

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

Μεταπτυχιακή Διατριβή **Στα Συστήματα Ασύρματης Επικοινωνίας**



**Βελτίωση της Ποιότητας Χαρτών Ραδιοαποτυπωμάτων
με την Χρήση Συστοιχίας Κατευθυντικών Κεραιών**

ΣΩΚΡΑΤΗΣ ΣΩΚΡΑΤΟΥΣ

Επιβλέπων Καθηγητής
ΣΤΑΥΡΟΥ ΣΤΑΥΡΟΣ

ΜΑΪΟΣ 2018

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

**Βελτίωση της Ποιότητας Χαρτών Ραδιοαποτυπωμάτων με την
Χρήση Συστοιχίας Κατευθυντικών Κεραίων**

ΣΩΚΡΑΤΗΣ ΣΩΚΡΑΤΟΥΣ

**Επιβλέπων Καθηγητής
ΣΤΑΥΡΟΥ ΣΤΑΥΡΟΣ**

ΜΑΪΟΣ 2018

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε
προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση

μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών
στα Συστήματα Ασύρματης Επικοινωνίας

από τη Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών
του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου

Η παρούσα διπλωματική εργασία σκοπό έχει τη δημιουργία μιας διάταξης κατευθυντικών κεραιών η οποία θα βελτιστοποιεί την ακρίβεια προσδιορισμού θέσης με την διαδικασία RSS. Η κατάλληλη οριοθέτηση στο χώρο των κεραιών αυτών, ο αριθμός του και τα ειδικά χαρακτηριστικά του (κατευθυντικότητα τους), δίνουν τη δυνατότητα δημιουργίας ραδιοαποτυπωμάτων με μειωμένη συσχέτιση (correlation level).

Η μείωση της συσχέτισης των περιοχών αυτών, συνεπάγεται και αύξηση της ακρίβειας κατά των εφαρμογή αλγορίθμων εντοπισμού θέσεων.

Η δημιουργία ποιοτικών ραδιοαποτυπωμάτων με τη χρήση κατευθυντικών κεραιών βελτιώνει την ακρίβεια εντοπισμού θέσης σε εφαρμογές εντοπισμού θέσης (RTLS) Real Time Location Systems.

Για την εξοικονόμηση χρόνου και υπολογιστικών πόρων, η δημιουργία των ραδιοαποτυπωμάτων θα υλοποιηθεί με τεχνικές (Ray Tracing), με τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού προγράμματος.

Από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων και αναλύσεων θα διερευνηθεί η σχέση της ποιότητας των ραδιοαποτυπωμάτων ενός ραδιοχάρτη, με τον αριθμό των κεραιών, της γωνίας τοποθέτησης και της κατευθυντικότητάς τους.

Abstract

The current project aims to investigate the impact and the potential improvement created by implementing directional antenna array in the radio network infrastructure. It is already well known that directional antenna improves the localization algorithms. This research focuses on the special features of the antennas, like directivity, the number of the antennas and the orientation in order to decrease the correlation level the RSS Received Signal Strength fingerprint. These would lead to the better accuracy results. The creation of quality radios with the use of directional antennas has been proven by several recent studies that reduces the rate of error. To save time and computing resources, the creation of radio footage will be implemented with Ray Tracing techniques with a dedicated software program. From the results of the simulations and analysis of the results it will be proved that the number of antennas, their azimuth placement and their directionality improve the quality of the radios and consequently the accuracy of the positioning algorithms.

Περιεχόμενα

Contents

Μεταπτυχιακή Διατριβή	i
Στα Συστήματα Ασύρματης Επικοινωνίας	i
Περιεχόμενα	5
Κεφάλαιο 1	10
Εισαγωγή10	
<u>1.1</u> Γενικά.....	10
<u>1.2</u> Ορισμός Προβλήματος.....	10
<u>1.3</u> Δομή Εργασίας	12
Κεφάλαιο 2	13
<u>2.1</u> Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	13
.....	15
Κεφάλαιο 3	16
<u>3.1.</u> Μοντέλα Υπολογισμού Ραδιοδιάσης.....	16
<u>3.1.2</u> Θεωρία Διάδοσης σε ντετερμινιστικά και ημι-ντετερμινιστικά μοντέλα Ray Tracing	17
<u>3.1.3</u> Μοντέλο διάδοσης ελεύθερου χώρου	18
<u>3.1.4</u> Μοντέλο διάδοσης μεγάλης κλίμακας	19
<u>3.1.5</u> Λογαριθμική Κανονική Σκίαση.....	20
<u>3.6.</u> Μοντέλα διάδοσης εξωτερικού χώρου	21
<u>3.1.6.1</u> Okumura Model	22

3.1.6.2 Μοντέλο Hata	23
3.1.6.3 Μοντέλο δύο ακτινών (two ray)	25
Κεφάλαιο 4	27
Βασικές Αρχές Εκτίμησης Απόστασης	27
4.1 Γενικά	27
4.2 Ανάλυση μεθόδων εντοπισμού θέσης	28
4.2.1 Εγγύτητα (Proximity)	29
4.2.2 Μέθοδος χρόνου άφιξης (Time of Arrival – ToA).....	30
4.2.3 Μέθοδος διαφοράς χρόνων άφιξης (Time Difference of Arrival – TDoA)	32
4.2.4 Μέθοδος γωνίας άφιξης (Angle of Arrival – AoA)	34
4.2.5 Τεχνική Fingerprinting.....	35
Κεφάλαιο 5	38
5.1 Παρουσίαση Υλοποίηση	38
5.2 Πειραματική διάταξη στο Trunet (Correlation)	39
5.2.1 Ανάλυση Αποτελεσμάτων Συσχέτισης(Correlation)	41
5.2.2 Πειραματική διάταξη στο Trunet Ιστογράμματα.....	48
5.3.1.2.1 Πειραματική διάταξη 4 κεραιών (6dBi ,10 dBi)	48
5.3.1.2.2 Πειραματική διάταξη 6 κεραιών (6dBi ,10 dBi)	51
5.3.1.2.3 Πειραματική διάταξη 8 κεραιών (6dBi ,10 dBi).....	53
5.1.4 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων- Συμπεράσματα.....	55
References	58

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1 RSS Fingerprint	12
Εικόνα 2 Directional Antenna Array	15
Εικόνα 3 Η μέση εξασθένιση A_{μ} ως προς περιβάλλον ελεύθερου χώρου	23
Εικόνα 4 Μοντέλο two ray	25
Εικόνα 5 Κυψέλες δικτύου κινητής τηλεφωνίας. (Macrocells)	30
Εικόνα 6 Η μέθοδος χρόνου άφιξης	30
Εικόνα 7 Υπερβολή	33
Εικόνα 8 Παράδειγμα μεθόδου TDoA με τρία σημεία πρόσβασης και 2 καμπύλες.....	33
Εικόνα 9 Παράδειγμα μεθόδου γωνίας άφιξης (AoA).....	34
Εικόνα 10 Κελιά Χάρτη Ραδιοαποτυπωμάτων RSSI.....	36
Εικόνα 11 Ροή πληροφορίας κατά τον προσδιορισμό θέσης μίας συσκευής με την μέθοδο Fingerprinting.....	37
Εικόνα 12 Χάρτης Ραδιοκάλυψης.....	39
Εικόνα 13 Παράμετροι Patch antenna	39
Εικόνα 14 Χάρτης Ραδιοκάλυψης (Υπό εξέταση)	40
Εικόνα 15 Διαγράμματα με Ενδεικτικές τιμές Συσχέτισης	41
Εικόνα 16 Τρισδιάστατο διάγραμμα ακτιν. patch antenna 6 dBi	45
Εικόνα 17 Οριζόντιο διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας 6dBi.....	45
Εικόνα 18 Τρισδιάστατο	45
Εικόνα 19 Τρισδιάστατη απεικόνιση patch antenna 10 dBi.....	45
Εικόνα 20 Σημειακή Συστοιχία Κατευθυντικών Κεραιών	56

Λίστα Πινάκων

1 Πίνακας Σεναρίων Προσομοίωσης	42
2 Πίνακας Σεναρίων Προσομοίωσης (6dBi).....	43
3 Πίνακας Συσχέτισης πομπών (10dBi)	46
4 Πίνακας Ιστογράμματος με 4 πομπούς και κέρδος κεραίας 6dBi	50
5 Πίνακας Ιστογράμματος με 4 πομπούς και κέρδος κεραίας 10dBi	50
6 Πίνακας Ιστογράμματος με 4 πομπούς και κέρδος κεραίας 6dBi	52
7 Πίνακας Ιστογράμματος με 6 πομπούς και κέρδος κεραίας 10dBi	52
8.Πίνακας Ιστογράμματος με 8 πομπούς και κέρδος κεραίας 6dBi	54
9 .Πίνακας Ιστογράμματος με 8 πομπούς και κέρδος κεραίας 6dBi	54

Λίστα Γραφημάτων

Figure 1 Γράφημα βαθμού συσχέτισης πομπού με 6dBi	44
Figure 2 Γράφημα βαθμού συσχέτισης πομπού με 10dBi	46
Figure 3 Γράφημα βαθμού συσχέτισης πομπού με 6-10dBi vs Benchmark.....	47
Figure 4 Εικ. Ιστόγραμμα με 4 πομπούς και κέρδος κεραίας 6dBi.....	49
Figure 5 Ιστόγραμμα με 4 πομπούς και κέρδος κεραίας 10dBi.	49
Figure 6 . Ιστόγραμμα με 6 πομπούς και κέρδος κεραίας 6dBi.....	53
Figure 7. Ιστόγραμμα με 8 πομπούς και κέρδος κεραίας 10dBi.	53

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Είναι γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια τα ασύρματα δίκτυα παρέχουν ολοένα ευκολότερη και πιο προσιτή πρόσβαση σε εκατομμύρια χρήστες σε όλο τον κόσμο. Το στοίχημα της πρόσβασης στο δίκτυο φαίνεται να έχει κερδηθεί, αφού σχεδόν 4 δισεκατομμύρια άνθρωποι στο πλανήτη έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο με ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων οι οποίες αυξάνονται με γεωμετρική πρόοδο.

Αντίστοιχη θεαματική πρόοδος θα πρέπει να επιτευχθεί και στις δυνατότητες των χρηστών όσο και του διαχειριστή του δικτύου, για αποτελεσματικό και αξιόπιστο τρόπο γεωγραφικού προσδιορισμού (Localization).

Ο εντοπισμός της θέσης ενός χρήστη σε ένα δίκτυο, είναι ζωτικής σημασίας τόσο για τον ίδιο, όσο και για τον διαχειριστή. Για τον χρήστη η γνώση της γεωγραφικής θέσης αποτελεί μια από τις σημαντικότερες πληροφορίες που σχετίζονται με το περιβάλλον και τον εξυπηρετεί σε ένα σύνολο εφαρμογών όπως αυτές της πλοήγησης, της αποτελεσματικότερης δικτύωσης και της ασφάλειας. Εξίσου σημαντικό είναι και από πλευράς διαχείρισης του δικτύου προκειμένου αυτό να είναι αποτελεσματικό, λειτουργικό και αξιόπιστο.

1.2 Ορισμός Προβλήματος

Μια από τις πιο διαδεδομένες τεχνικές εντοπισμού θέσεως είναι η τεχνική RSS (Received Signal Strength). Αυτή βασίζεται στη μέτρηση της απόσβεσης ενός σήματος, δηλαδή της έντασης με την οποία φτάνει σε ένα δέκτη σε σχέση με την ένταση εκπομπής.

Η εξασθένιση του σήματος οφείλεται στην απόσταση την οποία έχει

διανύσει στο χώρο και είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν μαθηματικές εξισώσεις για υπολογισμό των απωλειών διάδοσης.

Η μέθοδος αυτή είναι ευρέως διαδεδομένη αλλά και αναγνωρισμένη ως η ακριβέστερη για τον εντοπισμό θέσης σε εσωτερικούς κυρίως χώρους. Η αποτελεσματικότητα, η αξιοπιστία και η ακρίβεια της μεθόδου αυτής εξαρτώνται από την ποιότητα του χάρτη «ραδιοαποτυπωμάτων» της περιοχής στην οποία αναμένουμε να γίνει εκτίμηση της θέσης ενός αγνώστου κινητού στόχου.

Ως «αποτύπωμα», ορίζουμε την συνισταμένη όλων των διανυσμάτων η οποία προκύπτει από τη λαμβανόμενη ισχύ από κάθε κεραία ξεχωριστά. Ο συνδυασμός της γεωγραφικής θέσης με το πιο πάνω διάνυσμα ονομάζεται χάρτης ραδιοαποτυπωμάτων.

Η δημιουργία ποιοτικών ραδιοαποτυπωμάτων βελτιώνει την ακρίβεια των διάφορων αλγορίθμων εντοπισμού θέσεως, καθότι η ακρίβειά τους εξαρτάται από τον βαθμό διαφορετικότητας και ποσό διακριτά μεταξύ τους είναι αυτά.

Αρκετές έρευνες μέχρι τώρα, ασχολήθηκαν με τη διερεύνηση της βελτίωσης της ποιότητας ραδιοαποτυπωμάτων κατά κύριο λόγο σε εσωτερικούς χώρους με τη χρήση ομοιοκατευθυντικών κεραιών.

Στόχος στην παρούσα διπλωματική εργασία, είναι η δημιουργία ποιοτικών ραδιοαποτυπωμάτων με την χρήση μιας κεντρικής συστοιχίας κατευθυντικών κεραιών σε εξωτερικούς χώρους.

Επισημαίνοντας την ανάγκη για αντίστοιχη διερεύνηση σε εξωτερικούς χώρους συγκεκριμένα θα επιχειρήσουμε να εξετάσουμε την σχέση των μεταβλητών όπως ο αριθμός των κεραιών, η οριοθέτησή τους και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους (κέρδος, κατευθυντικότητα).

Πρόσφατες έρευνες στις οποίες χρησιμοποιήθηκαν κατευθυντικές κεραίες κατέδειξαν ότι, η χρήση τους βελτιώνει την ποιότητα των ραδιοχαρτών με αποτέλεσμα την αποδοτικότερη χρήση των αλγορίθμων εντοπισμού θέσης [1]. Όπως διαφάνηκε και από την μελέτη [2], ο αριθμός των κεραιών και η οριοθέτησή τους βελτιώνουν την ακρίβεια των αλγορίθμων εντοπισμού θέσης.

1.3 Δομή Εργασίας

Πέραν του παρόντος 1^{ου} κεφαλαίου που αποτελεί την εισαγωγή, η εργασία αυτή έχει επιμεριστεί σε άλλα 4 κεφάλαια, το περιεχόμενο των οποίων παρατίθεται περιληπτικά παρακάτω.

Στο 2ο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη βιβλιογραφική ανασκόπηση σε σχετική βιβλιογραφία, μελέτες και επιστημονικά άρθρα τα οποία αναφέρονται στο υπό εξέταση αντικείμενο και δίνουν μια σαφή εικόνα για τις έρευνες οι οποίες προηγήθηκαν και τα αποτελέσματά τους.

Στο 3ο κεφάλαιο, γίνεται εκτενής αναφορά στα διαφορά μοντέλα υπολογισμού διάδοσης. Στη συνέχεια αναλύονται ντετερμινιστικά και ημι-ντετερμινιστικά μοντέλα και γίνεται αναφορά σε θεωρία (Ray Tracing). Το κεφάλαιο κλείνει με παραδείγματα διαφόρων γνωστών μοντέλων ραδιοδιάσης .

Ακολούθως, στο 4ο κεφάλαιο περιγράφεται η υλοποίηση της πειραματικής διάταξης που έχει γίνει στα πλαίσια της εργασίας. Επιπρόσθετα, παρουσιάζονται τα βήματα τα οποία ακολουθήθηκαν για τον έλεγχο των ερευνητικών υποθέσεων οι οποίες περιλαμβάνουν μαθηματικές και στατιστικές αναλύσεις.

Στο 5ο και τελευταίο κεφάλαιο, γίνεται σχολιασμός των αποτελεσμάτων και ανάλυση των συμπερασμάτων.



Εικόνα 1 RSS Fingerprint

Κεφάλαιο 2

2.1 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Η ανάγκη για δημιουργία μιας αξιόπιστης και αποδοτικής μεθόδου εντοπισμού θέσης μιας πηγής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αποτελούσε πάντοτε πρόκληση.

Αρχικά, η δημιουργία του παγκοσμίου συστήματός του GPS (Global Positioning System), Παγκόσμιο Σύστημα Στιγματοθέτησης, έδωσε λύσεις αρχικά για τον Αμερικανικό στρατό. Στη συνέχεια, στα μέσα της δεκαετίας του 1990 η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιήθηκε και σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών πέραν των στρατιωτικών εφαρμογών. [3]

Παρά το γεγονός ότι, το σύστημα παρέχει μεγάλη ακρίβεια, ο εξοπλισμός του είναι αρκετά ακριβός και ογκώδης για να ενσωματωθεί σε μικρότερες συσκευές όπως Wireless Sensor Network - WSN. Στα μειονεκτήματα του συστήματος θα πρέπει να συνυπολογίζεται και η αδυναμία του να λειτουργήσει εντός εσωτερικών χώρων, λόγω της αναγκαίας οπτικής επαφής η οποία πρέπει να τηρείται με τους δορυφόρους αλλά και η σχετικά υψηλή ενεργειακή κατανάλωσή του.

Την αδυναμία του εντοπισμού χρήστη εντός εσωτερικού χώρου ήρθε να καλύψει έρευνα στο Πανεπιστήμιο Oxford με τα Olivetti active badge. Στην έρευνα αυτή, κάθε χρήστης έφερε μια συσκευή εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας η οποία αναγνώριζε τον κάθε χρήστη ξεχωριστά και μέσω μιας βάσης δεδομένων που βρισκόταν σε κεντρικό εξυπηρετητή μπορούσε να γίνει ταυτοποίηση του χρήστη και του χώρου στον οποίο βρισκόταν αυτός σε πραγματικό χρόνο [4].

Διάφορες άλλες τεχνικές και παραλλαγές αυτών, έχουν αναπτυχθεί για τον γεωγραφικό εντοπισμό της θέσης ενός χρήστη σε ένα δίκτυο αντλώντας πληροφορίες από αυτό, όπως η ταυτότητα της κυψέλης (Cell ID), η λαμβανόμενη

ισχύς (RSS), (TOA) ο χρόνος άφιξης σήματος καθώς και η γωνία άφιξης (AOA) ή κατεύθυνση άφιξης (DOA). [5] [16]

Το ενδιαφέρον όμως επικεντρώθηκε στην μέθοδο της λαμβανόμενης ισχύος (RSS) λόγω της απλότητας και της ήδη υπάρχουσας υποδομής σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μεθόδους οι οποίες είναι ιδιαίτερα απαιτητικές τόσο σε εξοπλισμό αλλά και πολυπλοκότητα [6] [7] [8] [17].

Η παρούσα διπλωματική μελέτη θα ασχοληθεί επιστάμενα με την μέθοδο Ιχνηλάτισης (Fingerprinting). Η βασική ιδέα της μεθόδου αυτής είναι η σύγκριση των τιμών της λαμβανομένης ισχύος για μια συγκεκριμένη θέση και με τιμές οι οποίες καταχωρήθηκαν σε προηγούμενο στάδιο σε μια βάση δεδομένων. Οι τιμές ισχύος οι οποίες παρουσιάζουν μεγαλύτερη ταύτιση θεωρητικά αποτελούν και την πιθανή γεωγραφική θέση του υπό αναζήτηση ραδιοαποτυπώματος.

Γίνεται ευκολά αντιληπτό, ότι η ποιότητα του χάρτη ραδιοαποτυπωμάτων αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας στην εκτίμηση θέσης. Η μοναδικότητα των ραδιοαποτυπωμάτων και η μεγαλύτερη δυνατή διανυσματική απόσταση μεταξύ παρόμοιων ραδιοαποτυπωμάτων διασφαλίζει μεγαλύτερη ακρίβεια.

Η δημιουργία ραδιοαποτυπωμάτων υπήρξε αντικείμενο ερευνάς τα προηγούμενα χρόνια από αρκετούς μελετητές. [9] [10] [11.] Η υπάρχουσα υποδομή (RSSI) σε πληθώρα φορητών συσκευών, σε συνδυασμό με τον κατακόρυφο πολλαπλασιασμό των υπολογιστικών πόρων δημιούργησε ένα αρκετά ελκυστικό περιβάλλον για την ευρεία χρήση της. Έχει αποδειχθεί ότι η χρήση ντετερμινιστικών μοντέλων για τη δημιουργία της βάσης δεδομένων με τη βοήθεια προγραμμάτων (3D Ray Tracing) αποτελεί μια πολύ πιο οικονομική, γρήγορη και ευέλικτη μέθοδο δημιουργίας ραδιοχαρτών [12] [18].

Παρά το γεγονός ότι αρκετές έρευνες τα τελευταία χρόνια ασχολήθηκαν με την τεχνική RSS fingerprinting, οι περισσότερες έγιναν με χρήση ομοιοκατευθυντικών κεραιών. Οι έρευνες οι οποίες έγιναν με την χρήση κατευθυντικών κεραιών είτε συμπληρωματικά σε ομοιοκατευθυντικές, είτε εξ

ολοκλήρου, κατέδειξαν ότι η ακρίβεια εντοπισμού θέσης βελτιώνεται σημαντικά με τη χρήση των κεραιών αυτών [1],[10].[13][14]

Από την μέχρι τώρα βιβλιογραφική ανασκόπηση έχει διαφανεί ότι η χρήση κατευθυντικών κεραιών για την δημιουργία ραδιοχαρτών έχει συγκριτικά πλεονέκτημα σε σχέση με την χρήση ομοιοκατευθυντικών κεραιών. Διαπιστώθηκε ότι σε όλες τις προηγούμενες μελέτες η χρήση κατευθυντικών κεραιών δεν περιείχε το στοιχείο της σημειακής οριοθέτησης καθότι αυτές τοποθετούνταν οπουδήποτε στην υπό εξέταση περιοχή. Αυτό γινόταν είτε λόγω περιορισμού του χώρου, είτε για βελτίωση της ποιότητας των ραδιοαποτυπωμάτων. Η τοποθέτηση μιας συστοιχίας κεραιών σε ένα και μοναδικό σημείο, χωρίς την ύπαρξη του βαθμού ελευθερίας ως προς την γεωγραφική τοποθέτηση είναι ένα πεδίο για το οποίο δεν υπάρχει επαρκής γνώση και θα πρέπει να διερευνηθεί.

Στην παρούσα έρευνα θα αξιολογηθεί η δυνατότητα δημιουργίας ποιοτικών ραδιοαποτυπωμάτων (ραδιοχαρτών) με την χρήση συστοιχίας κατευθυντικών κεραιών σε ένα σημείο. Τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής έρευνας θα έχουν ιδιαίτερη αξία, καθότι η σημειακή τοποθέτηση μιας συστοιχίας κεραιών, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο αριθμό εφαρμογών. Μερικές από αυτές θα ήταν ανίχνευση UAV, λόγω εκπομπής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (κατά την μετάδοση εντολών ελέγχου από χειριστή ή κατά την μεταφορά εικόνας) και ο εντοπισμός (spoofing BS or AP) σταθμών βάσης ή access point από κακόβουλους χρήστες.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ένα από τα σημαντικότερα πλεονέκτημα της συστοιχίας κεραιών είναι ότι δεν εκπέμπει οποιαδήποτε ακτινοβολία οπότε και δεν εντοπίζεται.



Κεφάλαιο 3

3.1. Μοντέλα Υπολογισμού Ραδιοδιάσης

Στις ασύρματες επικοινωνίες προκειμένου να γίνει εφικτή μια μελέτη για την ραδιοκάλυψη μιας περιοχής θα πρέπει ο ερευνητής να χρησιμοποιήσει διαφορά μοντέλα διάδοσης ραδιοσήματος εξωτερικού χώρου τα οποία θα τον καθοδηγήσουν ως προς την λαμβανομένη ισχύ του δέκτη στην υπό μελέτη περιοχή. Τα μοντέλα αυτά θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη μια σειρά από προάγοντες όπως την μορφολογία του εδάφους, τα εμπόδια, τους μηχανισμούς διάδοσης σήματος και αλλά ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της υπό εξέταση περιοχής.

Η επίδραση των παραπάνω παραγόντων θα πρέπει να καταγράφεται τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά από το εκάστοτε μοντέλο με την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια στη προσέγγιση ώστε τα αποτελέσματα να μην απέχουν πολύ από την πραγματικότητα. Σε περίπτωση μη ικανοποιητικών προβλέψεων αυτό συνεπάγεται μειωμένη απόδοση και λειτουργικότητα του συστήματος.

Τα μοντέλα που υπολογίζουν το Path Loss διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, ντετερμινιστικά και ημιεμπειρικά-εμπειρικά/στατιστικά μοντέλα.

Τα ντετερμινιστικά μοντέλα στηρίζονται στη λαμβανόμενη ισχύ μέσω ενός μαθηματικού τύπου που προκύπτει ύστερα από θεωρητική μελέτη. Οι πειραματικές μετρήσεις που ακολουθούν την εύρεση του τύπου επιβεβαιώνουν την ορθότητα και το βαθμό αξιοπιστίας του μοντέλου. Το trunet αποτελεί ένα πρόγραμμα το οποίο στηρίζεται σε ντετερμινιστικό μοντέλο.

Τα εμπειρικά/στατιστικά μοντέλα στηρίζονται σε δεδομένα τα οποία συλλέχθηκαν από πειραματικές μετρήσεις και στη συνέχεια στη βάση ενός μαθηματικού τύπου, μίας γραφικής συνάρτησης ή πινάκων αριθμητικών δεδομένων, αποδοθήκαν με μαθηματικές εξισώσεις οι οποίες περιγράφουν με ικανοποιητική ακρίβειά τις απώλειες διάδοσης.

Η αξιοπιστία ενός εμπειρικού μοντέλου αξιολογείται από την όσο το δυνατόν καλύτερη αντιμετώπιση των παραγόντων που οδηγούν σε εξασθένηση

του σήματος. Λόγω της μεγάλης ποικιλίας σε γεωγραφικές περιοχές, οι οποίες μπορεί να ανήκουν στην ίδια κατηγοριοποίηση, π.χ. αστική ή ημιαστική, υπάρχει μια πληθώρα από μετριαστικούς παράγοντες και περιθώρια τα οποία εισάγονται στο εμπειρικό μοντέλο, προκειμένου επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ακρίβεια στους υπολογισμούς.

3.1.2 Θεωρία Διάδοσης σε ντετερμινιστικά και ημι-ντετερμινιστικά μοντέλα Ray Tracing

«Η **αιτιοκρατία** (ντετερμινισμός) (Determinism) είναι η φιλοσοφική τάση που επηρέασε ιδιαιτέρως την επιστημονική σκέψη από την αρχαιότητα μέχρι και σήμερα. Αποδέχεται την ύπαρξη της αιτιότητας, την καθολική αιτιώδη και νομοτελειακή συνάφεια όλων των φαινομένων.

Η ντετερμινιστική πρόβλεψη των χαρακτηριστικών ραδιοδιάδοσης τόσο σε εξωτερικούς όσο και εσωτερικούς χώρους είναι ένα πολύπλοκο ηλεκτρομαγνητικό πρόβλημα. Η πλειοψηφία των ντετερμινιστικών και ημι-ντετερμινιστικών μοντέλων διάδοσης χρησιμοποιεί μεθόδους, όπως είναι η Γεωμετρική θεωρία της περίθλασης (Geometrical Theory of Diffraction), στην μορφή της ομοιόμορφης θεωρίας της περίθλασης (Uniform geometrical Theory of Diffraction) και της φυσικής οπτικής (PO). Τα τελευταία χρόνια αυτές οι τεχνικές έχουν χρησιμοποιηθεί ευρύτατα, με ιδιαίτερα ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Η προσέγγιση της γεωμετρικής οπτικής βασίζεται σε **τεχνικές ray-tracing**. Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο υπολογίζεται σαν άθροισμα των ανεξάρτητων συνεισφορών των ακτινών, οι οποίες κατά τη διάδοσή τους αλληλοεπιδρούν με τα αντικείμενα με βάση τα φαινόμενα της ανάκλασης - περίθλασης.

Η προσέγγιση της φυσικής οπτικής, έχει και αυτή χρησιμοποιηθεί ευρύτατα τα τελευταία χρόνια σε ντετερμινιστικά και ημι-ντετερμινιστικά μοντέλα διάδοσης. Αυτή στηρίζεται στον υπολογισμό της ρευματικής κατανομής που αναπτύσσεται στην επιφάνεια των αντικειμένων κατά τα φαινόμενα της ανάκλασης και της περίθλασης. Κάθε επιφάνεια αντικειμένου στην οποία

ανακλάται ή περιθλάται ένα κύμα, θεωρείται δευτερογενής πηγή ακτινοβολίας (ως πρωτογενής πηγή ακτινοβολίας θεωρείται ο πομπός).

3.1.3 Μοντέλο διάδοσης ελεύθερου χώρου

Το μοντέλο διάδοσης ελεύθερου χώρου χρησιμοποιείται για να προβλέψει την ισχύ του λαμβανόμενου σήματος όταν ο πομπός και ο δέκτης έχουν μια καθαρή χωρίς εμπόδια ζεύξη οπτικής επαφής μεταξύ τους.

Η τεχνική αυτή βασίζεται στην μέτρηση της απόσβεσης ενός σήματος, δηλαδή την ισχύ με την οποία φτάνει σε έναν δέκτη σε σχέση με την ισχύ εκπομπής. Η εξασθένιση του σήματος οφείλεται κυρίως στην απόσταση την οποία έχει διανύσει μέσα στον χώρο, επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθούν μαθηματικές εξισώσεις που περιγράφουν την αναμενόμενη μείωση της ισχύος ενός σήματος βάση της απόστασης που διανύει. Η απώλεια αυτή περιγράφεται με την εξίσωση του Friis (1) από τον παρακάτω τύπο:

$$L_p = \frac{P_r}{P_t} = \frac{G_t G_r \lambda^2}{4\pi^2 d^2}, \quad \lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

Όπου L_p η απώλεια σε απόσταση d από τον πομπό, P_t η ισχύς εκπομπής του πομπού, P_r η ισχύς λήψης του δέκτη, G_t η απολαβή του πομπού (transmitter gain), G_r η απολαβή του δέκτη (receiver gain), λ το μήκος κύματος (wave length), f η συχνότητα εκπομπής και $c = 3 \cdot 10^8 \text{ms}^{-1}$ η ταχύτητα του φωτός.

Η πιο πάνω εξίσωση (1) αναφέρεται σε απώλειες διάδοσης διαδρομής από ένα πομπό σε έναν δέκτη. Για σκοπούς σύγκρισης και απλοποίησης μπορούμε να αντιστρέψουμε τους όρους της εξίσωσης (2) και να καταγράψουμε το κέρδος της, εκφράζοντας την λαμβανόμενη ισχύ σήματος και όχι τις απώλειες διάδοσης ενός σήματος. Έτσι, η εξίσωση (1) μπορεί να γραφτεί όπως παρακάτω:

$$PG(\text{Path Gain}) = \frac{P_r}{P_t G_t G_r} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (2)$$

Επειδή συνήθως στις ασύρματες επικοινωνίες τα μεγέθη λαμβανόμενης και εκπεμπόμενης ισχύος σε Watt είναι της τάξης των milliwatt, είναι πιο απλό οι εξισώσεις αυτές να λαμβάνουν λογαριθμική μορφή. Έτσι, η εξίσωση (2) μπορεί να γραφεί:

$$PG_{dB} = 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right) \quad (3)$$

Η εξίσωση (3) αφορά περιβάλλον χωρίς εμπόδια (free space). Αυτό που γίνεται εύκολα αντιληπτό είναι ότι, εάν η ισχύς εκπομπής ενός σήματός είναι γνωστή, η απόσταση μπορεί να οριστεί με μεγάλη ακρίβεια. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις όπου υπάρχουν φυσικά εμπόδια όπως μεγάλα κτήρια, βουνά και το έδαφος η πιο πάνω σχέση λαμβάνει άλλη μορφή καθώς εισάγονται επιπλέον παράγοντες απόσβεσης. Αυτό που συμβαίνει είναι ότι πολλαπλά αντίτυπα του ίδιου σήματος καταφτάνουν στον δέκτη από διαφορετικές διαδρομές λόγω πολλαπλών ανακλάσεων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα αντίτυπα αυτά είτε να συμβάλλονται προσθετικά δίνοντας μεγαλύτερη ισχύ, είτε να αναιρούνται μεταξύ τους και να μηδενίζεται η ισχύς τους.

3.1.4 Μοντέλο διάδοσης μεγάλης κλίμακας

Όλα τα αναλυτικά και εμπειρικά μοντέλα υποδεικνύουν ότι η μέση λαμβανόμενη ισχύς του σήματος μειώνεται λογαριθμικά με την απόσταση είτε πρόκειται για περιβάλλον εσωτερικού ή εξωτερικού χώρου. Οι απώλειες διαδρομής μεγάλης κλίμακας εκφράζονται ως συνάρτηση της απόστασης χρησιμοποιώντας έναν εκθέτη απωλειών n .

$$PL(d) \propto 20 \left[\frac{d}{d_0} \right]^n \quad (4)$$

$$PL(dB) = PL(d_0) + 10n \log \left[\frac{d}{d_0} \right]^n$$

όπου n , ο εκθέτης απωλειών ο οποίος καθορίζει το ρυθμό με τον οποίο οι απώλειες διαδρομής αυξάνουν με την απόσταση, d_0 η απόσταση αναφοράς η οποία καθορίζεται από μετρήσεις στη περιοχή κοντά στον πομπό και d η (δεδομένη) απόσταση του δέκτη απ' τον πομπό.

Η τιμή του n εξαρτάται από το συγκεκριμένο περιβάλλον διάδοσης. Σε περιβάλλον ελεύθερου χώρου η τιμή του n είναι 2 ενώ όταν παρεμβάλλονται εμπόδια το n παίρνει μεγαλύτερες τιμές.

Είναι σημαντική η επιλογή μιας απόστασης αναφοράς d_0 που να είναι κατάλληλη για το αντίστοιχο περιβάλλον διάδοσης. Σε κυψελωτά συστήματα μεγάλης κάλυψης $d_0=1\text{km}$ ενώ σε μικροκυψελωτά συστήματα χρησιμοποιούνται μικρότερες αποστάσεις (100m ή 1m). Η απόσταση αναφοράς πρέπει να αντιστοιχεί στο μακρινό πεδίο της κεραίας ώστε να μην υπεισέρχονται τα φαινόμενα του κοντινού πεδίου στην μέτρηση των απωλειών διαδρομής.

Οι απώλειες που αντιστοιχούν στην απόσταση d_0 υπολογίζονται από το μοντέλο διάδοσης ελεύθερου χώρου ή μέσω μετρήσεων στην απόσταση αυτή.

3.1.5 Λογαριθμική Κανονική Σκίαση

Όπως προκύπτει από τον προηγούμενο μοντέλο για δυο διαφορετικές θέσεις του δέκτη που βρίσκονται σε ακτίνα από τον πομπό, αναμένεται να έχουν τις ίδιες απώλειες διαδρομής. Στην πραγματικότητα όμως λόγω της ανομοιομορφίας και της διαφορετικότητας του περιβάλλοντος και των εμποδίων, οι τιμές αυτές αναμένεται να διαφέρουν σημαντικά από τις πραγματικές λόγω της διαφορετικής συγκέντρωσης. Μετρήσεις έχουν δείξει ότι σε κάθε απόσταση d , οι απώλειες διαδρομής $PL(d)$ είναι τυχαίες και κατανέμονται λογαριθμικά γύρω από τη μέση τιμή της απόστασης.

$$PL(dB) = PL(d) + X\sigma + 10 n \log \left[\frac{d}{d_0} \right]^n + X\sigma$$

$$Pr(d)[dBm] = PL(dBm) - PL(d)(dB)$$

(τα κέρδη των κεραιών συμπεριλαμβάνονται στο $PL(d)$) όπου $X\sigma$ είναι τυχαία μεταβλητή Gauss (σε dB) με μηδενική μέση τιμή και τυπική απόκλιση σ (επίσης σε dB).

Η λογαριθμική κατανομή περιγράφει τα τυχαία φαινόμενα σκίασης που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια μεγάλου αριθμού μετρήσεων σε θέσεις που έχουν την ίδια απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη, αλλά έχουν διαφορετικά εμπόδια στη διαδρομή διάδοσης. Αυτό το φαινόμενο αναφέρεται ως λογαριθμική σκίαση. Με απλά λόγια η λογαριθμική σκίαση συνεπάγεται ότι οι μετρούμενες στάθμες σήματος, για συγκεκριμένη απόσταση πομπού-δέκτη, έχουν κατανομή Gauss γύρω από τη μέση τιμή στάθμης που υπολογίζεται συναρτήσει της απόστασης, όταν οι τιμές στάθμης του σήματος εκφράζονται σε dB.

Η απόσταση αναφοράς, ο εκθέτης απωλειών και η τυπική απόκλιση σ , περιγράφουν στατιστικά το μοντέλο απωλειών διαδρομής για μια αυθαίρετη θέση. Στην πράξη, οι τιμές του n και του σ υπολογίζονται από πειραματικά στοιχεία.

3.6. Μοντέλα διάδοσης εξωτερικού χώρου

Η διάδοση του σήματος σε ένα ασύρματο τηλεπικοινωνιακό σύστημα συνήθως λαμβάνει χώρα σε ένα περιβάλλον πολύ διαφορετικό από εκείνο του ελεύθερου χώρου. Το προφίλ της συγκεκριμένης περιοχής πρέπει να ληφθεί υπόψη στον υπολογισμό των απωλειών διαδρομής. Η ύπαρξη λόφων, κτιρίων, δέντρων και άλλων εμποδίων πρέπει να συνυπολογιστεί για να προβλεφθούν σωστά οι απώλειες.

Για το λόγο αυτό, διάφορα μοντέλα έχουν αναπτυχθεί για την πρόβλεψη της ισχύος του σήματος στα περιβάλλοντα αυτά. Οι μέθοδοι αυτοί διαφέρουν ως προς την προσέγγισή τους, την πολυπλοκότητα και την ακρίβειά τους.

Μερικά από τα πιο συνηθισμένα μοντέλα διάδοσης εξωτερικού χώρου αναφέρονται στη συνέχεια.

3.1.6.1 Okumura Model

Το μοντέλο Okumura εφαρμόζεται σε αστικές κατοικημένες περιοχές με τις ακόλουθες τυπικές τιμές :

- Συχνότητα $f = 150 \text{ MHz} - 1920 \text{ MHz}$ (Μπορεί να επεκταθεί και για 3000 MHz)
- Απόσταση $d = 1 \text{ km} - 100 \text{ km}$
- Ύψος Σταθμού Βάσης $h_{te} = 30 \text{ m} - 1000 \text{ m}$
- Ύψος Κινητού Σταθμού $h_{re} = 0 \text{ m} - 10 \text{ m}$

Ο τύπος που δίνει τις απώλειες οι οποίες είναι μέσες απώλειες και για αυτό τις συμβολίζουμε με L_{50} είναι :

$$L_{50}(dB) = L_F + A_{mu}(f, d) - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G_{AREA}$$

όπου

- L_F : οι απώλειες ελεύθερου χώρου
- A_{mu} : η μέση εξασθένιση ως προς περιβάλλον ελεύθερου χώρου
- $G(h_{te})$: το κέρδος της κεραίας του σταθμού βάσης (transmitter)
- $G(h_{re})$: το κέρδος της κεραίας του κινητού σταθμού (receiver)
- G_{AREA} : ο παράγοντας κέρδους που οφείλεται στο περιβάλλον.

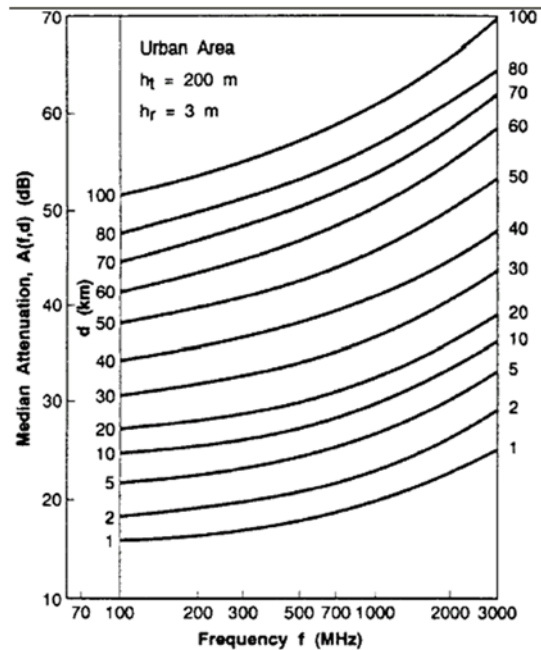
Τα κέρδη των κεραιών είναι συναρτήσεις του ύψους και δεν προκύπτουν από διαγράμματα ακτινοβολίας. Επιπλέον, για τα μεγέθη $G(h_{te})$ και $G(h_{re})$ ανάλογα με τα ύψη (h_{te}), (h_{re}) έχουμε τους παρακάτω τύπους διορθώσεων :

$$G(h_{te}) = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{h_{te}}{200} \right) \quad 1000m > h_{te} > 30m$$

$$G(h_{re}) = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{h_{re}}{3} \right) \quad h_{re} \leq 3m$$

$$G(h_{re}) = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{h_{re}}{3} \right) \quad 10m > h_{re} > 3m$$

Τα μεγέθη A_{mu} και G_{AREA} προκύπτουν από τις γραφικές παραστάσεις που φαίνονται στα διαγράμματα που ακολουθούν. Εικ.3



Εικόνα 3 Η μέση εξασθένιση A_{mu} ως προς περιβάλλον ελεύθερου χώρου

Το μοντέλο Okumura είναι αρκετά απλό και δίνει με μεγάλη ακρίβεια τις απώλειες για συστήματα κινητών τηλεπικοινωνιών ή επίγειες ασύρματες συνδέσεις. Τα μειονεκτήματά του είναι η αδυναμία του να ανταποκριθεί γρήγορα στις αλλαγές της επιφάνειας του περιβάλλοντος και η όχι και τόσο ακριβής ανταπόκριση του σε αγροτικές περιοχές. Ωστόσο, σε αστικό ή ημιαστικό περιβάλλον θεωρείται αρκετά αξιόπιστο. Οι αποκλίσεις μεταξύ προβλεπόμενων μεγεθών και μετρούμενων είναι μεταξύ 10dB και 14dB.

3.1.6.2 Μοντέλο Hata

Το μοντέλο Hata εφαρμόζεται σε αστικές κατοικημένες περιοχές με τις ακόλουθες τυπικές τιμές :

- Συχνότητα $f = 150 \text{ MHz} - 1500 \text{ MHz}$
- Απόσταση $d = 1 \text{ km} - 20 \text{ km}$
- Ύψος Σταθμού Βάσης $h_{te} = 30 \text{ m} - 200 \text{ m}$
- Ύψος Κινητού Σταθμού $h_{re} = 1 \text{ m} - 10 \text{ m}$

Ο τύπος που δίνει τις απώλειες αναφέρεται κυρίως σε αστικές περιοχές και έχει να κάνει και πάλι με τις μέσες απώλειες για αυτό και συμβολίζεται με L_{50} και είναι :

$$L_{50}(dB) = 69,55 + 26,16 \cdot \log_{10} f_c - 1382 \cdot \log_{10}(h_{te}) - a(h_{re}) + (449 - 6,55 \cdot \log_{10} h_{te}) \cdot \log_{10} d$$

- f_c : η συχνότητα σε MHz
- h_{te} : το ενεργό ύψος του σταθμού βάσης – πομπού (T)
- h_{re} : το ενεργό ύψος του κινητού σταθμού – δέκτη (R)
- d : η απόσταση που χωρίζει τον πομπό (T) και τον δέκτη (R) σε km
- $a(h_{re})$: ο παράγοντας διόρθωσης για το ενεργό ύψος h_{re}
- Για μικρή ή μεσαία πόλη ο παράγοντας διόρθωσης δίνεται από τη σχέση :
- $a(h_{re}) = (1,1 \cdot \log_{10} f_c - 0,7) \cdot h_{re} - (1,56 \cdot \log_{10} f_c - 0,8) \text{ dB}$
- ενώ για μεγάλη πόλη ο παράγοντας δίνεται από τις σχέσεις :
- $a(h_{re}) = 8,29 \cdot (\log_{10} 1,54 \cdot h_{re})^2 - 1,1 \text{ dB}$ για $f_c \leq 300 \text{ MHz}$
- $a(h_{re}) = 3,2 \cdot (\log_{10} 11,75 \cdot h_{re})^2 - 4,97 \text{ dB}$ για $f_c \geq 300 \text{ MHz}$

Απώλειες σε ημιαστικό περιβάλλον:

$$L_{50\eta\mu\iota\alpha\sigma\tau}(dB) = L_{50}(dB) - 2 \cdot \left[\log_{10} \left(\frac{f_c}{28} \right) \right]^2 - 5,4$$

Απώλειες σε αγροτικό περιβάλλον έχουμε:

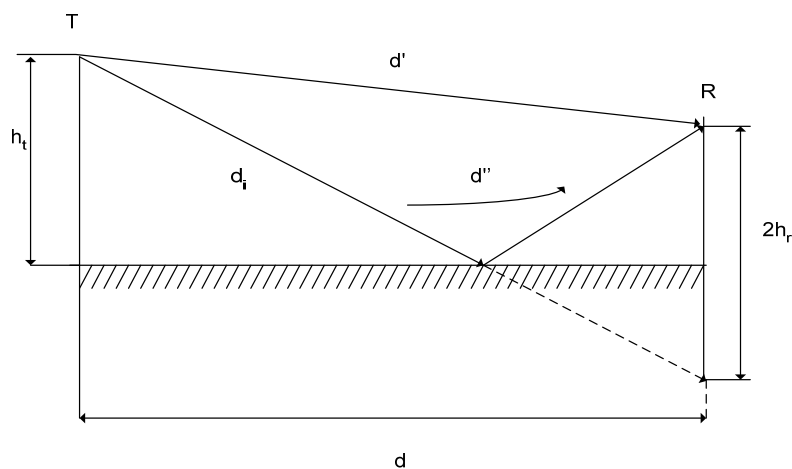
$$L_{50\alpha\gamma\rho\sigma\tau}(dB) = L_{50}(dB) - 4,78 \cdot [\log_{10} f_c]^2 + 18,33 \cdot \log_{10} f_c - 40,94$$

Τα αποτελέσματα στα δύο μοντέλα Hata και Okumura σχεδόν ταυτίζονται για

αποστάσεις που ξεπερνούν το 1km. Το μοντέλο ενδείκνυται για συστήματα επικοινωνιών που χρησιμοποιούν μεγάλες κυψέλες, αλλά με ακτίνα που δεν είναι μικρότερη από 1km.

3.1.6.3 Μοντέλο δύο ακτινών (two ray)

Το μοντέλο δύο ακτινών υπολογίζει το πεδίο στον δέκτη θεωρώντας ότι αυτό προκύπτει από τη συμβολή του απευθείας και του ανακλώμενου στο έδαφος πεδίου. Αυτό περιγράφεται στο παρακάτω σχήμα. Εικ.4



Εικόνα 4 Μοντέλο two ray

Οι απώλειες για την πιο πάνω γεωμετρία δίνονται από τη σχέση :

$$L = 20 \cdot \log_{10} \left[\left(\frac{\lambda}{4\pi} \right) \cdot \left| \frac{\exp(-jkr_1)}{r_1} + \Gamma \cdot \frac{\exp(-jkr_2)}{r_2} \right| \right] \quad (4.1)$$

Όπου:

- Γ : ο συντελεστής Fresnel του εδάφους
- λ : το μήκος κύματος
- k : ο κυματάριθμος
- r_1 , r_2 : αποστάσεις που αντιστοιχούν στην απευθείας και στην ανακλώμενη διαδρομή του σήματος αντίστοιχα.

Το μοντέλο αυτό είναι ιδανικό για αγροτικά περιβάλλοντα με επίπεδο έδαφος. Επίσης, είναι κατάλληλο για εφαρμογή σε μικροκυψέλες όπου υπάρχει άμεση

οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη (LoS). Σε τέτοιες περιπτώσεις συμβαίνουν ανακλάσεις και περιθλάσεις στους τοίχους του κτιρίου.

Εάν οι απώλειες που δίνονται στη σχέση (4.116) γραφτούν συναρτήσει της απόστασης μεταξύ πομπού και δέκτη d , μπορεί να αποδειχθεί ότι η εξάρτηση των απωλειών από το d αποτελείται από δύο καμπύλες με διαφορετική κλίση (n_1 και n_2). Το σημείο ασυνέχειας εμφανίζεται σε απόσταση d_b από τον πομπό που δίνεται από τη σχέση :

$$d_b = \frac{4 \cdot h_t \cdot h_r}{\lambda}$$

h_t και h_r : τα ύψη των κεραιών του πομπού και του δέκτη αντίστοιχα (m)

Επομένως, το σημείο ασυνέχειας βρίσκεται εκεί όπου η ελλειψοειδής ζώνη Fresnel από το απευθείας κύμα εφάπτεται στο έδαφος.

Οι απώλειες μπορούν να γραφτούν ως εξής :

$$L = \begin{cases} L_1 + 10 \cdot n_1 \cdot \log_{10} d & \text{οταν } 1 < d < d_b \\ L_1 + 10 \cdot n_2 \cdot \log_{10} \left(\frac{d}{d_b} \right) + 10 \cdot n_1 \cdot \log_{10} d_b & \text{οταν } d > d_b \end{cases} \quad (4.2)$$

όπου

L_1 : οι απώλειες σε απόσταση αναφοράς 1m

Για το θεωρητικό μοντέλο two ray οι τιμές των n_1 και n_2 είναι ίσες με 2 και 4 αντίστοιχα. Μετρήσεις σε αστικές μικροκυψέλες στις συχνότητες των 1800MHz και 1900MHz δείχνουν για το μεν n_1 τιμή μεταξύ 2 και 2,3 και για το n_2 μεταξύ 3,3 και 13,3 αντίστοιχα.

Κεφάλαιο 4

Βασικές Αρχές Εκτίμησης Απόστασης

4.1 Γενικά

Η διαδικασία εκτίμησης απόστασης ενός ραδιοσήματος, μπορεί να προσδιοριστεί με την επεξεργασία και ανάλυση 3 διαφορετικών χαρακτηριστικών των σημάτων αυτών.

- Από την λαμβανομένη ισχύ σήματος (RSS). Η πυκνότητα ισχύος ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι ανάλογη της ισχύς εκπομπής και αντιστρόφως ανάλογη του τετράγωνου της απόστασης από την πηγή. Το χαρακτηριστικό αυτό των ραδιοκυμάτων σε συνδυασμό με την διανυσματική μορφή τους, η οποία προκύπτει λόγω τα διαφορετικών μονοπατιών προς το δέκτη αποτελεί και τον πυρήνα στον οποίο στηρίζεται η μέθοδος αυτή.
- Χρόνος πτήσης (TOF). Η απόσταση μεταξύ ενός πομπού και ενός δέκτη ισούται με τον χρόνο πτήσης ή τον χρόνο ηλεκτρομαγνητικής διάδοσης του μεταδιδόμενου σήματος με την ταχύτητα διάδοσης, δηλαδή την ταχύτητα του φωτός. Η απόσταση μπορεί να προσδιοριστεί από τη μέτρηση του χρόνου άφιξης (TOA) ενός σήματος σε έναν δέκτη όταν είναι γνωστός ο χρόνος μετάδοσης ή από τις διαφορές του χρόνου λήψης σε διαφορετικές θέσεις (χρονική διαφορά άφιξης - TDOA).
- Γωνία άφιξης (AOA) ή κατεύθυνση άφιξης (DOA). Η κατεύθυνση διάδοσης ενός ραδιοσήματος είναι κάθετη προς την κατεύθυνση της διάδοσης του κύματος. Έτσι, γνωρίζοντας τον προσανατολισμό και το διάγραμμα ακτινοβολίας μια κεραίας, μπορεί να εκτιμηθεί η κατεύθυνση εκπομπής ή

λήψης ενός ραδιοσήματος. Για τον ακριβή εντοπισμό της γωνίας λήψεως μιας κεραίας γίνεται συσχέτιση της λαμβανόμενης ισχύος με την γωνία άφιξης του σήματος λαμβάνοντας πάντα υπόψη το σημείο αναφοράς. Σε αντίθεση με την πρώτη (RSS), η τιμή εκπεμπόμενης ισχύος δεν απαιτείται. Η εύρεση της απόστασης δεν μπορεί να επιτευχθεί μόνο με μία μέτρηση AOA, αλλά με τουλάχιστον δύο μετρήσεις AOA και μια μέτρηση TOF ή RSS.

Όλες οι τεχνικές και μέθοδοι εκτίμησης απόστασης-προσδιορισμού θέσης, στηρίζονται στις πιο πάνω μεθόδους αποκλειστικά ή σε συνδυασμούς αυτών. Υπάρχουν όμως και 2 σημαντικές παραλλαγές των μεθόδων αυτών οι οποίες παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον και αποτελούν 2 ξεχωριστές κατηγορίες Εγγύτητας (Proximity) και Ιχνηλάτισης (Fingerprinting).

Η εγγύτητα (Proximity), αναφέρεται στην ανίχνευση ενός κινητού χρήστη εντός συγκεκριμένης οριοθετημένης περιοχής μεσαίου ή και μεγάλου μεγέθους, μέσα στην οποία εκτιμάται ότι πιθανό να βρίσκεται ο χρήστης χωρίς όμως να μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια η θέση του στην περιοχή αυτή.

Στη μέθοδο Fingerprint γίνεται σύγκριση των χαρακτηριστικών ενός ραδιοσήματος (ραδιοαποτυπώματα) με μια βάση δεδομένων ραδιοαποτυπωμάτων μιας περιοχής τα οποία έχουν καταγραφεί σε προηγούμενο στάδιο και τα οποία είναι γεωγραφικά προσδιορισμένα. Το αποτέλεσμα της σύγκρισης οδηγούν στην ταύτιση των όμοιων ραδιοτυπωμάτων και τον εντοπισμό πιθανών θέσεων ενός δεδομένου ραδιοαποτυπωμάτων

4.2 Ανάλυση μεθόδων εντοπισμού θέσης

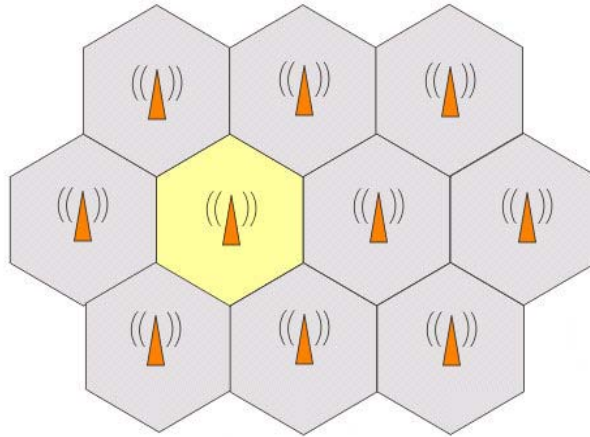
Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, όλες οι μέθοδοι εντοπισμού θέσης και υπολογισμού απόστασης πηγής ραδιοσήματος, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με το φυσικό μέγεθός το οποίο λαμβάνεται υπόψη προκειμένου να γίνει εκτίμηση. Τα μεγέθη αυτά είναι:

- Η λαμβανομένη ισχύς στο δέκτη (Received Signal Strength).
- Ο χρόνος πτήσης ενός ραδιοσήματος (Time Of Fly).
- Η γωνία άφιξης, (Angle Of Arrival).

Για τον σκοπό του εντοπισμού της θέσης κάποιας RF-ενεργής συσκευής, μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί αρκετές διαφορετικές μεθοδολογίες ως παραλλαγές ή και ως συνδυασμοί των 3 βασικών μεθόδων. Κάθε μία από αυτές, έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα συγκρίνοντάς τις μεταξύ τους. Η επιλογή της όποιας τεχνικής, εξαρτάται από τις απαιτήσεις, τους διαθέσιμους πόρους και την απαιτούμενη ακρίβεια του συστήματος.

4.2.1 Εγγύτητα (Proximity)

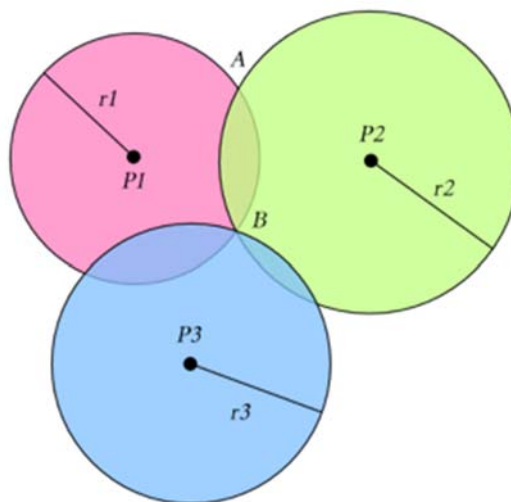
Η απλούστερη μέθοδος εντοπισμού θέσης, είναι η περίπτωση κατά την οποία γίνεται αναγνώριση του σημείου όπου ο χρήστης συνδέεται στο δίκτυο. Δεδομένου ότι η περιοχή κάλυψης ενός σημείου πρόσβασης αφορά συγκεκριμένη περιοχή και έκταση, αντιλαμβανόμαστε ότι ο χρήστης βρίσκεται υποχρεωτικά εντός αυτής της περιοχής. Η συγκεκριμένη μέθοδος πρωτοχρησιμοποιήθηκε σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, όπου η συνολική επιφάνεια κάλυψης διαχωρίζεται σε κυψέλες. Κάθε κυψέλη, φέρει την δίκη της κωδικοποίηση και γεωγραφικό προσδιορισμό και προσφέρει πρόσβαση στους πελάτες. Η μικρή ακρίβεια της μεθόδου αυτής αποτελεί και το σοβαρότερο μειονέκτημά της, πάρα την απλότητα στην υλοποίησή της. Εάν λάβουμε υπόψη ότι ένας σταθμός βάσης (BS) έχει ακτίνα κάλυψης 1 έως 30 χιλιόμετρα, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι το εύρος της πιθανής περιοχής για εντοπισμό θέσης κυμαίνεται από 1 έως 90 τετρ. χλμ. Συνεπώς, η ακρίβεια του στίγματος θέσης είναι συνήθως πρακτικά μη εκμεταλλεύσιμη για τις περισσότερες υπηρεσίες. Στις περιπτώσεις όμως όπου τα δίκτυα υλοποιούνται με κυψέλες (microcells, picocells, femtocells), η ακρίβεια βελτιώνεται αισθητά. Εικ.5



Εικόνα 5 Κυψέλες δικτύου κινητής τηλεφωνίας. (Macrocells)

4.2.2 Μέθοδος χρόνου άφιξης (Time of Arrival – ToA)

Η συγκεκριμένη μέθοδος εντάσσεται στην γενικότερη κατηγορία μεθόδων εντοπισμού που βασίζονται στον «πλευρισμό» (lateration). Ο προσδιορισμός της θέσης στη τεχνική αυτή, στηρίζεται στην εξαγωγή πληροφοριών για τη θέση του χρήστη με βάση την απόστασή του από περισσότερα του ενός γνωστά σημεία, τα οποία κατά κανόνα ταυτίζονται με τα σημεία πρόσβασης. Στην παρακάτω ανάλυση που ακολουθεί θα θεωρήσουμε ότι όλα τα αναφερόμενα σημεία βρίσκονται στο ίδιο δισδιάστατο επίπεδο, αν και η μέθοδος εύκολα γενικεύεται για τον τρισδιάστατο χώρο. Εικ.6



Εικόνα 6 Η μέθοδος χρόνου άφιξης

Στην μέθοδο αυτή, χρησιμοποιούνται μετρήσεις χρόνου για τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ σημείου πρόσβασης και πελάτη, γνωρίζοντας ότι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ταξιδεύουν στο χώρο με ταχύτητα γνωστή (την ταχύτητα του φωτός $c = 3 \cdot 10^8$ m/sec).

Έστω ότι κάποια χρονική στιγμή t_0 ο πελάτης B εκπέμπει ένα πλαίσιο, τα σημεία πρόσβασης P1,P2 και P3 λάβουν σε t_1 , t_2 και t_3 αντίστοιχα, οπότε οι αποστάσεις πελάτη – σημείου πρόσβασης θα είναι:

$$P_1 = t_1 c$$

$$P_2 = t_2 c$$

$$P_3 = t_3 c$$

Ως γνωστόν, ο γεωμετρικός τόπος των σημείων που ισαπέχουν από ένα άλλο σημείο είναι ένας κύκλος, του οποίου η ακτίνα είναι ίση με την εν λόγω απόσταση. Αν λοιπόν μόνο ένα σημείο πρόσβασης λάβει το πλαίσιο και υπολογίσει την απόσταση, η υπολογιζόμενη θέση θα είναι κάπου στην περιφέρεια αυτού του κύκλου. Η ακρίβεια βελτιώνεται αν ένα ακόμη σημείο πρόσβασης μπορέσει να υπολογίσει την απόστασή του από τον πελάτη, οπότε πλέον – στη γενική περίπτωση – υπάρχουν μόνο δύο διακριτά σημεία στα οποία θα μπορούσε να βρίσκεται ο πελάτης. Με τη γνώση μίας ακόμη μέτρησης, η θέση του πελάτη μπορεί να προσδιοριστεί πλήρως. Για την περίπτωση των τριών διαστάσεων, όπου ο γεωμετρικός τόπος των σημείων που ισαπέχουν από ένα άλλο σταθερό είναι σφαιρική επιφάνεια, απαιτούνται τέσσερις διαφορετικές μετρήσεις για να προσδιοριστεί πλήρως η θέση του πελάτη.

Για την επιτυχή εφαρμογή αυτής της τεχνικής θα πρέπει να πρέπει να συντρέχουν 2 προϋποθέσεις. Πρώτον, ο απόλυτος συγχρονισμός των ρολογιών του κάθε σταθμού βάσης, λαμβάνοντας υπόψη ότι ο χρόνος διάδοσης είναι συνήθως της τάξης των μερικών μικροδευτερολέπτων και δεύτερον η ακριβής χρονική στιγμή εκπομπής (χρόνος t_0), ώστε αφαιρώντας τον από την χρονική

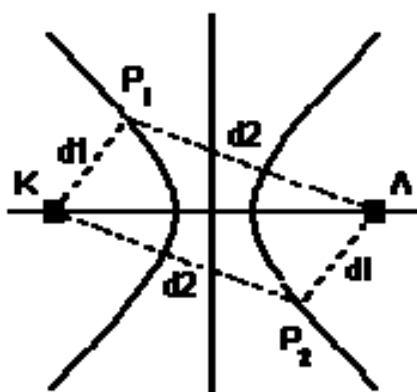
στιγμή λήψης να υπολογιστεί ο χρόνος διάδοσης.

Ενώ φαινομενικά η μέθοδος αυτή είναι απλή και ακριβής, στην πράξη η απαιτούμενη ακρίβεια συγχρονισμού είναι τεχνολογικά και οικονομικά δύσκολο να επιτευχθεί. Επιπρόσθετα, η θεώρηση ότι η ταχύτητα διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι σταθερή και ίση προς την ταχύτητα του φωτός απέχει από την πραγματικότητα, λόγω του ότι το μέσο διάδοσης στις περισσότερες περιπτώσεις όχι μόνο δεν είναι το κενό, αλλά δεν είναι ούτε καν ομοιογενές, ώστε να μπορέσουμε να υπολογίσουμε μια ισοδύναμη σταθερή ταχύτητα διάδοσης για όλες τις μετρήσεις μας. Ειδικά δε σε περιβάλλοντα πολλαπλών ανακλάσεων ή πολυ-διαδρομικής διάδοσης (multipath propagation), η εισαγόμενη διασπορά στο σήμα λήψης μειώνει ακόμη περισσότερο την ακρίβεια των μετρήσεων, ακόμα και αν ο συγχρονισμός είναι σε αποδεκτό επίπεδο.

Η πιο γνωστή υλοποίηση αυτής της μεθόδου είναι το Παγκόσμιο Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης (Global Positioning System – GPS), το οποίο απαιτεί τουλάχιστον 24 δορυφόρους με ατομικά ρολόγια ακρίβειας μερικών νανοδευτερολέπτων.

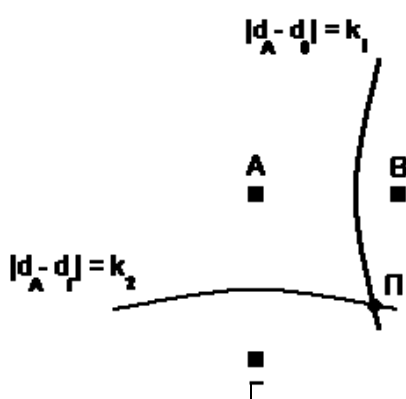
4.2.3 Μέθοδος διαφοράς χρόνων άφιξης (Time Difference of Arrival – TDoA)

Έστω ότι ο χρήστης εκπέμπει ένα πλαίσιο κάποια χρονική στιγμή. Τα σημεία πρόσβασης A, B, Γ λαμβάνουν το πλαίσιο σε χρόνους t_A , t_B και t_C αντίστοιχα. Από την ανά δύο διαφορά μεταξύ των χρόνων αυτών, μπορούμε να λάβουμε πληροφορία για τη θέση του πελάτη. Πιο αναλυτικά, η διαφορά $|t_A - t_B|$ μπορεί να αντιστοιχιστεί στη διαφορά μεταξύ των αποστάσεων πελάτη – σημείου πρόσβασης A και πελάτη – σημείου πρόσβασης B, αφού ως γνωστόν, ο γεωμετρικός τόπος των σημείων, των οποίων η διαφορά των αποστάσεων από δύο άλλα σταθερά σημεία είναι σταθερή λέγεται *υπερβολή*. *Εικ.7*



Εικόνα 7 Υπερβολή

Για να βρούμε τη θέση του χρήστη στο επίπεδο χρειαζόμαστε το σημείο τομής δύο υπερβολών, δηλαδή εφόσον κάθε καμπύλη σχηματίζεται από δύο σημεία πρόσβασης, απαιτείται τουλάχιστον τρία σημεία πρόσβασης να λάβουν το πλαίσιο. Το ένα από τα δύο σκέλη κάθε υπερβολής μπορεί να απορριφθεί, καθώς από τις μετρήσεις χρόνου μπορούμε να διακρίνουμε σε ποιο σημείο πρόσβασης έγινε πρώτα λήψη, άρα βρίσκεται και εγγύτερα στον πελάτη. Σε περίπτωση που οι δύο καμπύλες δεν αρκούν για τον ακριβή υπολογισμό της θέσης (π.χ. επειδή τέμνονται σε δύο σημεία) ή χρειαζόμαστε τη θέση στον τρισδιάστατο χώρο, απαιτείται μία ή και περισσότερες επιπλέον καμπύλες.



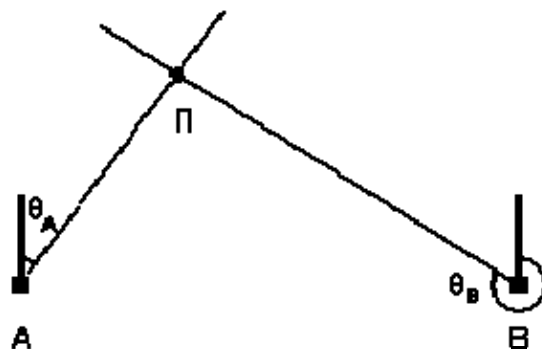
Εικόνα 8 Παράδειγμα μεθόδου TDoA με τρία σημεία πρόσβασης και 2 καμπύλες.

Όπως προαναφέρθηκε, η μέθοδος TDoA εξαλείφει την ανάγκη για συγχρονισμό του ρολογιού του πελάτη με το σύνολο των σημείων πρόσβασης, κάτι που

διευκολύνει σημαντικά την υλοποίησή του καθώς επίσης και την χρηστική ευελιξία του. Για το λόγο αυτό, η συγκεκριμένη μέθοδος με διάφορες παραλλαγές βρίσκει ευρεία εφαρμογή σε συστήματα προσδιορισμού στίγματος αεροσκαφών και πλοίων με τη χρήση ραδιοβοηθημάτων από την εποχή ακόμη του Β' Παγκοσμίου Πολέμου μέχρι και σήμερα. Ενδεικτικά, αναφέρεται το σύστημα προσδιορισμού θέσης LORAN (LONg RANge Navigation), το οποίο αποτελεί τον πιο διαδεδομένο πρόγονο του GPS, το πρώτο σύστημα προσδιορισμού θέσης αεροσκαφών παγκόσμιας εμβέλειας OMEGA, το Σοβιετικό αντίστοιχο του τελευταίου ονόματι Alpha, και το Βρετανικό σύστημα DECCA, κυρίως για τον προσδιορισμό θέσης πλοίων. Τέλος, προχωρημένες τεχνικές εντοπισμού σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας αξιοποιούν επίσης τη συγκεκριμένη μέθοδο. Εικ.4

4.2.4 Μέθοδος γωνίας άφιξης (Angle of Arrival – AoA)

Η μέθοδος αυτή, σε αντίθεση με τις προηγούμενες μεθόδους, δεν στηρίζεται στον πλευρισμό (lateration), δηλαδή σε μετρήσεις απόστασης προς τον στόχο, αλλά στη μέτρηση γωνιών προς αυτόν, ώστε με επίλυση του σχηματιζόμενου τριγώνου να υπολογίζεται η θέση του. Εικ.9



Εικόνα 9 Παράδειγμα μεθόδου γωνίας άφιξης (AoA)

Όπως φαίνεται και στο σχήμα, μετρήσεις από δύο σημεία πρόσβασης αρκούν για τον πλήρη προσδιορισμό της θέσης σε δισδιάστατο επίπεδο, με μία ή περισσότερες ακόμη μετρήσεις να απαιτούνται για την αύξηση ακρίβειας. Η μέτρηση της γωνίας γίνεται είτε με μηχανική περιστροφή μίας κατευθυντικής

κεραίας, είτε – τα τελευταία χρόνια – με χρήση στοιχειοκεραίας, η χρήση της οποίας προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία και έχει μικρότερες απαιτήσεις συντήρησης. Στην περίπτωση της στοιχειοκεραίας, υπολογίζεται η διαφορά φάσης μεταξύ των σημάτων λήψης ώστε να βρεθεί η διεύθυνση προέλευσης του σήματος, κάτι που εφαρμόζεται χονδρικά και στην τεχνική TDoA.

Το κυριότερο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν απαιτεί κανενός είδους πρόσθετη λειτουργία στο δίκτυο, ακριβώς όπως και η μέθοδος RSS. Βέβαια, δεν έχουν όλα τα δίκτυα σημεία πρόσβασης με στοιχειοκεραίες ή κεραίες διαφορικής λήψης, ώστε να είναι δυνατή η άμεση υλοποίηση της μεθόδου. Όπως είναι λογικό, σε περιβάλλοντα ανακλάσεων η ακρίβεια της μεθόδου μειώνεται αισθητά, καθώς είναι δυσκολότερη η ανίχνευση της πραγματικής διεύθυνσης προέλευσης του σήματος. Γι' αυτό τον λόγο η τεχνική χρησιμοποιείται κυρίως για εφαρμογές σε ανοικτό χώρο, όπου συνήθως υπάρχει οπτική επαφή (Line of Sight – LoS) με την πηγή. Παραδείγματα χρήσης της μεθόδου είναι, το σύστημα ραδιοφάρων VOR (VHF Omnidirectional Range), το οποίο χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το σύστημα DME (Distance Measuring Equipment) για την εύρεση της θέσης αεροσκαφών, τα ενεργά ή παθητικά συστήματα SONAR για υποβρύχια, ο εντοπισμό της θέσης πελατών κινητής τηλεφωνίας.

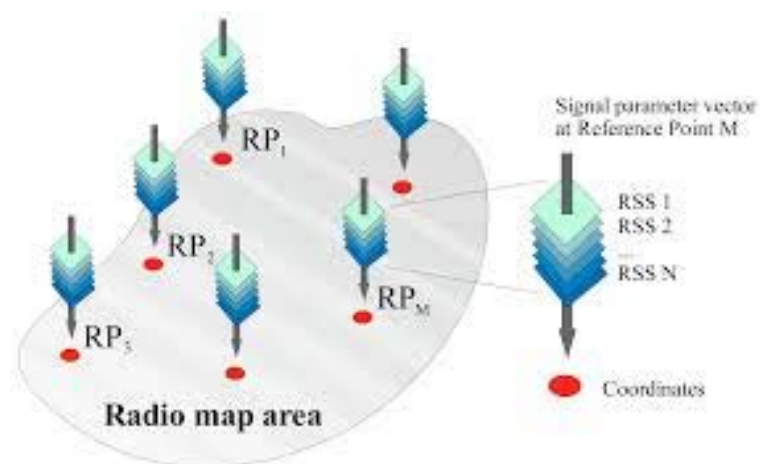
4.2.5 Τεχνική Fingerprinting

Μία άλλη μέθοδος για τον προσδιορισμό της θέσης, η οποία θα χρησιμοποιηθεί στην διπλωματική εργασία είναι και αυτή των ραδιοαποτυπωμάτων. Η τεχνική αυτή είναι προσιτή και εύκολή στην εφαρμογή της καθώς δεν απαιτείται επιπρόσθετος εξοπλισμός και υποδομή για την υλοποίησή της. Δέκτες RSSI (Received Signal Strength Indicator) είναι ενσωματωμένοι σχεδόν σε όλους τα σταθμούς ακόμα και σε πάρα πολλές φορητές συσκευές.

Η εφαρμογή της τεχνικής αυτής χωρίζεται σε 2 φάσεις. Η πρώτη είναι η offline φάση της εκπαίδευσης, κατά την οποία ο χώρος κατατομείται σε ένα

τετραγωνικό πλέγμα και σε κάθε κομμάτι αυτού γίνονται μετρήσεις RSSI. Από την διαδικασία αυτή σχηματίζεται ένας πίνακας διανυσμάτων, τα οποία περιέχουν όλα τα RSSI των σημάτων που εντοπίστηκαν σε ένα κομμάτι του πλέγματος, καθώς και τις γεωγραφικές συντεταγμένες του αντίστοιχου σημείου. Οι πληροφορίες αυτές καταχωρούνται σε μια βάση δεδομένων η οποία αφορά συγκεκριμένη περιοχή για την οποία έγιναν οι μετρήσεις.

Η δεύτερη είναι η online φάση του αλγορίθμου η οποία συγκρίνει τα RSSI (αποτυπώματα -ίχνη) που είναι διαθέσιμα εκείνη τη στιγμή με εκείνα που προϋπάρχουν από το offline στάδιο της διαδικασίας. Επομένως, το πρόβλημα του προσδιορισμού μίας θέσης ανάγεται σε μια διαδικασία αναζήτησης της βάσης δεδομένων με κριτήριο μία RSSI υπογραφή. Εικ. 10

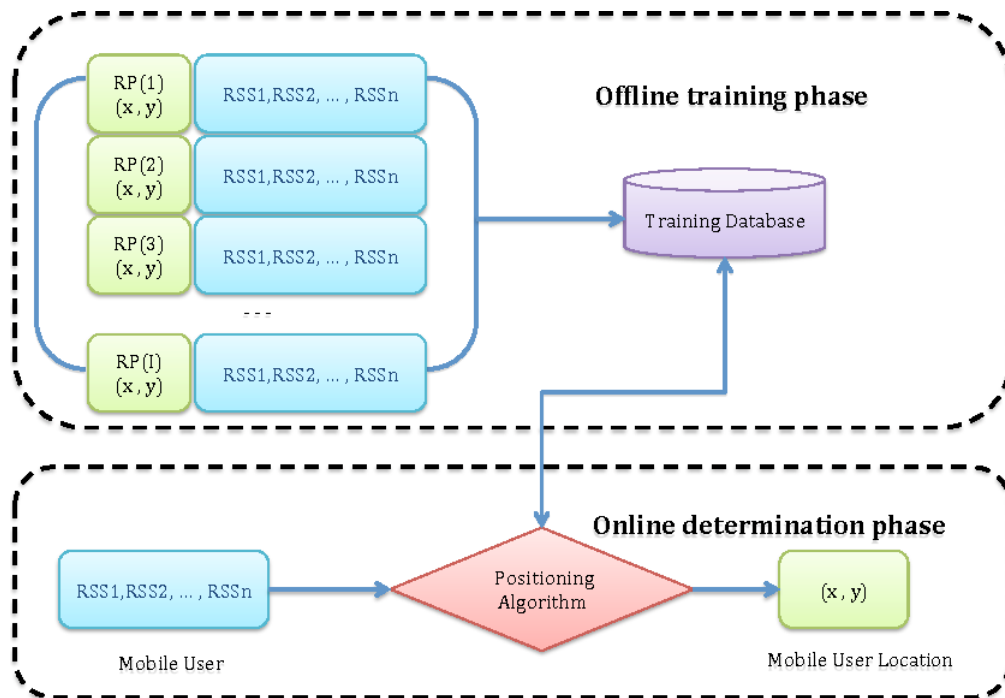


Εικόνα 10 Κελιά Χάρτη Ραδιοαποτυπωμάτων RSSI

Υπάρχουν τουλάχιστον πέντε αλγόριθμοι που βασίζονται στην παραπάνω τεχνική και περιλαμβάνουν την πιθανοτική μέθοδο, τον αλγόριθμο των k -κοντινότερων γειτόνων K -NN, τα νευρωνικά δίκτυα, την μέθοδο support vector machine (SVM) και την τεχνική του μικρότερου πολυγώνου M -ακμών (SMP).

Η μέθοδος του κοντινότερου γείτονα είναι η απλούστερη και χρησιμοποιεί τα online RSS δεδομένα ώστε να αναζητήσει τις k πιο ταιριαστές θέσεις συγκριτικά με εκείνες που βρίσκονται σε μια βάση δεδομένων που σχηματίστηκε

σύμφωνα με την αρχή του μέσου τετραγωνικού σφάλματος. Υπολογίζεται, έτσι, ο μέσος όρος αυτών των k θέσεων με ή χωρίς να υιοθετηθούν οι RSS αποστάσεις ως βάρη και χρησιμοποιείται από τον σταθμισμένο ή μη σταθμισμένο kNN αντίστοιχα ώστε να εξαχθεί μια τελική προσέγγιση της θέσης του κινητού αντικειμένου. Σε αυτόν τον σχεδιασμό η παράμετρος k είναι μέσο ρύθμισης της επίδοσης του αλγορίθμου (στον χώρο της λαμβανόμενης ισχύος ενός σήματος) με κάθε διαθέσιμο αποτύπωμα. Έπειτα, επιλέγονται οι k -καλύτερες «υπογραφές» της βάσης δεδομένων ως πιθανοί δείκτες της τρέχουσας τοποθεσίας της συσκευής και η προσέγγιση του τελικού αποτελέσματος προκύπτει από τον μέσο όρο των γεωγραφικών συντεταγμένων των k -καλύτερων αποτυπωμάτων. Εικ.11



Εικόνα 11 Ροή πληροφορίας κατά τον προσδιορισμό θέσης μίας συσκευής με την μέθοδο Fingerprinting

Κεφάλαιο 5

5.1 Παρουσίαση Υλοποίησης

Προκειμένου να γίνει αποτύπωση των ραδιοχαρτών, χρησιμοποιήθηκε η ντετερμινιστική μέθοδος, ως η πιο ενδεδειγμένη για την περίπτωση της εργασίας. Η χρήση λογισμικού προγράμματος RT (Ray Tracing), όπως το Trunet, δίνει τη δυνατότητα σε ελάχιστο χρόνο να δημιουργηθούν χάρτες ραδιοαποτυπωμάτων (off line fingerprint radio maps), οι οποίοι αποτελούν και το αναγκαίο υπόβαθρο (μέτρο σύγκρισης) ώστε οι μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο (on-line) RSSI να μπορούν να τύχουν επεξεργασίας και να γίνει εκτίμηση πιθανής θέσης. Περισσότερες λεπτομέρειες για την μέθοδο Fingerprinting αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφ.4.2.5).

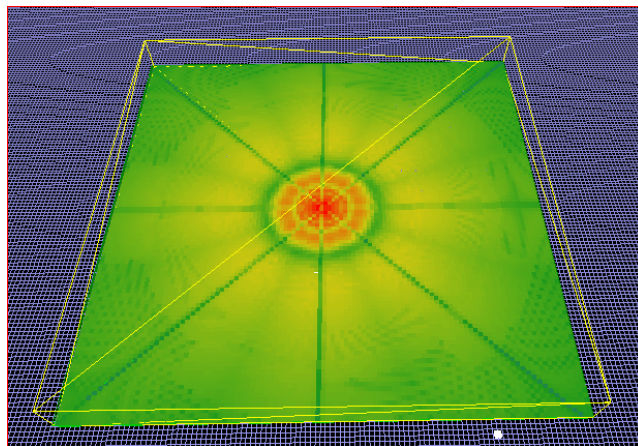
Στο υπό εξέταση σενάριο, το περιβάλλον προσομοίωσης είναι εξωτερικό περιβάλλον χωρίς εμπόδια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η διάδοση να είναι LoS (Line of Sight) και οι απώλειες διάδοσης να περιορίζονται σε αυτές ελευθέρου χώρου (Free Space Lose).

Τα ερευνητικά ερωτήματα τα οποία θα πρέπει να απαντηθούν στην παρούσα διπλωματική εργασία, είναι πως επηρεάζεται η ποιότητα ενός ραδιοχάρτη μιας περιοχής (fingerprint radio map) :

- Ανάλογα με τον αριθμό και την οριοθέτηση μιας συστοιχίας κατευθυντικών κεραιών.
- Από τα χαρακτηριστικά των κεραιών αυτών (όπως το κέδρος και η κατευθυντικότητα).

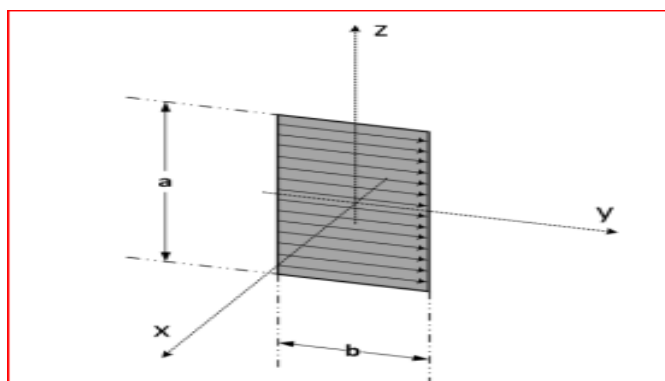
5.2 Πειραματική διάταξη στο Trunet (Correlation)

Αρχικά έγινε επιλογή της περιοχής στην οποία θα γίνει ο χάρτης αποτύπωσης της λαμβανομένης ισχύος από τις κεραιές. Η περιοχή αυτή καταλαμβάνει μια έκταση πλάτους 1100 μ. x1100 μ. και ύψους 100 μέτρων. Τα μέγεθος κελίων των ραδιοαποτυπώματων επιλέγηκε στα 10x10x10 μέτρων με αποτέλεσμα την δημιουργία 121.000 κελίων. Εικ.12



Εικόνα 12 Χάρτης Ραδιοκάλυψης

Ακολούθως, έγινε επιλογή κατευθυντικών κεραιών τύπου Patch Εικ.13. Τα χαρακτηριστικά των κεραιών αυτών, είναι ιδανικά για ραδιοκάλυψη του συνόλου της περιοχής αλλά και λόγω της ομοιόμορφης κατανομής της πυκνότητας ισχύος.

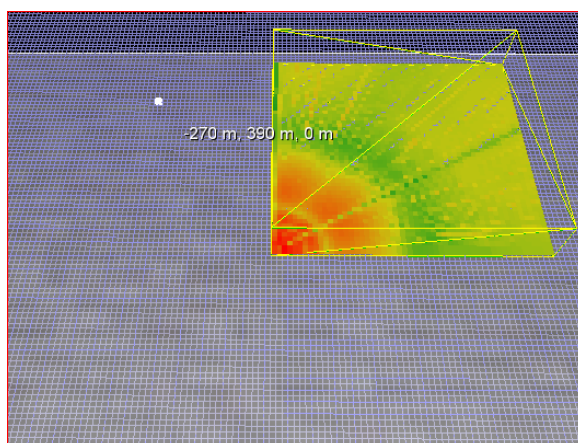


Εικόνα 13 Παράμετροι Patch antenna

Η τοποθέτηση της συστοιχίας κεραιών έγινε στο κέντρο της υπό εξέταση περιοχής και με συμμετρική διάταξη. Λόγω της τοποθέτησης των κεραιών σε ένα σημείο και της συμμετρικής οριοθέτησής τους, προκύπτουν συμμετρικά και πανομοιότυπα μοτίβα στον δημιουργούμενο ραδιοχάρτη εκπαίδευσης (offline radio map). Για τον λόγο αυτό δεν είναι απαραίτητο να εξαχθούν δεδομένα για όλα τα κελιά, λόγω συμμετρίας. Η περιοχή από την οποία έγινε εξαγωγή και μελέτη των δεδομένων (study area) ορίστηκε στο $\frac{1}{4}$ της περιοχής κάλυψης των κεραιών .Εικ.14

Η ισχύς εκπομπής από τις κεραιές ήταν 20dbm και η συχνότητα εκπομπής τα 2.4 GHz. Οι κεραιές οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν ήταν κατευθυντικές τύπου (patch) με παραμέτρους $\alpha=6$ εκ. $\beta=6$ εκ. με κέρδος 6dBi. $\alpha=10$ εκ. $\beta=12$ εκ. με κέρδος 10dBi. αντίστοιχα.

Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι στο πρόγραμμα προσομοίωσης Trunet, χρησιμοποιήθηκαν οι κεραιές ως πομποί και τα κελιά ως δέκτες. Λόγω όμως της αρχής της αμοιβαιότητας (reciprocal) η οποία χαρακτηρίζει τις κεραιές (λήψη και εκπομπή με τον ίδιο ακριβώς τρόπο) τα αποτελέσματα της λαμβανόμενης ισχύος σε κάθε κελί μπορούν να αντιστραφούν και να θεωρηθεί ότι η ισχύς λήψης από τις κεραιές είναι αυτή των κελιών.



Εικόνα 14 Χάρτης Ραδιοκάλυψης (Υπό εξέταση)

5.2.1 Ανάλυση Αποτελεσμάτων Συσχέτισης(Correlation)

Για την μελέτη της «διαφορετικότητα» των κελιών μιας περιοχής ακολουθήθηκε στατιστική ανάλυση συσχέτισης (Correlation).

Το πιο γνωστό μέτρο για εύρεση της εξάρτησης μεταξύ δύο μεταβλητών είναι ο συντελεστής συσχέτισης Pearson . Ο συντελεστής αυτός λαμβάνει τιμές από -1 έως +1 και το εύρος αποτελεί μια μετρική η οποία δείχνει και το βαθμό συσχέτισης των 2 μεταβλητών. Αναλυτικά, ο βαθμός συσχέτισης ερμηνεύεται όπως παρακάτω:

$\rho = \pm 1$ Υπάρχει τελεία συσχέτιση

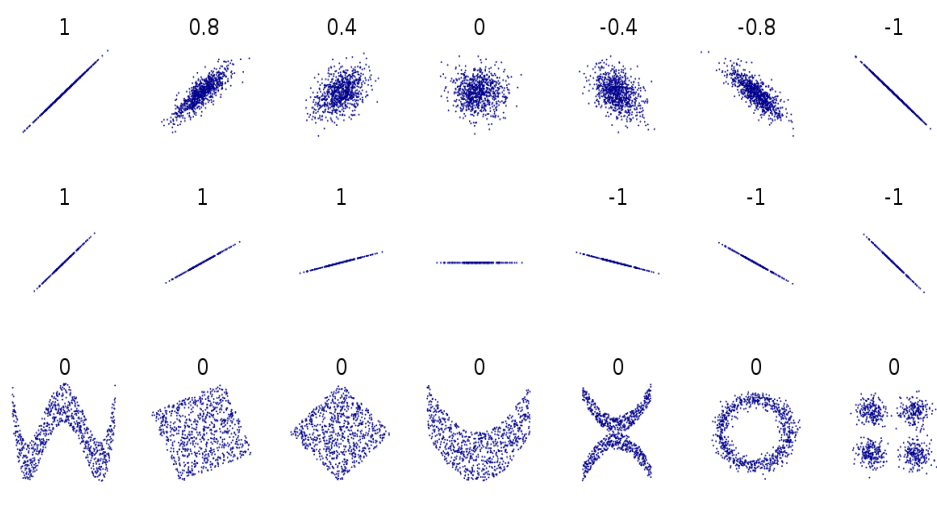
$-0,3 \leq \rho \leq 0,3$ Δεν υπάρχει συσχέτιση,

$-0,5 \leq \rho \leq -0,3$ ή $0,3 \leq \rho \leq 0,5$ Υπάρχει ασθενής γραμμική συσχέτισης,

$-0,7 \leq \rho \leq -0,5$ ή $0,5 \leq \rho \leq 0,7$ Υπάρχει μέση γραμμική συσχέτισης

$-0,8 \leq \rho \leq -0,7$ ή $0,7 \leq \rho \leq 0,8$ Υπάρχει ισχυρή γραμμική συσχέτισης

$-1 \leq \rho \leq -0,8$ ή $0,8 \leq \rho \leq 1$ Υπάρχει τέλεια γραμμική συσχέτισης. Εικ.15



Εικόνα 15 Διαγράμματα με Ενδεικτικές τιμές Συσχέτισης

Συνεπώς το πρόβλημα εύρεσης του βαθμού ομοιότητας των χαρτών οι οποίοι προκύπτουν από τις πειραματικές διατάξεις ανάγεται σε εύρεση του βαθμού συσχέτισης των χαρτών μεταξύ τους. Σκοπός είναι η δημιουργία χαρτών με τον μικρότερο δυνατό συντελεστή συσχέτισης.

Από το trunet επιλέγηκαν 28000 κελιά (ραδιοαποτυπώματα), τα οποία αντιστοιχούν μόνο στην υπό εξέταση περιοχή. Στην συνέχεια, έγινε προσομοίωση με αυξανόμενο αριθμό κεραιών, με αλλαγή της οριοθέτησής τους και μεταβολή του κέρδους όπως φαίνονται στο παρακάτω Πίν. 1

Σενάριο	Αριθμός Πομπων	Κέρδος	Οριοθέτηση
1	2 Trans 6dBi	6 dBi	180 deg.
2	4 Trans 6 dBi	6 dBi	90deg.
3	6 Trans 6dBi	6 dBi	60 deg.
4	8 Trans 6 dBi	6 dBi	45 deg.
5	4 Trans 10 dBi	10 dBi	90deg.
6	6 Trans 10 dBi	10 dBi	60 deg.
7	8 Trans 10 dBi	10 dBi	45 deg.

1 Πίνακας Σεναρίων Προσομοίωσης

Σε κάθε ένα από τα 28.000 χιλιάδες κελιά IDi καταχωρήθηκαν οι λαμβανόμενες τιμές ισχύος από όλους τους πομπούς(tr1,tr2...tri). Στην συνέχεια, έγινε κανονικοποίηση των τιμών αυτών και υπολογισμός της διακύμανσης *σi* τους. Η μεταβλητή αυτή, αποτελεί μια μετρική η οποία χαρακτηρίζει την διαφορετικότητα

των κελιών μεταξύ τους. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, στόχος είναι η δημιουργία περιοχών με κελιά με τη λιγότερη συσχέτιση μεταξύ τους. Για την εύρεση του βαθμού συσχέτισης μεταξύ των χαρτών ραδιοκάλυψης έγινε σύγκριση των 28.000 κελιών του κάθε σεναρίου με όλα τα υπόλοιπα όπως αυτά φαίνονται στον Πιν. 2.

Προκειμένου να υπάρχει κοινό σημείο αναφοράς, ώστε να μπορεί να είναι διακριτός ο βαθμός διαφορετικότητας εκάστου ραδιοχάρτη, ορίστηκε ως κοινό σημείο αφετηρίας (benchmark) το σενάριο (2 trans 6dBi).

Αυτό το οποίο αναμένεται από την ανάλυση των αποτελεσμάτων, ώστε να επιβεβαιώσουμε την ερευνητική υπόθεση είναι ότι, αυξάνοντας τον αριθμό των κεραιών και του κέρδους τους, υπάρχει και ουσιαστική διαφοροποίηση της ποιότητας των χαρτών ραδιοαποτυπώματων για κάθε σενάριο. Για την απόδειξη της υπόθεσης αυτής, θα χρησιμοποιηθεί μαθηματική προσέγγιση με στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Ο πιο κάτω πίνακας περιλαμβάνει τα αποτελέσματα συσχέτισης για συστοιχία κεραιών με κέρδος 6dBi. Πιν.2

correlation	2 trans 6dBi (benchmark)	4 trans 6 dBi	6 trans 6 dBi	8 trans 6 dBi
orientation	180 deg.	90deg.	60 deg.	45 deg.
2 trans 6dBi (benchmark)	1	0.4358029	0.045864317	0.205137235
4 trans 6 dBi	0.4358029	1	0.247049835	0.578452664
6 trans 6dBi	0.045864317	0.247049835	1	0.337871205
8 trans 6 dBi	0.205137235	0.578452664	0.337871205	1

2 Πίνακας Σεναρίων Προσομοίωσης (6dBi)

Αυτό το οποίο γίνεται διαισθητικά αντιληπτό, είναι το γεγονός ότι αυξανόμενων των αριθμών των κεραιών η συσχέτιση των κελίων μειώνεται μέχρι κάποιο όριο το οποίο φαίνεται στο Γραφ.1.

Η περαιτέρω αύξηση πομπών, φαίνεται να μην προκαλεί επιπλέον διαφοροποίηση και το μόνο που επιτυγχάνεται είναι ότι αυξάνεται η πολυπλοκότητα του συστήματος χωρίς επιπλέον ουσιαστική συνεισφορά στη βελτίωση της ποιότητας των υπό δημιουργία off line ραδιοχαρτών.

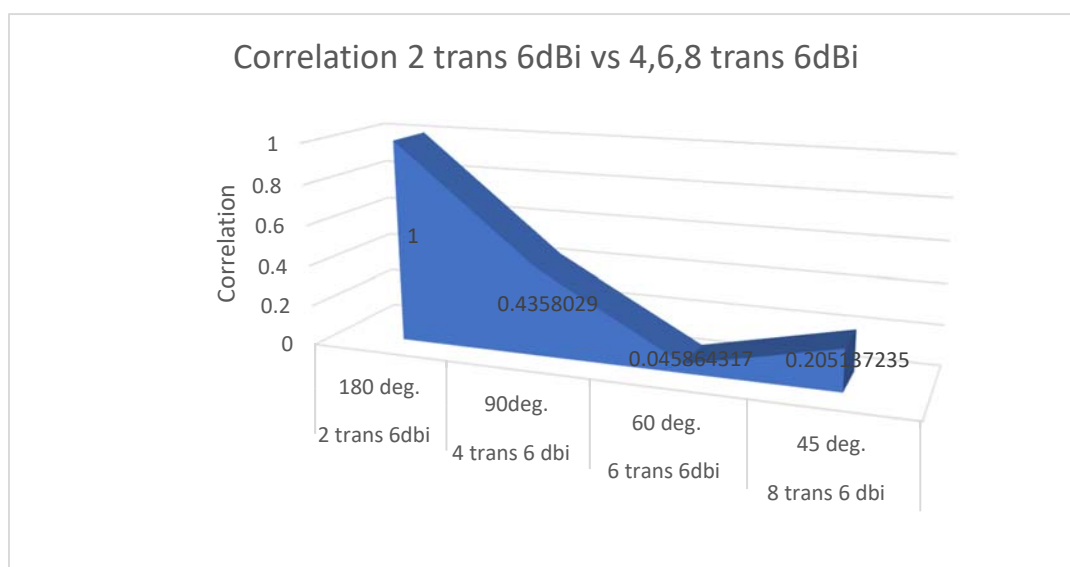
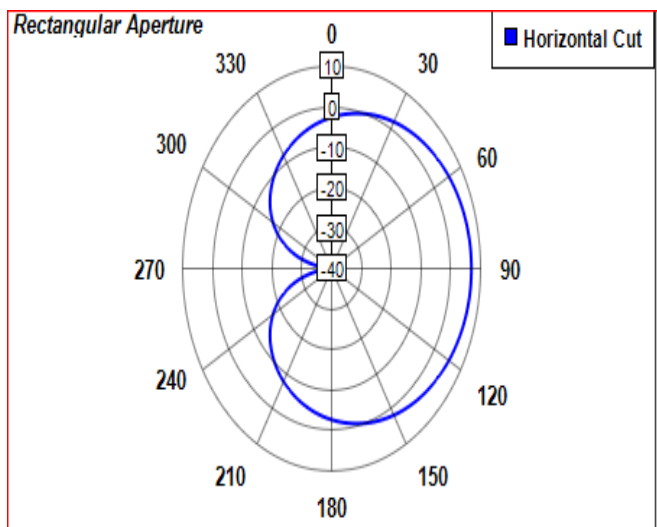
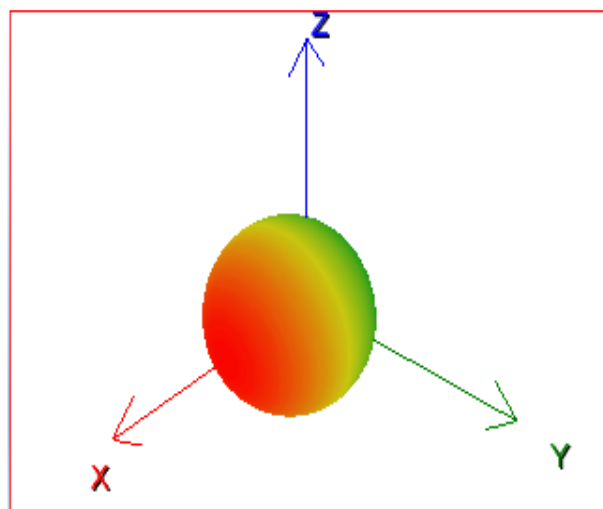


Figure 1 Γράφημα συσχέτισης πομπού με 6dBi

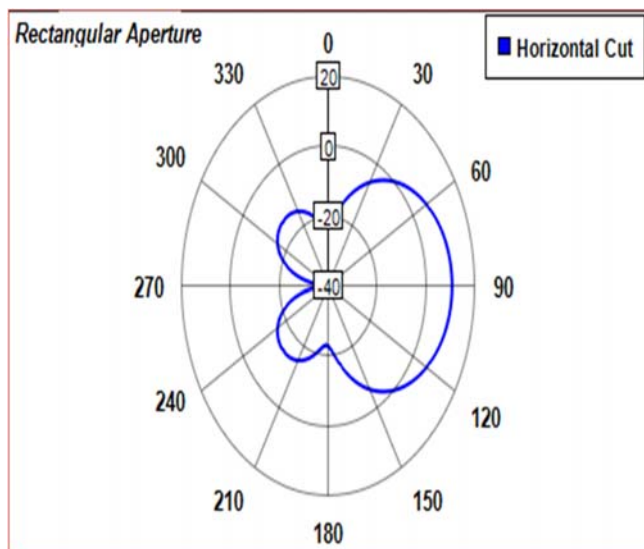
Στην επόμενη πειραματική διάταξη έγινε διαφοροποίηση του κέρδους των κεραιών οι οποίες αποτελούν την συστοιχία, προκειμένου να μελετηθεί η μεταβολή της ποιότητας των ραδιοαποτυπωμάτων των χαρτών. Για την επίτευξη μεγαλύτερου κέρδους της νέας κεραιάς, αυτή παραμετροποιήθηκε με τις παρακάτω διαστάσεις $\alpha=10$ εκ. και $\beta=12$ εκ. Τα οριζόντια και τρισδιάστατα διαγράμματα ακτινοβολίας των 2 κεραιών οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στις πιο κάτω εικόνες Εικ.10,11 και Εικ.12,13



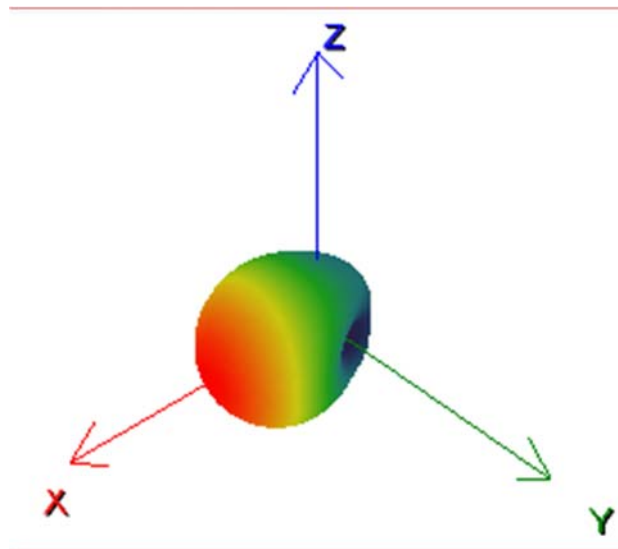
Εικόνα 17 Οριζόντιο διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας 6dBi



Εικόνα 16 Τρισδιάστατο διάγραμμα ακτιν. patch antenna 6 dBi



Εικόνα 18 Τρισδιάστατο διάγραμμα ακτινοβολίας patch antenna 10 dBi



Εικόνα 19 Τρισδιάστατη απεικόνιση patch antenna 10 dBi

Ο πιο κάτω πίνακας περιλαμβάνει τα αποτελέσματα συσχέτισης για συστοιχία κεραιών με κέρδος 10dBi. Πιν.3

correlation	2 trans 6dBi (benchmark)	4 trans 10 dBi	6 trans 10 dBi	8 trans 10 dBi
orientation	180 deg.	90deg.	60 deg.	45 deg.
2 trans 6dBi	1	0.369660073	0.093484575	0.147533772
4 trans 10 dBi	0.369660073	1	0.365879212	0.415694968
6 trans 10 dBi	0.093484575	0.365879212	1	0.769074859
8 trans 10 dBi	0.147533772	0.415694968	0.769074859	1

3 Πίνακας Συσχέτισης πομπών (10dBi)

Στο πιο κάτω γράφημα παρουσιάζεται ο βαθμός συσχέτισης των χαρτών ραδιοαποτυπωμάτων με το κοινό σημείο εκκίνησης (benchmark 2 trans 6 dBi).

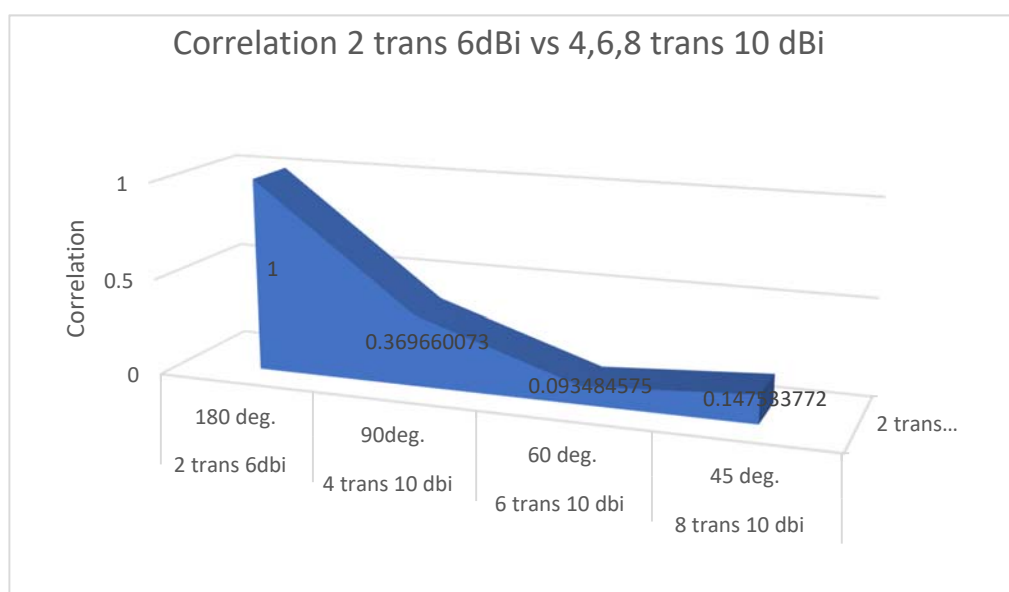


Figure 2 Γράφημα συσχέτισης πομπού με 10dBi

Συγκρίνοντας τη συσχέτιση (correlation) των 2 πειραματικών διατάξεων και ορίζοντας ως benchmark (κοινό σημείο εκκίνησης) το ραδιοχάρτη με 2 κεραίες (2 trans 6 dBi), διαπιστώνεται ότι οι ραδιοχάρτες με 4 κεραίες έχουν συντέλεσή

συσχέτισής $\rho=3,7$ (6 dBi) και $\rho=4.4$ (10dBi). Σύμφωνα με τα όσα αναφερθήκαν στην παράγραφο 4.3.1.1 διαπιστώνεται ότι υπάρχει ασθενής γραμμική συσχέτισης. Αυξανόμενου του αριθμού των κεραιών σε 6, ο συντελεστής μειώνεται σε $\rho=0,09$ (6 dBi) και $\rho=0.05$ (10dBi). Αυτό υποδηλώνει ότι δεν υπάρχει συσχέτιση με το κοινό σημείο εκκίνησης το ραδιοχάρτη με 2 κεραιές. Συνεπώς η διαφορετικότητα των 2 ραδιοχαρτών είναι η μεγαλύτερη ακόμα και στην περίπτωση με τις 8 κεραιές οπού έστω οριακά ο συντελεστής βελτιώνεται σε $\rho=0,21$ (6 dBi) και $\rho=0.15$ (10dBi).

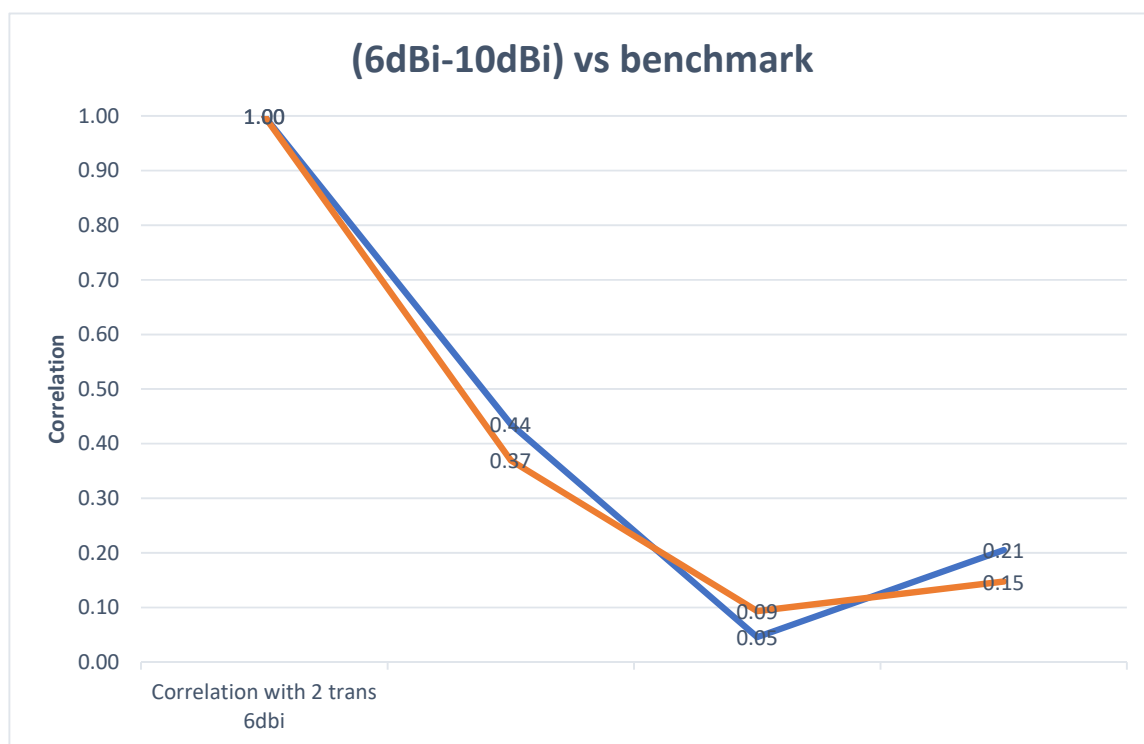


Figure 3 Γράφημα βαθμού συσχέτισης πομπού με 6-10dBi vs Benchmark

Από τα πιο πάνω προκύπτει ότι αυξανόμενων των κεραιών και αλλάζοντας την οριοθέτηση τους προκύπτουν χάρτες με πιο χαμηλή συσχέτιση συγκρινόμενα με τον χάρτη εκκίνησης 2 trans 6dBi (benchmark). Αυτό το οποίο γίνεται αντιληπτό είναι ότι η χαμηλότερη συσχέτιση συνεπάγεται και βελτίωση της ποιότητας των ραδιοαποτυπώματων. Ο βαθμός βελτίωσης και η ποιότητα θα διερευνηθεί με την

δημιουργία ιστογράμματος η οποία αναλύεται στην επόμενη ενότητα.

5.2.2 Πειραματική διάταξη στο Trunet Ιστογράμματα

Στην συνέχεια προκειμένου να διαπιστωθεί κατά πόσο βελτιώνεται η διαφορετικότητα τα κελίων σε κάθε ραδιοχάρτη, θα εξεταστούν τα ιστογράμματα και των 7 σεναρίων .

Η εξαγωγή των χαρτών των ραδιοαποτυπώματων αυτών έγινε με την ακόλουθη διαδικασία. Αρχικά, έγινε εξαγωγή των αποτελεσμάτων από το πρόγραμμα προσομοίωσης trunet. Τα αποτελέσματα αυτά περιλάμβαναν την λαμβανόμενη ισχύ από κάθε πομπό σε κάθε κελί για όλα τα σενάρια. Στην συνέχεια τα 28000 διαφορετικά κελιά ταξινομήθηκαν κατά αύξουσα σειρά και σε κάθε κελί ήταν καταχωρημένη η λαμβανομένη ισχύς από κάθε συστοιχία. Προκειμένου να υπάρχει ένα κοινό μετρώ σύγκρισης των κελίων υπολογίστηκε για κάθε κελί ξεχωριστά η **τυπική απόκλιση** της λαμβανομένης ισχύος από όλους τους πομπούς.

Θα πρέπει εδώ να αναφέρουμε ότι Τυπική Απόκλιση (Standard Deviation), είναι ένα μέτρο που χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί το ποσό της μεταβολής ή της διασποράς ενός συνόλου τιμών δεδομένων. Μια χαμηλή τυπική απόκλιση υποδηλώνει ότι τα σημεία των δεδομένων τείνουν να είναι κοντά στο μέσο όρο (που ονομάζεται επίσης η αναμενόμενη τιμή) του συνόλου, ενώ μία υψηλή τυπική απόκλιση υποδεικνύει ότι τα στοιχεία απλώνονται πάνω από ένα ευρύτερο φάσμα τιμών. Ερμηνεύοντας την φυσική σημασία της τυπικής απόκλισης στην πειραματική διάταξη την οποία υλοποιήσαμε, αναμένουμε ότι, όσο μεγαλύτερες διακυμάνσεις της λαμβανόμενης ισχύος έχουμε σε κάθε κελί τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η τυπική απόκλιση. Σκοπός βέβαια δεν είναι μόνο η ύπαρξη μεγάλων, τυπικών αποκλίσεων, αλλά και η δημιουργία ενός ιστογράμματος με μεγάλο εύρος διακυμάνσεων.

5.3.1.2.1 Πειραματική διάταξη 4 κεραιών (6dBi ,10 dBi)

Αυτό το οποίο διαπιστώνεται στα Γραφ. 4 και 5 και τους πίνακες κατανομής

Πιν.4 και Πιν.5 είναι ότι η διασπορά των τιμών στην περίπτωση όπου οι κεραιές έχουν μεγαλύτερο κέρδος και κατευθυντικότητα (10 dBi) παρουσιάζει πιο ομαλή κατανομή.

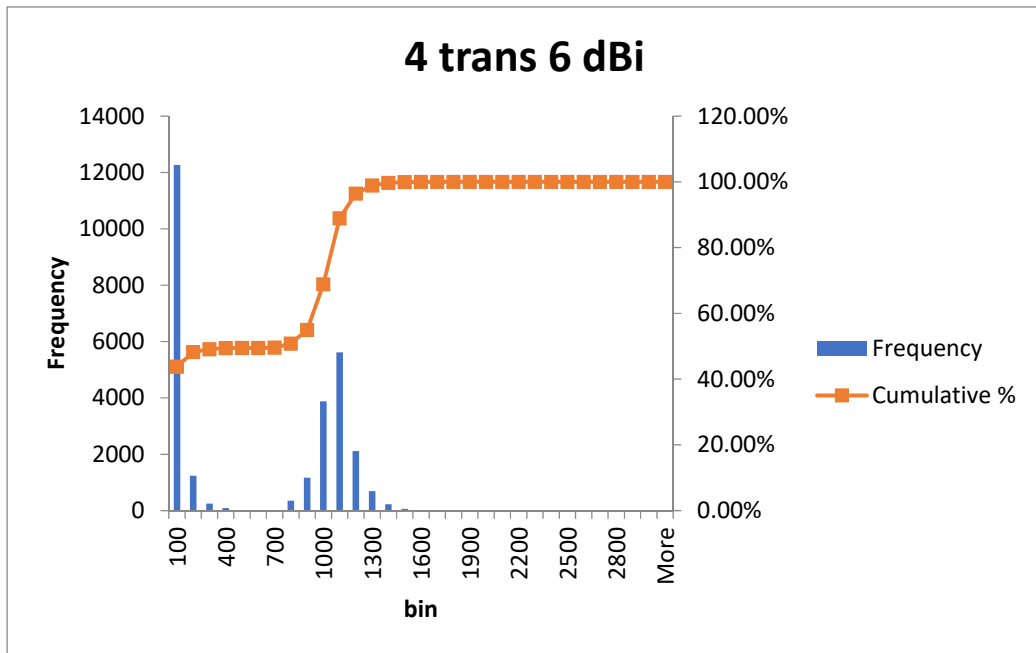


Figure 4 Ιστόγραμμα με 4 πομπούς και κέρδος κεραιάς 6dBi.

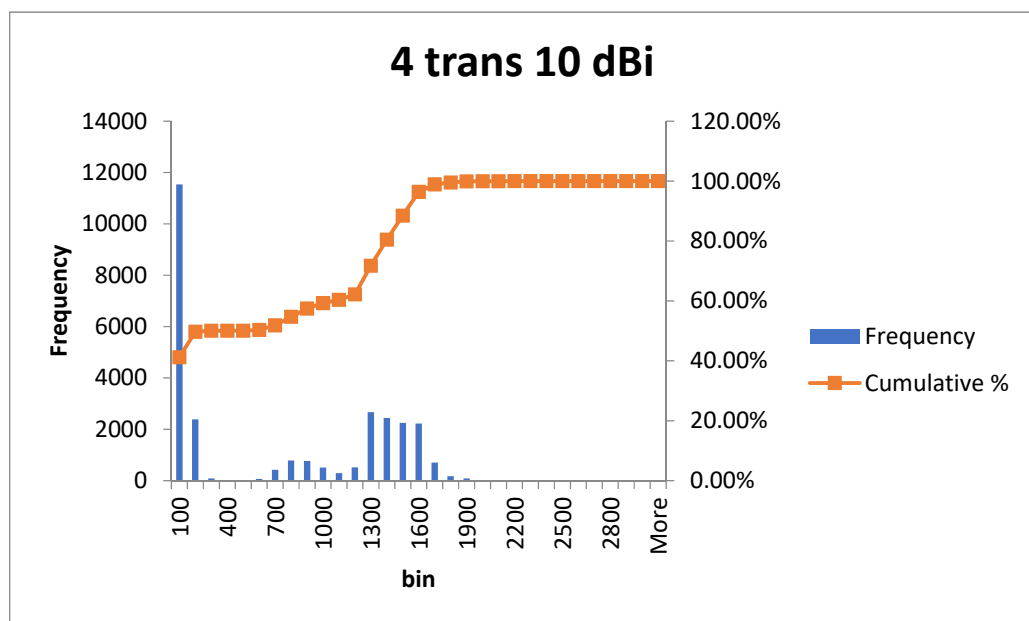


Figure 5 Ιστόγραμμα με 4 πομπούς και κέρδος κεραιάς 10dBi.

Μελετώντας τους πίνακες κατανομής συχνοτήτων διαπιστώνουμε ότι στην περίπτωση όπου οι κεραιές έχουν κέρδος 10dBi, πέραν της ομαλότερης κατανομής συχνοτήτων των κελίων, παρατηρείται και βελτίωση 4% των στο εύρος τιμών . Πιν.5

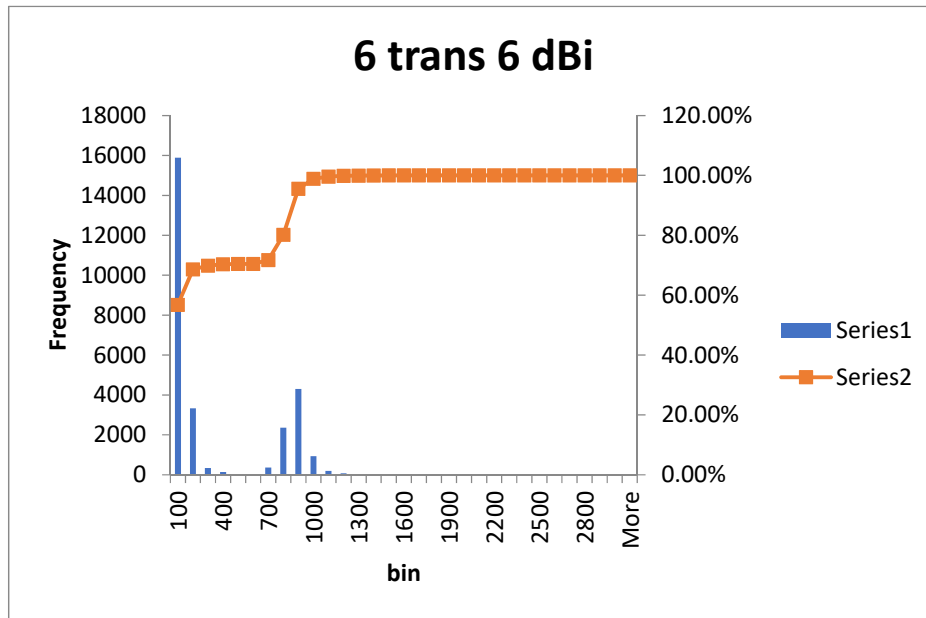
4 trans 6 dBi		
<i>bin</i>	<i>Frequency</i>	<i>Cumulative %</i>
100	12268	43.82%
200	1237	48.23%
300	251	49.13%
400	88	49.44%
500	11	49.48%
600	4	49.50%
700	20	49.57%
800	349	50.82%
900	1169	54.99%
1000	3879	68.85%
1100	5617	88.91%
1200	2111	96.45%
1300	693	98.92%
1400	226	99.73%
1500	60	99.94%
1600	11	99.98%
1700	5	100.00%
1800	0	100.00%
1900	0	100.00%
2000	0	100.00%
2100	0	100.00%
2200	0	100.00%
2300	0	100.00%
2400	0	100.00%
2500	0	100.00%
2600	0	100.00%
2700	0	100.00%
2800	0	100.00%
2900	0	100.00%
3000	0	100.00%
More	0	100.00%

4 Πίνακας Ιστογράμματος με 4 πομπούς και κέρδος κεραιάς 6dBi

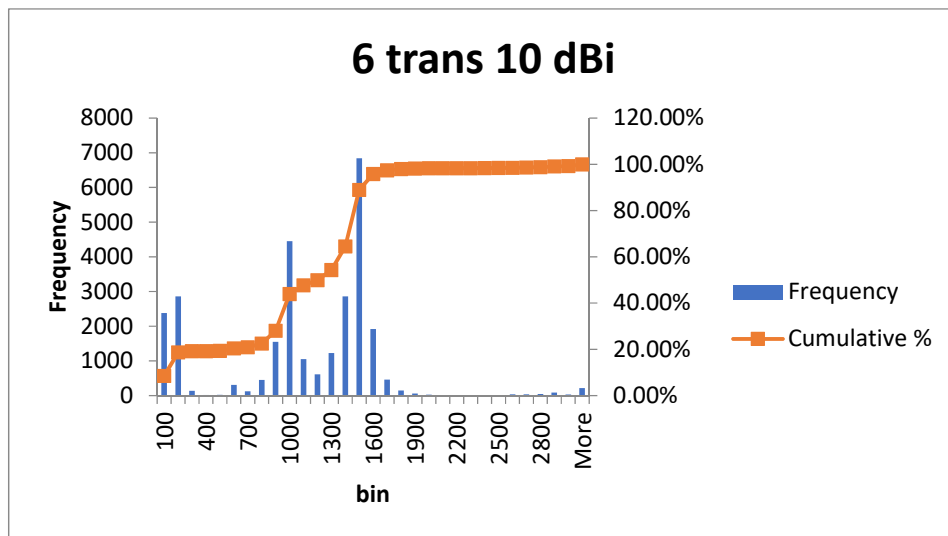
4 trans 10 dBi		
<i>bin</i>	<i>Frequency</i>	<i>Cumulative %</i>
100	11539	41.21%
200	2390	49.75%
300	94	50.08%
400	5	50.10%
500	0	50.10%
600	72	50.36%
700	425	51.88%
800	790	54.70%
900	769	57.44%
1000	518	59.29%
1100	297	60.36%
1200	520	62.21%
1300	2665	71.73%
1400	2446	80.47%
1500	2247	88.49%
1600	2223	96.43%
1700	705	98.95%
1800	175	99.57%
1900	90	99.90%
2000	21	99.97%
2100	5	99.99%
2200	2	100.00%
2300	1	100.00%
2400	0	100.00%
2500	0	100.00%
2600	0	100.00%
2700	0	100.00%
2800	0	100.00%
2900	0	100.00%
3000	0	100.00%
More	0	100.00%

5 Πίνακας Ιστογράμματος με 4 πομπούς και κέρδος κεραιάς 10dBi

5.3.1.2.2 Πειραματική διάταξη 6 κεραιών (6dBi ,10 dBi)



6 Ιστόγραμμα με 6 πομπούς και κέρδος κεραίας 6dBi.



7 Ιστόγραμμα με 6 πομπούς και κέρδος κεραίας 10dBi.

Μελετώντας τους πίνακες κατανομής συχνοτήτων διαπιστώνουμε στην περίπτωση όπου το κέρδος της συστοιχίας κεραιών είναι 10dBi, παρουσιάζεται όπως και στην προηγούμενη διάταξη, ομαλότερη κατανομή συχνοτήτων των τιμών

τυπικής απόκλισης και βελτίωση 4.8% στο εύρος των τιμών αυτών, από την προηγούμενη διάταξη όπου το κέδρος είναι 6dBi.

6 trans 6 dBi		
bin	Frequency	Cumulative %
100	15885	56.73%
200	3329	68.62%
300	343	69.85%
400	138	70.34%
500	22	70.42%
600	10	70.46%
700	363	71.75%
800	2360	80.18%
900	4305	95.56%
1000	934	98.89%
1100	191	99.57%
1200	73	99.84%
1300	23	99.92%
1400	16	99.97%
1500	5	99.99%
1600	0	99.99%
1700	2	100.00%
1800	0	100.00%
1900	0	100.00%
2000	0	100.00%
2100	0	100.00%
2200	0	100.00%
2300	0	100.00%
2400	0	100.00%
2500	0	100.00%
2600	0	100.00%
2700	0	100.00%
2800	0	100.00%
2900	0	100.00%
3000	0	100.00%
More	0	100.00%

7 Πίνακας Ιστογράμματος με 4 πομπούς και κέρδος κεραίας 6dBi

6 trans 10 dBi		
bin	Frequency	Cumulative %
100	2380	8.50%
200	2859	18.71%
300	139	19.21%
400	15	19.26%
500	21	19.34%
600	308	20.44%
700	125	20.88%
800	454	22.51%
900	1549	28.04%
1000	4451	43.94%
1100	1051	47.69%
1200	615	49.89%
1300	1228	54.27%
1400	2861	64.49%
1500	6843	88.93%
1600	1919	95.79%
1700	462	97.44%
1800	148	97.96%
1900	62	98.19%
2000	25	98.27%
2100	6	98.30%
2200	2	98.30%
2300	5	98.32%
2400	12	98.36%
2500	12	98.41%
2600	33	98.52%
2700	34	98.65%
2800	42	98.80%
2900	89	99.11%
3000	30	99.22%
More	218	100.00%

6 Πίνακας Ιστογράμματος με 6 πομπούς και κέρδος κεραίας 10dBi

Αυξάνοντας ακόμα περισσότερο τον αριθμό των κεραίων επιβεβαιώνεται ότι και πάλι έχουμε ομαλότερη κατανομή των συχνοτήτων και διασπορά των τιμών σε μεγαλύτερο εύρος κατανομής. Πιν 6. και Πιν.7

5.3.1.2.3 Πειραματική διάταξη 8 κεραιών (6dBi ,10 dBi)

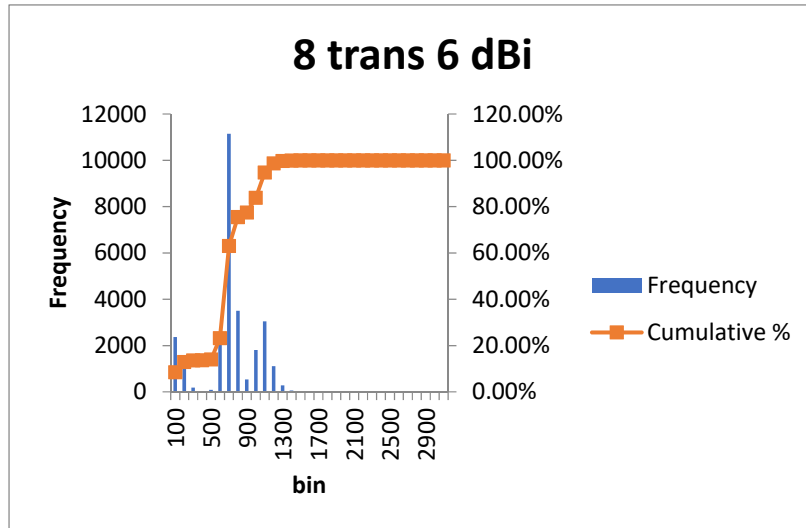


Figure 8 . Ιστόγραμμα με 8 πομπούς και κέρδος κεραίας 6dBi.

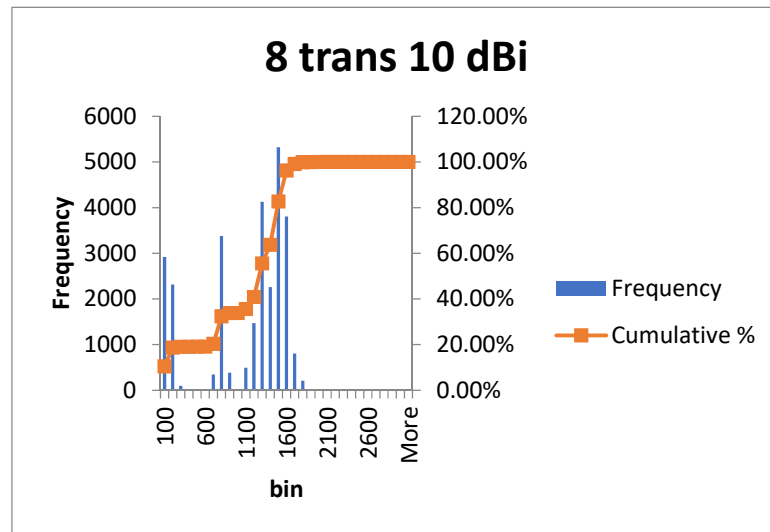


Figure 9. Ιστόγραμμα με 8 πομπούς και κέρδος κεραίας 10dBi.

Μελετώντας τους πίνακες κατανομής συχνοτήτων διαπιστώνουμε ότι στην περίπτωση όπου το κέρδος της συστοιχίας κεραιών είναι 8 trans 10dBi, πέραν της ομαλότερης κατανομής συχνοτήτων των κελίων, παρατηρείται και βελτίωση 37%

στο εύρος τιμών.

8 trans 6 dBi		
<i>bin</i>	<i>Frequency</i>	<i>Cumulative %</i>
100	2367	8.45%
200	1255	12.94%
300	180	13.58%
400	18	13.64%
500	90	13.96%
600	2579	23.18%
700	11151	63.00%
800	3504	75.52%
900	536	77.43%
1000	1807	83.89%
1100	3044	94.76%
1200	1108	98.71%
1300	282	99.72%
1400	58	99.93%
1500	20	100.00%
1600	0	100.00%
1700	0	100.00%
1800	0	100.00%
1900	0	100.00%
2000	0	100.00%
2100	0	100.00%
2200	0	100.00%
2300	0	100.00%
2400	0	100.00%
2500	0	100.00%
2600	0	100.00%
2700	0	100.00%
2800	0	100.00%
2900	0	100.00%
3000	0	100.00%
More	0	100.00%

9. Πίνακας Ιστογράμματος με 8 πομπούς και κέρδος κεραίας 6dBi.

8 trans 10 dBi		
<i>bin</i>	<i>Frequency</i>	<i>Cumulative %</i>
100	2917	10.42%
200	2313	18.68%
300	99	19.03%
400	2	19.04%
500	1	19.04%
600	14	19.09%
700	347	20.33%
800	3378	32.40%
900	385	33.77%
1000	12	33.82%
1100	494	35.58%
1200	1472	40.84%
1300	4128	55.58%
1400	2260	63.65%
1500	5326	82.67%
1600	3804	96.26%
1700	804	99.13%
1800	210	99.88%
1900	28	99.98%
2000	3	99.99%
2100	2	100.00%
2200	0	100.00%
2300	0	100.00%
2400	0	100.00%
2500	0	100.00%
2600	0	100.00%
2700	0	100.00%
2800	0	100.00%
2900	0	100.00%
3000	0	100.00%
More	0	100.00%

8. Πίνακας Ιστογράμματος με 8 πομπούς και κέρδος κεραίας 6dBi

5.1.4 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων- Συμπεράσματα

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή της μελέτης, σκοπός της ερευνάς αυτής ήταν η δημιουργία μιας σημειακής συστοιχίας κατευθυντικών κεραιών στην οποία μεταβάλλοντας τον αριθμό των κεραιών, την οριοθέτησή τους (αζιμούθιο) και το κέρδος τους να βελτιώνεται η ποιότητα του παραγόμενου χάρτη ραδιοαποτυπωμάτων.

Επειδή το αντικείμενο της ερευνάς αφορούσε σενάρια δημιουργίας ραδιοχαρτών σε εξωτερικό χώρο, ο όγκος των παραγόμενων δεδομένων ο οποίος προέκυψε ήταν τεράστιος λόγω της μεγάλης γεωγραφικής περιοχής. Για σκοπούς ερευνάς, έγιναν παραδοχές τόσο ως προς το μέγεθος της περιοχής (1100x1100 μετρά) αλλά και ως προς το μέγεθος του πλέγματος (fingerprint grid), το οποίο ορίστηκε στα 10x10x10 μετρά.

Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκε ένας διαχειρίσιμος όγκος δεδομένων προς επεξεργασία, τα οποία έδωσαν αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα. Για τη σύγκριση και συσχέτιση των διάφορων σεναρίων, δημιουργήθηκαν πίνακες δεδομένων (data set) με σκοπό να τύχουν στατιστικής ανάλυσης για την εξακρίβωση του βαθμού συσχέτισής τους.

Από την επεξεργασία και ανάλυση των αποτελεσμάτων επιβεβαιώθηκαν οι αρχικές ερευνητικές υποθέσεις.

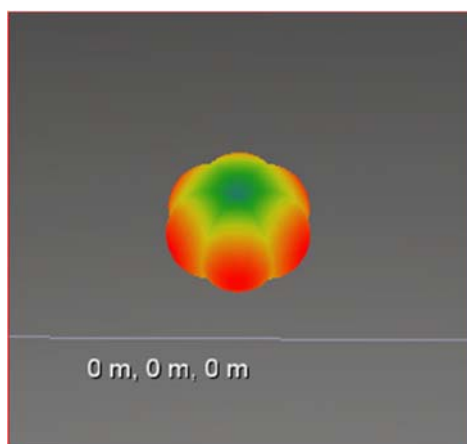
Η πρώτη ερευνητική υπόθεση ήταν να εξεταστεί η διαφοροποίηση των ραδιοαποτυπωμάτων ενός χάρτη μεταβάλλοντας τον αριθμό των κεραιών, την οριοθέτηση (αζιμούθιο κατεύθυνσης) και το κέρδος τους.

Από την σύγκριση των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι, όταν αυξάνεται ο αριθμός των κεραιών, μεταβάλλεται η οριοθέτησή τους (αζιμούθιο) και ενισχύεται η κατευθυντικότητά τους, επιτυγχάνεται διαφοροποίηση και βελτιώνεται η ποιότητα των παραγόμενων χαρτών συγκρινόμενα με τον χάρτη εκκίνησης (benchmark map). Από την πρώτη στατιστική ανάλυση (correlation), επιβεβαιώθηκε μόνο η

διαφοροποίηση των παραγομένων αποτελεσμάτων χωρίς να είναι δυνατόν να καταδειχθεί ο βαθμός και η ποιότητα των παραγομένων αποτελεσμάτων. Για το λόγο αυτό ακολουθήσε δεύτερη στατιστική ανάλυση με τη δημιουργία ιστογραμμάτων με τις τυπικές αποκλίσεις των κελιών.

Η τυπική απόκλιση του κάθε κελιού δείχνει την διακύμανση των τιμών λαμβανομένης ισχύος από κάθε κεραία. Με την μετρική αυτή επιβεβαιώθηκε ότι ο αριθμός και η κατευθυντικότητα των κεραιών δημιουργούν κελιά με μεγαλύτερη διανυσματική απόσταση μεταξύ τους. Από την κατανομή των ιστογραμμάτων τα δημιουργούμενα κελιά φαίνεται ότι έχουν μεγαλύτερο εύρος, ομαλότερη κατανομή, και καλύτερη διασπορά. Κατά τον τρόπο αυτό, εξασφαλίζεται η διαφορετικότητα των αποτυπωμάτων και κατά συνέπεια η εφαρμογή αλγορίθμου εντοπισμού θέσης αναμένεται να έχει μεγαλύτερη ακρίβεια.

Αξιοσημείωτο είναι και γεγονός ότι η σημειακή τοποθέτηση της συστοιχίας των κατευθυντικών κεραιών, βελτιώνει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα των χαρτών ραδιοαποτυπωμάτων όμως η ποιότητα αναμένεται να είναι κατώτερη από σενάρια όπου γίνεται διασπορά των κεραιών χωρίς γεωγραφικούς περιορισμούς. Εικ 20



Εικόνα 20 Σημειακή Συστοιχία Κατευθυντικών Κεραιών

Επειδή όμως πάντοτε για την δημιουργία και την ανάπτυξη ενός συστήματος τις προδιαγραφές υπαγορεύουν οι περιορισμοί, οι δυνατότητες και το κόστος τα όποια μειονεκτήματα της πιο πάνω διάταξης αντισταθμίζονται με τις μειωμένες απαιτήσεις σε χώρους εγκαταστάσεις, την απλότητα κατασκευής και την προσβασιμότητα. Η σημειακή διάταξη κατευθυντικών κεραιών, αποτελεί μια έξυπνη και χαμηλού κόστους λύση, η οποία μπορεί να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε μεγάλο εύρος εφαρμογών όπου η τοποθέτηση κεραιών για λήψη (RSS) υπόκειται σε περιορισμούς.

Μελλοντικά θα μπορούσαν να γίνουν περαιτέρω έρευνες οι οποίες να καλύψουν μεγαλύτερης έκτασης περιοχές, με τη χρήση κεραιών με μεγαλύτερο κέρδος και διαφορετική διάταξη ώστε να διαπιστωθεί η συμπεριφορά της συστοιχίας σε περιοχές μεγαλύτερης κλίμακας.

References

- [1] L. Kanaris, A. Kokkinis, M. Raspopoulos, A. Liotta and S. Stavrou, "Improving RSS fingerprint-based localization using directional antennas," *The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014)*, The Hague, 2014, pp. 1593-1597.
- [2] L. Kanaris, A. Kokkinis, A. Liotta and S. Stavrou, "Quality of fingerprint radiomaps for positioning systems," *2017 24th International Conference on Telecommunications (ICT)*, Limassol, 2017, pp. 1-5.
- [3] B. Homann-Wellenhof H. Lichtenegger and J. Collins (2001) 'Global Positioning System Q Theory and Practise' Berlin Springer-Verlaf
- [4] R. Want and A. Hopper, "Active badges and personal interactive computing objects," in *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 38, no. 1, pp. 10-20, Feb 1992
- [5] Alan Bensky (2008) *Wireless Positioning and Applications*, Boston London
- [6] Y. Chen, and H. Kobayashi, "Signal strength based indoor geolocation," in *Communications*, vol. 1, pp. 436439, 2002.
- [7] P. Bahl, and V.N. Padmanabhan, "RADAR, An In-building RF-based user location and tracking system," *Proceedings of IEEE Infocom 2000 Tel-Aviv, Israel*.
- [8] M. Wallbaum, "WhereMoPS: An indoor geolocation system," *The 13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*,

Lisboa, Portugal, September 2002.

[9] A. H. Sayed, A. Tarighat and N. Khajehnouri, "Network-based wireless location: Challenges faced in developing techniques for accurate wireless location information", *IEEE Signal Processing Magazine*, pp.24-40, Jul. 2005.

[10] K. Kaemarungsi and P. Krishnamurthy, "Properties of indoor received strength for WLAN location fingerprinting," In *Proc. Mobile and Ubiquitous Systems (MobiQuitous)*, pp.14-23, Aug. 2004.

[11] C. Sertthin, T. Fujii, M. Nakagawa, "Multiband received signal strength fingerprint based location system", In *Proc. IEEE PIMRC* pp.1893-1897, Sep. 2009

[12] M. Raspopoulos, C. Laoudias, L. Kanaris, A. Kokkinis, C. G. Panayiotou and S. Stavrou, "3D Ray Tracing for device-independent fingerprint-based positioning in WLANs," *2012 9th Workshop on Positioning, Navigation and Communication*, Dresden, 2012, pp. 109-113.

[12] Cheng, Qiao & Alomainy, Akram & Hao, Yang. (2015). Effect of Antenna Directivity on the Accuracy of Fingerprint-based Localisation. 10.4108/eai.14-10-2015.2261786.

[13] S. Tomic, M. Beko, and R. Dinis, "3-D Target Localization in Wireless Sensor Networks Using RSS and AoA Measurements," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 66, no. 4, pp. 3197–3210, April 2017

[14] W. K. Zegeye, S. B. Amsalu, Y. Astatke, and F. Moazzami, "WiFi RSS fingerprinting indoor localization for mobile devices," in *2016 IEEE 7th Annual Ubiquitous*

Computing, Electronics Mobile Communication Conference (UEMCON) , Oct 2016, pp. 1-6

[15] S. Büyükçorak, G. K. Kurt and A. Yongaçoğlu, "Received signal strength based localization in sectorized cellular networks," 2016 23rd International Conference on Telecommunications (ICT), Thessaloniki, 2016, pp. 1-5.oi: 10.1109/ICT.2016.7500461

[16] R. Zekavat, R. Buehrer, "Handbook of Position Location: Theory Practice and Advances" in ser. IEEE Series on Digital & Mobile Communication, Wiley-IEEE Press, 2011.

[17] A. Taheri, A. Singh, and A. Emmanuel, "Location fingerprinting on infrastructure 802.11 wireless local area networks (WLANs) using Locus," Proceedings of the 29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks, pp. 676-683, 2004

[18] H. A. Obeidat et al., "Location based services using received Signal Strength algorithms," 2015 Internet Technologies and Applications (ITA), Wrexham, 2015, pp. 411-413.