



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Συγκριτική μελέτη μεθόδων εντοπισμού χρήστη σε εσωτερικούς χώρους βασισμένων σε δίκτυα WLAN

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Πλάτων Α. Σίψας

Επιβλέπων : Μ. Ε. Θεολόγου
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούνιος 2008



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Συγκριτική μελέτη μεθόδων εντοπισμού χρήστη σε εσωτερικούς χώρους βασισμένων σε δίκτυα WLAN

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Πλάτων Α. Σίψας

Επιβλέπων : Μ.Ε. Θεολόγου
Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την Ιουνίου 2008.

.....
Μ. Ε. Θεολόγου
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
.....
.....
Αθήνα, Ιούνιος 2008

.....
Πλάτων Α. Σίψας

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Πλάτων Σίψας 2008

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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 τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτή τη διπλωματική εργασία συγκρίναμε τους δύο βασικούς αλγόριθμους εντοπισμού θέσης για εσωτερικούς χώρους, τον τριγωνισμό και τη μέθοδο αποτυπωμάτων. Και οι δυο μπορούν να εφαρμοστούν χρησιμοποιώντας τα υπάρχοντα ασύρματα δίκτυα υπολογιστών. Αφού υλοποιήσαμε και τους δύο αλγόριθμους σε γλώσσα προγραμματισμού C++, τους τρέξαμε σε δύο διαφορετικούς χώρους και μελετήσαμε τις επιδόσεις τους. Είδαμε ποιες είναι οι καλύτερες τιμές για τις διάφορες παραμέτρους τους και καταγράψαμε το σφάλμα τους σε κάθε περίπτωση. Το τελικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι η μέθοδος αποτυπωμάτων υπερέχει της μεθόδου τριγωνισμού καθώς επηρεάζεται λιγότερο από τα φαινόμενα διάδοσης πολλαπλών διαδρομών.

Λέξεις κλειδιά

Τριγωνισμός, μέθοδος αποτυπωμάτων, εντοπισμός θέσης, σφάλμα θέσης, βαρύκεντρο, αναλογία λαθών, πλησιέστερος γείτονας, ένταση σήματος.

ABSTRACT

This thesis studies the two basic algorithms used for indoor positioning. These algorithms are trilateration and fingerprinting. Both of them exploit existing WLANs. First of all, we implemented them in a C++ program. Then, we ran our program in two different places. After calibrating the program, we did some tests and we recorded the algorithms' performance. Our final results state clearly that fingerprinting has better precision due to its ability to be insensitive in some extent to multipath propagation.

Keywords

Trilateration, fingerprint, positioning, wlan, wlanapi, position error, closest neighbor , GPS, RSSI.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
Λέξεις κλειδιά.....	5
ABSTRACT	6
Keywords.....	6
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ	9
2.1 Μέθοδος Τριγωνισμού (Trilateration).....	9
2.2 Μέθοδος Αποτυπωμάτων (Fingerprinting).....	11
3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ, ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	16
4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ WiFi ΚΑΙ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΤΟΥΣ.....	21
4.1 Μέθοδος Τριγωνισμού (Trilateration).....	21
4.1.1 Μέθοδος MMSE.....	23
4.2 Μέθοδος Αποτυπωμάτων (Fingerprinting).....	23
4.2.1 Η διαδικασία συλλογής αποτυπωμάτων.....	27
4.3 Υλοποίηση.....	28
5 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ.....	29
5.1 Λογισμικό συλλογής αποτυπωμάτων	29
5.2 Λογισμικό υλοποίησης αλγορίθμων εντοπισμού θέσης.....	37
6 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	47
6.1 Πρώτος χώρος: Αποτελέσματα μεθόδου τριγωνισμού.....	47
6.2 Πρώτος χώρος: Αποτελέσματα μεθόδου αποτυπωμάτων	54
6.3 Δεύτερος χώρος: Αποτελέσματα μεθόδου τριγωνισμού	64
6.4 Δεύτερος χώρος: Αποτελέσματα μεθόδου αποτυπωμάτων	74
6.5 Στοιχεία για περαιτέρω έρευνα.....	83
7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	85
ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	87

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη σημερινή εποχή η ανάγκη για τον προσδιορισμό της θέσης ενός κινητού χρήστη γίνεται όλο και μεγαλύτερη. Μέχρι σήμερα, έχουν σχεδιαστεί αρκετά συστήματα τα οποία κάνουν εντοπισμό της θέσης και το κάθε ένα έχει τις δικές του προδιαγραφές και λειτουργεί στο δικό του περιβάλλον. Το πιο γνωστό παράδειγμα είναι το GPS (Global Position System) το οποίο βασίζεται στο σήμα που λαμβάνεται από διάφορους δορυφόρους και λειτουργεί σε εξωτερικά περιβάλλοντα. Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα εξετάσουμε τον προσδιορισμό της θέσης ενός κινητού χρήστη κυρίως στο εσωτερικό περιβάλλον ενός κτιρίου αλλά και στους αίθριους χώρους που περιβάλλουν αυτό. Στις περιοχές αυτές το GPS δεν παρέχει κάλυψη και επομένως δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό θέσης. Γι' αυτό το λόγο θα προσπαθήσουμε να εκμεταλλευτούμε τα είδη εγκατεστημένα δίκτυα wifi (Wireless Fidelity) για να προσδιορίσουμε τη θέση ενός χρήστη. Καταρχήν, θα περιγράψουμε σε θεωρητικό επίπεδο τις αρχές που χρησιμοποιούν οι πιο δημοφιλείς αλγόριθμοι που έχουν αναπτυχθεί για τον εντοπισμό χρήστη σε εσωτερικούς χώρους. Στη συνέχεια, θα υλοποιήσουμε σε γλώσσα C++ τους αλγόριθμους αυτούς και αφού τους τρέξουμε, θα τους συγκρίνουμε για να δούμε ποιος είναι ο καταλληλότερος.

Μια εφαρμογή εντοπισμού θέσης βασιζόμενη στα ασύρματα δίκτυα υπολογιστών (wifi) θα μπορούσε να έχει αναρίθμητες εφαρμογές στη σημερινή εποχή. Επίσης, δεν θα απαιτούσε εξτρα εξοπλισμό μιας και όλες σχεδόν οι ασύρματες συσκευές υποστηρίζουν σύνδεση με δίκτυα wifi. Αναφορικά θα αναφέρουμε ότι τα περισσότερα τελευταία μοντέλα κινητών τηλεφώνων υποστηρίζουν πλέον και σύνδεση μέσω δικτύων wifi. Παράλληλα, σχεδόν όλες οι συσκευές pda και όλοι οι φορητοί υπολογιστές (laptop) υποστηρίζουν τα δίκτυα wifi. Έτσι μια εφαρμογή που χρησιμοποιεί τα δίκτυα wifi εξασφαλίζει ότι θα μπορεί να υλοποιηθεί για πολλές συσκευές οι οποίες κυκλοφορούν είδη στην αγορά και είναι ιδιαίτερα δημοφιλείς στο αγοραστικό κοινό. Ένας άλλος παράγοντας ο οποίος είναι πολύ ενθαρρυντικός για την ανάπτυξη μιας εφαρμογής που εκμεταλλεύεται τα ασύρματα δίκτυα wifi είναι το γεγονός ότι αυτή η τεχνολογία τον τελευταίο καιρό γίνεται όλο και πιο δημοφιλής στο κόσμο. Πλέον σε κάθε γειτονιά υπάρχουν αρκετά ασύρματα δίκτυα εγκατεστημένα από τους κατοίκους. Έτσι λοιπόν είμαστε πλέον πεπεισμένοι ότι μια τέτοια εφαρμογή δεν θα αντιμετωπίσει προβλήματα συμβατότητας με τις ήδη υπάρχουσες συσκευές.

Ας δούμε τώρα και τη χρησιμότητα μιας τέτοιας εφαρμογής. Όπως αναφέραμε παραπάνω, τα ασύρματα δίκτυα wifi έχουν γίνει ιδιαίτερα δημοφιλή τον τελευταίο καιρό. Έτσι μια τέτοια εφαρμογή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά του GPS όταν ο χρήστης θέλει να προσδιορίσει τη θέση του. Τα πλεονεκτήματα που έχει είναι ότι δεν χρειάζεται καμία τροποποίηση στις είδη υπάρχουσες συσκευές που κυκλοφορούν στο εμπόριο για να τρέξουν μια τέτοια εφαρμογή. Αντίθετα για να εκμεταλλευτούν το GPS ελάχιστες συσκευές αυτή τη στιγμή έχουν προεγκατεστημένο υλικό και οι περισσότερες χρειάζονται εξωτερικό υλικό επιπλέον. Παράλληλα, μια τέτοια εφαρμογή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καλύψει χώρους όπου δεν παρέχει κάλυψη το GPS και αυτοί είναι εσωτερικοί χώροι κτιρίων και υπόγειοι χώροι, όπως το μετρό. Τέλος, μια τέτοια εφαρμογή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και για τον εντοπισμό από τον διαχειριστή ενός ασύρματου δικτύου της θέσης των κινητών χρηστών που υπάρχουν μέσα στο δίκτυο.

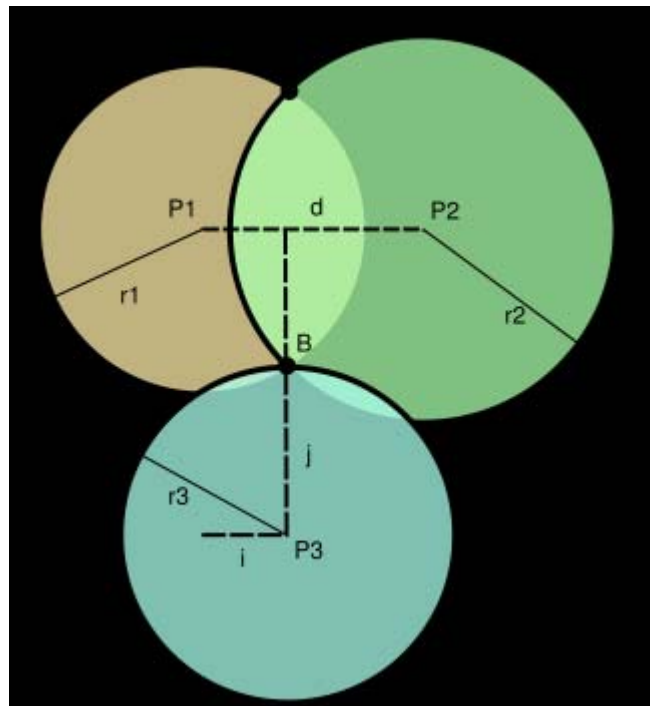
Στην παρούσα διπλωματική εργασία η εφαρμογή που θα αναπτυχθεί θα τρέχει σε έναν φορητό προσωπικό υπολογιστή. Αυτό δεν αποκλείει τη μεταφερσιμότητα της εφαρμογής σε άλλα συσκευές όπως κινητά τηλέφωνα και pda. Κάτι τέτοιο όμως δεν θα πραγματοποιηθεί σε αυτή την εργασία καθώς το αντικείμενό της είναι η σύγκριση των αλγορίθμων εντοπισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους.

2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ

Αρχικά, θα περιγράψουμε τη θεωρητική βάση των μεθόδων που πρόκειται να χρησιμοποιήσουμε για τον εντοπισμό θέσης.

2.1 Μέθοδος Τριγωνισμού (Trilateration)

Η πρώτη μέθοδος είναι ο τριγωνισμός (trilateration). Αυτή η μέθοδος λειτουργεί ως εξής: Θεωρούμε τρία σταθερά σημεία στο επίπεδο των οποίων γνωρίζουμε τις συντεταγμένες. Για να προσδιορίσουμε μια τυχαία θέση ενός κινητού σημείου σε αυτό το επίπεδο, προσπαθούμε να υπολογίσουμε τις αποστάσεις αυτού του τυχαίου σημείου από τα τρία σημεία αναφοράς. Εφόσον γνωρίζουμε τις τρεις αυτές αποστάσεις, το τυχαίο σημείο είναι η τομή των τριών κύκλων με κέντρα τα σταθερά σημεία αναφοράς και ακτίνες τις τρεις αποστάσεις αντίστοιχα. Στη συνέχεια ακολουθεί μια εικόνα που δείχνει την τοπολογία και τη λύση των μαθηματικών εξισώσεων για την εύρεση του σημείου τομής των τριών κύκλων. Η μαθηματική αυτή ανάλυση για το χώρο τριών διαστάσεων υπάρχει εδώ [1].



Εικόνα 1 - Τριγωνισμός

Έστω ότι έχουμε τους κύκλους P_1 , P_2 και P_3 με ακτίνες r_1 , r_2 και r_3 αντίστοιχα. Επιπλέον το κέντρο του πρώτου κύκλου από τον δεύτερο απέχει απόσταση d ενώ το κέντρο του τρίτου κύκλου ως προς το κέντρο του πρώτου είναι μετατοπισμένο κατά i ως προς την οριζόντια διεύθυνση και j ως προς την κατακόρυφη διεύθυνση. Συνεπώς οι εξισώσεις που περιγράφουν τους τρεις κύκλους είναι οι εξής:

$$x^2 + y^2 = r_1^2 \quad (1)$$

$$(x - d)^2 + y^2 = r_2^2 \quad (2)$$

$$(x - i)^2 + (y - j)^2 = r_3^2 \quad (3)$$

Κάνοντας αφαίρεση κατά μέλη τις πρώτης από τη δεύτερη εξίσωση έχουμε ότι:

$$x = \frac{r_1^2 - r_2^2 + d^2}{2d} \quad (4)$$

Αντικαθιστώντας την (4) στην (1) έχουμε:

$$y^2 = r_1^2 - \left[\frac{r_1^2 - r_2^2 + d^2}{2d} \right]^2 \quad (5)$$

Αντικαθιστώντας την (5) στην (3) και κάνοντας πράξεις, τις οποίες για λόγους συντομίας δεν παραθέτουμε, έχουμε το εξής αποτέλεσμα:

$$y = \frac{r_1^2 - r_3^2 + i^2 + j^2}{2j} - \frac{i}{j}x \quad (6)$$

Έτσι, λοιπόν, βλέπουμε ότι για τρεις κύκλους με γνωστές ακτίνες και σύστημα συντεταγμένων με αρχή το κέντρο του ενός κύκλου και οριζόντιο άξονα να ενώνει τα κέντρα των δυο από τους τρεις κύκλους, το σημείο τομής τους, το οποίο όπως φαίνεται και στην παραπάνω μαθηματική ανάλυση αν υπάρχει είναι μοναδικό, δίνεται από τις δύο εξισώσεις:

$$x = \frac{r_1^2 - r_2^2 + d^2}{2d}$$

$$y = \frac{r_1^2 - r_3^2 + i^2 + j^2}{2j} - \frac{i}{j}x$$

Όπως φαίνεται από την παραπάνω μαθηματική ανάλυση για να προσδιορίσουμε το σημείο τομής των τριών κύκλων στο επίπεδο πρέπει να γνωρίζουμε ακριβώς τις αποστάσεις του σημείου τομής από τα κέντρα των κύκλων, δηλαδή τις ακτίνες των κύκλων. Εμείς πρόκειται να χρησιμοποιήσουμε αυτή τη μέθοδο σε ασύρματα δίκτυα υπολογιστών (wifi) και ο προσδιορισμός της απόστασης ενός τυχαίου σημείου από τρία άλλα σταθερά, δηλαδή οι ακτίνες των κύκλων της μεθόδου μας, δεν είναι δυνατό να γίνει με ακρίβεια. Η μέθοδος υπολογισμού θα αναλυθεί με λεπτομέρειες σε επόμενη παράγραφο. Έτσι, λοιπόν, για την αξιολόγηση της μεθόδου, δηλαδή για το κατά πόσον αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη για χρήση σε ασύρματο περιβάλλον, παρουσιάζει ενδιαφέρον η μελέτη του σφάλματος που εισάγεται στο αποτέλεσμα δεδομένου ότι υπάρχουν σφάλματα στον υπολογισμό των ακτινών. Έτσι λοιπόν θεωρούμε της παραπάνω λύσεις ως συναρτήσεις x και y με ελεύθερες μεταβλητές τις ακτίνες r_1 , r_2 και r_3 .

$$x(r_1, r_2) = \frac{r_1^2 - r_2^2 + d^2}{2d}$$

$$y(r_1, r_2, r_3) = \frac{r_1^2 - r_3^2 + i^2 + j^2}{2j} - \frac{i}{j}x(r_1, r_2)$$

Εάν υποθέσουμε ότι υπολογίζουμε τις ακτίνες r_1+dr_1 , r_2+dr_2 και r_3+dr_3 και τις αντικαταστήσουμε στις παραπάνω εξισώσεις με δεδομένο ότι αγνοούμε τα απειροστά δεύτερης τάξης έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα:

$$x(r_1, r_2) = \frac{1}{2d} (r_1^2 - r_2^2 + 2r_1 dr_1 - 2r_2 dr_2) + \frac{d}{2}$$

$$y(r_1, r_2, r_3) = \frac{(d-i)}{2dj} 2r_1 dr_1 + \frac{i}{2dj} 2r_2 dr_2 - \frac{d}{2dj} 2r_3 dr_3$$

Όπως φαίνεται από τις παραπάνω συναρτήσεις για να ελαχιστοποιήσουμε τα σφάλματα πρώτου βαθμού για τις συναρτήσεις x και y μπορούμε να εξάγουμε κάποιες συνθήκες. Για την συνάρτηση x έχουμε ότι $r_1 dr_1 = r_2 dr_2$ (1*¹). Για τη συνάρτηση y αρχικά μπορούμε να κάνουμε την εξής παρατήρηση. Όταν $i=d/2$ ο τύπος της συνάρτησης απλοποιείται και μπορεί εύκολα να εξαχθεί η συνθήκη $(r_1 dr_1 + r_2 dr_2)/2 = r_3 dr_3$ (2*). Δεδομένης της (1*) και της (2*) μπορούμε να εξάγουμε μια γενική συνθήκη και για τις δυο συναρτήσεις. Εφόσον ισχύει ότι $i=d/2$ τότε τα σφάλματα πρώτης τάξης απλοποιούνται όταν ισχύει η συνθήκη $r_1 dr_1 = r_2 dr_2 = r_3 dr_3$. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σχολιάσουμε τα αποτελέσματα που εξάγαμε. Αρχικά, η συνθήκη $i=d/2$ μας δείχνει ότι τα κέντρα των τριών κύκλων τα οποία εμείς θεωρούμε ως τρία σταθερά σημεία αναφοράς πρέπει να σχηματίζουν στο επίπεδο ένα ισοσκελές τρίγωνο. Η δεύτερη συνθήκη δείχνει ότι το σφάλμα μέτρησης της ακτίνας πρέπει να είναι αντιστρόφως ανάλογο του μήκους της ακτίνας με ίσο γινόμενο για τις τρεις ακτίνες. Αυτό πρακτικά μας δείχνει ότι χρειαζόμαστε μεγαλύτερη ακρίβεια στη μέτρηση της ακτίνας όσο αυτή μεγαλώνει. Οι τρόποι επίτευξης αυτών των συνθηκών θα συζητηθούν σε επόμενη ενότητα.

2.2 Μέθοδος Αποτυπωμάτων (Fingerprinting)

Η μέθοδος αυτή λειτουργεί με την εξής αρχή: Σε διάφορα σημεία του χώρου μετράμε κάποιο χαρακτηριστικό του γνώρισμα το οποίο τα κάνει μοναδικά. Το διάνυσμα αυτό με τις μετρήσεις για κάθε σημείο λειτουργεί όπως ένα δακτυλικό αποτύπωμα για το σημείο αυτό. Έτσι, όπως για τους ανθρώπους γίνεται ταυτοποίηση σύμφωνα με τα δακτυλικά τους αποτυπώματα, αντίστοιχα μπορεί να γίνει ταυτοποίηση κάθε σημείου στο χώρο σύμφωνα με το δικό του αποτύπωμα, δηλαδή το διάνυσμα που περιέχει τις μετρήσεις των χαρακτηριστικών του γνωρισμάτων. Βέβαια πρέπει να αναφέρουμε ότι τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα τα οποία λαμβάνουμε υπόψιν μας τείνουν να μοιάζουν για γειτονικά στοιχεία, αλλά παρουσιάζουν και κάποια απόκλιση. Τα αποτυπώματα κάθε σημείου μαζί με τις συντεταγμένες του μπαίνουν σε μια βάση δεδομένων. Όταν χρειαζόμαστε να προσδιορίσουμε την θέση ενός τυχαίου σημείου στο χώρο παίρνουμε το διάνυσμα των χαρακτηριστικών του και προσπαθούμε να το ταυτοποιήσουμε με κάποιο από αυτά που υπάρχουν στη βάση. Βέβαια, είναι λογικό η βάση να μην περιέχει το αποτύπωμα ακριβώς του σημείου που ψάχνουμε αλλά κάποιου γειτονικού του. Έτσι για κάθε σημείο που προσπαθούμε να κάνουμε ταυτοποίηση με τη βάση, μετρούμε την απόκλιση που παρουσιάζει το διάνυσμα μετρήσεων του τυχαίου σημείου με καθένα από τα σημεία της βάσης. Αν θεωρήσουμε x_i κάθε στοιχείο που περιέχει το διάνυσμα μετρήσεων του τυχαίου σημείου και x_i' κάθε στοιχείο που περιέχει το διάνυσμα ενός σημείου της βάσης τότε η απόκλιση δίνεται από τον παρακάτω τύπο

¹ Με * αναφερόμαστε στις συνθήκες, οι οποίες πρέπει να ισχύουν κάθε φορά.

$$L_p = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \frac{1}{w_i} |x_i - x'_i|^p \right)^{1/p} \quad (7)$$

Περισσότερες αναφορές για τον τύπο αυτό μπορούν να βρεθούν και στο [2]. Επιπρόσθετα, αξίζει να αναφέρουμε ότι το w_i στον τύπο αναφέρεται στο βάρος που έχει κάθε στοιχείο του διανύσματος. Στην δική μας περίπτωση όλα τα βάρη τα θεωρούμε ίσα με τη μονάδα. Περισσότερα στοιχεία θα δοθούν σε επόμενη ενότητα. Ο εκθέτης p που εμφανίζεται ουσιαστικά καθορίζει σε ποιο βαθμό επηρεάζουν το συνολικό λάθος ενός σημείου της βάσης οι μεγάλες αποκλίσεις που εμφανίζονται ανάμεσα στο διάνυσμα του τυχαίου σημείου και στο διάνυσμα του σημείου της βάσης. Είναι προφανές ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο εκθέτης αυτός, τόσο θα μεγαλώνει η απόκλιση ανάμεσα στα δυο διανύσματα όταν εμφανίζονται μεγάλες αποκλίσεις ανάμεσα στα επιμέρους στοιχεία τους. Να αναφέρουμε ότι όταν ο εκθέτης είναι μονάδα η απόσταση ονομάζεται απόσταση Manhattan ενώ όταν ο εκθέτης είναι δυο η απόσταση ονομάζεται ευκλείδεια απόσταση. Περισσότερες αναφορές για την καταλληλότητα της τιμής του εκθέτη θα δώσουμε στη συνέχεια. Αφού περιγράψαμε την βασική αρχή τις μεθόδου, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει να μελετήσουμε μετά από τον υπολογισμό τις αποκλίσεις του διανύσματος του τυχαίου σημείου από κάθε σημείο της βάσης, με ποιο τρόπο θα αποφασίσουμε για το ποιες είναι οι συντεταγμένες του τυχαίου σημείου. Παράλληλα, ένα άλλο θέμα στο οποίο θα αναφερθούμε στη συνέχεια είναι το πλήθος των αποτυπωμάτων της βάσης και σε ποια σημεία του χώρου πρέπει να λαμβάνονται.

Θα αρχίσουμε με τον προσδιορισμό του τρόπου με τον οποίο θα υπολογίσουμε τις συντεταγμένες του τυχαίου σημείου μας. Υπάρχουν τρεις προσεγγίσεις τις οποίες θα σχολιάσουμε. Πριν αρχίσουμε τον σχολιασμό τους πρέπει να αναφέρουμε ότι και οι τρεις προσεγγίσεις κάνουν την εξής παραδοχή. Κάθε σημείο το οποίο είναι γειτονικό με ένα σημείο της βάσης τείνει να έχει ίδια χαρακτηριστικά με το σημείο της βάσης, ή με άλλα λόγια η απόκλιση των διανυσμάτων των αποτυπωμάτων τους τείνει στο μηδέν.

Η πρώτη προσέγγιση η οποία είναι και η πιο απλή είναι να θεωρήσουμε ότι βρισκόμαστε πάνω στο σημείο της βάσης με τη μικρότερη απόκλιση. Αυτή η μέθοδος εμφανίζει μεν κάποια πλεονεκτήματα, αλλά έχει και αρκετά μειονεκτήματα. Τα πλεονεκτήματά της είναι τα εξής: Πρώτον, είναι πολύ απλή στην εφαρμογή της. Δηλαδή είναι πολύ εύκολη η συγγραφή κώδικα που να επιτελεί αυτόν τον αλγόριθμο, εφόσον ο αλγόριθμος δεν απαιτεί να γίνουν ιδιαίτερες πράξεις ή συγκρίσεις. Αυτό είναι πολύ σημαντικό δεδομένου ότι μέχρι τώρα, για να εντοπιστεί το σημείο με τη μικρότερη απόκλιση έχουμε είδη ανατρέξει ένα προς ένα όλα τα στοιχεία της βάσης δεδομένων. Ανάλογα με το μέγεθος της βάσης, το οποίο θα συζητηθεί στη συνέχεια, έχουμε ήδη εισάγει στον αλγόριθμό μας μια σημαντική καθυστέρηση. Επιπρόσθετα, έχουμε ήδη σπαταλήσει αρκετή μνήμη. Έτσι η επιλογή του σημείου με τη μικρότερη απόσταση ως το ζητούμενο τυχαίο σημείο δεν εισάγει καμία επιπλέον καθυστέρηση, ούτε απαιτεί έξτρα πόρους από το λειτουργικό σύστημα. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι ότι όταν το τυχαίο σημείο είναι πράγματι κάποιο από τα σημεία της βάσης, η προσέγγιση αυτή παρουσιάζει τη μικρότερη απόκλιση μεταξύ της πραγματικής και της εκτιμώμενης θέσης. Βέβαια, για να αποφανθούμε αν αυτή η προσέγγιση είναι εκείνη με το μικρότερο σφάλμα πρέπει να μελετήσουμε την πιθανότητα το τυχαίο σημείο που προσπαθούμε να προσεγγίσουμε να ανήκει στη βάση. Η πιθανότητα αυτή εξαρτάται άμεσα από το πλήθος των στοιχείων της βάσης. Όπως είναι λογικό, όσα περισσότερα σημεία έχει η βάση, τόσο μεγαλύτερη είναι και η πιθανότητα να βρισκόμαστε πάνω σε κάποια από τα σημεία αυτά. Βέβαια, όσο περισσότερα σημεία έχει η βάση μας τόσο αυξάνεται και το μέγεθός της. Στα μειονεκτήματα της προσέγγισης αυτή ανήκει το γεγονός ότι σε περίπτωση που το τυχαίο

σημείο δεν βρίσκεται στη βάση η μέθοδος μπορεί να παρουσιάσει σημαντικές αποκλίσεις. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μέθοδος αυτή αποκλείει αρκετά σημεία από το να είναι προσέγγιση του τυχαίου σημείου που ψάχνουμε. Ιδιαίτερα όταν τα σημεία της βάσης είναι λίγα και είναι ιδιαίτερα αραιά μεταξύ τους, είναι πολύ πιθανό να συμβεί κάτι τέτοιο. Έτσι ένα ακόμα μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι χρειάζεται αρκετά αποτυπώματα στη βάση.

Η δεύτερη προσέγγιση είναι να επιλέξουμε n στοιχεία από τη βάση με τη μικρότερη απόκλιση από το ζητούμενο σημείο. Στη συνέχεια προσεγγίζουμε το τυχαίο σημείο που ψάχνουμε ως το βαρύκεντρο του n -γώνου που σχηματίζουν τα n στοιχεία που επιλέξαμε. Στη δική μας περίπτωση και σύμφωνα με τις παρατηρήσεις στο [2] θα επιλέξουμε τρία σημεία. Έτσι αφού υπολογίσουμε τα τρία σημεία με το ελάχιστο σφάλμα θα θεωρήσουμε ως προσέγγιση του τυχαίου σημείου το βαρύκεντρο του τριγώνου που σχηματίζουν τα τρία αυτά σημεία. Όπως είναι γνωστό από την Ευκλείδεια γεωμετρία το βαρύκεντρο ενός τριγώνου είναι μοναδικό, υπάρχει σε κάθε τρίγωνο, και είναι το σημείο όπου τέμνονται οι τρεις διάμεσοί του (δηλαδή οι τρεις ευθείες από κάθε κορυφή που καταλήγουν στο μέσο της απέναντι πλευράς). Στη συνέχεια ακολουθεί μια εικόνα στην οποία απεικονίζεται το βαρύκεντρο ενός τριγώνου. Περισσότερες λεπτομέρειες για το πώς προκύπτουν οι συντεταγμένες του βαρύκεντρου μπορούν να βρεθούν στο [3].



Εάν θεωρήσουμε ότι το τρίγωνο έχει συντεταγμένες κορυφών (x_0, y_0) , (x_1, y_1) και (x_2, y_2) τότε το σημείο του βαρύκεντρου έχει συντεταγμένες

$$\left(\frac{1}{3}(x_0 + x_1 + x_2), \frac{1}{3}(y_0 + y_1 + y_2) \right)$$

Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει επίσης κάποια πλεονεκτήματα και κάποια μειονεκτήματα. Καταρχήν, πλεονεκτεί σε σχέση με την πρώτη μέθοδο στο γεγονός ότι το αποτέλεσμα της είναι επηρεασμένο από τρία και όχι από ένα μόνο στοιχείο. Έτσι, η πιθανότητα κάποιο από τα τρία σημεία να είναι πράγματι γειτονικό του προς αναζήτηση σημείου είναι μεγαλύτερη. Αυτό συνηγορεί στην άποψη ότι η απόκλιση που θα παρουσιάζει αυτή η μέθοδος μεταξύ της εκτιμώμενης και της πραγματικής θέσης θα είναι μικρότερη από την μέθοδο του ενός μόνο στοιχείου. Από την άλλη, η μέθοδος αυτή μειονεκτεί στο ότι αρκετά σημεία του χώρου αποκλείονται από το να αποτελούν προσέγγιση του τυχαίου σημείου που ψάχνουμε εφόσον δεν μπορούν να αποτελέσουν ποτέ το βαρύκεντρο ενός τριγώνου όποιος και αν είναι ο συνδυασμός των τριών σημείων της βάσης που θα βρεθούν με το ελάχιστο λάθος.

Τελειώνοντας θα παρουσιάσουμε και την τρίτη προσέγγιση. Η προσέγγιση αυτή χρησιμοποιεί επίσης τρία σημεία, εκείνα με τη μικρότερη απόκλιση μεταξύ του διανύσματος του τυχαίου σημείου και των διανυσμάτων των σημείων της βάσης. Η επιστρεφόμενη τιμή όμως δεν είναι το βαρύκεντρο του τριγώνου που προκύπτει από τα τρία

παραπάνω σημεία. Η λύση εδώ έχει ως εξής: Έστω ότι τα σημεία με τις μικρότερες αποκλίσεις είναι τα σημεία ένα, δύο και τρία ξεκινώντας από αυτό με το μικρότερο σφάλμα. Έστω ακόμα ότι τα σφάλματα των τριών σημείων είναι τα ε_1 , ε_2 και ε_3 με $\varepsilon_1 < \varepsilon_2 < \varepsilon_3$. Ανάγουμε αυτά τα σφάλματα σε ποσοστά ως εξής:

$$\pi_1 = 1 - \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3} 100\%$$

$$\pi_2 = 1 - \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3} 100\%$$

$$\pi_3 = 1 - \frac{\varepsilon_3}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3} 100\%$$

Με αυτό τον τρόπο στο σημείο με το μικρότερο λάθος αντιστοιχούμε το μεγαλύτερο ποσοστό πιθανότητας γειτνίασης. Στη συνέχεια θεωρούμε την ευθεία που ενώνει το βαρύκεντρο του τριγώνου που σχηματίζεται από τα τρία αυτά σημεία με την κορυφή η οποία είναι το σημείο με τη μικρότερη απόκλιση. Ξεκινώντας, λοιπόν, από το βαρύκεντρο πλησιάζουμε την κορυφή αυτή κατά ποσοστό π_1 . Η μαθηματική ανάλυση του πώς πλησιάζουμε την κορυφή με τη ελάχιστη απόκλιση κατά κάποιο ποσοστό ακολουθεί.

Έστω τρίγωνο με συντεταγμένες κορυφών (x_0, y_0) , (x_1, y_1) και (x_2, y_2) και βαρύκεντρο $(x_c, y_c) = \left(\frac{1}{3}(x_0 + x_1 + x_2), \frac{1}{3}(y_0 + y_1 + y_2)\right)$. Υποθέτουμε ακόμα ότι η κορυφή με τη μικρότερη απόκλιση είναι η (x_0, y_0) . Γνωρίζουμε ότι η ευθεία που ενώνει το βαρύκεντρο με την κορυφή (x_0, y_0) θα έχει κλίση $\alpha = \frac{y_c - y_0}{x_c - x_0}$, σταθερό όρο $\beta = y_0 - \alpha x_0$ και η εξίσωσή της θα δίνεται από τον τύπο $y = \alpha x + \beta$. Εμείς θέλουμε να κινηθούμε πάνω σε αυτή την ευθεία από το βαρύκεντρο προς την κορυφή ελαχίστου σφάλματος κατά ποσοστό π_1 . Συνεπώς, η τετμημένη του σημείου που ψάχνουμε θα είναι $x = x_c - \pi_1(x_c - x_0)$ όπου $x_c - x_0$ είναι η απόσταση των τετμημένων των δυο σημείων. Για να προσδιορίσουμε την τεταγμένη y του σημείου μας δεν έχουμε παρά να αντικαταστήσουμε την τετμημένη του x στην εξίσωση ευθείας που προσδιορίσαμε παραπάνω. Έτσι η λύση μας θα είναι $y = \alpha x + \beta$.

Ας σχολιάσουμε τώρα μερικά από τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αυτής της προσέγγισης. Αρχικά αυτή η προσέγγιση πλεονεκτεί από την παραπάνω μέθοδο των τριών σημείων στο γεγονός ότι αποκλείει λιγότερα σημεία από το να είναι προσεγγίσεις του τυχαίου σημείου προς προσδιορισμό. Αυτό θα μπορούσε να μας οδηγήσει σε μικρότερα σφάλματα. Από την άλλη πλευρά, σημαντικό μειονέκτημα είναι το γεγονός ότι πράγματι για να έχουμε καλύτερες προσεγγίσεις από την προηγούμενη μέθοδο το σημείο που εντοπίζουμε στη βάση ως αυτό με τη μικρότερη απόκλιση θα πρέπει να είναι το κοντινότερο από τα τρία σημεία που λαμβάνουμε υπόψιν μας. Επειδή, λοιπόν, δεν μπορούμε να γνωρίζουμε σε τι ποσοστό θα συμβαίνει αυτό πραγματικά, γι' αυτό το λόγο δεν είμαστε σίγουροι κατά πόσον αυτή η μέθοδος τελικά θα δώσει καλύτερες προσεγγίσεις από την προηγούμενη.

Μέχρι τώρα έχουμε εξηγήσει θεωρητικά τους αλγόριθμους που θα χρησιμοποιήσουμε για τον προσδιορισμό ενός τυχαίου σημείου στο χώρο. Πρέπει επίσης να σημειώσουμε ότι τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που αναφέραμε παραπάνω για τον κάθε αλγόριθμο είναι καθαρά εμπειρικά. Μετά τα πειράματα που θα πραγματοποιήσουμε και θα αναλύσουμε στη συνέχεια θα δούμε αν πράγματι επαληθεύονται ή όχι. Επιπλέον, καθώς οι αλγόριθμοι εντοπισμού θέσης που αναλύουμε εκμεταλλεύονται τα χαρακτηριστικά των ασύρματων δικτύων wifi κρίνουμε σκόπιμο στη συνέχεια να αναφερθούμε σε κάποια χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας και του περιβάλλοντος των

δικτύων αυτών. Τέλος, να σημειώσουμε ότι μελέτες για τον προσδιορισμό της θέσης του χρήστη σε εσωτερικό περιβάλλον με τη χρήση ασύρματων δικτύων υπάρχουν και στα [5], [6],[7],[8].

3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ, ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Και οι δύο μέθοδοι εντοπισμού θέσης που θα αναπτύξουμε εδώ βασίζονται σε μετρήσεις της ισχύς λήψης του σήματος ασύρματων δικτύων, δηλαδή στην ισχύ λήψης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Για το λόγο αυτό θα δώσουμε κάποιες γενικές πληροφορίες για την ακτινοβολία που εκπέμπει μια κεραία και τη συμπεριφορά της σε ελεύθερο χώρο.

Όταν έχουμε μια κεραία να ακτινοβολεί σε κάποιο χώρο, ο χώρος χωρίζεται σε δυο περιοχές. Η πρώτη είναι η κοντινή περιοχή και η δεύτερη είναι η μακρινή περιοχή της κεραίας. Χωρίς να θέλουμε να μπούμε σε πολλές λεπτομέρειες για την κοντινή περιοχή μιας κεραίας θα αναφέρουμε απλά ότι οι τύποι που παρατίθενται παρακάτω δεν ισχύουν. Επιπρόσθετα, η ακτινοβολία στην κοντινή περιοχή μπορεί να προκαλέσει διάφορα φαινόμενα κάποια εκ των οποίων μπορούν να έχουν επίδραση και στον άνθρωπο. Γι' αυτό το λόγο πρέπει να αποφεύγεται η παρουσία ανθρώπων στο κοντινό πεδίο ακτινοβολίας μιας κεραίας.

Θα συνεχίσουμε την ανάλυσή μας με το μακρινό πεδίο στο οποίο το διάνυσμα του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου είναι κάθετα μεταξύ τους, και κάθετα στο διάνυσμα διάδοσης. Υπάρχει μια συνθήκη η οποία μας δίνει την ακτίνα που χωρίζει το κοντινό από το μακρινό πεδίο. Έτσι λοιπόν, αν η απόσταση ενός σημείου του μακρινού πεδίου ακτινοβολίας από την κεραία εκπομπής είναι FF τότε:

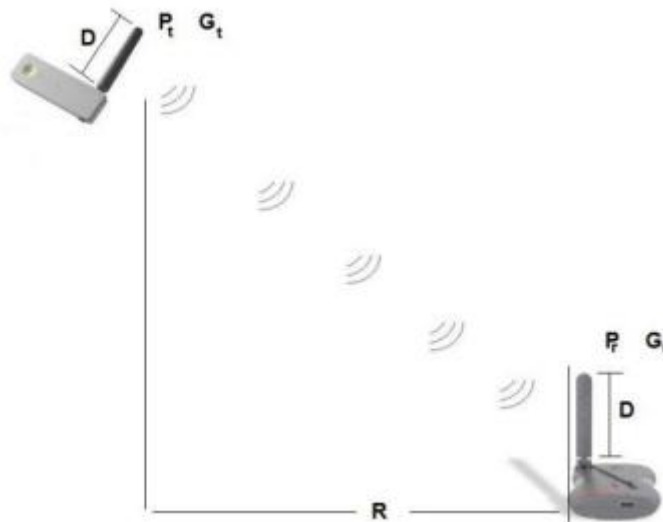
$$FF > \frac{2D^2}{\lambda}$$

Όπου D είναι η μεγαλύτερη διάσταση της κεραίας και λ είναι το μήκος κύματος ακτινοβολίας. Στην περίπτωση των ασύρματων δικτύων τα οποία λειτουργούν σε συχνότητες 2,4 GHz το μήκος κύματος είναι $\lambda=0,125$ m. Οι κεραίες που χρησιμοποιούνται σε access point ή σε ασύρματους δρομολογητές ή σε ασύρματες κάρτες δικτύου δεν ξεπερνούν συνήθως τα 14 cm. Έτσι λοιπόν το μακρινό πεδίο των συσκευών αυτών βρίσκεται στα 32 cm περίπου. Σε όλα τα πειράματα που θα κάνουμε στη συνέχεια είτε αναφέρεται είτε όχι θα κρατούμε αυτή τη συνθήκη. Δηλαδή δεν θα παίρνουμε μετρήσεις ακτινοβολίας σε αποστάσεις μικρότερες των 32 εκατοστών από την εκάστοτε συσκευή που ακτινοβολεί.

Αφού λοιπόν έχουμε εξασφαλίσει τη συνθήκη του μακρινού πεδίου ακτινοβολίας θα αναφέρουμε μερικά στοιχεία για την ισχύ εκπομπής των κεραιών και την εξασθένιση της ακτινοβολίας τους. Αρχικά, πρέπει να αναφέρουμε ότι την ισχύ εκπομπής P_t την καθορίζει η συσκευή που εκπέμπει. Από την συσκευή που εκπέμπει (δηλαδή τον πομπό) η ακτινοβολία φτάνει στην κεραία εκπομπής. Εκεί πολλαπλασιάζεται με κάποιο συντελεστή ο οποίος ονομάζεται κέρδος κεραίας εκπομπής G_t και εκπέμπεται στο περιβάλλον. Στο σημείο αυτό κρίνουμε σκόπιμο να αναφέρουμε και κάποιες πληροφορίες σχετικά με την ισχύ εκπομπής των ασύρματων συσκευών στις συχνότητες του wifi. Περισσότερες πληροφορίες μπορούν να βρεθούν στο δικτυακό τόπο [9], ο οποίος ανήκει στο ασύρματο μητροπολιτικό δίκτυο Αθηνών, και επίσης στην εργασία [10]. Η ισχύς εκπομπής μιας ασύρματης συσκευής πολλαπλασιάζεται με το κέρδος κεραίας ονομάζεται eirp. Το eirp λοιπόν κάθε συσκευής στη συχνότητα των 2.4GHz δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει τα 20 dBm ή 100mW. Αυτή η αρκετά χαμηλή ισχύς εκπομπής έχει θεσπιστεί για έναν και κύριο λόγο. Η συχνότητα του wifi ανήκει στο φάσμα συχνοτήτων που μπορούν να επιβάλλουν ταλάντωση στα μόρια του νερού. Η ταλάντωση αυτή έχει σαν αποτέλεσμα την τοπική αύξηση της θερμοκρασίας των μορίων του νερού. Κατά συνέπεια η ακτινοβολία αυτή θα μπορούσε να έχει καταστροφικά

αποτελέσματα (πρόκληση εγκαυμάτων κτλ.) όχι μόνο για τον άνθρωπο αλλά και για οποιοδήποτε άλλο έμβιο όν. Γι' αυτό το λόγο τα μέγιστα όρια που έχουν θεσπιστεί είναι αρκετά χαμηλά ώστε να εξασφαλίζουν ότι από τα ασύρματα δίκτυα δεν είναι δυνατό να προκληθεί οποιαδήποτε βλάβη σε οποιοδήποτε ζωντανό οργανισμό.

Αφού, λοιπόν, η ακτινοβολία φτάσει στην κεραία εκπομπής εκπέμπεται στο περιβάλλον, το οποίο αρχικά το θεωρούμε ελεύθερο χώρο. Η ακτινοβολία καθώς ταξιδεύει στον ελεύθερο χώρο εξασθενεί. Η εξασθένηση αυτή εξαρτάται από την απόσταση που διανύει αλλά και από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Τελικά η ακτινοβολία θα φθάσει στην κεραία του δέκτη όπου θα πολλαπλασιαστεί πάλι με έναν συντελεστή ο οποίος ονομάζεται κέρδος κεραίας δέκτη G_r . Στη συνέχεια θα οδηγηθεί στο δέκτη ο οποίος δεν είναι άλλος στη δική μας περίπτωση από μια ασύρματη κάρτα δικτύου ή έναν ασύρματο δρομολογητή. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζονται τα μεγέθη που περιγράψαμε.



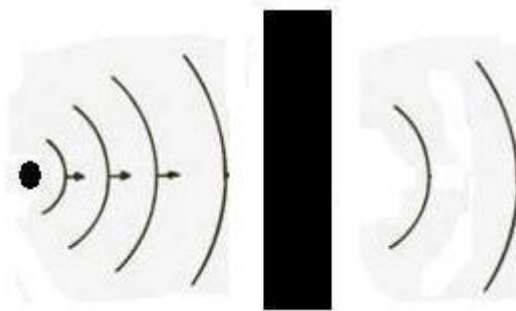
Εικόνα 3 - Ασύρματος πομπός και δέκτης

Αν θεωρήσουμε ότι η απόσταση μεταξύ κεραίας πομπού και κεραίας δέκτη είναι R , όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα, τότε γνωρίζουμε σύμφωνα με τα [12] και [13] ότι ισχύει η εξής σχέση για την ισχύ ακτινοβολίας που φθάνει στο δέκτη.

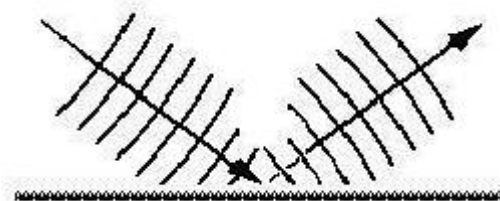
$$P_r = P_t + G_t + G_r + 10 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^n \quad (8)$$

Ο τύπος (1) μας δίνει την ισχύ που λαμβάνει ο δέκτης σε dBm ή dBW ανάλογα με τη μονάδα που θα έχει η ισχύ εκπομπής. Σε αυτόν το τύπο ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο τελευταίος όρος του αθροίσματος ο οποίος αντιστοιχεί στις απώλειες ελεύθερου χώρου. Όλα τα μεγέθη σε αυτόν τον όρο έχουν ήδη περιγραφεί εκτός από τον εκθέτη n . Αυτός ο εκθέτης μπορεί να πάρει διάφορες τιμές ανάλογα με το περιβάλλον. Στον ελεύθερο χώρο με τον οποίο ασχολούμαστε προς στιγμήν έχει την τιμή δύο.

Ας εξετάσουμε τώρα τι συμβαίνει όταν ο χώρος μας δεν είναι ελεύθερος, αλλά παρουσιάζονται εμπόδια μέσα σε αυτόν. Τότε η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία πέφτει πάνω στα εμπόδια. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να προκαλούνται διάφορα φαινόμενα που έχουν παρατηρηθεί στα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Όταν ένα κύμα χτυπάει σε κάποιο εμπόδιο, μέρος της ακτινοβολίας του απορροφάται από αυτό, κάποιο άλλο μέρος σκεδάζεται, ενώ ένα τρίτο μέρος το διαπερνά. Στις παρακάτω φωτογραφίες απεικονίζονται τα φαινόμενα αυτά.



Εικόνα 4 - Απορρόφηση - Διάθλαση



Εικόνα 5 - Ανάκλαση

Ανάλογα με την ισχύ της ακτινοβολίας του κύματος και τη θέση στην οποία εντοπίζεται η ισχύς αυτή, έχουμε ονομάσει τα πιο συνηθισμένα φαινόμενα ως ανάκλαση, διάθλαση και σκέδαση. Ανάκλαση ορίζεται το φαινόμενο κατά το οποίο όταν ένα κύμα προσπίπτει στη διαχωριστική επιφάνεια δυο υλικών, αλλάζει η διεύθυνση του και συνεχίζει την πορεία του στο αρχικό υλικό. Το φαινόμενο αυτό απεικονίζεται στην εικόνα 5. Διάθλαση ορίζεται το φαινόμενο κατά το οποίο όταν ένα κύμα προσπίπτει στη διαχωριστική επιφάνεια δυο υλικών αλλάζει η διεύθυνση του και συνεχίζει την πορεία του στο δεύτερο υλικό. Το φαινόμενο αυτό απεικονίζεται στην εικόνα 4, στην οποία ένα κύμα προσπίπτει πάνω σε ένα τοίχο, συνεχίζει την πορεία του μέσα σε αυτόν και στην συνέχεια εξέρχεται από αυτόν. Το φαινόμενο της σκέδασης θα το ορίσουμε στη συνέχεια. Πρέπει να αναφέρουμε ότι υπάρχουν και άλλα πιο σύνθετα φαινόμενα. Περισσότερες πληροφορίες μπορούν να βρεθούν στα βιβλία [11] και [12].

Πρέπει ακόμα να σημειώσουμε ότι το κατά πόσον κάποιο εμπόδιο θα προκαλέσει κάποιο φαινόμενο σε κάποιο κύμα που θα κτυπήσει επάνω του, δηλαδή αν το κύμα θα σκεδαστεί, θα ανακλαστεί ή θα διαπεράσει το εμπόδιο, εξαρτάται από το αν είναι συγκρίσιμες οι διαστάσεις του εμποδίου με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Στη δική μας περίπτωση για τα ασύρματα δίκτυα wifi το μήκος κύματος της ακτινοβολίας είναι αρκετά μικρό ώστε να επηρεάζεται από πολλά αντικείμενα. Μάλιστα, το φαινόμενο με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης είναι αυτό της σκέδασης. Σύμφωνα με το φαινόμενο αυτό μετά την πρόσπτωση ενός κύματος πάνω στη διαχωριστική επιφάνεια δυο υλικών, εντοπίζεται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε όλα τα σημεία γύρω από το σημείο πρόσπτωσης. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι το προσπίπτον κύμα διαχωρίζεται μετά την πρόσπτωση σε άλλα κύματα μικρότερης ισχύος τα οποία συνεχίζουν την πορεία τους στο προσπίπτον υλικό αλλά σε τυχαίες διευθύνσεις. Λόγω του ότι ενδιαφερόμαστε για εσωτερικό κτιρίων θα αναφέρουμε ότι οι τοίχοι, οι πόρτες, τα έπιπλα και άλλα αντικείμενα τα οποία συναντώνται συχνά στο εσωτερικό κτιρίων είναι ικανά να προκαλέσουν τα παραπάνω φαινόμενα, και κυρίως το φαινόμενο της σκέδασης, στην ακτινοβολία των ασυρμάτων δικτύων.

Συνεχίζοντας την ανάλυση μας σε έναν χώρο με εμπόδια, πρέπει να αναφερθούμε στο εξής. Τα φαινόμενα της ανάκλασης και της σκέδασης έχουν το παρακάτω αποτέλεσμα.

Στο δέκτη φτάνουν πολλά κύματα από τον ίδιο πομπό ταυτόχρονα, τα οποία έχουν κάποια διαφορά φάσης. Αυτή η διαφορά φάσης μπορεί να αναφέρεται σε απόσβεση ή συμβολή των δυο κυμάτων. Έτσι η ισχύς ακτινοβολίας στο δέκτη δεν θα είναι σταθερή αλλά θα επηρεάζεται από αυτό το φαινόμενο το οποίο ονομάζεται διάδοση πολλαπλών διαδρομών (multipath propagation). Συνοψίζοντας, από όλα τα παραπάνω είναι προφανές ότι σε μη ελεύθερο χώρο ο συντελεστής απόσβεσης n θα είναι μεγαλύτερος του δυο.

Ένα ακόμα φαινόμενο που πρέπει να αναφέρουμε και εμφανίζεται συχνά στην ακτινοβολία των δικτύων wifi είναι το φαινόμενο κυματοδήγησης. Αυτό προκαλείται συνήθως σε διαδρόμους κτιρίων όταν δεν υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη ή όταν υπάρχει οπτική επαφή πομπού και δέκτη και ο δέκτης πλησιάζει πολύ σε κάποιο τοίχο. Κατά το φαινόμενο αυτό, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία η οποία διασχίζει ένα χώρο, εμφανίζει πολύ μικρή εξασθένηση, σχεδόν μηδαμινή λόγω της γεωμετρίας του χώρου αυτού. Σύμφωνα, λοιπόν, με το φαινόμενο αυτό ο εκθέτης n είναι μικρότερος του δύο.

Μέχρι τώρα ασχοληθήκαμε περισσότερο γενικά με τα χαρακτηριστικά της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας κάνοντας βέβαια και μερικές παρατηρήσεις για το μήκος κύματος που μας ενδιαφέρει. Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε κάποια αποτελέσματα πειραμάτων που έχουν πραγματοποιηθεί και αναφέρονται στην ακτινοβολία του wifi. Παράλληλα, να αναφέρουμε ότι οι χώροι που μας ενδιαφέρουν είναι εσωτερικοί και αίθριοι χώροι κτιρίων, οι οποίοι μπορούν να μοντελοποιηθούν ως χώροι με πολλαπλά εμπόδια. Πρέπει ακόμα να αναφέρουμε ότι η ακτινοβολία του wifi επηρεάζεται από εμπόδια που βρίσκει στη διαδρομή της, όπως τοίχους και έπιπλα, αλλά και από την παρουσία ανθρώπων. Αρχικά, πρέπει να αναφέρουμε ότι ο εσωτερικός χώρος των κτιρίων είναι ένα περιβάλλον που παρουσιάζει έντονα το φαινόμενο των πολλαπλών διαδρομών. Λόγω αυτού του φαινομένου αλλά και αρκετών άλλων το λαμβανόμενο σήμα παρουσιάζει μακροχρόνιες και βραχυχρόνιες διαλείψεις. Οι μακροχρόνιες διαλείψεις οφείλονται στην απόσβεση που υφίσταται το σήμα όταν ταξιδεύει στον ελεύθερο χώρο και στην απορρόφηση που υφίσταται όταν πέφτει πάνω σε τοίχους και άλλα εμπόδια. Η κατανομή τους μπορεί να προσεγγιστεί από την εκθετική κατανομή. Οι βραχυχρόνιες διαλείψεις, από την άλλη, προκαλούνται κυρίως από το φαινόμενο της διάδοσης πολλαπλών διαδρομών. Όταν υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη η κατανομή τους μπορεί να προσεγγιστεί από την κατανομή Rician. Όταν δεν υπάρχει οπτική επαφή η κατανομή τους μπορεί να προσεγγιστεί από την κατανομή Rayleigh. Στη συνέχεια, θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα ενός πειράματος που δείχνει το κατά πόσον επηρεάζει η ανθρώπινη παρουσία το σήμα του wifi. Μετά θα προσεγγίσουμε τα στατιστικά χαρακτηριστικά (διασπορά κτλ.) της ακτινοβολίας από μια μόνο πηγή. Τέλος, θα μελετήσουμε τα χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας όταν έχουμε πολλαπλές πηγές.

Καταρχήν, για να μελετηθεί η επίδραση της ανθρώπινης παρουσίας στην ακτινοβολία του wifi έγιναν μετρήσεις της ακτινοβολίας σε έναν χώρο αρχικά χωρίς την παρουσία ανθρώπων και στη συνέχεια με την παρουσία ανθρώπων. Η μελέτη μπορεί να βρεθεί στο [4]. Όπως είναι φυσικό, το ανθρώπινο σώμα επηρεάζει την ακτινοβολία. Η τυπική απόκλιση αυξήθηκε κατά περίπου 3 dBm λόγω της ανθρώπινης παρουσίας. Έτσι, λοιπόν, και σύμφωνα με το [4], καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι για εφαρμογές που θα τρέχουν σε χώρους όπου η παρουσία ανθρώπων είναι δεδομένη και που θα χρησιμοποιούν την ισχύ της ακτινοβολίας ασύρματων δικτύων (όπως η μέθοδος αποτυπωμάτων), οι μετρήσεις της έντασης της ακτινοβολίας (όπως για παράδειγμα η συλλογή αποτυπωμάτων κατά την «off-line» φάση) θα πρέπει να γίνονται παρουσία ανθρώπων. Κάτι άλλο που επίσης επηρεάζει την ακτινοβολία, σύμφωνα με το [4], είναι ο προσανατολισμός του ανθρώπου που φέρει το δέκτη. Αν ο άνθρωπος παρεμβαίνει μεταξύ πομπού και δέκτη, η ένταση της λαμβανόμενης ακτινοβολίας ελαττώνεται κατά περίπου 9 dB. Αυτό συμβαίνει

λόγω του ότι το ανθρώπινο σώμα αποτελείται από νερό, το οποίο απορροφά την ακτινοβολία.

Όσον αφορά τα στατιστικά χαρακτηριστικά του σήματος έχουμε να αναφέρουμε τα εξής δύο ενδιαφέροντα αποτελέσματα που μπορούν να βρεθούν στο [4]:

- Πρώτον, η κατανομή του σήματος φαίνεται να είναι μη Gaussian και ασύμμετρη. Αυτό ισχύει κυρίως όταν υπάρχει και παρουσία ανθρώπων στο περιβάλλον.
- Δεύτερον, η τυπική απόκλιση του σήματος σε ένα σταθερό σημείο από μία συγκεκριμένη πηγή παραμένει σταθερή σε κάθε περίπτωση εκτός από όταν μεταξύ πομπού και δέκτη παρεμβάλλεται το ανθρώπινο σώμα. Τότε ελαττώνεται ελαφρά.

Τέλος εξετάστηκε ένα περιβάλλον με πολλούς πομπούς. Η ανάλυση βρίσκεται στο [4]. Αυτό που κυρίως ερευνήθηκε ήταν το κατά πόσον η ακτινοβολία ενός πομπού επηρεάζεται από την ακτινοβολία των υπολοίπων. Τα αποτελέσματα έδειξαν καθαρά ότι η ακτινοβολία από κάθε πομπό είναι ανεξάρτητη από κάθε άλλη.

Ένα ακόμα θέμα που πρέπει να συζητηθεί είναι η τιμή του εκθέτη n σε εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον. Όπως αναφέραμε και παραπάνω τα αντικείμενα που συναντώνται συχνά στο εσωτερικό κτιρίων προκαλούν έντονα φαινόμενα πολλαπλών διαδρομών. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο εκθέτης n να έχει τελείως διαφορετική τιμή από περιοχή σε περιοχή ενός κτιρίου. Απλά θα αναφέρουμε ότι σε μεγάλα δωμάτια με οπτική επαφή πομπού και δέκτη η τιμή του δείκτη n κυμαίνεται μεταξύ 2,5 και 3. Σε δωμάτια όπου δεν υπάρχει οπτική επαφή η τιμή του δείκτη n κυμαίνεται μεταξύ 4 και 5. Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να βρεθούν στο [8]. Τέλος, σε ιδιαίτερα σημεία κτηρίων, όπως διάδρομοι και στενέματα η τιμή του δείκτη n μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 1,6 και 1,8.

Αφού, λοιπόν, έχουμε αναφέρει τα κυριότερα χαρακτηριστικά της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας των wifi, θα προχωρήσουμε στην εφαρμογή των αλγορίθμων μας πάνω στα δίκτυα wifi και παράλληλα θα εξετάσουμε και την καταλληλότητα τους.

4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ WiFi ΚΑΙ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΤΟΥΣ

4.1 Μέθοδος Τριγωνισμού (Trilateration)

Είναι ενδιαφέρον σε αυτό το σημείο να εξετάσουμε πως θα καταφέρουμε να εφαρμόσουμε τον αλγόριθμο τριγωνισμού πάνω σε ασύρματα δίκτυα υπολογιστών. Αυτό που μπορούμε να εκμεταλλευτούμε είναι την ακτινοβολία των δικτύων αυτών. Έτσι θεωρούμε κάθε ασύρματο δρομολογητή ως έναν πομπό και την ασύρματη κάρτα δικτύου του υπολογιστή μας ως έναν δέκτη.

Όταν βρισκόμαστε σε ένα τυχαίο σημείο πάνω σε ένα επίπεδο και θέλουμε να προσδιορίσουμε τη θέση του σημείου αυτού με τη χρήση του αλγόριθμου του τριγωνισμού, αυτό που πρέπει να κάνουμε είναι να θεωρήσουμε τρία σταθερά σημεία πάνω στο επίπεδο και να προσπαθήσουμε να υπολογίσουμε τις αποστάσεις του τυχαίου σημείου όπου βρισκόμαστε από το καθένα από αυτά τα τρία σημεία αναφοράς. Εκμεταλλευόμενοι, λοιπόν, τις δυνατότητες που μας παρέχουν τα ασύρματα δίκτυα καταστρώνουμε το εξής σενάριο: Θεωρούμε τρία σταθερά σημεία πάνω στο επίπεδο στα οποία τοποθετούμε τρία access point (συσκευές ασύρματης πρόσβασης). Όπως αναφέραμε και παραπάνω, θα ήταν καλό τα τρία αυτά σημεία να σχηματίζουν μεταξύ τους ισοσκελές τρίγωνο. Καθώς, όμως, αυτό δεν είναι πάντα επιτρεπτό λόγω της μορφολογίας των κτιρίων, στα πειράματά μας θα χρησιμοποιήσουμε διαφορετικές τοπολογίες. Σε οποιοδήποτε σημείο, λοιπόν, του χώρου μπορούμε χρησιμοποιώντας ένα φορητό υπολογιστή με δυνατότητα ασύρματης σύνδεσης να μετρήσουμε την ισχύ των σημάτων των τριών access point. Το σενάριο αυτό απεικονίζεται και στην Εικόνα 6.



Εικόνα 6 - Τριγωνισμός

Παραπάνω έχουμε περιγράψει τον τρόπο με τον μετρούμε την ισχύ του σήματος κάθε ασύρματου κόμβου. Αυτό που μας μένει, είναι από το λαμβανόμενο σήμα να προσδιορίσουμε την απόσταση που έχουμε από τους τρεις δικούς μας ασύρματους κόμβους, τη θέση των οποίων γνωρίζουμε. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούμε την εξίσωση (8) που περιγράφεται στο κεφάλαιο 3 και την οποία λύνουμε ως προς την απόσταση R . Έτσι προκύπτει:

$$R = \frac{\lambda}{4\pi} 10^{\frac{P_t + G_t + G_r - P_r}{10n}}$$

Όπως είναι αναμενόμενο, λόγω όλων των φαινομένων, τα οποία περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 3, η μέτρηση του λαμβανόμενου σήματος θα εισάγει κάποια αβεβαιότητα στον υπολογισμό των αποστάσεων από τους ασύρματους κόμβους.

Παράλληλα, μια δεύτερη αβεβαιότητα εισάγεται από τον εκθέτη απωλειών n . Γνωρίζουμε εκ των προτέρων κάποιες προσεγγιστικές τιμές για τον εκθέτη αυτών σε διάφορα περιβάλλοντα. Παρόλα αυτά κρίνουμε σκόπιμο σε κάποια από τα περιβάλλοντα που θα τρέξουμε τους αλγορίθμους να κάνουμε μια προσέγγιση τις τιμές του εκθέτη απωλειών με τη χρήση της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων MMSE. Η μέθοδος αυτή περιγράφεται στο κεφάλαιο 4.1.1.

Αφού περιγράψαμε την υλοποίηση της συγκεκριμένης μεθόδου εντοπισμού θέσης κρίνουμε σκόπιμο στο σημείο αυτό να συζητήσουμε κατά πόσον είναι κατάλληλη για χρήση πάνω σε ασύρματα δίκτυα. Καταρχήν, όπως αναφέραμε και παραπάνω δεν αντιμετωπίσαμε κάποια ιδιαίτερη δυσκολία στην υλοποίηση του αλγορίθμου στη γλώσσα προγραμματισμού C++. Η χρησιμοποίηση της λαμβανόμενης ισχύος για τον προσδιορισμό τριών αποστάσεων από τρεις ασύρματους κόμβους ήταν αρκετά απλή στην υλοποίηση καθώς το λειτουργικό σύστημα που χρησιμοποιούμε μας παρέχει τις κατάλληλες συναρτήσεις συστήματος.

Τα προβλήματα εφαρμογής αυτού του αλγορίθμου συναντώνται στα ακόλουθα: Η μέθοδος απαιτεί ακρίβεια στον υπολογισμό των τριών αποστάσεων και ιδιαίτερα όσο μεγαλώνει η απόσταση χρειαζόμαστε μεγαλύτερη ακρίβεια (όπως έχουμε αποδείξει και παραπάνω). Αυτό είναι κάτι το οποίο είναι αρκετά δύσκολο να επιτευχθεί δεδομένων όλων των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και ιδιαίτερα της διάδοσης πολλαπλών διαδρομών, η οποία εμφανίζεται στο εσωτερικό κτιρίων. Εάν προσθέσουμε στα παραπάνω και τα φαινόμενα κυματοδήγησης, τα οποία είναι συχνά σε εσωτερικούς χώρους, βλέπουμε ότι η ακρίβεια μέτρησης των τριών αποστάσεων είναι αρκετά μικρή. Προκειμένου, λοιπόν, να βελτιώσουμε όσο μπορούμε την ακρίβεια θα χρησιμοποιήσουμε διάφορες τιμές του εκθέτη απωλειών σε διάφορα σημεία του χώρου, των οποίων θα προσδιορίσουμε τη θέση. Ο εκθέτης απωλειών σύμφωνα και με τον τύπο (8) είναι αυτός που καθορίζει την απόσταση δεδομένης της ισχύος της ακτινοβολίας. Πρέπει να αναφέρουμε ότι από τη μέχρι τώρα θεωρητική μελέτη μας προκύπτει ότι η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ικανοποιητική ακρίβεια αρκεί ο εκθέτης απωλειών να ρυθμίζεται κάθε φορά στην κατάλληλη τιμή. Ωστόσο ο εκθέτης αυτός ανάλογα με την τοπολογία ενός κτιρίου μπορεί να παίρνει αρκετά διαφορετικές τιμές, οι οποίες να μένουν σταθερές μόνο σε μικρές περιοχές. Όσον αφορά τη δική μας εφαρμογή, η ρύθμιση του εκθέτη θα γίνεται χειροκίνητα. Τέλος, το πιο βασικό μειονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ότι δεν είναι καθόλου ευέλικτη σε περίπτωση που κάποιος από τους τρεις κόμβους τεθεί εκτός λειτουργίας. Στην περίπτωση αυτή, ο αλγόριθμος δεν είναι σε θέση να προχωρήσει στην εκτίμηση της θέσης.

4.1.1 Μέθοδος MMSE

Η μέθοδος αυτή είναι από τα αρχικά Method of minimum square error (Μέθοδος Ελαχίστων Τετραγώνων) και χρησιμοποιείται στις ασύρματες επικοινωνίες για την επεξεργασία του σήματος και την εξαγωγή του εκθέτη απωλειών n και της τυπικής απόκλισής του. Γνωρίζουμε ότι εφόσον υπολογίσουμε την τιμή της έντασης του σήματος σε μια γνωστή μας απόσταση από τον πομπό d_0 τότε για κάθε άλλη απόσταση d μπορούμε να υπολογίσουμε την τιμή της ισχύος του σήματος από τον τύπο

$$\hat{P}(d_i) = P(d_0) - 10n \log \left(\frac{d_i}{d_0} \right) \quad (1)$$

Έτσι, λοιπόν, αφού συλλέξουμε διάφορες τιμές της ισχύος του εκπεμπόμενου σήματος σε διάφορες αποστάσεις από τον πομπό εργαζόμαστε ως εξής: Θεωρούμε την πρώτη μέτρηση ως τη μέτρηση με απόσταση αναφοράς d_0 . Για τις υπόλοιπες αποστάσεις υπολογίζουμε ένα σφάλμα σύμφωνα με τον τύπο της μεθόδου MMSE.

$$S(n) = \sum_{i=1}^k (P_{(d_i)} - \hat{P}_{d_i})^2 \quad (2)$$

Στη συνέχεια αντικαθιστούμε στον τύπο(2) το \hat{P} από τον τύπο (1). Έτσι, η $S(n)$ που προκύπτει είναι μια συνάρτηση σφάλματος συναρτήσεως του n . Καθώς θέλουμε να προσδιορίσουμε το ελάχιστο σφάλμα, βρίσκουμε την τιμή του n που αποτελεί ρίζα της πρώτης παραγώγου της συνάρτησης του n . Γνωρίζουμε από την μαθηματική ανάλυση ότι η ρίζα της πρώτης παραγώγου μιας συνάρτησης είναι ένα τοπικό ακρότατο της συνάρτησης. Δεδομένης μάλιστα και της μονοτονίας της συνάρτησης (2) το τοπικό αυτό ακρότατο είναι το ελάχιστό της.

$$\frac{dS(n)}{dn} = 0 \Rightarrow n = \dots$$

Αφού προσδιορίσουμε την τιμή του n για το ελάχιστο σφάλμα, αντικαθιστούμε αυτή την τιμή στην εξίσωση (2) και παίρνουμε μια τιμή για το σφάλμα. Η τετραγωνική ρίζα αυτής της τιμής είναι η τυπική απόκλιση που παρουσιάζει το n . Τελειώνοντας, πρέπει να σημειώσουμε ότι η τυπική απόκλιση πρέπει να είναι μικρότερη του 8 για να θεωρήσουμε ότι ο προσδιορισμός του n είναι αξιόπιστος. Διαφορετικά ο χώρος θα πρέπει να διαιρεθεί σε υποπεριοχές και για κάθε μια από αυτές να εφαρμοστεί πάλι η μέθοδος.

4.2 Μέθοδος Αποτυπωμάτων (Fingerprinting)

Ας εξετάσουμε τώρα πώς θα εφαρμόσουμε τη μέθοδο των αποτυπωμάτων πάνω σε δίκτυα wifi.

Αυτό που χρειαζόμαστε, όπως αναφέραμε και παραπάνω, είναι ένα χαρακτηριστικό του χώρου το οποίο να αλλάζει σταδιακά από σημείο σε σημείο, δηλαδή ένα χαρακτηριστικό αποτύπωμα κάθε σημείου. Ένα βασικό χαρακτηριστικό των ασύρματων δικτύων σε κάθε σημείο του χώρου είναι ο αριθμός των «ορατών»² ασύρματων κόμβων και

² Ο δέκτης κάθε ασύρματου κόμβου έχει κάποια ευαισθησία. Αυτό σημαίνει ότι ανιχνεύει ισχύ μόνο πάνω από κάποιο όριο. Έτσι, ανιχνεύει μόνο τους ασύρματους κόμβους που είναι αρκετά κοντά του ώστε η ισχύς λήψης να είναι αρκετά υψηλή.

η λαμβανόμενη ισχύς από τον καθένα από αυτούς. Το χαρακτηριστικό αυτό θα χρησιμοποιήσουμε ως αποτύπωμα για κάθε σημείο του χώρου.

Η μέθοδος των αποτυπωμάτων αποτελείται από 2 στάδια, το «offline» και το «online». Κατά το πρώτο, συμπληρώνεται μια βάση δεδομένων με τα αποτυπώματα του χώρου. Οι εγγραφές του πίνακα της βάσης περιέχουν τα εξής πεδία: την τετμημένη του σημείου, την τεταγμένη του σημείου, τη MAC address του «ορατού» σημείου πρόσβασης και τη μέση τιμή της ισχύος του λαμβανόμενου από αυτό σήματος. Η πυκνότητα των αποτυπωμάτων και οι θέσεις που λαμβάνονται θα συζητηθούν στη συνέχεια.

Ας δούμε, όμως, καταρχήν εάν τα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούμε ως αποτύπωμα είναι κατάλληλα ώστε να αποδίδει η μέθοδος αποτυπωμάτων. Όπως έχουμε αναφέρει και παραπάνω, η μέθοδος αυτή θέτει δυο προϋποθέσεις ώστε να μπορεί να δουλεύει με ακρίβεια. Η πρώτη προϋπόθεση είναι τα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούμε ως αποτυπώματα να μπορούν να χαρακτηρίσουν απόλυτα ένα σημείο, δηλαδή να το ξεχωρίζουν από τα υπόλοιπα. Επιπλέον, τα χαρακτηριστικά αυτά πρέπει να είναι στατικά, δηλαδή να παραμένουν αναλλοίωτα στο χρόνο. Η δεύτερη προϋπόθεση είναι τα γειτονικά σημεία να παρουσιάζουν αποκλίσεις σε αυτά τα χαρακτηριστικά, οι οποίες να μεγαλώνουν όσο συγκρίνουμε σημεία που απέχουν περισσότερο μεταξύ τους. Με βάση τη θεωρητική προσέγγιση που παραθέσαμε παραπάνω για την ακτινοβολία των συσκευών wifi μπορούμε να ελέγξουμε εάν οι προϋποθέσεις αυτές ισχύουν.

Ας δούμε, λοιπόν, κατά πόσον ισχύει η πρώτη προϋπόθεση. Όπως είπαμε και παραπάνω, η μέση τιμή της ισχύος λήψης των σημάτων διαφόρων ασύρματων κόμβων μπορεί να χαρακτηρίσει πολύ καλά κάποιο σημείο. Αυτό συμβαίνει, επειδή, σύμφωνα με την εξίσωση διάδοσης (8), κάθε σημείο του χώρου θα έχει διαφορετική τιμή ισχύος εκπομπής για έναν ασύρματο κόμβο. Ακόμα και αν συμβεί λόγω τις διάταξης του χώρου κάποια σημεία του χώρου να εμφανίσουν ίδια τιμή ισχύος για έναν ασύρματο κόμβο, δεν θα εμφανίζουν ίδια τιμή ισχύος για κάποιον άλλον ασύρματο κόμβο. Έτσι λοιπόν, όσο περισσότεροι είναι οι ασύρματοι κόμβοι που εντοπίζονται σε κάθε σημείο, τόσο καλύτερα χαρακτηρίζεται το σημείο αυτό. Ο ελάχιστος αριθμός κόμβων που μπορεί να μας δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα είναι ένα θέμα που θα ερευνηθεί στα πειράματά μας. Πάντως πρέπει να σημειωθεί ότι σε χώρους που λειτουργούν αρκετοί ασύρματοι κόμβοι, ακόμα και ένας ή δυο να τεθούν εκτός λειτουργίας η μέθοδος θα εξακολουθεί να δουλεύει αξιόπιστα. Αυτό αποτελεί ένα σίγουρο πλεονέκτημα απέναντι στη μέθοδο του τριγωνισμού, η οποία απαιτεί κάθε κόμβος που χρησιμοποιείται σαν σημείο αναφοράς να λειτουργεί. Επιπρόσθετα, λόγω της συνεχόμενα αυξανόμενης διάδοσης της χρήσης ασύρματων κόμβων από ιδιώτες, το να στηθεί μια εμπορική εφαρμογή η οποία βασίζεται σε αυτή τη μέθοδο, φαίνεται να απαιτεί πολύ μικρότερο κόστος σε σχέση με τον τριγωνισμό. Αφού πλέον στηρίξαμε και την προϋπόθεση ότι τα αποτυπώματα των σημείων του χώρου καταφέρνουν να τα διαχωρίζουν μοναδικά, ας εξετάσουμε τώρα το κατά πόσον, τα χαρακτηριστικά αυτά παραμένουν αμετάβλητα με την πάροδο του χρόνου, ή καλύτερα, ποιος είναι ο ρυθμός μεταβολής τους.

Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν τη μέση τιμή λαμβανόμενης ισχύος αλλά και τον αριθμό των ασυρμάτων κόμβων οι οποίοι είναι «ορατοί» σε κάποιο σημείο του χώρου. Ο πιο τετριμμένος είναι να αλλάξει η διάταξη των αντικειμένων στον χώρο. Τα αντικείμενα αυτά μπορεί να είναι είτε έπιπλα είτε άνθρωποι. Συνήθως τα έπιπλα είναι στατικά, οπότε δεν δημιουργούν προβλήματα. Όσον αφορά τα εμπόδια με μεγάλη κινητικότητα όμως, τα πιο συνηθισμένα εκ των οποίων είναι οι άνθρωποι, επηρεάζουν σημαντικά τη λαμβανόμενη ισχύ σε κάθε σημείο. Είδαμε, ότι το ανθρώπινο σώμα λόγω της μεγάλης περιεκτικότητάς του σε νερό επηρεάζει σημαντικά τις μετρήσεις. Άρα το άτομο που πραγματοποιεί τη συλλογή των αποτυπωμάτων αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα σφάλματος. Για να περιορίσουμε, λοιπόν, το σφάλμα αυτό παίρνουμε μετρήσεις για διάφορους

προσανατολισμούς και εξάγουμε το μέσο όρων αυτών για να σχηματίσουμε το αποτύπωμα. Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει το αποτύπωμα είναι να αλλάξει η τιμή της ισχύος εκπομπής κάποιου ασύρματου κόμβου ή και να τεθεί εκτός λειτουργίας. Όσον αφορά το πρώτο, εισάγεται το ίδιο σφάλμα σε όλα τα σημεία της βάσης οπότε δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα ο αλγόριθμος, ενώ για το δεύτερο το πρόβλημα εξαλείφεται όσο μεγαλύτερο αριθμό ασύρματων κόμβων «βλέπουμε» σε ένα σημείο. Ένας τελευταίος παράγοντας είναι η αλλαγή της θέσης ή η αντικατάσταση του υλικού των ασύρματων κόμβων. Αυτό εξαρτάται από το είδος των ασύρματων κόμβων που χρησιμοποιούνται. Πάντως, οι περισσότερες συσκευές έχουν αρκετά χρόνια χρόνο ζωής. Αυτό που πρέπει να σημειωθεί είναι ότι σε περίπτωση που πρόκειται να γίνει δημιουργία εμπορικής εφαρμογής και πρόκειται να ληφθούν υπ' όψη και ασύρματοι κόμβοι ιδιωτών, καλό θα ήταν να γίνει πρώτα μια στατιστική μελέτη για να προσδιοριστούν οι ρυθμοί που οι οικιακοί χρήστες αντικαθιστούν τον εξοπλισμό τους. Επίσης, πρέπει να μελετηθεί το κατά πόσον οι ασύρματοι κόμβοι είναι ενεργοί καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, και κατά πόσον διατηρούν σταθερή θέση. Σε κάθε περίπτωση πάντως, η ανανέωση σε τακτά χρονικά διαστήματα των περιεχομένων της βάσης μπορεί να προλάβει τέτοιου είδους προβλήματα.

Όσον αφορά τη δεύτερη προϋπόθεση, πράγματι η μέση ισχύς του σήματος των ασύρματων κόμβων σε γειτονικά σημεία παρουσιάζει μικρές διαφορές και συνήθως όσο πιο απομακρυσμένα είναι αυτά τα σημεία τόσο μεγαλώνει και η διαφορά αυτή. Αυτό δεν επαληθεύεται μόνο στην περίπτωση όπου εμφανίζονται φαινόμενα κυματοδήγησης, τα οποία εμφανίζονται κυρίως σε συγκεκριμένες θέσεις (πχ κοντά σε τοίχους, σε διαδρόμους κτλ.). Στην περίπτωση των φαινομένων αυτών, η μέση ισχύς λήψης αντί να μειώνεται όσο απομακρυνόμαστε από τον κόμβο παραμένει περίπου σταθερή ή και μεγαλώνει. Ωστόσο, και τα σημεία αυτά μπορούν να ξεχωρίσουν από τα γειτονικά τους, λόγω των υπολοίπων ασυρμάτων κόμβων που είναι «ορατοί» σε αυτά. Ιδιαίτερα όταν οι ασύρματοι κόμβοι είναι τοποθετημένοι εκατέρωθεν του διαδρόμου που προκαλεί τα φαινόμενα κυματοδήγησης, το παραπάνω πρόβλημα είναι βέβαιο ότι επιλύεται. Γενικά, όσο περισσότεροι ασύρματοι κόμβοι είναι τοποθετημένοι σε διαφορετικά σημεία ενός χώρου, τόσο περισσότερο μοναδικά είναι τα «αποτυπώματα» των σημείων του χώρου αυτού.

Αφού εξασφαλίσαμε, λοιπόν, τις προϋποθέσεις του αλγορίθμου, μπορούμε να σχολιάσουμε τώρα κάποια άλλα θέματα που προκύπτουν κατά την υλοποίησή του. Το πρώτο θέμα περιγράφεται με το εξής σενάριο: Βρισκόμαστε σε ένα σημείο στο οποίο λαμβάνουμε το σήμα τριών ασύρματων κόμβων. Αρχίζουμε, λοιπόν, να διαβάζουμε τη βάση αποτυπωμάτων και να υπολογίζουμε την απόκλιση του κάθε σημείου της βάσης από το μετρούμενο σημείο. Στον τύπο (7) στις τιμές x_i και x'_i μπαίνουν οι μέσες τιμές της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος (η εύρεση των οποίων περιγράφηκε παραπάνω) του κόμβου i και του τρέχοντος σημείου της βάσης (ανατρέχουμε ένα-ένα τα σημεία της βάσης) που διαβάστηκε αντίστοιχα. Αν τώρα κάποιο σημείο της βάσης περιέχει τέσσερις ασύρματους κόμβους από τους οποίους οι τρεις συμπίπτουν, προκύπτει το πρόβλημα του πώς θα διαχειριστούμε τον τέταρτο κόμβο που δεν μετρήθηκε. Υπάρχουν δύο ενδεχόμενα:

- το πρώτο είναι να βρισκόμαστε σε κάποιο σημείο του χώρου αρκετά μακρινό από το σημείο της βάσης και εκ των πραγμάτων να μην μπορούμε να λάβουμε το σήμα αυτού του κόμβου καθώς είμαστε έξω από την εμβέλεια του.
- το δεύτερο είναι να βρισκόμαστε κοντά σε αυτόν τον κόμβο, αλλά αυτός για κάποιο λόγο να βρίσκεται εκτός λειτουργίας.

Όσον αφορά το πρώτο ενδεχόμενο απλώς αγνοούμε τον τέταρτο κόμβο. Όσον αφορά το δεύτερο, η απόκλιση που εισάγει ο ανενεργός κόμβος μεταξύ τυχαίου σημείου και σημείου βάσης είναι μεγάλη και ο αλγόριθμος θα επιστρέψει λανθασμένο σημείο. Για το λόγο αυτό και σε αυτή την περίπτωση τον κόμβο που δεν εντοπίστηκε τον αγνοούμε. Ωστόσο θέτουμε και έναν ελάχιστο αριθμό κόμβων που συμπίπτουν μεταξύ «ορατών» στο

τυχαίο σημείο που βρισκόμαστε και βάσης αποτυπωμάτων ώστε να θεωρήσουμε ότι η απόκλιση που υπολογίσαμε μεταξύ των δυο σημείων είναι αξιόπιστη. Ο αριθμός αυτός θα εξεταστεί περαιτέρω στο πειραματικό κομμάτι της παρούσας εργασίας.

Ένα δεύτερο θέμα περιγράφεται με το ακόλουθο σενάριο και είναι ακριβώς το αντίθετο από αυτό που περιγράψαμε παραπάνω. Έστω δηλαδή ότι βρισκόμαστε σε ένα τυχαίο σημείο και εντοπίζουμε τρεις ασύρματους κόμβους. Καθώς ανατρέχουμε τα σημεία της βάσης εντοπίζουμε ένα σημείο με δυο καταγεγραμμένους κόμβους, οι οποίοι συμπίπτουν με δύο από τους τρεις μετρούμενους. Σε αυτήν την περίπτωση υπάρχουν πάλι δύο ενδεχόμενα:

- Το σημείο της βάσης είναι εκτός της εμβέλειας του τρίτου κόμβου οπότε και είναι φυσικό ο κόμβος αυτός να μην είναι καταγεγραμμένος
- Το σημείο της βάσης είναι μέσα στην εμβέλεια αυτού του κόμβου αλλά ο κόμβος αυτός ήταν εκτός λειτουργίας κατά την διαδικασία της συλλογής αποτυπωμάτων και γι' αυτό το λόγο δεν έχει καταγραφεί στη βάση.

Και τα δύο αυτά ενδεχόμενα αντιμετωπίζονται ως εξής: ο τρίτος κόμβος λαμβάνεται υπόψιν στον υπολογισμό του λάθους και θεωρούμε ότι υπάρχει καταγεγραμμένος στη βάση με τιμή ισχύος σήματος -96 dBm. Η τιμή αυτή είναι εκτός των ορίων ευαισθησίας του δέκτη μας. Έτσι, σε περίπτωση που πράγματι το σημείο της βάσης βρίσκεται εκτός της εμβέλειας του κόμβου προσθέτουμε στο σημείο αυτό ένα ακόμα ταίριασμα το οποίο θα εισάγει μεγαλύτερο λάθος γι' αυτό το σημείο αποκλειοντάς το ορθώς ακόμα περισσότερο από το να είναι προσέγγιση του τυχαίου σημείου. Εάν πάλι το σημείο της βάσης βρίσκεται στα όρια εμβέλειας του παραπάνω κόμβου, αλλά ο κόμβος αυτός ήταν ανενεργός κατά τη διάρκεια συλλογής αποτυπωμάτων, αυτό σημαίνει ότι δεν θα είναι καταγεγραμμένος σε κανένα σημείο. Έτσι, θα προστεθεί σε όλα τα σημεία το ίδιο σφάλμα και το τελικό αποτέλεσμα δεν θα επηρεαστεί καθόλου. Επειδή, όμως, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που θα μπορούσαν να συμβάλλουν στο να μην είναι καταγεγραμμένος ένας κόμβος σε κάποιο σημείο της βάσης, αν και το σημείο βρίσκεται εντός της εμβέλειας του, και δεδομένου ότι αυτός ο κόμβος μπορεί να είναι καταγεγραμμένος σε άλλα γειτονικά σημεία, το αποτέλεσμα του αλγόριθμου μπορεί να επηρεαστεί και να εμφανίσει μεγάλη απόκλιση. Επίσης, αν αναλογιστούμε ότι το μοναδικό που μας προσφέρει η παραπάνω προσέγγιση είναι ένα ακόμα ταίριασμα για μερικές καταχωρήσεις της βάσης μας, αφήνουμε σαν επιλογή στον χρήστη του συστήματος εντοπισμού θέσης τη χρησιμοποίηση της παραπάνω προσέγγισης ή την αγνόηση του περισσευόμενου κόμβου. Στα πειράματα που ακολουθούν θα μελετήσουμε κατά πόσον η μια ή η άλλη προσέγγιση μας δίνει καλύτερα αποτελέσματα. Ωστόσο είναι προφανές, ότι η παραπάνω προσέγγιση είναι χρήσιμη σε χώρους με πολύ λίγους ασύρματους κόμβους, ενώ είναι άχρηστη σε περιβάλλοντα με πολλούς ασύρματους κόμβους, διότι, όπως αναφέραμε και παραπάνω, όσο περισσότεροι κόμβοι εντοπίζονται σε ένα σημείο τόσο καλύτερα ταυτοποιείται αυτό το σημείο.

Κάτι άλλο που πρέπει επίσης να σχολιαστεί είναι τα βάρη που υπάρχουν στον τύπο (7) υπολογισμού της απόκλισης μεταξύ των σημείων της βάσης αποτυπωμάτων και του σημείου που προσπαθούμε να εντοπίσουμε. Στην παρούσα εργασία θεωρούμε ότι το βάρος του σφάλματος που εισάγει κάθε ασύρματος κόμβος είναι το ίδιο, καθώς γνωρίζουμε τους ασύρματους κόμβους που θα χρησιμοποιηθούν στα πειράματα και είμαστε σίγουροι ότι δεν έχουν υποστεί αλλαγές μεταξύ του σταδίου συλλογής δεδομένων και του πειραματικού σταδίου. Η χρήση βαρών ωστόσο θα ήταν αξιόλογη στην περίπτωση που σχεδιαζότανε μια εμπορική εφαρμογή που να χρησιμοποιεί αυτόν τον αλγόριθμο και να λαμβάνει υπ' όψη και τους εγκατεστημένους κόμβους (από την εταιρία της εφαρμογής) αλλά και τους περιβάλλοντες κόμβους των οικιακών χρηστών.. Η πρώτη κατηγορία κόμβων, δηλαδή οι εγκατεστημένοι για το σύστημα, θα μπορούσε να έχει μεγαλύτερο συντελεστή βάρους λόγω του ότι υπάρχει μεγάλη βεβαιότητα ως προς τα χαρακτηριστικά και την κινητικότητά τους

σε σχέση με τους δεύτερους στους οποίους υπάρχει κάποια αβεβαιότητα για το κατά πόσον ο χρήστης δεν τους μετακινεί ή δεν αλλάζει τα χαρακτηριστικά τους. Άλλες προσεγγίσεις για τον καθορισμό των βαρών, όπως το να είναι ανάλογα της τυπικής απόκλισης της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος (η οποία υπολογίζεται κατά τη διαδικασία συλλογής των αποτυπωμάτων σύμφωνα με το [2]) δεν οδηγεί σε βελτίωση της ακρίβειας και άρα είναι άχρηστη.

Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε με την τιμή του εκθέτη p που εμφανίζεται στον τύπο (7) υπολογισμού των σφαλμάτων. Η μεταβολή του εκθέτη αυτού επηρεάζει την απόκλιση μεταξύ των αποτυπωμάτων της βάσης και του τυχαίου σημείου προς προσδιορισμό ως εξής: Για κάποιο συγκεκριμένο αποτύπωμα της βάσης η απόκλιση από το προς προσδιορισμό σημείο μεγαλώνει όσο μεγαλύτερος είναι ο εκθέτης. Ανάλογη μελέτη για την τιμή του εκθέτη έχει γίνει και στο [2]. Στα πειράματα που ακολουθούν για τον εκθέτη p χρησιμοποιούμε μόνο τις τιμές ένα και δύο.

Αφού σχολιάσαμε τα γενικά χαρακτηριστικά του αλγορίθμου, θα παρουσιάσουμε κάποιες ακόμη λεπτομέρειες που αφορούν την υλοποίησή του. Καταρχήν, οι «ορατοί» ασύρματοι κόμβοι εντοπίζονται με τη χρήση της βιβλιοθήκης wlanapi. Για τους ασύρματους αυτούς κόμβους διατηρείται ένας προσωρινός πίνακας με τις διευθύνσεις MAC τους και την ισχύ του σήματος που λαμβάνεται από τον καθένα. Επειδή, όπως έχουμε αναφέρει, η ισχύς του σήματος είναι στατιστικό μέγεθος, για καθένα ασύρματο κόμβο λαμβάνουμε μια σειρά μετρήσεων της ισχύς του και υπολογίζουμε έναν μέσο όρο. Στη συνέχεια κάνουμε αναζήτηση στη βάση και βρίσκουμε τα τρία πλησιέστερα σε αυτούς τους μέσους όρους σημεία.

Όλες οι προϋποθέσεις που απαιτούνται για την υλοποίηση του αλγορίθμου σε δίκτυα wifi, όπως είδαμε και παραπάνω, ικανοποιούνται. Έτσι, στην επόμενη παράγραφο θα αναφερθούμε σε θέματα που αφορούν τη συλλογή αποτυπωμάτων.

4.2.1 Η διαδικασία συλλογής αποτυπωμάτων

Οι οδηγίες που θα δώσουμε στη συνέχεια για την συλλογή αποτυπωμάτων προκύπτουν από τα χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας που έχουν αναφερθεί στο κεφάλαιο 3 και έχουν αναπτυχθεί διεξοδικά στο [2]. Αρχικά, ένα θέμα είναι η πυκνότητα των αποτυπωμάτων. Αν αυτά είναι αραιά, κερδίζουμε σε χρόνο αναζήτησης αλλά χάνουμε σε ακρίβεια. Αν αυτά είναι πολύ πυκνά, αυξάνεται πολύ η καθυστέρηση αναζήτησης. Παράλληλα, όταν τα αποτυπώματα είναι πολύ πυκνά, από κάποιο σημείο και μετά παύει να βελτιώνεται η ακρίβεια λόγω του ότι, όπως έχουμε αναφέρει, τα αποτυπώματα των γειτονικών σημείων μοιάζουν αρκετά λόγω και των στατιστικών αποκλίσεων της ισχύς λήψης. Έτσι, λοιπόν, τα αποτυπώματα θα λαμβάνονται σε αποστάσεις περίπου των τριών μέτρων μεταξύ τους, σύμφωνα και με τις παρατηρήσεις που έχουν γίνει στο [2]. Σύμφωνα με το [2] η καλύτερη τιμή για την απόσταση των αποτυπωμάτων μεταξύ θυσιαζόμενης ακρίβειας και θυσιαζόμενης ταχύτητας αναζήτησης είναι μεταξύ ενάμισι και τριών μέτρων.

Κάτι ακόμα που πρέπει να προσεχθεί κατά τη συλλογή των αποτυπωμάτων είναι ότι εφόσον ο αλγόριθμος θα χρησιμοποιηθεί σε χώρους που υπάρχουν άνθρωποι, θα πρέπει και κατά τη συλλογή αποτυπωμάτων να υπάρχουν άνθρωποι στο χώρο. Επίσης, τα αποτυπώματα για κάθε θέση θα πρέπει να λαμβάνονται για τουλάχιστον δυο προσανατολισμούς. Αυτό συμβαίνει επειδή όταν ο χρήστης παρεμβάλλεται μεταξύ πομπού και δέκτη όπως αναφέραμε και παραπάνω η μέση τιμή της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος πέφτει. Όταν δεν γνωρίζουμε την ακριβή τοποθεσία των ασύρματων κόμβων καλό είναι να χρησιμοποιούνται τέσσερις προσανατολισμοί [2]. Παράλληλα, για κάθε προσανατολισμό πρέπει να λαμβάνονται τουλάχιστον πέντε μετρήσεις για την εξαγωγή του

μέσου όρου. Στα πειράματα που ακολουθούν χρησιμοποιήσαμε δύο προσανατολισμούς με διαφορά 180°. Απομένει, λοιπόν, τώρα να περάσουμε στα αποτελέσματα των πειραμάτων που πραγματοποιήσαμε και τα τελικά συμπεράσματα που εξάγαμε από αυτά. Ας γνωρίσουμε όμως πρώτα το λογισμικό που θα χρησιμοποιήσουμε στα πειράματά μας.

4.3 Υλοποίηση

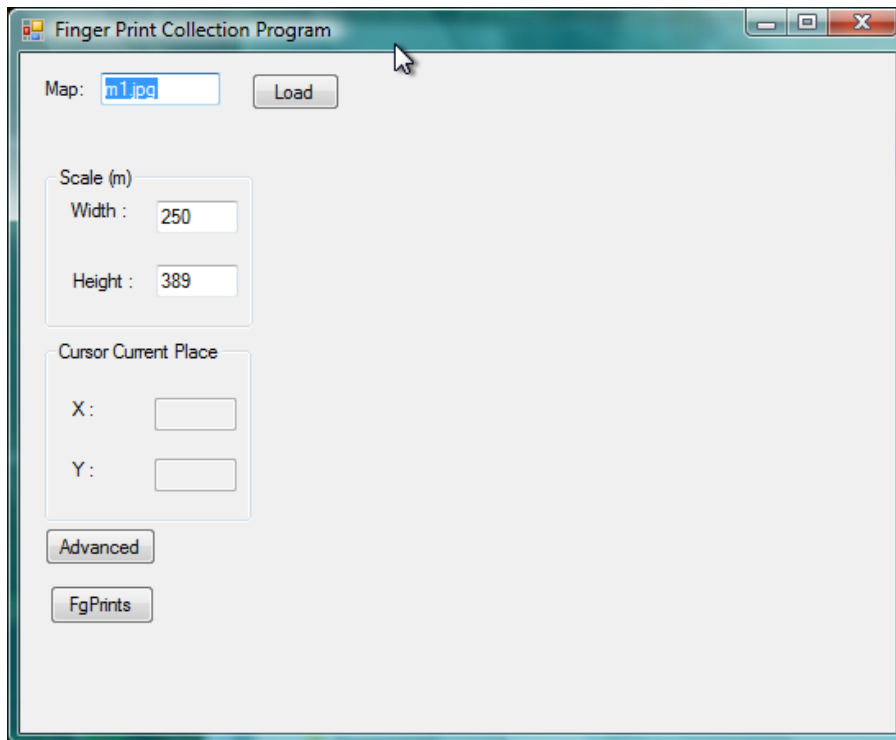
Πριν αρχίσουμε με την περιγραφή της λειτουργικότητας των αλγορίθμων μας πρέπει να αναφέρουμε τα εξής. Θα χρησιμοποιήσουμε ένα φορητό υπολογιστή Sony Vaio FZ11S με ικανότητα ασύρματης δικτύωσης, που φέρει την ασύρματη κάρτα δικτύου 3945ABG και έχει λειτουργικό σύστημα windows vista. Οι αλγόριθμοι θα αναπτυχθούν σε γλώσσα προγραμματισμού C++ σε περιβάλλον .net. Για να μετρήσουμε την ισχύ που εκπέμπει κάθε ασύρματος κόμβος, εκμεταλλευόμαστε τις συναρτήσεις του λειτουργικού συστήματος που βρίσκονται στην βιβλιοθήκη wlanapi. Πιο συγκεκριμένα καλούμε τη μέθοδο wlanScan η οποία εντοπίζει όλα τα δίκτυα που υπάρχουν στον χώρο. Στη συνέχεια χρησιμοποιούμε τη μέθοδο wlanGetNetworkBssList, η οποία μας επιστρέφει μια λίστα με μία εγγραφή για κάθε ασύρματο κόμβο που εντοπίστηκε. Μια από τις πληροφορίες που προσφέρονται σε αυτές τις εγγραφές είναι το Received Signal Strength Indicator (RSSI), το οποίο είναι η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος από τον αντίστοιχο ασύρματο κόμβο. Η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος, όπως έχουμε αναφέρει και παραπάνω, είναι ένα στατιστικό μέγεθος. Έτσι, λοιπόν, λαμβάνουμε έναν αριθμό μετρήσεων της λαμβανόμενης ισχύς κάθε κόμβου. Από αυτά τα δείγματα υπολογίζουμε ένα μέσο όρο τον οποίο και χρησιμοποιούμε στους αλγορίθμους μας. Ο αριθμός των δειγμάτων που θα χρησιμοποιήσουμε είναι ένα θέμα προς εξέταση. Μάλιστα, στα πειράματα που περιγράφονται στη συνέχεια χρησιμοποιούνται διαφορετικοί αριθμοί για να εξετάσουμε πως επηρεάζεται η ακρίβεια των αλγορίθμων μας.

5 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ

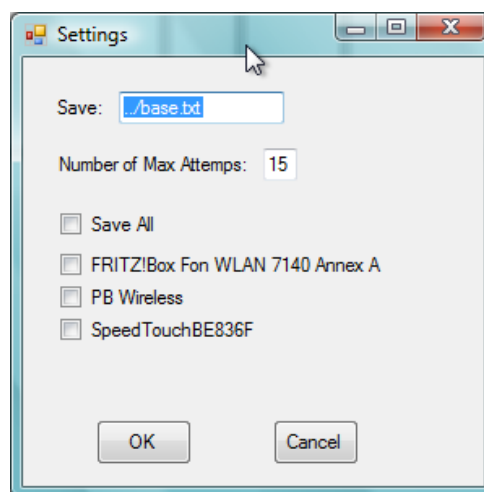
Σε αυτό το σημείο κρίνουμε σκόπιμο να περιγράψουμε το λογισμικό που αναπτύχθηκε σε C++.

5.1 Λογισμικό συλλογής αποτυπωμάτων

Θα αρχίσουμε από το πρώτο πρόγραμμα το οποίο θα χρησιμοποιήσουμε για να συλλέξουμε αποτυπώματα. Στη συνέχεια φαίνονται δυο εικόνες, μια με το κυρίως πρόγραμμα και μια με το μενού επιλογών του προγράμματος.

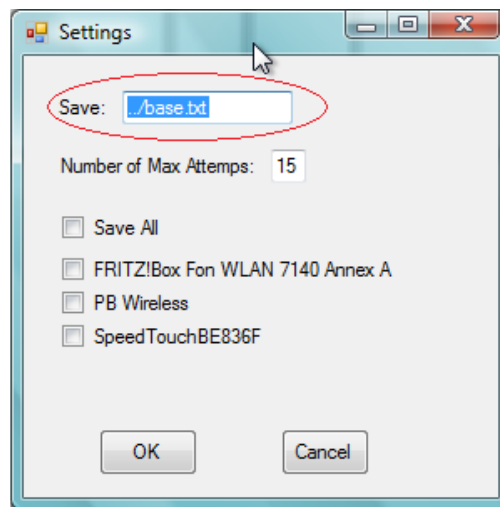


Εικόνα 7 – Πρόγραμμα συλλογής αποτυπωμάτων



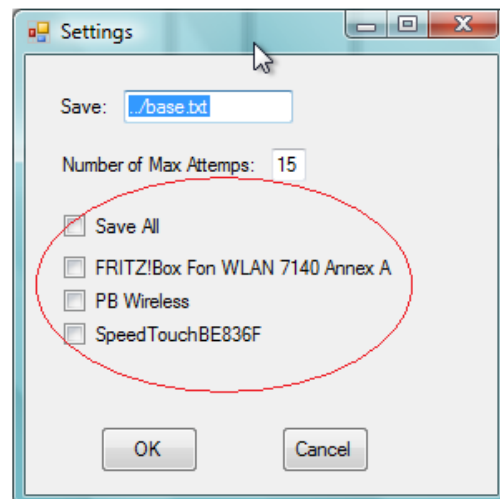
Εικόνα 8 – Παράθυρο μενού επιλογών

Η Εικόνα 7 δείχνει το κύριο παράθυρο ενώ η Εικόνα 8 αποτελεί το μενού παραμέτρων του προγράμματός μας. Θα αρχίσουμε πρώτα να αναλύουμε το μενού επιλογών και στη συνέχεια θα δώσουμε λεπτομέρειες και για το κυρίως παράθυρο. Σε αυτό το μενού έχουμε πρόσβαση από το κουμπί Advanced του κυρίως παραθύρου. Αρχικά το πρόγραμμα αυτό έχει φτιαχτεί για να μαζεύει αποτυπώματα σε έναν χώρο. Τα αποτυπώματα αυτά τα σώζει σε μια βάση δεδομένων. Στη δική μας περίπτωση για λόγους απλοποίησης χρησιμοποιούμε ένα αρχείο κειμένου (text) ως βάση. Το μενού επιλογών επιτρέπει να επιλέξουμε το όνομα του text αρχείου που θα χρησιμοποιηθεί ως βάση. Αν το αρχείο δεν υπάρχει, δημιουργείται ένα νέο, ενώ αν υπάρχει και έχουν γίνει ήδη καταχωρήσεις σε αυτό, τότε οι νέες καταχωρήσεις γράφονται κάτω από τις παλιές. Το σημείο στο οποίο εισάγουμε το όνομα του αρχείου φαίνεται στην παρακάτω εικόνα μέσα σε έναν κόκκινο κύκλο.



Εικόνα 9 – Μονοπάτι αποθήκευσης της βάσης

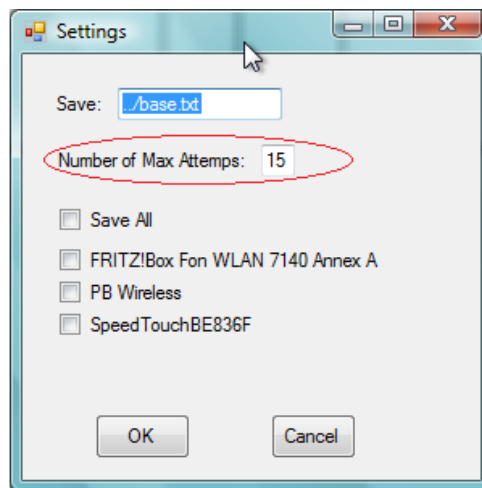
Επίσης, μέσα από το μενού παραμέτρων ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τους ασύρματους κόμβους που θα καταγράφονται. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το σημείο επιλογής.



Εικόνα 10 – Ασύρματοι κόμβοι που θα καταγραφούν

Αυτό το μενού επιλογών δημιουργείται ως εξής: Όταν από το κυρίως παράθυρο καλείται να ανοίξει το μενού επιλογών, γίνεται πρώτα εντοπισμός όλων των δικτύων στο σημείο που βρίσκεται εκείνη τη στιγμή ο χρήστης. Στη συνέχεια αυτά εμφανίζονται με τα

ονόματα των SSID τους και μπορούν να επιλεγθούν από το κουτί που βρίσκεται δίπλα τους. Όταν ο χρήστης πατήσει το κουμπί *ok* δημιουργείται μια λίστα μόνο με τα επιλεγμένα ονόματα SSID και μόνο αυτοί οι ασύρματοι κόμβοι καταγράφονται. Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειώσουμε ότι ενώ στην παραπάνω επιλογή χρησιμοποιούμε τα ονόματα SSID για να προσδιορίσουμε τους επιθυμητούς κόμβους, η λίστα που δημιουργείται περιέχει την MAC address του κάθε κόμβου, και η MAC address καταγράφεται τελικά στη βάση. Στο μενού των παραμέτρων κρίναμε σκόπιμο να χρησιμοποιήσουμε τα SSID των κόμβων ώστε το περιβάλλον να είναι φιλικό προς τον χρήστη, ο οποίος πιο εύκολα θυμάται το SSID των κόμβων παρά τη MAC address τους. Στο μενού αυτό υπάρχει και μια ακόμα επιλογή την οποία δεν έχουμε αναφέρει ακόμη, την επιλογή *save all*. Αν επιλεγθεί η επιλογή αυτή τότε το πρόγραμμα θα καταγράψει όλους τους ασύρματους κόμβους, τους οποίους θα εντοπίσει. Η διαφορά της από το να επιλεγθούν όλα τα ασύρματα δίκτυα που φαίνονται στο μενού επιλογών είναι η ακόλουθη: το τρέχον σημείο που βρίσκεται ο χρήστης και προσπαθεί να παραμετροποιήσει το πρόγραμμά του μπορεί να μην βρίσκεται εντός της εμβέλειας όλων των ασυρμάτων κόμβων που υπάρχουν σε ολόκληρο το χώρο λήψης αποτυπωμάτων. Έτσι, προκειμένου να αποφευχθεί η συνεχής παραμετροποίηση του προγράμματος για μεγάλους χώρους, προσθέσαμε και την επιλογή αυτή.



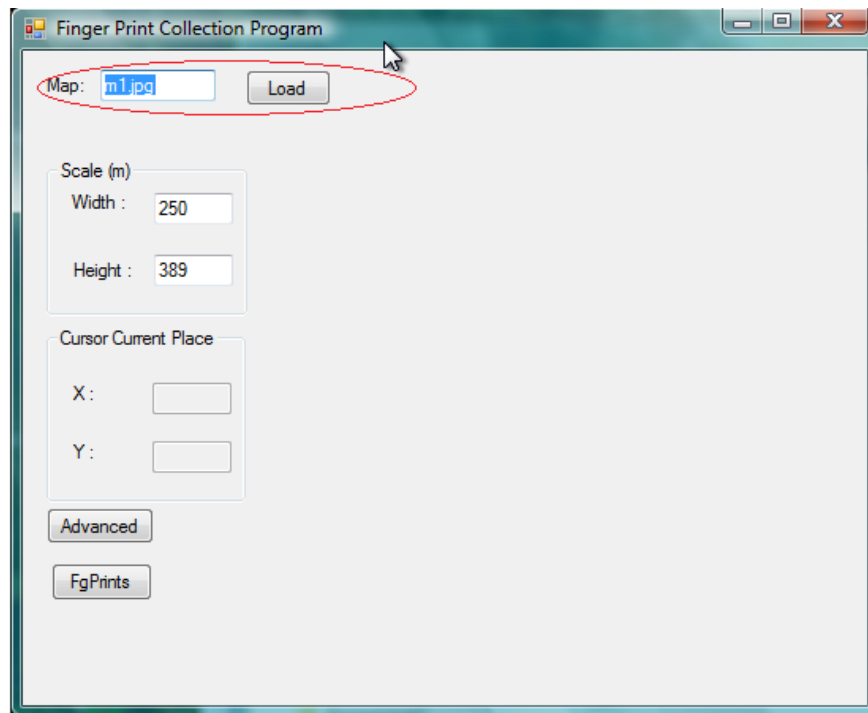
Εικόνα 11 – Αριθμός μέγιστων προσπαθειών

Τέλος, η τελευταία επιλογή που απομένει να περιγράψουμε στο μενού αυτό είναι η *number of max attempts*. Για να εξηγήσουμε ακριβώς τη λειτουργία αυτής της επιλογής, πρέπει πρώτα να δώσουμε κάποιες λεπτομέρειες του αλγορίθμου καταγραφής. Ο αλγόριθμος αυτός δεν είναι τίποτα άλλο παρά ένας επαναληπτικός βρόχος που εντοπίζει και καταγράφει τους «ορατούς» ασύρματους κόμβους. Στην αρχή κάθε επανάληψης γίνεται *scan* για να εντοπιστούν οι ασύρματοι κόμβοι που είναι «ορατοί». Στη συνέχεια, ελέγχεται ποιοι από αυτούς τους κόμβους υπάρχουν στη λίστα προς καταγραφή και για αυτούς που υπάρχουν κρατούνται οι τιμές της ισχύος λήψης του σήματός τους σε έναν πίνακα. Ο βρόχος αυτός επαναλαμβάνεται μέχρι να μαζέψει αρκετά δείγματα για κάθε ασύρματο κόμβο. Τον αριθμό των δειγμάτων τον ρυθμίζουμε εμείς. Όπως έχουμε αναφέρει παραπάνω χρησιμοποιούμε δυο προσανατολισμούς και κρατάμε πέντε δείγματα για τον καθένα, άρα σύνολο δέκα δείγματα. Ο αλγόριθμος έχει ρυθμιστεί όταν μαζέψει αρκετά δείγματα (στη δική μας περίπτωση πέντε) για κάθε επιθυμητό ασύρματο κόμβο προς τη μια διεύθυνση στη συνέχεια να παγώνει και να πετάει ένα ενημερωτικό μήνυμα στον χρήστη για να αλλάξει διεύθυνση και να πατήσει *ok* για να συνεχιστεί η συλλογή. Συνεπώς, με όλα όσα έχουμε αναφέρει ο αλγόριθμος αυτός έχει συνθήκη να τελειώνει όταν μαζέψει όλα τα δείγματα μετρήσεων για κάθε κόμβο.

Δεδομένου ότι σε κάθε επανάληψη λαμβάνουμε και ένα δείγμα για κάθε κόμβο που ψάχνουμε, ο αριθμός των επαναλήψεων που πρέπει να κάνει ο αλγόριθμος είναι πεπερασμένος. Όμως, αυτό που παρατηρήσαμε στη συμπεριφορά της λίστας που μας επιστρέφει το λειτουργικό μας σύστημα, και περιέχει όλα τα ασύρματα δίκτυα που εντόπισε η ασύρματη κάρτα δικτύου, είναι ότι οι εγγραφές που περιέχει διαφέρουν σε κάθε επανάληψη του βρόχου αν και ο υπολογιστής μας έχει παραμείνει ακριβώς στο ίδιο σημείο. Οι ασύρματοι κόμβοι που συνήθως δεν εντοπίζονται σε κάθε επανάληψη είναι αυτοί που έχουν πολύ χαμηλή ισχύ σήματος στο σημείο που βρισκόμαστε. Αυτή η συμπεριφορά της λίστας που μας επιστρέφει το λειτουργικό μας σύστημα δημιουργεί το εξής πρόβλημα: Εφόσον ένας κόμβος έχει πολύ χαμηλή ισχύ και μπορέσει να εντοπιστεί μόνο στην πρώτη επανάληψη και σε καμία άλλη, ο βρόχος μας θα κολλήσει και θα προσπαθεί να μαζέψει αρκετά δείγματα μετρήσεων και γι' αυτόν τον κόμβο. Γι' αυτό το λόγο, στον έλεγχο για έξοδο από το βρόχο του αλγορίθμου μας έχουμε βάλει δυο συνθήκες. Η πρώτη βέβαια είναι όλοι οι κόμβοι να έχουν μαζέψει τα απαραίτητα δείγματα μετρήσεων. Η δεύτερη είναι ο βρόχος να έχει ξεπεράσει κάποιο μέγιστο αριθμό επαναλήψεων. Αυτός ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων είναι ο `num of max attempts` και καθορίζεται στο αντίστοιχο πεδίο του μενού παραμέτρων (Εικόνα 11). Η χρήση του είναι απαραίτητη ώστε ο αλγόριθμος να μην κολλάει δεδομένου ότι το παραπάνω σενάριο δεν είναι σπάνιο να εμφανιστεί.

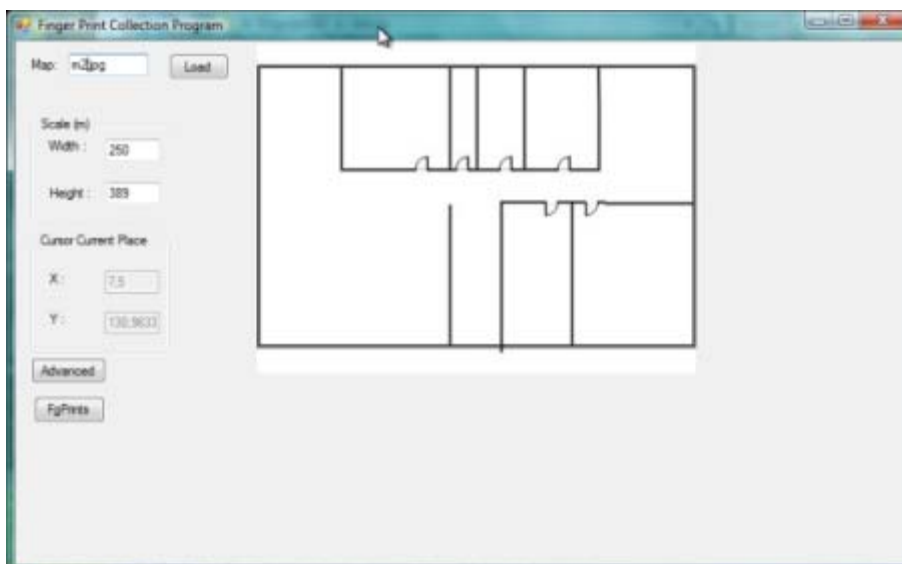
Έπειτα, αφού τελειώσει με το βρόχο συλλογής και έχει μαζέψει τα απαραίτητα δείγματα μετρήσεων για τους επιθυμητούς ασύρματους κόμβους, ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί τον πίνακα καταγραφής του καθενός ασύρματου κόμβου και υπολογίζει το μέσο όρο της ισχύος του σήματος από τα δείγματα. Τον μέσο όρο μαζί με την MAC address του κάθε κόμβου, τα καταγράφει στο αρχείο βάσης. Συνολικά, ο αλγόριθμος για κάθε ένα σημείο καταγράφει στο αρχείο βάσης τη MAC address μαζί με την μέση τιμή της ισχύος λήψης του σήματος για κάθε επιθυμητό ασύρματο κόμβο που εντόπισε και τις συντεταγμένες του σημείου αυτού.

Στη συνέχεια προχωρούμε στην ανάλυση του κυρίως παραθύρου. Το πρώτο πράγμα που μας ενδιαφέρει στην εφαρμογή μας είναι να φορτώσουμε την κάτοψη του χώρου που θέλουμε να μαζέψουμε τα αποτυπώματα. Το όνομα του χάρτη, ο οποίος είναι μια απλή εικόνα, το εισάγουμε στο πεδίο `map`. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται σε έναν κύκλο.



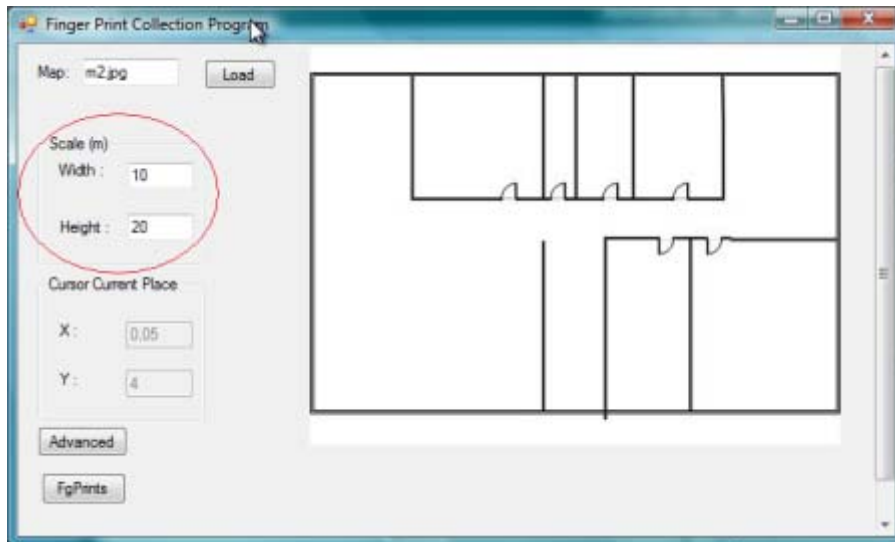
Εικόνα 12 – Φόρτωση χάρτη

Πατώντας το κουμπί load που βρίσκεται ακριβώς δίπλα ο χάρτης φορτώνεται στο παράθυρο. Πρέπει να σημειώσουμε ότι η εικόνα του χάρτη δεν είναι απαραίτητο να βρίσκεται στον ίδιο φάκελο με το πρόγραμμα, αρκεί στο πεδίο να υπάρχει εκτός από το όνομα αρχείου και το πλήρες μονοπάτι αυτού. Στη συνέχεια παραθέτουμε μια εικόνα με φορτωμένη μια κάτοψη.



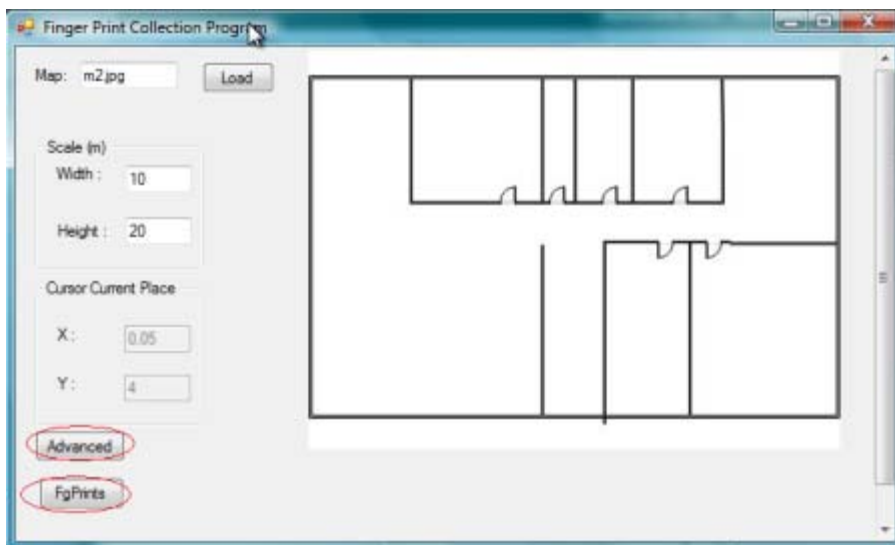
Εικόνα 13 - Εισαγωγή κάτοψης

Αφού φορτώσαμε την κάτοψη στο παράθυρό μας πρέπει να δώσουμε τις πραγματικές της διαστάσεις. Αυτές τις βάζουμε στα πεδία width και height και τις παραθέτουμε σε μέτρα.

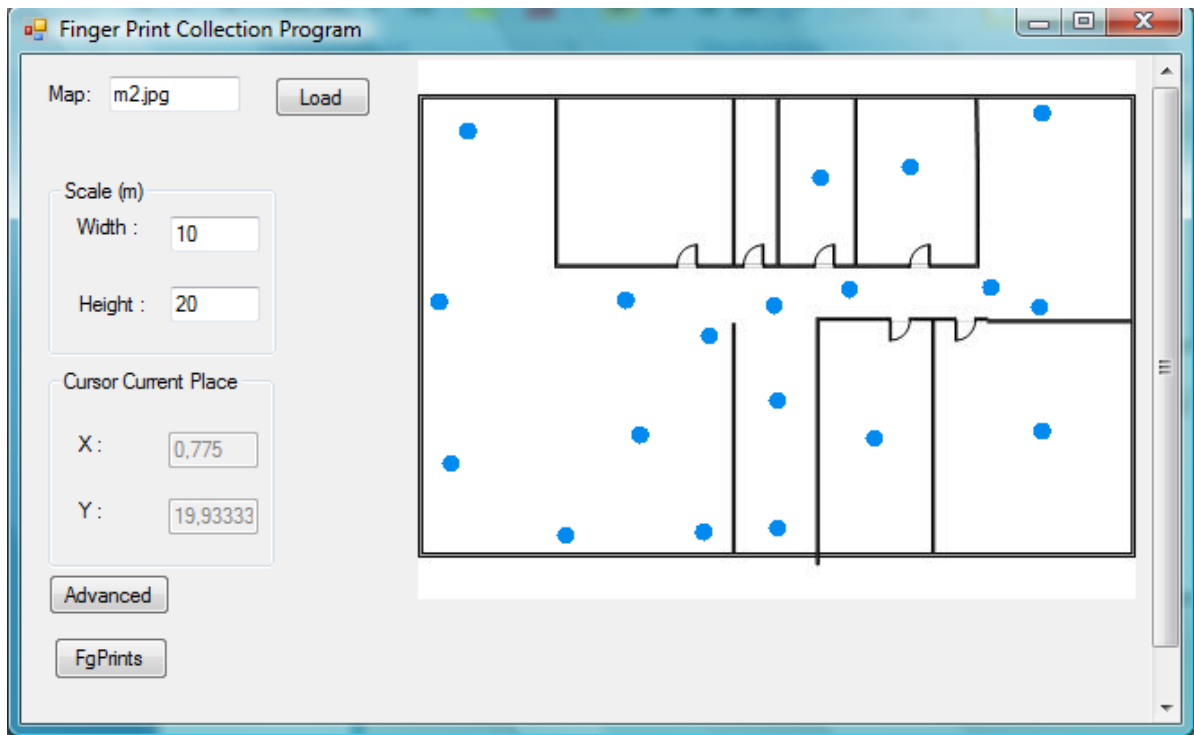


Εικόνα 14 - Πραγματικό μήκος και πλάτος χάρτη

Τέλος, ας σχολιάσουμε τη λειτουργία των δυο κουμπιών στο κάτω μέρος (βλ. Εικόνα 15). Το κουμπί Advance μας εμφανίζει το παράθυρο με το μενού παραμέτρων που σχολιάσαμε παραπάνω. Το κουμπί FgPrints μας εμφανίζει με κουκίδες πάνω στην κάτοψη του χώρου τα σημεία όπου υπάρχουν αποτυπώματα (βλ. Εικόνα 16).

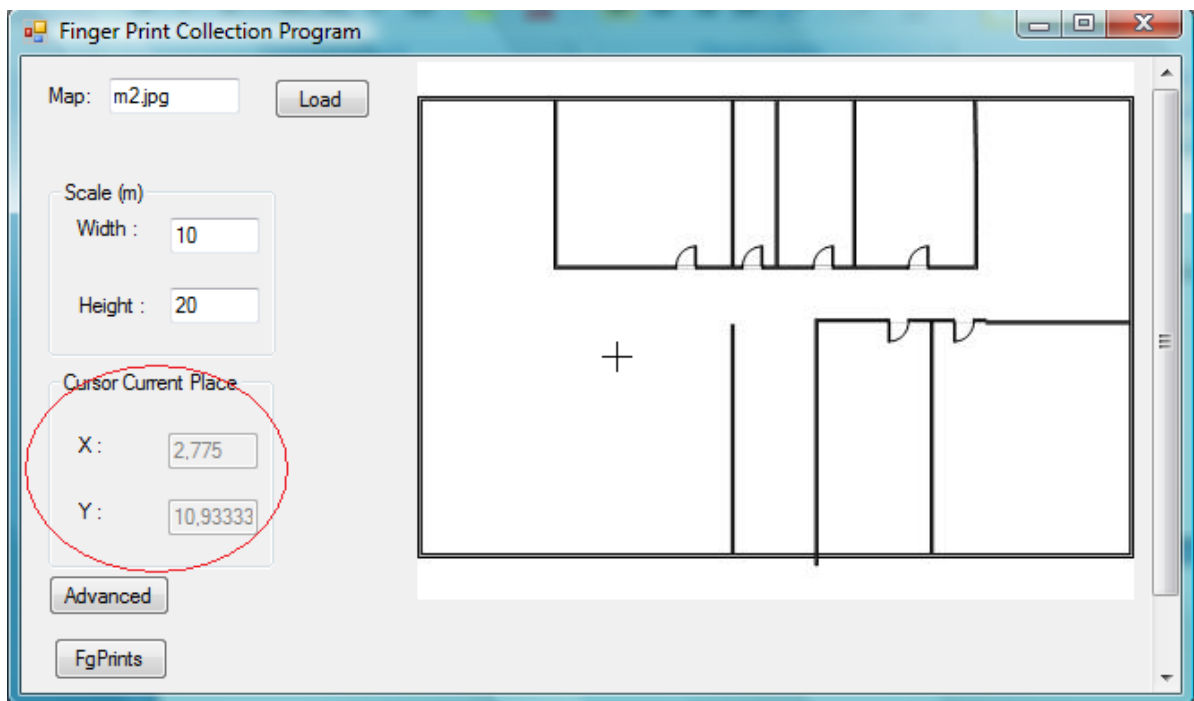


Εικόνα 15 - Κουμπιά μενού προγράμματος



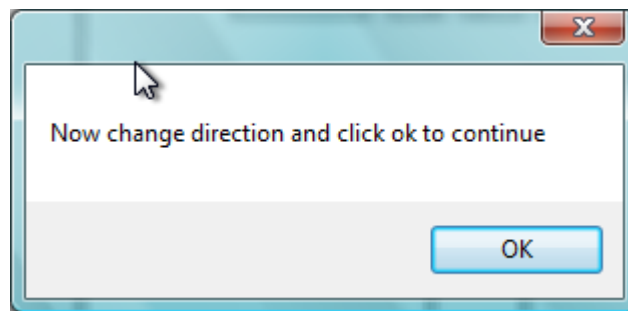
Εικόνα 16 - Αποτυπώματα

Η διαδικασία λήψης μετρήσεων είναι η εξής: Πλοηγώντας τον κέρσορα πάνω από την κάτοψη παρατηρούμε ότι αλλάζει σχήμα και από βέλος γίνεται σταυρός. Παράλληλα στα πεδία x, y φαίνονται οι πραγματικές συντεταγμένες του κέρσορα σε μέτρα.



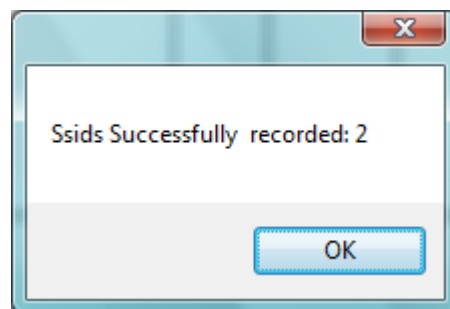
Εικόνα 17 - Θέση κέρσορα

Αφού τοποθετήσουμε τον κέρσορα στο σημείο της κάτοψης όπου βρισκόμαστε κάνουμε κλικ με το ποντίκι και αρχίζει η καταγραφή. Όταν μαζευτούν αρκετά δείγματα για την μια κατεύθυνση εμφανίζεται στο χρήστη το παρακάτω διαγνωστικό μήνυμα.



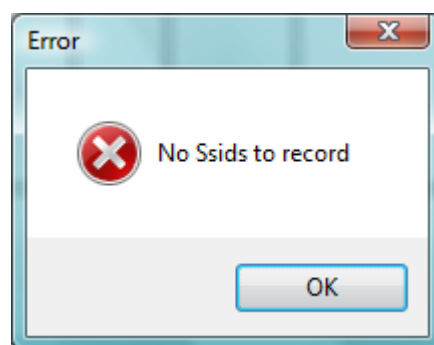
Εικόνα 18 - Αλλαγή προσανατολισμού

Αφού συλλεχτούν όλα τα δείγματα και καταγραφούν στο αρχείο βάσης, το πρόγραμμα εμφανίζει στο χρήστη ένα διαγνωστικό μήνυμα με τον αριθμό των ασυρμάτων κόμβων που καταγράφηκαν



Εικόνα 19 - Επιτυχείς εγγραφές

Σε περίπτωση που δεν έχει επιλεγθεί κανένας ασύρματος κόμβος για να καταγραφεί όταν ο χρήστης προσπαθήσει να κάνει καταγραφή του εμφανίζεται το παρακάτω διαγνωστικό μήνυμα.



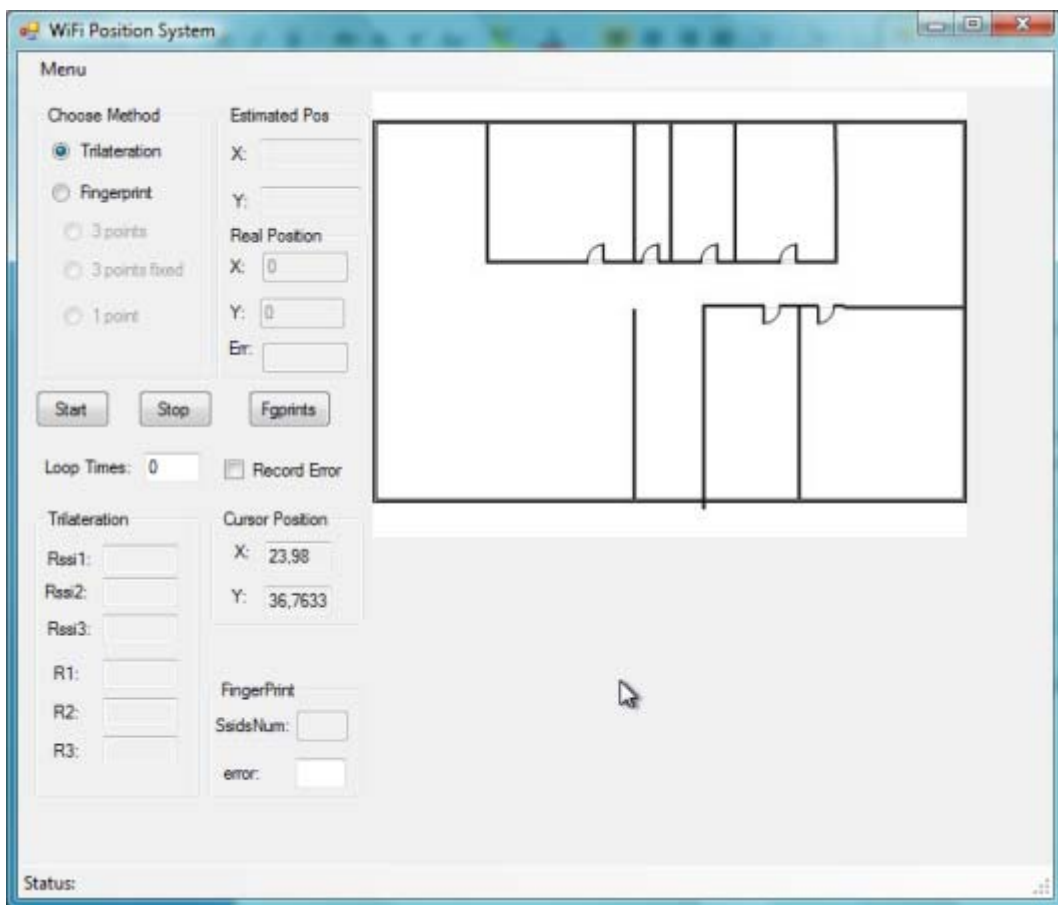
Εικόνα 20 - Μήνυμα λάθους

Σε περίπτωση που η ασύρματη κάρτα δικτύου δεν είναι ενεργοποιημένη ή αν για κάποιο άλλο λόγο δεν επιτευχθεί σωστός εντοπισμός των ασύρματων δικτύων το πρόγραμμα εμφανίζει στο χρήστη ανάλογα διαγνωστικά μηνύματα.

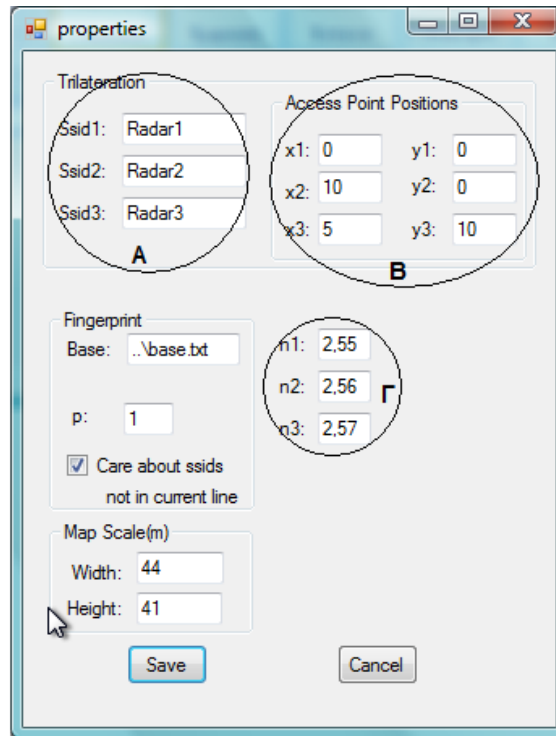
Στο σημείο αυτό τελειώσαμε με την περιγραφή της εφαρμογής συλλογής αποτυπωμάτων και θα συνεχίσουμε με την περιγραφή της εφαρμογής που υλοποιεί τους αλγορίθμους εντοπισμού θέσης.

5.2 Λογισμικό υλοποίησης αλγορίθμων εντοπισμού θέσης

Όπως φαίνεται και στις 2 επόμενες εικόνες και αυτό το πρόγραμμα αποτελείται από δύο παράθυρα. Το πρώτο είναι το κύριο παράθυρο της εφαρμογής, ενώ το δεύτερο είναι το παράθυρο όπου γίνεται η παραμετροποίηση. Κρίνουμε σκόπιμο να αρχίσουμε πάλι την περιγραφή μας από το παράθυρο παραμετροποίησης.

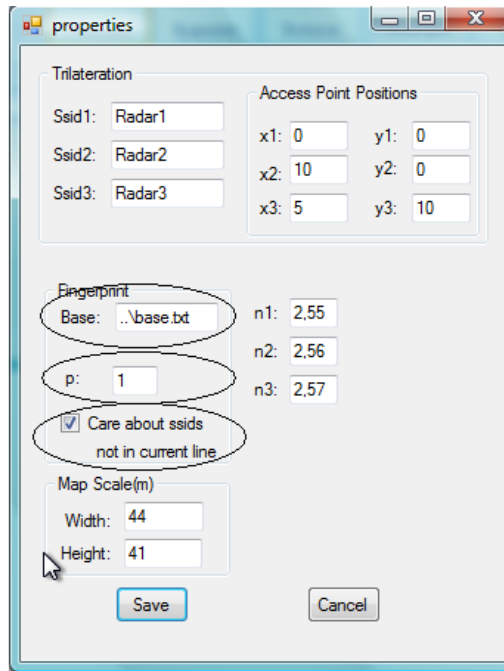


Εικόνα 21 - Εφαρμογή εντοπισμού θέσης



Εικόνα 22 - Μενού επιλογών Τριγωνισμού

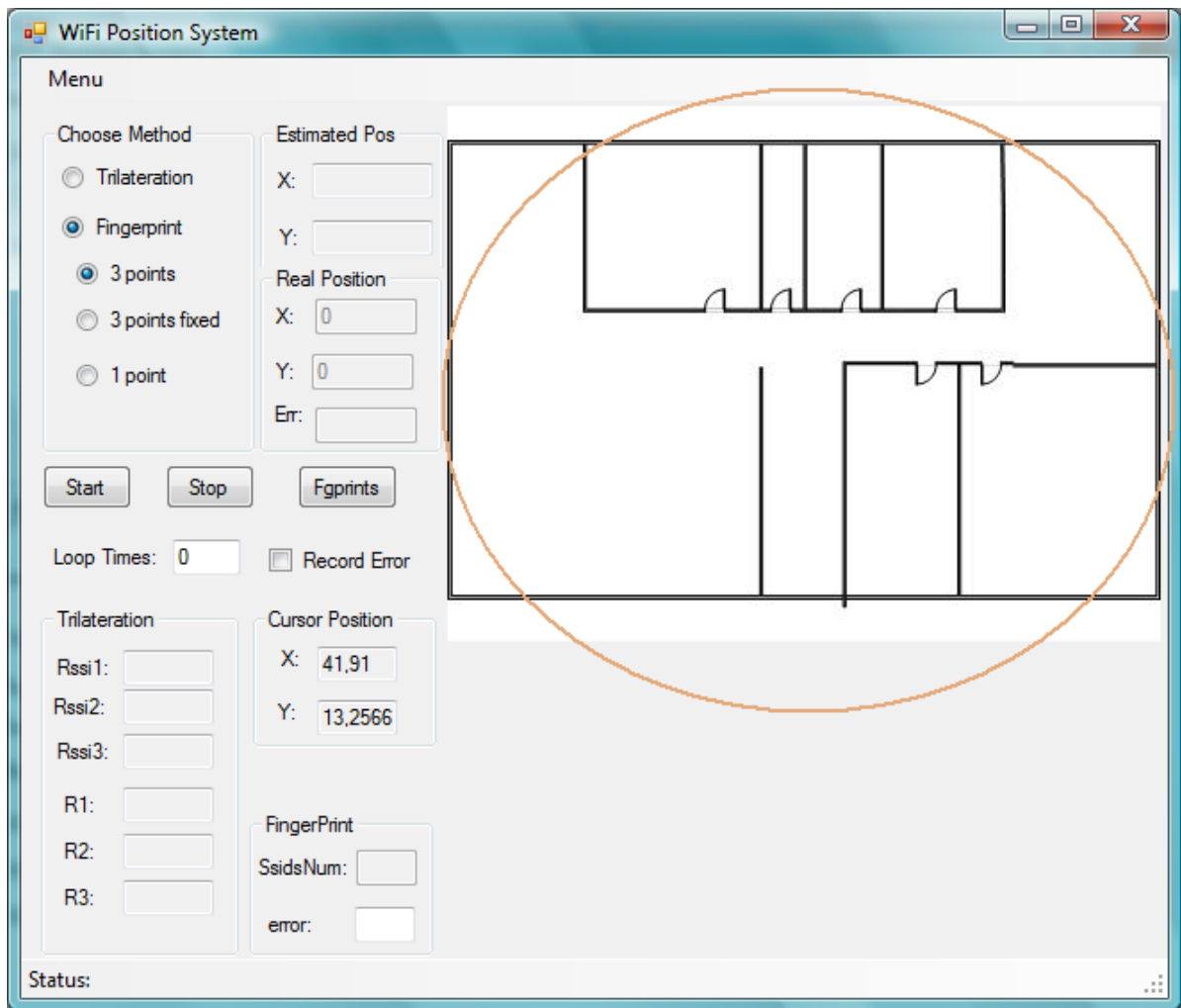
Αρχικά, για τη μέθοδο τριγωνισμού συμπληρώνουμε τα SSID των τριών ασύρματων κόμβων που θα χρησιμοποιήσουμε. Τα τρία κουτιά κειμένου που αντιστοιχούν στα ονόματα αυτά φαίνονται στην Εικόνα 22 στον κύκλο Α. Στη συνέχεια συμπληρώνουμε τις συντεταγμένες των τριών ασύρματων κόμβων στα πεδία που φαίνονται στην ίδια εικόνα στον κύκλο Β. Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειώσουμε ότι οι συντεταγμένες που βάζουμε είναι οι πραγματικές συντεταγμένες των ασύρματων κόμβων σε μέτρα. Τέλος, συμπληρώνουμε τα πεδία για τους εκθέτες απωλειών για καθένα από τους τρεις ασύρματους κόμβους όπου φαίνονται στον κύκλο Γ της ίδιας εικόνας. Αυτή είναι και η τελευταία παραμετροποίηση που πρέπει να γίνει για τη μέθοδο τριγωνισμού. Τα επόμενα πεδία αναφέρονται στη μέθοδο αποτυπωμάτων και στην κλίμακα του χάρτη.



Εικόνα 23 - Μενού επιλογών μεθόδου αποτυπωμάτων

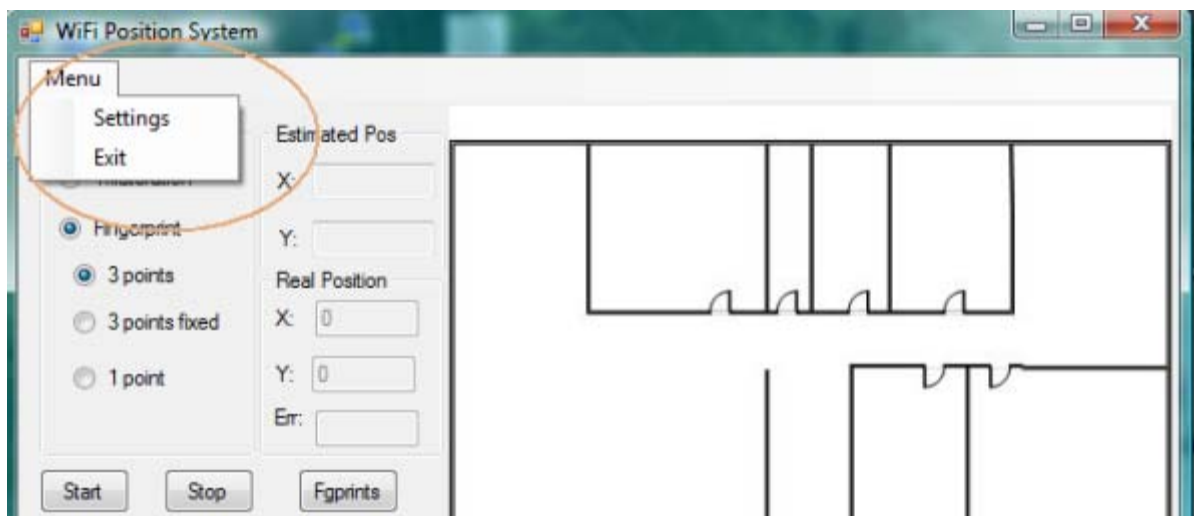
Για τη μέθοδο των αποτυπωμάτων η πρώτη παράμετρος που εισάγουμε είναι το όνομα του αρχείου της βάσης και το πεδίο που το βάζουμε ονομάζεται Base και βρίσκεται σε κύκλο στην Εικόνα 23. Μια δεύτερη παράμετρος είναι ο εκθέτης p , ο οποίος χρησιμοποιείται στον τύπο υπολογισμού του λάθους που περιγράφεται από τη σχέση (7). Επίσης, φαίνεται κυκλωμένος στην Εικόνα 23. Μια τελευταία παράμετρος είναι το να επιλέξουμε τι θα συμβαίνει με τα ssids που δεν βρίσκονται καταγεγραμμένα στη βάση. Και αυτή η επιλογή φαίνεται σε κύκλο στην Εικόνα 23. Περισσότερες λεπτομέρειες για το σενάριο αυτό έχουν δοθεί στο κεφάλαιο 5. Το μόνο που πρέπει να προσθέσουμε είναι ότι αν η επιλογή δεν είναι τσεκαρισμένη οι μη καταγεγραμμένοι ασύρματοι κόμβοι που εντοπίζονται αγνοούνται τελείως. Σε αντίθετη περίπτωση ακολουθείται η προσέγγιση που δόθηκε παραπάνω για τον υπολογισμό του λάθους.

Τέλος, πρέπει να εισαχθούν και οι πραγματικές διαστάσεις σε μέτρα του χάρτη που χρησιμοποιούμε. Αυτή η παράμετρος είναι ήδη γνωστή, καθώς υπάρχει ακριβώς η ίδια και στο πρόγραμμα συλλογής αποτυπωμάτων. Τα πεδία όπου συμπληρώνεται το πραγματικό μήκος και πλάτος του χάρτη που θα χρησιμοποιήσουμε βρίσκονται στη φόρμα ομαδοποίησης Map Scale και μπορούμε να τα δούμε στην Εικόνα 23. Σε αυτό το σημείο τελειώσαμε την περιγραφή του μενού παραμετροποίησης και θα συνεχίσουμε με την περιγραφή του κυρίως μενού της εφαρμογής. Πρώτα θα εξηγήσουμε όλα τα πεδία που υπάρχουν στο κυρίως παράθυρο και στη συνέχεια θα δώσουμε και κάποιες λεπτομέρειες για τη διαδικασία του πειράματος.



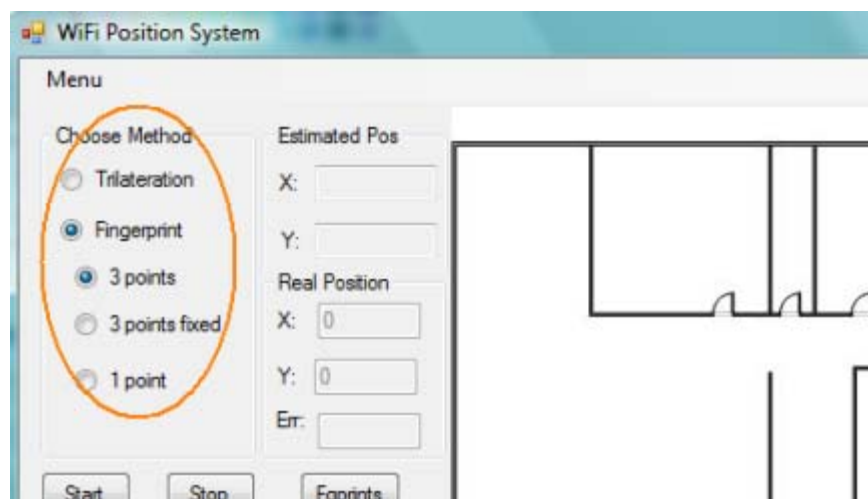
Εικόνα 24 - Χάρτης

Στα δεξιά του παραθύρου αυτού φαίνεται η κάτοψη πάνω στην οποία θα γίνει ο εντοπισμός θέσης του χρήστη μέσα σε έναν κύκλο. Στα αριστερά του παραθύρου μπορεί ο χρήστης να κάνει επιλογή της επιθυμητής μεθόδου και να δει τα αποτελέσματα. Στη συνέχεια θα περιγράψουμε ένα-ένα τα πεδία αυτά.



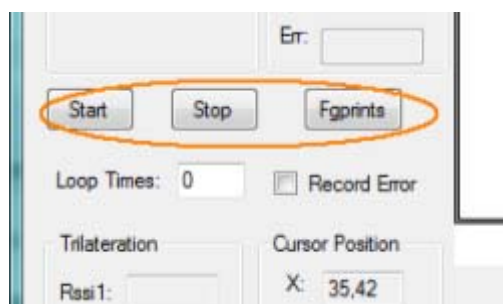
Εικόνα 25 - Είσοδος στο μενού επιλογών

Το μενού που περιέχει η εφαρμογή μας φαίνεται στην παραπάνω εικόνα σε κύκλο. Οι δύο επιλογές που προσφέρει το μενού είναι η Settings και η Exit. Με την πρώτη επιλογή μπορεί κανείς να ανοίξει το παράθυρο παραμετροποίησης που περιγράψαμε παραπάνω. Με την δεύτερη, τερματίζει την εφαρμογή. Να σημειώσουμε ότι δεν επιτρέπεται έξοδος από την εφαρμογή κατά τη διάρκεια εκτέλεσης κάποιου από τους αλγορίθμους.



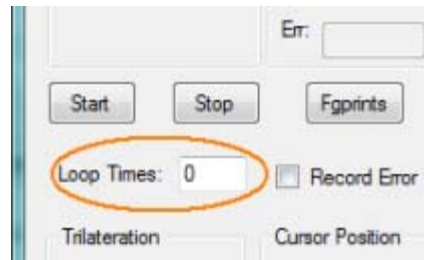
Εικόνα 26 - Επιλογή μεθόδου

Στην παραπάνω εικόνα φαίνονται τα πεδία όπου ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τον αλγόριθμο που επιθυμεί να τρέξει. Μάλιστα, για την μέθοδο των αποτυπωμάτων ο χρήστης καλείται να επιλέξει μία από τις τρεις προσεγγίσεις που περιγράψαμε παραπάνω.



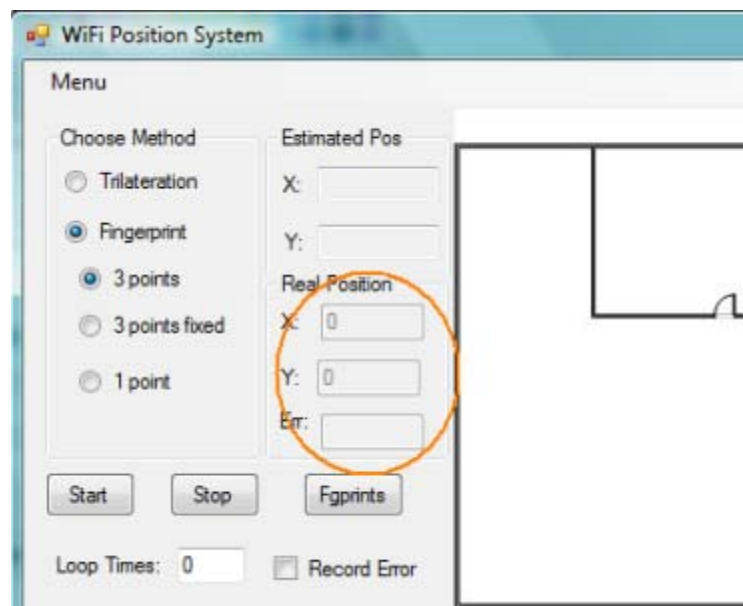
Εικόνα 27 - Κουμπιά Εκκίνησης

Αφού ο χρήστης επιλέξει μέθοδο, μπορεί με τα κουμπιά ακριβώς από κάτω να αρχίσει την εκτέλεσή της. Πιο συγκεκριμένα, η εφαρμογή έχει τρία κουμπιά που φαίνονται στην παραπάνω εικόνα σε έναν κύκλο. Το start και το stop αρχίζουν και τερματίζουν τον επιλεγμένο αλγόριθμο. Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν επιτρέπεται η αλλαγή αλγορίθμου ή η αλλαγή παραμέτρων στο παράθυρο παραμετροποίησης κατά τη διάρκεια εκτέλεσης ενός αλγορίθμου. Το τρίτο κουμπί είναι επίσης γνωστό από το πρόγραμμα συλλογής αποτυπωμάτων. Το κουμπί Fgprints εμφανίζει με κουκίδες πάνω στην κάτοψη του χώρου τα σημεία όπου υπάρχουν αποτυπώματα.



Εικόνα 28 - Επιλογή αριθμού επαναλήψεων

Μια ακόμα ρύθμιση που μπορεί να κάνει ο χρήστης και το πεδίο της φαίνεται στην παραπάνω εικόνα σε κύκλο είναι η loop times. Αυτή η ρύθμιση ορίζει πόσες επαναλήψεις θα κάνει ο επιλεγμένος αλγόριθμος, δηλαδή πόσες τιμές θα επιστρέψει ως εκτίμηση του σημείου που βρίσκεται ο χρήστης. Εάν ο χρήστης σε αυτό το πεδίο βάλει την τιμή μηδέν, τότε ο επιλεγμένος αλγόριθμος δεν σταματάει τις επαναλήψεις, έως ότου ο χρήστης πατήσει το κουμπί stop. Εάν ο χρήστης βάλει κάποιο άλλο αριθμό, ο αλγόριθμος θα εκτελέσει πεπερασμένο αριθμό επαναλήψεων. Σε αυτή την περίπτωση το κουμπί stop απενεργοποιείται. Έτσι, μπορούμε και να τρέχουμε σε πραγματικό χρόνο τον αλγόριθμό μας, αλλά και να επιλέγουμε συγκεκριμένο αριθμό επαναλήψεων ώστε να μαζεύουμε στατιστικά στοιχεία.



Εικόνα 29 - Ένδειξη πραγματικής θέσης και απόκλισης

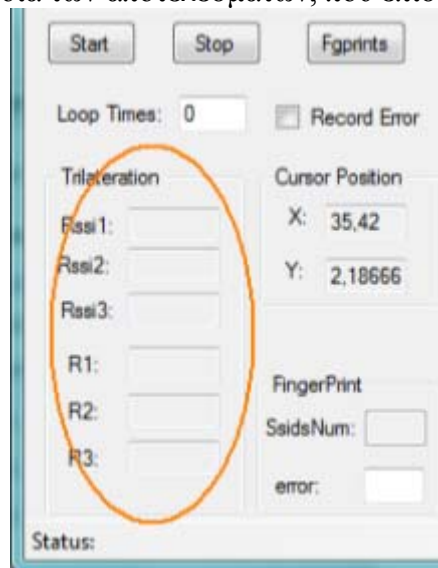
Μια ακόμα επιλογή που μπορεί να κάνει ο χρήστης είναι να επιλέξει την πραγματική θέση στην οποία βρίσκεται. Αυτό το πεδίο το προσθέσαμε ώστε να μπορούμε να κρατήσουμε στατιστικά στοιχεία για την απόκλιση που παρουσιάζεται μεταξύ πραγματικής και εκτιμώμενης θέσης. Μάλιστα, οι συντεταγμένες της πραγματικής θέσης εισάγονται από τον χρήστη με ένα απλό κλικ πάνω στο σημείο που βρίσκεται πάνω στην κάτωψη.



Εικόνα 30 - Θέση κέρσορα

Τα δυο πεδία που είναι κυκλωμένα στην παραπάνω εικόνα είναι γνωστά από την εφαρμογή συλλογής αποτυπωμάτων. Απεικονίζουν τις πραγματικές συντεταγμένες (σε μέτρα) του κέρσορα, όταν αυτός βρίσκεται πάνω στην πρόσοψη. Αυτή η επιλογή διευκολύνει τη συμπλήρωση της πραγματικής θέσης και της θέσης των ασύρματων κόμβων που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο τριγωνισμού. Ως πραγματική θέση ορίζουμε την θέση στην οποία βρίσκεται πραγματικά ο χρήστης και την εισάγουμε εμείς στο πρόγραμμα ώστε να μπορέσουμε να έχουμε και υπολογισμό της απόκλισης μεταξύ της πραγματικής θέσης στην οποία βρισκόμαστε πάνω στην κάτοψη και της θέσης την οποία επέστρεψε ο αλγόριθμος που τρέξαμε.

Ας δούμε τώρα τα πεδία των αποτελεσμάτων, που επιστρέφουν οι αλγόριθμοι.



Εικόνα 31 - Αποτελέσματα Τριγωνισμού

Τα πεδία που φαίνονται κυκλωμένα στην παραπάνω εικόνα αφορούν τη μέθοδο τριγωνισμού. Τα τρία πρώτα με όνομα Rssi μας δίνουν το μέσο όρο ισχύος των σημάτων των τριών ασύρματων κόμβων αναφοράς. Τα τρία επόμενα μας δείχνουν τις αποστάσεις που υπολογίστηκαν για κάθε ασύρματο κόμβο αναφοράς.

Εικόνα 32 - Αποτελέσματα Fingerprint

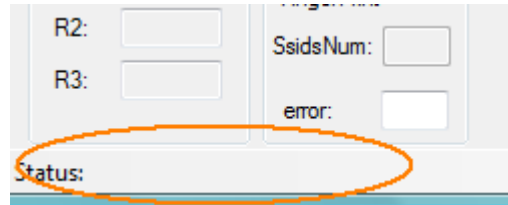
Τα πεδία που είναι κυκλωμένα στην παραπάνω εικόνα αφορούν τις τρεις προσεγγίσεις του αλγόριθμου αποτυπωμάτων. Το πρώτο απεικονίζει τον αριθμό των ασύρματων κόμβων που εντοπίστηκαν και θα χρησιμοποιηθούν στην τρέχουσα επανάληψη. Το δεύτερο συμπληρώνεται με την μικρότερη απόκλιση μεταξύ σημείων της βάσης και τυχαίου σημείου προς υπολογισμό.

Εικόνα 33 - Προσέγγιση σημείου και απόκλισης

Τα τελευταία πεδία που μένει να περιγράψουμε και φαίνονται κυκλωμένα στην παραπάνω εικόνα είναι οι συντεταγμένες της εκτιμώμενης θέσης του χρήστη. Το πεδίο με όνομα err είναι η απόκλιση μεταξύ πραγματικής θέσης και εκτιμώμενου σημείου. Μάλιστα, υπάρχει και η επιλογή αποθήκευσης αυτής της απόκλισης για κάθε επανάληψη του τρέχοντος αλγορίθμου εντοπισμού θέσης. Αυτό μπορεί να γίνει επιλέγοντας το record error που φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.

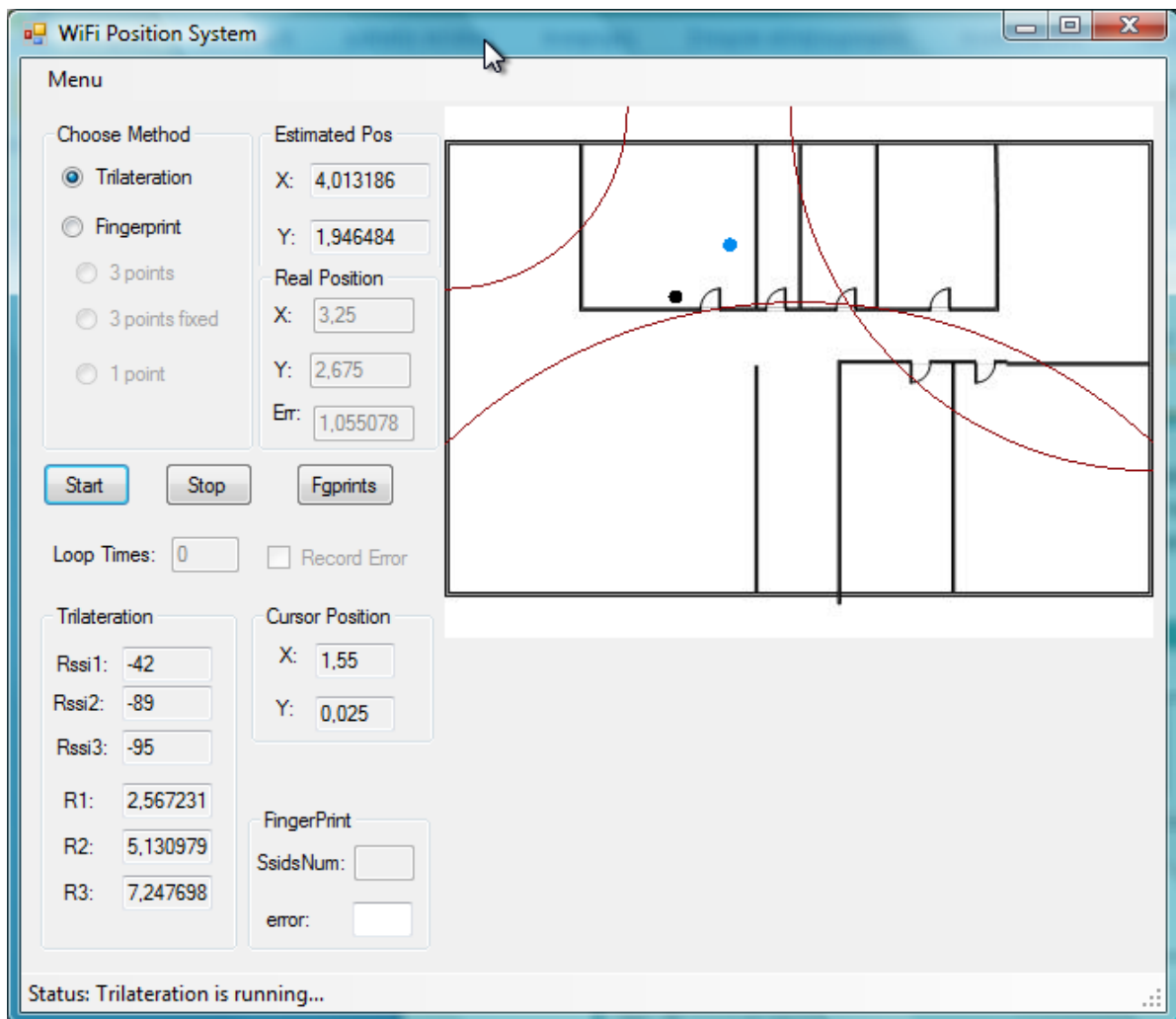
Εικόνα 34 - Εγγραφή

Τέλος, στο κάτω μέρος του παραθύρου υπάρχει μια μπάρα κατάστασης, στην οποία εμφανίζονται διάφορα μηνύματα κατά τη διάρκεια εκτέλεσης ενός αλγορίθμου, όπως: ποιος αλγόριθμος τρέχει, αν υπήρχε κάποιο λάθος κατά την εκτέλεση των αλγορίθμων και στην περίπτωση της μεθόδου αποτυπωμάτων, πόσοι κόμβοι από αυτούς που εντοπίστηκαν στον χώρο είναι καταγεγραμμένοι στη βάση στο σημείο με την ελάχιστη απόκλιση. .



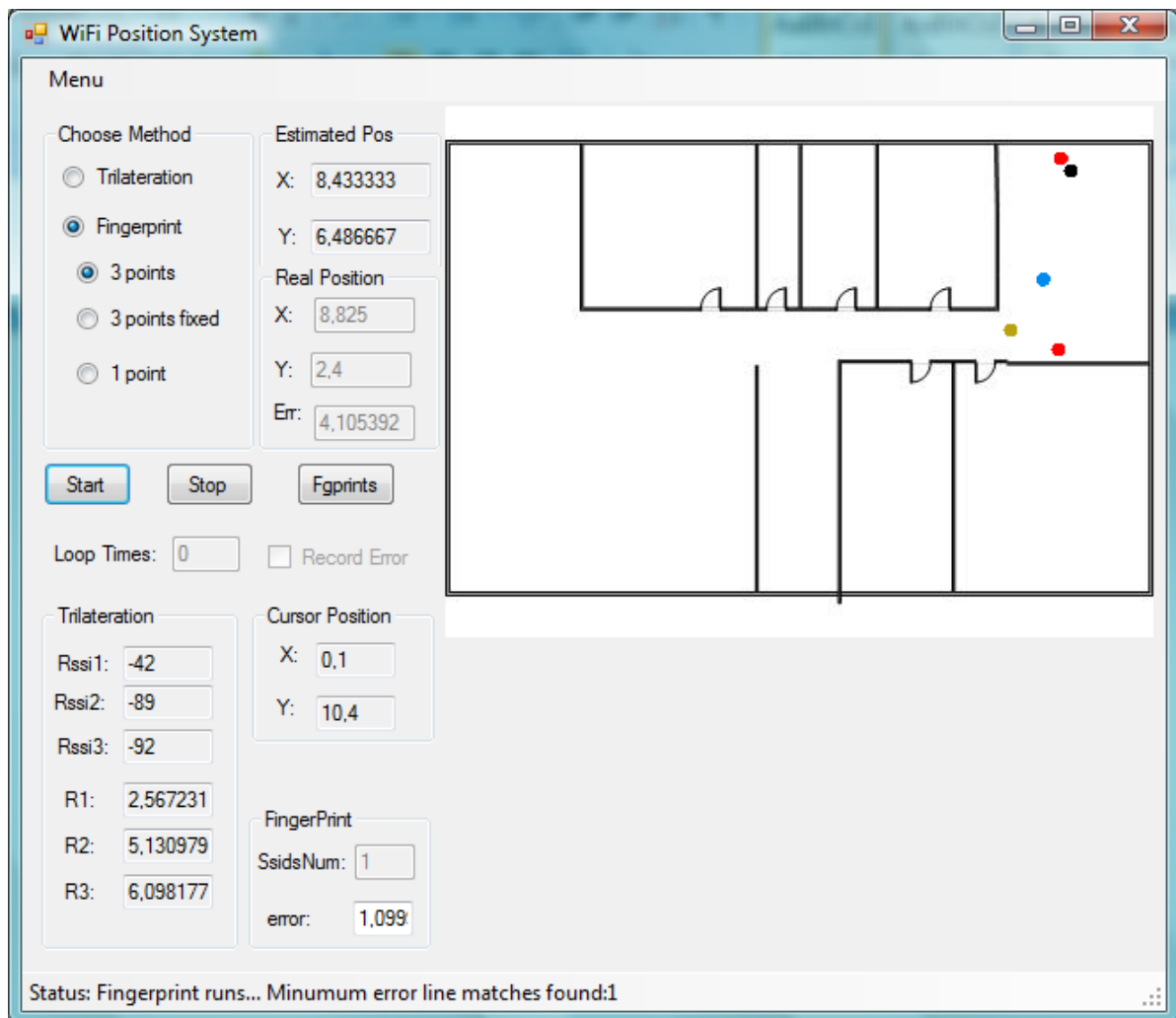
Εικόνα 35 - Status bar

Σε αυτό το σημείο τελειώσαμε την περιγραφή των πεδίων που περιέχει η εφαρμογή μας, και κρίνουμε σκόπιμο να δώσουμε και μερικές λεπτομέρειες για το τι εμφανίζεται για κάθε αλγόριθμο κατά τη διάρκεια εκτέλεσής του. Αρχίζοντας με τη μέθοδο του τριγωνισμού βλέπουμε στη συνέχεια μια εικόνα κατά τη διάρκεια εκτέλεσής της.



Εικόνα 36 - Στιγμιότυπο μεθόδου τριγωνισμού

Στο status αναγράφεται ότι ο αλγόριθμος τριγωνισμού τρέχει. Επιπλέον, βλέπουμε τα αποτελέσματα που έχει τόσο στα πεδία που περιγράψαμε παραπάνω όσο και στην εικόνα της κάτοψης. Όπως βλέπουμε, έχουν εμφανιστεί δυο κουκίδες. Η κουκίδα με το μαύρο χρώμα μας δείχνει την πραγματική θέση που εισήγαγε ο χρήστης. Η θαλασσή κουκίδα μας δείχνει την θέση που προσδιόρισε ο αλγόριθμος. Τέλος, απεικονίζεται και τμήμα των κύκλων με κέντρα τα σταθερά σημεία που έχει προσδιορίσει ο χρήστης και ακτίνες τις τρεις αποστάσεις από τα σταθερά σημεία, όπως υπολογίστηκαν από τον αλγόριθμο.



Εικόνα 37 - Στιγμιότυπο μεθόδου αποτυπωμάτων

Στη συνέχεια, εκτελούμε την παραλλαγή της μεθόδου αποτυπωμάτων που χρησιμοποιεί ως εκτιμώμενη θέση το κέντρο του τριγώνου που σχηματίζουν τα σημεία με τα τρία μικρότερα σφάλματα. Στην Εικόνα 37 απεικονίζονται με μαύρο χρώμα το πραγματικό σημείο που προσδιόρισε ο χρήστης, με θαλασσή το εκτιμώμενο σημείο και με κόκκινο και κίτρινο τα τρία σημεία με το ελάχιστο σφάλμα. Μάλιστα, με κίτρινο χρώμα απεικονίζεται το σημείο με το πιο μικρό σφάλμα. Τα αποτελέσματα για τις άλλες δύο προσεγγίσεις της μεθόδου δεν εμφανίζουν κάποια άλλη ιδιαιτερότητα και γι' αυτό δεν θα παραθέσουμε επιπλέον εικόνες γι' αυτά. Σαν γενικό κανόνα πρέπει να πούμε ότι η κουκίδα με το μαύρο χρώμα για οποιοδήποτε αλγόριθμο είναι η πραγματική θέση του χρήστη και η κουκίδα με το θαλασσή είναι η εκτιμώμενη.

Αφού πλέον περιγράψαμε και τις δυο εφαρμογές που θα χρησιμοποιήσουμε στα πειράματα, προχωρούμε στην εκτέλεσή τους.

6 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

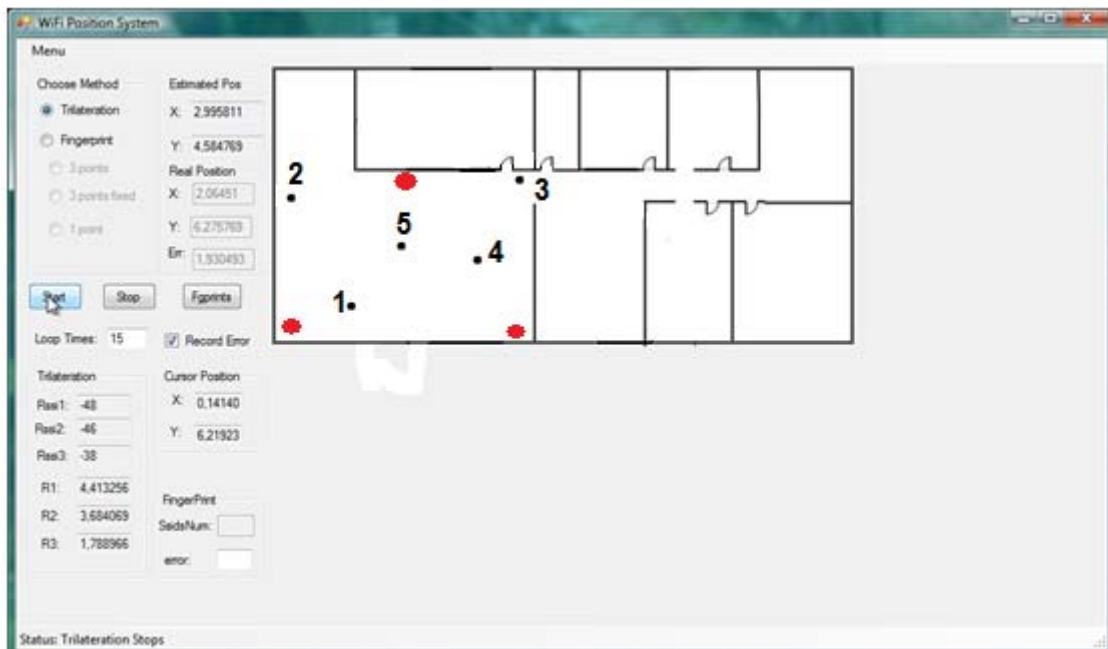
Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα των πειραμάτων και θα αξιολογήσουμε τους εξεταζόμενους αλγορίθμους. Θα πραγματοποιήσουμε πειράματα σε δύο διαφορετικούς χώρους, σε ένα διαμέρισμα και σε ένα χώρο της πολυτεχνειούπολης. Στην πρώτη περίπτωση τα πειράματα θα πραγματοποιηθούν σε εσωτερικό χώρο, ενώ στη δεύτερη θα πραγματοποιηθούν σε εσωτερικούς και αίθριους χώρους της πολυτεχνειούπολης.

6.1 Πρώτος χώρος: Αποτελέσματα μεθόδου τριγωνισμού

Αρχικά, θα εξετάσουμε τα σενάρια εφαρμογής του αλγορίθμου τριγωνισμού. Αυτός ο αλγόριθμος εξετάστηκε ως προς τρία θέματα:

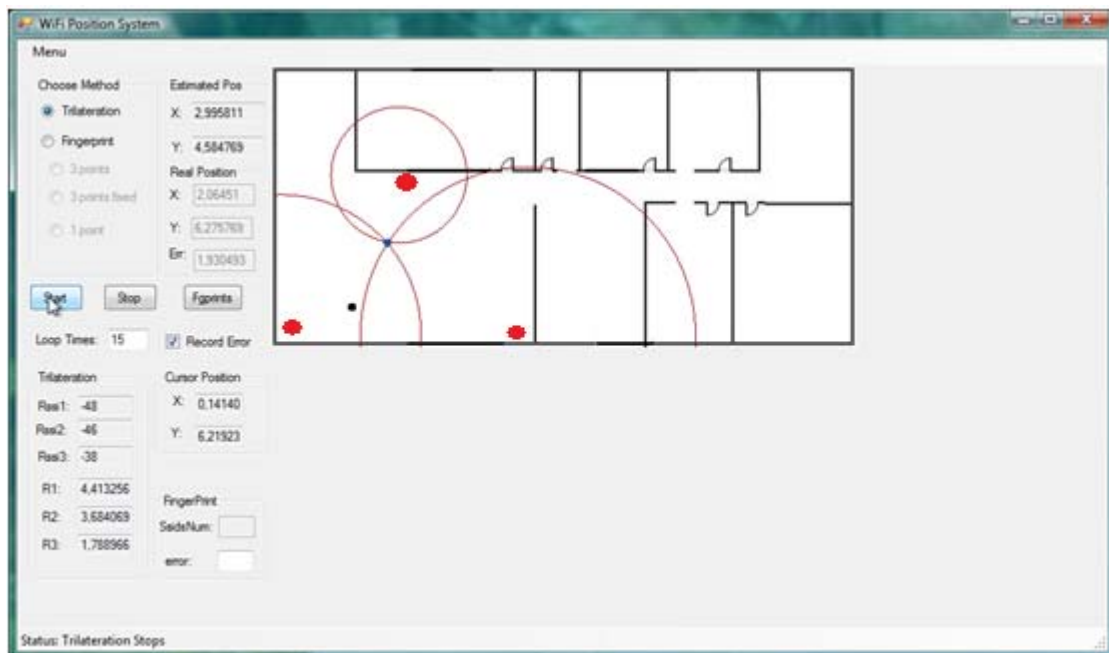
- τη γεωμετρία των σταθερών σημείων,
- τον αριθμό των δειγμάτων που πρέπει να χρησιμοποιήσουμε για να βγάλουμε το μέσο όρο της ισχύ κάθε ασύρματου κόμβου,
- και την τιμή του εκθέτη απωλειών διάδοσης.

Όσον αφορά το πρώτο θέμα χρησιμοποιήσαμε αρχικά μια γεωμετρία ισοσκελούς τριγώνου με πομπούς και δέκτη να έχουν οπτική επαφή. Παρόλα αυτά μέσα στο δωμάτιο υπάρχουν εμπόδια που θα μπορούσαν στιγμιαία να διακόψουν την οπτική επαφή, όπως έπιπλα και κινούμενοι άνθρωποι. Διαλέξαμε πέντε σημεία στο διαθέσιμο περιορισμένο χώρο και για κάθε σημείο καταγράψαμε 15 προσεγγίσεις, την πρώτη φορά με αριθμό δειγμάτων δέκα και τη δεύτερη φορά με αριθμό δειγμάτων πενήντα. Με αυτόν τον τρόπο θα συγκρίνουμε αρχικά τον καταλληλότερο αριθμό δειγμάτων. Στην επόμενη εικόνα απεικονίζεται η θέση των πομπών και τα πέντε σημεία στα οποία εφαρμόστηκε η μέθοδος τριγωνισμού.

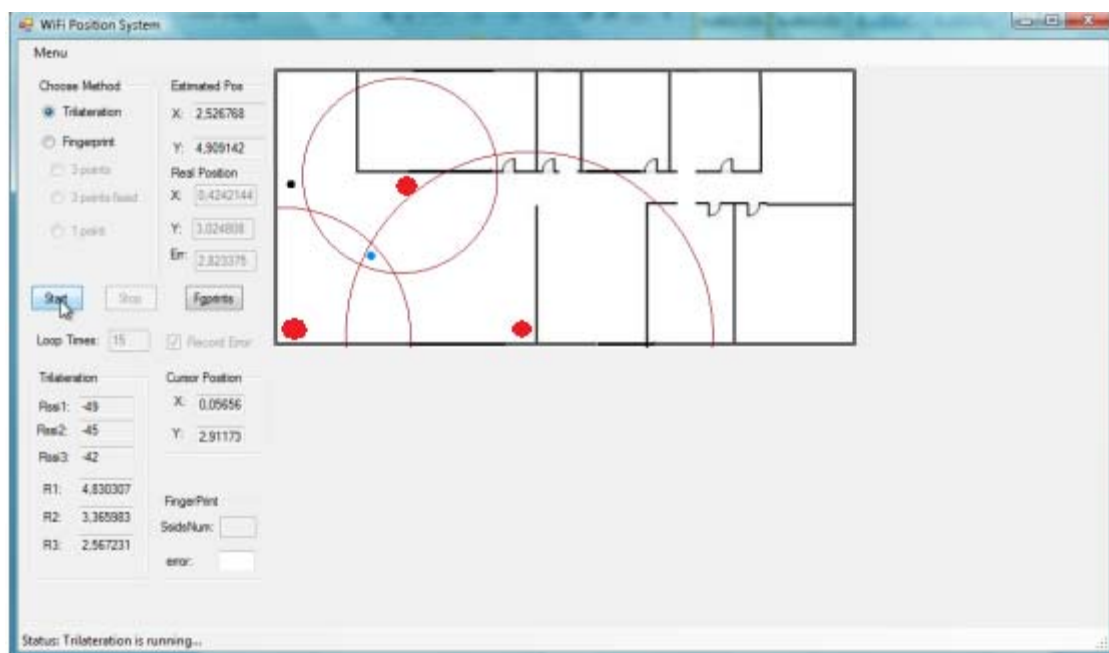


Εικόνα 38 - Σημεία που έτρεξε το πρόγραμμα

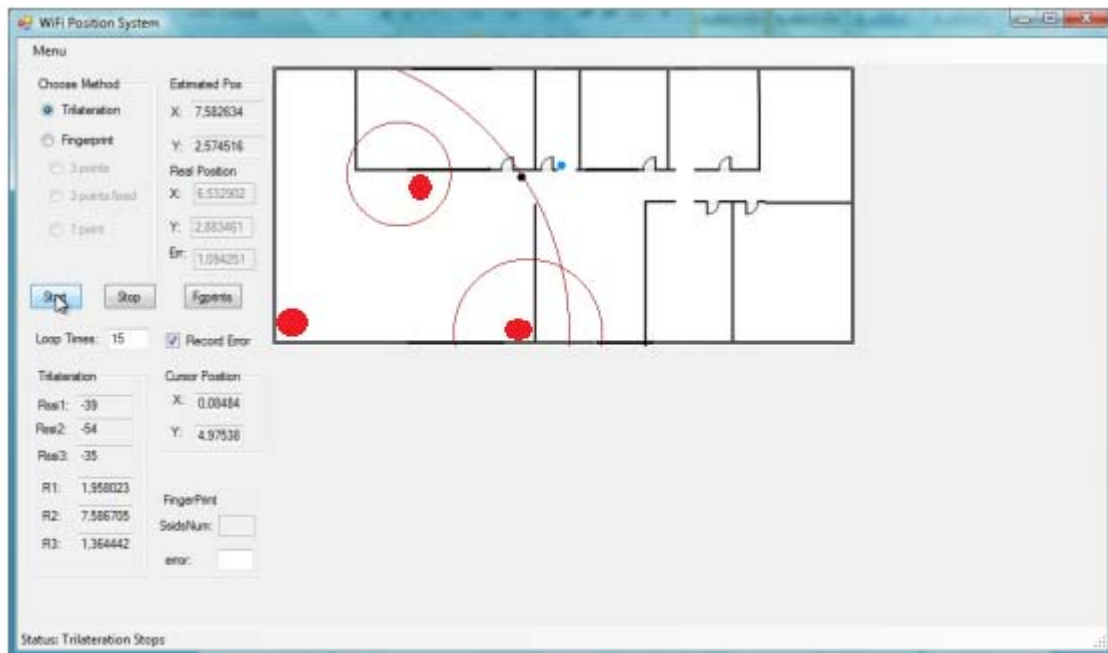
Για κάθε ένα από τα σημεία αυτά ακολουθεί μια εικόνα που δείχνει ένα στιγμιότυπο κατά τη διάρκεια που έτρεχε ο αλγόριθμος. Να θυμίσουμε ότι η μαύρη κουκίδα είναι η πραγματική θέση του χρήστη ενώ η θαλασσή είναι η θέση που επιστρέφει ο αλγόριθμος.



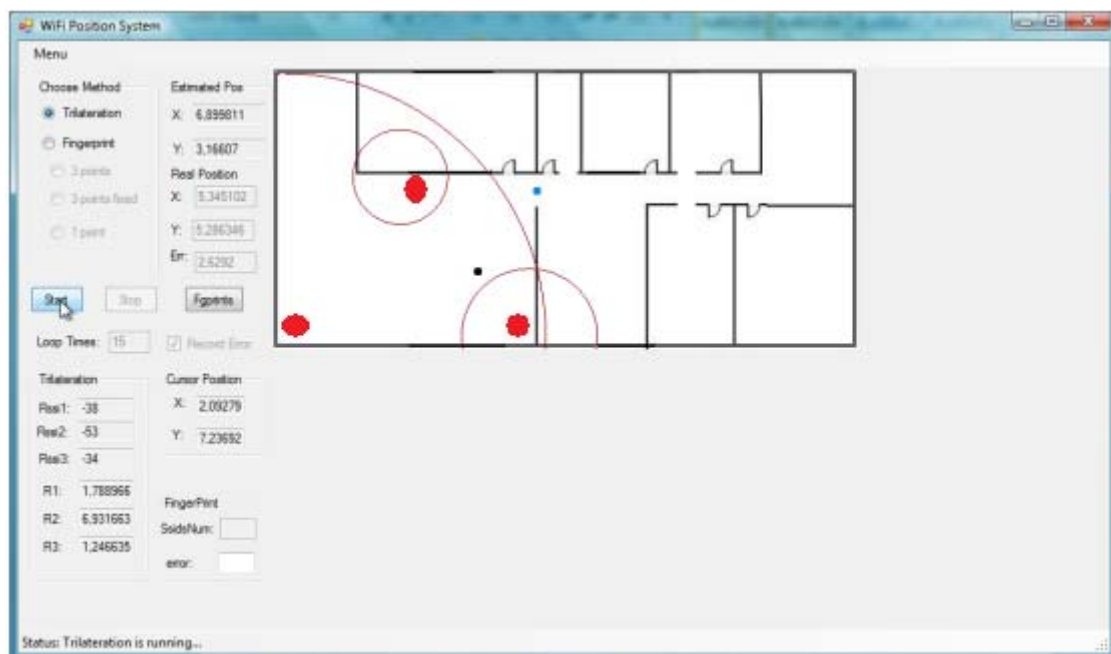
Εικόνα 39 - Θέση 1



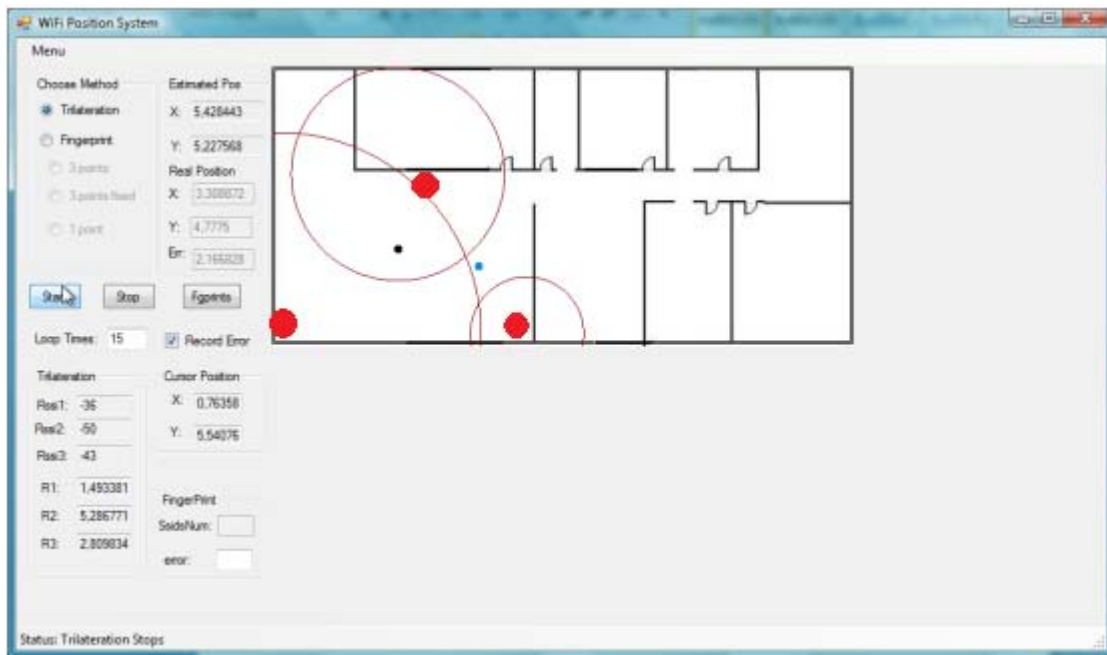
Εικόνα 40 - Θέση 2



Εικόνα 41 - Θέση 3

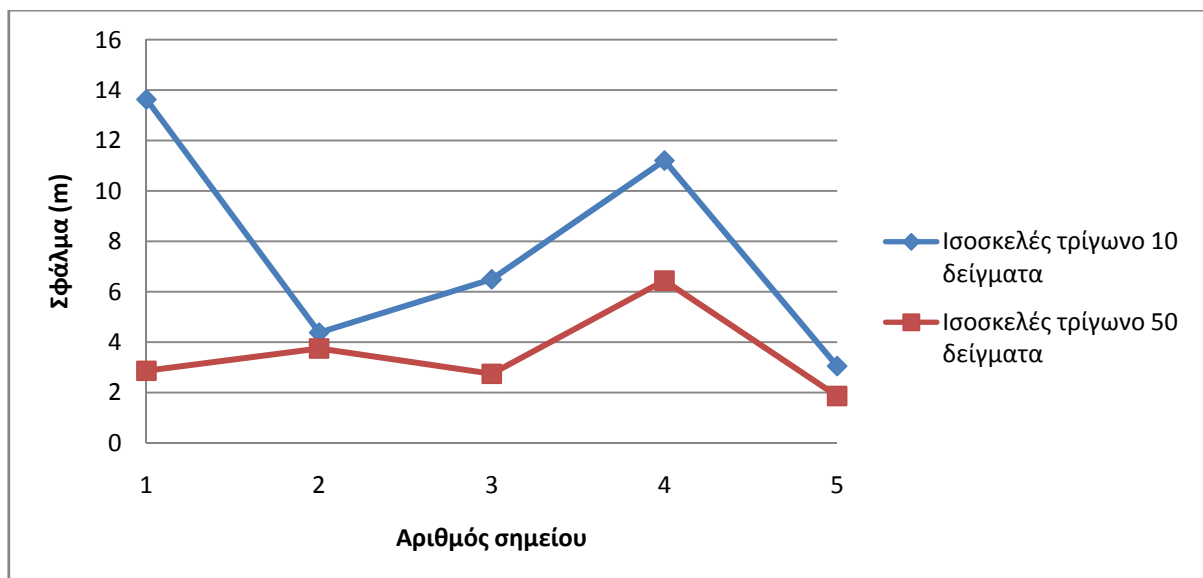


Εικόνα 42 - Θέση 4



Εικόνα 43 - Θέση 5

Όπως φαίνεται και παραπάνω, επιλέξαμε τα σημεία ώστε κάποια από αυτά να βρίσκονται μέσα στο ισοσκελές τρίγωνο και κάποια άλλα όχι. Έτσι, θα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα του αλγορίθμου για όλες τις θέσεις μέσα σε έναν χώρο όπου είναι «ορατοί» οι πομποί. Για να μπορέσουμε να έχουμε μια καλύτερη εικόνα της σύγκρισης χαράσσουμε την παρακάτω γραφική παράσταση.

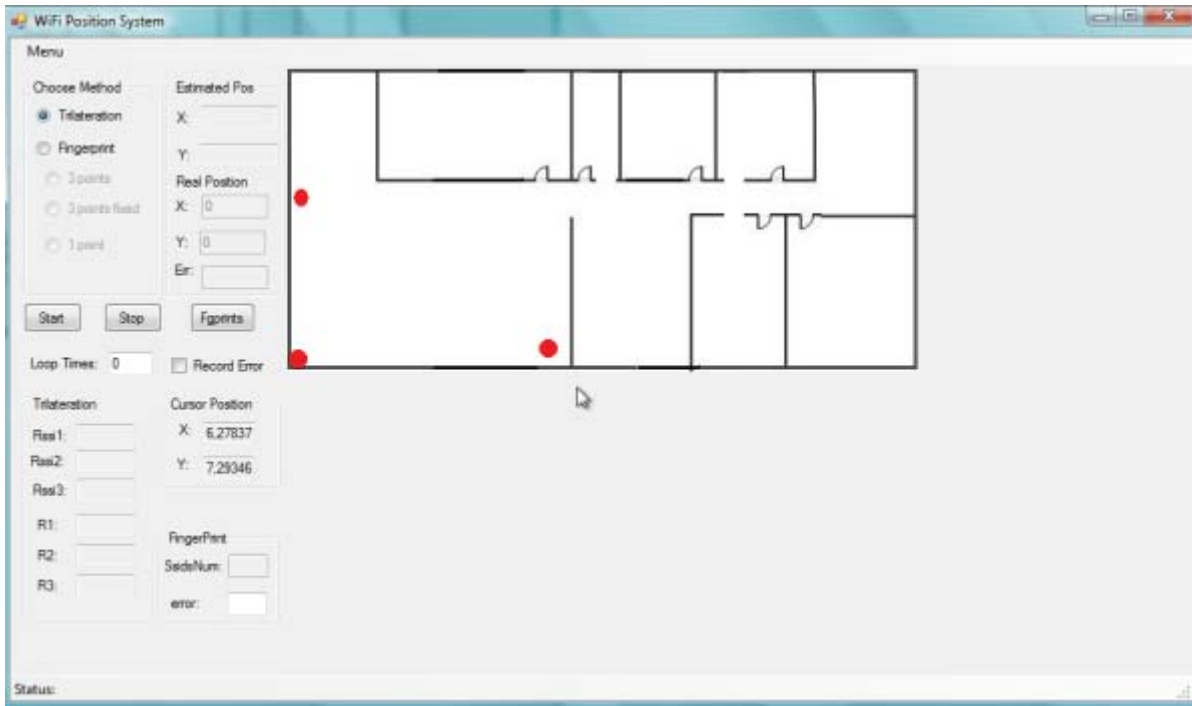


Γράφημα 1 - Τριγωνισμός, διαφορετικός αριθμός δειγμάτων

Στον οριζόντιο άξονα έχουμε αριθμήσει τα σημεία που χρησιμοποιήσαμε, ενώ στον κατακόρυφο άξονα έχουμε τον μέσο όρο λάθους για κάθε σημείο. Έτσι μπορούμε να δούμε ότι η χρήση πενήντα δειγμάτων έχει χωρίς καμία αβεβαιότητα πολύ καλύτερα αποτελέσματα.

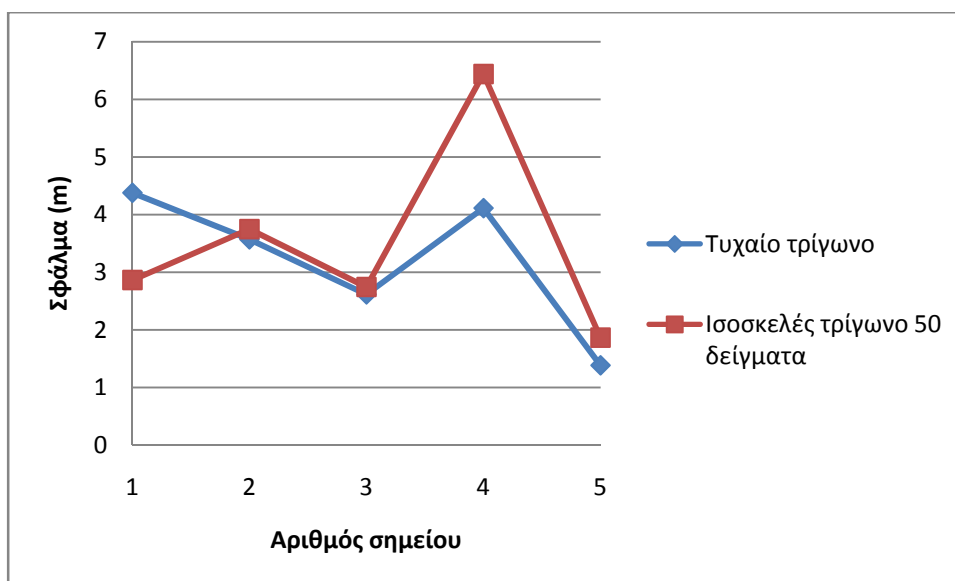
Στη συνέχεια αλλάζουμε τη θέση των πομπών και ξαναεφαρμόζουμε τον αλγόριθμο τριγωνισμού στα ίδια πέντε σημεία. Με αυτόν τον τρόπο θα συγκρίνουμε αν και τα

πειραματικά αποτελέσματα συμφωνούν στο ότι η γεωμετρία ισοσκελούς τριγώνου υπερέχει όπως έχουμε δείξει στην παράγραφο 2. Να σημειώσουμε ότι από εδώ και κάτω χρησιμοποιούμε πενήντα δείγματα για κάθε προσέγγιση. Κρίνουμε σκόπιμο να μην δώσουμε ακόμα καμία λεπτομέρεια για την τιμή του εκθέτη απωλειών που χρησιμοποιούμε καθώς το τρίτο σενάριο των πειραμάτων αναφέρεται αποκλειστικά σε αυτό, και εκεί θα δώσουμε τις απαραίτητες λεπτομέρειες για κάθε περίπτωση. Στην επόμενη εικόνα δείχνουμε τις νέες θέσεις των πομπών με κόκκινο χρώμα.



Εικόνα 44 -Τριγωνισμός, θέσεις πομπών σε τυχαίο τρίγωνο

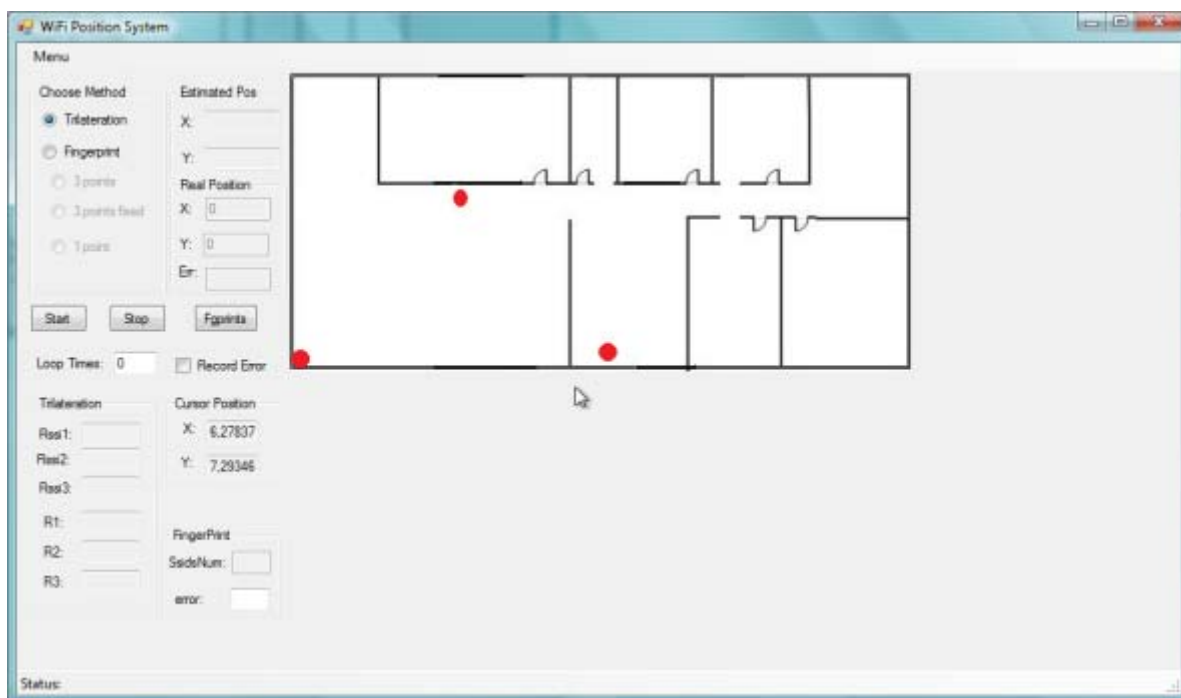
Οι θέσεις που πήραμε μετρήσεις και τρέξαμε τον αλγόριθμο είναι οι ίδιες. Για να μπορέσουμε πιο εύκολα να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα χαράσσουμε την παρακάτω γραφική παράσταση, όμοια με αυτή που χρησιμοποιήσαμε παραπάνω.



Γράφημα 2 - Τριγωνισμός, ισοσκελές - τυχαίο τρίγωνο

Η κόκκινη γραφική παράσταση χρησιμοποιεί τα αποτελέσματα όπως παρουσιάστηκαν και παραπάνω. Βλέπουμε από το διάγραμμα ότι στα περισσότερα σημεία τα αποτελέσματα είναι τα ίδια. Εξάιρεση αποτελούν το πρώτο και τέταρτο σημείο. Στο πρώτο σημείο βλέπουμε ότι έχει καλύτερα αποτελέσματα η γεωμετρία ισοσκελούς τριγώνου ενώ στο τέταρτο σημείο παρατηρούμε υπεροχή του τυχαίου τριγώνου. Βέβαια πρέπει να σημειώσουμε ότι το τέταρτο σημείο αποτελεί ιδιαίτερο σημείο για τη γεωμετρία του ισοσκελούς τριγώνου και αυτό φαίνεται και από την ξαφνική μεγιστοποίηση της απόκλισης συγκριτικά με τα υπόλοιπα σημεία. Η ιδιαιτερότητα αυτού του σημείου οφείλεται σε κάποια έπιπλα μέσα στο χώρο που εμποδίζουν την οπτική επαφή του δέκτη με δύο από τους πομπούς. Στη δεύτερη γεωμετρία, εντελώς τυχαία, ο δέκτης στο τέταρτο σημείο χάνει την οπτική επαφή μόνο με έναν από τους πομπούς και γι' αυτό έχουμε καλύτερη εκτίμηση και μικρότερο σφάλμα. Λαμβάνοντας υπ' όψη όλα τα παραπάνω βλέπουμε ότι τα αποτελέσματα αυτού του πειράματος δείχνουν ότι η γεωμετρία ισοσκελούς τριγώνου παρουσιάζει μικρή διαφορά σε σχέση με τη χρήση μιας τυχαίας γεωμετρίας.

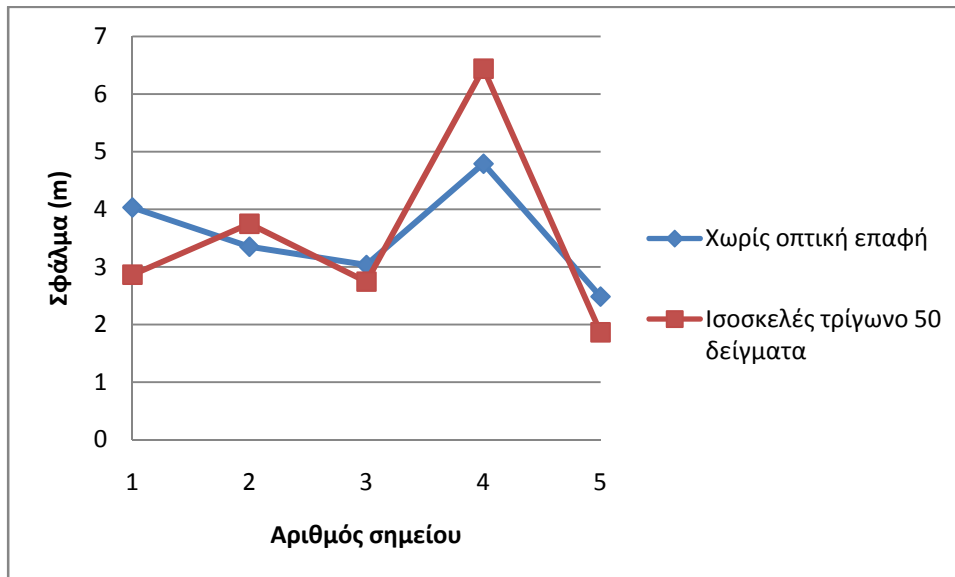
Το τελευταίο σενάριο έχει ως εξής: Αλλάζουμε τη θέση του ενός πομπού μετακινώντας τον σε άλλο δωμάτιο. Στη συνέχεια τοποθετούμε τους άλλους δυο πάλι έτσι ώστε να έχουμε γεωμετρία ισοσκελούς τριγώνου. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η διάταξη αυτή.



Εικόνα 45- Τριγωνισμός, Θέσεις πομπών ισοσκελούς τριγώνου

Αυτή τη φορά το πείραμα έχει σκοπό να προσδιορίσει κατά πόσον η μεθοδολογία MMSE μπορεί να μας δώσει έγκυρες τιμές του εκθέτη απωλειών για οπτική και μη οπτική επαφή. Έτσι, λοιπόν, χρησιμοποιήσαμε αρχικά τη μέθοδο αυτή με πομπό και δέκτη στο ίδιο δωμάτιο και κάναμε μετρήσεις για να προσδιορίσουμε τον εκθέτη απωλειών. Μετά επαναλάβαμε τις μετρήσεις με πομπό και δέκτη σε διαφορετικά δωμάτια για να προσδιορίσαμε ένα δεύτερο εκθέτη απωλειών. Ο πρώτος ήταν 2,55 και ο δεύτερος ήταν 2,72. Οι τιμές αυτές είναι δικαιολογημένες καθώς στην μη οπτική επαφή ο τοίχος που υπάρχει ανάμεσα σε πομπό και δέκτη εισάγει μεγάλες απώλειες στο σήμα. Για τα

παραπάνω πειράματα χρησιμοποιήσαμε την πρώτη τιμή. Για το συγκεκριμένο πείραμα θα χρησιμοποιήσουμε την πρώτη τιμή για τους πομπούς που βρίσκονται στο ίδιο δωμάτιο με τον δέκτη και τη δεύτερη τιμή για τον πομπό που βρίσκεται στο διπλανό δωμάτιο. Οι συγκρίσεις των αποτελεσμάτων θα μπορέσουν να μας οδηγήσουν σε αρκετά ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Στη συνέχεια φαίνεται η γραφική παράσταση των αποτελεσμάτων για το πείραμα αυτό.



Γράφημα 3 - Τριγωνισμός, οπτική - μη οπτική επαφή

Βλέπουμε ότι η προσέγγιση αυτού του εκθέτη απωλειών για πομπό που βρίσκεται σε διπλανό δωμάτιο είναι αρκετά αξιόπιστη. Το παραπάνω διάγραμμα μας δείχνει ότι οι διαφορές μεταξύ οπτικής και μη οπτικής επαφής δεν είναι μεγάλες. Επίσης μας φανερώνει για μια ακόμη φορά την ιδιαιτερότητα του τέταρτου σημείου, το οποίο και στα δυο πειράματα είναι το σημείο με τη μεγαλύτερη απόκλιση. Αυτό μας οδηγεί στο εξής ενδιαφέρον συμπέρασμα. Τα εμπόδια που μπορούν κατά τύχη να βρεθούν ανάμεσα στον πομπό και τον δέκτη επηρεάζουν αρκετά την ισχύ του σήματος, και όταν σε κάποιο σημείο αυτό συμβαίνει μόνο για έναν από τους τρεις πομπούς τότε ο αλγόριθμος τριγωνισμού παρουσιάζει απόκλιση στα αποτελέσματα του. Ένα άλλο ενδιαφέρον συμπέρασμα είναι ότι όταν λαμβάνονται υπ' όψη τα εμπόδια στον εκθέτη απωλειών, όπως ο τοίχος που χωρίζει τα δυο δωμάτια στο τελευταίο πείραμα, τότε τα αποτελέσματα του αλγόριθμου είναι ικανοποιητικά. Έτσι, λοιπόν, η μέθοδος MMSE μπορεί να μας δώσει ικανοποιητικές τιμές του εκθέτη απωλειών. Το πρόβλημα είναι ότι η τιμή αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε μια μικρή περιοχή, όπως για παράδειγμα σε ένα δωμάτιο. Τα παραπάνω αποτελέσματα θα τα χρησιμοποιήσουμε, επίσης για να συγκρίνουμε τη μέθοδο του τριγωνισμού με τη μέθοδο των αποτυπωμάτων. Είναι ενδιαφέρον να μελετήσουμε την επίδοση των δύο μεθόδων σε περίπτωση οπτικής και μη οπτικής επαφής. Να σημειώσουμε ότι στα παραπάνω πειράματα χρησιμοποιήθηκε η βέλτιστη δυνατή προσέγγιση του εκθέτη απωλειών για έναν πολύ μικρό χώρο. Η παρουσία του τέταρτου σημείου μας βοηθάει να συμπεράνουμε ότι σε περιοχές με άγνωστο εκθέτη απωλειών η απόκλιση του αλγορίθμου αυξάνεται ραγδαία. Αξίζει λοιπόν να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα του αλγορίθμου τριγωνισμού με καλά ορισμένο και με μη καλά ορισμένο εκθέτη απωλειών με αυτά που μας δίνει η μέθοδος αποτυπωμάτων. Πείραμα με προσεγγιστικό εκθέτη θα γίνει στο δεύτερο χώρο που έχουμε επιλέξει.

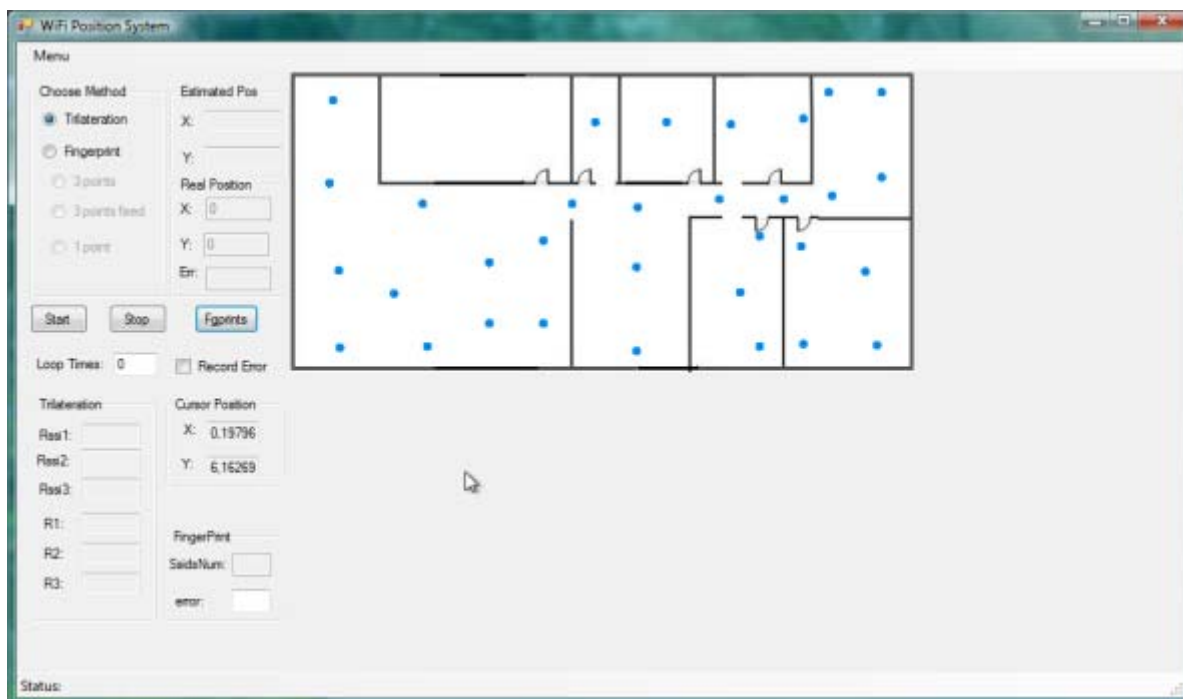
6.2 Πρώτος χώρος: Αποτελέσματα μεθόδου αποτυπωμάτων

Η μέθοδος αποτυπωμάτων θα ερευνηθεί ως προς τα εξής τρία ζητήματα:

- Το πρώτο είναι ποιος είναι ο ελάχιστος αριθμός ταιριασμάτων μεταξύ ασύρματων πομπών που εντοπίζονται στο τρέχον τυχαίο σημείο και σε κάποιο σημείο της βάσης, ώστε η απόκλιση μεταξύ των δυο σημείων να είναι αξιόπιστη.
- Το δεύτερο ζήτημα είναι πώς θα χρησιμοποιούμε τους κόμβους που εντοπίσαμε στο τρέχον σημείο αλλά δεν εντοπίζονται σε κάποιο σημείο της βάσης. Αναλυτικά το σενάριο αυτό έχει εξηγηθεί παραπάνω.
- Το τρίτο είναι ποια είναι η τιμή του εκθέτη p η οποία μας δίνει καλύτερα αποτελέσματα.

Τα δυο πρώτα ζητήματα θα εξεταστούν μόνο σε αυτό το χώρο καθώς στο δεύτερο χώρο παρουσιάζονται πάρα πολλοί ασύρματοι κόμβοι σε κάθε σημείο που παίρνουμε αποτύπωμα κι έτσι δεν προκύπτουν προβλήματα λίγων ταιριασμάτων.

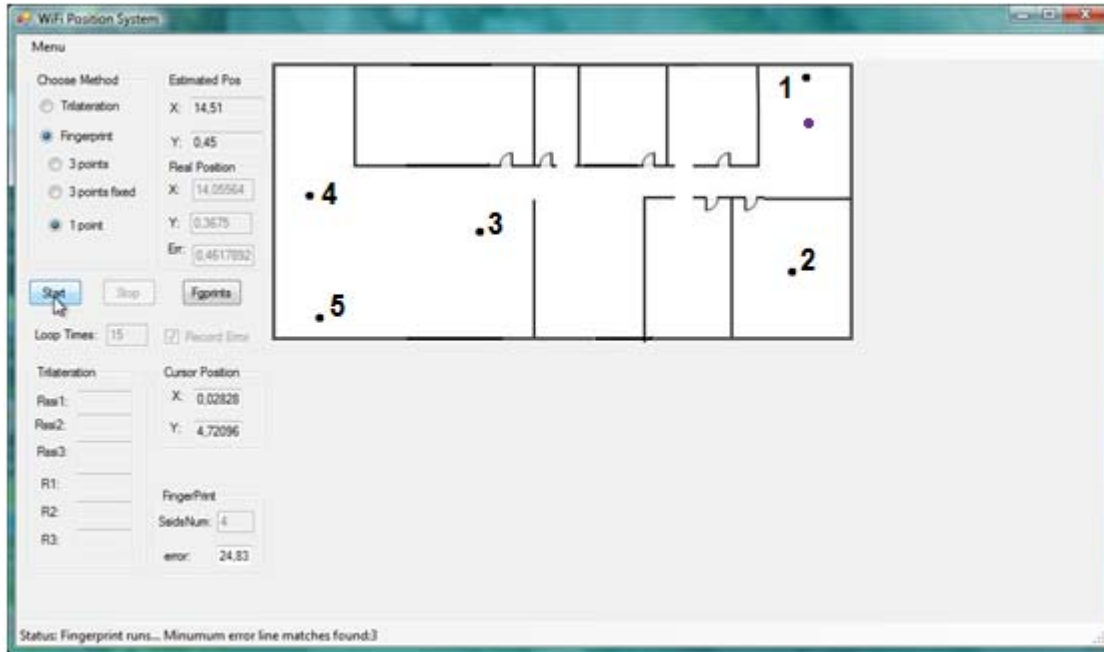
Αρχικά συλλέγουμε αποτυπώματα μέσα σε όλο το διαμέρισμα. Να σημειώσουμε ότι για το πείραμα αυτό θα χρησιμοποιήσουμε μόνο ένα δικό μας ασύρματο κόμβο και όσους γειτονικούς εντοπίζονται. Τα αποτυπώματα, όπως έχουμε αναφέρει και παραπάνω, λαμβάνονται σε αποστάσεις περίπου των τριών μέτρων μεταξύ τους. Στη συνέχεια φαίνεται ο χάρτης με τα αποτυπώματα.



Εικόνα 46 - Αποτυπώματα πρώτου χώρου

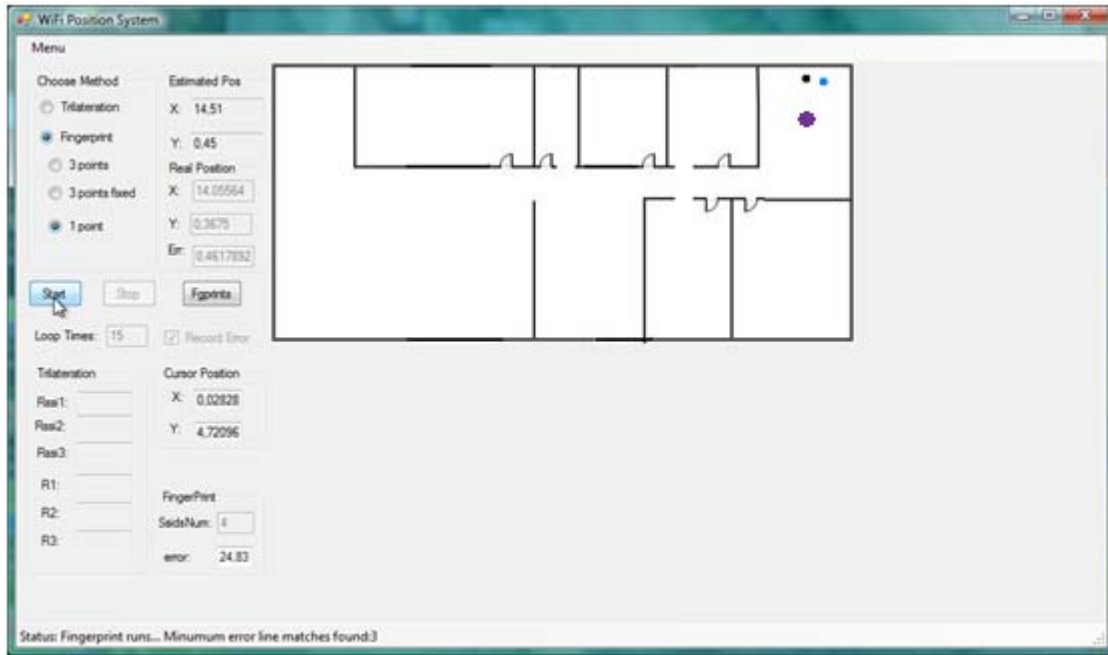
Στο πρώτο σενάριο θέλουμε να συγκρίνουμε τις τρεις παραλλαγές της μεθόδου αποτυπωμάτων μεταξύ τους και για την καθεμία να ελέγξουμε ποιος εκθέτης p (βλ τύπο (7)) εμφανίζει μικρότερο σφάλμα. Γι' αυτό το λόγο σε πέντε σημεία του χώρου θα τρέξουμε και τις τρεις μεθόδους για εκθέτη ένα και δύο. Πρέπει να σημειώσουμε ότι η βάση που θα χρησιμοποιήσουμε έχει συλλεχθεί προηγούμενη μέρα, έτσι μπορούμε να διαπιστώσουμε κατά πόσον το κάθε σημείο του χώρου κρατάει σταθερά τα αποτυπώματα του στο χρόνο. Επιπλέον, επειδή κάποια σημεία της βάσης μας έχουν μόνο δυο ασύρματους κόμβους καταγεγραμμένους χρησιμοποιούμε ως ελάχιστο αριθμό ταιριασμάτων μεταξύ τυχαίου σημείου και σημείου βάσης τον αριθμό δύο. Οποιοσδήποτε κόμβος ανιχνευτεί στο τυχαίο σημείο που είμαστε, αλλά δεν περιέχεται στο σημείο της βάσης που ελέγχουμε απλώς

αγνοείται. Στο επόμενο πείραμα θα συγκρίνουμε τον ελάχιστο αριθμό ταιριασμάτων και το κατά πόσον είναι αξιόπιστο να μην αγνοούνται οι κόμβοι που εντοπίζονται αλλά δεν περιέχονται στα αποτυπώματα της βάσης. Ακολουθεί η Εικόνα 47 όπου φαίνονται τα πέντε σημεία που χρησιμοποιήσαμε. Επιπλέον, η μωβ κουκίδα δείχνει και το σημείο όπου είχαμε τοποθετήσει τον ασύρματο κόμβο μας.

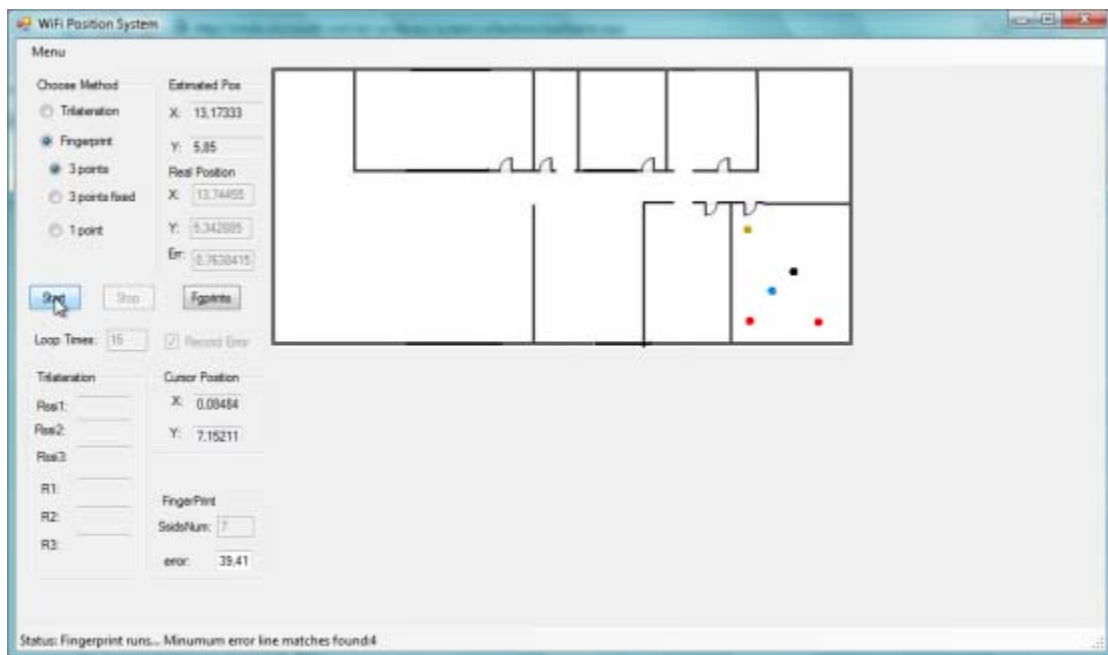


Εικόνα 47 - Θέση πομπού και θέσεις όπου έτρεξε ο αλγόριθμος Αποτυπωμάτων

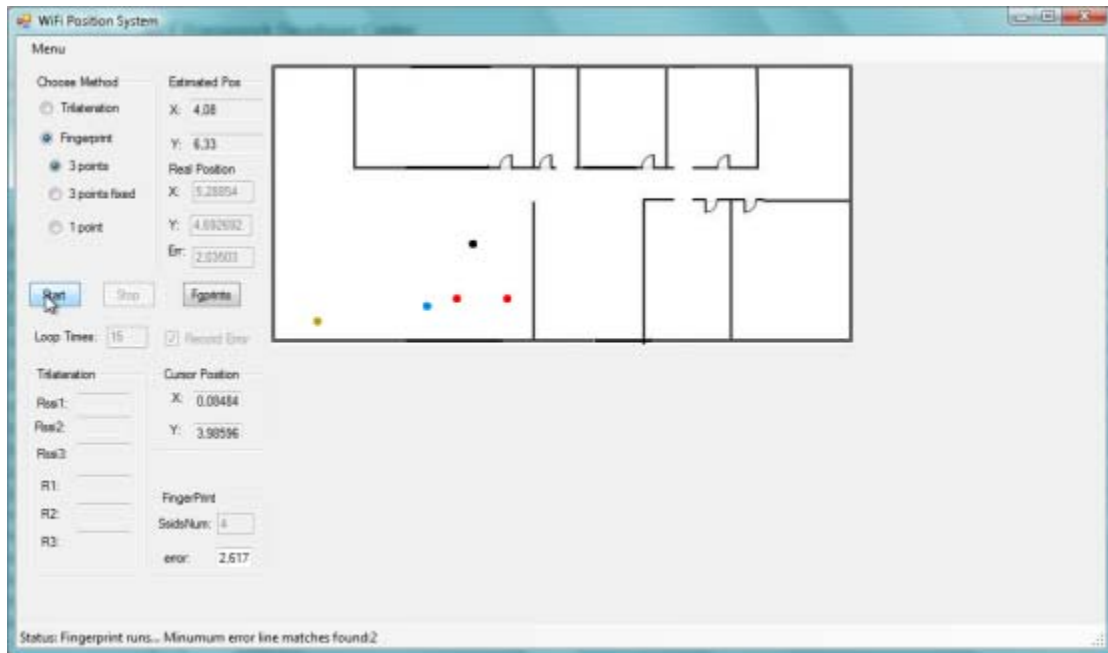
Στη συνέχεια για κάθε μια θέση δείχνουμε ένα στιγμιότυπο κατά τη διάρκεια που τρέχουν οι αλγόριθμοι. Για οικονομία χώρου δεν δείχνουμε για κάθε θέση ένα στιγμιότυπο και για τις τρεις προσεγγίσεις της μεθόδου αποτυπωμάτων, αλλά σε κάθε θέση επιλέγουμε μια προσέγγιση. Η επιλογή έγινε τυχαία. Να επαναλάβουμε και σε αυτό το σημείο ότι η μαύρη κουκίδα είναι η πραγματική θέση του χρήστη, η θαλασσί κουκίδα είναι η θέση που επιστρέφει ο αλγόριθμος, και οι κόκκινες και κίτρινες κουκίδες, όπου φαίνονται, είναι τα σημεία με τις μικρότερες αποκλίσεις. Η κίτρινη κουκίδα είναι το σημείο με την ελάχιστη απόκλιση.



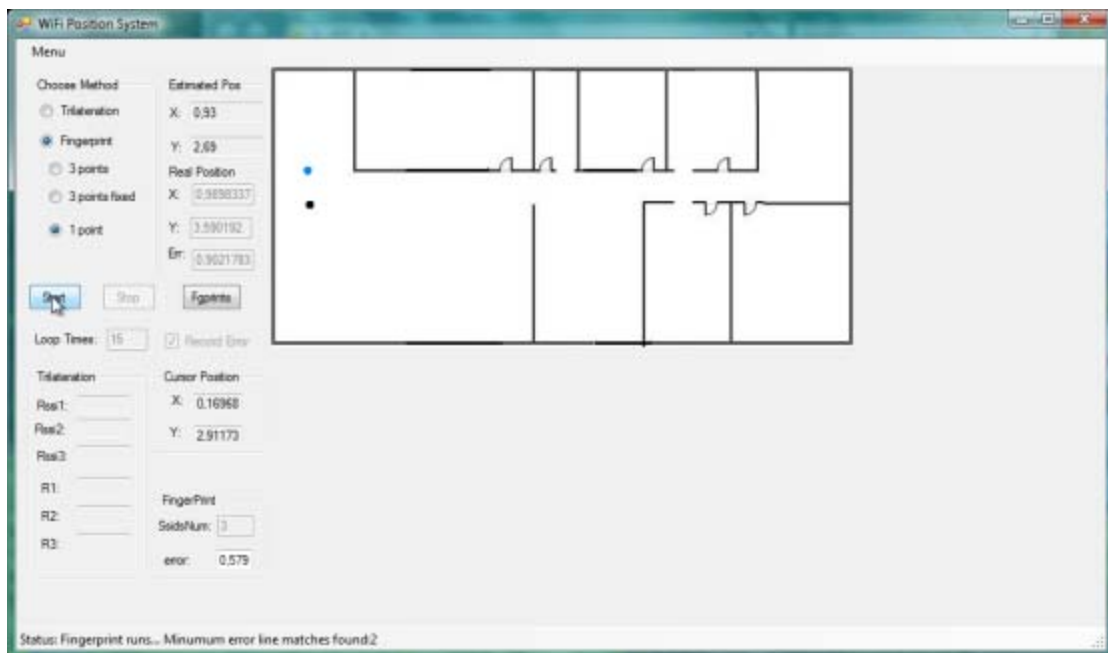
Εικόνα 48 - Θέση 1



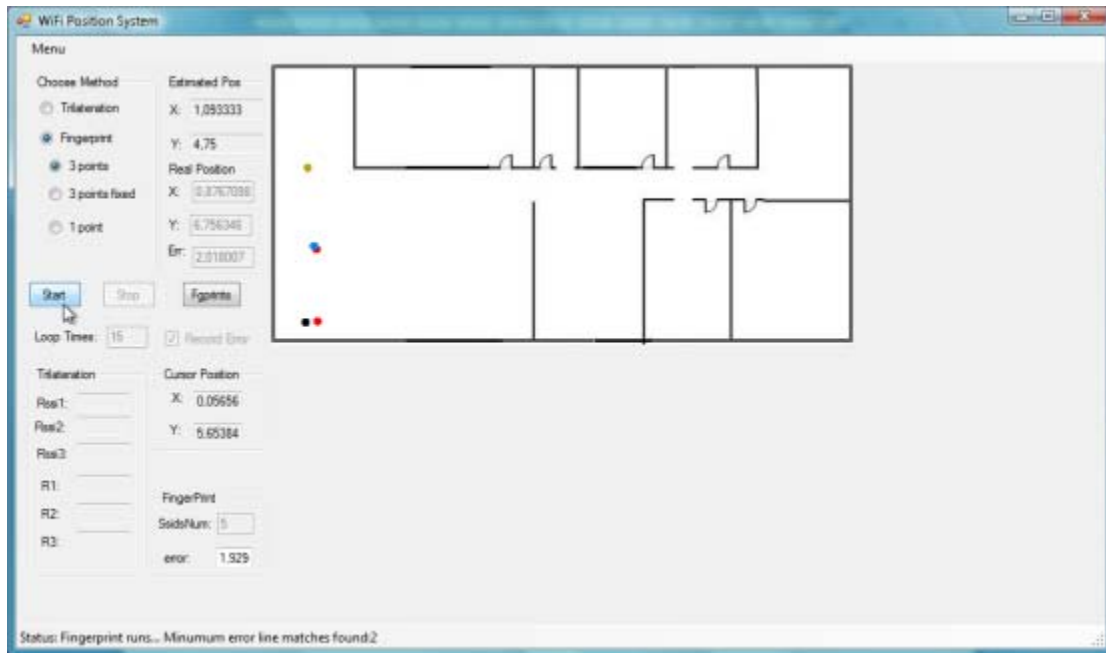
Εικόνα 49 - Θέση 2



Εικόνα 50 - Θέση 3

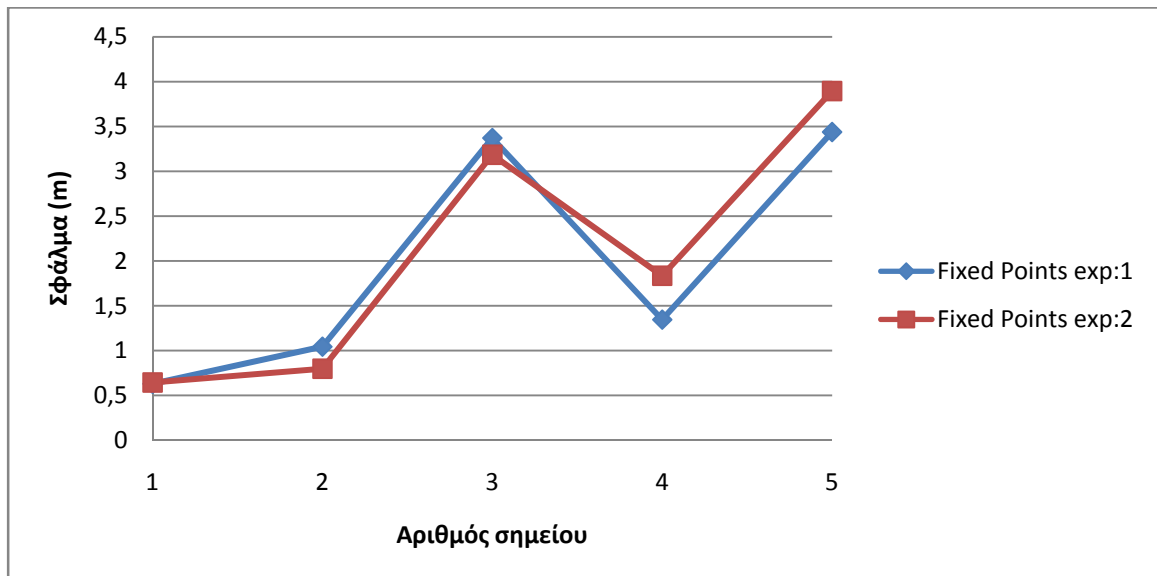


Εικόνα 51 - Θέση 4

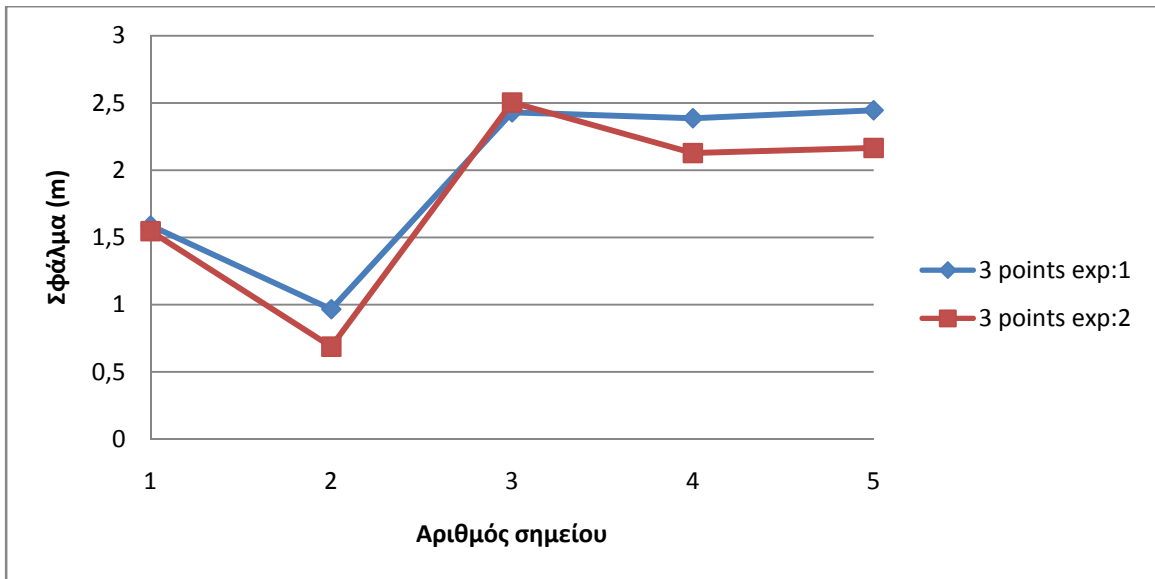


Εικόνα 52 - Θέση 5

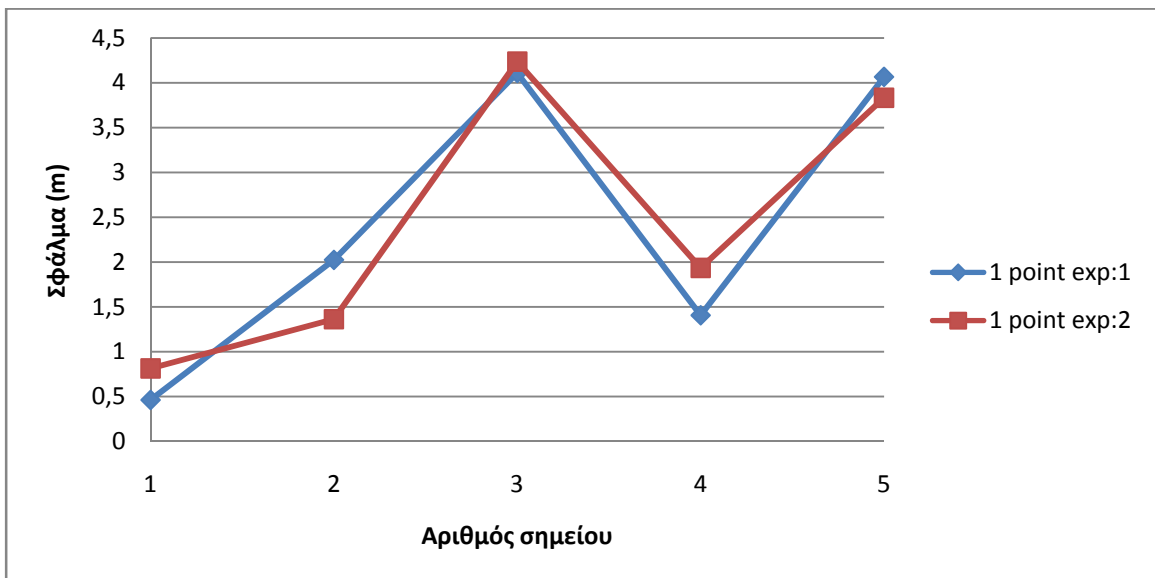
Για να μπορέσουμε να κάνουμε σύγκριση των αποτελεσμάτων δημιουργήσαμε τα παρακάτω διαγράμματα. Αρχικά, θα συγκρίνουμε για κάθε μέθοδο ποιος εκθέτης μας δίνει καλύτερα αποτελέσματα.



Γράφημα 4 - Fingerprint fixed points Διαφορετικοί εκθέτες

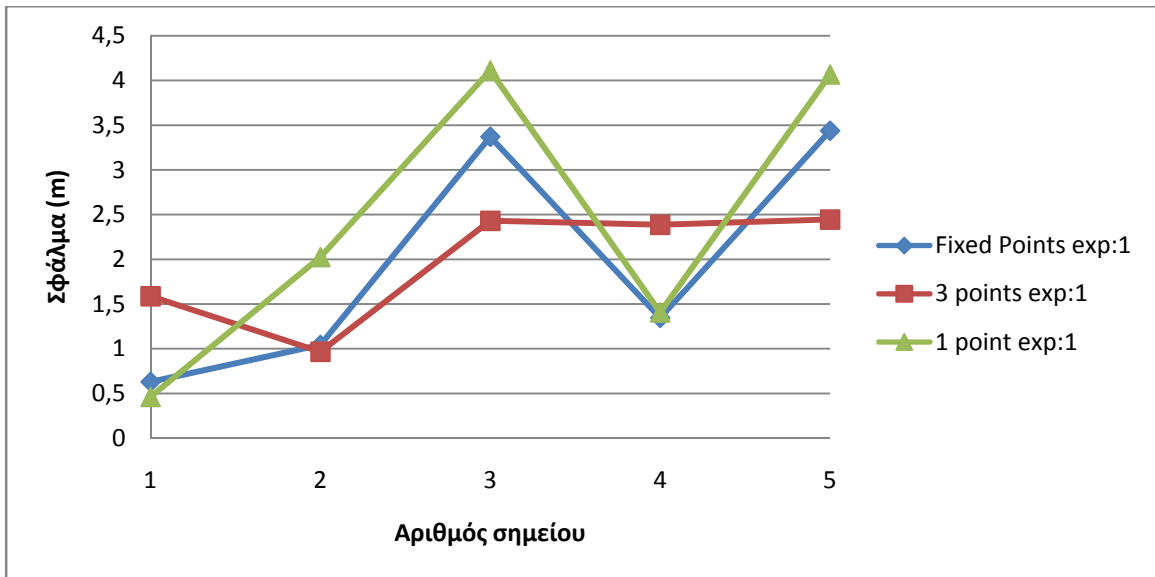


Γράφημα 5 - Fingerprint 3 points Διαφορετικοί εκθέτες

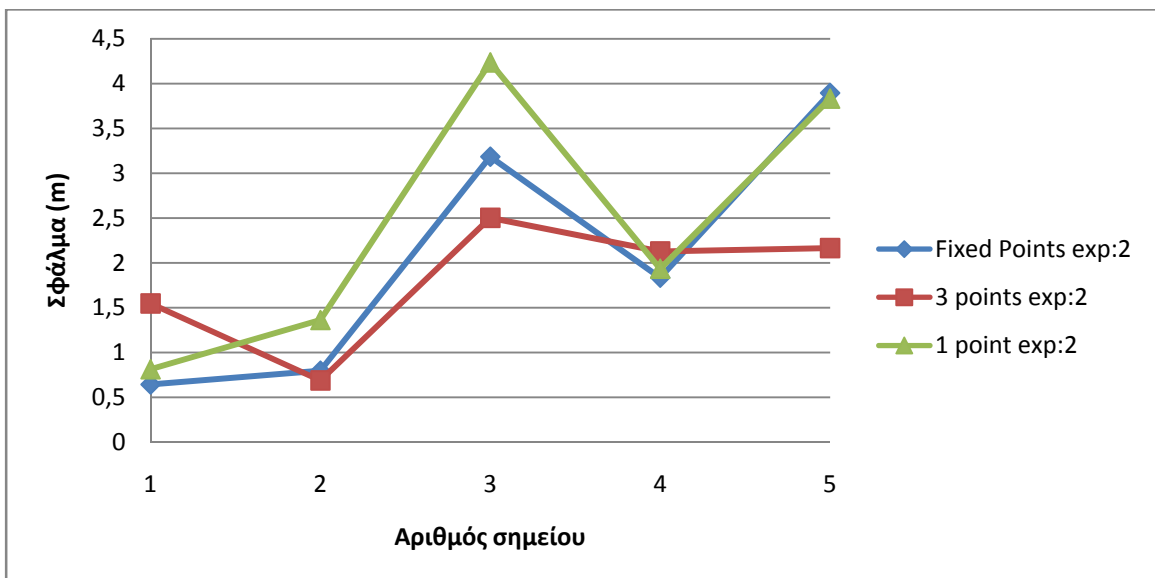


Γράφημα 6 - Fingerprint 1 point Διαφορετικοί εκθέτες

Από τα παραπάνω διαγράμματα συμπεραίνουμε ότι ο εκθέτης δύο δίνει μια ελαφρώς καλύτερη ακρίβεια από τον εκθέτη ένα. Στη συνέχεια, παραθέτουμε συγκριτικά διαγράμματα των τριών μεθόδων για να δούμε ποια δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα.



Γράφημα 7 - Fingerprint Σύγκριση παραλλαγών με εκθέτη 1

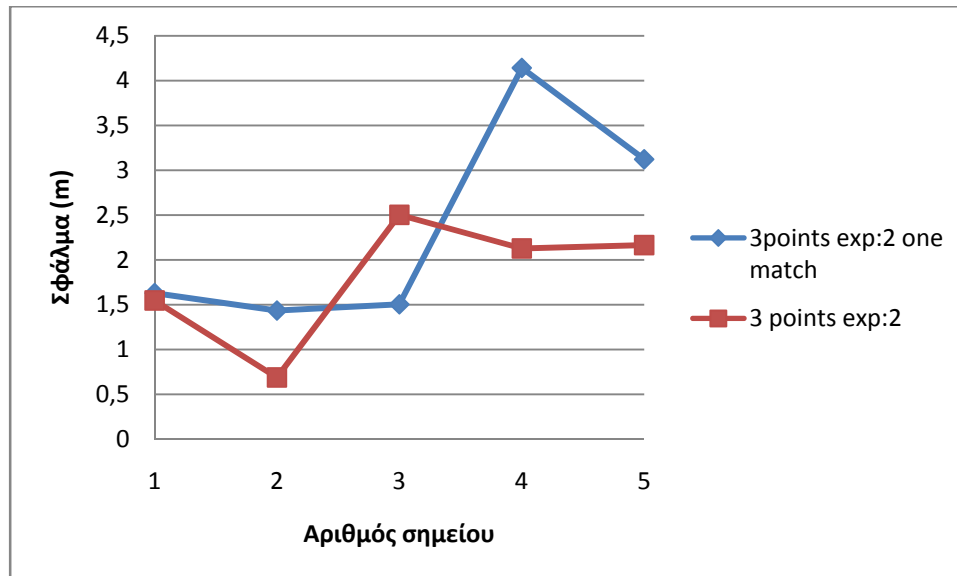


Γράφημα 8 - Fingerprint Σύγκριση παραλλαγών με εκθέτη 2

Αρχικά, διακρίνουμε ότι η μέθοδος που επιστρέφει κατευθείαν το σημείο με το μικρότερο σφάλμα έχει τη μικρότερη ακρίβεια. Από τις άλλες δυο μεθόδους, βλέπουμε ότι μια ελαφρά υπεροχή έχει η μέθοδος που επιστρέφει το βαρύκεντρο. Μάλιστα, η μέθοδος αυτή έχει καλύτερα αποτελέσματα για μεγαλύτερο εκθέτη. Τέλος, η μέθοδος που χρησιμοποιεί την αναλογία λαθών φαίνεται να έχει καλύτερα αποτελέσματα όταν βρισκόμαστε κοντά στον δικό μας ασύρματο κόμβο. Τα τελικά συμπεράσματα αυτού του πειράματος δείχνουν ότι: όταν βρισκόμαστε μακριά από τον ασύρματο κόμβο μας, η μέθοδος με την καλύτερη ακρίβεια είναι αυτή που χρησιμοποιεί τα τρία σημεία με το μικρότερο σφάλμα και επιστρέφει ως εκτίμηση το βαρύκεντρό τους, ενώ όταν βρισκόμαστε κοντά στον ασύρματο κόμβο μας, η μέθοδος με τα καλύτερα αποτελέσματα είναι αυτή που χρησιμοποιεί αναλογία λαθών.

Στη συνέχεια επαναλαμβάνουμε το πείραμα χρησιμοποιώντας μόνο τον εκθέτη δύο και μόνο τη μέθοδο των τριών σημείων. Θα καταγράψουμε τις εκτιμήσεις για τα ίδια

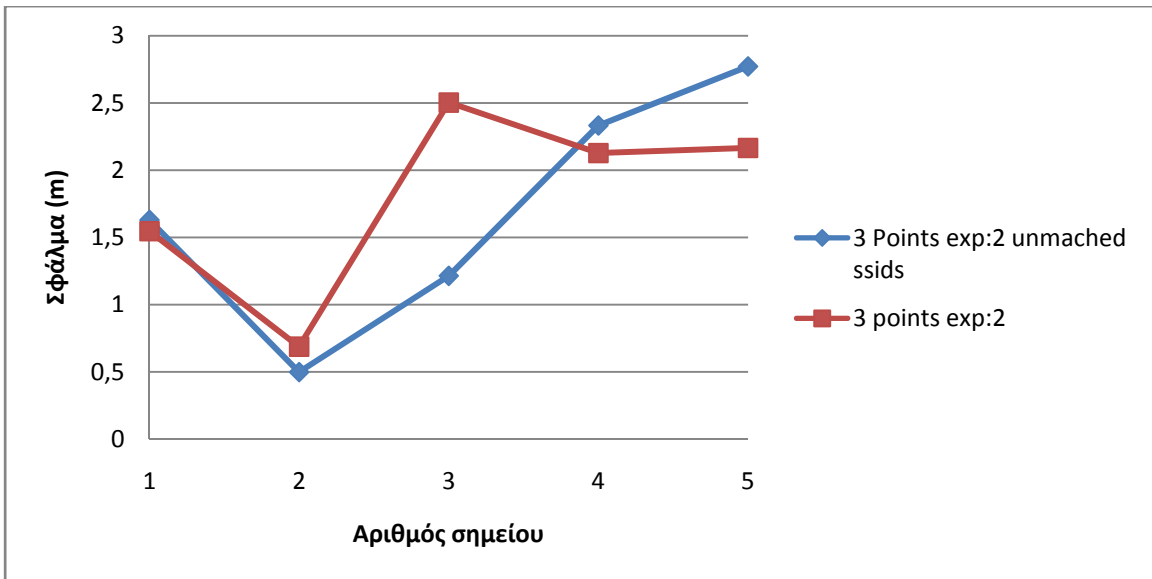
σημεία θέτοντας ως ελάχιστο ταίριασμα τον αριθμό ένα. Σκοπός μας είναι να αποφανθούμε εάν ακόμα και με ένα ταίριασμα τα αποτελέσματα της μεθόδου μας είναι αξιόπιστα. Στη συνέχεια, παραθέτουμε συγκριτικό γράφημα των αποτελεσμάτων του πειράματος σε σχέση με τα προηγούμενα αποτελέσματα για τη μέθοδο των τριών σημείων.



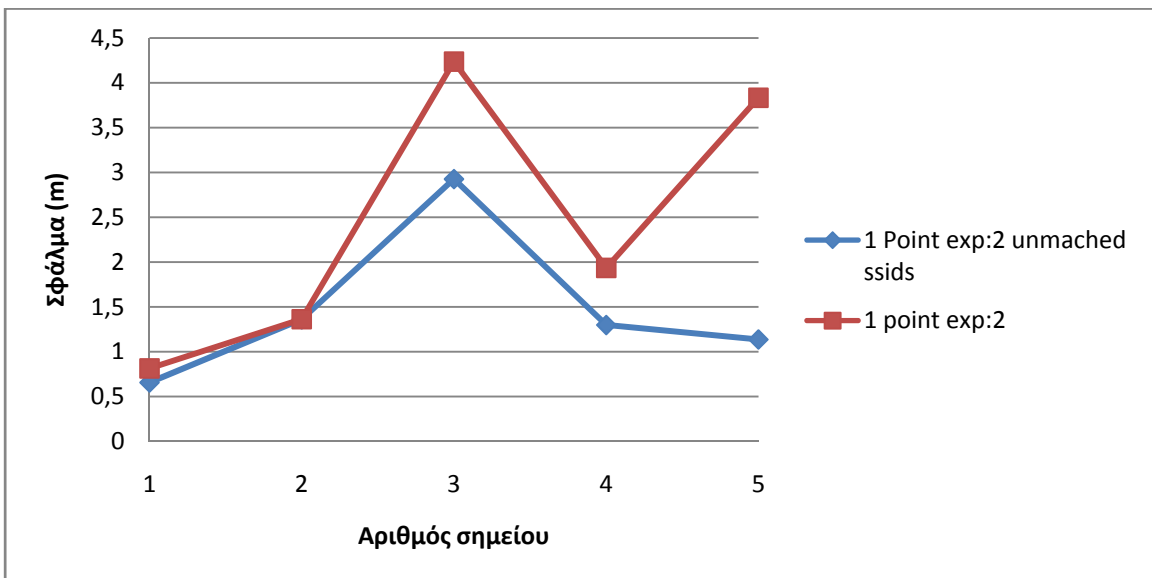
Γράφημα 9 - Fingerprint Ελάχιστο ταίριασμα

Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι στην περίπτωση που έχουμε μόνο ένα ταίριασμα το σφάλμα αυξάνεται, όπως ήταν αναμενόμενο. Παρόλα αυτά, οι εκτιμήσεις της μεθόδου με μόνο ένα ταίριασμα μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστες, καθώς η αύξηση του σφάλματος δεν είναι υπερβολική.

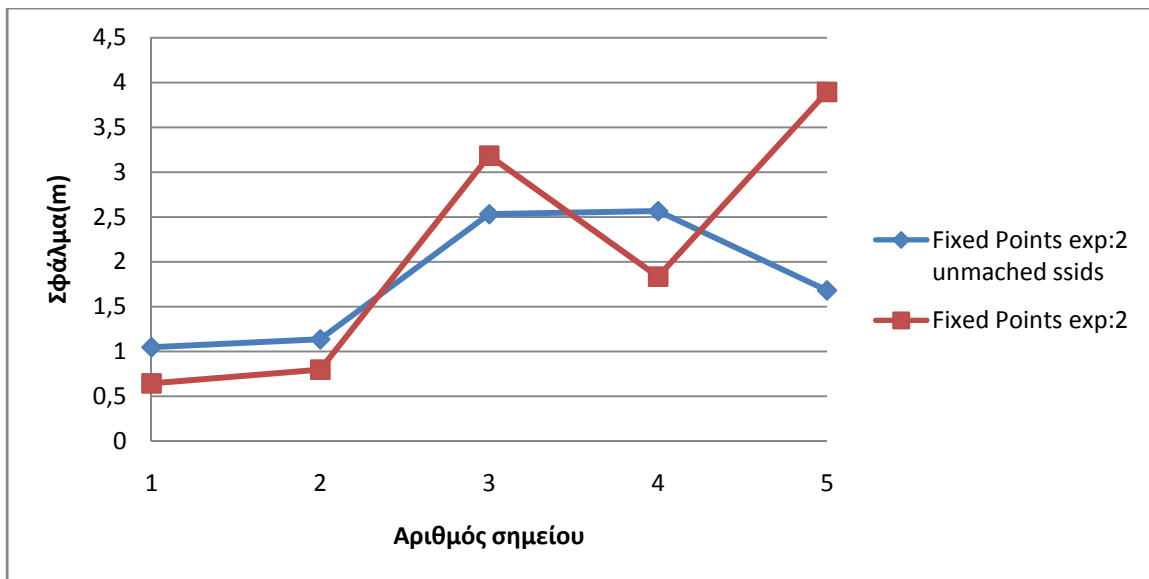
Ένα τελευταίο θέμα που πρέπει να μελετήσουμε είναι εάν πρέπει η μέθοδος να λαμβάνει υπ' όψη της τους ασύρματους κόμβους που ανιχνεύονται αλλά δεν περιέχονται στα αποτυπώματα. Σε όλα τα παραπάνω πειράματα τους αγνοούσαμε. Στη συνέχεια θα επαναλάβουμε τις μετρήσεις στα ίδια σημεία λαμβάνοντας υπ' όψη τους κόμβους αυτούς, σύμφωνα με όσα αναφέραμε στην παράγραφο 4. Και σε αυτό το πείραμα θα χρησιμοποιήσουμε εκθέτη ίσο με δύο, ενώ το ελάχιστο ταίριασμα θα είναι δύο. Ακολουθούν συγκριτικά διαγράμματα των νέων αποτελεσμάτων σε σχέση με τα προηγούμενα για τις τρεις παραλλαγές της μεθόδου αποτυπωμάτων.



Γράφημα 10 - Fingerprint 3 points πείραμα για αταίριαστους κόμβους



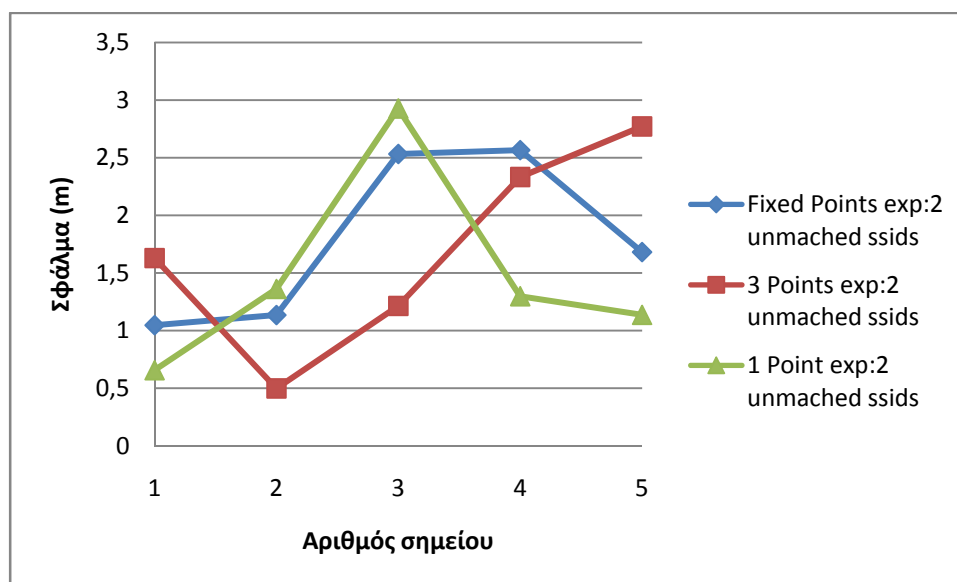
Γράφημα 11 - Fingerprint 1 point πείραμα για αταίριαστους κόμβους



Γράφημα 12 - Fingerprint fixed points πείραμα για αταίριαστους κόμβους

Παρατηρούμε ότι και για τις τρεις παραλλαγές τα αποτελέσματα είναι καλύτερα όταν λαμβάνουμε υπ' όψη μας τους ασύρματους κόμβους που δεν περιέχονται στα αποτυπώματα. Επίσης, σε γενικές γραμμές η ακρίβεια των αλγορίθμων του ενός σημείου και της αναλογίας λαθών βελτιώνεται σε σημεία πιο απομακρυσμένα από τον δικό μας ασύρματο κόμβο.

Στο επόμενο διάγραμμα παραθέτουμε τα αποτελέσματα των τριών αλγορίθμων όταν λαμβάνουν υπ' όψη τους κόμβους που δεν περιέχονται στα αποτυπώματα.



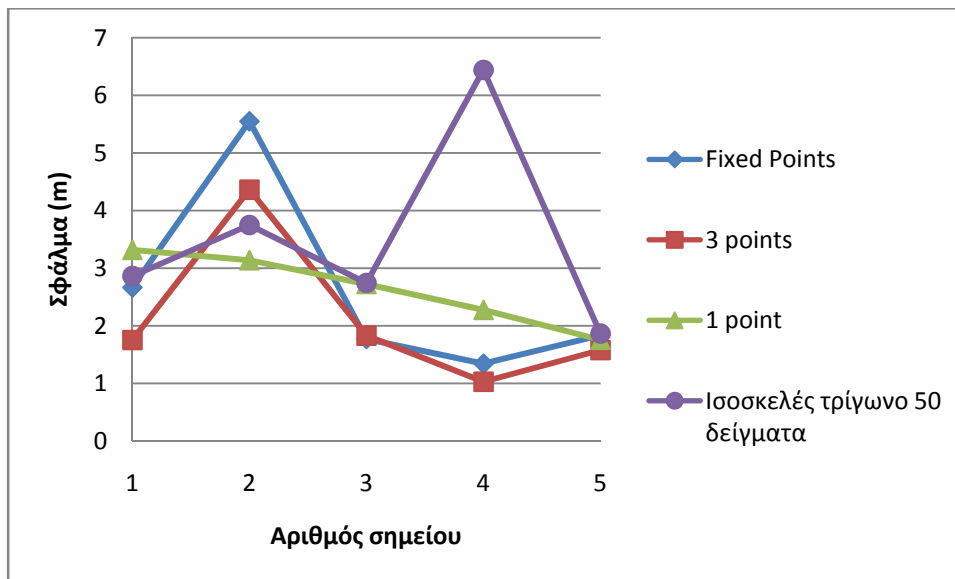
Γράφημα 13 - Fingerprint, Σύγκριση προσεγγίσεων

Παρατηρούμε μια αρκετά μεγάλη βελτίωση στα αποτελέσματα της μεθόδου του ενός σημείου της οποία πλέον τα αποτελέσματα είναι συγκρίσιμα με των άλλων δυο μεθόδων. Τελικά, δεν μπορούμε να αποφασίσουμε με τα καινούρια δεδομένα αν κάποια μέθοδος υπερέχει της άλλης, αλλά το σίγουρο είναι πως αυτά τα αποτελέσματα είναι καλύτερα από τα προηγούμενα.

Συνοψίζοντας για τις τρεις παραλλαγές της μεθόδου αποτυπωμάτων έχουμε:

- Είναι καλύτερο να χρησιμοποιούμε εκθέτη μεγαλύτερο από ένα.
- Είναι καλύτερο να λαμβάνουμε υπ' όψη μας τους κόμβους που ανιχνεύονται αλλά δεν περιέχονται στα αποτυπώματα της βάσης.

Το τελευταίο πείραμα που θα κάνουμε στο συγκεκριμένο χώρο έχει σκοπό να συγκρίνει τη μέθοδο του τριγωνισμού με τη μέθοδο των αποτυπωμάτων. Γι' αυτό το λόγο, θα εφαρμόσουμε τη μέθοδο των αποτυπωμάτων, με εκθέτη δύο και λαμβάνοντας υπ' όψη τους κόμβους που δεν περιέχονται στα αποτυπώματα της βάσης, στα πέντε σημεία όπου εφαρμόσαμε και τον αλγόριθμο του τριγωνισμού. Έτσι, για τα ίδια ακριβώς σημεία θα δούμε ποια μέθοδος δίνει καλύτερες εκτιμήσεις.



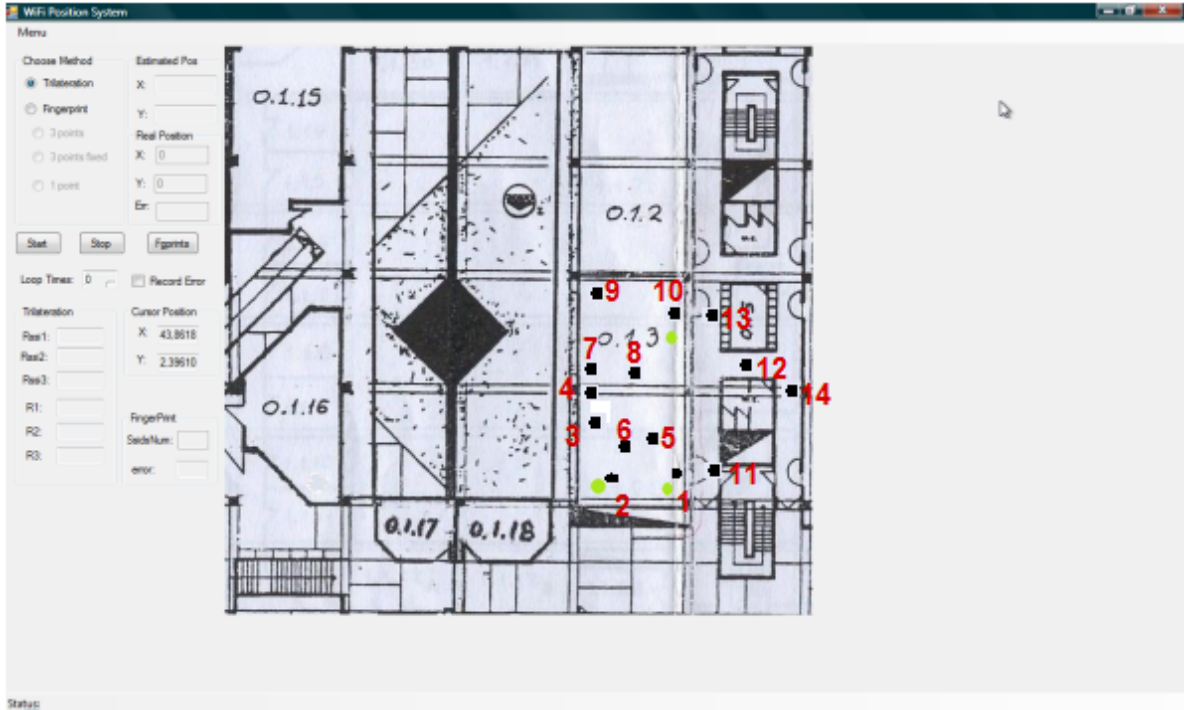
Γράφημα 14 - Σύγκριση Fingerprint - Trilateration

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που φαίνονται στο παραπάνω διάγραμμα βλέπουμε ότι καμία μέθοδος δεν υπερέχει ξεκάθαρα της άλλης. Αυτό που αξίζει να σχολιάσουμε είναι ότι το τέταρτο σημείο που παρουσίαζε κάποιο πρόβλημα στη μέθοδο του τριγωνισμού δεν παρουσιάζει κανένα πρόβλημα για καμία από τις τρεις παραλλαγές της μεθόδου αποτυπωμάτων. Γενικά, για το χώρο ενός μικρού διαμερίσματος τόσο η μέθοδος αποτυπωμάτων όσο και η μέθοδος τριγωνισμού κάτω από κατάλληλες συνθήκες μπορούν να πετύχουν περίπου την ίδια ακρίβεια. Συγκεκριμένα, αυτό που χρειάζεται για καλή ακρίβεια στη μέθοδο τριγωνισμού είναι η κατάλληλη προσέγγιση του εκθέτη απωλειών, όπως έγινε στα παραπάνω πειράματα. Η μέθοδος αποτυπωμάτων, από την άλλη, δε χρειάζεται ιδιαίτερες ρυθμίσεις. Τέλος, συμπεράναμε ότι καλό είναι να χρησιμοποιείται εκθέτης p μεγαλύτερος της μονάδας, ενώ στον υπολογισμό του σφάλματος θα πρέπει να χρησιμοποιούνται όλοι οι ασύρματοι κόμβοι που ανιχνεύονται.

6.3 Δεύτερος χώρος: Αποτελέσματα μεθόδου τριγωνισμού

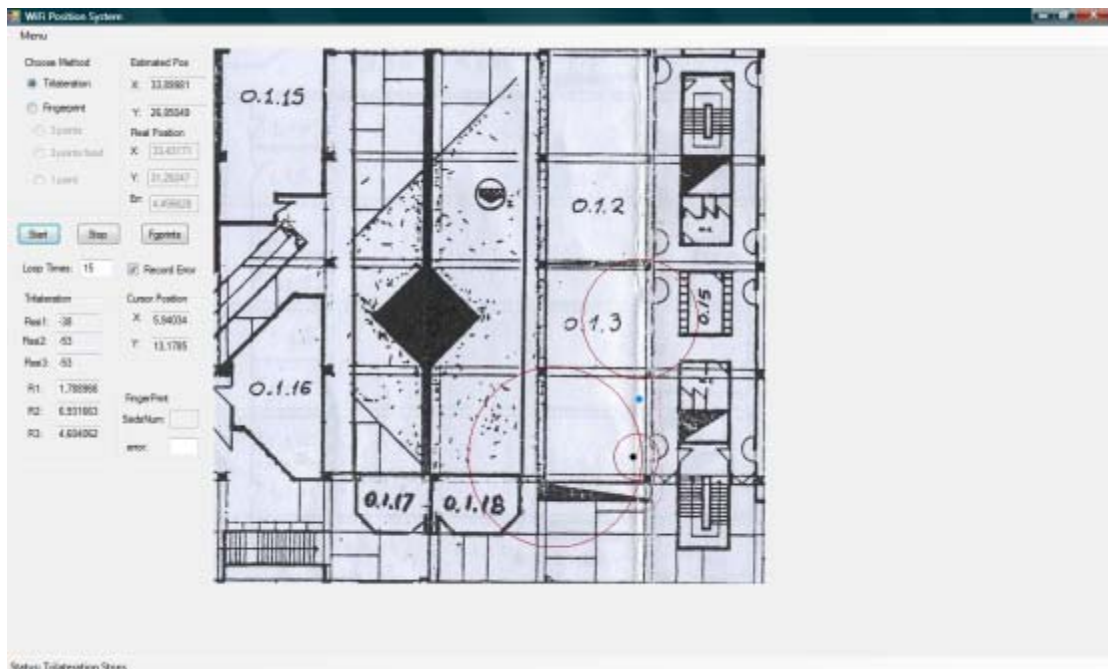
Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στο δεύτερο χώρο της πολυτεχνειούπολης. Τα πρώτα πειράματα αφορούν τη μέθοδο του τριγωνισμού. Θα τρέξουμε τη μέθοδο του τριγωνισμού μέσα σε έναν μεγάλο χώρο χωρίς προηγουμένως να υπολογίσουμε για κάθε δωμάτιο τον εκθέτη απωλειών για τον κάθε ασύρματο κόμβο. Ως τιμή για τον εκθέτη απωλειών θα χρησιμοποιήσουμε τις παραπάνω τιμές που υπολογίσαμε, δηλαδή 2,55 σε περίπτωση οπτικής επαφής και 2,72 σε περίπτωση

μη οπτικής επαφής. Η γεωμετρία των ασύρματων κόμβων είναι τυχαίο τρίγωνο, μιας και ο χώρος δεν μας επιτρέπει να σχηματίσουμε ισοσκελές τρίγωνο. Στη συνέχεια δείχνουμε που βρίσκονται πάνω στην κάτοψη του χώρου οι τρεις ασύρματοι κόμβοι και τα πραγματικά σημεία όπου τρέξαμε τον αλγόριθμο. Στην Εικόνα 53 απεικονίζονται οι κόμβοι με πράσινες κουκίδες και οι θέσεις με μαύρες κουκίδες.

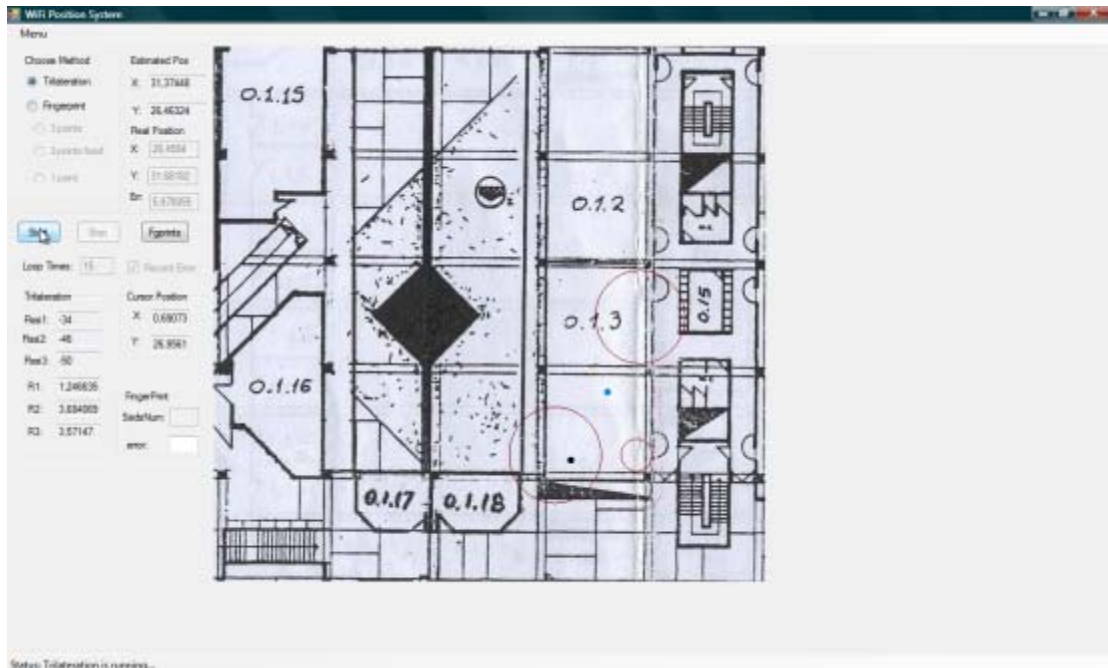


Εικόνα 53 - Δεύτερος χώρος θέσεις πομπών και θέσεις όπου έτρεξαν οι αλγόριθμοι

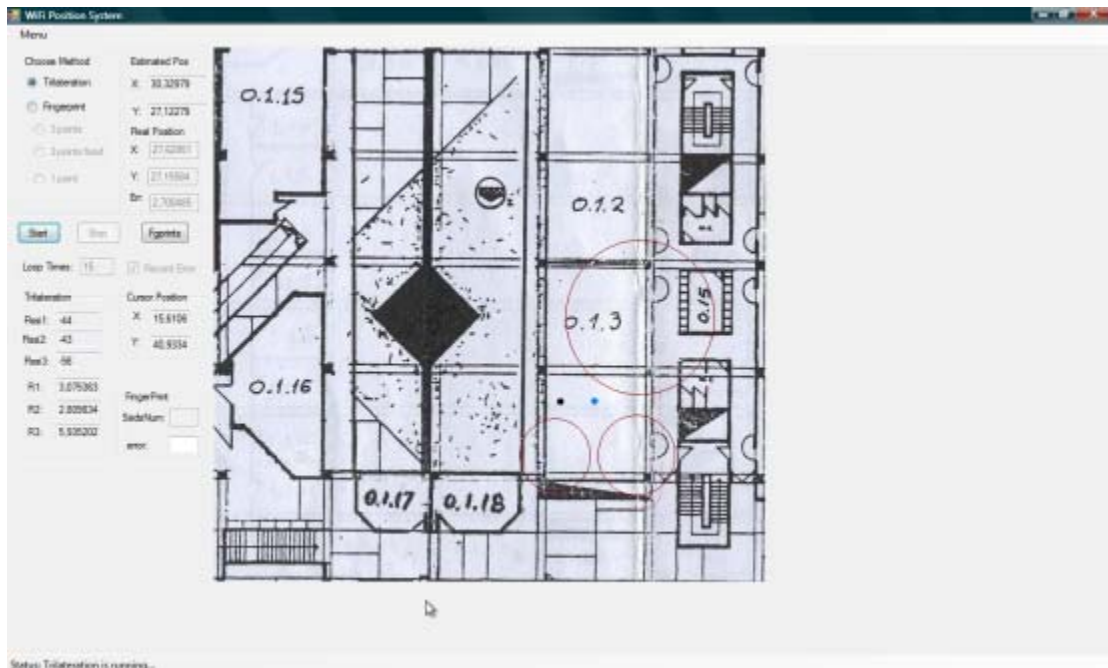
Στη συνέχεια, από την Εικόνα 54 έως την Εικόνα 70 ακολουθούν στιγμιότυπα κατά τη διάρκεια που τρέχει ο αλγόριθμος.



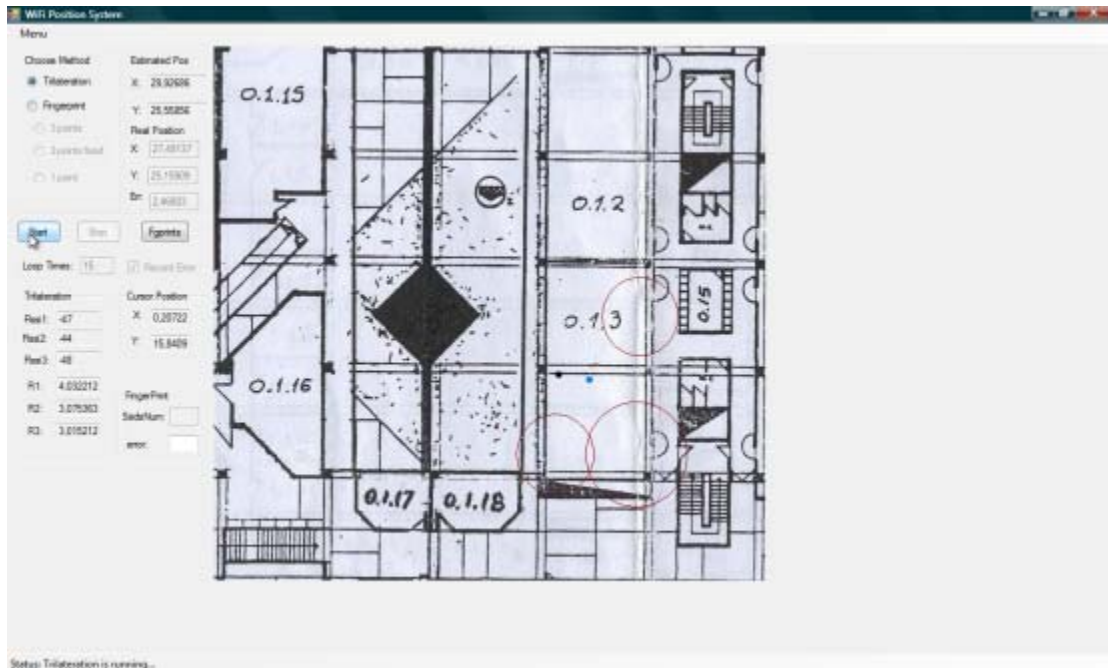
Εικόνα 54 - Θέση 1



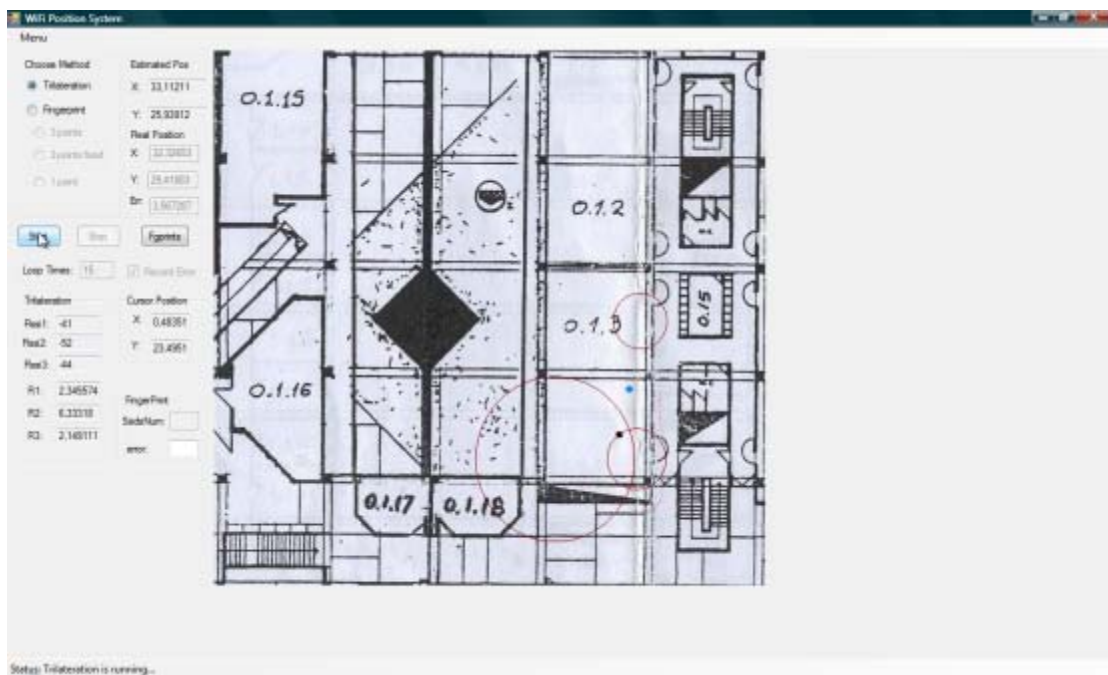
Εικόνα 55 - Θέση 2



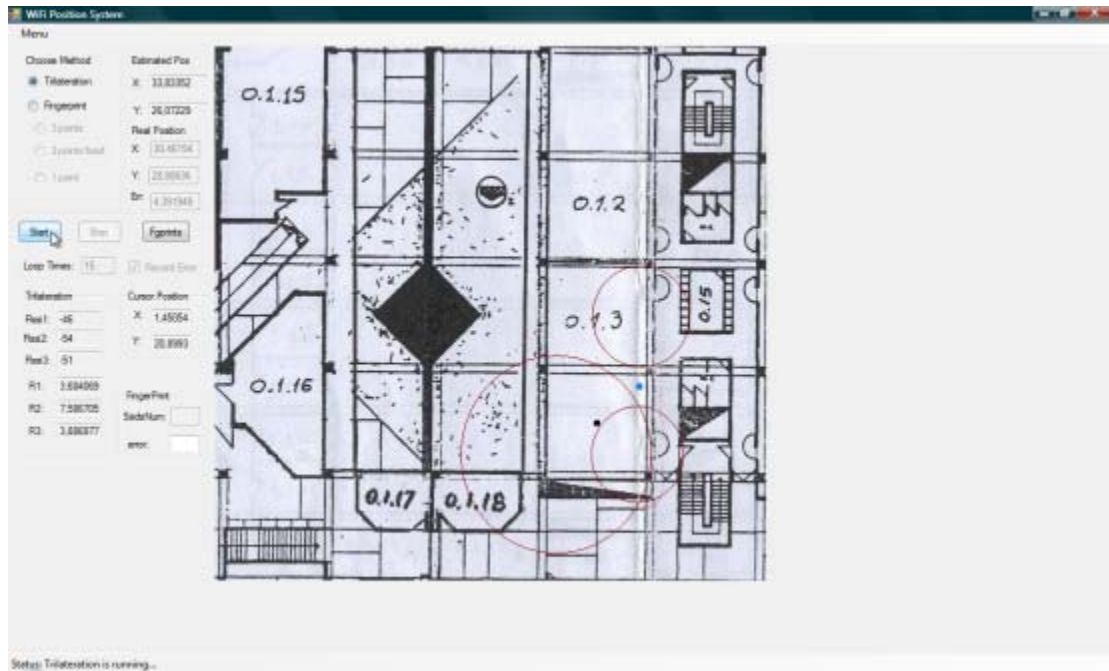
Εικόνα 56 - Θέση 3



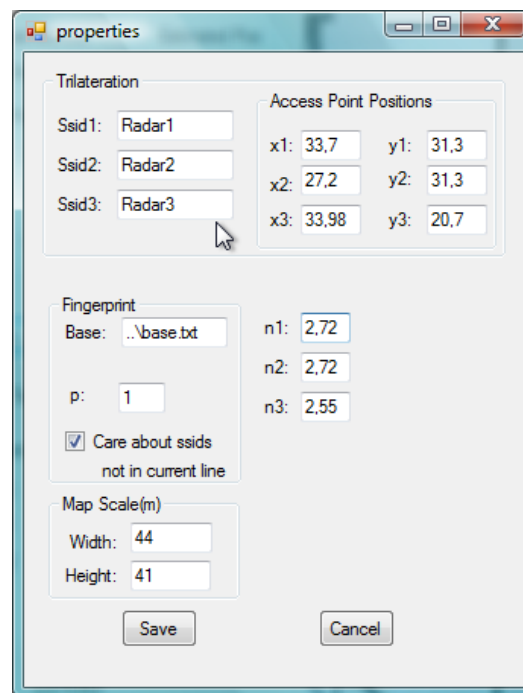
Εικόνα 57 - Θέση 4



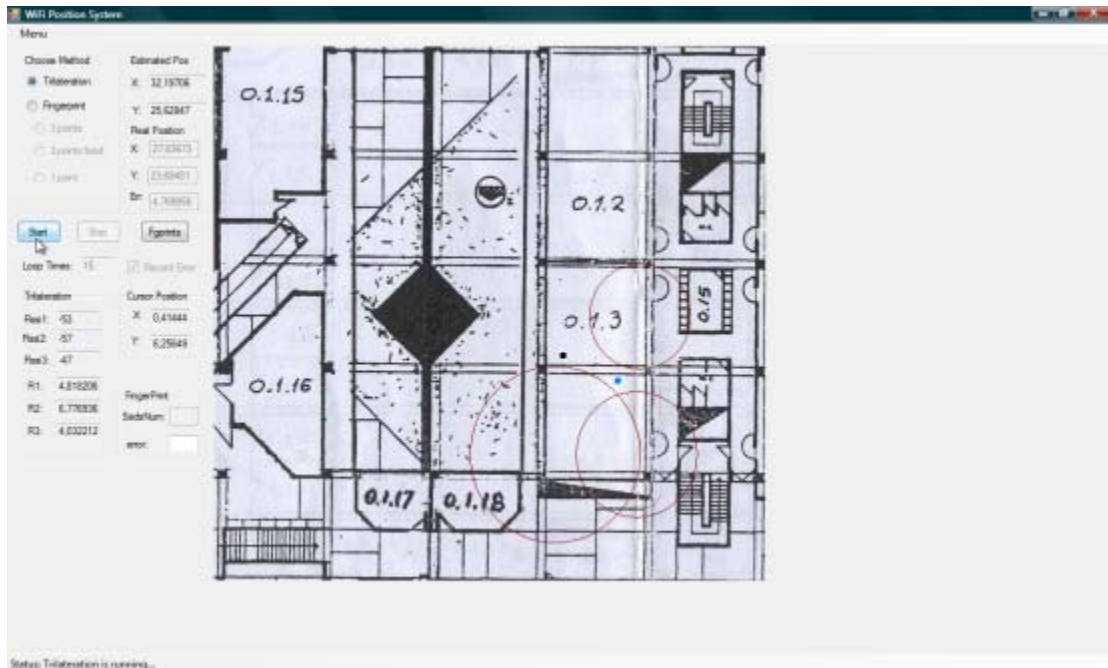
Εικόνα 58 - Θέση 5



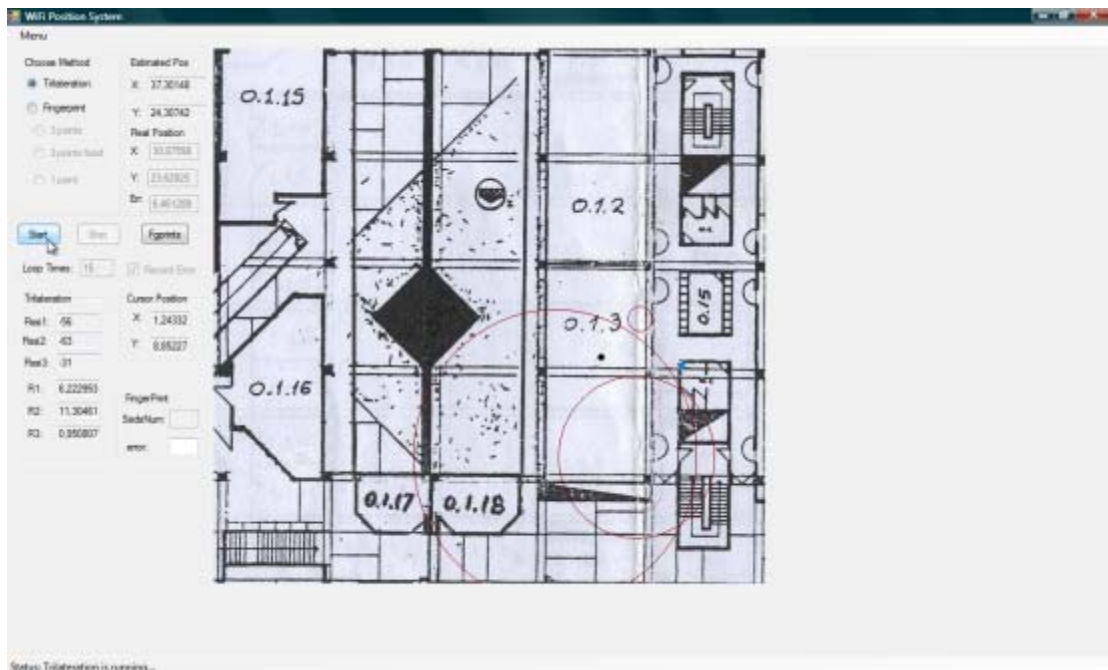
Εικόνα 59 - Θέση 6



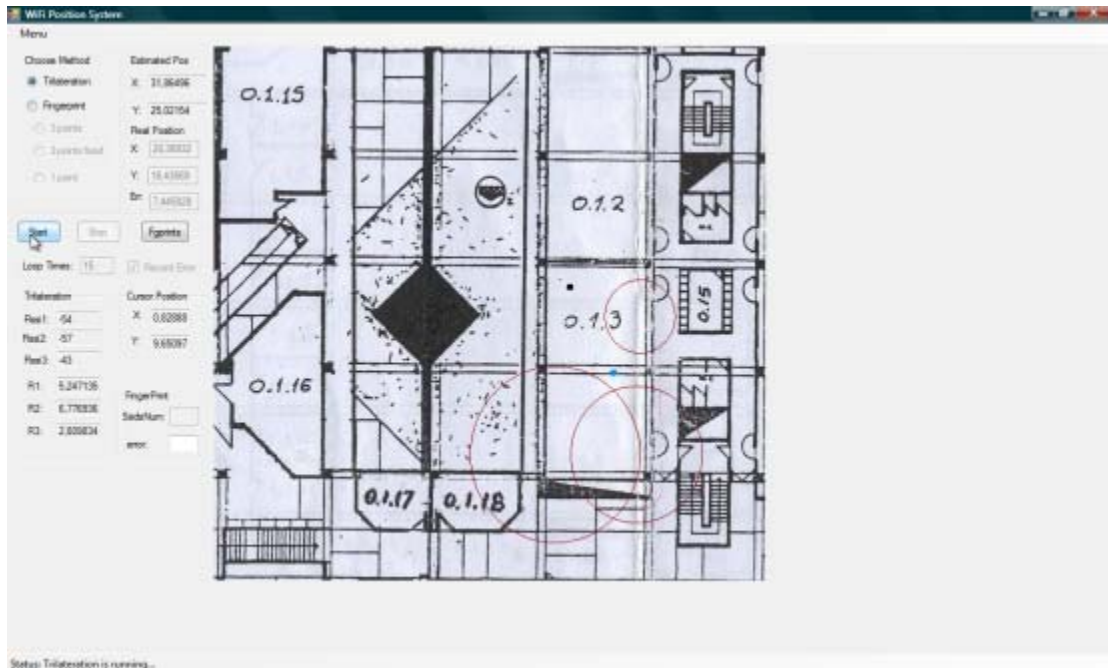
Εικόνα 60 - Θέση 7 αναγκαστική αλλαγή εκθετών



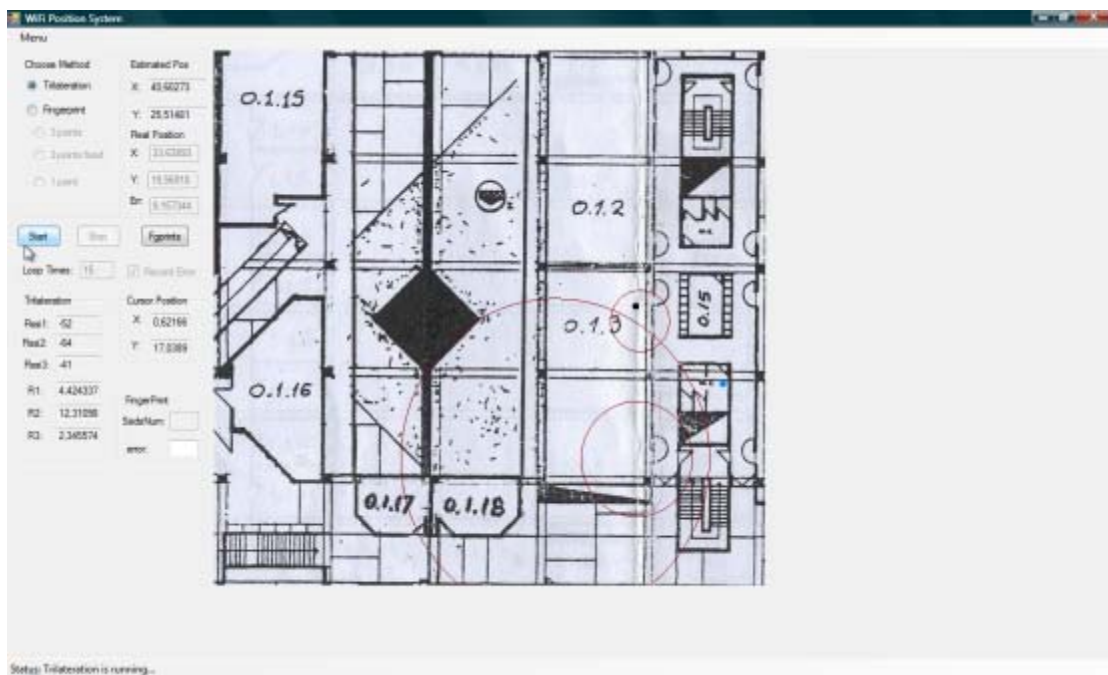
Εικόνα 61 - Θέση 7



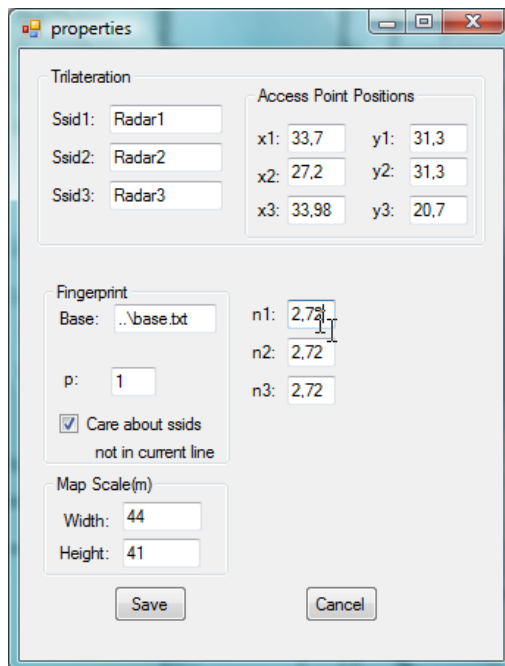
Εικόνα 62 - Θέση 8



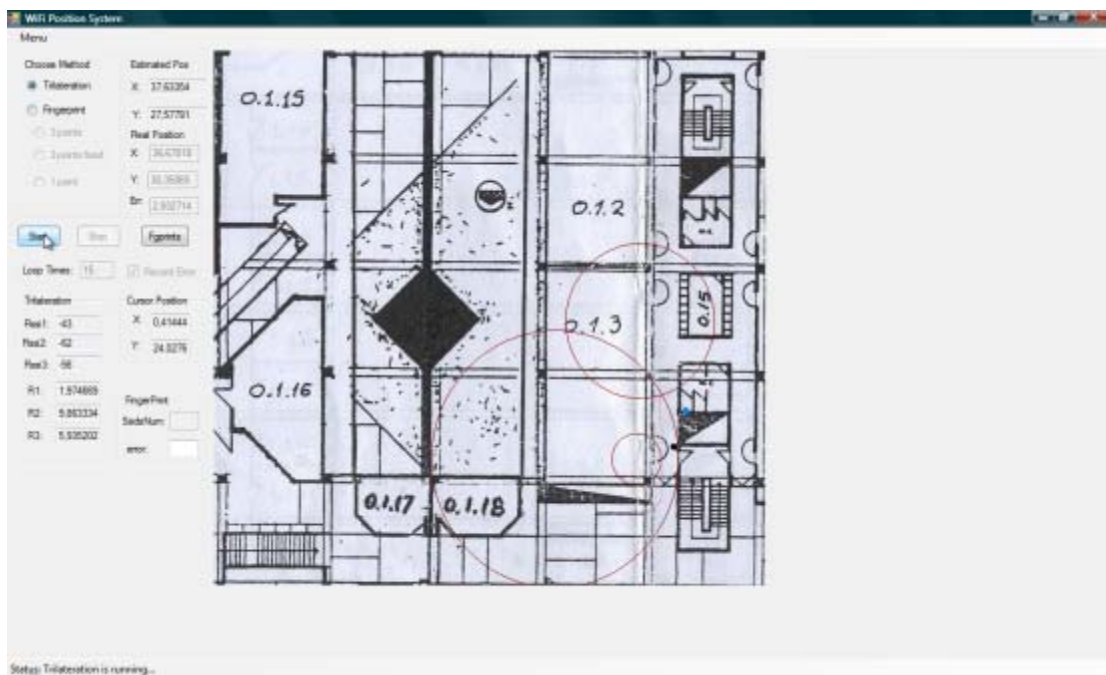
Εικόνα 63 - Θέση 9



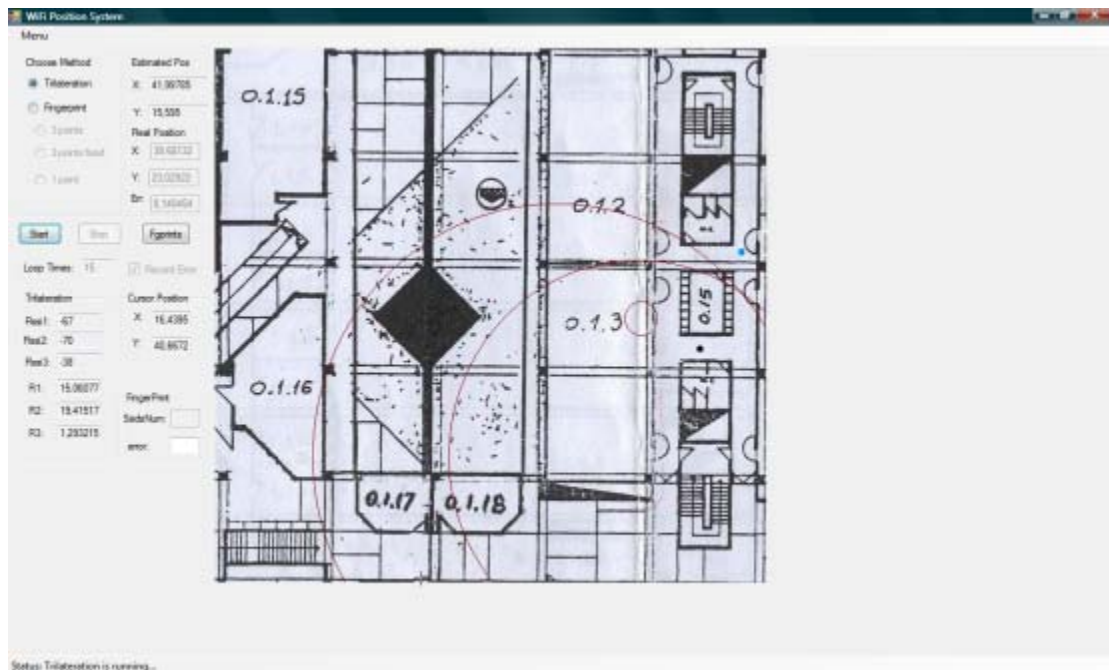
Εικόνα 64 - Θέση 10



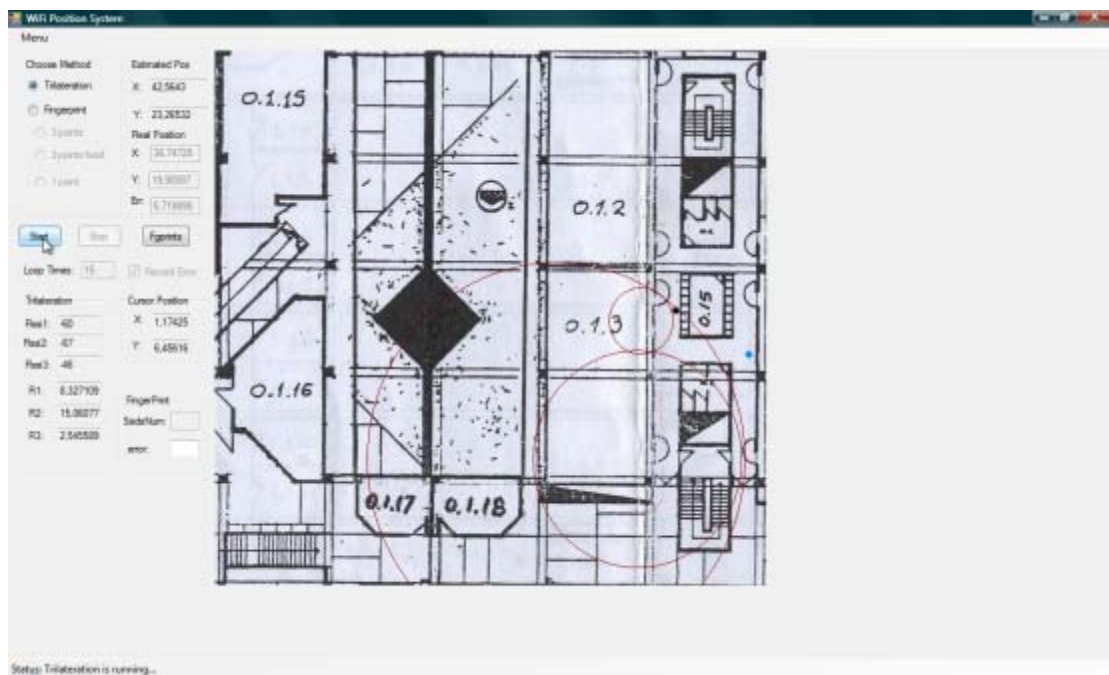
Εικόνα 65 - Θέση 11 αναγκαστική αλλαγή εκθετών



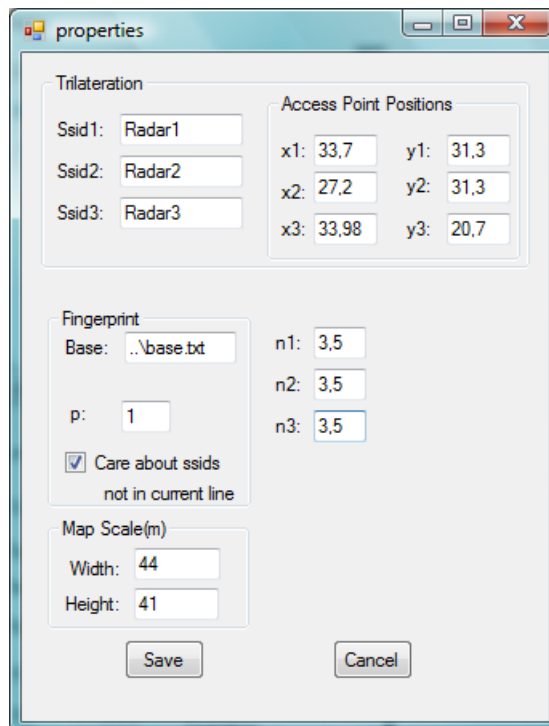
Εικόνα 66 - Θέση 11



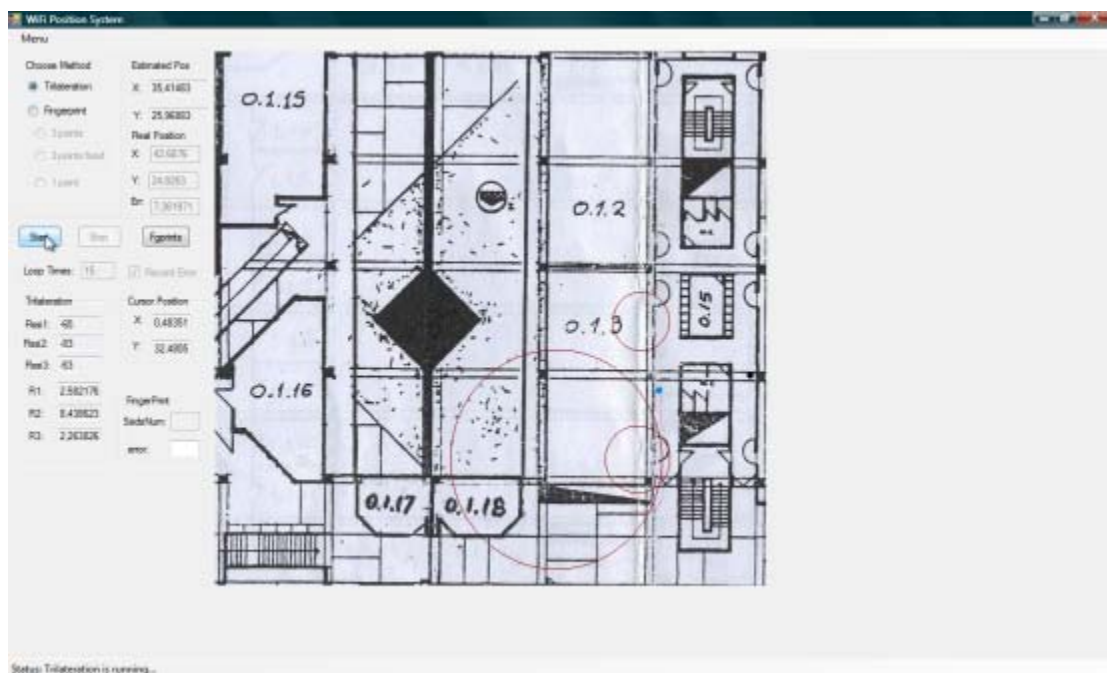
Εικόνα 67 - Θέση 12



Εικόνα 68 - Θέση 13 με αλλαγή της τιμής του εκθέτη n_2 σε 3



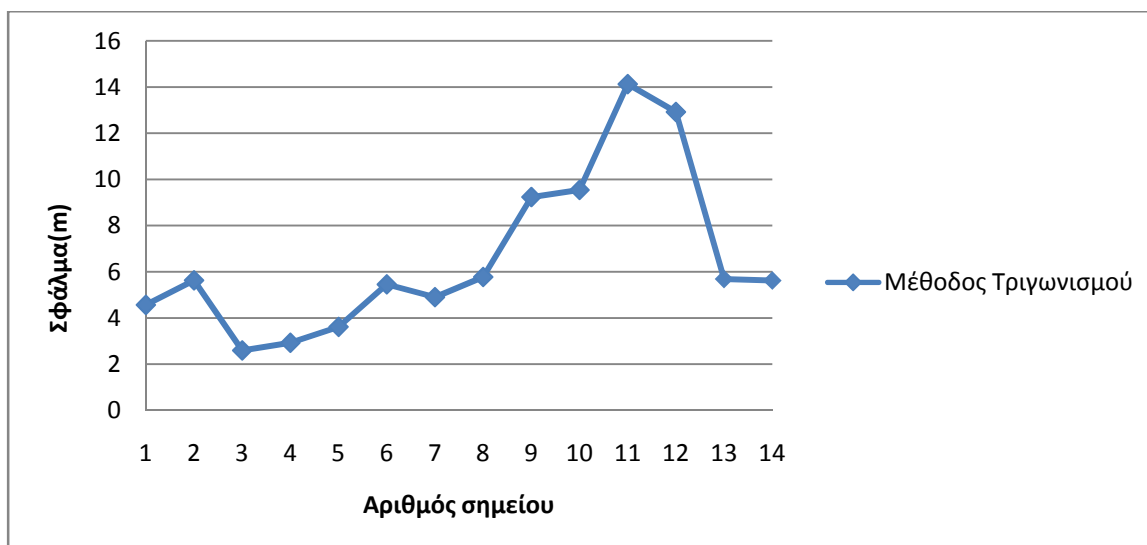
Εικόνα 69 - Θέση 14 με αναγκαστική αλλαγή εκθετών



Εικόνα 70 - Θέση 14

Όπως φαίνεται και από τις παραπάνω εικόνες χρησιμοποιήσαμε δεκατέσσερα σημεία. Τα πρώτα σημεία ήταν στο ίδιο ή σε διπλανό δωμάτιο με τους ασύρματους κόμβους του πειράματος. Έτσι οι εκθέτες που είχαμε αποφασίσει να χρησιμοποιήσουμε έδιναν μια αποδεκτή ακρίβεια. Όμως, όσο απομακρυνόμαστε από τους ασύρματους κόμβους οι τιμές αυτές των εκθετών άρχισαν να δίνουν αποτελέσματα με μεγάλα σφάλματα και γι' αυτό το λόγο κρίναμε σκόπιμο όπου χρειαζόταν να αυξήσουμε λίγο τους εκθέτες. Για κάθε σημείο όπου κάναμε αλλαγή του εκθέτη το έχουμε σημειώσει στην εικόνα του σημείου αυτού,

παράλληλα αναφέρουμε και την νέα τιμή του δίνουμε σε κάθε εκθέτη. Ας δούμε τώρα τα αποτελέσματα όπως παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα με τον οριζόντιο άξονα να έχει τον αριθμό του κάθε σημείου και τον κατακόρυφο άξονα να έχει τα σφάλματα σε μέτρα.



Γράφημα 15 - Τριγωνισμός, δεύτερος χώρος

Με βάση το διάγραμμα αυτό προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα. Στα πρώτα σημεία το σφάλμα είναι σχετικά μικρό. Αυτό οφείλεται στο ότι οι εκθέτες απωλειών που προσδιορίσαμε στον πρώτο χώρο για οπτική και μη οπτική επαφή ταιριάζουν και στο δεύτερο χώρο. Ωστόσο όσο απομακρυνόμαστε από τους πομπούς ο εκθέτης απωλειών πρέπει να αλλάξει αλλιώς το σφάλμα μεγαλώνει. Αυτό συμβαίνει, διότι στη μη οπτική επαφή για το συγκεκριμένο μήκος κύματος που χρησιμοποιούμε παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο τα εμπόδια που εμφανίζονται μεταξύ πομπού και δέκτη και κυρίως οι τοίχοι, οι οποίοι προκαλούν μεγάλες αποσβέσεις στο σήμα μας. Αλλάζοντας τον εκθέτη προσπαθήσαμε να βελτιώσουμε την ακρίβεια σε μεγάλες αποστάσεις όπου εμφανίζονται πολλά εμπόδια ανάμεσα σε πομπό και δέκτη και κυρίως στα τελευταία σημεία. Έτσι, στα σημεία δεκατρία και δεκατέσσερα καταφέραμε αλλάζοντας λίγο τον εκθέτη να μειώσουμε το σφάλμα. Ωστόσο στα σημεία έντεκα και δώδεκα αυτό δεν το καταφέραμε. Ένα σοβαρό πρόβλημα, λοιπόν, της μεθόδου τριγωνισμού είναι ο προσδιορισμός του εκθέτη απωλειών. Παρατηρήσαμε ότι ο εκθέτης έχει ίδια τιμή σε σημεία που βρίσκονται σε μικρούς χώρους και έχουν μεταξύ τους οπτική επαφή. Δηλαδή σε κάθε δωμάτιο μπορούμε να χρησιμοποιούμε τον ίδιο εκθέτη απωλειών, όμως από δωμάτιο σε δωμάτιο ο εκθέτης πρέπει να αλλάξει. Συνοψίζοντας, τα αποτελέσματα αυτού του πειράματος, το οποίο αφορούσε τη μέθοδο τριγωνισμού χωρίς προηγούμενο προσδιορισμό του εκθέτη απωλειών, μας δείχνουν ότι η μέθοδος αυτή παρουσιάζει αυξανόμενα σφάλματα όσο απομακρυνόμαστε από τους πομπούς και ανάμεσα σε αυτούς και τον δέκτη εμφανίζονται εμπόδια.

6.4 Δεύτερος χώρος: Αποτελέσματα μεθόδου αποτυπωμάτων

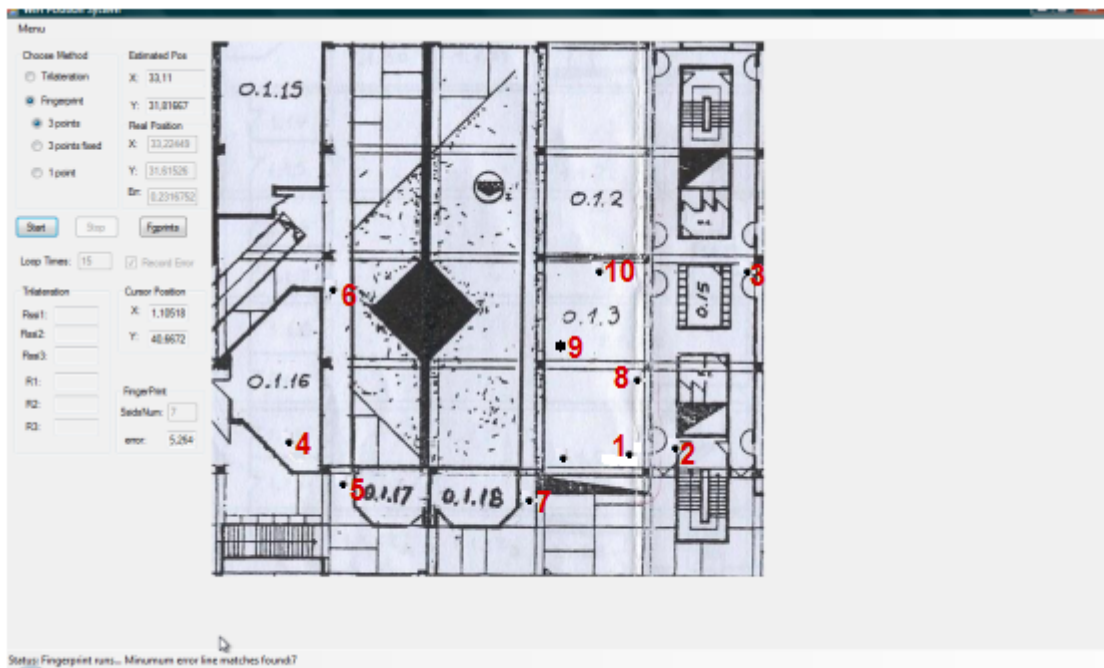
Στη συνέχεια εφαρμόζουμε τη μέθοδο αποτυπωμάτων για το δεύτερο χώρο. Στα παρακάτω πειράματα θα χρησιμοποιήσουμε εκθέτη p ίσο με δύο. Στο πρώτο πείραμα θα τρέξουμε όλες τις παραλλαγές της μεθόδου αποτυπωμάτων σε διάφορα σημεία του χώρου με σκοπό να συγκρίνουμε τις μεθόδους μεταξύ τους, και παράλληλα να συγκρίνουμε τη

μέθοδο αποτυπωμάτων με αυτή του τριγωνισμού. Πρέπει να σημειώσουμε ότι σε αυτό το πείραμα η μέθοδος των αποτυπωμάτων δεν θα εφαρμοστεί στα ίδια σημεία του χώρου όπου εφαρμόστηκε παραπάνω η μέθοδος του τριγωνισμού, όπως έγινε για τον πρώτο χώρο. Στην Εικόνα 71 απεικονίζονται τα αποτυπώματα που συλλέξαμε με θαλασσί κουκίδες και οι θέσεις των πομπών με πορτοκαλί κουκίδες.



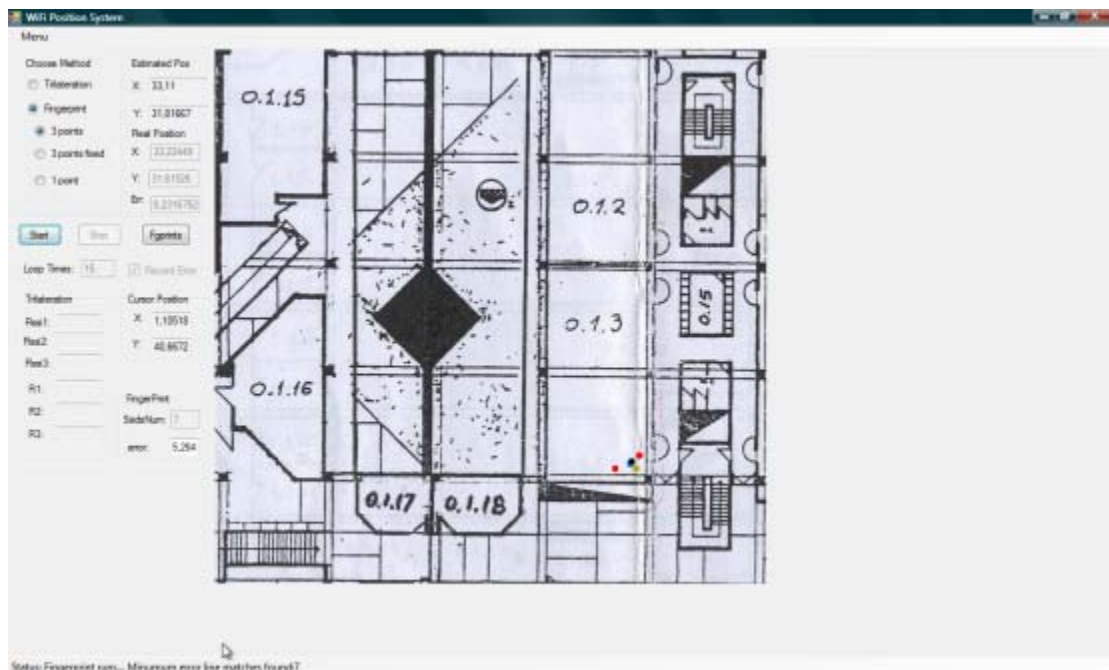
Εικόνα 71 - Μέθοδος αποτυπωμάτων δευτέρου χώρου - θέσεις πομπών και αποτυπώματα

Ακολουθεί η Εικόνα 72 στην οποία φαίνονται με μαύρες κουκίδες τα σημεία όπου τρέξαμε τον αλγόριθμο.

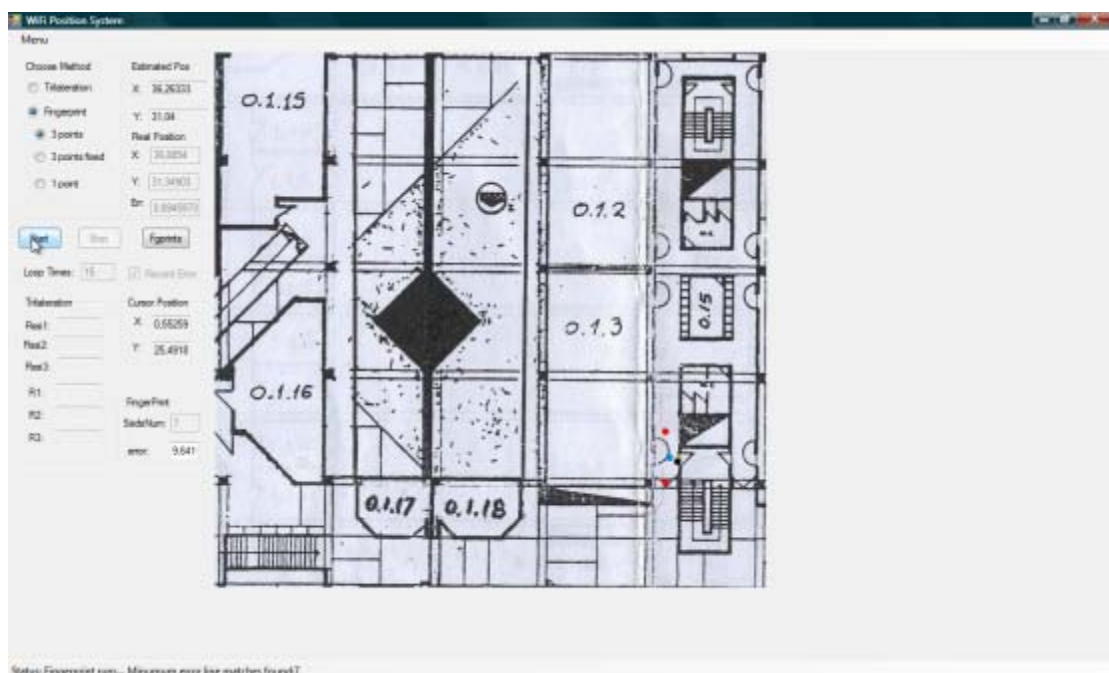


Εικόνα 72 - Μέθοδος αποτυπωμάτων δευτέρου χώρου θέσεις όπου έτρεξαν οι αλγόριθμοι

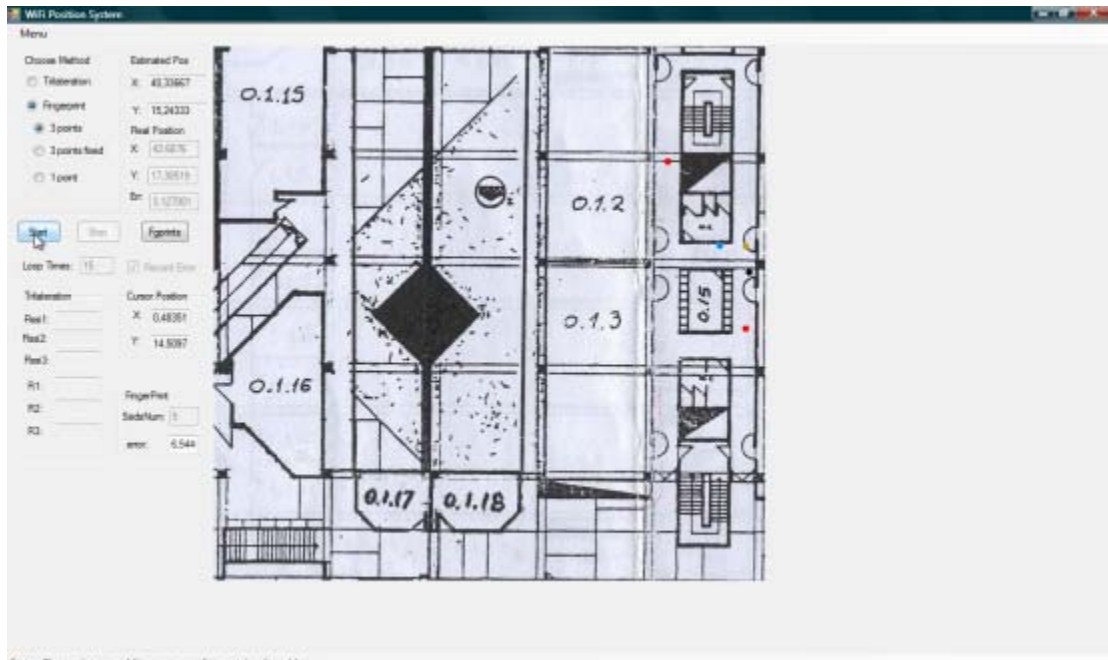
Τέλος, δείχνουμε από την Εικόνα 73 έως την Εικόνα 82 στιγμιότυπα του αλγορίθμου να τρέχει για κάθε ένα σημείο.



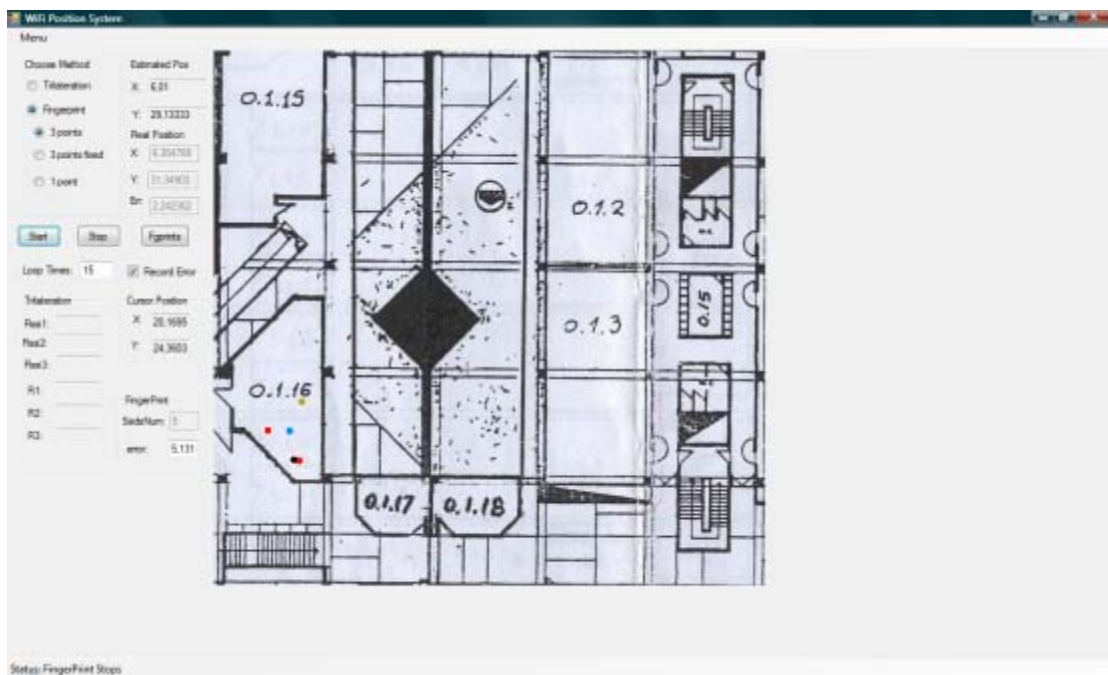
Εικόνα 73 - Θέση 1



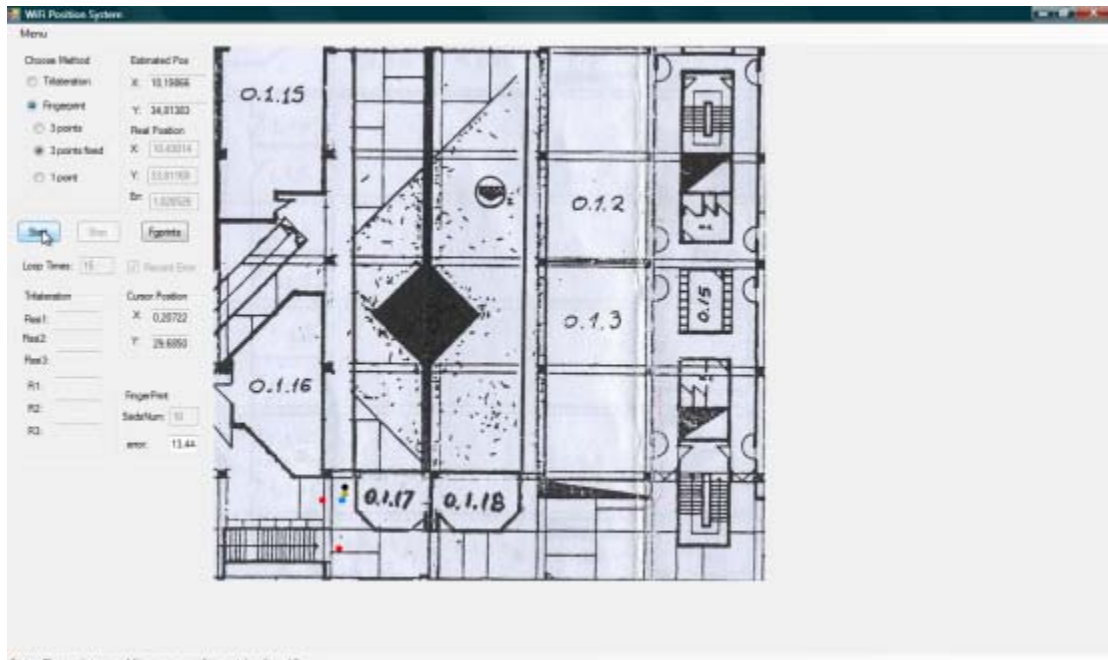
Εικόνα 74 - Θέση 2



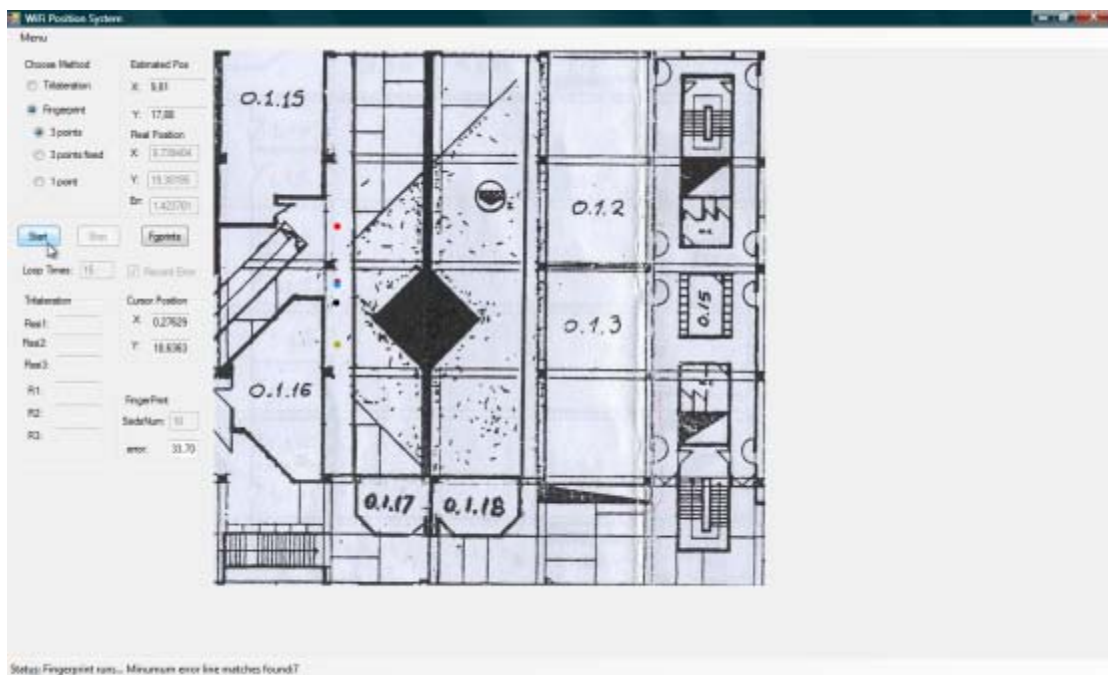
Εικόνα 75 - Θέση 3



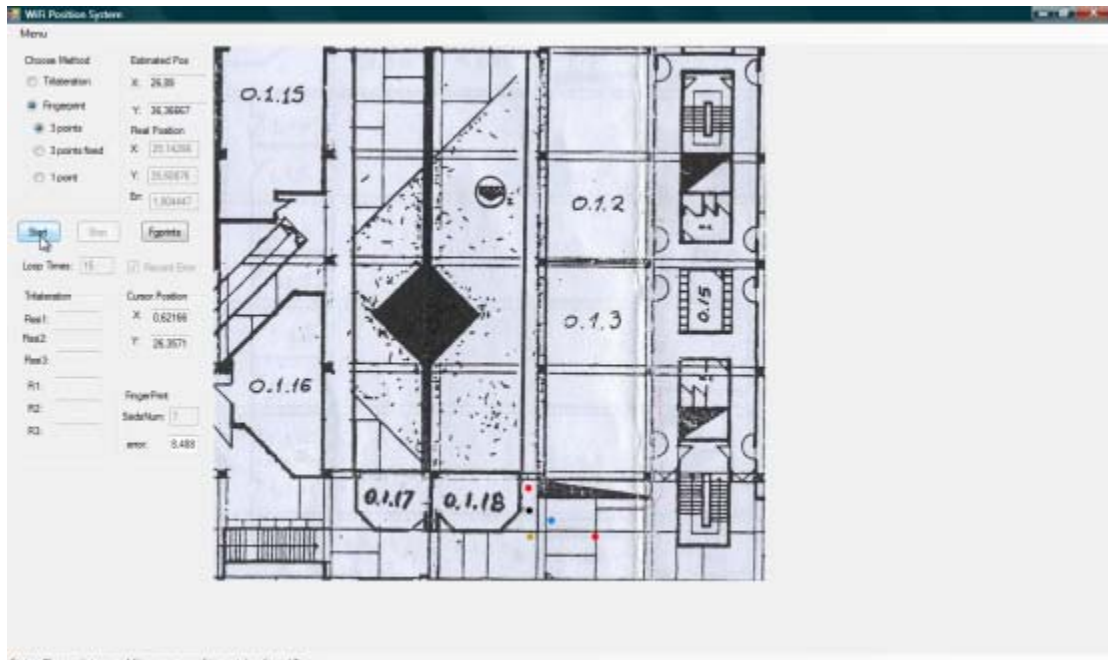
Εικόνα 76 - Θέση 4



Εικόνα 77 - Θέση 5



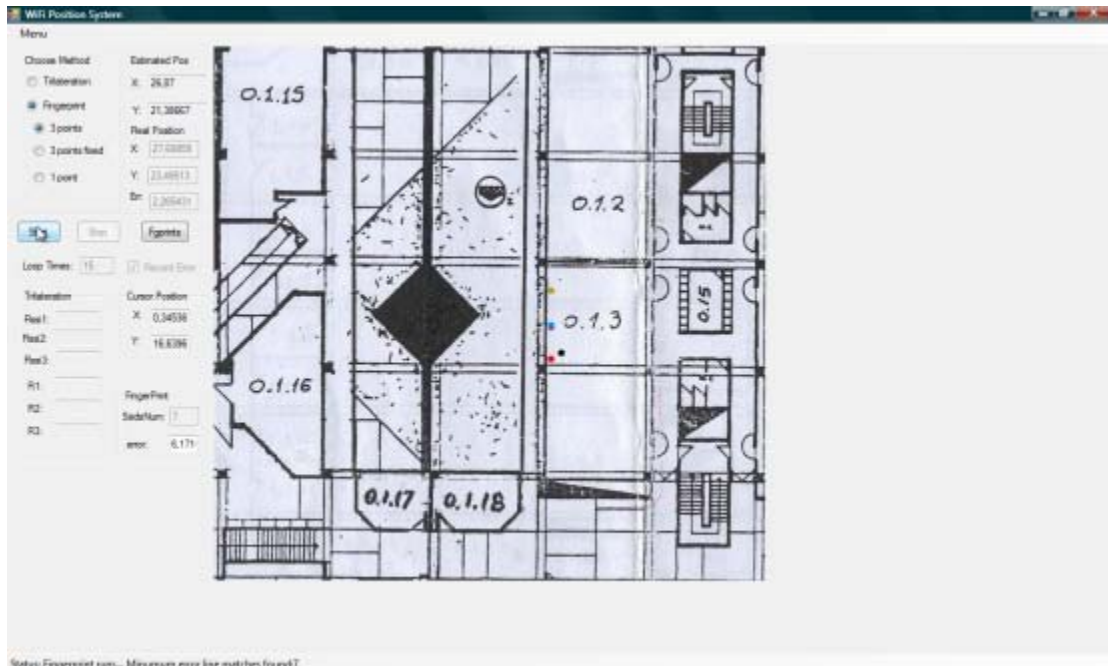
Εικόνα 78 - Θέση 6



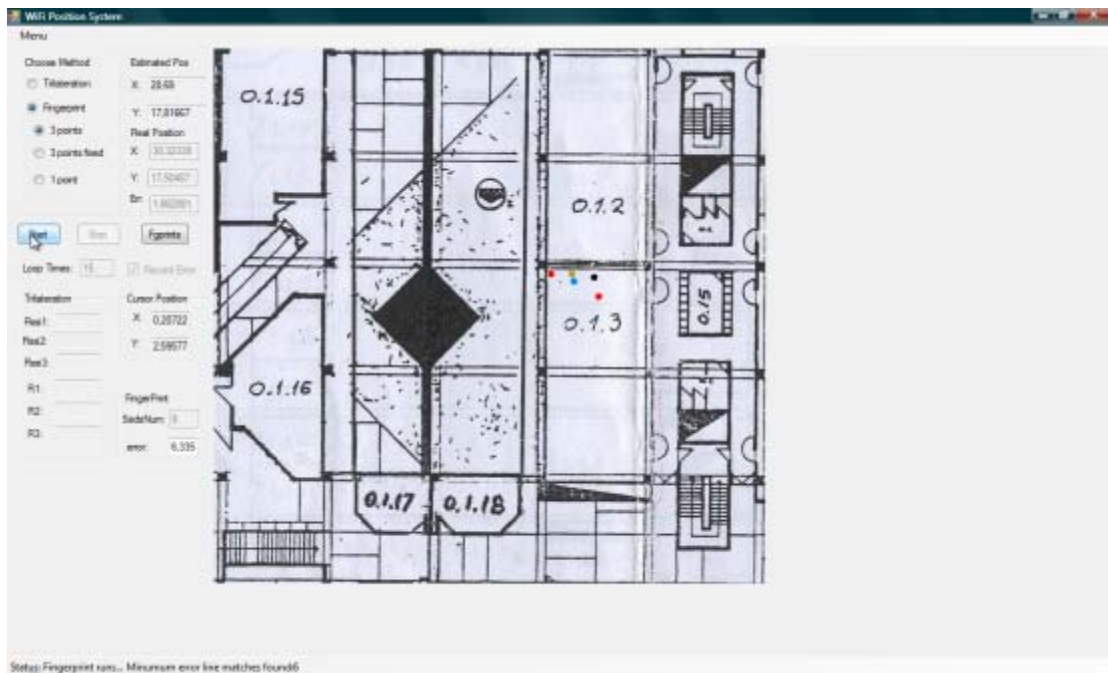
Εικόνα 79 - Θέση 7



Εικόνα 80 - Θέση 8

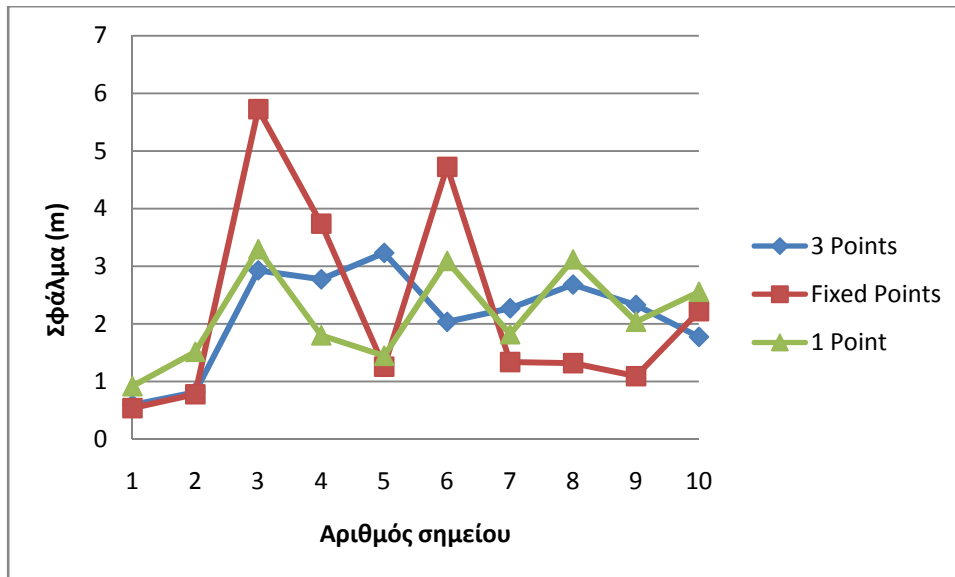


Εικόνα 81 - Θέση 9



Εικόνα 82 - Θέση 10

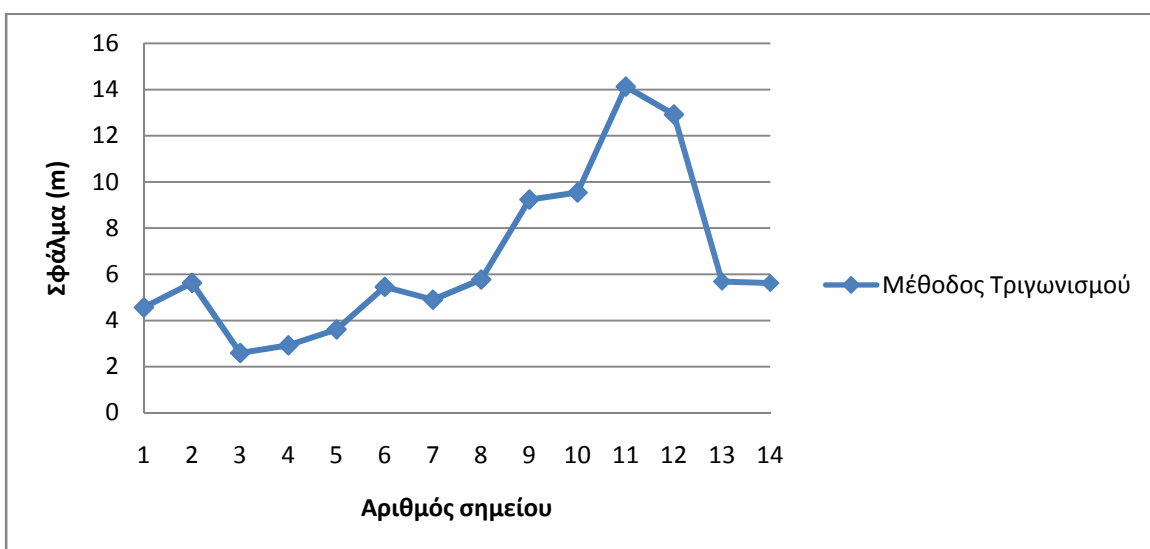
Για το πείραμα αυτό χρησιμοποιήσαμε δέκα θέσεις, σε καθεμία από τις οποίες τρέξαμε και τις τρεις παραλλαγές της μεθόδου αποτυπωμάτων. Στη συνέχεια παραθέτουμε το διάγραμμα με τα αποτελέσματα:



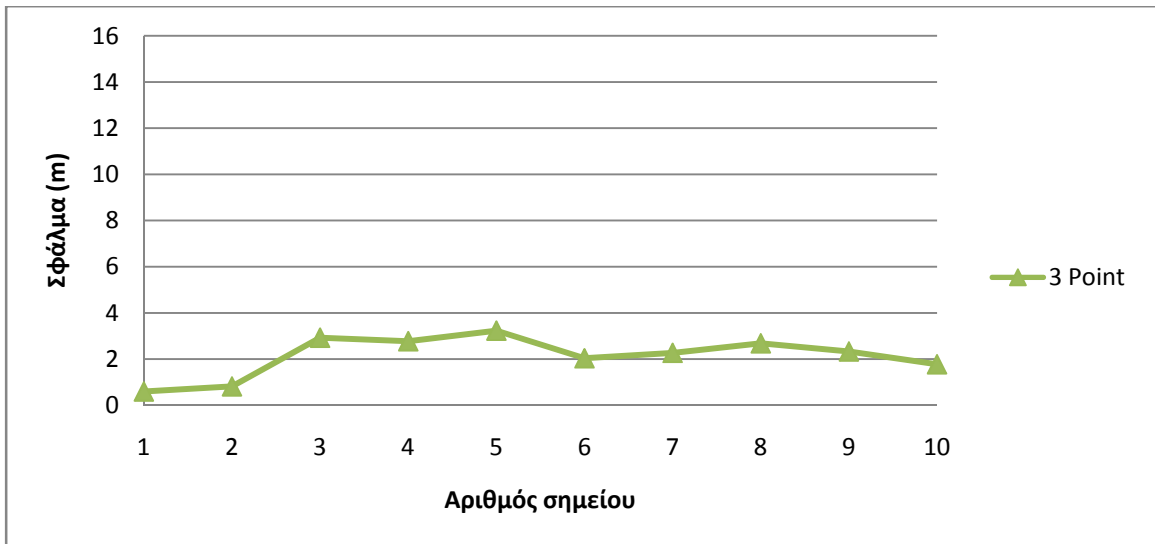
Γράφημα 16 - Fingerprint δευτέρου χώρου

Και σε αυτό το πείραμα βλέπουμε ότι τα αποτελέσματα δίνουν μια μικρή υπεροχή στη μέθοδο του βαρύκεντρου ή μέθοδο των τριών σημείων. Παρόλα αυτά, και οι άλλες δυο μέθοδοι δεν παρουσιάζουν πολύ μεγάλες διαφορές στα σφάλματά τους. Επίσης, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της μεθόδου βαρυκέντρου του χώρου αυτού με τα αντίστοιχα του προηγούμενου χώρου βλέπουμε ότι η ακρίβεια είναι ελαφρώς καλύτερη στο δεύτερο χώρο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στο δεύτερο χώρο εκτός από τους τρεις δικούς μας ασύρματους κόμβους υπάρχουν και πολλοί άλλοι. Έτσι, κάθε αποτύπωμα της βάσης περιέχει το λιγότερο τέσσερις ασύρματους κόμβους καταγεγραμμένους. Αντίθετα, στον πρώτο χώρο το ελάχιστο πλήθος καταγεγραμμένων κόμβων σε κάποια σημεία ήταν δύο ενώ το μέγιστο δεν ξεπερνούσε σε κανένα σημείο τους τέσσερις.

Τέλος, συγκρίνουμε τα αποτελέσματα της μεθόδου τριγωνισμού με αυτά της μεθόδου βαρυκέντρου. Στα επόμενα διαγράμματα φαίνονται τα αποτελέσματα των δυο αυτών μεθόδων.

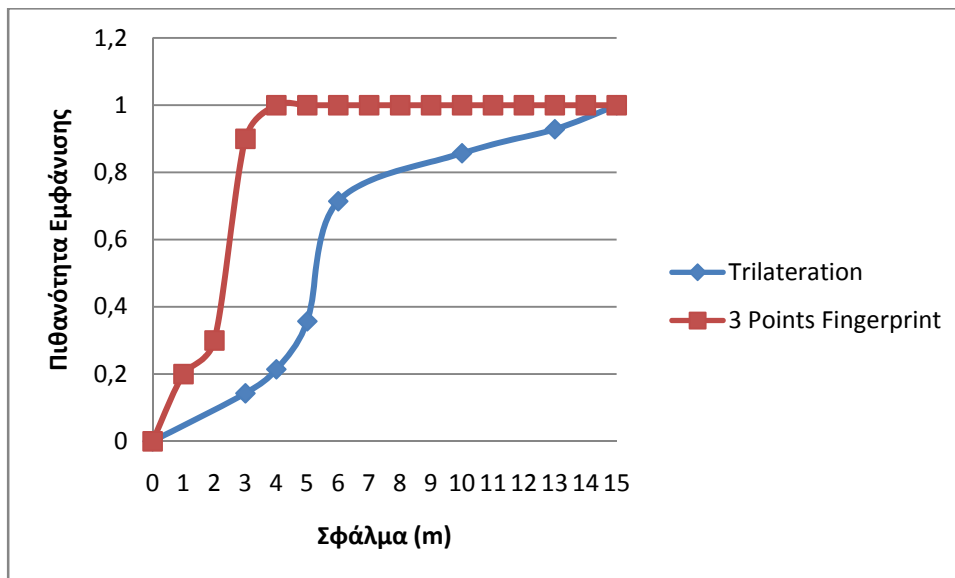


Γράφημα 17 - Αποτελέσματα μεθόδου Τριγωνισμού



Γράφημα 18 - Αποτελέσματα μεθόδου αποτυπωμάτων – παραλλαγή βαρυκέντρου

Πρέπει να σημειώσουμε ότι τα σημεία για κάθε μέθοδο δεν είναι ίδια και γι' αυτό το λόγο δεν βάζουμε τις δυο γραφικές παραστάσεις στο ίδιο διάγραμμα. Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται καθαρά η υπεροχή της μεθόδου αποτυπωμάτων. Βλέπουμε ότι στα αριστερότερα σημεία οι διαφορές των σφαλμάτων δεν είναι τόσο μεγάλες, κάτι που έρχεται σε συμφωνία και με τα αποτελέσματα των πειραμάτων του πρώτου χώρου. Όμως, στα δεξιότερα σημεία, όπου για τη μέθοδο τριγωνισμού απομακρυνόμαστε περισσότερο από τα δωμάτια των πομπών βλέπουμε ότι η διαφορά στην ακρίβεια των μεθόδων μεγαλώνει. Για να μπορέσουμε να συγκρίνουμε καλύτερα τα αποτελέσματα των δυο μεθόδων, χαράζουμε και την συνάρτηση συσσωρευτικής κατανομής του σφάλματος (Cumulative distribution function) για κάθε μέθοδο.

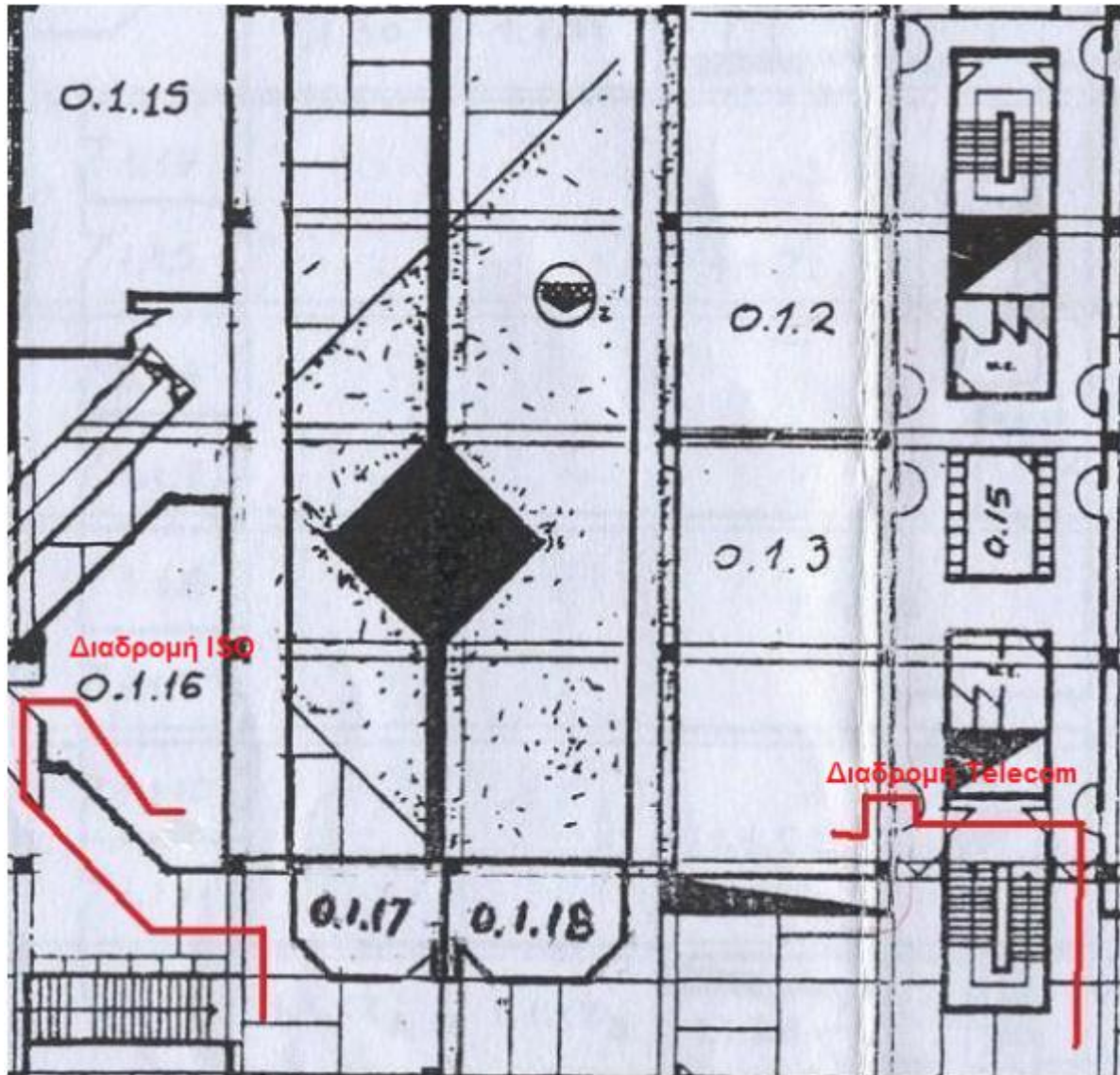


Γράφημα 19 - Συνάρτηση συσσωρευτικής κατανομής σφάλματος

Συγκρίνοντας και τις γραφικές παραστάσεις της συνάρτησης συσσωρευτικής κατανομής για τις δυο μεθόδους, είναι πλέον ξεκάθαρο ότι η μέθοδος αποτυπωμάτων υπερέχει της μεθόδου τριγωνισμού.

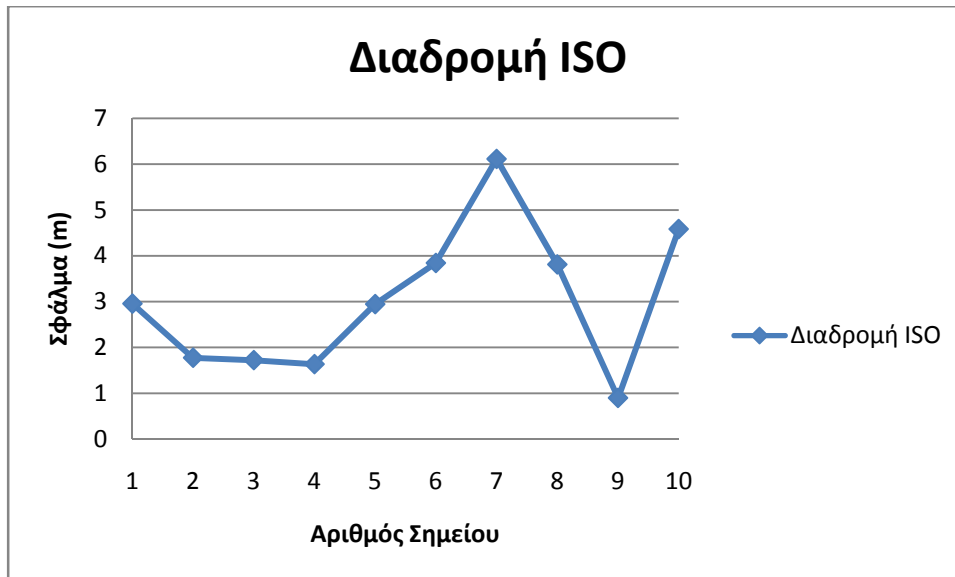
6.5 Στοιχεία για περαιτέρω έρευνα

Στο τελευταίο πείραμα χρησιμοποιήσαμε την παραλλαγή βαρύκεντρου της μεθόδου αποτυπωμάτων και πήραμε μετρήσεις για συνεχόμενα σημεία δυο διαδρομών. Στην επόμενη εικόνα φαίνονται με κόκκινες γραμμές οι διαδρομές αυτές.

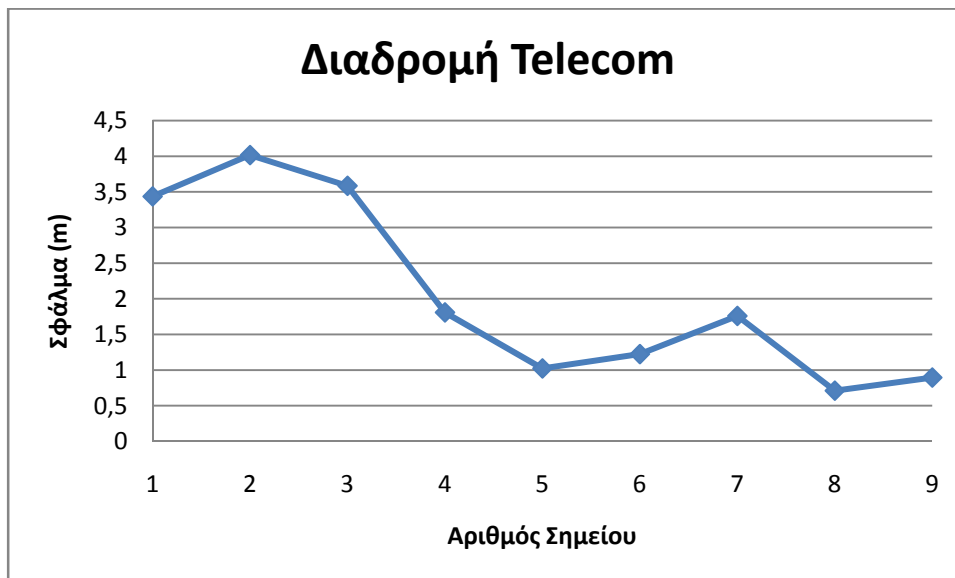


Εικόνα 83 - Διαδρομές

Στη συνέχεια, παραθέτουμε δύο διαγράμματα (ένα για κάθε διαδρομή), στα οποία στον οριζόντιο άξονα είναι τα σημεία της διαδρομής και στον κατακόρυφο άξονα το σφάλμα του σημείου από την πραγματική θέση. Σκοπός τους είναι να δείξουν τα προβλήματα της μεθόδου βαρύκεντρου, όταν χρησιμοποιείται σε πραγματικό χρόνο από έναν κινούμενο χρήστη.



Γράφημα 20 - Διαδρομή ISO



Γράφημα 21 - Διαδρομή Telecom

Αυτό που παρατηρούμε στη διαδρομή «ISO» είναι ότι ενώ στα πρώτα σημεία το σφάλμα είναι μικρό, στη συνέχεια μεγαλώνει. Στη δεύτερη διαδρομή βλέπουμε ότι το σφάλμα ελαττώνεται σταδιακά. Αυτό που μας ενδιαφέρει σε κάθε περίπτωση είναι το κατά πόσον μπορούμε να ελαχιστοποιήσουμε το σφάλμα δεδομένου ότι τα σημεία εντοπισμού είναι διαδοχικά. Για τον σκοπό αυτό απαιτείται ένας αλγόριθμος, ο οποίος εκτός από τα αποτελέσματα της μεθόδου προσδιορισμού θέσης να χρησιμοποιεί και άλλες παραμέτρους όπως την ταχύτητα του χρήστη. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να απορρίπτονται θέσεις οι οποίες επιστρέφονται από τη μέθοδο προσδιορισμού θέσης, αλλά είναι αδύνατες σύμφωνα με άλλες παραμέτρους όπως η ταχύτητα. Αυτό συμβαίνει, επειδή η ταχύτητα κίνησης ανάλογα με το χρόνο μεταξύ των δυο διαδοχικών θέσεων θέτει ένα ανώτατο όριο στην απόσταση που απέχουν οι θέσεις αυτές. Ένας τέτοιος αλγόριθμος που λαμβάνει υπόψιν του την ταχύτητα και στον οποίο εφαρμόζεται φίλτρο Kalman περιγράφεται στο [14]. Το κατά πόσον η εφαρμογή του στις περιπτώσεις των παραπάνω διαδρομών μπορεί να πετύχει μικρότερο σφάλμα εντοπισμού αφήνεται για μελλοντική έρευνα.

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αφού μελετήσαμε τα αποτελέσματα των πειραμάτων μας είμαστε σε θέση πλέον να αναφέρουμε τα τελικά συμπεράσματά μας για τις δυο μεθόδους.

Θα αρχίσουμε με την μέθοδο τριγωνισμού. Όπως αναφέραμε και στην θεωρία μας για το ασύρματο περιβάλλον, τα ασύρματα δίκτυα υπολογιστών χρησιμοποιούν πολύ μεγάλη συχνότητα, το οποίο συνεπάγεται πολύ μικρό μήκος κύματος. Το μικρό μήκος κύματος έχει σαν αποτέλεσμα να επηρεάζεται από τα περισσότερα αντικείμενα που βρίσκονται σε εσωτερικούς χώρους. Αυτό συμβαίνει επειδή, όπως έχουμε αναφέρει και παραπάνω, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα επηρεάζονται από αντικείμενα που είναι συγκρίσιμα με το μήκος κύματος τους και σε εσωτερικούς χώρους σχεδόν όλα τα αντικείμενα έχουν συγκρίσιμο μέγεθος με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας των ασύρματων δικτύων. Έτσι λοιπόν, παρατηρούνται πολλά φαινόμενα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας λόγω της αλληλεπίδρασης των αντικειμένων με την ακτινοβολία, το οποίο οδηγεί στην πολυπλοκότητα ρύθμισης του εκθέτη απωλειών για την μέθοδο αυτή. Όπως παρατηρήσαμε και στα πειράματά μας, ο εκθέτης πρέπει να υπολογίζεται και να χρησιμοποιείται, όταν βρισκόμαστε μέσα σε κτίρια, σε μικρές περιοχές. Μικρή περιοχή μπορεί να είναι ένα δωμάτιο ή ένας διάδρομος. Οι περιοχές όπου ο εκθέτης απωλειών είναι σταθερός εξαρτώνται από την αρχιτεκτονική του κτιρίου και τη θέση των πομπών. Αυτός είναι ο κύριος λόγος που καθιστά τη μέθοδο αυτή δύσκολη στην εφαρμογή της για μεγάλες περιοχές. Ένα ακόμα μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι δεν είναι καθόλου ευέλικτη. Δηλαδή, σε περίπτωση μη λειτουργίας ακόμα και ενός από τους πομπούς δεν είναι δυνατόν να δώσει αποτελέσματα. Ένα τελευταίο μειονέκτημα είναι για την εφαρμογή της απαιτεί περισσότερο εξοπλισμό από τη μέθοδο των αποτυπωμάτων. Στα σημεία όπου υπερέχει της μεθόδου αποτυπωμάτων είναι στο ότι απαιτεί λιγότερη υπολογιστική ισχύ και μπορεί να κάνει προσεγγίσεις σε πολύ μικρότερο χρόνο από τη μέθοδο αποτυπωμάτων.

Για τη μέθοδο αποτυπωμάτων μπορούμε να αναφέρουμε τα εξής συμπεράσματα: Αρχικά, δεν απαιτεί τη γνώση ρυθμίσεων του εξοπλισμού όπως η μέθοδος τριγωνισμού και μπορεί να χρησιμοποιήσει όλα τα υπάρχοντα access point που υπάρχουν ήδη εγκατεστημένα σε ένα χώρο. Επιπλέον, είναι πολύ ευκολότερο να καλύψει μεγάλες περιοχές με πολλές μορφολογικές ιδιαιτερότητες, καθώς το μόνο που χρειάζεται είναι να γίνουν μετρήσεις και να καταχωρηθούν σε μια βάση ενώ δεν χρειάζονται υπολογισμοί των κατά τόπους εκθετών απωλειών. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι ότι η μέθοδος αυτή είναι πολύ ευέλικτη. Είδαμε ότι ακόμα και με έναν ασύρματο κόμβο μπορεί να μας δώσει σχετικά αξιόπιστα αποτελέσματα, ενώ με δύο ασύρματους κόμβους τα αποτελέσματα της είναι πολύ αξιόπιστα. Τα σημεία που υστερεί της μεθόδου τριγωνισμού είναι στην απαιτούμενη υπολογιστική ισχύ και στον απαιτούμενο υπολογιστικό χρόνο. Λόγω του ότι πρέπει να σαρώσει μια βάση δεδομένων καθυστερεί αρκετά να δώσει αποτελέσματα. Η καθυστέρηση αυτή αυξάνει όσο μεγαλύτερη είναι και η βάση δεδομένων. Η χρησιμοποίηση πιο αραιών αποτυπωμάτων μπορεί να μειώσει την καθυστέρηση αυτή, ωστόσο αυξάνει το σφάλμα στις εκτιμήσεις της μεθόδου. Τέλος αυτό που πρέπει να αναφέρουμε για τις τρεις διαφορετικές παραλλαγές της μεθόδου είναι ότι η παραλλαγή του βαρύκεντρου φάνηκε να δίνει ελαφρώς καλύτερα αποτελέσματα.

Ολοκληρώνοντας, παραθέτουμε δύο πίνακες με το μέσο όρο και την τυπική απόκλιση του σφάλματος για κάθε μέθοδο και για τους δυο χώρους. Και τα δυο στατιστικά μεγέθη είναι υπολογισμένα σε μέτρα. Για τον πρώτο χώρο τα αποτελέσματα τα εξάγαμε από τα δεδομένα στο Γράφημα 14 ενώ για τον δεύτερο χώρο τα αποτελέσματα τα εξάγαμε από τα δεδομένα στο Γράφημα 16 και στο Γράφημα 17.

Πρώτος χώρος		
Μέθοδος	Μέσος όρος σφάλματος (m)	Τυπική απόκλιση σφάλματος (m)
Μέθοδος αναλογίας λαθών	2,63	1,7
Μέθοδος Βαρυκέντρου	2,11	1,3
Μέθοδος ελαχίστης απόκλισης	2,64	0,64
Μέθοδος Τριγωνισμού	3,53	1,76

Δεύτερος χώρος		
Μέθοδος	Μέσος όρος σφάλματος (m)	Τυπική απόκλιση σφάλματος (m)
Μέθοδος αναλογίας λαθών	2,07	1,81
Μέθοδος Βαρυκέντρου	2,14	0,87
Μέθοδος ελαχίστης απόκλισης	2,16	0,81
Μέθοδος Τριγωνισμού	6,17	3,53

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] <http://en.wikipedia.org/wiki/Trilateration>
- [2] P. Prasithsangaree, P. Krishnamurthy and, P. Chrysanthis, “On indoor position location with wireless LANs,” in the Proc. of the 13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Vol. 2, pp. 720 – 724, Sept. 2002.
- [3] <http://en.wikipedia.org/wiki/Centroid>
- [4] IEEE, K.Kaemarungsi, P.Krishnamurthy, “Properties of Indoor Received Signal Strength for WLAN Location Fingerprinting”, Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services, 2004
- [5] E. Dijk, C. van Berkel, R. Aarts, E. van Loenen, “A 3-D indoor positioning method using a single compact base station,” in Proc. of the Second IEEE Annual Conference on Pervasive Computing and Communications, pp. 101-110, 2004.
- [6] L. Tsung-Nan, and L. Po-Chiang, “Performance comparison of indoor positioning techniques based on location fingerprinting in wireless networks,” in Proc. International Conference on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing, Vol. 2, pp. 1569 – 1574, June 2005.
- [7] T. Kitasuka, T. Nakanishi, A. Fukuda, “Wireless LAN based Indoor positioning system WiPS and its simulation,” in Proc. of the IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and signal Processing, Vol. 1, pp. 272-275, Aug. 2003.
- [8] I. Cubic, D. Begusic and, T. Mandi, “Client based wireless LAN indoor positioning,” in Proc. of the 8th International Conference on Telecommunications, Vol. 1, pp. 335- 339, June 2005.
- [9] <http://info.awmn.net/>
- [10] Α. Δράκος, Β. Ματεβίτσι, “Επιπτώσεις Ασύρματων Δικτύων Επικοινωνιών (WiFi) στην δημόσια υγεία,” Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τηλεπικοινωνιών Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Ιούνιος 2005 .
- [11] Χ. Καγάλης, Π Κωττής, “Κεραίες Ασύρματες Ζεύξεις”, Εκδόσεις Τζιόλα, 2005.
- [12] Ι.Δ. Κανελλόπουλος, “Διάδοση Ηλεκτρομαγνητικών Κυμάτων σε γήινο περιβάλλον,” Εκδόσεις Τζιόλα, 2006.
- [13] Μ.Ε. Θεολόγου, “Δίκτυα κινητών και προσωπικών επικοινωνιών,” Εκδόσεις Τζιόλα, 2007.
- [14] Α. Kotanen, Μ. Hannikainen, Η. Leppakoski, Τ. Hamalainen, “Experiments on Local Positioning with Bluetooth”, Proceedings of the International Conference on Information Technology: Computers and Communications, pp. 297 – 303, April 2003.