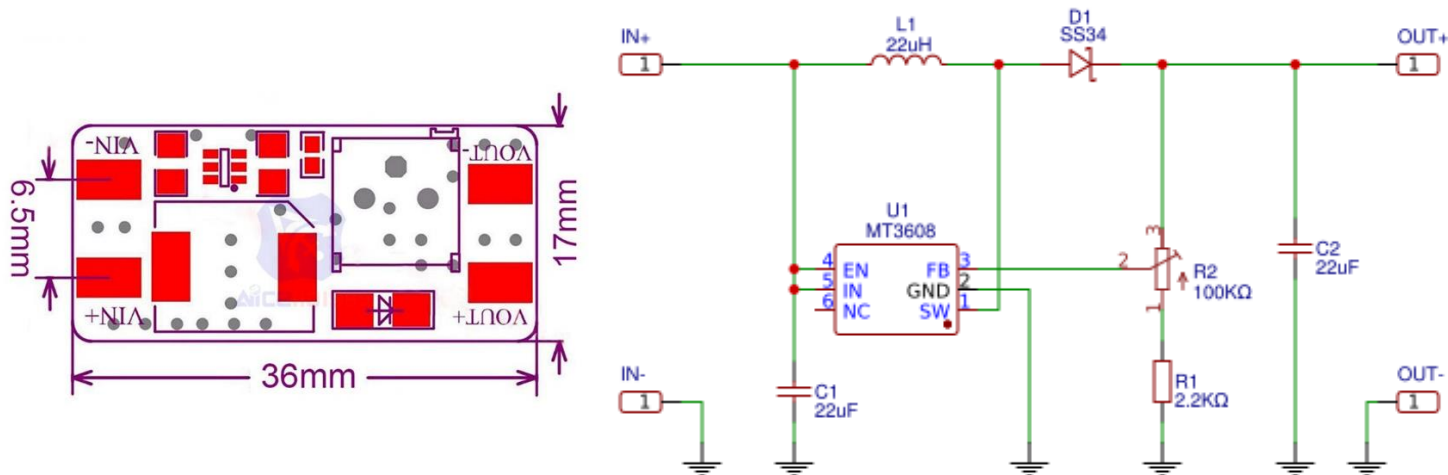
- [31] Novelda, «XeThru Datasheet By Novelda AS,» 23 Nov 2017. [Ηλεκτρονικό].
- [32] S. Maehira, T. Hiroki, Y. Fujita, K. Usui και E. Kunieda, «Quantitative Evaluation of Lung Motion due to Different Breathing Maneuvers using Deformable Image Registration,» *European Congress of Radiology - ECR 2020*, 20 Jan 2020.
- [33] «Dielectric properties» IT'IS Foundation,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://itis.swiss/virtual-population/tissue-properties/database/dielectric-properties/>.
- [34] HE Zheng-you, Chen Xiaoqing και Luo Guoming, «Wavelet Entropy Measure Definition and Its Application for Transmission Line Fault Detection and Identification; (Part I: Definition and Methodology),» σε *International Conference on Power System Technology*, 2006.
- [35] F. N. Iandola, M. W. Moskewicz, K. Ashraf, S. Han, W. J. Dally και K. Keutzer, «SqueezeNet: AlexNet-level accuracy with 50x fewer parameters and <0.5MB model size,» *International Conference on Learning Representations*, 2017.
- [36] W. Deng και R. Wu, «Real-Time Driver-Drowsiness detection System using facial features,» *IEEE Access*, τόμ. 7, Jan 2019.
- [37] Y. Rahmat-Samii, L. I. Williams και R. G. Yoccarino, «The UCLA Bi-polar Planar-Near-Field,» *IEEE Antennas & Propagation Magazine*, τόμ. 37, αρ. 6, Δεκέμβριος 1995.
- [38] *IEEE Standard Test Procedures for Antennas, IEEE Std 149*, IEEE, Inc., 1979.
- [39] Cisco Systems, Inc., «Antenna Patterns and Their Meaning, White Paper».
- [40] C.-A. Bunge, T. Gries και M. Beckers, *Polymer Optical Fibres, Fibre Types, Materials, Fabrication, Characterisation and Applications*, Woodhead Publishing, 2017.
- [41] A. Mousa, «Electromagnetic Radiation Measurements and Safety Issues of some Cellular Base Stations in Nablus,» *Journal of Engineering Science and Technology*, April 2011.
- [42] I. (. The MathWorks, «Simulate Radar Ghosts Due to Multipath Return».
- [43] John Hopkins Medicine, «Vital Signs 101,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.hopkinsmedicine.org/health/conditions-and-diseases/vital-signs-body-temperature-pulse-rate-respiration-rate-blood-pressure>.
- [44] F. J. Abdu, Y. Zhang, M. Fu, Y. Li και Z. Deng, «Application of Deep Learning on Millimeter-Wave Radar Signals: A review,» *Sensors (Basel)*, τόμ. 21, pp. 3-4, 10 Mar 2021.
- [45] JonMcLoone, Artist, *Morlet Wavelet*. [Art]. 12 March 2012.

Παράρτημα Α – Περιεχόμενα φακέλου κωδίκων Matlab

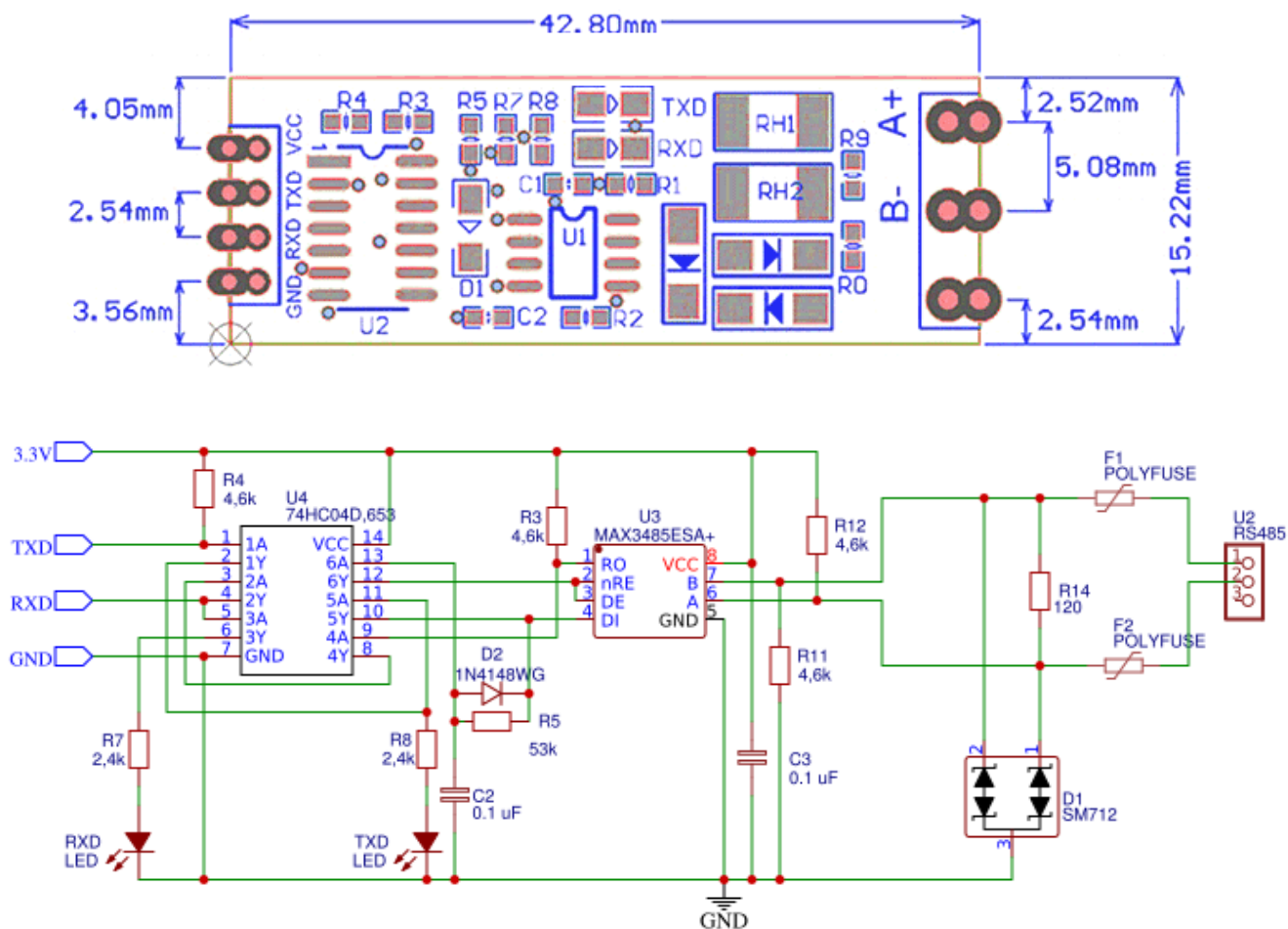


Παράρτημα Β - Περιφερειακά modules

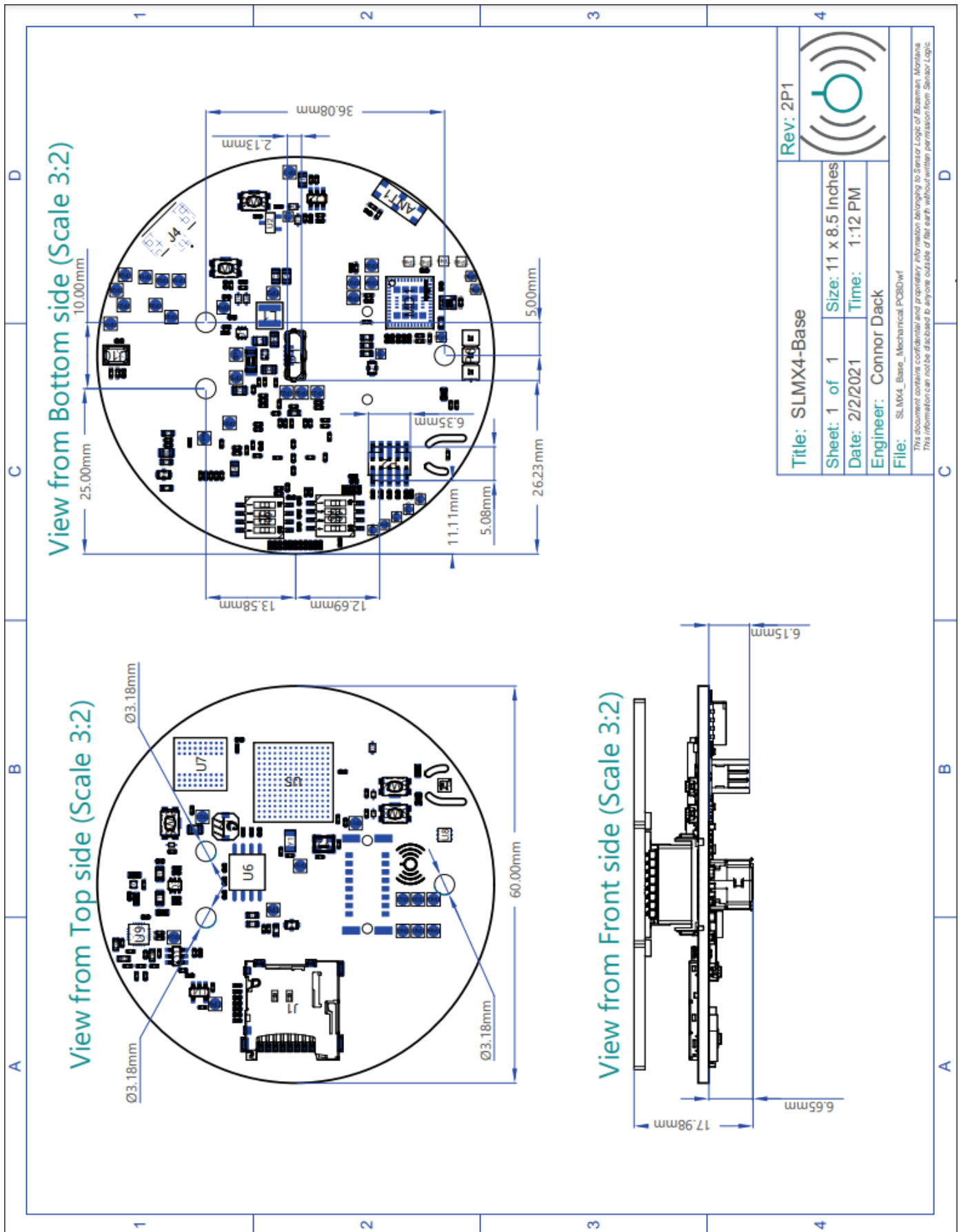
- **MT3608 5-28V Converter DC/DC Step-Up**



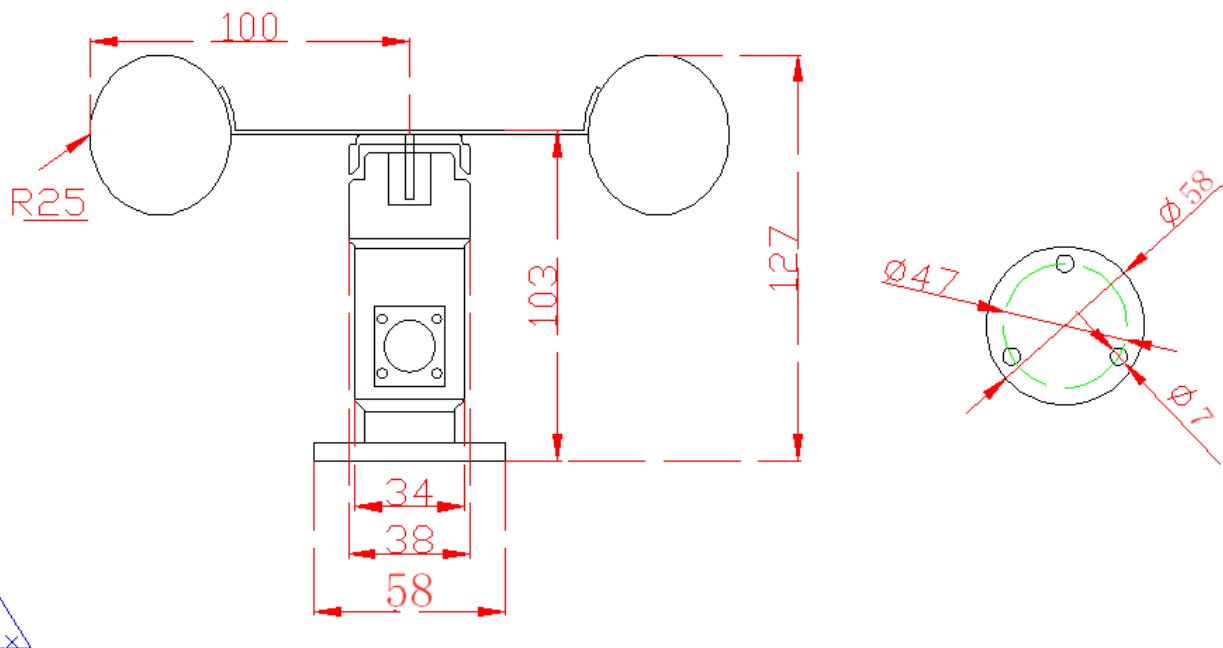
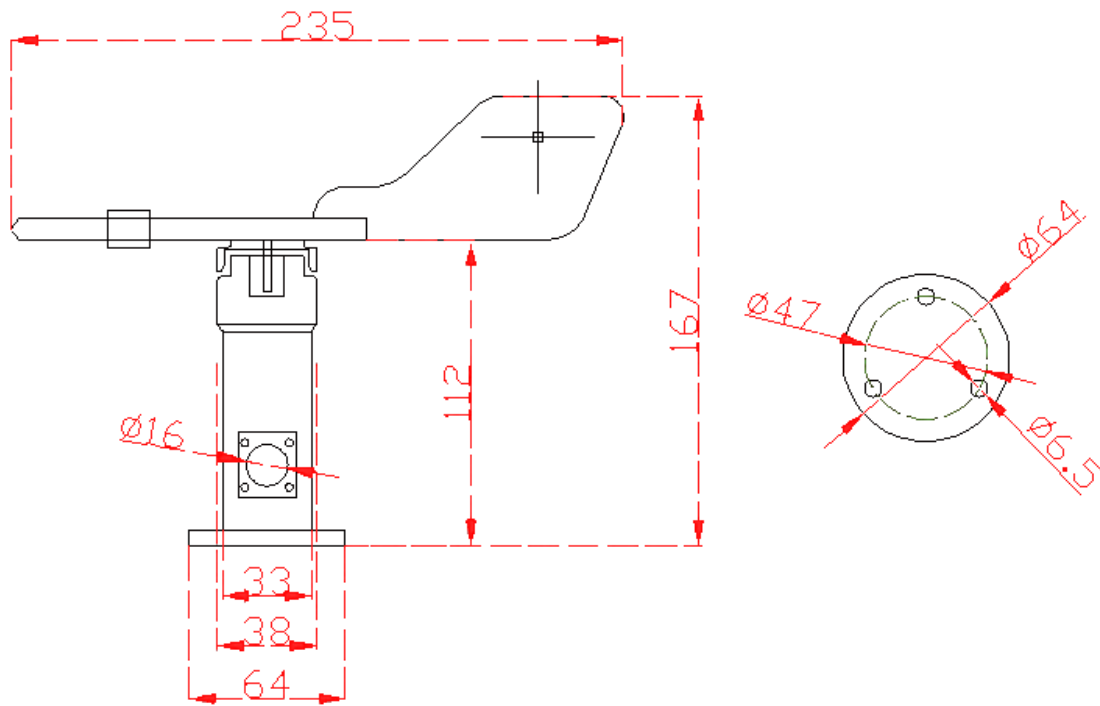
- **UART TTL to RS485 Two-way Converter**



Παράρτημα Γ – Συσκευή Ραντάρ



Παράρτημα Δ – Ανεμόμετρα



Παράρτημα Ε – Ενδεικτικοί κώδικες Matlab

—	Περιεχόμενα παραρτήματος
—	main.m
—	data_collector.m (func)
—	get_variables.m (func)
—	update_variables.m (func)
—	sample_store_v2.m
—	WindData_Matching.m
—	WindData_Storing.m
—	ML_heatmap_extraction.m
—	ML_heatmap_overlapped_extraction.m
—	CNN_Binary_Classification.m
—	Classification_Redefinition.m

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%  
% Here we introduce the main script we need to run for collecting a  
% measurement for our dataset.  
%  
% Notes:  
% 1) Do not save any .mat file in the main directory. Instead use the  
% folder 'mat_files_repository' to avoid interrupting the  
% 'sample_store_v2' script.  
% 2) Check for variables you need to change regarding to your system  
% settings.  
% 3) For performance (time required for each process) measurement use  
% tic - toc functions.  
% 4) To change the type of frames we store in 'data' we have to change  
% the r.GetFrame...Double in the 'data_collector' function.  
% 5) Measurements are executed in 16 Hz (300 pps 16 iterations) which can  
% be changed from 'update_variables' function.  
% 6) 'Posixtime' labelling of dataset files is at GMT+00.  
%  
% -----  
% Script: main.m  
% Authors: Efstratios Paliodimos, Papadopoulos Fotios  
% E-mail: stratospaliodimos@gmail.com, fotispapadopoyloss@gmail.com  
% Created: January 2023  
% Version: 0.1.1  
% Modified: March 2023  
% Copyright (c) 2023 University of West Attica  
%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
  
clear  
clc  
  
% Sound notification for measurement initiation  
gong(6,523)  
pause(0.2)
```

```
% Format of posixtime display values
format longG

% Change regarding your directory you want to save Dataset or Workspaces
direc = 'C:\Users\...\Scripts\Radars_SLMX4_Scripts';

% Open com port / X4 radar
r = vcom_xep_radar_connector('COMX');           % Replace with your COM port number
r.Open('X4');

% Update all variables and return into 'variables_matrix'
update_variables(r);
variables_matrix = get_variables(r);

% Set counter for workspace numeration
measurement_counter = 1;                       % Fixed value for counting Workspaces
measurement_duration = 3;                      % Value of the expected workspaces produced

res = Item( r, 'res' );
frameSize = r.numSamplers;                    % Get # bins/samplers in a frame
frame = zeros(1, frameSize);                  % Preallocate frame
range_vector = res.*[0:1:(frameSize-1)];
data_matrix = [];
angle_matrix = [];
speed_matrix = [];

% Format of posixtime display values
format longG

tic                                           % Setting up timer for measurement duration tracking

while (measurement_counter <= measurement_duration)
    sprintf('%s%d', 'Creating workspace_', measurement_counter)
    [data_matrix , time_matrix , amplitude_matrix , phase_matrix] = data_collector(r);
    data = data_matrix(end,:);
    save(strcat(direc, '\Workspace_', string(measurement_counter)), ...
        'data_matrix' , 'time_matrix' , 'amplitude_matrix');
    measurement_counter = measurement_counter + 1;
end

toc

% Close the com port / X4 radar
r.Close();

% Sound notification for measurement termination
gong(6,523)
pause(0.2)
gong(6,659)
pause(0.2)
gong(6,784)

% Start the storing process
sample_store_v2();

% Inform the user from the CMD
sprintf('%s', 'Measurement completed, all files saved!')
sprintf('%s%s', 'Posixtime label: ', t)
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% This function is used in "main.m" script for collecting the radar frames
% and splitting them into magnitude and phase of the complex signal values.
%
% -----
% Script:   data_collector.m (func)
% Authors:  Efstratios Paliodimos, Papadopoulos Fotios
% E-mail:   stratospaliodimos@gmail.com, fotispapadopoyloss@gmail.com
% Created:  January 2023
% Version:  0.2.0
% Modified: July 2023
% Copyright (c) 2023 University of West Attica
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

function [data_matrix , time_matrix , amplitude_matrix , phase_matrix] =
data_collector(r)

    data_matrix = [];
    time_matrix = [];
    num_of_frames = 800;                                % Original value 800

    while height(data_matrix)< num_of_frames

        try

            % Set the type of data to return in 'data' matrix. Only one
            % should be uncommented
            data_type = r.GetFrameNormalizedDouble;
            % data_type = r.GetFrameRawDouble;

            data_matrix = [data_matrix ; data_type];
            time_matrix = [time_matrix ; (posixtime(datetime))];

        catch exception

            fprintf( "Error occured \n" );
            fprintf(exception);
            fprintf("\n");

        end
    end

    amplitude_matrix = [abs(data_matrix)];
    phase_matrix = [angle(data_matrix)];

end
```



```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%  
% Get all variables set in the radar module requesting them from the  
% handler "r" in one matrix to be saved in in Workspace and later in  
% settings.mat file.  
%  
% -----  
% Script:   get_variables.m (func)  
% Authors:  Efstratios Paliodimos, Papadopoulos Fotios  
% E-mail:   stratospaliodimos@gmail.com, fotispapadopoyloss@gmail.com  
% Created:  January 2023  
% Version:  0.0.1  
% Modified: January 2023  
% Copyright (c) 2023 University of West Attica  
%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
  
function variables_matrix = get_variables(r)  
  
    variables = ListVariables(r);  
    variables_matrix = [];  
  
    for var = 1 : length(variables)  
  
        var_vector = { variables{var} (Item(r, variables{var})) };  
        variables_matrix = [ variables_matrix ; var_vector];  
  
    end  
  
end
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% Script to insert the XEP module the new variables or update the existing
% ones. You can use the command "ListVariables(r)" to see the list of
% variables.
%
% -----
% Script:   update_variables.m (func)
% Authors: Efstratios Paliodimos, Fotios Papadopoulos, Mitilineos Stelios
% E-mail:  stratospaliodimos@gmail.com, fotispapadopoyloss@gmail.com
% Created: January 2023
% Version: 0.0.2
% Modified: July 2023
% Copyright 2023 University of West Attica
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

function update_variables(r)

    r.TryUpdateChip( 'iterations' , 2);           % Original value 16
    r.TryUpdateChip( 'pps' , 2400);              % Original value 300 (pps 300 -> FPS
                                                % 17 lower pps = higher FPS)

    r.TryUpdateChip( 'rx_wait' , 0 );            % Original value 0
    r.TryUpdateChip( 'frame_offset' ,0.18);      % Original value 0.18
    r.TryUpdateChip( 'frame_start' , 0);         % Original value 0 (meters)
    r.TryUpdateChip( 'frame_end' , 9.6);         % Original value 9.6 (meters)
    r.TryUpdateChip( 'ddc_en' , 1);              % Original value 1 (1 = BB | 2 = RF)
    r.TryUpdateChip( 'dac_min' , 949);           % Original value 949
    r.TryUpdateChip( 'dac_max' ,1100);           % Original value 1100
    r.TryUpdateChip( 'prf' ,15187500);           % Original value 15187500
    r.TryUpdateChip( 'prf_div' ,16);             % Original value 16
    r.TryUpdateChip( 'tx_power' ,3);             % Original value 2

end
```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% Script for storing the Workspaces to the specified folders regarding to
% the type of the measurement (Presence, Absence) with the name of date and
% time it was obtained in posixtime format.
%
% Notes:
% 1) The range_vector2 is the same as range_vector2 but in the first cell
% we add a '0' because in the first column we will add later the
% timestamps of each frame.
% 2) In settings.mat workspace we save the basic data obtained from radar
% for use in future (eg. total_complex_matrix will be used to create the
% amplitude and phase matrix etc).
%
% -----
% Script:   sample_store_v2.m
% Authors:  Efstratios Paliodimos, Papadopoulos Fotios
% E-mail:   stratospaliodimos@gmail.com, fotispapadopoyloss@gmail.com
% Created:  January 2023
% Version:  0.2.0
% Modified: July 2023
% Copyright (c) 2023 University of West Attica
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

direc = 'C:\Users\...\Scripts\Radar_SLMX4_Scripts';

%% Count how many files with extension .mat exist in given directory
S = dir(fullfile(direc, '*.mat'));

%% Preallocating 'total_amplitude_measurement' matrix to speedup the process
evalin('base', 'total_data_measurement = [];');
evalin('base', 'total_complex_matrix = [];');
evalin('base', 'total_posix_matrix = [];');
evalin('base', 'total_time_matrix = [];');

load Workspace_1.mat

%% Create Workspace folder
Workspace_folder = sprintf('%s', 'Workspaces');
mkdir(Workspace_folder);

%% Loop for Workspace combination
for w = 1:length(S)

    workspace = sprintf('%s%d%s', 'Workspace_', w, '.mat');

    if exist("workspace", "file")
        load (workspace);
        total_data_measurement = [total_data_measurement ; amplitude_matrix];
        total_complex_matrix = [total_complex_matrix ; data_matrix];
        total_time_matrix = [total_time_matrix ; time_matrix];
        total_posix_matrix = total_time_matrix;
        movefile(workspace, Workspace_folder)
    end
end

%% Open dialog box for Destination classification
answer = questdlg('Define the class of sample:', ...
    'Sample Classification', 'Life_Presence', 'Life_Absence', 'Life_Presence');
switch answer

```

```
    case 'Life_Presence'
        SubFolder = 1;
    case 'Life_Absence'
        SubFolder = 2;
end

%% Create paths for appropriate folders
main_folder = sprintf('%s%', direc, '\Dataset');
sbfoldername1 = sprintf('%s%d', main_folder, '\Life_Presence');
sbfoldername2 = sprintf('%s%d', main_folder, '\Life_Absence');

%% Create all basic folders
if ~exist(main_folder, 'dir')
    mkdir(main_folder);
end

if ~exist(sbfoldername1, 'dir')
    mkdir(sbfoldername1);
end

if ~exist(sbfoldername2, 'dir')
    mkdir(sbfoldername2);
end

%% Write samples.xlsx to the corresponding folder
if SubFolder == 1
    t = num2str(floor(total_posix_matrix(1)));
    sample_arch = sprintf('%s.xlsx', t);

    % This matrix may be used in future for the post process of measurement
    total_time_matrix = total_time_matrix(:,1) - total_time_matrix(1);

    % Range_vector2 is the 1st row (label) of the final matrix
    range_vector2 = [0, range_vector];

    total_data_measurement = [total_time_matrix, total_data_measurement];
    total_data_measurement = [range_vector2; total_data_measurement];

    writematrix(total_data_measurement, sample_arch);
    sample_folder = sprintf('%s%s', sbfoldername1, '\', t);
    mkdir(sample_folder)
    chk_dir = convertCharsToStrings(sprintf('%s%s', sample_folder, ...
        '\', sample_arch));

    if ~exist(chk_dir, "file")
        movefile(sample_arch, sample_folder);
    else
        f = errordlg('ERROR DURING SAVING', 'Sample Error');
        movefile(sample_arch, exsample_folder);
    end
end

% Open dialog box for data (in meters) of the environment the measurement
% was taken
prompt = {'Radar to Obstacle distance:', 'Obstacle length:', ['Obstacle to ' ...
    'target distance:']};
dlgtitle = 'Space_data (in meters)';
dims = [1 45];
answer = inputdlg(prompt, dlgtitle, dims);

rad2obs = str2num(answer{1});
obssize = str2num(answer{2});
```

```
obs2tar = str2num(answer{3});
rad2tar = rad2obs + obssize + obs2tar;

elseif SubFolder == 2
    t = num2str(floor(total_posix_matrix(1)));
    sample_arch = sprintf('%s.xlsx', t);

    % This matrix may be used in future for the post process of measurements
    total_time_matrix = total_time_matrix(:,1) - total_time_matrix(1);

    % Range_vector2 is the 1st row (label) of the final matrix
    range_vector2 = [0, range_vector];

    total_data_measurement = [total_time_matrix, total_data_measurement];
    total_data_measurement = [range_vector2; total_data_measurement];

    writematrix(total_data_measurement, sample_arch);
    sample_folder = sprintf('%s%s%s', sbfoldername2, '\', t);
    mkdir(sample_folder)
    chk_dir = convertCharsToStrings(sprintf('%s%s%s', sample_folder, ...
        '\', sample_arch));

    % Preset distances
    rad2obs = 0;
    obssize = 0;
    obs2tar = 0;
    rad2tar = 0;

    if ~exist(chk_dir, "file")
        movefile(sample_arch, sample_folder);
    else
        f = errorDlg('ERROR DURING SAVING', 'Sample Error');
        movefile(sample_arch, exsample_folder);
    end
end

%% Rename 'Workspaces' folder including the time and space data that measurement was
taken and move it to the corresponding sample folder
newWorkspace_folder = sprintf('%s%s', 'Workspaces_', t);
movefile(Workspace_folder, newWorkspace_folder)

save settings.mat r range_vector variables_matrix total_complex_matrix
total_time_matrix total_posix_matrix rad2tar obssize obs2tar rad2obs;

movefile("settings.mat", newWorkspace_folder)
movefile(newWorkspace_folder, sample_folder)
```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% Script for synchronization or "matching" of the wind data from the
% anemometers with the radar frames for easier usage for example plot and
% representation, or feeding a NN.
%
% -----
% Script:   WindData_Matching.m
% Authors:  Efstratios Paliodimos, Papadopoulos Fotios
% E-mail:   stratospaliodimos@gmail.com, fotispapadopoyloss@gmail.com
% Created:  April 2023
% Version:  0.0.4
% Modified: May 2023
% Copyright (c) 2023 University of West Attica
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

direc = 'C:\Users\...\Scripts\Radar_SLMX4_Scripts';

format longg

K = dir(fullfile(direc, '*.csv'));

windData_filename = string(K(1).name);

windData = readtable(windData_filename);
save('windData_original.mat', 'windData');
windData_newfilename = string(sprintf('windData_%d.csv',
floor(table2array(windData(1,1)))));

movefile(windData_filename, windData_newfilename);

windData = readmatrix(windData_newfilename);

% Error may occur if posix matrix is reffered as total_posix_matrix1
total_posix_matrix = round(total_posix_matrix1,2);
matched_rows = []; % initialize variable to store matched rows
indices = []; % initialize variable to store indices
b=0;

% initialize with a dummy row
%
% for i = 1:length(total_posix_matrix)
%     for j = 1:length(windData)
%         if isequal(total_posix_matrix(i), windData(j,1))
%             equal_row = [total_posix_matrix(i), windData(j, 2:3)];
%             matched_rows = [matched_rows; equal_row];
%         else b=b+1;
%         end
%     end
% end

for i = 1:length(total_posix_matrix)
% find the index of the closest match
[~,idx] = min(abs(windData(:,1)-total_posix_matrix(i)));

% if the match is close enough
if abs(windData(idx,1)-total_posix_matrix(i)) < 0.15
    matched_rows(i,:) = [total_posix_matrix(i), windData(idx, 2:3)];

% if the match is too far, use the previous row as a fallback

```

```
elseif i>1
    matched_rows(i,:) = matched_rows(i-1,:);
    b=b+1;
end
end

%% Code for matching forgotten data (assumed loaded into OneDrive)
% LOAD THE MEASUREMENT BEFORE !!!
% t = num2str(floor(total_posix_matrix1(1)));
% direc = 'C:\Users\...\Dataset';
% main_folder = sprintf('%s%s',direc,'\Dataset_09_06');
%
% % Presence measurement
% sbfoldername1 = sprintf('%s%s%d',main_folder,'\Life_Presense');
% sample_folder = sprintf('%s%s%s',sbfoldername1,'\',t);

% Absence measurement
% sbfoldername2 = sprintf('%s%s%d',main_folder,'\Life_Absence');
% sample_folder = sprintf('%s%s%s',sbfoldername2,'\',t);

% newWorkspace_folder = sprintf('%s%s','Workspaces_',t);

%% Write the matched rows data to an Excel file
writematrix(matched_rows, 'matched_data.csv');
windDataCsv = sprintf('%s%s%s', 'windData_',t, '.csv');

windDataMat_dir = sprintf('%s%s%s', sample_folder, '\', newWorkspace_folder);

movefile("windData_original.mat", windDataMat_dir)
movefile('matched_data.csv', windDataCsv)
movefile(windDataCsv, sample_folder);

% Create a vector of sample indices for each timestamp
sample_indices = 1:length(matched_rows);

% Plot the data
plot(sample_indices, matched_rows(:,2), 'r-', sample_indices, ...
    matched_rows(:,3), 'b-');
xlabel('Sample');
ylabel('Wind Data');
legend('Wind Speed (m/s)', 'Wind direction (deg)');
grid on

delete(windData_newfilename)
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% Script for storing the data that Arduino is transmitting from the RS585
% board. A UI button is implemented to interrupt the reading process.
%
% -----
% Script:   WindData_Storing.m
% Authors:  Efstratios Paliodimos, Papadopoulos Fotios
% E-mail:   stratospaliodimos@gmail.com, fotispapadopoyloss@gmail.com
% Created:  April 2023
% Version:  0.0.3
% Modified: May 2023
% Copyright (c) 2023 University of West Attica
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear all
clc

% direc = 'C:\Users\Fotios\Dropbox\Shared_folder\Scripts\Radar_SLMX4_Scripts';
direc = 'C:\Users\...\Scripts\Radar_SLMX4_Scripts';

% Open the serial port
s = serialport("COMX", 115200); % replace "COMX" with the appropriate COM port

% Set the time when the measurement starts
t0 = posixtime(datetime('now'));

% CSV file name and open file for writing
windData_filename = sprintf('windData_%d.csv', floor(t0));
fid = fopen(windData_filename, "w");

% Write the CSV header
fprintf(fid, "Timestamp, Speed(m/s), Direction(deg)\n");

% Create a button to interrupt the loop
h = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Stop', 'Position', [20 20 200 150],
'BackgroundColor','r', 'Callback', @stopLoop);
f = gcf;
new_button_position = [1250 500 250 200]; % x, y, width, height
set(f, 'Position', new_button_position);

while true
    try
        % Read one line of data from the serial port
        line = readline(s);

        % Split the line into two strings
        values = strsplit(line, " ");
        angle_str = values{1};
        speed_str = values{2};

        % Convert the strings to numbers
        angle = str2double(angle_str);
        speed = str2double(speed_str);

        % Print the values
        fprintf("Speed: %0.2f m/s, Direction: %0.2f deg\n", speed, angle);

        % Add the data to the live plots
        t = datetime('now');
```



```
% Write the data to the CSV file
fprintf(fid, "%.2f,%.2f,%.2f\n", round(posixtime(t),2), speed, angle);

% Check if the button has been pressed
if getappdata(h, 'Stop')
    fclose(fid);
    close
    break;
end
end
end

function stopLoop(hObject, eventdata)

% Set the "Stop" flag to true
setappdata(hObject, 'Stop', true);
end
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% With this script we extract the FFT feature from each measurement located
% in the desired directory regarding the quality measurement category of
% the measurements we want to feed the CNN later. All the measurements are
% being resized and scaled, then saved in PNG format.
%
% Notes:
% - For each quality measurement category, we should change the variables
%   'directory', 'destination' and 'filename' regarding the extraction we
%   want to perform.
%
% -----
% Script:   ML_heatmap_extraction.m
% Authors:  Efstratios Paliodimos, Fotios Papadopoulos, Mitilineos Stelios
% E-mail:   stratospaliodimos@gmail.com, fotispapadopoyloss@gmail.com
% Created:  August 2023
% Version:  0.0.1
% Copyright (c) 2023 University of West Attica
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear
clc

directory = 'C:\Users\...\ML_Dataset\Good';
destination = 'C:\Users\...\ML_Dataset\PNGs\Heatmaps\Good';

mat_files = dir(fullfile(directory, '*mat'));
for j = 1:length(mat_files)
    load(fullfile(mat_files(j).folder, mat_files(j).name));

    % Calculate the magnitude of the complex matrix
    magnitude_matrix = abs(total_complex_matrix);

    % Trim the first 20 columns of the magnitude matrix
    trimmed_matrix = magnitude_matrix(:, 21:end);

    % Normalize the trimmed matrix to a suitable range between 0 and 1
    normalized_matrix = (trimmed_matrix - min(trimmed_matrix(:))) /
(max(trimmed_matrix(:)) - min(trimmed_matrix(:)));

    % Define the desired size for cutting and resizing
    targetSize = [227, 227];
    cut_size = [400 160];

    % Calculate the number of pieces to cut from the matrix
    num_pieces = floor(size(normalized_matrix, 1) / cut_size(1));

    % Cut the normalized matrix into pieces of size 227x160 and resize each piece
    resized_matrices = cell(num_pieces, 1);

    for i = 1:num_pieces
        start_row = (i - 1) * cut_size(1) + 1;
        end_row = start_row + cut_size(1) - 1;
        piece = normalized_matrix(start_row:end_row, :);
        resized_piece = imresize(piece, targetSize);
        resized_matrices{i} = resized_piece;
    end

    % Save the resized images with the "jet" colormap
end
```

```
for i = 1:num_pieces
    presence_i = resized_matrices{i};

    % Convert the intensity values to indexed values
    indexed_image = uint8(presence_i * 255);

    % Apply the "jet" colormap
    jet_colormap = jet(256);
    colormap_image = ind2rgb(indexed_image, jet_colormap);

    % Scale the resized image to the range [0, 255] for colormap mapping
    scaled_image = uint8(colormap_image * 255);

    % Save the image with the "jet" colormap
    filename = sprintf('presence_good_heatmap_%d_%d.png', j, i);
    imwrite(scaled_image, fullfile(destination, filename));
end
end
```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% Using this script, after running the "ML_heatmap_extraction.m" we add
% overlap after splitting the measurements into smaller parts in time for
% the CNN training and testing procedures. All the measurements are being
% resized and scaled, then saved in PNG format.
%
% Notes:
% - For each quality measurement category, we should change the variables
%   'directory', 'destination' and 'filename' regarding the extraction we
%   want to perform.
%
% -----
% Script:   ML_heatmap_overlapped_extraction.m
% Authors:  Efstratios Paliodimos, Fotios Papadopoulos, Mitilineos Stelios
% E-mail:   stratospaliodimos@gmail.com, fotispapadopoyloss@gmail.com
% Created:  August 2023
% Version:  0.0.1
% Copyright (c) 2023 University of West Attica
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear
clc

directory = 'C:\Users\...\ML_Dataset\Very Bad';
destination = 'C:\Users\...\ML_Dataset\PNGs\Heatmaps\Very Bad\Overlapped';

mat_files = dir(fullfile(directory, '*mat'));

targetSize = [227, 227]; % Desired output pixel dimensions

% Defining parameteres for overlap: 1-400, 200-600, 400-800, .....
slide_size = 200;
sample_size = 400;

for j = 1:length(mat_files)

    load(fullfile(mat_files(j).folder, mat_files(j).name), 'total_complex_matrix');
    total_complex_matrix = total_complex_matrix(:,20:end);

    for k = 0:(((size(total_complex_matrix,1)-(sample_size-slide_size))/slide_size))-1

        heatmap_ov = []; % Clear
the matrix to store the next packet of entropy frames

        frames = abs(total_complex_matrix((k*slide_size+1):(k*slide_size+sample_size),
:));

        for w = 1:size(frames, 2)

            heatmap = abs(frames(:,w));
            heatmap_ov = [heatmap_ov, heatmap];

        end

        % Normalize the Tsallis entropy to the range [0, 1]
        normalized_heatmap = mat2gray(heatmap_ov);

        % Scale the entropy to the range [0, 255] for colormap mapping
        scaled_entropy = uint8(normalized_heatmap * 255);
    end
end

```

```
% Apply the "jet" colormap
jet_colormap = jet(256);
colormap_image = ind2rgb(scaled_entropy, jet_colormap);

% Remove singleton dimensions
colormap_image = squeeze(colormap_image);

% Resize the image to the desired dimensions
resized_image = imresize(colormap_image, targetSize, 'bilinear');

filename = sprintf('presence_ov_heatmap_very_bad_%d_%d.png', j, k+1);
fullpath = fullfile(destination, filename);

% Save the resized image as a PNG file
imwrite(resized_image, fullpath);

disp(['Saved image: ' fullpath]);

end

disp(' ----- END ----- ')

end
```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% This is the main script for the training and testing the CNN. There is an
% option to perform the testing using the technique of "Classification
% Redefinition" (line 61).
%
% -----
% Script:   CNN_Binary_Classification.m
% Authors: Efstratios Paliodimos, Fotios Papadopoulos, Mitilineos Stelios
% E-mail:  stratospaliodimos@gmail.com, fotispapadopoyloss@gmail.com
% Created: July 2023
% Version: 0.5.1
% Modified: August 2023
% Copyright (c) 2023 University of West Attica
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear
close all
clc

parentDir = 'C:\Users\...\Scripts\ML';

% Load squeezeNet and the data for train and test
snet = squeezeNet;

trainingData= imageDatastore(fullfile(parentDir,'Training'),'IncludeSubfolders',
true,...
'LabelSource','foldernames');
testData = imageDatastore(fullfile(parentDir,'Test'),'IncludeSubfolders',true,...
'LabelSource','foldernames');

% Modify snet object of type SqueezeNet
lgraphSqueeze = layerGraph(snet);
convLayer = lgraphSqueeze.Layers(64);
numClasses = numel(categories(trainingData.Labels));
newLearnableLayer = convolution2dLayer(1,numClasses, ...
'Name','binaryconv', ...
'WeightLearnRateFactor',10, ...
'BiasLearnRateFactor',10);
lgraphSqueeze = replaceLayer(lgraphSqueeze,convLayer.Name,newLearnableLayer);
classLayer = lgraphSqueeze.Layers(end);
newClassLayer = classificationLayer('Name','binary');
lgraphSqueeze = replaceLayer(lgraphSqueeze,classLayer.Name,newClassLayer);

ilr = 1e-4;
mxEpochs = 75;
mbSize = 30;

opts = trainingOptions('sgdm','InitialLearnRate', ilr, ...
'MaxEpochs',mxEpochs, 'MiniBatchSize',mbSize, ...
'Plots','training-progress','ExecutionEnvironment','gpu');

CWTnet = trainNetwork(trainingData,lgraphSqueeze,opts);

% Network Test
predictedLabels = classify(CWTnet,testData,'ExecutionEnvironment','gpu');
accuracy = sum(predictedLabels == testData.Labels)/numel(testData.Labels)*100;
disp(['Network accuracy: ', num2str(round(accuracy,2)), '%']);

% Comment or uncomment depending on applying or not the Redefinition technique

```

```
% Classification_Redefinition;
```

```
figure(1)  
plotconfusion(testData.Labels, predictedLabels_fusion);  
title('Net Confusion Matrix')
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% This script is used for redefining the classification that the CNN has
% already performed. With this technique we achieve a classification not in
% measurement part level, but in individual measurement level, since
% closest to reality, as we want measurement classification and not in time
% parts of the same measurement to be classified. This leads to confidence
% and accuracy increase, due to redefining the wrong classification
% regarding to the majority voting.
%
% -----
% Script:   Classification_Redefinition.m
% Authors:  Efstratios Paliodimos, Fotios Papadopoulos, Mitilineos Stelios
% E-mail:   stratospaliodimos@gmail.com, fotispapadopoyloss@gmail.com
% Created:  July 2023
% Version:  0.0.2
% Modified: August 2023
% Copyright (c) 2023 University of West Attica
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

measurement_num = zeros(length(testData.Files), 1);

a = 0;
p = 0;
j = 0;
l = 0;

% Extract the measurement numeration
for i = 1:length(testData.Files)
    matches_test = regexp(testData.Files{i}, '\d+', 'match');
    if ~isempty(matches_test)
        measurement_num(i) = str2double(matches_test{1});
    end
end

% Convert to numerical values (0 and 1)
numericalData = ismember(predictedLabels, "Presence");

pred_meas = [measurement_num, numericalData, zeros(size(measurement_num,1),1)];
pred_meas = [pred_meas; 0,0,0];

for k = 1:size(pred_meas,1) - 1
    if pred_meas(k+1,1) == pred_meas(k,1)
        if pred_meas(k,2) == 0
            a = a + 1;
        else
            p = p + 1;
        end
    else
        if pred_meas(k,2) == 0
            a = a + 1;
        else
            p = p + 1;
        end

        if a < p
            j = k-a-p+1;
            pred_meas(j:k+1,3) = 1;
        else
            j = k-a-p+1;
        end
    end
end
```



```
        pred_meas(j:k+1,3) = 0;  
    end  
  
    a = 0;  
    p = 0;  
  
end  
end  
  
categories = ["Absence", "Presence"];  
cor_predictedLabels = categorical(pred_meas(1:end-1, 3), [0, 1], categories);  
plotconfusion(testData.Labels,cor_predictedLabels)
```

