



Πανεπιστήμιο Πειραιώς – Τμήμα Πληροφορικής

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Πληροφορική»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τίτλος Διατριβής	Ανάπτυξη συστήματος εντοπισμού θέσης. για smartphones, σε εσωτερικούς χώρους με τη χρήση των αισθητήρων της συσκευής και Wi-Fi σύνδεσης Analysis and creation of an indoors positioning system for smartphones using mobile sensors and Wi-Fi connection
Όνοματεπώνυμο Φοιτητή	Ορφανός Μανώλης
Πατρώνυμο	Ιωάννης
Αριθμός Μητρώου	ΜΠΣΠ13078
Επιβλέπων	Αλέπης Ευθύμιος, Επίκουρος Καθηγητής
Ημερομηνία Παράδοσης	Ιούλιος 2017

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

(υπογραφή)

(υπογραφή)

(υπογραφή)

Όνομα Επώνυμο
Βαθμίδα

Όνομα Επώνυμο
Βαθμίδα

Όνομα Επώνυμο
Βαθμίδα

Περιεχόμενα

Περίληψη	5
Κεφάλαιο 1	
1.1 Ιστορία	6
1.2 Πρόβλημα και Τεχνολογίες	7
1.3 Ερευνητικός στόχος	8

1.4 Δομή της εργασίας	9
Κεφάλαιο 2	
2.1 Συνηθισμένες Τεχνικές Εντοπισμού Θέσης	10
2.1.1 GPS	11
2.1.2 A-GPS	12
2.1.3 Wi-Fi	12
2.1.4 Inertial Navigation System (INS)	12
2.1.5 Άλλα συστήματα	13
2.1.6 Σύγκριση των Διαφόρων Τεχνικών Εντοπισμού Θέσης	13
2.2 Εντοπισμός Θέσης Χρησιμοποιώντας Smartphone Τεχνολογίες	14
2.2.1 Ιστορία των Smartphones	15
2.2.2 Λογισμικό	15
2.2.3 Αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό θέσης	16
2.3 Προβλήματα κατά τον εντοπισμό θέσης σε εσωτερικούς χώρους	17
2.4 Μέθοδοι υπολογισμού	19
2.4.1 Αρχική κυψέλη (Cell of Origin)	19
2.4.2 Μέθοδος Τριαλλαγής	20
2.4.3 Μέθοδος αποτυπομάτων (fingerprinting)	20
2.4.4 Σύγκριση μεθόδων εντοπισμού θέσης	21
2.5 Μετρήσεις	22
2.5.1 TOA (time of arrival)	22
2.5.2 TDOA (time difference of arrival)	23
2.5.3 AOA (angle of arrival)	24
2.5.4 RSS	25
2.5.5 Χαρακτηριστικά των τεσσάρων μεθόδων μέτρησης	26
2.6 Fingerprinting	27
2.6.1 Αλγόριθμος πλησιέστερου γείτονα (Nearest Neighbor, NN)	28
2.6.2 K-NN αλγόριθμος	28
2.6.4 Bayesian αλγόριθμος	29
2.7 Περίληψη	30
Κεφάλαιο 3	
3.1 Λογισμικό και τεχνολογίες	31
3.2 Αλγόριθμος	33

3.3 Κύριες κλάσεις της εφαρμογής	35
3.4 Πειράματα και αποτελέσματα εφαρμογής	63
Κεφάλαιο 4	
4.1 Συμπέρασμα	67
4.2 Μελλοντικές βελτιώσεις	67
Βιβλιογραφία	69

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σήμερα, η συντριπτική πλειοψηφία των κινητών συσκευών, διαθέτουν δυνατότητα σύνδεσης στο Internet μέσω ασύρματων ή κυψελοειδών δικτύων. Σύμφωνα με πρόσφατες στατιστικές τείνουμε να ξοδεύουμε 80-90% του χρόνου μας σε εσωτερικούς χώρους. Αυτά τα δύο γεγονότα έχουν αναθερμάνει το ενδιαφέρον για την ανακάλυψη λύσεων εντοπισμού θέσης συσκευών σε εσωτερικούς χώρους αφού ο δορυφορικός εντοπισμός θέσης (GPS) δεν είναι διαθέσιμος μέσα σε κτίρια. Αυτό ήταν το κίνητρο για την ανάπτυξη αλγορίθμων εντοπισμού θέσης που βασίζονται στην υπάρχουσα υποδομή WLAN και στην χρήση δακτυλικών αποτυπωμάτων σήματος (RSS).

Μέχρι στιγμής, στόχος είναι η βελτίωση της ακρίβειας και οι προτεινόμενες μέθοδοι συνήθως αξιολογούνται μόνο από την άποψη της ακρίβειας σε ρυθμίσεις μικρής κλίμακας. Ωστόσο, ο χρόνος που απαιτείται για να υπολογισθεί η θέση του χρήστη είναι εξίσου σημαντικός, δεδομένου ότι ενδέχεται να παραβιάζει, σε πραγματικό χρόνο, περιορισμούς της αίτησης. Επιπλέον, η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας είναι μια άλλη σημαντική προϋπόθεση. Ωστόσο, τόσο ο χρόνος εκτίμησης όσο και η εξάντληση της μπαταρίας κατά τη διάρκεια του εντοπισμού θέσης έχουν λάβει λίγη προσοχή, ειδικά στο πλαίσιο των κινητών συσκευών.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας αναπτύχθηκε μια εφαρμογή εντοπισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους με τη χρήση της WLAN υποδομής του χώρου.

Today, the overwhelming majority of mobile devices have the ability to connect to the Internet via wireless or cellular networks. According to recent statistics, we tend to spend 80-90% of our time indoors. These two events have exaggerated interest in discovering indoor geolocation solutions since satellite positioning (GPS) is not available in buildings. This was the motivation for the development of positioning algorithms based on the existing WLAN infrastructure and the use of fingerprint (RSS) signals.

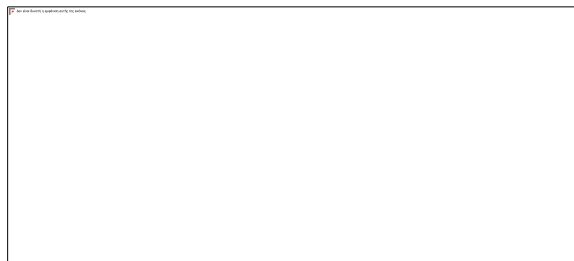
So far, the goal is to improve accuracy and the proposed methods are usually evaluated only in terms of precision in small-scale arrangements. However, the time taken to calculate the user's location is equally important, since it may violate real-time application limitations. In addition, low energy consumption is another important condition. However, both time estimation and battery exhaustion during positioning have received little attention, especially on mobile devices.

In the context of this work we developed an indoor positioning application using the WLAN infrastructure of the site.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Ιστορία

Καθοδηγούμενες οι ανεπτυγμένες χώρες, από την αυξανόμενη ζήτηση για smartphones χαμηλού κόστους και υψηλών ικανοτήτων, έχουν εδραιώσει τα smartphones ως ένα βασικό εργαλείο στην καθημερινότητά μας. Αντιπροσωπεύουν σήμερα την πλειοψηφία του παγκόσμιου κινητού τηλεφώνου με πωλήσεις που αγγίζουν τα 1,5 δισεκατομμύρια τεμάχια. Με την ταχεία ανάπτυξη της τεχνολογίας και τη βαθύτερη εξατομίκευση του λογισμικού, τα smartphones έχουν εξελιχθεί από πολυτέλεια σε ανάγκη. Πλέον οι άνθρωποι χρησιμοποιούν τα τηλέφωνα τους ως μοναδική πηγή πληροφοριών και διασκέδασης. Αυτ σημαίνει ότι οι προγραμματιστές εφαρμογών και λογισμικού πρέπει να δημιουργούν προϊόντα που θα ανταπεξέρχονται στις ανάγκες και στη χρήση των smartphone χρηστών. Αυτή η δυναμική της αγοράς προκαλεί έντονο ενδιαφέρον σε ερευνητές και προγραμματιστές.



Εικόνα 1 - Τα έσοδα της αγοράς των WLAN και Wi-Fi τηλεφώνων

Το Wi-Fi είναι μια σημαντική προεπιλεγμένη λειτουργία για αρκετά χρόνια στα smartphones τοποθετώντας τα πολύ υψηλά στην αγορά των κινητών τηλεφώνων, είτε πρόκειται για το iPhone της Apple, το Samsung Galaxy ή τη Huawei. Πράγματι, ένα τέτοιο χαρακτηριστικό είναι ένα σημαντικό στη συνολική εμπειρία χρήσης ενός smartphone, τόσο ώστε οι κατασκευαστές κινητών τηλεφώνων να προσπαθούν να διαφοροποιηθούν μέσω της εκμετάλλευσης των Wi-Fi δυνατοτήτων. Ως αποτέλεσμα, η τεχνολογία ασύρματων τοπικών δικτύων (WLAN) παρουσιάζει σημαντική ανάπτυξη εξαιτίας της ταχείας ζήτησης της βιομηχανίας smartphone. Για παράδειγμα, η παγκόσμια αγορά WLAN αυξήθηκε κατά περισσότερο από 20% το 2012, φτάνοντας τα 4 δισεκατομμύρια δολάρια σε ετήσια έσοδα (Machowinski, 2013). Η ανάπτυξη αυτή περιλαμβάνει τα access points επιχειρήσεων, WLAN ελεγχτές και τηλέφωνα με ενεργοποιημένο το Wi-Fi. Όπως φαίνεται στην εικόνα 1, τα έσοδα της Wi-Fi αγοράς αναμένεται να αυξηθεί στα 6 δισεκατομμύρια δολάρια μέχρι το 2017.

Τα smartphones γίνονται ολοένα και πιο εξελιγμένα λόγω των ολοένα αυξανόμενων λειτουργιών τους, ενσωματώνοντας διάφορους τύπους αισθητήρων, όπως δέκτες GPS, επιταχυνσιόμετρα, γυροσκόπια, ψηφιακές πυξίδες, κάμερες, Wi-Fi, Bluetooth, κ.λπ. Οι αισθητήρες δε χρησιμοποιούνται μόνο για την επικοινωνία αλλά για την διασκέδαση και για υπηρεσίες εντοπισμού τοποθεσίας (LBS).

Μεταξύ αυτών των αισθητήρων, το GPS χρησιμοποιείται κυρίως για εντοπισμό τοποθεσίας σε ανοιχτούς χώρους αφού οι GPS δέκτες δεν λειτουργούν καλά σε δύσκολα περιβάλλοντα όπως τα εσωτερικά περιβάλλοντα, οι περιοχές με ανεπαρκή κάλυψη δορυφορικού σήματος. Αυτό έχει οδηγήσει σε μια έντονη διεθνή προσπάθεια έρευνας και ανάπτυξης για τον εντοπισμό θέσης με μεγάλη ακρίβεια σε εσωτερικούς χώρους (indoor positioning) μέσω της εξερεύνησης άλλων ενσωματωμένων αισθητήρων, ειδικά το Wi-Fi.

Τα τελευταία χρόνια, τα WLAN έχουν αναπτυχθεί ευρέως και οι χρήστες μπορούν εύκολα να συνδεθούν με ένα δίκτυο Wi-Fi χρησιμοποιώντας το smartphone τους. Αυτό ανοίγει νέους δρόμους για τον εντοπισμό θέσης σε εσωτερικούς χώρους χρησιμοποιώντας WLAN και

smartphones. Τελευταία, ο εντοπισμός θέσης σε κλειστούς χώρους με τη χρήση της ισχύος του σήματος των ασύρματων δικτύων έχει προκαλέσει μεγάλο ενδιαφέρον στη διεθνή επιστημονική κοινότητα. Η βασική ιδέα για την χρήση WLAN σαν εναλλακτική λύση του εντοπισμού θέσης σε κλειστούς χώρους είναι η ύπαρξη του 802.11 Wi-Fi δικτύου και πως το GPS λειτουργεί σε κλειστούς χώρους με μικρή ή και καθόλου ακρίβεια.

1.2 Πρόβλημα και Τεχνολογίες

Τα τελευταία χρόνια, το GPS έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στον εντοπισμό θέσης σε εξωτερικούς χώρους στην καθημερινή μας ζωή (π.χ. GPS συστήματα πλοήγησης στο αυτοκίνητο). Ωστόσο, για εσωτερικούς χώρους, είναι γνωστό ότι το GPS δεν λειτουργεί καλά λόγω της παρεμπόδισης από τοίχους, δάπεδα και άλλες κατασκευαστικά αντικείμενα στο χώρο τα οποία μπορούν να εξασθενήσουν ή ακόμα και να αποκλείσουν δορυφορικά σήματα.

Πολλές εναλλακτικές λύσεις τεχνικές όπως το υποβοηθούμενο GPS (A-GPS), το Bluetooth, το WLAN, το Zigbee και το RFID έχουν προταθεί για τον εντοπισμό θέσης σε κλειστούς χώρους και την παρακολούθησή.

Σε αυτή την έρευνα, θα αναπτυχθεί και αναλυθεί ένα αποτελεσματικό εσωτερικό σύστημα εντοπισμού θέσης βασισμένο στο IEEE είναι η ασύρματη τεχνική 802.11 θα διερευνηθεί (802.11TM, 2013). Συγκεκριμένα θα μελετηθεί η μέθοδος δαχτυλικής αποτύπωσης (RSS fingerprinting).

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές προκλήσεις στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη ενός συστήματος εντοπισμού θέσης σε κλειστούς χώρους RSS fingerprinting χρησιμοποιώντας smartphones ως κινητή πλατφόρμα.

Ο μεγάλη αστάθεια (χαρακτηριστικό του RSS) σε εσωτερικά περιβάλλοντα είναι η μεγάλη πρόκληση για τον εντοπισμό με χρήση WLAN.

Υπάρχουν τέσσερις κύριοι λόγοι που οδηγούν στο υψηλό επίπεδο αστάθειας.

Ο πρώτος λόγος είναι η δομή του εσωτερικού περιβάλλοντος και η παρουσία διαφόρων εμποδίων, όπως τοίχοι, πόρτες, μεταλλικά υλικά που εντοπίζονται στο χώρο κ.λπ. Τα σήματα WLAN αντιμετωπίζουν σοβαρά φαινόμενα “πολλαπλών διαδρομών” και εξασθένησης ενώ και το RSS σήμα μπορεί να ποικίλλει με το χρόνο ακόμη και στην ίδια θέση.

Ο δεύτερος λόγος είναι πως η περιοχή συχνοτήτων WLAN IEEE802.11 βρίσκεται στις δημόσιες ζώνες 2,4 GHz, την οποία μοιράζονται με πολλές άλλες συσκευές, όπως η φούρνοι μικροκυμάτων, smartphones, φορητοί υπολογιστές και άλλοι ασύρματοι πομποί σήματος. Κατά τη φάση βαθμονόμησης, η οποία χρησιμοποιείται για τη συλλογή των RSS δεδομένων και την αποθήκευση των αντίστοιχων τοποθεσιών σε μια βάση δεδομένων, οι συσκευές ενδέχεται να παρεμβάλουν με το ραδιοφωνικό σήμα και να μεταβληθεί η ισχύς του ασύρματου σήματός τους. Δεν είναι επομένως κατάλληλο για τη συλλογή σταθερής ισχύος σήματος και τη δημιουργία βάσης δεδομένων RSS.

Επί πλέον, το ανθρώπινο σώμα μπορεί επίσης να επηρεάσει την ισχύ του σήματος WLAN αφού η ισχύς του Wi-Fi 2,4 GHz σήματος θα μπορούσε να εξασθενήσει σε μεγάλο βαθμό μέσα από τα ανθρώπινα σώματα, τα οποία αποτελούνται από 70% νερό. Επομένως, όταν συλλέγετε η ισχύς του σήματος χρησιμοποιώντας ένα smartphone, οι τιμές του RSS, στην ευθεία γραμμή μεταξύ της συσκευής smartphone και ενός σημείου πρόσβασης (AP), επηρεάζεται από το σώμα του ατόμου.

Τέλος, ο προσανατολισμός των συσκευών μέτρησης επηρεάζει επίσης το RSS, καθώς ο προσανατολισμός της κεραίας επηρεάζει το κέρδος κεραίας και το σήμα δεν είναι ισότροπο σε εσωτερικά περιβάλλοντα. Για να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα, η μέθοδος αποτύπωσης χρησιμοποιείται συχνά για να χαρακτηρίσει τη σχέση μεταξύ του RSS και της θέσης.

Μια άλλη βασική πρόκληση είναι οι υπολογιστικές δυνατότητες των κινητών συσκευών. Προκειμένου να επιτευχθεί μια λύση με εντοπισμό θέσης υψηλής ακρίβειας, η μέθοδος δακτυλικών αποτυπωμάτων χρειάζεται μια καλή βάση δεδομένων στην οποία θα αποθηκεύονται πυκνές δειγματοληψίες RSS σήματος.

Επιπλέον, ο περιορισμός στην ταχύτητα υπολογισμού και ο χώρος μνήμης των smartphones θα καταστήσουν την "on-the-fly" αποθήκευση της βάσης δεδομένων και τον άμεσο υπολογισμό σε smartphone δύσκολα.

Ο πίνακας 1 παρουσιάζει τη σύγκριση της ταχύτητας του επεξεργαστή και της μνήμης που είναι εξοπλισμένη μεταξύ ενός Samsung Smartphone που χρησιμοποιείται σε αυτή την έρευνα για την αξιολόγηση της απόδοσης των προτεινόμενων συστημάτων εντοπισμού θέσης και ένα τυπικό φορητό υπολογιστή που χρησιμοποιείται επίσης σε αυτήν την έρευνα.

Συμπεραίνεται ότι το smartphone έχει πολύ περιορισμένη ταχύτητα υπολογισμού και χωρητικότητα μνήμης σε σύγκριση με το φορητό υπολογιστή. Έτσι, η υπολογιστική πολυπλοκότητα και η χρήση της μνήμης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν αποφασίζεται ποια συσκευή είναι καταλληλότερη για να ορισθεί ως positioning server.

Συσκευή	Ταχύτητα επεξεργαστή	RAM
Samsung i9300	1433 MHz	1 GB
HP laptop	2.7 GHz	8 GB

Πίνακας 1 - Σύγκριση του κινητού και του υπολογιστή που θα χρησιμοποιηθούν στην έρευνα

1.3 Ερευνητικός στόχος

Στόχος αυτής της έρευνας είναι ο σχεδιασμός ενός συστήματος εντοπισμού θέσης σε κλειστούς χώρους με γρήγορη απόδοση. Οι βασικοί στόχοι της εργασίας είναι:

- Ο προσδιορισμός της βέλτιστης προσέγγισης για τη βελτίωση της ακρίβειας του εντοπισμού θέσης σε κλειστούς χώρους.
- Η ανάπτυξη μιας client-side εφαρμογής (Android) η οποία θα συλλέγει την ισχύ του σήματος στη φάση της βαθμονόμησης (calibration) και επίσης θα λαμβάνει τη θέση της συσκευής στη φάση του εντοπισμού.
- Η ανάπτυξη αλγορίθμου αξιολόγησης της λύσης σήματος και εντοπισμού της θέσης συσκευής.
- Η σύγκριση των επιδόσεων του συστήματος όσον αφορά την ακρίβεια και τη σταθερότητα της εφαρμογής σε σχέση με λύσεις που κυκλοφορούν στην αγορά

Η προτεινόμενη λύση εντοπισμού θέσης είναι μόνο λογισμικό που σημαίνει ότι δε θα χρειαστούν επιπλέον εργαλεία. Είναι γραμμένη σε Java για το λειτουργικό Android, και χρησιμοποιεί SQL Lite.

1.4 Δομή της εργασίας

Η εργασία αποτελείται από τέσσερα κεφάλαια.

Το πρώτο κεφάλαιο περιγράφει τις τάσεις της αγοράς ότι αφορά στα smartphones και στην WLAN βιομηχανία όπως επίσης και τους λόγους που οδήγησαν στην συνδυαστική λύση WLAN δικτύου και smartphones για τον εντοπισμό θέσης σε κλειστούς χώρους. Εκτός από το δηλωθέν πρόβλημα θέτουν επίσης τους στόχους αυτής της ερευνητικής εργασίας.

Το κεφάλαιο δύο παρουσιάζει μια σύντομη εισαγωγή διαφόρων τεχνολογιών εντοπισμού θέσης και τις κύριες προκλήσεις για τους κλειστούς χώρους. Στη συνέχεια γίνεται μια επισκόπηση των smartphones και των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται σήμερα ως λύσεις στο προαναφερθέν πρόβλημα.

Στο κεφάλαιο τρία, παρουσιάζεται μια νέα λύση η οποία συνδυάζει τους αισθητήρες μιας smartphone συσκευής και του Wi-Fi δικτύου. Θα γίνει μια ανάλυση της client-side εφαρμογή που θα αναπτυχθεί.

Στο τελευταίο κεφάλαιο θα κλείσω την εργασία αυτή με μελλοντικές βελτιώσεις και αναλύσεις που προτείνονται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Σήμερα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλές τεχνολογίες ή συστήματα εντοπισμού θέσης για τον προσδιορισμό της θέσης ανθρώπων ή κινητών αντικειμένων. Λαμβάνονται διαφορετικά επίπεδα ακρίβειας για διαφορετικές εφαρμογές.

Το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο σύστημα εντοπισμού θέσης είναι το GPS που προσφέρει τόσο υψηλή ικανότητα ακρίβειας (cm επίπεδο) όσο και χαμηλή ακρίβεια (επίπεδο μετρητή) ανάλογα με τον τρόπο που χρησιμοποιείται το σύστημα (δηλαδή τύποι δέκτη και μέθοδοι εντοπισμού θέσης). Η απόδοση σε υπαίθρια περιβάλλοντα είναι σχετικά εύκολη και ικανοποιητική. Ωστόσο, η εφαρμογή της τοποθέτησης του GPS σε εσωτερικά περιβάλλοντα είναι περιορισμένη αφού η παρεμπόδιση των GPS σημάτων GPS είναι τεράστια.

Εναλλακτικά συστήματα εντοπισμού θέσης, όπως το ενισχυμένο σύστημα GPS (A-GPS), το σύστημα εντοπισμού θέσης Wi-Fi και το inertial navigation system (INS) χρησιμοποιούνται λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους. Για παράδειγμα, συστήματα εντοπισμού θέσης βασισμένα στο Wi-Fi έχουν αποκτήσει αυξανόμενη δημοτικότητα σε εσωτερικούς χώρους, αν και η χρήση του εξακολουθεί να έχει ορισμένες προκλήσεις.

Αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζει μια σειρά τεχνολογιών εντοπισμού θέσης αποτελούμενες από τις βασικές αρχές, τις απαιτήσεις συστήματος, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα όπως και την απόδοση θέσης. Είναι οργανωμένη εξής, η ενότητα 2.1 παρουσιάζει διάφορες τεχνολογίες εντοπισμού θέσης ενώ στο τμήμα 2.2 συνοψίζονται οι κύριες προκλήσεις των συστημάτων εντοπισμού θέσης μέσω Wi-Fi σε εσωτερικούς χώρους.

Με την ταχεία ανάπτυξη τεχνολογιών smartphone, η χρήση της τεχνικής εντοπισμού θέσης έχει γίνει μια μελλοντική τάση.

Τεχνολογίες εντοπισμού θέσης εξετάζονται στο τμήμα 2.3. Στην ενότητα 2.4, παρουσιάζονται τέσσερις τυπικές τεχνικές μέτρησης θέσης όπως η ώρα άφιξης (ToA), η χρονική διαφορά άφιξης (TdoA), οι γωνίες άφιξης (AoA) και οι τεχνικές τοποθέτησης βάσει RSS.

Ο υπολογισμός της θέσης, οι μέθοδοι εκτίμησης της τριαλλαγής (trilateration) και των δακτυλικών αποτυπωμάτων (fingerprinting) αναφέρονται στο τμήμα 2.5. Δύο τύποι αλγορίθμων δακτυλικών αποτυπωμάτων που βασίζονται σε Wi-Fi, συμπεριλαμβανομένων των ντετερμινιστικών και πιθανολογικών αλγορίθμων θα συζητηθούν στο τμήμα 2.6.

2.1 Συνηθισμένες Τεχνικές Εντοπισμού Θέσης

Πολλές τεχνικές εντοπισμού θέσης χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της θέσης ή τον εντοπισμό μια κινητής συσκευής τόσο σε εξωτερικούς όσο και σε εσωτερικούς χώρους. Όπως αναφέραμε, για τους εξωτερικούς χώρους η πιο συνηθισμένη τεχνολογία είναι εκείνη του GPS αφού είναι προσφέρει αποτελέσματα υψηλής ακρίβειας, είναι διαθέσιμη σε κάθε σημείο χωρίς ιδιαίτερους περιορισμούς και εύκολη στη χρήση.

Το βασικό πρόβλημα του GPS είναι η ανικανότητα να χρησιμοποιηθεί σε εσωτερικούς χώρους. Επομένως, εναλλακτικές τεχνικές πρέπει να αναλυθούν για να έχουμε ακρίβεια σε εσωτερικούς χώρους. Μερικές τεχνικές εντοπισμού και υπολογισμού θέσης παρουσιάζονται παρακάτω.

2.1.1 GPS

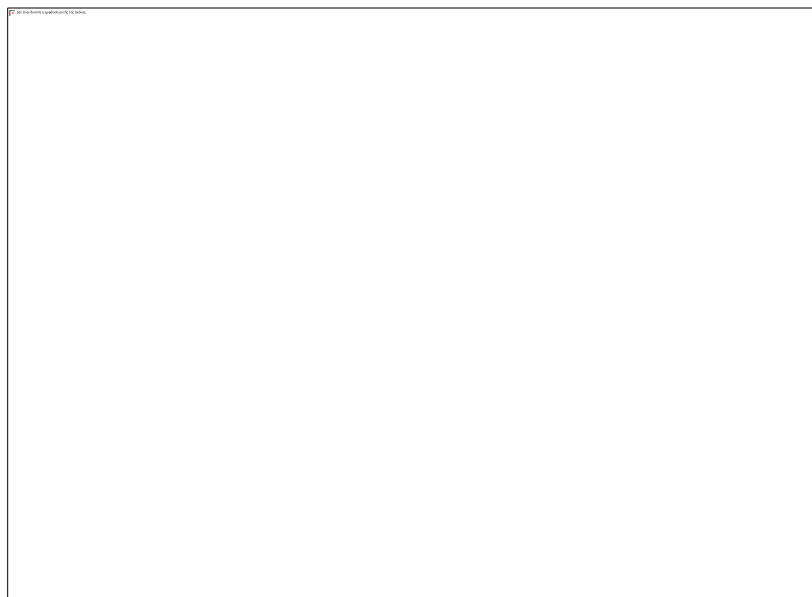
Το GPS είναι ένα δορυφορικό σύστημα ραδιοπλοήγησης το οποίο λειτουργεί με τη συνεργασία 24 δορυφόρων.

Αρχικά προοριζόταν για εφαρμογές στρατιωτικής πλοήγησης, αλλά στις αρχές της δεκαετίας '80, το σύστημα διατέθηκε για χρήση από πολίτες. Από τότε το GPS είναι ευρέως διαδεδομένο και χρησιμοποιούνται για την πλοήγηση και τον εντοπισμό θέσης καθώς διάφορα είδη δεκτών GPS έχουν δημιουργηθεί για να βελτιώσουν την ακρίβεια εντοπισμού. Για παράδειγμα, στις μελέτες γεωδαιτικής τοπογραφίας και μηχανικής όπου απαιτείται ακρίβεια στο χιλιοστόμετρο ή εκατοστόμετρο, το GPS είναι μια θαυμάσια επιλογή λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων του, σε σύγκριση με τις περισσότερες άλλες τεχνικές εντοπισμού.

Σήμερα, το GPS θεωρείται ως το πλέον δημοφιλές εργαλείο εντοπισμού θέσης για τον εντοπισμό κινητών αντικειμένων τα οποία χρησιμοποιούν υπηρεσίες πλοήγησης και εντοπισμού θέσης.

Για τον προσδιορισμό της θέσης σε δύο διαστάσεις π.χ. γεωγραφικού πλάτους και γεωγραφικού μήκους (ή ανατολικού και βορείου γεωγραφικού πλάτους), απαιτείται ένας δέκτης GPS ο οποίος θα παρακολουθεί τα GPS σήματα από τουλάχιστον τρεις δορυφόρους. Με τέσσερις ή περισσότερους δορυφόρους προς το παρόν, ο δέκτης μπορεί να καθορίσει τη θέση στις τρεις διαστάσεις (γεωγραφικό πλάτος, μήκος και ύψος) του χρήστη.

Όταν η τοποθεσία του χρήστη έχει καθοριστεί, το smartphone μπορεί να παρέχει πλοήγηση και κάποιες άλλες πληροφορίες, π.χ. την τρέχουσα ταχύτητα του χρήστη, το στίγμα, το ίχνος, το ταξίδι, την απόσταση, τον προορισμό, την ανατολή και την ώρα του ηλιοβασιλέματος. Ένα από τα πλεονεκτήματα του GPS είναι 24ωρη διαθεσιμότητα. Στην εικόνα 2 βλέπουμε τις θέσεις των GPS δορυφόρων όπως φαίνονται πάνω από την Μελβούρνη στις 3 Ιουλίου 2013.



Εικόνα 2 – Θέση των δορυφόρων πάνω από τη Μελβούρνη στις 3 Ιουλίου 2013

2.1.2 A-GPS

Το A-GPS ή AGPS μπορεί να βελτιώσει την απόδοση της τυπικής τοποθέτησης μέσω GPS χρησιμοποιώντας ένα κυψελοειδές δίκτυο ως συμπληρωματική πηγή πληροφοριών. Βελτιώνει την ακρίβεια εντοπισμού των κινητών τηλεφώνων (και άλλων συναφών συσκευών) με τους παρακάτω τρόπους

1. Για να αυξήσετε την ταχύτητα του "χρόνου τη πρώτη φορά" (TTFF), το A-GPS αποκτά και αποθηκεύει τις πληροφορίες τοποθεσίας των δορυφόρων (GPS almanac) με τη χρήση του κυψελοειδούς δικτύου και έτσι οι πληροφορίες τοποθεσίας δεν χρειάζονται λήψη μέσω δορυφόρων.

2. Για να επιτευχθεί ο εντοπισμός ενός smartphone όταν τα σήματα GPS είναι αδύναμα ή δεν είναι διαθέσιμα. Τα σήματα GPS ενδέχεται να παρεμποδίζονται από ψηλά κτίρια και δεν μπορούν να διεισδύσουν σε τοίχους. Το A-GPS χρησιμοποιεί κυκλικούς πύργους προσέγγισης για να βοηθήσει στον υπολογισμό της θέσης.

2.1.3 Wi-Fi

Το Wi-Fi είναι πλέον μια ευρέως αναγνωρισμένη και χρησιμοποιούμενη τεχνολογία για τον εντοπισμό θέσης.

Οι θέσεις μπορούν να προσδιορίζεται με μια καλή ακρίβεια σε ένα εσωτερικό περιβάλλον όταν η υποδομή Wi-Fi είναι διαθέσιμη. Οι περισσότερες προσεγγίσεις τοποθέτησης χρησιμοποιώντας ένα σύστημα Wi-Fi είναι παρόμοιες με την τεχνική Cell ID.

Οι μέθοδοι αποτύπωσης δακτυλικών αποτυπωμάτων χρησιμοποιούνται για τα πιο προηγμένα Wi-Fi συστήματα, στις οποίες παρατηρείται η ισχύς σήματος Wi-Fi από διάφορα access points (APs) στην περιοχή ενδιαφέροντος. Στη συνέχεια, οι παρατηρήσεις αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων πριν ο χρήστης υλοποιήσει πραγματικές εργασίες εντοπισμού θέσης στην περιοχή χρησιμοποιώντας Wi-Fi αισθητήρες. Αυτό είναι στην πραγματικότητα μια φάση βαθμονόμησης.

Σε ένα πραγματικό σενάριο εντοπισμού θέσης, ο χρήστης προσδιορίζει την τοποθεσία του αντιστοιχίζοντας την ισχύ του Wi-Fi σήματος με τις RSS τιμές στη βάση δεδομένων. Η καλύτερη αντιστοίχιση θεωρείται ως η εκτίμηση της θέσης. Τα APs, οι θέσεις των οποίων είναι ήδη γνωστές, χρησιμοποιούνται ως σημεία αναφοράς.

2.1.4 Inertial Navigation System (INS)

Το INS είναι μια αυτόνομη τεχνική πλοήγησης στην οποία οι μετρήσεις παρέχονται από τα επιταχυνσιόμετρα, τα γυροσκόπια και τις πυξίδες τα οποία χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της θέσης και τον προσανατολισμό ενός αντικειμένου σε σχέση με ένα γνωστό σημείο εκκίνησης, προσανατολισμό και ταχύτητα (Woodman, 2007).

Τα πολύπλοκα γυροσκόπια MEMS και τα επιταχυνσιόμετρα εξετάζονται συχνά ως πιθανά συμπληρωματικά εργαλεία για πλοήγηση σε εσωτερικούς χώρους. Ωστόσο, το σύστημα INS συνήθως μπορεί μόνο να προσφέρει μια καλή λύση για σύντομο χρονικό διάστημα, αφού τα σφάλματα (π.χ. μεροληψία και μετατόπιση) μεταβάλλονται γρήγορα κατά την διαδικασία της μέτρησης και είναι δύσκολο να διαχωριστούν ή να μετριαστούν από σήματα πλοήγησης (Hide, 2003).

Αδρανειακές μονάδες μέτρησης (IMU) τυπικά περιέχουν τρία ορθογώνια γυροσκόπια και τρία ορθογώνια επιταχυνσιόμετρα, τα οποία μετράνε τη γωνιακή ταχύτητα και τη γραμμική επιτάχυνση αντίστοιχα.

2.1.5 Άλλα συστήματα

Ορισμένα άλλα συστήματα, όπως το Bluetooth, η αναγνώριση ραδιοσυχνοτήτων (RFID), υπερύθρων και υπερήχων έχουν επίσης διερευνηθεί για τη δυναμική τους χρήση και δυνατότητα εντοπισμού θέσης.

Το Bluetooth είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται συνήθως για ασύρματη επικοινωνία μεταξύ μικρών αποστάσεων με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Η τεχνολογία RFID είναι ένας γενικότερος όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα σύστημα που χρησιμοποιεί ραδιοκύματα για να μεταδώσει την ταυτότητα (στη μορφή ενός μοναδικού αριθμού) ενός αντικειμένου ή ενός ατόμου ασύρματα.

Η τεχνολογία των υπερύθρων είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μεγάλα μήκη κύματος, η οποία χρησιμοποιείται συχνά στην επικοινωνία μικρής εμβέλειας μεταξύ συσκευών που έχουν ενσωματωμένη την αντίστοιχη τεχνολογία.

Η επικοινωνία με τη χρήση υπερύθρων είναι χρήσιμη σε εσωτερικούς χώρους. Ωστόσο, η υπέρυθρη ακτινοβολία δεν μπορεί να διεισδύσει σε τοίχους, γεγονός που καθιστά πολύ δύσκολη τη χρήση της μεταξύ δωματίων. Bluetooth, RFID και υπέρυθρες έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί σε μερικά σύγχρονα smartphones.

Ο υπέρηχος είναι ένα ταλαντούμενο κύμα ηχητικής πίεσης του οποίου η συχνότητα εκπομπής ξεφεύγει από τη κλίμακα συχνοτήτων που αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος. Οι συσκευές υπέρηχων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση αντικειμένων και τη μέτρηση των αποστάσεων.

Όλα τα παραπάνω συστήματα μπορούν να λειτουργούν μόνο για μετρήσεις μεταξύ κοντινών αποστάσεων.

2.1.6 Σύγκριση των Διαφόρων Τεχνικών Εντοπισμού Θέσης

Στο πίνακα 2.1 συγκρίνονται η ακρίβεια, τα βασικά χαρακτηριστικά, τα κύρια πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των προαναφερθέντων τεχνικές εντοπισμού θέσης που χρησιμοποιούνται σε κινητές συσκευές (βλ. Πίνακας 2).

Το GPS λόγω της μεγάλης ακρίβειάς του έχει αναδειχθεί ως η κορυφαία τεχνική για την παροχή πληροφοριών θέσης. Η τεχνική GPS που υιοθετείται στις περισσότερες κινητές συσκευές χρησιμοποιεί ένα server-side σύστημα για την επεξεργασία των σημάτων GPS και αναφέρεται ως A-GPS.

Οι τεχνικές GPS και A-GPS χρειάζονται το σήμα από το δορυφόρο GPS / A-GPS με σκοπό να μεταδώσει χωρίς εμπόδια στον δέκτη, που είναι η λεγόμενη οπτική επαφή (LoS), ώστε να υποστηριχθεί ο εντοπισμός θέσης με υψηλή ακρίβεια.

Η τοποθέτηση Wi-Fi και η INS μπορούν προσφέρουν το ίδιο αποτέλεσμα χωρίς τη χρήση LoS, επομένως είναι πιο κατάλληλα για χρήση σε εσωτερικούς χώρους. Ωστόσο, το υψηλό κόστος υποδομών και η περιορισμένη κάλυψη είναι ένα σημαντικό ζήτημα για το Wi-Fi ενώ το INS έχει επίσης ορισμένα ζητήματα δεδομένου ότι είναι επιρρεπές σε ταχεία συσσωρευμένα λάθη.

Technique	Accuracy Level	Advantage/Disadvantage
GPS	High (10 m)	Good accuracy Line of Signal (LoS) is needed
A-GPS	High (10 m)	Assisted GPS Network interaction is required and only effectively used for locating a particular place in a small area
Wi-Fi positioning	Medium (10-100 m)	Good accuracy for indoor environments and no need LoS High cost for infrastructure and limited coverage

INS	Medium (accumulative error)	Cheap Bias and drifting are a concern
Cellular network positions	Low-medium (1 km)	No requirement for infrastructure Problematic in low signal conditions

Πίνακας 2 - Σύγκριση τεχνικών εντοπισμού θέσης

2.2 Εντοπισμός Θέσης Χρησιμοποιώντας Smartphone Τεχνολογίες

Η τεχνολογία των έξυπνων τηλεφώνων συζητείται λεπτομερώς σε αυτή την ενότητα αφού ο εντοπισμός θέσης αυτών είναι το επίκεντρο αυτής της έρευνας.

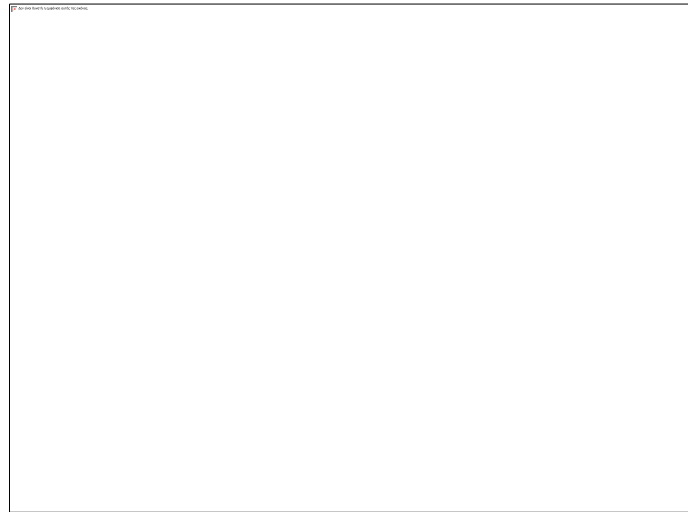
Τα smartphones είναι τα κινητά τηλέφωνα που χρησιμοποιούν ένα κινητό λειτουργικό σύστημα με προηγμένες δυνατότητες υπολογιστικής ισχύς και συνδεσιμότητα. Θεωρούνται φορητοί μικροϋπολογιστές, δεδομένου ότι είναι παρόμοιοι με τους φορητούς υπολογιστές και τους επιτραπέζιους υπολογιστές με πολλούς τρόπους.

Διάφοροι ενσωματωμένοι αισθητήρες σε smartphones, οι οποίοι εισήχθησαν αρχικά για διευρύνουν την ικανότητα επικοινωνίας και για ψυχαγωγία, έχουν υιοθετηθεί για τις υπηρεσίες θέσης (LBS), και η χρήση των smartphones για εσωτερική τοποθέτηση είναι ιδιαίτερα σημαντική.

Αυτήν τη στιγμή, η τεχνολογία GPS έχει ενσωματωθεί για τα καλά στα smartphones και τα αποτελέσματά της στα υπαίθρια περιβάλλοντα είναι εξαιρετικά. Ωστόσο, δεν μπορεί να λειτουργήσει σωστά σε εσωτερικούς χώρους λόγω εξασθένησης του σήματος και του φαινομένου <<πολλαπλών διαδρομών>> των GPS σημάτων. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί αυτό το ζήτημα, άλλοι ενσωματωμένοι αισθητήρες αναμένεται να παίξουν ένα σημαντικό ρόλο στον εντοπισμό θέσης σε εσωτερικούς χώρους.

2.2.1 Ιστορία των Smartphones

Τα smartphones έκαναν την πρώτη τους εμφάνιση πριν περίπου 25 χρόνια. Η δημοτικότητά τους βέβαια έχει εκτοξευθεί τα τελευταία χρόνια.



Εικόνα 3 – Στιγμές ορόσημα της ιστορίας των smartphones

2.2.2 Λογισμικό

Το λειτουργικό σύστημα (OS) που χρησιμοποιείται σε ένα τηλέφωνο είναι ένα από τα πιο σημαντικά, για πολλούς χρήστες, χαρακτηριστικά. Το λειτουργικό σύστημα ελέγχει τον τρόπο με τον οποίο συμπεριφέρεται το τηλέφωνο και τι μπορεί να κάνει ο χρήστης, καθώς και τι πακέτο λογισμικού εφαρμογών μπορεί να εγκατασταθεί. Συνεπώς, εύρεση ενός λειτουργικού συστήματος που λειτουργεί καλύτερα για το χρήστη μπορεί να αποφέρει πολλά οφέλη και ευκολία.

Τα βασικά λειτουργικά συστήματα smartphone που διατίθενται στην τρέχουσα αγορά περιλαμβάνουν τα Apple iOS, Android, Windows Mobile, Blackberry OS και Nokia Symbian. Λόγω του διαχωρισμού του λειτουργικού συστήματος ενός smartphone από το λογισμικό, το λειτουργικό σύστημα μπορεί να ενημερωθεί χωρίς την ανάγκη για μια νέα συσκευή.

Όλα τα μεγάλα λειτουργικά συστήματα ενημερώνονται τακτικά για την προσθήκη νέων χαρακτηριστικών ή τη βελτίωση λειτουργιών τους. Αυτό σημαίνει ότι είναι δυνατό για ένα smartphone να παραμείνει ενημερωμένο πολύ περισσότερο από ένα απλό κινητό τηλέφωνο.

Η εικόνα 4 δείχνει το μερίδιο αγοράς των λειτουργικών συστημάτων από το 2008 έως το 2011.



Εικόνα 4 – Το μερίδιο αγοράς του κάθε smartphone λειτουργικού συστήματος

2.2.3 Αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό θέσης

Σήμερα, τα smartphones κατασκευάζονται με ολοένα και περισσότερους τύπους αισθητήρες όπως δέκτες GPS, επιταχυνσιόμετρα, ψηφιακές πυξίδες, γυροσκόπια, Bluetooth και Wi-Fi τεχνολογία. Η χρήση διαφόρων συνδυασμών αυτών των αισθητήρων είναι πολύ χρήσιμη και αποτελεσματική για τον εντοπισμό της θέσης τους.

Σε αυτή την ενότητα συνοψίζονται διαφορετικοί τύποι αισθητήρων με δυνατότητα ενεργοποίησης θέσης όπως επίσης και σχετικές τεχνικές εντοπισμού θέσης.

GPS receivers

Επί του παρόντος, τα περισσότερα smartphones είναι εξοπλισμένα με μονάδα GPS υψηλής ευαισθησίας για την αναγνώριση της θέσης του κινητού. Για παράδειγμα, το Samsung i9100, το οποίο είναι ένα smartphone Android, φέρει ένα δέκτη GPS SiRFstarIV της CSR, ο οποίος παρέχει δυνατότητα εντοπισμού από -160 dBm έως -163 dBm και μπορεί να διατηρήσει την ευαισθησία λήψης -160 dBm χωρίς βοήθεια δικτύου.

Μαζί με τις δυνατότητες ευαισθητοποίησης θέσης χαμηλής ισχύος, ο δέκτης SiRFstarIV περιλαμβάνει ενεργή τεχνολογία απομάκρυνσης jammer που μπορεί να εντοπίσει δυναμικά, να εντοπίσει και να μπλοκάρει ενεργά μέχρι και οκτώ ξεχωριστές πηγές παρεμβολών στη ζώνη συχνοτήτων GPS, οι οποίες διαφορετικά θα επηρέαζαν την απόδοση του GPS.

Αυτό το χαρακτηριστικό του επιτρέπει να συνυπάρχει κοντά σε άλλα θορυβώδη μέρη χωρίς την ανάγκη άλλων τεχνολογιών. Τα bluetooth, Wi-Fi, 3G και οθόνες LCD είναι τεχνολογίες οι οποίες μπορεί να υπάρξουν στα smartphones και συχνά μπορεί να προκαλέσουν παρεμβολές.

Ασύρματοι και κυψελοειδείς αισθητήρες δικτύου

Γενικά, όλα τα σύγχρονα smartphones υποστηρίζουν κυψελοειδή δίκτυα, δίκτυα WLAN και δίκτυα Bluetooth.

Ένα κυψελοειδές δίκτυο είναι ένα ασύμμετρο ραδιοδίκτυο που αποτελείται από σταθερούς πομποδέκτες (ή κόμβους), οι οποίοι διατηρούν την παρακολούθηση του σήματος, ενώ ο κινητός πομποδέκτης που χρησιμοποιεί το δίκτυο βρίσκεται κοντά στον κόμβο. Ένα WLAN είναι αυτό στο οποίο ένας φορητός χρήστης μπορεί να συνδεθεί σε ένα τοπικό δίκτυο (LAN) μέσω ασύρματης (ραδιοφωνικής) σύνδεσης.

Ένα δίκτυο Bluetooth είναι ένα δίκτυο ασύρματης επικοινωνίας μικρής εμβέλειας με ραδιοφωνικές μεταδόσεις μικρού μήκους κύματος στην ραδιοφωνική ζώνη που κυμαίνεται από 2,4 Hz έως 2,48 Hz, δημιουργώντας δίκτυα προσωπικής περιοχής με υψηλό επίπεδο ασφάλειας. Αυτοί οι τρεις τύποι δικτύων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για προεξέχουσες μεθόδους εντοπισμού όπως η μέθοδος αποτύπωσης δακτυλικών αποτυπωμάτων.

Αδρανειακοί αισθητήρες

Οι αδρανείς αισθητήρες περιλαμβάνουν επιταχυνσιόμετρα και γυροσκόπια.

Ένα επιταχυνσιόμετρο μετρά την επιτάχυνση ενός αντικειμένου. Ένα γυροσκόπιο μετρά το γωνιακό ρυθμό και χρησιμοποιείται συνήθως για τη μέτρηση ή τη διατήρηση του προσανατολισμού ενός αντικειμένου.

Το IMU είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που μετράει και αναφέρει ταχύτητα, προσανατολισμό και βαρυτικές δυνάμεις ενός αντικειμένου χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό επιταχυνσιόμετρων, γυροσκοπίων και μερικές φορές επίσης μαγνητομέτρων. Τα τελευταία χρόνια, με την ταχεία ανάπτυξη των μικροηλεκτρονικών μηχανικών συστημάτων (MEMS), ένας μεγάλος αριθμός μικροηλεκτρονικών αισθητήρων έχει ενσωματωθεί στα smartphones.

Σε αντίθεση με τους παραδοσιακούς αδρανειακούς αισθητήρες, το MEMS παρέχει μικρότερο μέγεθος, χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας και χαμηλότερο κόστος αλλά υψηλότερη αξιοπιστία. Για παράδειγμα, το i9100 της Samsung περιέχει μια ψηφιακή πυξίδα AKM8975, ένα τρισδιάστατο επιταχυνσιόμετρο ST LIS331DLH και έναν αισθητήρα γυροσκοπίου ST L3G4200D τριών αξόνων που παρέχει 9 βαθμούς ελευθερίας.

Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας μικροαισθητήρων, οι αισθητήρες νέας γενιάς που χρησιμοποιούνται στα smartphones έχουν καλύτερες επιδόσεις.

2.3 Προβλήματα κατά τον εντοπισμό θέσης σε εσωτερικούς χώρους

Για τον εντοπισμό θέσης σε εσωτερικούς χώρους, ο εντοπισμός θέσης βάσει Wi-Fi θεωρήθηκε πρόσφατα ως μια καλή επιλογή λόγω της ευρείας διαθεσιμότητάς του.

Ωστόσο, αυτή η τεχνολογία εξακολουθεί να δημιουργεί σημαντικές προκλήσεις και περιορισμούς λόγω της πολυπλοκότητας και της δυναμικής των εσωτερικών χώρων. Επηρεάζεται αρνητικά από πολλούς απρόβλεπτους παράγοντες, όπως η κίνηση των ανθρώπων, οι αλλαγές των περιβαλλοντικών ρυθμίσεων, οι ραδιοπαρεμβολές και η απώλεια μετάδοσης σήματος που προκαλείται από διαφορετικά δομικά υλικά.

Ασύρματες κάρτες από διαφορετικούς τηλεφωνικούς παρόχους μπορεί να είναι ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει τις μετρήσεις RSS. Αυτά αποτελούν μια μεγάλη πρόκληση για την ανάπτυξη ενός αξιόπιστου και αποτελεσματικού συστήματος εσωτερικού εντοπισμού θέσης.

Ένα κανονικό ανθρώπινο σώμα αποτελείται από περίπου 70% νερό. Η ισχύς σήματος Wi-Fi 2,4 GHz, η οποία είναι η ίδια με αυτή του προτύπου IEEE 802.11, μπορεί να εξασθενίσει σημαντικά μέσω του νερού, καθώς το νερό μπορεί να απορροφήσει τη συχνότητα συντονισμού σε επίπεδο ισχύος σήματος 2,4 GHz. Αυτό σημαίνει ότι σε ορισμένες περιπτώσεις, άτομα που βρίσκονται φυσικά μεταξύ των AP και των κινητών συσκευών ενδέχεται να αποκλείσουν τα σήματα Wi-Fi.

Οι ραδιοπαρεμβολές σε ένα εσωτερικό περιβάλλον είναι ένας άλλος πολύ σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη.

Όλα τα ασύρματα δίκτυα, όπως τα δίκτυα κυψελοειδών τηλεφώνων και τα δίκτυα WLAN, βασίζονται σε σταθμούς εκπομπής για τη μετάδοση σημάτων. Μεγάλοι κυψελοειδείς πύργοι κεραίας καθώς και μικροί δρομολογητές ασύρματου Internet χρησιμοποιούνται σε αυτούς τους σταθμούς για τη μετάδοση σημάτων σε συγκεκριμένες ραδιοσυχνότητες. Δυστυχώς, οι χρήστες της ασύρματης συσκευής ενδέχεται να επηρεάζονται από σήματα με την ίδια συχνότητα από άλλες πηγές παρεμβολών κοντά, καθιστώντας δύσκολη την ομαλή ροή των ασύρματων σημάτων. Μερικές φορές προκύπτουν έντονες διαταραχές σημάτων και αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό ως παρεμβολή.

Οι συσκευές που θα μπορούσαν να προκαλέσουν παρεμβολές περιλαμβάνουν, για παράδειγμα, φούρνους μικροκυμάτων, μόνιτορ μωρών και αυτόματα ανοιγόμενες γκαραζόπορτες.

Οι διαφορετικές ασύρματες κάρτες έχουν επίσης διαφορετικές επιπτώσεις στην ισχύ του σήματος επειδή διάφοροι τηλεφωνικοί πάροχοι χρησιμοποιούν διαφορετικές μεθόδους για τη μέτρηση της ραδιοσυχνότητας, αν και όλες αυτές οι μέθοδοι συμμορφώνονται με το πρότυπο IEEE 802.11, το οποίο ορίζει τις τιμές μέτρησης RF ως έναν αριθμό μεταξύ 0 και 255.

Για ένα ασύρματο δίκτυο σε ένα γραφείο, εμπόδια όπως τείχοι, έπιπλα και άνθρωποι μπορούν να επηρεάσουν την διάδοση των σημάτων σε τεράστιο βαθμό. Η εξασθένιση της ισχύος του σήματος εισάγεται πρώτα και ύστερα αναλύονται οι παράγοντες που συμβάλλουν στη μεταβλητότητα. Αυτή περιλαμβάνει τον τύπο και τη δομή των διαφόρων ειδών / επίπλων στο κτίριο.

Διαφορετικοί τύποι δομικών υλικών προκαλούν διαφορετικούς βαθμούς απωλειών. Σε πολυώροφο κτίριο παρουσιάζονται επίσης απώλειες σήματος μεταξύ παρακείμενων ορόφων και απώλεια που υπολογίζεται κοντά 6 dB μεταξύ τους.



Εικόνα 5 - Επιρροή του ανθρώπινου σώματος στην μεταφορά σήματος σε ανοιχτό χώρο 80 τ.μ.

Στην εικόνα 5 παρουσιάζονται τυπικές εξασθενήσεις που προκαλούνται από διαφορετικά δομικά υλικά στα 2.4GHz, τα οποία είναι στην ισχύ του σήματος 802.11n WLAN.

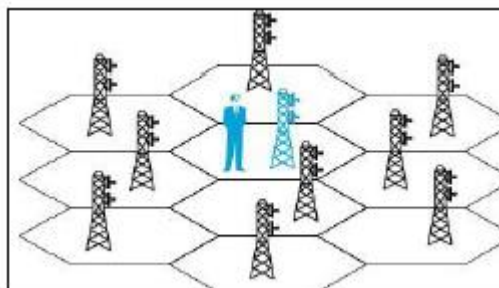
2.4 Μέθοδοι υπολογισμού

Η μέθοδος τριαλλαγής (trilateration) και η λήψη δακτυλικών αποτυπωμάτων (fingerprinting) είναι δύο κύριες μέθοδοι εκτίμησης που χρησιμοποιούνται συχνά για την εκτίμηση της θέσης των εσωτερικών κινητών αντικειμένων με δίκτυα Wi-Fi.

2.4.1 Αρχική κυψέλη (Cell of Origin)

Το COO είναι μια μέθοδος εντοπισμού θέσης μέσω κινητού τηλεφώνου για τον εντοπισμό μιας κινητής συσκευής. Αυτή η μέθοδος βασίζεται στο γεγονός ότι τα κυψελοειδή δίκτυα μπορούν να αναγνωρίσουν την κατά προσέγγιση θέση ενός φορητού ακουστικού, π.χ. Σε ποια κυψέλη είναι η συσκευή σε δεδομένη στιγμή. Η ακρίβεια αυτής της μεθόδου εξαρτάται από το μέγεθος των κυψελών του δικτύου.

Σε ένα μεγάλο αστικό δίκτυο, το μέγεθος των κυψελών μπορεί να κυμαίνεται από 100 έως 1000 μέτρα, πράγμα που δείχνει την κατά προσέγγιση ακρίβεια της θέσης του COO.



Εικόνα 6 – Μέθοδος εντοπισμού θέσης COO (CISCO, 2008)

Η μέθοδος αυτή μπορεί να είναι χρήσιμη στους εσωτερικούς χώρους. Όταν εφαρμόζεται στα συστήματα Wi-Fi 802.11, αυτή η τεχνική παρακολουθεί το κελί (ή το "σχετικό σημείο πρόσβασης" στα συστήματα Wi-Fi 802.11) με το οποίο συσχετίζεται μια κινητή συσκευή. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι η εύκολη εφαρμογή, καθώς δεν απαιτεί περίπλοκο αλγόριθμο, γεγονός που καθιστά την εκτίμηση θέσης πολύ γρήγορη.

Σχεδόν όλα τα δίκτυα WLAN βασισμένα σε κυψέλες και άλλα συστήματα RF κυψελοειδούς βάσης μπορούν εύκολα και οικονομικά να προσαρμοστούν ώστε να παρέχουν δυνατότητα τοποθέτησης COO. Ωστόσο, το συντριπτικό μειονέκτημα των καθαρών προσεγγίσεων τοποθέτησης COO είναι η χονδροειδής κοκκοποίηση. Για διάφορους λόγους, οι κινητές συσκευές μπορούν να συσχετιστούν με εκείνα τα κύτταρα που δεν βρίσκονται σε στενή φυσική εγγύτητα, παρά το γεγονός ότι άλλα γειτονικά κύτταρα θα πρέπει να είναι καλύτεροι υποψήφιοι (Cisco System, 2008).

2.4.2 Μέθοδος Τριαλλαγής

Η μέθοδος της τριαλλαγής χρησιμοποιεί τις αποστάσεις ενός αντικειμένου από τρία γνωστά σημεία, τα οποία είναι συνήθως σταθερά σημεία με γνωστές συντεταγμένες για τον προσδιορισμό της θέσης ενός αντικειμένου.

Αυτή η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε συμβατικές τοπογραφίες και εντοπισμού GPS. Οι δέκτες GPS χρησιμοποιούν τη μέθοδο για να καθορίσουν τη θέση του χρήστη, την ταχύτητα, την ανύψωση κλπ. Στην εσωτερική θέση, οι συντεταγμένες των AP είναι σταθεροί κόμβοι και πρέπει να δημιουργηθεί μια βάση δεδομένων για την αποθήκευση της ακριβούς θέσης των AP. Αυτό περιλαμβάνει τόσο ακριβείς συντεταγμένες των AP όσο και τη μοναδική διεύθυνση ελέγχου πρόσβασης πολυμέσων (MAC) για κάθε AP. Κατά τη διάρκεια των ενεργών μετρήσεων για μια κινητή συσκευή, μετρώνται οι μέσες εντάσεις σήματος για όλα τα ορατά AP και μπορεί να χρησιμοποιηθεί τριαλλαγή για την εκτίμηση της θέσης της συσκευής.

Είναι πολύ δύσκολο να εκτιμηθούν οι ακριβείς αποστάσεις με βάση τις μετρήσεις RSS εξαιτίας της εξασθένησης του σήματος. Οι τοίχοι, τα δάπεδα, οι φούρνοι μικροκυμάτων, τα ασύρματα τηλέφωνα και οι συσκευές Bluetooth προκαλούν εξασθένηση του σήματος, καθώς η ίδια συχνότητα (ζώνη 2,4 GHz) χρησιμοποιείται στο πρωτόκολλο 802.11b και στις σχετικές συσκευές.

Ο προσανατολισμός της κεραίας και η κίνηση των ανθρώπων μέσα στο κτίριο είναι όλοι οι άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την ισχύ του σήματος.

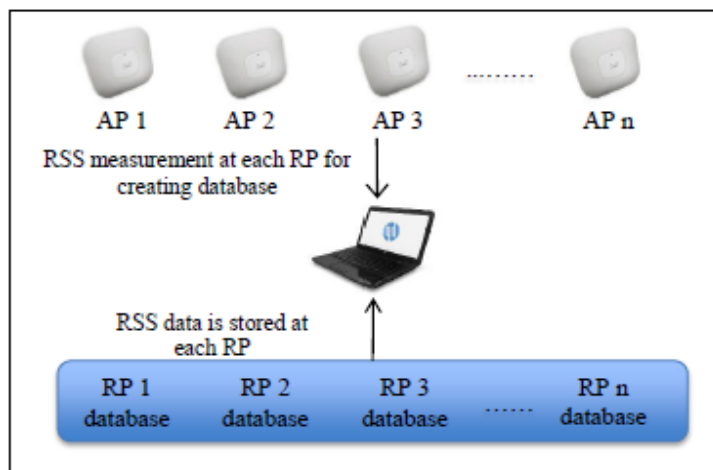
Αυτή η εξασθένηση του σήματος καθιστά την ακρίβεια της εκτίμησης της απόστασης με βάση την μέτρηση RSS υποβαθμισμένη, η οποία με τη σειρά της υποβαθμίζει ανάλογα τα αποτελέσματα της τοποθέτησης της μεθόδου τριαλλαγής. Για παράδειγμα, τα σφάλματα θέσης από τα καθαρά Wi-Fi σήματα υπερβαίνουν τα 6-8 μέτρα (Rizos et al., 2007).

2.4.3 Μέθοδος αποτυπωμάτων (fingerprinting)

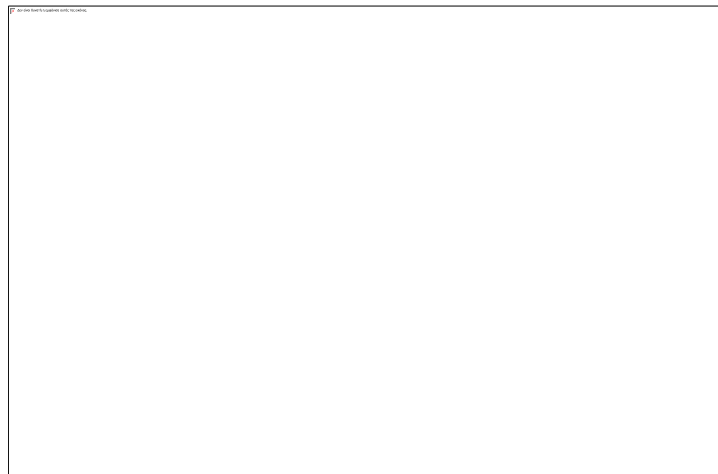
Η τεχνική αποτυπωμάτων έχει χρησιμοποιηθεί για εντοπισμό της θέσης σε εσωτερικούς χώρους για αρκετά χρόνια.

Το κύριο πλεονέκτημά του είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιήσει υπάρχουσες υποδομές WLAN ή άλλα περιβάλλοντα δικτύου. Σε σύγκριση με άλλες τεχνικές, όπως το TOA (time of arrival) και το AOA (angle of arrival), αυτή η τεχνική είναι πιο κατάλληλη για εσωτερικούς χώρους, καθώς μπορεί να χειριστεί το πρόβλημα που δεν είναι LOS (line of sight) και multipath (Parmanathan, 2006). Εάν δεν υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις υλικού στην κινητή συσκευή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε υπάρχουσα υποδομή WLAN για τοποθέτηση. Όταν χρησιμοποιείται με συστήματα Wi-Fi, η μέθοδος αποτύπωσης μπορεί να χωριστεί σε δύο φάσεις, φάση βαθμονόμησης και φάση τοποθέτησης.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 7, η φάση βαθμονόμησης είναι για τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων που αποθηκεύει θέσεις σημείων αναφοράς (RPs) στην περιοχή ενδιαφέροντος. Σε αυτή τη φάση, μετρείται πρώτα η ένταση του σήματος από όλα τα RP, τότε υπολογίζονται οι μέσες τιμές του RSS σε κάθε RP, μαζί με άλλες πληροφορίες, συμπεριλαμβανομένων των συντεταγμένων, του προσανατολισμού και της διεύθυνσης MAC κλπ.



Εικόνα 7 - Φάση βαθμονόμησης της μεθόδου δαχτυλικού αποτυπώματος



Εικόνα 8 - Φάση εντοπισμού θέσης της μεθόδου δαχτυλικού αποτυπώματος

Στη φάση τοποθέτησης, οι εντάσεις σήματος από τα AP μετριοούνται στην κινητή πλευρά και συγκρίνονται με όλες τις εγγραφές στη βάση δεδομένων για να προσδιοριστεί η πιο πιθανή θέση του κινητού αντικειμένου χρησιμοποιώντας είτε τους ντετερμινιστικούς ή πιθανοτικούς αλγορίθμους. Η διαδικασία της φάσης τοποθέτησης παρουσιάζεται στο Σχήμα 8.

2.4.4 Σύγκριση μεθόδων εντοπισμού θέσης

Ο παρακάτω πίνακας συγκρίνει τις παραπάνω τρεις συνήθεις μεθόδους εντοπισμού θέσης, COO, τριαλλαγής και αποτύπωσης δακτυλικών αποτυπωμάτων.

Για τους εσωτερικούς χώρους, λόγω του πλεονεκτήματος της συνεχούς τοποθέτησης και των περιβαλλοντικών επιδράσεων που έχουν ληφθεί υπόψη στη φάση βαθμονόμησης, η μέθοδος αποτύπωσης είναι πιο κατάλληλη και έτσι επιλέγεται για τα πειράματά μας.

Method	Accuracy	Advantage	Disadvantage
COO	Low to medium	Simple algorithm	Discrete positions; accuracy depends on the size of cells; a large number of devices are required
Trilateration	Low to medium	Continuous positioning; no training phase required	At least three receivers are required; poor positioning accuracy may occur, caused by environmental effects
Fingerprinting	High	Continuous positioning; environmental effects are considered in the training phase	Poor positioning accuracy in dynamic environments

Πίνακας 3 - Σύγκριση των πιο διαδεδομένων μεθόδων εντοπισμού θέσης

2.5 Μετρήσεις

Διάφοροι τύποι μετρήσεων μπορούν να πραγματοποιηθούν για τον προσδιορισμό της θέσης μια κινητής συσκευής.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι 4 πιο συνηθισμένες.

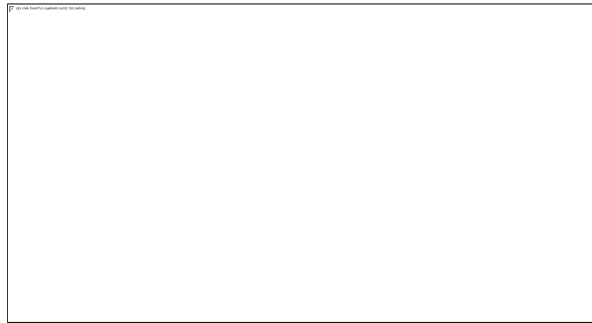
2.5.1 TOA (time of arrival)

Ένα ηλεκτρομαγνητικό σήμα έχει μια σταθερή ταχύτητα διάδοσης. Εάν μπορεί να μετρηθεί ο χρόνος της μετάδοσης σήματος μεταξύ ενός σταθμού βάσης και ενός κινητού σταθμού, η απόσταση από το σταθμό βάσης στον κινητό σταθμό μπορεί να εκτιμηθεί χρησιμοποιώντας τη

μέθοδο τρικυλίωσης. Η δυσδιάστατη θέση του κινητού σταθμού μπορεί να εκτιμηθεί χρησιμοποιώντας περισσότερες από δύο τέτοιες αποστάσεις.

Σε εσωτερικά ασύρματα περιβάλλοντα, αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό smartphone με χρήση δρομολογητών Wi-Fi.

Το Σχήμα 9 δείχνει πώς λειτουργεί η μέθοδος τρικυλίωσης χρησιμοποιώντας αποστάσεις που προέρχονται από ΤΟΑ.



Εικόνα 9 - Time of arrival: μετρήσεις εντοπισμού θέσης

Υποθέτουμε ότι το X είναι η θέση του χρήστη του smartphone που εκτιμάται, A_1 , A_2 , A_3 είναι τρεις δρομολογητές Wi-Fi με γνωστές θέσεις και l_1 , l_2 , l_3 είναι οι αποστάσεις που μετριοούνται από το X στους τρεις δρομολογητές, τότε οι αποστάσεις μπορούν να υπολογιστούν με



Τύπος 1

όπου C είναι η ταχύτητα της διάδοσης του σήματος και t είναι ο χρόνος μετάδοσης του σήματος.

Οι μετρήσεις ΤΟΑ έχουν περιορισμούς. Απαιτείται ακριβής συγχρονισμός του χρόνου μεταξύ όλων των σταθμών βάσης και του κινητού σταθμού. Ένα μικρό σφάλμα χρόνου θα οδηγήσει σε μεγάλο σφάλμα στην υπολογισμένη απόσταση.

Επιπλέον, το σήμα πρέπει να επισημανθεί με μια χρονική σφραγίδα (timestamp) για να επιτρέψει στον κόμβο / σταθμό βάσης να καθορίσει τον χρόνο με τον οποίο εκπέμφθηκε το σήμα. Αυτή η πρόσθετη χρονική σφραγίδα αυξάνει την πολυπλοκότητα της διάδοσης του σήματος και μπορεί να οδηγήσει σε σφάλμα.

2.5.2 TDOA (time difference of arrival)

Η προαναφερόμενη ΤΟΑ χρησιμοποιεί την απόλυτη τιμή του χρόνου μετάδοσης σήματος για τον υπολογισμό της απόστασης που ταξιδεύει το σήμα. Η ΤDOA χρησιμοποιεί τη διαφορά μεταξύ των χρόνων διάδοσης που προέρχονται από διαφορετικούς σταθμούς βάσης. Όταν ένας κινητός σταθμός αποστέλλει ένα σήμα, η ισχύς του θα λαμβάνεται από τουλάχιστον τρεις σταθμούς βάσης, η θέση του κινητού σταθμού μπορεί να εκτιμηθεί χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο τριαλλαγής.



Εικόνα 10 - Time difference of arrival: μετρήσεις εντοπισμού θέσης

Η εικόνα 10 παρουσιάζει τις αρχές εντοπισμού θέσης με TDOA μετρήσεις.

Έστω X είναι η θέση του smartphone χρήστη και $A1, A2, A3$ είναι τρεις Wi-Fi δρομολογητές. Έστω $I1, I2, I3$ είναι οι αποστάσεις από το X στους δρομολογητές, και $TDOA_{1-2}$ και $TDOA_{1-3}$ είναι δύο καμπύλες με σταθερή διαφορά εύρους τιμών. Ο τύπος 2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το υπερβοληδές:

$$\text{Τύπος 2}$$

Τύπος 2

$$\text{Τύπος 3}$$

Τύπος 3

Όπου, n είναι ο αριθμός ενός δρομολογητή Wi-Fi, t είναι ο χρόνος μετάδοσης σήματος και k είναι η παράμετρος η οποία αντιπροσωπεύει το TDOA.

Η μέθοδος τοποθέτησης TDOA έχει επίσης περιορισμούς.

Απαιτεί ακρίβεια στους χρόνους και επηρεάζεται από σφάλματα πολλαπλών διαδρομών της μετάδοσης σήματος, του θορύβου και των παρεμβολών.

Επιπλέον, συνεπάγεται υψηλό κόστος για πρόσθετη κεραία και εξοπλισμό θέσης σε κάθε θέση κυψέλης.

2.5.3 AOA (angle of arrival)

Ως AOA ορίζεται η γωνία μεταξύ της κατεύθυνσης διάδοσης και της κατεύθυνσης αναφοράς.

Η κατεύθυνση αναφοράς είναι γνωστή ως προσανατολισμός και είναι η σταθερή κατεύθυνση κατά την οποία μετριοούνται τα AOA.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 11, η μέθοδος AOA χρησιμοποιεί γωνιακές μετρήσεις σημάτων που φθάνουν σε ένα ζεύγος σταθμών βάσης και δρομολογητές Wi-Fi για τον προσδιορισμό της θέσης της κινητής συσκευής X . Λόγω πολλαπλών σταθμών βάσης που λαμβάνουν το σήμα της κινητής συσκευής, οι σταθμοί βάσης χρειάζονται πρόσθετο εξοπλισμό για τον προσδιορισμό της κατεύθυνσης της πυξίδας από την οποία φτάνει το σήμα του χρήστη.

Πληροφορίες από κάθε ένα από τους σταθμούς βάσης αποστέλλονται στον κινητό διακόπτη για ανάλυση και δημιουργία ενός κατά προσέγγιση γεωγραφικού πλάτους και γεωγραφικού μήκους για την κινητή συσκευή.



Εικόνα 11 - Βασικές αρχές για Angle of arrival μετρήσεις

Ο τύπος υπολογισμού της θέσης του χρήστη είναι ο παρακάτω



Τύπος 4



Τύπος 5

Όταν χρησιμοποιούνται οι μετρήσεις ΑΟΑ, απαιτούνται τουλάχιστον δύο μετρήσεις γωνίας από δύο σημεία βάσης (δηλαδή σταθμούς αναφοράς).

Αυτή η μέθοδος είναι ευαίσθητη όταν πρόκειται για πολλές διαδρομές και θεωρείται ότι η γωνία του λαμβανόμενου σήματος είναι γνωστή και μπορεί να μετρηθεί μέσω μιας κατευθυντικής κεραίας και συστοιχιών κεραίας.

Επομένως, απαιτείται πρόσθετο υλικό για την εκτίμηση των γωνιών άφιξης και ως εκ τούτου αυξάνει έμμεσα το κόστος. Όσο μεγαλύτερος ο αριθμός των κεραιών, τόσο καλύτερη είναι η ακρίβεια. Αυτός είναι ο κύριος περιορισμός που καθιστά αυτή τη μέθοδο μη βιώσιμη.

2.5.4 RSS

Κάθε τύπος των παραπάνω μετρήσεων έχει κάποια μειονεκτήματα. Σε ένα εσωτερικό χώρο, είναι δύσκολο να βρεθεί κανάλι LOS μεταξύ του πομπού και του δέκτη και η διάδοση του ραδιοφώνου πιθανότατα θα πάσχει από φαινόμενα πολλαπλών διαδρομών.

Το πρόβλημα που προξενείται από τις πολλαπλές διαδρομές θα επηρεάσει το χρόνο και τη γωνία άφιξης ενός σήματος.

Ως αποτέλεσμα, η ακρίβεια της εκτίμησης θέσης θα μπορούσε να υποβαθμιστεί.

Η τεχνική που βασίζεται σε RSS έχει γίνει μια εναλλακτική προσέγγιση για την τοποθέτηση λόγω της απλότητας και της χαμηλής της πολυπλοκότητας. Μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα σε σύγχρονες ασύρματες συσκευές όπως φορητοί υπολογιστές και PDA και να λάβει την ισχύ σήματος από διάφορους τύπους δικτύων που υποστηρίζουν το πρωτόκολλο 802.11.

Εκτός αυτού, δεν χρειάζεται σύνθετη επεξεργασία δεδομένων για ακριβή συγχρονισμό ρολογιού και ανταλλαγή δεδομένων.

Οι ακόλουθοι τρεις τύποι χρησιμοποιούνται για να εκφράσουν την εξίσωση μέτρησης RSS.



Τύπος 6

Όπου PL είναι η απώλεια λόγω διαδρομής (σε dB) του σήματος, το PL_{1metre} είναι η 1-metre αναφορά απώλειας διαδρομής (σε dB), d είναι η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη (σε m), n είναι ο εκθέτης απώλειας διαδρομής και s είναι η εξασθένιση της σκιάς (dB).



Τύπος 7



Τύπος 8

Όπου το RX_{PWR} είναι το ανιχνευμένο RSS (dB), το TX_{PWR} είναι η ισχύς εξόδου του πομπού (dB), οι $LOSS_{TX}$ και $LOSS_{RX}$ είναι οι απώλειες του καλωδίου πομπού και του δέκτη (dB) αντίστοιχα, $GAIN_{TX}$ και $GAIN_{RX}$ είναι τα κέρδη κεραίας πομπού και δέκτη (dB) αντίστοιχα.

2.5.5 Χαρακτηριστικά των τεσσάρων μεθόδων μέτρησης

Κάθε ένας από τους προαναφερθέντες τέσσερις τύπους ή μοντέλα μέτρησης έχει τα δικά του χαρακτηριστικά.

Οι μετρήσεις TOA, TDOA και AOA χρησιμοποιούνται συχνά για υπαίθρια τοποθέτηση επειδή απαιτούν την κατάσταση του LOS μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Εντούτοις, σε περιβάλλοντα εσωτερικού χώρου, η κατάσταση αυτή μπορεί να μην ικανοποιηθεί λόγω των παρεμποδίσεων, των παρεμβολών και των επιπτώσεων πολλαπλών διαδρομών κλπ.

Επιπλέον, μια κινητή συσκευή πρέπει να μετρήσει τουλάχιστον τρία AP για την τοποθέτηση χρησιμοποιώντας τριμεθυλίωση.

Αυτός είναι ο λόγος που αυτά τα τρία μοντέλα μέτρησης δεν χρησιμοποιούνται τόσο συχνά σε εσωτερικά περιβάλλοντα.

Η τεχνική που βασίζεται σε RSS δεν χρειάζεται LOS, σύνθετο συγχρονισμό ρολογιού και ανταλλαγή δεδομένων καθώς η απόσταση λαμβάνεται από την εξασθένιση του σήματος κατά τη διάρκεια της μετάδοσης.

Επιπλέον, οι τιμές RSS μπορούν να καταγραφούν σε διάφορα δίκτυα που υποστηρίζουν τα πρωτόκολλα 802.11. Ως αποτέλεσμα, οι μετρήσεις που βασίζονται σε RSS έχουν ευρείες εφαρμογές.

Τα βασικά χαρακτηριστικά των τεσσάρων μοντέλων μέτρησης συγκρίνονται στον Πίνακα 4 παρακάτω.

Measurement method	Time synchronisation	LOS requirement	Accuracy	Other features
--------------------	----------------------	-----------------	----------	----------------

TOA	Mobile object and all receivers	Yes	High	≥3 receivers
TDOA	All receivers	Yes	High	≥2 receivers
AOA	Not required	Yes	Medium	Antenna array
RSS	Not required	No	Medium	≥3 receivers

Πίνακας 4 - Χαρακτηριστικά μοντέλων μέτρησης

2.6 Fingerprinting

Η τεχνική δακτυλικών αποτυπωμάτων βασίζεται στη σχέση μεταξύ μιας δεδομένης θέσης και της αντίστοιχης ραδιογραφίας της. Κάθε δακτυλικό αποτύπωμα έχει τις πληροφορίες RF ή RSS του κάθε AP και το δακτυλικό αποτύπωμα από τη δεδομένη θέση έχει ένα μοναδικό συνδυασμό σε σύγκριση με όλα τα δακτυλικά αποτυπώματα του χάρτη. Μπορεί να ταξινομηθεί σε δύο βασικές ομάδες, τον ντετερμινιστικό και πιθανοτικό αλγόριθμο.

1. *Ντετερμινιστικός αλγόριθμος* Προσπαθεί να βρει την ελάχιστη απόσταση στατιστικού σήματος μεταξύ του εντοπισμένου διανύσματος εντοπισμού RSSI και των διανυσμάτων εντοπισμού διαφόρων σημείων αναφοράς βαθμονόμησης. Αυτό μπορεί να είναι ίσο με την ελάχιστη φυσική απόσταση μεταξύ της πραγματικής θέσης της πραγματικής κινητής συσκευής και της καταγεγραμμένης θέσης του δείγματος βαθμονόμησης. Το σημείο δειγματοληψίας με την ελάχιστη απόσταση στατιστικού σήματος μεταξύ αυτού και του ανιχνευόμενου διανύσματος θέσης θεωρείται γενικά ως η καλύτερη εκτίμηση της πρώτης θέσης που περιέχεται στη βάση δεδομένων βαθμονόμησης. Παραδείγματα ντετερμινιστικών αλγορίθμων, όπως του <<πλησιέστερου γείτονα>>, είναι εκείνοι που βασίζονται στον υπολογισμό της Ευκλείδειας ή της Μανχάταν απόστασης (Brunato και Battiti, 2005).
2. *Πιθανοτικός αλγόριθμος* Χρησιμοποιεί συμπεράσματα πιθανότητας για τον προσδιορισμό της πιθανότητας μιας συγκεκριμένης θέσης δεδομένου ότι έχει ήδη εντοπιστεί μια συγκεκριμένη συστοιχία διανυσμάτων θέσης. Η ίδια η βάση δεδομένων βαθμονόμησης θεωρείται ως η εκ των προτέρων κατανομή πιθανότητας από τον αλγόριθμο για τον προσδιορισμό της πιθανότητας εμφάνισης της συγκεκριμένης θέσης. Παραδείγματα τέτοιων προσεγγίσεων περιλαμβάνουν όσους χρησιμοποιούν Bayesian πιθανοτικούς αλγορίθμους.

2.6.1 Αλγόριθμος πλησιέστερου γείτονα (Nearest Neighbor, NN)

Ο παλαιότερος και απλούστερος ντετερμινιστικός αλγόριθμος είναι ο αλγόριθμος NN που χρησιμοποιείται στο RADAR, το οποίο είναι ένα ενσωματωμένο σύστημα εντοπισμού και παρακολούθησης με βάση το RF.

Η ιδέα αυτού του αλγορίθμου είναι να υπολογίσει την ευκλείδεια απόσταση μεταξύ του τρέχοντος RSS σε μια άγνωστη τοποθεσία και τις μέσες τιμές ισχύος σήματος από κάθε AP που καταγράφεται σε μια βάση δεδομένων και στη συνέχεια να βρει τον πλησιέστερο γείτονα (την ελάχιστη απόσταση Euclidean). Οι συντεταγμένες εκτιμήσεις της άγνωστης θέσης.

Ας υποθέσουμε ότι $S_m = \{S_{m1}, S_{m2}, \dots, S_{mn}\}$ είναι η σειρά των μέσων τιμών ισχύος σήματος πραγματικού χρόνου που μετρείται σε άγνωστη θέση και n είναι ο αριθμός των AP. $S_{m1}, S_{m2}, \dots, S_{mn}$ είναι οι μέσες τιμές ισχύος σήματος από τα AP_1, AP_2 και AP_n αντίστοιχα. $S_i = \{S_{i1}, S_{i2}$

,....., Sin } είναι η σειρά μέσων τιμών ισχύος σήματος όλων των RPs στη βάση δεδομένων, όπου $Si1$ είναι η μέση τιμή έντασης σήματος από $AP1$ και Sin είναι η ισχύς του σήματος από το APn αντίστοιχα, η Ευκλείδεια απόσταση μπορεί να ορισθεί ως εξής:



Τύπος 9

2.6.2 K-NN αλγόριθμος

Ο αλγόριθμος K-NN είναι μια επέκταση του αλγόριθμου NN που παρουσιάστηκε παραπάνω. K είναι ο αριθμός της ελάχιστης Ευκλείδειας απόστασης μεταξύ κάθε RP και της θέσης της κινητής συσκευής.

Όταν οι k (όπου $k \geq 2$) πλησιέστεροι γείτονες προσδιορίζονται για πρώτη φορά από τη βάση δεδομένων δακτυλικών αποτυπωμάτων σύμφωνα με τις υπολογισμένες Ευκλείδειες αποστάσεις μεταξύ της ισχύος του σήματος κάθε RP και εκείνης που πήρε στη θέση της κινητής συσκευής, τότε η καλύτερη τοποθεσία που εκτιμάται καθορίζεται από τον μέσο όρο των συντεταγμένων (x, y) όλων των πλησιέστερων k γειτόνων. Εάν $k = 1$, το K-NN μετατρέπεται σε NN.

Υποθέτουμε την Ευκλείδεια απόσταση και το διάνυσμα ισχύος σήματος του χρήστη του κινητού είναι $\{RSSi1, RSSi2, \dots, RSSin\}$, όπου $RSSin$ αναφέρεται στην RSS του APn στο RPi , τότε η Ευκλείδεια απόσταση μπορεί να υπολογιστεί με τον ακόλουθο τύπο:



Τύπος 10

Εφόσον η εξασθένιση του σήματος στα ασύρματα δίκτυα 802.11 επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, είναι πιθανό οι τιμές RSS που λαμβάνονται σε δύο διαφορετικές θέσεις να είναι σχεδόν ίδιες.

Γενικά, ο αλγόριθμος NN, ο οποίος θεωρεί μόνο το RP με την πλησιέστερη τιμή RSS, αποκτά συχνά μια εκτιμώμενη τοποθεσία μακριά από την πραγματική τοποθεσία. Ωστόσο, ο K-NN θεωρεί πιο κοντινούς γείτονες και άρα μπορούν να ληφθούν καλύτερα αποτελέσματα.

2.6.4 Bayesian αλγόριθμος

Προκειμένου να επιτευχθούν ακριβέστερα αποτελέσματα, έχουν αναπτυχθεί πιθανοτικοί αλγόριθμοι.

Στους πιθανοτικούς αλγορίθμους, ο Bayesian αλγόριθμος είναι ένας βασικός πιθανοτικός αλγόριθμος και χρησιμοποιεί τα Bayesian συμπεράσματα για να προσδιορίσει την πιθανότερη θέση της κινητής συσκευής. Κατά τη διάρκεια της εκμάθησης, τα προφίλ ισχύος σήματος μετρώνται σε ένα πλέγμα θέσης.

Μια στατιστική κατανομή του RSS σε διαφορετικές θέσεις εκφράζεται από ένα εμπειρικό μοντέλο. Για παράδειγμα, αν υποθέσουμε κατανομή μέτρησης κατά Gauss, μπορεί κανείς να εκτιμήσει μέση και διακύμανση σε κάθε σημείο καμπής χρησιμοποιώντας πολλαπλές παρατηρήσεις. Μια στατιστική κατανομή έχει σχεδιαστεί για όλα τα σημεία του πλέγματος. Εναλλακτικά, διαφορετικά σύνολα παρατήρησης μπορούν να συνδυαστούν ως άθροισμα αρκετών εξίσου σταθμισμένων λειτουργιών του Gaussian πυρήνα στις θέσεις L. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια ορισμένη πιθανότητα και Bayesian συμπεράσματα για την εκτίμηση της θέσης.

Για την τοποθέτηση, ο αλγεβρισμός Bayesian μπορεί να γραφτεί ως:



Τύπος 11

Όπου l_x είναι η άγνωστη τοποθεσία που πρέπει να εκτιμηθεί, το o_x είναι το RSS σήμερα σε άγνωστη τοποθεσία x , l_i είναι η θέση βαθμονόμησης i , m είναι ο αριθμός των θέσεων βαθμονόμησης, $p(l_x)$ είναι η προηγούμενη πιθανότητα θέσης x και $p(O_x | l_x)$ είναι μια συνάρτηση πιθανότητας σε Bayesian όρους που αναφέρεται στην πιθανότητα της ισχύος σήματος που λαμβάνεται στο x .

Κατά τη διαδικασία τοποθέτησης, η υποθετική πιθανότητα στη θέση x υπολογίζεται για τα δακτυλικά αποτυπώματα και η θέση που αντιστοιχεί στη μέγιστη πιθανότητα λαμβάνεται ως η καλύτερη εκτίμηση θέσης της κινητής συσκευής.

2.7 Περίληψη

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται συνοπτικά οι κύριες τεχνολογίες εντοπισμού θέσης, όπως GPS, AGPS, Wi-Fi και INS κλπ.

Σύμφωνα με τις συγκρίσεις με άλλα συστήματα εντοπισμού θέσης, τα συστήματα εντοπισμού θέσης Wi-Fi προτιμώνται περισσότερο για εσωτερικούς χώρους.

Οι κύριες προκλήσεις που χρησιμοποιούν τα συστήματα εντοπισμού θέσεων Wi-Fi για εσωτερικούς χώρους συζητούνται επίσης και παρουσιάζεται μια επισκόπηση των τεχνολογιών smartphone.

Τέσσερις τύποι μετρήσεων (δηλ. TOA, TDOA, AOA και RSS) για την τοποθέτηση επεξεργάζονται και εισάγονται τρεις συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες μέθοδοι εκτίμησης για εσωτερική τοποθέτηση και συγκρίνονται.

Τρεις αλγόριθμοι δακτυλικών αποτυπωμάτων, συμπεριλαμβανομένων των NN, KNN και Bayesian αλγόριθμοι εισάγονται και εξετάζονται τα ειδικά χαρακτηριστικά τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Σε αυτό το κεφάλαιο αναπτύσσεται ένα σύστημα εσωτερικού εντοπισμού θέσης μέσω Wi-Fi χρησιμοποιώντας ένα smartphone (Android) για τη λήψη της ισχύος σήματος του Wi-Fi.

Αυτό το σύστημα είναι εύκολο να εφαρμοστεί και με χαμηλό κόστος, καθώς χρειαζόμαστε μόνο τα AP και ένα smartphone. Σε αυτό το σύστημα, εγκαθίστανται AP σε προεπιλεγμένες θέσεις για να καλύψουν όλη την περιοχή ενδιαφέροντος για τον εντοπισμό.

Για την εκτίμηση θέσης χρησιμοποιείται, στη φάση της βαθμονόμησης, η μέθοδος fingerprinting (RSS) και κατά τη φάση του εντοπισμού ένας KNN αλγόριθμος με βάρη.

3.1 Λογισμικό και τεχνολογίες

Στο εσωτερικό σύστημα εντοπισμού θέσης επιλέγονται η πλατφόρμα λογισμικού Android, η βάση δεδομένων SQLite και τα πακέτο ανάπτυξης λογισμικού Android για πειράματα.

Η εφαρμογή smartphone αναπτύσσεται στην πλατφόρμα Android για τη συλλογή των σημάτων του Wi-Fi και τα δεδομένα ισχύος των σημάτων συλλέγονται και εισάγονται στη βάση δεδομένων η οποία θα καλείται από τον αλγόριθμο τοποθέτησης που εφαρμόζεται στον εξυπηρετητή.

Ο χρήστης του smartphone χρησιμοποιεί την εφαρμογή Android για τον υπολογισμό εκτιμώμενων τοποθεσιών οι οποίες υπολογίζονται τοπικά από τον αλγόριθμο.

Περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με την πλατφόρμα και το πακέτο ανάπτυξης που χρησιμοποιούνται στο σύστημά μας περιγράφονται παρακάτω.

Android

Το Android είναι ένα λειτουργικό σύστημα βασισμένο στο λειτουργικό σύστημα Linux που έχει σχεδιαστεί από την Google κυρίως για φορητές συσκευές αφής, όπως smartphones και υπολογιστές tablet. Παρέχει διάφορα προγράμματα (drivers) και μονάδες διαχείρισης (management modules), βιβλιοθήκες και frameworks όπως ελαφριά βάση δεδομένων SQLite και πρόγραμμα περιήγησης στο Web kit.

Η Google κυκλοφορεί τον κώδικα βάσει της Άδειας Apache και επιτρέπει στο λογισμικό να τροποποιείται και να διανέμεται ελεύθερα από κατασκευαστές συσκευών, ασύρματους φορείς και προγραμματιστές. Με την ταχεία αύξηση του μεριδίου αγοράς Android smartphone, το λειτουργικό σύστημα Android έχει γίνει ένα από τα πιο διαδεδομένα λειτουργικά συστήματα της βιομηχανίας smartphone.

Η πλατφόρμα Android χωρίζεται σε τέσσερα επίπεδα, τα οποία περιλαμβάνουν πέντε ομάδες (βλ. Εικόνα 4.1) και τα ονόματα και οι εξηγήσεις για τις πέντε ομάδες δίνονται παρακάτω (Android, 2013).

1. Εφαρμογή: Είναι το μόνο στρώμα που χρησιμοποιείται από τους τελικούς χρήστες smartphone. Έχει τη δυνατότητα του multitasking και είναι γραμμένο σε γλώσσα Java.
2. Πλαίσιο εφαρμογής: Χρησιμοποιείται για την εφαρμογή της τυποποιημένης δομής μιας εφαρμογής Android.
3. Βιβλιοθήκες: Οι διαθέσιμες βιβλιοθήκες είναι γραμμένες σε C / C ++ και καλούνται μέσω διεπαφής Java.
4. Χρόνος εκτέλεσης Android: Αποτελείται από δύο συνιστώσες: ένα σύνολο βασικών βιβλιοθηκών που παρέχουν τις περισσότερες λειτουργίες στις βασικές βιβλιοθήκες Java και την εικονική μηχανή Dalvik, η οποία λειτουργεί ως μεταφραστής μεταξύ της εφαρμογής και του λειτουργικού συστήματος.

5. Linux kernel: Αυτός ο πυρήνας χρησιμοποιείται από το Android για τη διαχείριση συσκευών, μνήμης, διεργασιών και δικτύωσης

Στο πείραμά μας, το Samsung Galaxy I9305T με λειτουργικό σύστημα Android 4.1.2 χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη της εφαρμογής.



Εικόνα 12 - Αρχιτεκτονική της Android πλατφόρμας

SQLite

Το SQLite είναι μια ενσωματωμένη βάση δεδομένων ανοιχτού κώδικα, η οποία είναι γραμμένη σε γλώσσα C. Συγκρίνετε με τις συνηθισμένες βάσεις δεδομένων όπως SQL Server, Oracle κ.λπ. Το SQLite είναι μια ελαφριά βάση δεδομένων και αποτελεί μια πλήρη και ενσωματωμένη βάση δεδομένων χωρίς πρόσθετα εξαρτήματα.

Σε αντίθεση με τις περισσότερες άλλες βάσεις δεδομένων SQL, το SQLite δεν έχει ξεχωριστή server-side διαδικασία. Το SQLite διαβάζει και γράφει απευθείας σε συνηθισμένα αρχεία δίσκου. Μια πλήρης βάση δεδομένων SQL με πολλαπλούς πίνακες, δείκτες, ενεργοποιητές και προβολές, περιέχεται σε ένα αρχείο ενός δίσκου. Η μορφή αρχείου βάσης δεδομένων είναι πολλαπλή πλατφόρμα - μπορείτε να αντιγράψετε ελεύθερα μια βάση δεδομένων μεταξύ συστημάτων 32 bit και 64 bit ή μεταξύ αρχιτεκτονικών big-endian και little-endian.

3.2 Αλγόριθμος

Υπάρχουν δύο σημαντικές μέθοδοι εντοπισμού: η τριαλλαγής και των δακτυλικών αποτυπωμάτων.

Η επιλογή της μεθόδου για μια εφαρμογή εξαρτάται κυρίως από το εάν είναι γνωστές οι συντεταγμένες θέσης των AP.

Η μέθοδος τριαλλαγής είναι η πιο γνωστή προσέγγιση για τον υπολογισμό των θέσεων των σημείων με τη χρήση μετρήσεων απόστασης.

Η απόσταση μεταξύ των σημείων μπορεί να υπολογιστεί τόσο από τον χρόνο διάδοσης του σήματος όσο και από την ταχύτητα. Τα μοντέλα διάδοσης σήματος για τη μετατροπή των δυνάμεων σήματος σε αποστάσεις υποθέτουν ένα εκθετικό μοντέλο εξασθένησης για σήματα Wi-Fi και χρησιμοποιούν την απώλεια διαδρομής για να προσδιορίσουν την πιθανότητα εντοπισμού αντικειμένων βάσει της απόστασης μεταξύ των αντικειμένων και των AP.

Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί αυτή η προσέγγιση, για την εκτίμηση της 2D θέσης, απαιτούνται τουλάχιστον δύο AP με γνωστές συντεταγμένες.

Αν σχεδιάσουμε έναν κύκλο με το κέντρο σε κάθε AP και μια ακτίνα ίση με την απόσταση από το AP προς το κινητό αντικείμενο, η τομή των κύκλων από όλα τα AP, δίνει την πιθανή θέση του κινητού αντικειμένου.

Αυτή είναι η βασική αρχή της μεθόδου τριαλλαγής.

Ένα εκθετικό μοντέλο εξασθένησης της μετάδοσης σήματος χρησιμοποιείται συνήθως για να εκφράσει τη σχέση μεταξύ ισχύος σήματος και απόστασης. Ωστόσο, αυτό είναι επιρρεπές σε μεγάλα σφάλματα λόγω της πολυπλοκότητας των εσωτερικών χώρων και των ισχυρών χρονικά μεταβαλλόμενων χαρακτηριστικών των ισχυρών σημάτων του Wi-Fi.

Αντίθετα, η μέθοδος τοποθέτησης δακτυλικών αποτυπωμάτων χρησιμοποιεί ένα σύνολο παρατηρήσεων για την ένταση του σήματος από τα AP και συγκρίνει αυτές τις παρατηρήσεις με όλες τις εγγραφές στη βάση δεδομένων βαθμονόμησης για να βρει το σετ με την πλησιέστερη αντιστοιχισμένη θέση αναφοράς.

Σε ένα εσωτερικό περιβάλλον με ανοιχτούς χώρους, οι εντάσεις σήματος που παρατηρούνται σε μια περιοχή κοντά σε σχετικές AP θα έχουν μικρή διαφορά. Αυτό καθιστά δύσκολο να προσδιοριστεί ποια περιοχή αναφοράς είναι η καλύτερη σχέση. Η πολυπλοκότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος είναι χρήσιμη από την άποψη αυτή, καθώς ενδέχεται να προκαλέσει μεγάλες διαφορές στο σύνολο RSS των τοποθεσιών αναφοράς. Στα πειράματά μας, η μέθοδος RSS fingerprinting χρησιμοποιείται λόγω της πολυπλοκότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος του εργαστηρίου.

Αλγόριθμοι που βασίζονται σε δακτυλικά αποτυπώματα περιλαμβάνουν κυρίως δύο τύπους: ντετερμινιστικούς και πιθανοτικούς αλγόριθμους (βλ. Ενότητα 2.6).

Κανονικά, ο ντετερμινιστικός αλγόριθμος έχει υψηλή υπολογιστική απόδοση αλλά χαμηλή ακρίβεια.

Ο πιθανοτικός αλγόριθμος συνήθως χρησιμοποιεί τον Bayesian νόμο για να καθορίσει την πιο πιθανή θέση της κινητής συσκευής.

Σε σύγκριση με τον ντετερμινιστικό αλγόριθμο, έχει υψηλότερη ακρίβεια, αλλά απαιτεί μεγαλύτερη προσπάθεια υπολογισμού. Στα πειράματά μας, χρησιμοποιείται ένας απλός αλγόριθμος αντιστοίχισης για τον προσδιορισμό της θέσης του χρήστη του smartphone.

Στη φάση βαθμονόμησης, συλλέγονται οι τιμές των RSS σημάτων από όλα τα AP.

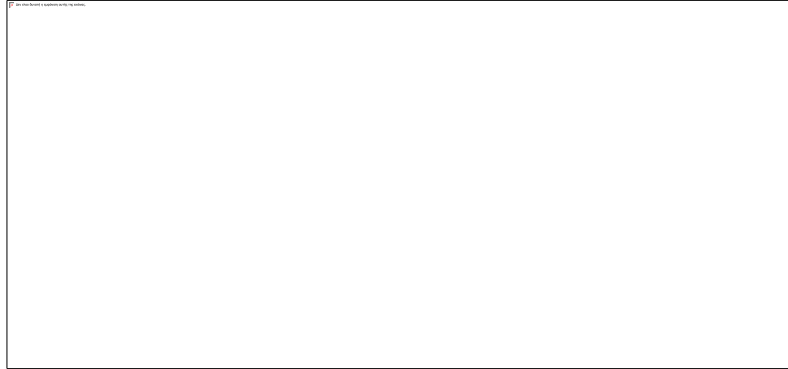
Οι τιμές θα χρησιμοποιηθούν σαν δακτυλικά αποτυπώματα για μια τοποθεσία. Διαφορετικές τοποθεσίες θα έχουν φυσικά και διαφορετικά δακτυλικά αποτυπώματα. Το αποτύπωμα της N th περιοχής συμβολίζεται από το R_i ως εξής $R_i = \{R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{im}\}$.

Όπου R_{ij} είναι η τιμή του RSS από το j th δρομολογητή της i th τοποθεσίας.

Επιλέγονται πολλαπλές τοποθεσίες και οι RSS τιμές αυτών καταγράφονται για να δημιουργήσουν ένα ραδιοχάρτη.

Η εγγραφή της l th τοποθεσίας είναι της μορφής (q_i, r_i) , όπου q_i είναι οι γεωμετρικές συντεταγμένες (x_i, y_i) ενώ r_i είναι το δακτυλικό αποτύπωμα της τοποθεσίας.

Σε αυτό το σημείο, με τη χρήση ενός αλγορίθμου εκτίμησης τοποθεσίας μπορούμε να βρούμε τις συντεταγμένες άγνωστων τοποθεσιών.



Εικόνα 13 – Αρχιτεκτονική του αλγορίθμου υπολογισμού θέσης

Ο αλγόριθμος υπολογισμού θέσης που θα χρησιμοποιηθεί είναι αυτός του κοντινότερου γείτωνα με βάρη (WkNN).

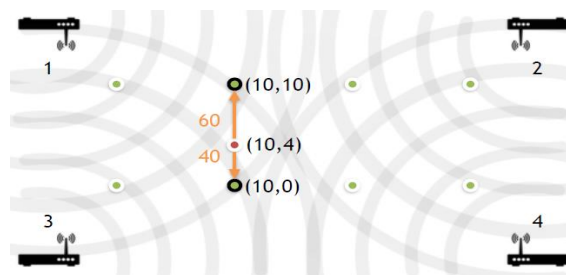
Αυτός χρησιμοποιεί την Ευκλείδια απόσταση για να εντοπίσει τις K κοντινότερες τοποθεσίες από ένα άγνωστο σημείο αναφοράς.

Οι συντεταγμένες της άγνωστης τοποθεσίας είναι ο σταθμισμένος μέσος όρος των K κοντινότερων σημείων, με το βάρος να είναι η αντιστροφή της Ευκλείδιας απόστασης.

Όταν $K = 1$ ο αλγόριθμος κάνει απλά μια αναζήτηση στο πίνακα με τις τοποθεσίες.

Ο αλγόριθμος ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

1. Τα AP εκπέμπουν το σήμα τους και αφήνουν ένα μοναδικό αποτύπωμα σε κάθε θέση
2. Γίνεται επιλογή 8 σημείων στο επίπεδο (κτίριο) και γίνεται βαθμονόμηση των σημάτων που ελήφθησαν
3. Χρησιμοποιείται η Ευκλείδια απόσταση για να βρούμε τα κοντινότερα σημεία από το άγνωστο σημείο αναφοράς που μας ενδιαφέρει (θέση του χρήστη του οποίου τη θέση θέλουμε να εντοπίσουμε)
4. Υπολογίζουμε την Ευκλείδια απόσταση των σημείων x και y
5. Επιλέγονται τα κοντινότερα σημεία και υπολογίζονται οι συντεταγμένες της άγνωστης θέσης ως ο σταθμισμένος μέσος όρος των σημείων



Εικόνα 14 - Ο αλγόριθμος υπολογισμού θέσης

3.3 Κύριες κλάσεις της εφαρμογής

DatabaseHelper:

Η κλάση η οποία διαχειρίζεται την SQLite βάση δεδομένων

```
public class DatabaseHelper extends SQLiteOpenHelper {
    public static final String DATABASE_NAME = "wifips.db";
    public static final String AP_TABLE = "access_points";
    public static final String READINGS_TABLE = "readings";
    public static final String AP_CREATE = "CREATE TABLE 'access_points' " + "('building_id' TEXT NOT NULL , 'ssid' TEXT NOT NULL, 'mac_id' TEXT NOT NULL)";
    public static final String READINGS_CREATE = "CREATE TABLE 'readings' ('building_id' TEXT NOT NULL , " + "'position_id' TEXT NOT NULL , " + "'ssid' TEXT NOT NULL , 'mac_id' TEXT NOT NULL , 'rssi' INTEGER NOT NULL)";

    private HashMap hp;
    public DatabaseHelper(Context context) {
        super(context, DATABASE_NAME, null, 1);
    }
    @Override
    public void onCreate(SQLiteDatabase db) {
        db.execSQL(AP_CREATE);
        db.execSQL(READINGS_CREATE);
    }
    @Override
    public void onUpgrade(SQLiteDatabase db, int oldVersion, int newVersion) {
        db.execSQL("DROP TABLE IF EXISTS " + AP_CREATE);
        db.execSQL("DROP TABLE IF EXISTS " + READINGS_CREATE);
        onCreate(db);
    }
    public int deleteReading(String building_id, String position_id) {
        SQLiteDatabase db = getWritableDatabase();
        String[] args = new String[] { building_id, position_id };
        return db.delete(READINGS_TABLE, "building_id=? and position_id=?", args);
    }
    public boolean deleteBuilding(String building_id) {
        SQLiteDatabase db = getWritableDatabase();
        String[] args = new String[] { building_id };
    }
}
```

```

db.delete(AP_TABLE, "building_id=?", args);

db.delete(READINGS_TABLE, "building_id=?", args);

return true;
}

public ArrayList<String> getBuildings() {
    SQLiteDatabase db = getReadableDatabase();
    Cursor cursor = db.rawQuery("select distinct building_id from " + READINGS_TABLE, null);
    ArrayList<String> result = new ArrayList<String>();
    cursor.moveToFirst();
    while (cursor.isAfterLast() == false) {
        result.add(cursor.getString(0));
        cursor.moveToNext();
    }
    return result;
}

public ArrayList<Router> getFriendlyWifis(String building_id) {
    ArrayList<Router> result = new ArrayList<Router>();
    System.out.println(building_id);
    SQLiteDatabase db = getReadableDatabase();
    Cursor cursor = db.rawQuery("select ssid, mac_id from " + AP_TABLE + " where building_id=?",
    new String[] {building_id });
    cursor.moveToFirst();
    while (cursor.isAfterLast() == false) {
        result.add(new Router(cursor.getString(0), cursor.getString(1)));
        cursor.moveToNext();
    }
    return result;
}

public int deleteFriendlyWifis(String building_id) {
    SQLiteDatabase db = getWritableDatabase();
    String[] args = new String[] { building_id };
    return db.delete(AP_TABLE, "building_id=?", args);
}

public boolean addFriendlyWifis(String building_id, ArrayList<Router> wifis) {

```

```

deleteFriendlyWifis(building_id);

SQLiteDatabase db = getWritableDatabase();

for (int i = 0; i < wifis.size(); i++) {
    ContentValues cv = new ContentValues();
    cv.put("building_id", building_id);
    cv.put("ssid", wifis.get(i).getSSID());
    cv.put("mac_id", wifis.get(i).getBSSID());
    db.insert(AP_TABLE, null, cv);
}

System.out.println("Adding done");

return true;
}

public ArrayList<String> getPositions(String building_id) {
    SQLiteDatabase db = getReadableDatabase();

    Cursor cursor = db.rawQuery("select distinct position_id from " + READINGS_TABLE + " where
building_id=?", new String[] { building_id });

    ArrayList<String> result = new ArrayList<String>();
    cursor.moveToFirst();

    while (cursor.isAfterLast() == false) {
        result.add(cursor.getString(0));
        cursor.moveToNext();
    }

    return result;
}

public boolean addReadings(String building_id, PositionData positionData) {
    Log.v("Just Before db : ", positionData.toString());
    deleteReading(building_id, positionData.getName());
    SQLiteDatabase db = getWritableDatabase();

    for (Map.Entry<String, Integer> e : positionData.getValues().entrySet()) {
        ContentValues cv = new ContentValues();
        cv.put("building_id", building_id);
        cv.put("position_id", positionData.getName());
        cv.put("ssid", positionData.routers.get(e.getKey()));
        cv.put("mac_id", e.getKey());
    }
}

```

```

        cv.put("rssi", e.getValue());

        Log.v(e.getKey(), e.getValue().toString());

        db.insert(READINGS_TABLE, null, cv);
    }

    System.out.println("Adding done");

    return true;
}

public boolean updateDatabase(JSONArray buildings) throws JSONException {
    Gson gson = new Gson();

    for(int i=0;i<buildings.length();i++){
        JSONObject building=buildings.getJSONObject(i);
        String building_id=building.getString("building_id");
        ArrayList<PositionData> readings= null;
        ArrayList<Router> friendlyWifis=null;

        try {
            Log.d("Readings",building.get("readings").toString());
            readings = gson.fromJson(building.get("readings").toString(), new TypeToken<ArrayList<PositionData>> () {
                }.getType());

            friendlyWifis = gson.fromJson(building.get("friendly_wifis").toString(), new TypeToken<ArrayList<Router>>() {
                }.getType() );

            deleteBuilding(building_id);

            for(intj=0;j<readings.size();j++) {
                addReadings(building.getString("building_id"),readings.get(j));
            }

            addFriendlyWifis(building.getString("building_id"),friendlyWifis);
        } catch (JSONException e) {
            return false;
        }
    }

    return true;
}

```

```

public ArrayList<PositionData> getReadings(String building_id) {
    HashMap<String, PositionData> positions = new HashMap<String, PositionData>();
    SQLiteDatabase db = getReadableDatabase();
    Cursor cursor = db.rawQuery("select distinct * from " + READINGS_TABLE + " where building_id=" + building_id + "", null);
    cursor.moveToFirst();
    while (cursor.isAfterLast() == false) {
        String position_id = cursor.getString(1);
        Router router = new Router(cursor.getString(2), cursor.getString(3));
        Log.v(cursor.getString(2), cursor.getInt(4) + "");
        if (positions.containsKey(position_id)) {
            positions.get(position_id).addValue(router, cursor.getInt(4));
        } else {
            PositionData positionData = new PositionData(cursor.getString(1));
            positionData.addValue(router, cursor.getInt(4));
            positions.put(position_id, positionData);
        }
        cursor.moveToNext();
    }
    System.out.println("Reading done");
    ArrayList<PositionData> result = new ArrayList<PositionData>();
    for (Map.Entry<String, PositionData> e : positions.entrySet()) result.add(e.getValue());
    return result;
}
}

```

FindYourPosition:

Κλάση η οποία αποτελεί τον πυρήνα της εφαρμογής. Καλεί την Scan κλάση η οποία με τη σειρά της επιστρέφει τα κοντινότερα σε εμένα σημεία

```

public class FindYourPosition extends Activity {
    ArrayList<String> buildings;
    DatabaseHelper db;
    ArrayAdapter<String> arrayAdapter;
    ArrayList<PositionData> positionsData;
}

```

```
String building;
TextView result;
Button locate;
TextView result2;

public void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
    super.onCreate(savedInstanceState);
    setContentView(R.layout.locate);
    db = new DatabaseHelper(this);
    buildings = db.getBuildings();
    locate = (Button) findViewById(R.id.locate);
    result = (TextView) findViewById(R.id.result);
    result2 = (TextView) findViewById(R.id.result2);
    arrayAdapter = new ArrayAdapter<String>(this, android.R.layout.simple_spinner_item, buildings);
    locate.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {
        @Override
        public void onClick(View arg0) {
            Intent intent = new Intent(getApplicationContext(), Scan.class);
            intent.putExtra("isLearning", false);
            startActivityForResult(intent,0);
        }
    });
    arrayAdapter = new ArrayAdapter<String>(this, android.R.layout.simple_list_item_1, buildings);
    // Set The Adapter
    if (buildings.size()==0) {
        Toast.makeText(this, "No building data available.", Toast.LENGTH_LONG).show();
        locate.setEnabled(false);
    }
    else{
        AlertDialog.Builder builder = new AlertDialog.Builder(this);
        builder.setCancelable(false);
        builder.setTitle("Choose building");
        builder.setAdapter(arrayAdapter, new DialogInterface.OnClickListener() {
            @Override
```

```

    public void onClick(DialogInterface dialog, int which) {
        building = buildings.get(which);
    }
});
builder.show();
}
}

@Override
protected void onActivityResult(int requestCode, int resultCode, Intent intent) {
    if(resultCode==RESULT_OK){
        PositionData positionData = (PositionData) intent.getSerializableExtra("PositionData");
        positionsData = db.getReadings(building);
        String closestPosition = null;
        ArrayList<Router> wifis = db.getFriendlyWifis(building);
        int min_distance = positionData.uDistance(positionsData.get(0), wifis);
        int j=0;
        closestPosition = positionsData.get(0).getName();
        String res = "";
        res += closestPosition + "\n" + min_distance;
        res += "\n" + positionsData.get(0).toString();
        for (int i = 1; i < positionsData.size(); i++) {
            int distance = positionData.uDistance(positionsData.get(i), wifis);
            res += "\n" + positionsData.get(i).getName() + "\n" + distance;
            res += "\n" + positionsData.get(i).toString();
            if (distance < min_distance) {
                min_distance = distance;
                j=i;
                closestPosition = positionsData.get(i).getName();
            }
        }
        if (min_distance == PositionData.MAX_DISTANCE){
            closestPosition="OUT OF RANGE";
            Toast.makeText(this, "You are out of range of the selected building",Toast.LENGTH_LONG).show();
        }
    }
}

```

```

    }
    result.setText("Nearest point : "+ closestPosition);
    min_distance = positionData.uDistance(positionsData.get(0), wifis);
    String closestPosition2 = null;
    closestPosition2 = positionsData.get(0).getName();
    res = "";
    res += closestPosition2 + "\n" + min_distance;
    res += "\n" + positionsData.get(0).toString();
    for (int i = 1; i < positionsData.size(); i++) {
        if(i!=j) {
            int distance = positionData.uDistance(positionsData.get(i), wifis);
            res += "\n" + positionsData.get(i).getName() + "\n" + distance;
            res += "\n" + positionsData.get(i).toString();
            closestPosition2 = positionsData.get(i).getName();
            if(closestPosition2.equals(closestPosition)) continue;
            if (distance < min_distance) {
                min_distance = distance;
                closestPosition2 = positionsData.get(i).getName();
            }
        }
    }
    if (min_distance == PositionData.MAX_DISTANCE){
        closestPosition2="OUT OF RANGE";
        Toast.makeText(this,"You are out of range of the selected building",
        Toast.LENGTH_LONG).show();
    }
    result2.setText("2nd nearest point : " +closestPosition2);
    res += "\nCurrent:\n" + positionData.toString();
    Log.v("Result",res);

    super.onActivityResult(requestCode, resultCode, intent);
}
}

```



```
public class CustomOnItemSelectedListener implements
    AdapterView.OnItemSelectedListener {
    public void onItemSelected(AdapterView<?> parent, View view, int pos, id) {
        building = parent.getItemAtPosition(pos).toString();
        locate.setEnabled(true);
    }
    @Override
    public void onNothingSelected(AdapterView<?> arg0) {
        locate.setEnabled(false);
    }
}
```

Router:

Abstract κλάση αποτελείτε από setters και getters για τη διαχείριση πληροφοριών των routers

```
public class Router implements Serializable{
    private String SSID;
    private String BSSID;
    public Router(String SSID, String BSSID) {
        this.SSID = SSID;
        this.BSSID = BSSID;
    }
    public String getSSID() {
        return SSID;
    }
    public String getBSSID() {
        return BSSID;
    }
    @Override
    public String toString(){
        return SSID;
    }
    @Override
```

```

public boolean equals(Object arg){
    return ((Router) arg).getBSSID().equals(this.getBSSID());
}

@Override
public int hashCode(){
    return this.BSSID.hashCode();
}
}

```

Buildings:

Κλάση που χρησιμοποιώ για την καταχώρηση κτιρίων. Ξεκινάει το activity το οποίο επιλέγει τα wifi τα οποία θα χρησιμοποιηθούν σαν πηγές

```

public class Buildings extends Activity {
    ArrayList<String> buildings;
    DatabaseHelper db;
    ListView buildingsList ;
    Button add;
    EditText buildingName;
    ArrayAdapter<String> arrayAdapter;
    Context context = this;

    private void switchToPositionsActivity(String data) {
        Intent intent = new Intent(context, Positions.class);
        intent.putExtra("BUILDING_NAME", data);
        startActivity(intent);
    }

    public void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
        super.onCreate(savedInstanceState);
        setContentView(R.layout.buildings);
        db=new DatabaseHelper(this);
        add=(Button) findViewById(R.id.add);
        buildingName= (EditText) findViewById(R.id.name);
    }
}

```

```

buildingName.addTextChangedListener(new TextWatcher() {
    @Override
    public void beforeTextChanged(CharSequence charSequence, int i, int i2, int i3) {
    }

    @Override
    public void onTextChanged(CharSequence charSequence, int i, int i2, int i3) {
        if(charSequence.toString().equals("")){
            add.setEnabled(false);
        } else {
            boolean exists = false;
            for (String buildingName: buildings) {
                if (charSequence.toString().equals(buildingName)) {
                    add.setEnabled(false);
                    exists = true;
                    break;
                }
            }
            if (!exists) {
                add.setEnabled(true);
            }
        }
    }
});

buildingName.setText("");
add.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {
    @Override
    public void onClick(View arg0) {
        final String input = buildingName.getText().toString();
        if (input.length() < 4) {
            new AlertDialog.Builder(context)
                .setTitle(getString(R.string.warning))

```

```

        .setMessage(getString(R.string.dialog_message))
        .setPositiveButton(android.R.string.yes, new DialogInterface.OnClickListener() {
            public void onClick(DialogInterface dialog, int id) {
                switchToPositionsActivity(input);
            }
        })
        .setNegativeButton(android.R.string.no, new DialogInterface.OnClickListener() {
            public void onClick(DialogInterface dialog, int id) {
                // User cancelled
            }
        })
        .setIcon(android.R.drawable.ic_dialog_alert).show();
    } else {
        switchToPositionsActivity(input);
    }
}
});

buildings = db.getBuildings();
buildingsList = (ListView) findViewById(R.id.buildingslist);
arrayAdapter = new ArrayAdapter<String>(this, android.R.layout.simple_list_item_1, buildings);
buildingsList.setAdapter(arrayAdapter);
buildingsList.setOnItemClickListener(new AdapterView.OnItemClickListener() {
    public void onItemClick(AdapterView parent, View v, int position, long id){
        String selectedBuilding=(String)parent.getItemAtPosition(position);
        Intent intent=new Intent(getApplicationContext(), Positions.class);
        intent.putExtra("BUILDING_NAME",selectedBuilding);
        startActivityForResult(intent,0);
    }
});

SwipeDismissListViewTouchListener touchListener =
    new SwipeDismissListViewTouchListener(buildingsList,
        new SwipeDismissListViewTouchListener.DismissCallbacks() {
            @Override
            public boolean canDismiss(int position) {

```

```

        return true;
    }

    @Override
    public void onDismiss(ListView listView, int[] reverseSortedPositions) {
        for (int position : reverseSortedPositions) {
            db.deleteBuilding(buildings.get(position));
            buildings.remove(position);
            arrayAdapter.notifyDataSetChanged();
        }
    }
});

buildingsList.setOnTouchListener(touchListener);
}

@Override
protected void onResume() {
    buildings = db.getBuildings();
    arrayAdapter=new ArrayAdapter<String>(this, android.R.layout.simple_list_item_1,buildings);
    buildingsList.setAdapter(arrayAdapter);
    buildingName.setText("");
    add.setEnabled(false);
    super.onResume();
}
}
}

```

Wifi:

Κλάση η οποία χρησιμοποιείται για την επιλογή και την αποθήκευση των friendly wifis

```

public class Wifis extends Activity {
    private Button addWifi;
    WifiManager wifi;
    List<ScanResult> results;
    ListView wifisList;
    protected CharSequence[] options;
    protected boolean[] selections;
    ArrayAdapter<Router> arrayAdapter;
}

```

```

ArrayList<Router> wifis;

String building;

Button save;

Wifis CurrentActivity;

DatabaseHelper db;

public void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
    super.onCreate(savedInstanceState);
    setContentView(R.layout.settings);
    db = new DatabaseHelper(this);
    addWifi = (Button) findViewById(R.id.button_add);
    wifi = (WifiManager) getSystemService(Context.WIFI_SERVICE);
    addWifi.setOnClickListener(new ButtonClickListener());
    save = (Button) findViewById(R.id.save);
    wifisList = (ListView) findViewById(R.id.friendly_wifis);
    Intent intent = getIntent();
    building = intent.getStringExtra("BUILDING_NAME");
    wifis = db.getFriendlyWifis(building);
    arrayAdapter = new ArrayAdapter<Router>(this, android.R.layout.simple_list_item_1, wifis);
    CurrentActivity = this;
    // Set The Adapter
    wifisList.setAdapter(arrayAdapter);
    save.setOnClickListener(new OnClickListener() {
        @Override
        public void onClick(View arg0) {
            if (db.addFriendlyWifis(building, wifis)) {
                Toast toast = Toast.makeText(getApplicationContext(), "Saved :)", Toast.LENGTH_SHORT);
                toast.show();
                CurrentActivity.finish();
            }
        }
    });
    wifisList.setOnItemLongClickListener(new OnItemLongClickListener() {
        @Override
        public boolean onItemLongClick(AdapterView<?> parent, View view, int arg2, long arg3) {

```

```

        wifis.remove(arg2);

        arrayAdapter.notifyDataSetChanged();

        return false;
    }
});
}

public void updateOptions() {
    options = new CharSequence[ results.size() ];
    for (int i = 0; i < results.size(); i++) options[i] = results.get(i).SSID;
    selections = new boolean[options.length];
}

public class ButtonClickListener implements OnClickListener {
    public void onClick(View view) {
        results = wifi.getScanResults();
        updateOptions();
        onCreateDialog(0).show();
    }
}

@Override
protected Dialog onCreateDialog(int id) {
    return new AlertDialog.Builder(this)
        .setTitle("Choose Friendly Wifis")
        .setMultiChoiceItems(options, selections, new DialogSelectionClickListener())
        .setPositiveButton("OK", new DialogButtonClickListener())
        .create();
}

public class DialogSelectionClickListener implements
    DialogInterface.OnMultiChoiceClickListener {
    public void onClick(DialogInterface dialog, int clicked, boolean selected) {
        Log.i("ME", options[clicked] + " selected: " + selected);
    }
}

public class DialogButtonClickListener implements
    DialogInterface.OnClickListener {

```

```

public void onClick(DialogInterface dialog, int clicked) {
    switch (clicked) {
        case DialogInterface.BUTTON_POSITIVE:
            updateFriendlyWifis();
            break;
    }
}

protected void updateFriendlyWifis() {
    //wifis.clear();

    for (int i = 0; i < options.length; i++) {
        if (selections[i]) {
            Router router = new Router(results.get(i).SSID, results.get(i).BSSID);
            if (!wifis.contains(router)) wifis.add(router);
        }
    }

    arrayAdapter = new ArrayAdapter<Router>(this, android.R.layout.simple_list_item_1, wifis);
    // Set The Adapter
    wifisList.setAdapter(arrayAdapter);
    Log.i("ME", options[i] + " selected: " + selections[i]);
}
}
}

```

Positions:

Κλάση η οποία ανοίγει την οθόνη δημιουργίας και επιλογής κτιρίου. Επιπλέον, εδώ δημιουργούνται οι χώροι του κτιρίου. Εδώ γίνεται η βαθμονόμηση αυτών υπολογίζοντας ένα σημείο ως σημείο αναφοράς για τον κάθε χώρο.

```

public class Positions extends Activity {
    private TextView textHeading;
    private Button calibrate;
    private Button finish;
    private EditText positionName;
    private int readingCount = 30;
    private TextView results;
}

```



```

private String resultsText;
private ListView positionsList;
ArrayList<String> positions;
ArrayAdapter arrayAdapter;
Timer timer;
TimerTask myTimerTask;
int positionCount;
DatabaseHelper db;
private Boolean isLearning = true;
static final int SCAN_REQUEST = 0;
Button friendlyWifisButton;
private List<PositionData> positionsData;
private PositionData positionData;
private String building;
Gson gson;

@SuppressWarnings("null")
@Override
protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
    super.onCreate(savedInstanceState);
    setContentView(R.layout.positions);
    friendlyWifisButton = (Button)findViewById(R.id.friendly_wifis_button);
    friendlyWifisButton.setOnClickListener(new OnClickListener() {
        @Override
        public void onClick(View view) {
            Intent intent = new Intent(getApplicationContext(), Wifis.class);
            intent.putExtra("BUILDING_NAME", building);
            startActivity(intent);
        }
    });
    textHeading = (TextView) findViewById(R.id.textHeading);
    positionName = (EditText) findViewById(R.id.position_name);
    calibrate = (Button) findViewById(R.id.calibratebutton);
    positionsList = (ListView) findViewById(R.id.positionslist);

```

```
gson = new Gson();
resultsText = "";
positionCount = 0;
positionsData = new ArrayList<PositionData>();
Intent intent = getIntent();
building = intent.getStringExtra("BUILDING_NAME");
db = new DatabaseHelper(this);
positions = db.getPositions(building);
arrayAdapter = new ArrayAdapter<String>(this, android.R.layout.simple_list_item_1, positions);
positionsList.setAdapter(arrayAdapter);
positionName.addTextChangedListener(new TextWatcher() {
    @Override
    public void beforeTextChanged(CharSequence charSequence, int i, int i2, int i3) {
    }
    @Override
    public void onTextChanged(CharSequence charSequence, int i, int i2, int i3) {
        if(charSequence.equals("")){
            calibrate.setEnabled(false);
        }
        else
            calibrate.setEnabled(true);
    }
    @Override
    public void afterTextChanged(Editable editable) {
    }
});
positionName.setText("");
calibrate.setOnClickListener(new OnClickListener() {
    @Override
    public void onClick(View view) {
        if(db.getFriendlyWifis(building).isEmpty()) {
            Context context = getApplicationContext();
            CharSequence text = "Select one or more Friendly WiFi";
            int duration = Toast.LENGTH_SHORT;
```

```

Toast toast = Toast.makeText(context, text, duration);
toast.show();
} else {
    Intent intent = new Intent(getApplicationContext(), Scan.class);
    intent.putExtra("POSITION_NAME", positionName.getText().toString());
    intent.putExtra("isLearning", isLearning);
    intent.putExtra("NUMBER_OF_SECONDS", readingCount);
    startActivityForResult(intent, SCAN_REQUEST);
}
}
});

positionsList.setOnItemClickListener(new AdapterView.OnItemClickListener() {
    public void onItemClick(AdapterView parent, View v, int position, long id) {
        Intent intent = new Intent(getApplicationContext(), Scan.class);
        String selectedPosition = (String) parent.getItemAtPosition(position);
        intent.putExtra("isLearning", isLearning);
        intent.putExtra("POSITION_NAME", selectedPosition);
        intent.putExtra("NUMBER_OF_SECONDS", readingCount);
        startActivityForResult(intent, SCAN_REQUEST);
    }
});

SwipeDismissListViewTouchListener touchListener =
    new SwipeDismissListViewTouchListener(
        positionsList, new SwipeDismissListViewTouchListener.DismissCallbacks() {
            @Override
            public boolean canDismiss(int position) {
                return true;
            }
            @Override
            public void onDismiss(ListView listView, int[] reverseSortedPositions) {
                for (int position : reverseSortedPositions) {
                    db.deleteReading(building, positions.get(position));
                    positions.remove(position); arrayAdapter.notifyDataSetChanged();
                }
            }
        }
    );

```

```

    }
    });

    positionsList.setOnTouchListener(touchListener);
}

@Override
protected void onActivityResult(int request, int result, Intent intent) {
    if(result==RESULT_OK) {
        positionData = (PositionData) intent.getSerializableExtra("PositionData");
        Log.v("Before db : ", positionData.toString());
        db.addReadings(building, positionData);
        positions = db.getPositions(building);
        arrayAdapter = new ArrayAdapter<String>(this, android.R.layout.simple_list_item_1, positions);
        positionsList.setAdapter(arrayAdapter);
        super.onActivityResult(request, result, intent);
    }
}

@Override
protected void onResume() {
    positions = db.getPositions(building);
    arrayAdapter = new ArrayAdapter<String>(this, android.R.layout.simple_list_item_1, positions);
    positionsList.setAdapter(arrayAdapter);
    positionName.setText("");
    calibrate.setEnabled(false);
    super.onResume();
}
}
}

```

PositionData:

Κλάση η οποία χρησιμοποιείται ως helper για την FindYourPosition κλάση. Έχοντας ορίσει τους χώρους και σημεία αναφοράς για αυτούς, υπολογίζονται οι δύο κοντινότεροι, ως προς τη θέση μου, χώροι.

```

public class PositionData implements Serializable {
    public static final int MAX_DISTANCE=99999999;
    private String name;
}

```

```
public static final int MINIMUM_COMMON_ROUTERS=3;

public HashMap<String, Integer> values;
public HashMap<String,String> routers;
public PositionData(String name) {
    this.name=name;
    values = new HashMap<String, Integer>();
    routers = new HashMap<String, String>();
}

public void addValue(Router router,int strength){
    values.put(router.getBSSID(), strength);
    routers.put(router.getBSSID(),router.getSSID());
}

public String getName() {
    return name;
}

public String toString() {
    String result="";
    result+=name+"\n";
    for(Map.Entry<String, Integer> e: this.values.entrySet())
        result+=routers.get(e.getKey())+" : "+e.getValue().toString()+"\n";

    return result;
}

public HashMap<String, Integer> getValues() {
    return values;
}

public int uDistance(PositionData arg,ArrayList<Router> friendlyWifis){
    int sum=0;
    int count=0;

    for(Map.Entry<String, Integer> e: this.values.entrySet()){
        int v;

        //Log.v("Key : ",arg.values.get(e.getKey()).toString());

        if(isFriendlyWifi(friendlyWifis,e.getKey()) && arg.values.containsKey(e.getKey()))
        {
```

```

        v=arg.values.get(e.getKey());
        sum+=Math.pow((v-e.getValue()),2);
        count++;
    }
}

if(count<MINIMUM_COMMON_ROUTERS){
    sum=MAX_DISTANCE;
}

return sum;
}

private boolean isFriendlyWifi(ArrayList<Router> wifis, String bssid){
    for(int i=0;i<wifis.size();i++){
        if(wifis.get(i).getBSSID().equals(bssid)) return true;
    }
    return false;
}
}
}

```

Scan:

Κλάση η οποία καλείται όταν θέλουμε να προσθέσουμε ένα καινούργιο σημείο στο κτίριο. Υπολογίζει το σημείο αποθηκεύοντας στη βάση τις αντίστοιχες πληροφορίες. Καλείται κατά τον εντοπισμό της θέσης μου για να βρώ το κοντινότερο σε εμένα σημείο.

```

public class Scan extends Activity {
    private TextView warning;
    private TextView timeRemaining;
    private Button calibrate;
    private int readingCount = 30;
    private int currentCount;
    String currentPositionName;
    WifiManager wifi;
    Timer timer;
    TimerTask myTimerTask;

    public class ResultData {

```

```
private Router router;

public Router getRouter() {
    return this.router;
}

public List<Integer> values;

public ResultData(Router router) {
    this.router = router;
    values = new ArrayList<Integer>();
}
}

private List<ResultData> resultsData;
private List<PositionData> positionsData;
private PositionData positionData;

@SuppressWarnings("null")
@Override
protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
    super.onCreate(savedInstanceState);
    setContentView(R.layout.scan);
    warning = (TextView) findViewById(R.id.TextView1);
    timeRemaining = (TextView) findViewById(R.id.TextView2);
    wifi = (WifiManager) getSystemService(Context.WIFI_SERVICE);
    Intent intent = getIntent();

    AlertDialog.Builder alertDialog = new AlertDialog.Builder(this);
    alertDialog.setTitle("Confirm...");
    alertDialog.setMessage("Scanning requires WiFi.");
    alertDialog.setPositiveButton("Turn on WiFi", new DialogInterface.OnClickListener() {
        public void onClick(DialogInterface dialog, int which) {
            startActivity(new Intent(Settings.ACTION_WIFI_SETTINGS));
        }
    });
    alertDialog.setCancelable(false);
    if (!wifi.isWifiEnabled()) {
        alertDialog.show();
    }
}
```

```
currentPositionName = null;

if (intent.getBooleanExtra("isLearning", true))
    currentPositionName = intent.getStringExtra("POSITION_NAME");
    warning.setText("DO NOT MOVE FOR");

resultsData = new ArrayList<ResultData>();
currentCount = 0;
timer = new Timer();
myTimerTask = new TimerTask() {
    @Override
    public void run() {
        refresh();
    }
};
timer.schedule(myTimerTask, 0, 1000);
}

private void refresh() {
    if (currentCount >= readingCount) {
        if (myTimerTask != null)
            myTimerTask.cancel();
    }
    currentCount++;
    wifi.startScan();
    List<ScanResult> results = wifi.getScanResults();
    for (int i = 0; i < results.size(); i++) {
        String ssid0 = results.get(i).SSID;
        String bssid = results.get(i).BSSID;
        int rssi0 = results.get(i).level;
        boolean found = false;
        for (int pos = 0; pos < resultsData.size(); pos++) {
            if(resultsData.get(pos).getRouter().getBSSID().equals(bssid)) {
                found = true;
                resultsData.get(pos).values.add(rssi0);
                break;
            }
        }
    }
}
```



```
}
if (!found) {
    ResultData data = new ResultData( new Router(ssid0, bssid));
    data.values.add(rssi0);
    resultsData.add(data);
}
}
runOnUiThread(new Runnable() {
    @Override
    public void run() {
        timeRemaining.setText(" " + (readingCount - currentCount) + "s");
        if (currentCount >= readingCount) {
            returnResults();
        }
    }
});
}
private void returnResults() {
    positionData = new PositionData(currentPositionName);
    for (int length = 0; length < resultsData.size(); length++) {
        int sum = 0;
        for (int l = 0; l < resultsData.get(length).values.size(); l++) {
            sum += resultsData.get(length).values.get(l);
        }
        int average = sum / resultsData.get(length).values.size();
        positionData.addValue(resultsData.get(length).getRouter(), average);
    }
    Intent intent = new Intent(getApplicationContext(), Positions.class);
    intent.putExtra("PositionData", (Serializable) positionData);
    setResult(RESULT_OK, intent);
    finish();
}
}
```

3.4 Πειράματα και αποτελέσματα εφαρμογής

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα δοκιμών τριών σεναρίων δοκιμών και αξιολογείται η απόδοση του προτεινόμενου συστήματος εντοπισμού θέσης. Θα δοκιμάσουμε τρία σενάρια εντοπισμού θέσης: (1) 1ος όροφος κεντρικού κτιρίου πανεπιστημίου Πειραιά, (2) 2ος όροφος κεντρικού κτιρίου πανεπιστημίου Πειραιά και (3) συνδυασμός 1ου και 2ου ορόφου κεντρικού κτιρίου πανεπιστημίου Πειραιά. Τα RPs που θα χρησιμοποιηθούν θα είναι τα ίδια για όλα τα σενάρια ώστε να μπορέσουν να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα καλύτερα ενώ ο χώρος θα θεωρήσουμε ότι είναι 10 πρὸς 15 μέτρα. Η απόδοση των αποτελεσμάτων αξιολογείται παρακάτω όσον αφορά την ακρίβεια τοποθέτησης.

Θεωρητικά, όταν χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος αντιστοίχισης για τον προσδιορισμό της θέσης του κινητού αντικειμένου, π.χ. στην περίπτωση μας, η θέση της βέλτιστης αντιστοίχισης RP λαμβάνεται ως η εκτίμηση θέσης του κινητού αντικειμένου, η ακρίβεια της θέσης προσδιορίζεται στην πραγματικότητα από την ανάλυση των δυνάμεων σήματος που παρατηρούνται στα γειτονικά RPs. Για παράδειγμα, εάν οι δυνάμεις του σήματος που παρατηρούνται από το ίδιο σύνολο AP σε δύο γειτονικά RPs είναι ίδιες, οι θέσεις των δύο RPs δεν μπορούν να προσδιορισθούν. Έτσι, η ελάχιστη διακριτή απόσταση των θέσεων των δύο RPs μπορεί να θεωρηθεί ως η ακρίβεια του αλγόριθμου αντιστοίχισης. Επιλέγουμε τυχαία 6 σημεία ελέγχου τα οποία θα είναι τα ίδια για όλα τα σενάρια.

Σενάριο 1: 1ος όροφος κεντρικού κτιρίου πανεπιστημίου Πειραιά

# Πείραμα	Πραγματική θέση	Πραγματική θέση (X - Y)	Θέση εντοπισμού	Θέση εντοπισμού (X - Y)	Εύστοχος εντοπισμός
1	101	527 - 122	101	500 - 200	Ναί
2	102	529 - 125	101	500 - 200	Όχι
3	103	650 - 205	103	600 - 300	Ναί
4	104	712 - 205	104	700 - 300	Ναί
5	105	780 - 220	106	800 - 300	Όχι
6	106	830 - 240	106	800 - 300	Ναί
7	107	920 - 210	107	900 - 400	Ναί
8	108	1003 - 308	108	1000 - 300	Ναί
9	Γραμματεία / Φοιτ. μέριμνα	170 - 812	Γραφεία παρατάξεων ΠΑΣΠ/ΔΑΠ	100 - 800	Όχι
10	Γραφεία παρατάξεων ΠΑΣΠ/ΔΑΠ	102 - 1080	Γραφεία παρατάξεων ΠΑΣΠ/ΔΑΠ	100 - 900	Ναί
Ποσοστό ευστοχίας					70,00%

Σενάριο 2: 2ος όροφος κεντρικού κτιρίου πανεπιστημίου Πειραιά

# Πείραμα	Πραγματική θέση	Πραγματική θέση (X,Y)	Θέση εντοπισμού	Θέση εντοπισμού (X,Y)	Εύστοχος εντοπισμός
1	201	722 - 527	201	800 - 500	Ναί
2	202	958 - 529	202	1000 - 200	Ναί
3	Θυρωρείο	205 - 350	Θυρωρείο	200 - 300	Ναί
4	206	70 - 641	206	100 - 600	Ναί
5	207	25 - 920	207	200 - 1000	Ναί
6	208	70 - 840	208	100 - 900	Ναί
7	209	44 - 880	209	50 - 900	Ναί
8	210	91 - 1308	208	100 - 900	Όχι
9	211	80 - 1600	211	100 - 150	Ναί
10	212	88 - 892	212	100 - 1000	Ναί
Ποσοστό ευστοχίας					90,00%

Σενάριο 3: 1ος και 2ος όροφος κεντρικού κτιρίου πανεπιστημίου Πειραιά

# Πείραμα	Πραγματική θέση	Πραγματική θέση (X,Y)	Θέση εντοπισμού	Θέση εντοπισμού (X,Y)	Εύστοχος εντοπισμός
1	202	900 - 529	107	900 - 400	Όχι
2	Θυρωρείο	205 - 350	Θυρωρείο	200 - 300	Ναί
3	209	95 - 922	Γραφεία παρατάξεων ΠΑΣΠ/ΔΑΠ	100 - 900	Όχι
4	209	62 - 871	209	50 - 900	Ναί
5	Γραμματεία / Φοιτ. μέριμνα	221 - 810	208	100 - 900	Όχι
6	Γραφεία παρατάξεων ΠΑΣΠ/ΔΑΠ	130 - 1110	207	200 - 1000	Όχι
7	106	961 - 211	202	1000 - 200	Όχι
8	106	983 - 232	202	1000 - 200	Όχι

9	101	499 - 140	101	500 - 200	Ναί
10	102	570 - 120	101	500 - 200	Όχι
Ποσοστό ευστοχίας					30,00%

Σύμφωνα με αυτά τα αποτελέσματα, το σενάριο 3 έχει το χειρότερο συνολικό ποσοστό καλύτερης αντιστοίχισης 30%, ενώ το σενάριο 2 έχει το καλύτερο συνολικό ποσοστό ευστοχίας: 90%. Το σενάριο 1 δίνει συνολικό ποσοστό ευστοχίας 70%.

Για τα αποτελέσματα του σεναρίου 1, ο λόγος για το ποσοστό αποτυχίας 30% είναι ότι το σημείο δοκιμής έχει παρόμοιες αποστάσεις σε περισσότερα από ένα κοντινά RPs, στην περίπτωση αυτή ο αλγόριθμος αντιστοίχισης δεν μπορεί πάντοτε να προσδιορίσει επιτυχώς την πραγματική καλύτερη αντιστοίχιση λόγω της περιορισμένης ανάλυσης δικτύου.

Ότι αφορά στο σενάριο 3 τα αποτελέσματα είναι αναμενόμενα. Εδώ, ο λόγος της τόσο μεγάλης αστοχίας είναι πως τα σημεία ενδιαφέροντος βρισκόντουσαν σε διαφορετικούς ορόφους. Αυτό συνεπάγεται ότι δύο σημεία που βρίσκονται σε διαφορετικούς ορόφους μπορεί να βρεθούν το ένα κάτω από το άλλο. Σε πραγματικό χώρο είναι προφανής η απόσταση μεταξύ των δύο σημείων αλλά αλγοριθμικά συλλέγουμε συντεταγμένες στο δυσδιάστατο χώρο. Σημεία διαφορετικών ορόφων μπορεί να έχουν πολύ κοντινές, αν όχι ίδιες, συντεταγμένες προσδιορισμού θέσης. Συνυπολογίζοντας την ιδιαίτερη αρχιτεκτονική του χώρου και τα εμπόδια που προκύπτουν, μπορούν εύκολα να δικαιολογηθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν.

Σε ένα τέτοιο σενάριο ο αλγόριθμος αυτός δε μπορεί να λειτουργήσει. Αυτό το πρόβλημα λύνεται ορίζοντας σημεία ανά όροφο.

Η απόδοση ενός συστήματος εντοπισμού καθορίζεται κυρίως από τον αλγόριθμο τοποθέτησης και την ποιότητα των παρατηρήσεων. Διαφορετικές κινητές συσκευές λαμβάνουν διαφορετικές RSS πληροφορίες λόγω της διαφορετικής απόδοσης των Wi-Fi αισθητήρων. Η ποιότητα των παρατηρήσεων μπορεί να μετρηθεί με διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της ακρίβειας, της σταθερότητας και του ποσοστού επιτυχίας κλπ.

Σε ότι αφορά την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, η επίδοση του συστήματος εντοπισμού που αναπτύχθηκε εξαρτάται τόσο από τον αλγόριθμο εντοπισμού θέσης όσο και από την ποιότητα των πληροφοριών που θα λάβει η συσκευή.

Σε αυτή την έρευνα, οι παρατηρήσεις του smartphone που χρησιμοποιείται για εσωτερική τοποθέτηση είναι RSS. Όταν μια χρονική σειρά RSS λαμβάνει από μια κινητή συσκευή που παρατηρείται σε ένα σημείο κάτω από τις ίδιες περιβαλλοντικές ρυθμίσεις, τόσο μικρότερες είναι οι διακυμάνσεις των RSS, τόσο πιο σταθερές είναι οι παρατηρήσεις RSS.

Για το ποσοστό επιτυχίας των παρατηρήσεων RSS, μια κινητή συσκευή μπορεί είτε να μην ανιχνεύσει το RSS είτε να λάβει τιμές εκτός εύρους RSS. Αυτή η αποτυχία προκαλείται κατά πάσα πιθανότητα από την κακή ποιότητα του Wi-Fi αισθητήρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 Συμπέρασμα

Από τότε που κυκλοφόρησε το ασύρματο πρωτόκολλο IEEE, τα τεχνικά πρότυπα Wi-Fi έχουν αναπτυχθεί καλά και χρησιμοποιούνται ευρέως λόγω της υψηλής ταχύτητας, της ασύρματης συνδεσιμότητας και της μεγάλης κάλυψης της τεχνολογίας Wi-Fi.

Σήμερα η ζήτηση πληροφοριών πραγματικού χρόνου για τους χρήστες κινητών είναι άνευ προηγουμένου.

Για υπαίθρια περιβάλλοντα, η χρήση του GPS μπορεί να επιτύχει αποτελέσματα εντοπισμού θέσης υψηλής ακρίβειας. Ωστόσο, σε εσωτερικούς χώρους, λόγω της εξασθένησης ή παρεμπόδισης των σημάτων GPS, η τεχνολογία GPS δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά.

Ως εκ τούτου, η τεχνολογία εντοπισμού θέσης Wi-Fi έχει ερευνηθεί και αναπτυχθεί για εσωτερικά περιβάλλοντα.

Σε αυτή τη διατριβή αξιολογήθηκε εν συντομία το τεράστιο δυναμικό της αγοράς και η ταχεία ανάπτυξη smartphone τεχνολογιών.

Καταλήγει στο συμπέρασμα ότι ο συνδυασμός των smartphones και Wi-Fi για εσωτερική τοποθέτηση είναι μια κυρίαρχη κατεύθυνση στην έρευνα και την εμπορευματοποίηση του κλάδου.

Συζητήθηκαν οι κύριες προκλήσεις για τη χρήση σε εσωτερικούς χώρους και καταλήξαμε συμπέρασμα ότι η τεχνική δακτυλικών αποτυπωμάτων με βάση το RSS είναι η βέλτιστη λύση ενώ τα smartphones είναι η καταλληλότερη κινητή συσκευή λόγω της ευρείας χρήσης της. Χρησιμοποιούνται συνήθως κοινές μέθοδοι εκτίμησης και αλγόριθμοι τεχνικής δακτυλικών αποτυπωμάτων.

Αναπτύξαμε με επιτυχία ένα σύστημα εντοπισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους μέσω Wi-Fi χρησιμοποιώντας ένα smartphone και τη μέθοδο τοποθέτησης βάσει δακτυλικών αποτυπωμάτων. Έχουν σχεδιαστεί διάφορες μελέτες περιπτώσεων και πραγματοποιήθηκαν πειράματα πεδίου χρησιμοποιώντας διάφορες κινητές πλατφόρμες (δηλαδή Smartphone και φορητό υπολογιστή) ενώ περιγράφηκε η ανάπτυξη και οι απαιτήσεις των συστημάτων υλικού και λογισμικού.

Οι επιδόσεις του συστήματος επηρεάστηκαν από την ποιότητα των RSS δεδομένων που συλλέχθηκαν από ένα smartphone. Τα υπάρχοντα smartphones έχουν περιορισμούς στην ποιότητα των προσαρμογών Wi-Fi. Αναμένεται ότι τα καλώδια Wi-Fi καλύτερης ποιότητας και κατάλληλου μεγέθους θα είναι διαθέσιμα σε smartphones στο μέλλον. Η χωρική ανάλυση του προτεινόμενου συστήματος εσωτερικού εντοπισμού θέσης μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω με τη δημιουργία πιο σύνθετου εσωτερικού περιβάλλοντος και την αύξηση του αριθμού των AP ή τη σύνδεση άλλων τύπων αισθητήρων στο smartphone.

4.2 Μελλοντικές βελτιώσεις

Η έρευνα αυτή είναι μια πρώτη προσέγγιση για την ανάλυση των προβλημάτων και πιθανών λύσεων στο πρόβλημα του εντοπισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους.

Στο πλαίσιο αυτό αναπτύχθηκε αντίστοιχο λογισμικό.

Υπάρχουν διάφορα κομμάτια τα οποία χρειάζονται βελτίωσης για να ενισχυθεί η απόδοση του συστήματος εντοπισμού θέσης που αναπτύχθηκε. Μερικές βασικές προτάσεις παραθέτονται παρακάτω:

1. Εγκατάσταση βάσης δεδομένων RSS για διαφορετικούς Wi-Fi προσαρμογείς (adapters): Το προτεινόμενο σύστημα εσωτερικού εντοπισμού θέσης εξαρτάται από τη συσκευή,

επομένως πρέπει να δοκιμάζονται διαφορετικοί προσαρμογείς Wi-Fi με διάφορες δυνατότητες λήψης. Η διαδικασία αποτύπωσης δακτυλικών αποτυπωμάτων πρέπει να γίνει για κάθε τύπο προσαρμογέα Wi-Fi. Πρέπει να διεξαχθούν περαιτέρω έρευνες για τη διερεύνηση νέων μεθόδων για τη μείωση του αντίκτυπου των σφαλμάτων που εξαρτώνται από τη συσκευή. Η υψηλή σταθερότητα αναμένεται για άλλες κινητές συσκευές και όχι για smartphone της Samsung.

2. Βελτίωση του WkNN αλγορίθμου ώστε να μπορεί να υπολογίζει με μεγαλύτερη ακρίβεια τη τοποθεσία όταν $K > 1$. Στο ίδιο πλαίσιο βελτιώσεων πρέπει να γίνουν πειράματα ώστε να βρεθεί η ιδανική τιμή για το K . Επιπλέον, ότι αφορά στη συγκομιδή των RSS σημάτων, χρειάζεται να γίνουν κανονικοποιήσεις ώστε να μπορούν να λειτουργήσουν για όλες τις συσκευές.
3. Συγχρονισμός πολλαπλών αισθητήρων: τα περισσότερα τρέχοντα smartphones είναι εξοπλισμένα με άλλους τύπους αισθητήρων, όπως επιταχυνσιόμετρο, γυροσκόπιο και ψηφιακή πυξίδα, εκτός από τον ενσωματωμένο προσαρμογέα Wi-Fi. Τα δεδομένα που λαμβάνονται από τα επιταχυνσιόμετρα, το γυροσκόπιο και την ψηφιακή πυξίδα θα μπορούσαν να είναι πολύ χρήσιμες πηγές πληροφοριών για εσωτερική τοποθέτηση, καθώς μπορούν να παρέχουν βοηθητικά δεδομένα όπως ταχύτητα και προσανατολισμό της κίνησης. Το βελτιωμένο σύστημα εντοπισμού θέσης μπορεί επομένως να χρησιμοποιήσει καλύτερα τις παρατηρήσεις από αυτούς τους αισθητήρες για να βελτιώσει την ακρίβεια των εκτιμήσεων θέσης. Πρέπει να αναπτυχθούν νέοι αλγόριθμοι για το ολοκληρωμένο σύστημα και να αξιολογηθούν οι επιδόσεις του.
4. Server με βάση το smartphone ή cloud server: Ο διακομιστής τοποθέτησης του προτεινόμενου συστήματος διαμορφώνεται σε απομακρυσμένο φορητό υπολογιστή. Με την ανάπτυξη της CPU υπολογιστικής ισχύος και του χώρου μνήμης των smartphones, θα μπορούσαμε να ρυθμίσουμε τόσο το διακομιστή τοποθέτησης όσο και τη βάση δεδομένων βαθμονόμησης RSS σε ένα smartphone για να μειώσουμε το χρόνο μετάδοσης δεδομένων. Αυτό είναι σημαντικό για την περίπτωση πολλών πελατών. Επιπλέον, θα μπορούσαμε επίσης να χρησιμοποιήσουμε υπηρεσία cloud, η οποία έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στον κλάδο της πληροφορικής, ως διακομιστής τοποθετήσεων μας. Περισσότερη έρευνα θα πρέπει να επεκταθεί στην υπηρεσία cloud για να βελτιώσει την ικανότητα και τις επιδόσεις εσωτερικού εντοπισμού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 802.11TM, I. 2013. Available: <http://www.ieee802.org/11/>
- ALLYCHEVALIER. 2010. *What is A-GPS? Understanding Assisted GPS* [Online]. Available: <http://www.brighthub.com/electronics/gps/articles/63135.aspx>
- ANDROID. 2016. Available: <http://developer.android.com/index.html>
- BEOM-JU, S., KWANG-WON, L., SUN-HO, C., JOO-YEON, K., WOO JIN, L. & HYUNG SEOK, K. 2010. Indoor WiFi positioning system for Android-based smartphone. *Information and Communication Technology Convergence (ICTC), 2010 International Conference on*.
- BHAUMIK, R. 2010. *Evaluating Wi-Fi Location Estimation Technique for Indoor Navigation*.
- CISCO SYSTEM, I. 2008. *Wi-Fi Location-Based Services 4.1 Design Guide*.
- CORPORATION, I. D. 2011. *World's smartphone operating system market share in 2011: 39% Google Android, Apple iOS 18%, RIM BlackBerry 14%, and Windows Phone 4%* [Online]. Available: <http://www.indopost.com/blog/2011/06/worlds-smartphone-operating-system-market-share-in-2011-39-google-android-apple-ios-18-rim-blackberr.html>
- G.DEMPSTER, V. M. A. 2012. WiFi Fingerprinting Signal Strength Error Modeling for Short Distances. *Indoor Positioning and Indoor Navigation*. Sydney, Australia.
- HO, K.C. And CHAN, Y.T. 1993. *Solution and performance analysis of geolocation by TDOA*. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. 1993, Vol. 29, 4.
- LAM, W. 2012. *Smartphones See Accelerated Rise to Dominance* [Online]. Available: <http://www.isuppli.com/Mobile-and-Wireless-Communications/News/Pages/Smartphones-See-Accelerated-Rise-to-Dominance.aspx>
- MACHOWINSKI, M. 2013. *New high of \$4 billion for wireless LAN market in 2012* [Online]. Infonetics Research. Available: <http://www.infonetics.com/pr/2013/4Q12-Wireless-LAN-Market-Highlights.asp>
- NITA, I. 2010. *Most smartphones now have touchscreens; Android shipments grew 1074%* [Online]. Available: <http://www.unwiredview.com/2010/02/09/most-smartphones-now-have-touchscreens-android-shipments-grew-1074-yoy/>
- RACKLEY, S. 2007. *Wireless Networking Technology*, Newnes Publishing
- RIZOS, C., DEMPSTER, A. G., LI, B. & SALTER, J. 2007. Indoor Positioning Techniques Based on Wireless LAN.
- QIANG, CHANGZEN, JINGFENG. 2015. *An Improved WiFi Indoor Positioning Algorithm by Weighted Fusion*.
- WOODMAN, O. J. 2007. *An introduction to inertial navigation*. University of Cambridge.
- ZANDBERGEN, P. A. 2009. Accuracy of iPhone Locations: A Comparison of Assisted GPS, WiFi and Cellular Positioning. *Transactions in GIS*, 5-26.