

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Προσδιορισμός θέσης κινητού σε εσωτερικό χώρο

Μιχαήλ Ε. Μυλωνάκης

Επιβλέπων: **Ευστάθιος Χατζηευθυμιάδης,** Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ

ΔΕΚΕΜΒΡΗΣ 2017

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Προσδιορισμός θέσης κινητού σε εσωτερικό χώρο

Μιχαήλ Ε. Μυλωνάκης
Α.Μ.: 1431

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: **Ευστάθιος Χατζηευθυμιάδης,** Καθηγητής

Δεκέμβρης 2017

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα Indoor Positioning συστήματα έχουν ως στόχο την ακριβή εύρεσης της θέσης ενός χρήστη ή ενός αντικειμένου, ο οποίος βρίσκεται και κινείται εντός κτηρίου. Με βάση αυτή την πληροφορία πραγματοποιούν προκαθορισμένες ενέργειες, όπως για παράδειγμα η παροχή περιεχομένου στον χρήστη ως συνάρτηση της θέσης του. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να προσαρμόζει της πληροφορίες που θα εμφανίζονται στο κινητό τηλέφωνο ενός επισκέπτη κατά την περιήγηση του σε διαφορετικές θεματικές αίθουσες ενός μουσείου.

Για την υλοποίηση τέτοιων συστημάτων, τεχνολογίες, οι οποίες εφαρμόζονται σε εξωτερικό χώρο έχουν αποδειχθεί, μη επαρκής, εξαιτίας της εξασθένισης και διάχυσης του σήματος από τους τοίχους, την οροφή, την παρεμβολή των ανθρώπινων σωμάτων κλπ. Συνεπώς, στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη-αξιολόγηση διαφόρων πρωτοκόλλων που έχουν προταθεί για τα συγκεκριμένα συστήματα (RFID, BLE, WiFi, Magnetic Field), η καταγραφή των δυνατών μετρήσεων που απορρέουν (time of arrival, RSSI...), και τέλος η ανάλυση των αλγορίθμων του προσδιορισμού της θέσης . Στο πρακτικό κομμάτι, θα αναπτυχθεί και θα αξιολογηθεί ένα σύστημα εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο, ακολουθώντας μια υβριδική προσέγγιση χρησιμοποιώντας WiFi, Magnetic Field.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Εντοπισμός θέσης κινητού σε εσωτερικό χώρο

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: προσδιορισμός θέσης, μαγνητικό πεδίο, RSSI, Android, client-server, websocket, django, django-channels

ABSTRACT

The primary objective of this thesis is developing and presenting a prototype for positioning a user (a mobile device) in an indoor environment. Having an accurate representation of a user's position, we can provide user-specific content based on it. Such a system could be used in a museum, where a user would get location – specific information / recommendations about the various paintings – figures etc.

This is a rather open problem, as the already existing technologies for positioning (mainly outdoor positioning) are inadequate because of the signal attenuation, interfusion and noise that comes from the human bodies, furniture and various other obstacles that exist in an indoor environment. We therefore try to evaluate the various wireless protocols that have been proposed as a solution to the indoor positioning problem (RFID, BLE, WiFi, Magnetic Field) their respective metrics (time of arrival, RSSI, etc) and the algorithms that are used to predict a user's position based on them. We have also developed a prototype based on a hybrid approach consisting of WiFi RSSI and Magnetic Field.

SUBJECT AREA: Indoor Positioning

KEYWORDS: magnetic field, RSSI, positioning, Android, client-server, django, django-channels

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Κο Ευστάθιο Χατζηευθυμιάδη για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα και την πολύτιμη συμβολή του στην ολοκλήρωσή της παρούσας εργασίας.

Επιπλέον, ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στον υποψήφιο διδάκτορα Μιχαήλ Λουκέρη, όχι μόνο γιατί η βοήθειά του υπήρξε καταλυτική στην εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας αλλά και για τις πολύτιμες γνώσεις και συμβουλές που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της συνεργασίας μας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ 8

2. ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΚΙΝΗΤΟΥ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΧΩΡΟ 9

2.1 Εισαγωγή στον εντοπισμό θέσης σε εσωτερικούς χώρους 9

2.2 Αρχιτεκτονικές συστημάτων 9

2.2.1 WiFi 9

2.2.2 Bluetooth 11

2.2.3 Bluetooth Low Energy (BLE) 11

2.2.4 Μαγνητικό Πεδίο (Magnetic Field) 12

2.3 Μετρικές που απορρέουν από τις παραπάνω τεχνολογίες 14

2.3.1 Time of Arrival (TOA) 14

2.3.2 Time of Difference Arrival (TODA) 14

2.3.3 Angle of Arrival (AOA) 14

2.4 Αλγόριθμοι προσδιορισμού θέσης 15

2.4.1 Τριγωνοποίηση (Trilateration – Triangulation) 15

2.4.2 Cell Based Positioning 16

2.4.3 Fingerprinting 16

3. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ 18

3.1 Σύστημα βασισμένο στο BLE 18

3.1.1 FingerPrinting – Offline Phase 18

3.1.2 FingerPrinting – Online Phase 19

3.1.3 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα 19

3.2 Σύστημα βασισμένο στο Μαγνητικό πεδίο 20

4. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ 22

4.1 Indoor Locator Server 22

4.2 Indoor Locator Client 24

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ 29

ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ 31

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ 32

ΑΝΑΦΟΡΕΣ 33

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: WLAN access point – based positioning.....10
Εικόνα 2: BLE – based indoor positioning 12
Εικόνα 3: Magnetic Fingerprint. 13
Εικόνα 4: Τριγωνοποίηση (Ιδανική) 15
Εικόνα 5: Τριγωνοποίηση (στην πράξη) 16
Εικόνα 6: Χώρος Πειραμάτων BLE.....18
Εικόνα 7: FingerPrinting – Offline phase 19
Εικόνα 8: Ένταση μαγνητικού πεδίου στον χώρο.....20
Εικόνα 9: Αρχιτεκτονική client - server.....22
Εικόνα 10: Django Chanels 23
Εικόνα 11: Προβολή Floor Plan.....24
Εικόνα 12: Προβολή τοποθεσιών – σημείων ενδιαφέροντος 25
Εικόνα 13: Προσδιορισμός θέσης.....26
Εικόνα 14: Επιλογή σημείου για καταγραφή fingerprints 27
Εικόνα 15: Εκκίνηση καταγραφής fingerprints 27
Εικόνα 16: Παύση καταγραφής fingerprint.....28

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα συστήματα πλοήγησης GPS (Global Positioning Systems) χρησιμοποιούνται από εκατομμύρια ανθρώπους σε καθημερινή βάση. Τα συστήματα αυτά έχουν αποδειχθεί ανεπαρκή σε περιβάλλοντα εσωτερικού χώρου, κυρίως λόγω της εξασθένισης και της διάχυσης του σήματος από τους τοίχους των κτηρίων. Σύμφωνα με μελέτες όμως [1], ο μέσος άνθρωπος περνά περί το 87% του χρόνου του σε εσωτερικούς χώρους, συνεπώς αξίζει να μελετήσουμε το συγκεκριμένο πρόβλημα. Ένα σύστημα εντοπισμού θέσης εσωτερικού χώρου θα είχε εξ' άλλου πολλές πρακτικές εφαρμογές, μεταξύ άλλων την πλοήγηση χρηστών σε μουσεία, αεροδρόμια, πολυκαταστήματα (mall) κλπ.

Η λύση του συγκεκριμένου προβλήματος αναζητήθηκε κάνοντας χρήση άλλων τεχνολογιών (λόγω της ανεπάρκειας του GPS). Ενδεικτικά μερικές από τις τεχνολογίες που έχουν χρησιμοποιηθεί σε διάφορα προτότυπα είναι το WiFi [3] , το Bluetooth Low Energy (BLE) [4] [5] [6], οι υπέρηχοι (Ultrasound), τα RFID [7] και το μαγνητικό πεδίο [2] [8] [9]. Αντιστοίχως, έχουν προταθεί διάφοροι αλγόριθμοι για την επεξεργασία των σημάτων που απορρέουν από τις μετρικές των παραπάνω τεχνολογιών οι σημαντικότεροι εκ των οποίων θα αναφερθούν στο επόμενο κεφάλαιο.

Ιδανικά, ένα σύστημα εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο θα πρέπει να έχει μεγάλη ακρίβεια (για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για real – time πλοήγηση του χρήστη), να είναι εύκολο στην εγκατάσταση και δεν θα απαιτεί μεγάλο κόστος. Επίσης, βασικό χαρακτηριστικό είναι να μην απαιτείται ειδικός εξοπλισμός από την μεριά του χρήστη και οι απαιτήσεις σε ενέργεια να είναι περιορισμένες.

Για τον λόγο προτείνουμε και παρουσιάζουμε ένα πρότυπο σύστημα που πληροί τα παραπάνω χαρακτηριστικά κάνοντας χρήση μια υβριδικής προσέγγισης που συνδυάζει το WiFi και το Magnetic Field. Το σύστημα που υλοποιήθηκε περιλαμβάνει εφαρμογή Android την οποία χρησιμοποιεί ο χρήστης μέσω του smartphone του για να πλοηγηθεί, το λογισμικό που τρέχει ο server για να επικοινωνεί με το κινητό και να πραγματοποιεί το positioning.

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται οι διάφορες τεχνολογίες που έχουν προταθεί για τα συστήματα εντοπισμού θέσης εσωτερικού χώρου και αναφέρονται τα βασικά χαρακτηριστικά, πλεονεκτήματα / μειονεκτήματά τους, οι αλγόριθμοι που έχουν χρησιμοποιηθεί, και οι μετρικές που απορρέουν βάσει των τεχνολογιών και των αλγορίθμων. Στην συνέχεια, στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται η πρώτη προσπάθεια ανάπτυξης του συστήματος που βασίστηκε στο BLE μαζί με τα μειονεκτήματα αυτής, και έπειτα η υβριδική προσέγγιση (Μαγνητικό πεδίο – WLAN) που ακολουθήσαμε βασιζόμενοι στα συμπεράσματα – μειονεκτήματα που καταγράψαμε από την πρώτη προσπάθεια. Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του server, καθώς επίσης και ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε για την εύρεση της ακριβής θέσης του κινητού. Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται η εφαρμογή android που αναπτύχθηκε για τον χρήστη (το κινητό) και οι βασικές λειτουργίες της. Τέλος στο κεφάλαιο 6 συνοψίζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα διπλωματική εργασία καθώς επίσης και κάποιες μελλοντικές επεκτάσεις που προτείνονται βάσει των παρατηρήσεων από τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν και από την έρευνα που γίνεται στην επιστημονική κοινότητα πάνω στο θέμα.

2. ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΚΙΝΗΤΟΥ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΧΩΡΟ

2.1 Εισαγωγή στον εντοπισμό θέσης σε εσωτερικούς χώρους

Η ανασκόπηση της επιστημονικής έρευνας επάνω στο συγκεκριμένο θέμα έχει δείξει ότι τα συστήματα αυτά χωρίζονται σε 2 κατηγορίες:

- Στα συστήματα τα οποία κάνουν real time tracking τον χρήστη
- Στα συστήματα τα οποία προσφέρουν πληροφορίες σχετικά με αντικείμενα σε προκαθορισμένες τοποθεσίες.

Ένα παράδειγμα τέτοιου συστήματος που εμπίπτει στην δεύτερη κατηγορία παραθέτεται στην αναφορά [10] όπου στο αναπτυχθέν σύστημα παρουσιάζονται διαφημιστικά μηνύματα στον χρήστη όταν πλησιάσει σε κοντινή (όπως ορίζεται από το πρωτόκολλο BLE) απόσταση. Ένα τέτοιο σύστημα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε κάποιο supermarket , με σκοπό την παροχή πληροφοριών σχετικά με προσφορές / εκπτώσεις και γενικά οποιασδήποτε πληροφορίας που σχετίζεται με κάποιο προϊόν.

Αντίστοιχα, ένα σύστημα που εμπίπτει στην πρώτη κατηγορία φαίνεται στην αναφορά [11] , όπου αναπτύχτηκε ένα πρωτότυπο που μπορεί να προσδιορίσει την ακριβή τοποθεσία του χρήστη μέσα στο University of Mauritius Campus. Η επιστημονική κοινότητα (όπως και η παρούσα διπλωματική εργασία) έχει επικεντρωθεί στα συστήματα που μπορούν να προσφέρουν real time tracking.

2.2 Αρχιτεκτονικές συστημάτων

Σε αυτήν την παράγραφο θα γίνει μία σύντομη καταγραφή των αρχιτεκτονικών των συστημάτων που έχουν προταθεί / αναπτυχθεί και τις διάφορες τεχνολογίες με τους αλγορίθμους που τις διέπουν. Η μελέτη και κατανόηση των τεχνολογιών αυτών αποτελεί βασικό προαπαιτούμενο για την δημιουργία ενός συστήματος εντοπισμού θέσης, και γι αυτό τον λόγο αποτέλεσε το πρώτο στάδιο της παρούσας εργασίας.

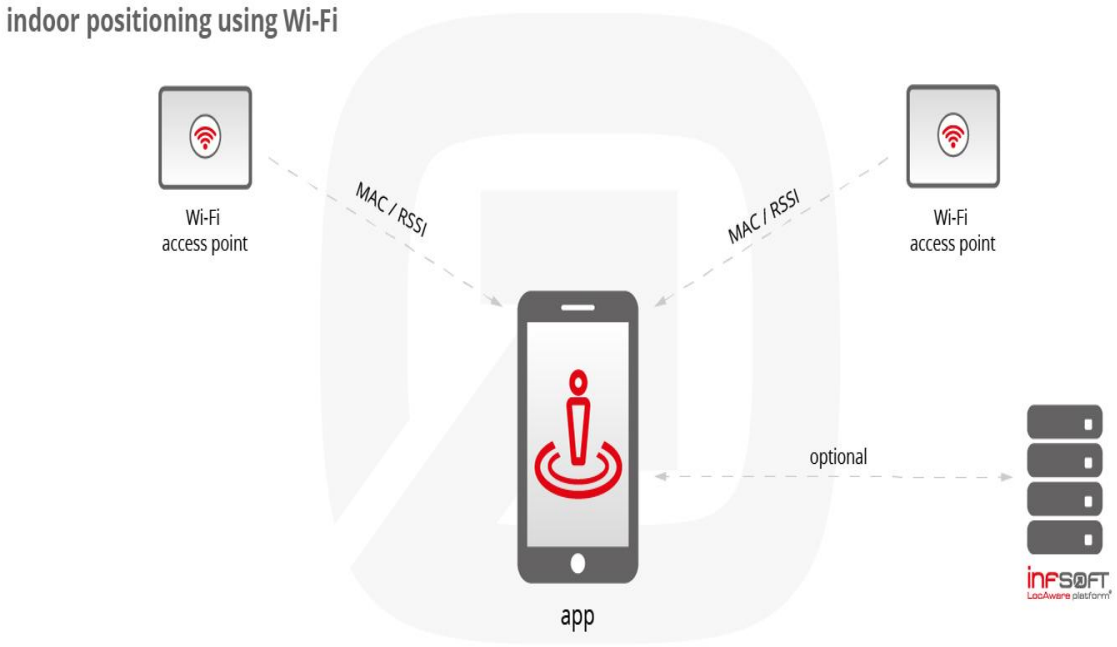
2.2.1 WiFi

Το WiFi, γνωστό και ως 802.11 – WLAN (όπως πρωτυποποιήθηκε από την IEEE), είναι το ασύρματο πρωτόκολλο που επιτρέπει στους χρήστες να συνδέονται σε κάποιο ασύρματο δίκτυο συνήθως με σκοπό την πρόσβαση στο διαδίκτυο. Το φάσμα του WiFi εκτείνεται κυρίως στα 2.4 και 5 Ghz. Τα πρωτόκολλα WiFi εξελίσσονται συνεχώς, παρέχοντας καλύτερη και πιο αποτελεσματική χρήση του διαθέσιμου φάσματος, καλύτερες ταχύτητες και μικρότερο latency. Ενδεικτικά, η πρώτη έκδοση του πρωτοκόλλου ήταν το 802.11b για να ακολουθήσει το 802.11g , 802.11n και πρόσφατα το 802.11ac.

Η εμβέλεια των ασύρματων σημάτων του WiFi εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι σημαντικότεροι εκ των οποίων είναι ο τύπος και η ισχύς της κεραίας του Access Point και οι παρεμβολές λόγω των διάφορων εμποδίων και άλλων ασύρματων σημάτων μεταξύ του Access Point και του κινητού.

Τα σήματα WiFi είναι διαθέσιμα σχεδόν σε κάθε κτήριο, έτσι η χρήση τους για τον προσδιορισμό της θέσης του κινητού φαίνεται σαν μία καλή λύση αφού ιδανικά δεν θα υπάρχει κάποιο κόστος εγκατάστασης (από την στιγμή που τα Access Points έχουν ήδη τοποθετηθεί) και δεν χρειάζονται ειδικό εξοπλισμό από την μεριά του χρήστη, αφού όλες οι συσκευές κινητού τηλεφώνου ή τα Wearables έχουν δυνατότητα σύνδεσης σε δίκτυα WiFi.

Πράγματι, οι πρώτες προσπάθειες ανάπτυξης τέτοιων συστημάτων βασίστηκαν στο WiFi, κάνοντας χρήστη του Received signal strength indication (RSSI) [3]. Εν συντομία, το κινητό αναζητά τα σήματα από τα διάφορα Access Points που είναι κατανεμημένα στον χώρο, και εφαρμόζει είται τριγωνοποίηση (triangulation – trilateration) είτε fingerprinting για τον προσδιορισμό της θέσης (οι τεχνικές αυτές θα παρουσιαστούν σε επόμενη παράγραφο).



Εικόνα 1: WLAN access point – based positioning

Το πρόβλημα με αυτά τα συστήματα ξεκινά από το γεγονός ότι το WiFi δεν είχε κατασκευαστεί για τέτοιες εφαρμογές, συνεπώς οι μετρικές που απορρέουν από το πρωτόκολλο αυτό (συγκεκριμένα το RSSI) δεν είναι κατάλληλα για τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης ενός κινητού. Τα συστήματα που έχουν βασιστεί στο WiFi λοιπόν δεν έχουν συνήθως επαρκή ακρίβεια έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν για πλοήγηση χρήστη σε πραγματικό χρόνο λόγω της ευαισθησίας τους σε παρεμβολές από διάφορα αντικείμενα, ανθρώπινα σώματα και άλλων ασύρματων σημάτων. Ακόμη,

το γεγονός ότι το κινητό πρέπει συνεχώς να αναζητά τα ασύρματα σήματα από πολλά WiFi Access Point επιφέρει μεγάλες απαιτήσεις σε ενέργεια, και ως γνωστόν σε κινητές συσκευές αυτό αποτελεί σημαντικό πρόβλημα.

2.2.2 Bluetooth

Το Bluetooth, γνωστό και ως 802.15.1 κατά IEEE, αποτελεί μία ασύρματη τεχνολογία που επιτρέπει σε ηλεκτρονικές συσκευές την επικοινωνία σε κοντινές αποστάσεις, και λειτουργεί στο φάσμα συχνοτήτων των 2.4 Ghz (όπως και το WiFi). Αποτελεί ένα ευρέως διαδεδομένο πρωτόκολλο για τέτοιου είδους επικοινωνίες, και χρησιμοποιείται για παράδειγμα για την επικοινωνία των περιφερειακών μονάδων με τον υπολογιστή, για ασύρματα ακουστικά κλπ. Για να αποφύγει τις παρεμβολές με άλλες συσκευές που λειτουργούν στο ίδιο φάσμα χρησιμοποιεί την τεχνική του frequency hopping, όπου τα δεδομένα μεταφέρονται σε διαφορετικά κανάλια ανά διάφορα χρονικά διαστήματα αν παρατηρηθεί κάποια παρεμβολή.

Για να πραγματοποιηθεί μεταφορά δεδομένων, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί σύνδεση (pairing) μεταξύ των συσκευών. Η σύνδεση αυτή ακολουθεί το μοντέλο του master – slave, και κάθε συσκευή μπορεί να είναι συνδεδεμένη το πολύ με άλλες 7 συσκευές μια δεδομένη χρονική στιγμή.

Το Bluetooth είχε σχεδιαστεί από την πρώτη στιγμή με την χαμηλή κατανάλωση ενέργειας να είναι βασικό χαρακτηριστικό, και όντως η κατανάλωση που παρατηρείται είναι σημαντικά χαμηλότερη σε σύγκριση με το WiFi. Όπως ήταν λογικό λοιπόν, προτάθηκαν διάφορα συστήματα εντοπισμού θέσης βασισμένα στο BlueTooth, όπως αυτό που παρουσιάζεται στην αναφορά [12].

Τα συστήματα αυτά, σε αντίθεση με τα συστήματα βασισμένα στο WiFi, απαιτούν κάποιο αρχικό κόστος εγκατάστασης. Είναι επίσης ευαίσθητα σε παρεμβολές από το περιβάλλον (ανθρώπινα σώματα, ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, διάφορα αντικείμενα). Η ακρίβεια που παρέχουν είναι βελτιωμένη συγκριτικά με τα συστήματα βασισμένα στο WiFi, αλλά δεν είναι στα επιθυμητά επίπεδα ώστε να μπορέσει να υποστηρίξει πλοήγηση χρήστη σε πραγματικό χρόνο.

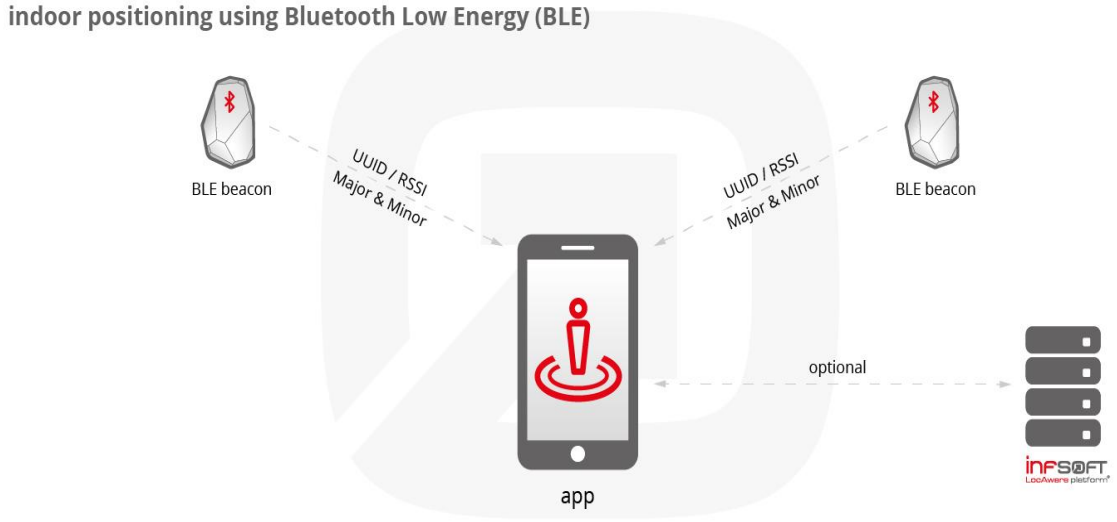
Το γεγονός ότι απαιτείται μόνιμη σύνδεση μεταξύ των συσκευών, όταν στην πραγματικότητα το μόνο που απαιτείται από τις συσκευές αυτές είναι να αποστέλλουν την πληροφορία σχετικά με την τοποθεσία τους καθώς επίσης και η εμφάνιση συσκευών που ο σκοπός τους είναι απλά η εκπομπή συγκεκριμένης πληροφορίας ώθησαν την επιστημονική κοινότητα στην επέκταση του πρωτοκόλλου Bluetooth, γνωστή ως Bluetooth Low Energy (BLE) ώστε να μπορεί να υποστηρίξει τέτοια σενάρια (όπου δεν απαιτείται μόνιμη σύνδεση μεταξύ των συσκευών).

2.2.3 Bluetooth Low Energy (BLE)

Το BLE είναι μία επέκταση του κλασικού bluetooth, σχεδιασμένο για να προσφέρει επικοινωνία μεταξύ συσκευών σε κοντινή απόσταση, με ακόμα λιγότερη κατανάλωση ενέργειας. Ακόμη παρέχει την δυνατότητα μεταφοράς πληροφορίας χωρίς να απαιτείται σύνδεση μεταξύ των συσκευών, μέσω τον λεγόμενων bluetooth low energy advertisments ή αλλιώς beacons. Ο

Τα χαρακτηριστικά αυτά καθώς επίσης και το γεγονός ότι το BLE σχεδιάστηκε με σκοπό να μπορεί να υποστηρίξει εφαρμογές που απαιτούν τον προσδιορισμό της τοποθεσίας, ώθησε την επιστημονική κοινότητα στην μελέτη και ανάπτυξη συστημάτων που κάνουν χρήση του BLE πρωτοκόλλου για να μπορέσουν να προσδιορίσουν την τοποθεσία του χρήστη. Ένα παράδειγμα τέτοιου συστήματος είναι το ZONITH Indoor Positioning [13].

Στο σύστημα αυτό, παρατηρείται σε πραγματικό χρόνο η θέση των εργαζομένων οι οποίοι εργάζονται σε επικίνδυνα περιβάλλοντα με σκοπό την πρόληψη ατυχημάτων. Σύμφωνα με το σύστημα αυτό, τοποθετούνται BLE beacons σε διάφορα σημεία στον χώρο ενδιαφέροντος, και καταγράφεται όποια συστκευή Bluetooth low energy παρατηρηθεί εντός της εμβέλειάς τους.



Εικόνα 2: BLE – based indoor positioning

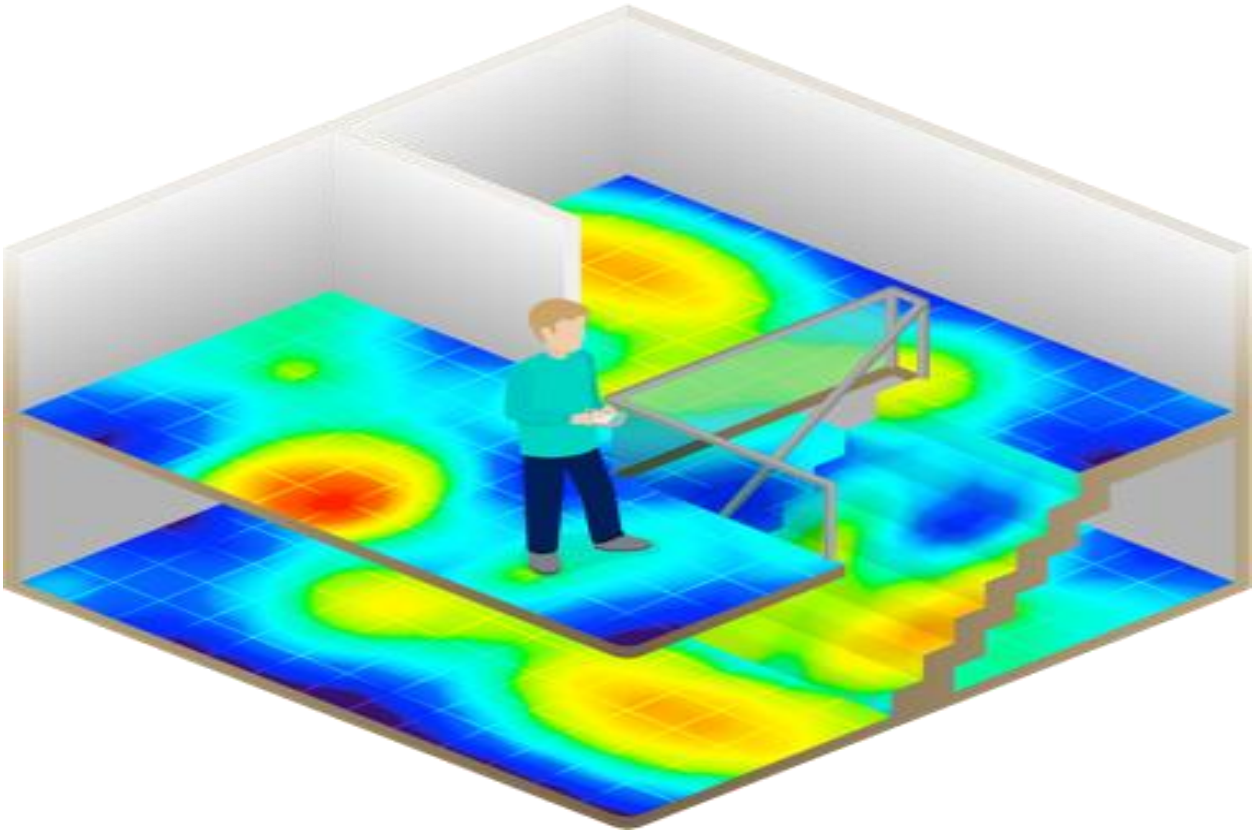
Η ακρίβεια ενός τέτοιου συστήματος είναι στενά συνδεδεμένη με την φύση του εσωτερικού χώρου (τα διάφορα εμπόδια), των αριθμό των ανθρώπων (όσο περισσότεροι άνθρωποι βρίσκονται στον εσωτερικό χώρο, τόσο πιο πολλές παρεμβολές παρατηρούνται μεταξύ των συσκευών BLE και των BLE beacons) και την τοποθέτηση των beacons.

Στην πράξη βλέπουμε ότι μέχρι σήμερα δεν υπάρχει κάποια καλώς ορισμένη λύση η οποία να είναι ευρέως εμπορικά διαθέσιμη για ένα τέτοιο σύστημα βασισμένο στο BLE. Ο λόγος, όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο είναι για ακόμα μία φορά η ευαισθησία στις διάφορες παρεμβολές η οποία καθιστά τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης κατά την διάρκεια αυτών αδύναντο.

Για τον λόγο αυτό, αναζητήσαμε την λύση στο πρόβλημα αυτό των παρεμβολών κάνοντας χρήση του μαγνητικού πεδίου. Η χρήση του μαγνητικού πεδίου για το Indoor Positioning είναι ένα θέμα που έχει απασχολήσει πρόσφατα την επιστημονική κοινότητα [9], και παρουσιάζεται παρακάτω.

2.2.4 Μαγνητικό Πεδίο (Magnetic Field)

Ο προσδιορισμός θέσης κινητού βάσει του μαγνητικού πεδίου βασίζεται στο γεγονός ότι τα κτήρια έχουν την λεγόμενη “μαγνητική ταυτότητα”, εννοώντας ότι εντός ενός κτηρίου το μαγνητικό πεδίο παραμένει σταθερό για διακριτές θέσης εντός κτηρίου, και εξαρτάται από την φύση – κατασκευή του [14]. Υλικά που συμβάλλουν στην μαγνητική ταυτότητα του κτηρίου είναι για παράδειγμα οι κολώνες (οι σιδηρόβεργες συγκεκριμένα), η καλωδίωση, κάποια έπιπλα – αντικείμενα. Λαμβάνοντας υπ όψιν ότι τα χαρακτηριστικά αυτά ενός κτηρίου δεν αλλάζουν συχνά, μπορούμε να βασιστούμε σε αυτήν την μαγνητική ταυτότητα προκειμένου να προσδιορίσουμε σημεία εντός του κτηρίου βάσει των μαγνητικών συντεταγμένων.



Εικόνα 3: Magnetic Fingerprint.

Η προσέγγιση αυτή έχει πολλά θετικά στοιχεία το σημαντικότερο εκ των οποίων είναι ότι δεν επηρεάζεται από παρεμβολές (είτε ασύρματων σημάτων, είτε από ανθρώπους – αντικείμενα). Ακόμη, επειδή δεν χρειάζεται κάποια κεραία για την λήψη και επεξεργασία κάποιου ασύρματου σήματος η προσέγγιση αυτή έχει ακόμα λιγότερες απαιτήσεις σε ενέργεια, γεγονός που είναι εξαιρετικά επιθυμητό για τις συσκευές του χρήστη. Ένα ακόμα θετικό στοιχείο είναι ότι επιτυγχάνουμε αρκετά μεγαλύτερη ακρίβεια σε σύγκριση με τις μεθόδους βασισμένες στο Bluetooth / WiFi , κυρίως λόγω της απουσίας παρεμβολών και της σταθερότητας του μαγνητικού πεδίου της γης. Τέλος, ακόμη ένα σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι δεν απαιτείται εγκατάσταση ειδικού εξοπλισμού (αφού γίνεται χρήση μόνο του μαγνητικού πεδίου).

Για τον λόγο αυτό η επιστημονική κοινότητα στράφηκε στην ανάπτυξη συστημάτων βασισμένα στο μαγνητικό πεδίο. Η σημαντικότερη και πιο διαδεδομένη προσπάθεια, είναι το σύστημα IndoorAtlas [15]. Πράγματι, τα στοιχεία αυτά κάνουν τον προσδιορισμό

θέσης μέσω του μαγνητικού πεδίου ιδιαίτερα αποτελεσματικό, αφού η τεχνική αυτή υπόσχεται (και επιβεβαιώνεται από τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν από το πρωτότυπο που αναπτύχθηκε, όσο και από το σύστημα Indoor Atlas).

2.3 Μετρικές που απορρέουν από τις παραπάνω τεχνολογίες

Το RSSI είναι η ένδειξη της ισχύς του σήματος που λαμβάνει ο χρήστης από κάποιον πομπό (Πχ από ένα WiFi Access Point ή από ένα BLE beacon). Η τιμή αυτή καταγράφεται από τον δέκτη του χρήστη (το κινητό τηλέφωνο) και καταγράφεται όταν το κινητό είναι συνδεδεμένο με κάποια άλλη συσκευή ή όταν το κινητό βρίσκεται σε αναζήτηση κάποιας συσκευής. Η μετρούμενη τιμή του RSSI μειώνεται καθώς το κινητό απομακρύνεται από την κεραία, γι αυτόν τον λόγο χρησιμοποιείται για να υπολογιστή η απόσταση του χρήστη από την κεραία. Η σχέση που συνδέει για παράδειγμα το RSSI με την απόσταση βάσει του BLE και το beacon τύπου Eddystone [16] είναι η ακόλουθη:

$$RSSI\ (dBm) = -10n\ log_{10}(d) + A$$

Σχέση 1: Σχέση RSSI - απόστασης

Όπου A είναι το RSSI που εκπέμπει το BLE beacon σε απόσταση 1 μέτρου, και d είναι σταθερά που αντιπροσωπεύει τις απώλειες στην τιμή του RSSI (για τον ελεύθερο – ανοιχτό χώρο η σταθερά αυτή έχει τιμή 2).

2.3.1 Time of Arrival (TOA)

Σύμφωνα με το TOA, μετράται ο χρόνος που απαιτείται για τη μετάδοση σήματος από τον πομπό προς το κινητό, (δεδομένου ότι ταξιδεύει με την ταχύτητα του φωτός), και στη συνέχεια υπολογίζεται η απόσταση. Αυτή η μέθοδος χρειάζεται συγχρονισμό χρόνου υψηλής ακρίβειας για όλες τις κινητές μονάδες, η οποία δεν είναι διαθέσιμη σε τυπικά smartphones. Εκτός από αυτό, τα Bluetooth / WiFi έχει σχεδιαστεί για επικοινωνία χαμηλού κόστους, έτσι δεν έχει προγραμματιστεί ακριβής συγχρονισμός χρόνου στο πρότυπο.

2.3.2 Time of Difference Arrival (TODA)

Στην TODA, το κινητό στέλνει διάφορα σήματα στα σημεία αναφοράς και μετράται η χρονική διαφορά μεταξύ των χρόνων άφιξης αυτών των σημάτων. Αυτή η μέθοδος αποφεύγει τον συγχρονισμό των κινητών τηλεφώνων, αλλά απαιτεί συγχρονισμό των σημείων αναφοράς (beacons). Και πάλι, το Bluetooth δεν σχεδιάστηκε με στόχο τον ακριβή συγχρονισμό του χρόνου, οπότε αυτή η μετρική είναι δύσκολο να καταγραφεί / χρησιμοποιηθεί.

2.3.3 Angle of Arrival (AOA)

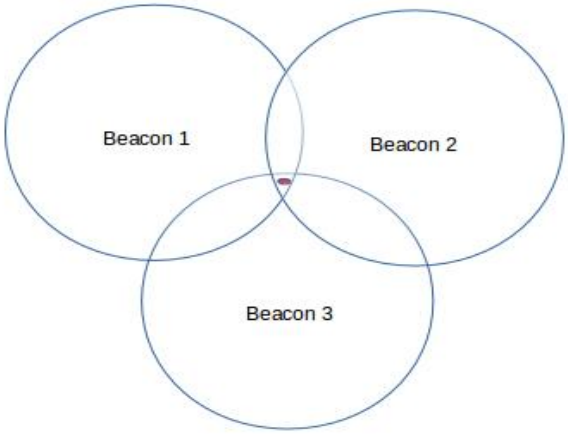
Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί κατευθυντικές κεραίες για τη μέτρηση του εισερχόμενου σήματος του κινητού. Η τομή των διαφόρων σημείων κατεύθυνσης έχει ως αποτέλεσμα την εκτιμώμενη θέση του κινητού. Δεδομένου ότι το Bluetooth πρόκειται να λειτουργεί σε

συσκευές με χαμηλές απαιτήσεις ενέργειας, οι κατευθυντικές κεραίες δεν χρησιμοποιούνται σχεδόν ποτέ.

2.4 Αλγόριθμοι προσδιορισμού θέσης

2.4.1 Τριγωνοποίηση (Trilateration – Triangulation)

Η τριγωνοποίηση χρησιμοποιείται έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί η διαδικασία εκτίμησης της θέσης ενός κινητού με χρήση 3 ή περισσότερων σημείων αναφοράς. Αυτή η μέθοδος σχηματίζει κύκλους κεντραρισμένους στα σημεία αναφοράς (π.χ. BLE beacons / WiFi access points), όπου η ακτίνα κάθε κύκλου υπολογίζεται χρησιμοποιώντας μία ή περισσότερες από τις μετρήσεις που εμφανίζονται στην επόμενη ενότητα.



Εικόνα 4: Τριγωνοποίηση (Ιδανική)

Δεδομένων των παραπάνω, η τελική απόσταση από τις 3 κεραίες υπολογίζεται εύκολα:

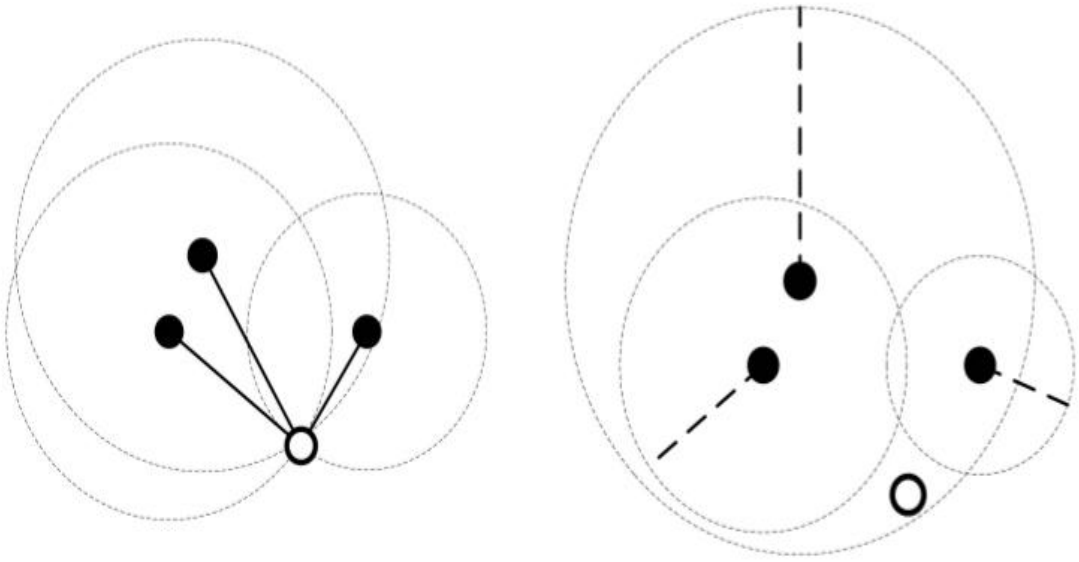
$$d_{12}=(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2$$

$$d_{22}=(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2$$

$$d_{32}=(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2$$

Σχέση 2: Υπολογισμός απόστασης από τριγωνοποίηση

Αυτό που φαίνεται στην παραπάνω εικόνα είναι ένα ιδανικό σενάριο. Στην πραγματικότητα, λόγω τις αστάθειας των μετρήσεων του RSSI η κατάσταση περιγράφεται καλύτερα με το παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 5: Τριγωνοποίηση (στην πράξη)

Γι αυτόν τον λόγο, τα συστήματα που είναι βασισμένα σε αυτήν την τεχνική δεν πετυχαίνουν μεγάλη ακρίβεια (ικανή για πλοήγηση του χρήστη σε πραγματικό χρόνο), καθώς η απόσταση δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί.

2.4.2 Cell Based Positioning

Αυτή είναι η απλούστερη μέθοδος για τον εντοπισμό μιας κινητής συσκευής, αλλά παρέχει μόνο ακρίβεια βασισμένη σε κυψέλες (π.χ. Σε αυτή την τεχνική τοποθέτησης, η οποία έχει μελετηθεί στα [17][18], η περιοχή χωρίζεται σε (μικρά) κελιά, με κάθε χαρτογραφημένη κυψέλη να καλύπτεται από ένα μόνο φάρο. Τα κελιά χαρακτηρίζονται από μία διεύθυνση (π.χ MAC address) και ένα ζεύγος συντεταγμένων (x, y) και η βασική ιδέα είναι ότι σε κάθε κυψέλη μπορεί να ανιχθευθεί μόνο 1 σήμεια (από 1 κεραία). Το κινητό βρίσκεται έπειτα εντοπίζοντας την κυψέλη που αντιστοιχεί στο σήμα της κεραίας που ανακαλύπτεται.

2.4.3 Fingerprinting

Η τεχνική του FIngerprinting αποτελεί βασικά μια χαρτογράφηση – καταγραφή της κατανομής των μετρήσεων RSSI (μία μέτρηση RSSI για κάθε κεραία) σε όσο το δυνατόν περισσότερα σημεία της τοποθεσίας που ενδιαφέρει. Αυτό ονομάζεται συχνά "φάση εκτός σύνδεσης" (offline phase), όπου αυτά τα διανύσματα (όπου ο αριθμός των συντεταγμένων αντιστοιχεί στον αριθμό των Access Points / BLE beacons) συλλέγονται και αποθηκεύονται σε κάποιο είδος βάσης δεδομένων.

Μόλις ολοκληρωθεί η φάση εκτός σύνδεσης και τα fingerprints είναι διαθέσιμα – αποθηκευμένα στην βάση, ακολουθείται η "online phase", όπου το κινητό που πρόκειται να εντοπιστεί λαμβάνει τις RSSI από τους διάφορους φάρους και συγκρίνει αυτές τις τιμές με εκείνες που είναι αποθηκευμένες κατά την offline phase, στην βάση δεδομένων.

Το πιο “κοντινό αποτύπωμα” (πχ βάσει της Ευκλείδιας απόστασης) καθορίζει την τοποθεσία του κινητού.

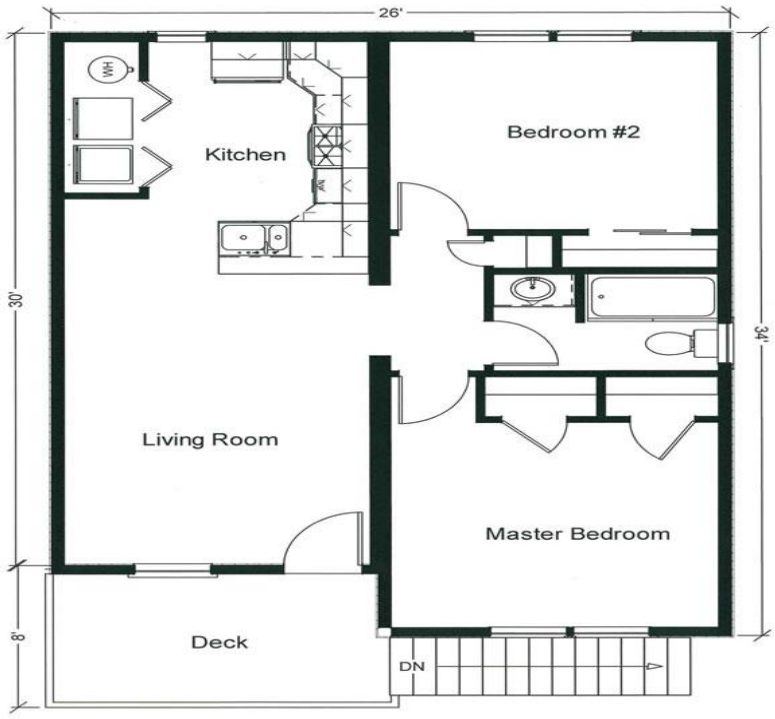
Οι μετρηθείσες τιμές RSSI, σύμφωνα με το [19], μπορούν να παρουσιάσουν σημαντικές αποκλίσεις ανάλογα με τον προσανατολισμό του χρήστη. Για το λόγο αυτό, θα ήταν καλό να συμπεριληφθεί μια ακόμα συντεταγμένη που θα αντιστοιχεί στην γωνία (χρησιμοποιώντας την ενσωματωμένη πυξίδα της κινητής συσκευής για παράδειγμα) στον διάνυσμα των fingerprint.

Η μέθοδος αυτή παρέχει την μεγαλύτερη ακρίβεια σχετικά με τις υπόλοιπες μεθόδους, και γι αυτό η επιστημονική κοινότητα έχει επικεντρωθεί σε αυτήν. Στα αρνητικά στοιχεία της συγκεκριμένης μεθόδου μπορεί να αναφερθεί το γεγονός ότι απαιτείται αυτή η “offline phase” πριν μπορέσει να τεθεί το σύστημα σε λειτουργία. Αυτό λοιπόν απαιτεί την σάρωση της περιοχής ενδιαφέροντος εκ των προτέρων, πιθανώς με διαφορετικές συσκευές έτσι ώστε να αντιμετωπιστεί πιθανή απόκλιση μεταξύ των διαφορετικών αισθητήρων (π.χ WiFi – Bluetooth – ή μαγνητικού πεδίου) διαφορετικών συσκευών.

3. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

3.1 Σύστημα βασισμένο στο BLE

Η αρχική ιδέα όσον αφορά την ανάπτυξη του πρότυπου συστήματος ήταν να γίνει χρήση της τεχνολογίας του Bluetooth Low energy, και της μεθόδου FingerPrinting. Για τον σκοπό αυτό, προμηθευτήκαμε 3 Raspberry Pi (Model Version: 3), τα οποία φέρουν ενσωματωμένους αισθητήρες Bluetooth Low Energy. Για τις ανάγκες των πειραμάτων, τα Raspberry Pi τοποθετήθηκαν σε 3 δωμάτια του χώρου που φαίνεται παρακάτω και εκπέμπουν Eddystone BLE beacons [16].

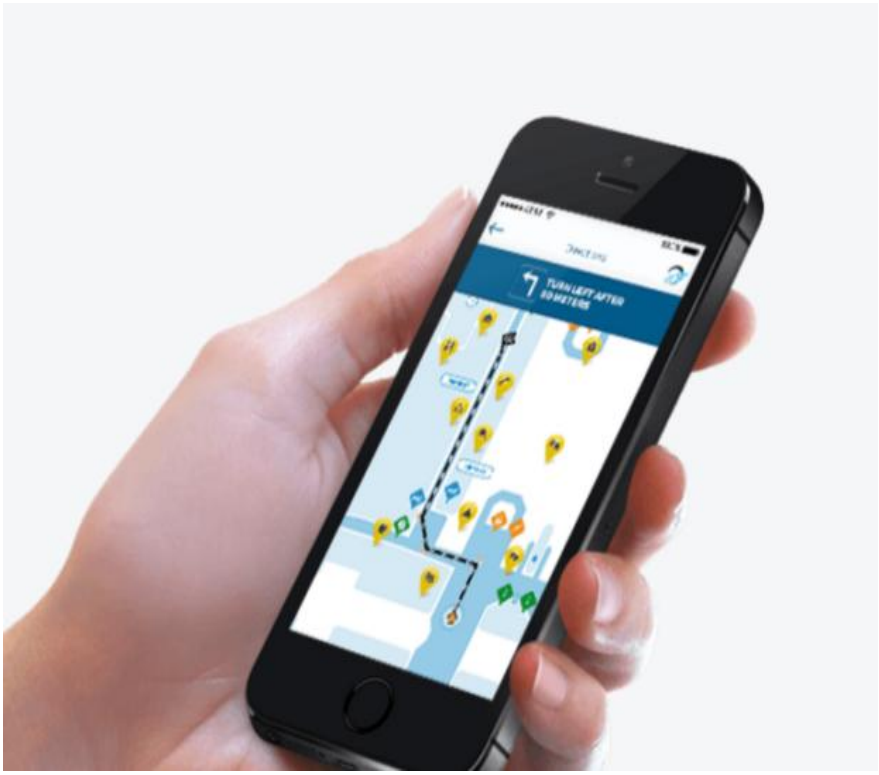


Εικόνα 6: Χώρος Πειραμάτων BLE

Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε για την λήψη των Beacons ήταν ένα κινητό Android Nexus 5X με λογισμικό Anrdroid 7.1 (Nougat).

3.1.1 FingerPrinting – Offline Phase

Η μέθοδος fingerprinting, απαιτεί την σάρωση του χώρου για να γίνει η χαρτογράφηση του ανάλογα με την ένταση των λαμβανόμενων σημάτων στα σημεία ενδιαφέροντος. Συνεπώς, ορίσαμε κάποια σημεία ενδιαφέροντος, και καταγράψαμε τα RSSI των Beacons από τα 3 raspberry σε κάθε ένα από αυτά. Κατά την καταγραφή των μετρήσεων, περιστρέψαμε το κινητό προς όλες τις κατευθύνσεις έτσι ώστε να λάβουμε τα Beacons υπό διαφορετικές γωνίες. Πράγματι, παρατηρήσαμε ότι με την περιστροφή του κινητού άλλαζε αισθητά η τιμή RSSI που λαμβάναμε για το ίδιο σημείο.



Εικόνα 7: FingerPrinting – Offline phase

3.1.2 FingerPrinting – Online Phase

Αφού έχουν συγκεντρωθεί τα fingerprints για κάθε σημείο ενδιαφέροντος του χώρου, μεταβήκαμε με το κινητό σε κάθε ένα από αυτά με σκοπό να διαπιστώσουμε αν το σύστημα μπορεί να εντοπίσει επιτυχώς σε πιο σημείο του χώρου βρισκόμαστε. Σε κάθε σημείο, περιστρέψαμε το κινητό προς όλες τις πιθανές κατευθύνσεις με σκοπό να καλύψουμε όλες τις γωνίες (που είχαν έτσι κ αλλιώς καταγραφεί στην offline phase). Για να συγκρίνουμε τις μετρήσεις που καταγράφουμε στην προσπάθεια εντοπισμού του χρήστη με αυτές που είναι αποθηκευμένες στην βάση δεδομένων (κατά την offline phase) κάναμε χρήση της Ευκλείδειας απόστασης μεταξύ των σημείων.

3.1.3 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα από την προσπάθεια εντοπισμού θέσης δεν ήταν τα επιθυμητά, με την έννοια ότι το σύστημα ήταν ασταθές ως προς την εκτιμώμενη τοποθεσία του χρήστη. Συγκεκριμένα, το σύστημα δεν μπορούσε να υπολογίσει με ακρίβεια σημεία που βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη η ίση των 5 μέτρων (τα αποτελέσματα από τον υπολογισμό της τοποθεσίας εναλάσσονταν συνεχώς). Πράγματι, παρατηρήσαμε τα fingerprints που ήταν αποθηκευμένα στην βάση για και είδαμε ότι για σταθερό σημείο, ακόμη και για πολύ μικρές αλλαγές ως προς τον προσανατολισμό του κινητού στο ίδιο σημείο υπήρχε μεγάλη απόκλιση στις καταγεγραμμένες τιμές RSSI. Ο κύριος λόγος για αυτές τις αποκλίσεις είναι ότι το RSSI των BLE beacons είναι εξαιρετικά ευαίσθητο σε παρεμβολές είτε από άλλα ασύρματα σήματα στο ίδιο φάσμα, είτε από φυσικά εμπόδια (ανθρώπινα σώματα, έπιπλα, πόρτες κλπ). Το πρόβλημα αυτό θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί ως ένα βαθμό με προσεκτική μελέτη – τοποθέτηση των BLE beacons – πχ θα μπορούσαν να τοποθετούνται στην οροφή των χώρων με σκοπό να αποφεύγουν τα εμπόδια που δημιουργούν τα ανθρώπινα σώματα – αλλά αυτό αυξάνει αρκετά το κόστος εγκατάστασης (κόστος μελέτης – τοποθέτησης) και το κόστος συντήρησης. Ακόμη, παρατηρήσαμε ότι κατά την διαδικασία σάρωσης – αναζήτησης των BLE

beacons (με σκοπό τον προσδιορισμό της θέσης του κινητού), οι απαιτήσεις του κινητού σε μπαταρία ήταν μεγάλες.

3.2 Σύστημα βασισμένο στο Μαγνητικό πεδίο

Προσπαθώντας να αντιμετωπίσουμε τα προβλήματα της πρώτης προσέγγισης, αναζητήσαμε τρόπους προσδιορισμού της θέσης οι οποίοι δεν θα επηρεάζονται σε τόσο μεγάλο βαθμό – ιδανικά καθόλου – από παρεμβολές και φυσικά εμπόδια. Το στοιχείο αυτό είναι βασικό για το σύστημα που θέλουμε να αναπτύξουμε, καθώς αν για παράδειγμα πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό την θέσης του χρήστη σε κάποιο μουσείο με σκοπό την παροχή πληροφορίας σχετικά με τα εκθέματα, ο χώρος αυτός θα έχει πιθανότατα αρκετούς ανθρώπους και άρα μεγάλο κίνδυνο απώλειας σήματος λόγω εμποδίων.

Λαμβάνοντας υπ όψιν τα παραπάνω, καταλήξαμε στην χρήση του μαγνητικού πεδίου της γης για τον προσδιορισμό της τοποθεσίας του χρήστη. Η βασική ιδέα αυτής της προσέγγισης είναι ότι για δεδομένο κτήριο η δομή, τα υλικά, τα (μεταλλικά) αντικείμενα και οι καλωδιώσεις καθορίζουν την λεγόμενη μαγνητική ταυτότητα του κτηρίου [20]. Το αποτέλεσμα αυτού είναι το μαγνητικό πεδίο – συγκεκριμένα οι συντεταγμένες του στους άξονες (X, Y, Z της γης) – να είναι σταθερό ανά τα σημεία του κτηρίου. Λόγω της φύσης του, η μέτρηση της έντασης του μαγνητικού πεδίου δεν επηρεάζεται από την παρουσία άλλων ασύρματων σημάτων στον χώρο ούτε από τα ανρθώπινα σώματα. Το μόνο που μπορεί να επηρεάσει την ένταση του μαγνητικού σημείου είναι (μεγάλα) μεταλλικά αντικείμενα και μαγνήτες. Θεωρώντας ότι αυτά βρίσκονται σε σταθερές – προκαθορισμένες θέσεις εντός του κτηρίου και σε γενικές γραμμές δεν μεταβάλλονται, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το μαγνητικό πεδίο παραμένει σταθερό για δεδομένα σημεία.



Εικόνα 8: Ένταση μαγνητικού πεδίου στον χώρο

Η διαδικασία προσδιορισμού της θέσης του κινητού είναι η ίδια με αυτήν που ακολουθήθηκε στο προηγούμενο σύστημα που ήταν βασισμένο στο BLE. Συγκεκριμένα, στην offline phase του fingerprinting αντί να καταγράψουμε τα RSSI κάποιων Beacon, καταγράψαμε την ένταση του μαγνητικού πεδίου ανά τους 3 άξονες, και την γωνία του κινητού. Οι μετρήσεις αυτές αποτελούν στην ουσία διανύσματα 6

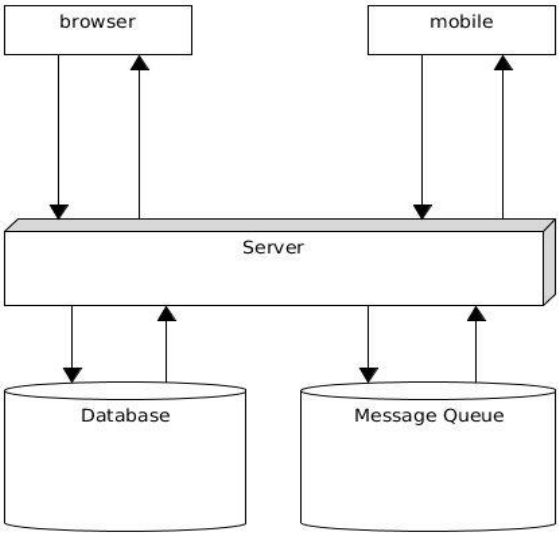
συντεταγμένων (MagnX, MagnY, MagnZ, AngleX, AngleY, AngleZ). Εκτός από το μαγνητικό πεδίο και την γωνία, στις μετρήσεις προσθέτουμε το RSSI από το WiFi με το οποίο είναι συνδεδεμένο το κινητό (αν υπάρχει σύνδεση με κάποιο Access Point). Ο λόγος που προσθέτουμε αυτήν την επιπλέον μέτρηση είναι επειδή αφ' ενός δεν κοστίζει παραπάνω όσον αφορά τις απαιτήσεις σε ενέργεια (αφού το κινητό βρίσκεται ήδη σε σύνδεση με κάποιο Access Point, η τιμή του RSSI είναι ήδη διαθέσιμη) και αφ ετέρου επειδή παρατηρήσαμε ότι η προσθήκη του βοηθάει στον διαχωρισμό διαφορετικών σημείων που έχουν παρόμοιο μαγνητικό πεδίο - άρα συμβάλλει στην μεγαλύτερη ακρίβεια του συστήματος. Για κάθε σημείο λαμβάνουμε περίπου 100 μετρήσεις (ο αριθμός αυτός προέκυψε από επανηλλημένες χρήσης του αλγορίθμου και συγκρίνοντας την ακρίβεια που επιτυχγάνεται).

Κατά την online phase, όταν δηλαδή συγκρίνουμε τις μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου, της γωνίας και του RSSI από το WiFi αν είναι διαθέσιμο με αυτές που έχουμε αποθηκεύσει στην βάση δεδομένων (τα fingerprints), χρησιμοποιούμε ξανά την Ευκλείδεια απόσταση. Μια επιπλέον προσθήκη στον αλγόριθμο εύρεσης της τοποθεσίας με σκοπό την αποφυγή λανθασμένων προσδιορισμών τοποθεσίας (False Positives) είναι η εισαγωγή μιας ουράς που κρατάει πάντα τις 5 τελευταίες εκτιμώμενες τοποθεσίες του κινητού. Αν οι 4 τοποθεσίες εκτιμώνται ως το σημείο Α, ενώ η 1 εκτιμηθεί ως το σημείο Β, το σημείο Β το θεωρούμαι σαν False Positive και άρα προσδιορίζουμε ., την θέση του κινητού ως το σημείο Α.

4. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Αφού παρουσιάσαμε τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος εντοπισμού θέσης που αναπτύξαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε την αρχιτεκτονική του, και το λογισμικό που αναπτύχθηκε.

Το σύστημα αποτελείται από τον indoor locator client (το κινητό τηλέφωνο του χρήστη) και τον server – με τον οποίο επικοινωνεί το κινητό για να μάθει την τοποθεσία του. Εκτός από το κινητό του χρήστη, τον ρόλο του client μπορεί να έχει ένας κοινός web browser, αφού υπάρχει η πρόβλεψη να μπορεί κάποιος χρήστης να ζητήσει πληροφορίες όπως το ιστορικό των τοποθεσιών του.

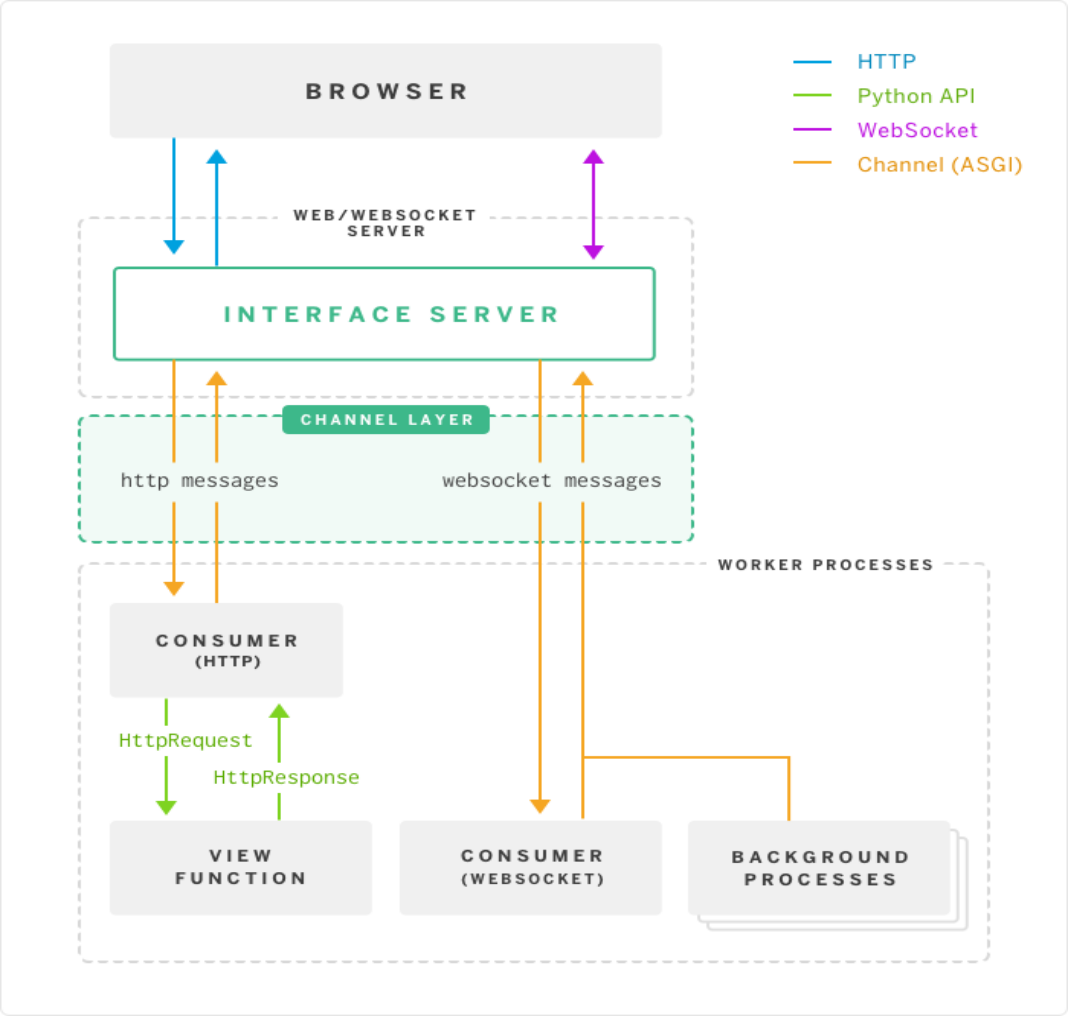


Εικόνα 9: Αρχιτεκτονική client – server

4.1 Indoor Locator Server

Για την υλοποίηση του Indoor locator server χρησιμοποιήθηκε η τεχνολογία των django channels [21] . Τα django channels είναι στην ουσία η υλοποίηση του πρωτοκόλλου των websockets (RFC 6455, [22]) στο django framework. Ο λόγος που αποκλίναμε από το κλασικό μοντέλο http και χρησιμοποιήσαμε websockets είναι γιατί η εφαρμογή μας είναι πραγματικού χρόνου και έχουμε πολύ συχνή επικοινωνία μεταξύ client – server, συνεπώς το επιπλέον κόστος του πρωτοκόλλου http σε κάθε μήνυμα αυτής τις επικοινωνίας θα ήταν μη αποδεκτό. Αυτός εξ' άλλου είναι και ο λόγος που προτάθηκε το πρωτόκολλο των websockets.

Η επικοινωνία – ανταλλαγή μηνυμάτων σύμφωνα με τα django channels φαίνεται στο παρακάτω σχήμα



Εικόνα 10: Django Channels

Ο server κατά την εκκίνηση ανοίγει ένα websocket, και περιμένει κάποιο μήνυμα από τον client (το κινητό του χρήστη). Τα μηνύματα που υποστηρίζονται περιγράφονται εν συντομία παρακάτω:

- GET_FLOOR_PLANS. Το μήνυμα αυτό αποστέλλεται από τον client για να μάθει ποιους εσωτερικούς χώρους έχει αποθηκευμένους ο server. Προφανώς, ο εντοπισμός θέσης μπορεί να πραγματοποιηθεί σε έναν από αυτούς τους χώρους για τους οποίους υπάρχει αποθηκευμένο το floorplan στην βάση δεδομένων.
- GET_LOCATIONS. Το μήνυμα αυτό αποστέλλεται από τον client για να μάθει τις τοποθεσίες για της οποίες ο server έχει αποθηκευμένο fingerprint στην βάση.
- GET_POIS. Το μήνυμα αυτό αποστέλλεται από τον client για να μάθει τα σημεία ενδιαφέροντος (πχ εκθέματα σε μουσείο) για τα οποία ο server έχει αποθηκευμένο fingerprint στην βάση.
- ADD_LOCATION. Το μήνυμα αυτό αποστέλλεται από τον client για να προσθέσει ένα νέο σημείο στην βάση δεδομένων του server.
- ADD_POI. Το μήνυμα αυτό αποστέλλεται από τον client για να προσθέσει ένα νέο σημείο ενδιαφέροντος στην βάση δεδομένων του server.
- ADD_FINGERPRINTS. Το μήνυμα αυτό αποστέλλεται από τον client για να προσθέσει τα fingerprints (τις μετρήσεις μαγνητικού πεδίου) στον server. Πραγματοποιείται κατά την offline phase.

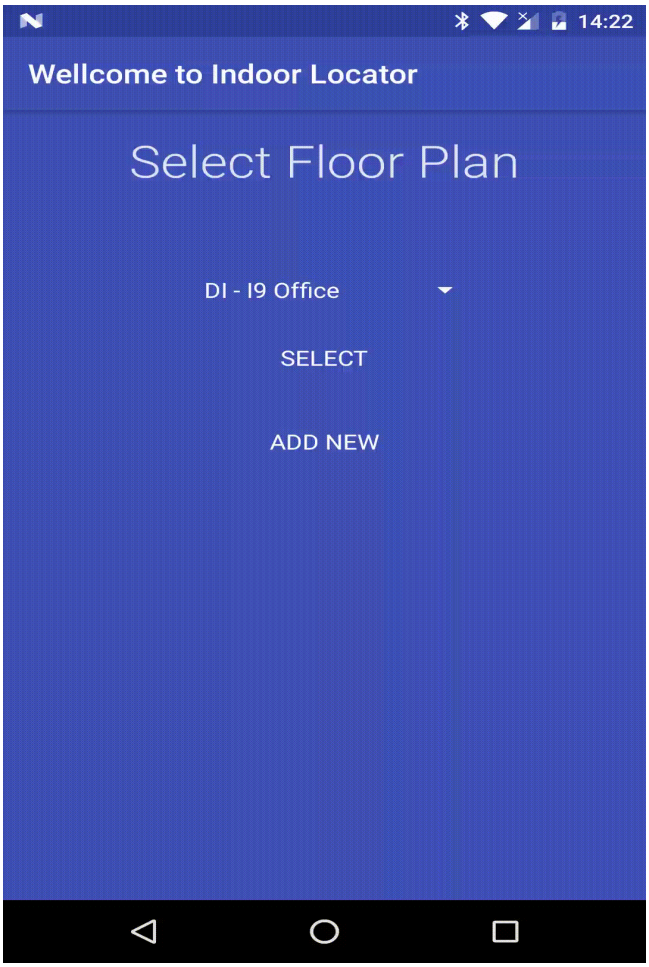
- LOCATE. Το μήνυμα αυτό αποστέλλεται από τον client έτσι ώστε να μάθει την τρέχουσα τοποθεσία του, η οποία υπολογίζεται από τον server.

Περισσότερες πληροφορίες για τα μηνύματα αυτά, καθώς επίσης και το πρωτόκολλο επικοινωνίας (η μορφή json των μηνυμάτων) βρίσκονται στο github repository, [23]

4.2 Indoor Locator Client

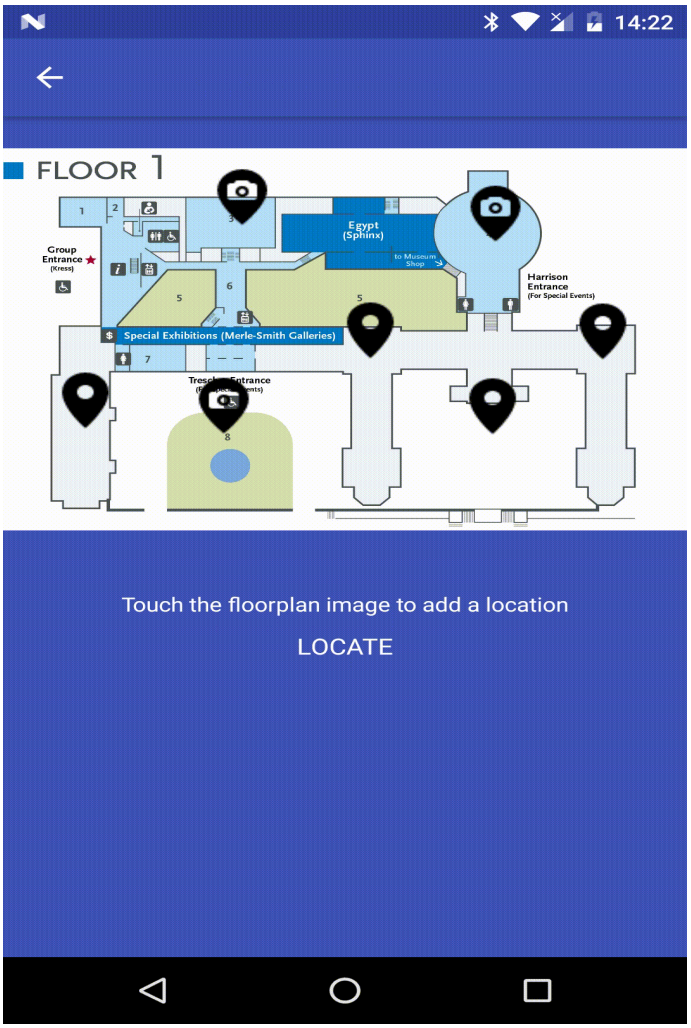
Ο indoor locator client είναι μια εφαρμογή Android, που επικοινωνεί με τον server τόσο στην offline phase (για να αποθηκεύσει τα fingerprints από τα σημεία του εσωτερικού χώρου) και στην online phase (όπου αποστέλλει στον server τις μετρήσεις από την τρέχουσα τοποθεσία, και ζητά να μάθει σε ποιο σημείο του εσωτερικού χώρου βρίσκεται). Ακολουθούν μερικά screenshots που παρουσιάζουν τις βασικές λειτουργίες:

1. Επιλογή floor plan (μήνυμα GET_FLOOR_PLANS).



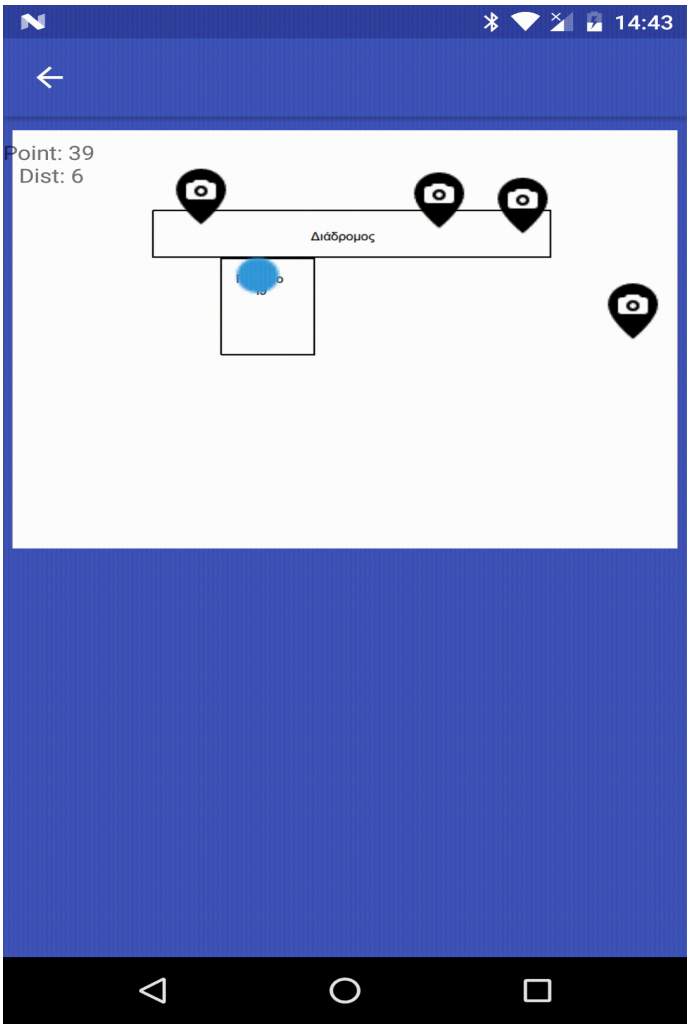
Εικόνα 11: Επιλογή Floor Plan

2. Προβολή Floor Plans (μηνύματα GET_LOCATIONS, GET_POIS). Βλέπουμε ότι τα απλά σημεία φαίνονται με μαύρα markers στο floor plan, ενώ τα σημεία ενδιαφέροντος έχουν επιπλέον το εικονίδιο της φωτογραφικής μηχανής.



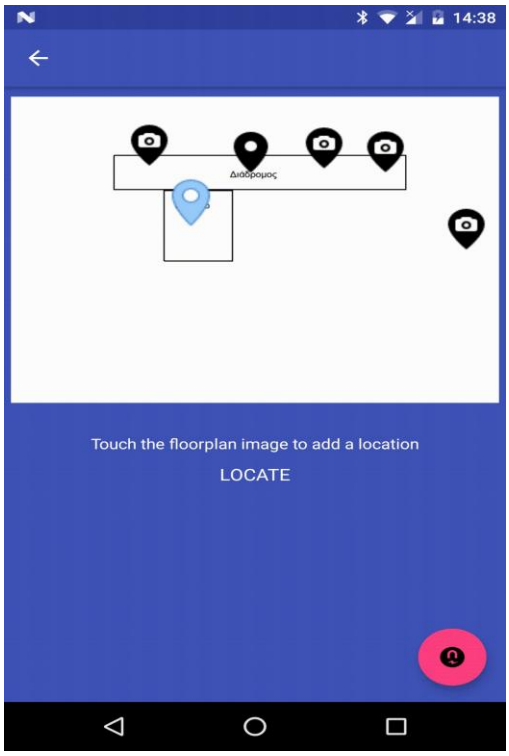
Εικόνα 12: Προβολή τοποθεσιών – σημείων ενδιαφέροντος

3. Προσδιορισμός τοποθεσίας (μήνυμα LOCATE). Βλέπουμε ότι ο server προσδιορίζει την τοποθεσία του client επιτυχώς, και η τοποθεσία αυτή εμφανίζεται με μια μπλε κουκίδα στον χάρτη.

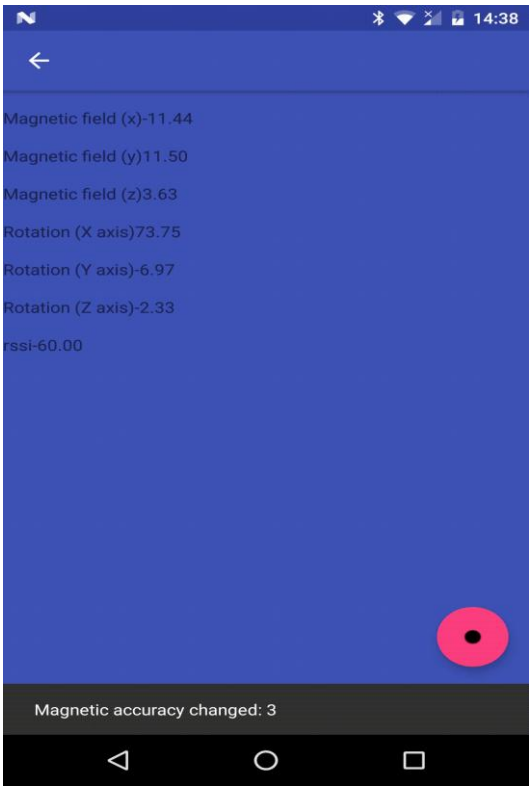


Εικόνα 13: Προσδιορισμός θέσης

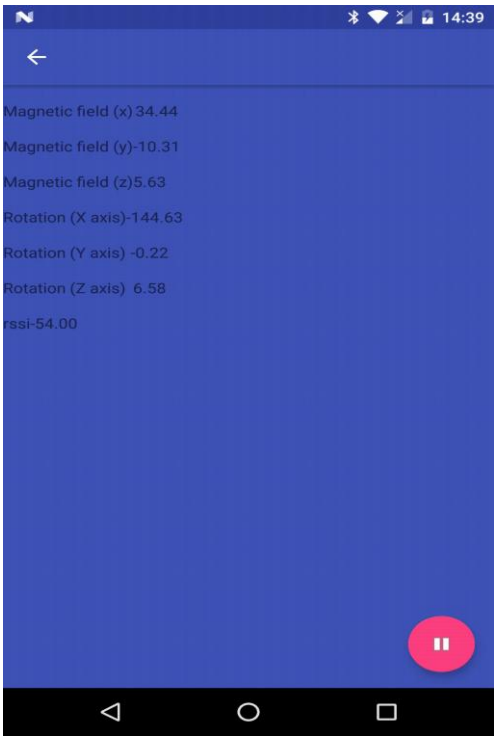
4. Προσθήκη fingerprints (μήνυμα ADD_FINGERPRINTS). Εδώ ο client επιλέγει μια απλή τοποθεσία ή ένα σημείο ενδιαφέροντος, μετράει τις τιμές του μαγνητικού πεδίου υπό διαφορετικές γωνίες (περιστρέφοντας το κινητό), και έπειτα ανεβάζει μεταφέρει τα fingerprints στον server για να καταγραφούν στην βάση δεδομένων του.



Εικόνα 14: Επιλογή σημείου για καταγραφή fingerprints



Εικόνα 15: Εκκίνηση καταγραφής fingerprints



Εικόνα 16: Παύση καταγραφής fingerprint

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την χρήση και την λειτουργία της Android εφαρμογής βρίσκονται στο github repository του indoor locator client [24].

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

Η χρήση του μαγνητικού πεδίου για τον προσδιορισμό της θέσης παρουσίαση πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια συγκριτικά με την λύση που ήταν βασισμένη στο BLE. Συγκεκριμένα, μπορέσαμε και επιτύχαμε ακρίβεια περί των 2-3 μέτρων και οι μετρήσεις μας παρουσίαζαν μεγαλύτερη σταθερότητα.

Πλεονεκτήματα

Ο εντοπισμός θέσης με χρήση του μαγνητικού πεδίου δεν απαιτεί εγκατάσταση ειδικού εξοπλισμού, οπότε το αρχικό κόστος εγκατάστασης είναι μηδενικό.

Όσον αφορά τις απαιτήσεις του κινητού σε ενέργεια, επειδή δεν πραγματοποιείται συνεχόμενη σάρωση για ασύρματα σήματα το αποτύπωμα της όλης διαδικασίας στην μπαταρία του κινητού είναι πολύ μικρότερα (σε σύγκριση με το BLE).

Ακόμη, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές τόσο με την παρουσία ανθρώπων και αρκετών ασύρματων συσκευών (λαπτοπ – κινητών) στον χώρο, όσο και χωρίς ανθρώπους – συσκευές και επιβεβαιώθηκε η αρχική μας υπόθεση, ότι δηλαδή η ένταση του μαγνητικού πεδίου δεν επηρεάζεται από αυτούς τους παράγοντες.

Μειονεκτήματα

Ένα αρνητικό στοιχείο με το σύστημα που αναπτύχθηκε, είναι ότι οι μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου από διαφορετικές συσκευές διαφέρουν. Συνεπώς, χρήστες με διαφορετικό μοντέλο κινητού τηλεφώνου θα πρέπει να πάρουν ξεχωριστές μετρήσεις.

Ένα ακόμη πρόβλημα που παρατηρήσαμε είναι ότι οι μετρήσεις από τους αισθητήρες του κινητού, κυρίως αυτές που προέρχονται από το accelerometer παρουσιάζουν αρκετό θόρυβο (κυρίως non Gaussian).

Ένα ακόμη θέμα που θα πρέπει να αντιμετωπιστεί είναι το γεγονός ότι ακόμα και στον ίδιο εσωτερικό χώρο παρατηρήθηκαν σημεία με παρόμοιο μαγνητικό πεδίο (και άρα παρόμοια fingerprints αποθηκευμένα στην βάση). Η χρήση του RSSI από το συνδεδεμένο WiFi (αν είναι διαθέσιμο) αλλά και η λύση για τα False Positives που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο συνέβαλλαν κατά μεγάλο βαθμό στον σαφή διαχωρισμό τους.

Πρέπει να τονίσουμε ότι για να επιτύχουμε προσδιορισμό τοποθεσίας με ακρίβεια 2-3 μέτρων πρέπει να καταγράψουμε μεγάλο αριθμό μετρήσεων σε κάθε σημείο (για κάθε δυνατό προσανατολισμό του κινητού). Βάσει εμπειρικών δοκιμών ο αριθμός αυτός είναι περί τις 100 μετρήσεις για κάθε σημείο.

Τέλος, θα πρέπει η ακρίβεια να βελτιωθεί σημαντικά , διότι για ένα tracking σύστημα πραγματικού χρόνου χρειαζόμαστε ακρίβεια μικρότερη του 1 μέτρου.

Μελλοντικές Επεκτάσεις

Το πρότυπο σύστημα που αναπτύχθηκε παρουσίασε πως μπορεί να χρησιμοποιηθεί το μαγνητικό πεδίο για τον προσδιορισμό θέσης σε εσωτερικούς χώρους. Παρ όλα αυτά, το σύστημα αυτό χρειάζεται αρκετές βελτιώσεις – επεκτάσεις έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πραγματικά συστήματα εντοπισμού θέσης - πραγματικού χρόνου.

Αρχικά θα πρέπει να αντιμετωπιστεί ο θόρυβος που προκύπτει από τους αισθητήρες του κινητού (gyroscope, accelerometer). Μία σύντομη έρευνα στην βιβλιογραφία έδειξε ότι θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθεί η τεχνική Kalman Filtering ή Particle Filtering για την μείωση αυτού του θορύβου.

Έπειτα, για να επιτευχθεί ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια του προσδιορισμού θέσης θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί κάποιος πιο εξελιγμένος αλγόριθμος υπολογισμού της απόστασης μεταξύ των μετρήσεων (αντί της Ευκλείδιας απόστασης που χρησιμοποιήθηκε σε αυτήν την διπλωματική). Θα μπορούσε για παράδειγμα να χρησιμοποιηθεί η τεχνική των K-Nearest Neighbors (KNN).

Τέλος θα πρέπει να αντιμετωπιστεί το θέμα με τους αισθητήρες των κινητών και των προσανατολισμό τους. Αυτό μας ανάγκασε να παίρνουμε για κάθε σημείο μετρήσεις για διαφορετικό προσανατολισμό του κινητού, έτσι ώστε να καλύψουμε όλες τις δυνατές τιμές του μαγνητικού πεδίου για το συγκεκριμένο σημείο. Επίσης δημιούργησε πρόβλημα όταν διαφορετικοί τύποι αισθητήρων (από διαφορετικές συσκευές – από διαφορετικούς χρήστες) παρουσιάζουν διαφορετικές μετρήσεις για το ίδιο σημείο, και έτσι οι μετρήσεις ενός χρήστη δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν από άλλον χρήστη. Θα μπορούσε αυτή η σχέση προσανατολισμού – έντασης μαγνητικού πεδίου να μοντελοποιηθεί, και έτσι να περιγράφει μαθηματικά αυτήν η διακύμανση των μετρήσεων ανάλογα με τον προσανατολισμό του αισθητήρα.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ

Ξενόγλωσσοςl όρος	**Ελληνικός Όρος**
Indoor Positioning	Εντοπισμός θέσης σε εσωτερικό χώρο
Magnetic Field	Μαγνητικό πεδίο
Triangulation	Τριγωνοποίηση
Fingerprinting	Χαρτογράφηση
BLE beacons	Πακέτα “διαφήμισης” του πρωτοκόλλου BLE
Cell based Positioning	Εντοπισμός τοποθεσίας κυψέλης

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

BLE	Bluetooth Low Energy
RFID	Radio Frequency Identification
RSSI	Received Signal Strength Indication
GPS	Global Positioning System
WLAN	Wireless Local Area Network
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
RFC	Request For Comments

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[1] Neil E. Klepeis, Lawrence Berkeley National Laboratory, Survey, Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology (2001),The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants 20142019

[2] Stojanović, D & Stojanović, N. (2014). Indoor Localization and Tracking: Methods, Technologies and Research Challenges. Facta Universitatis. Series: Automatic Control and Robotics. 13. 57-72.

[3] Honkavirta, Ville & Perälä, Tommi & Ali-Löytty, Simo & Piché, Robert. (2009). A comparative survey of WLAN location fingerprinting methods. Proceedings - 6th Workshop on Positioning, Navigation and Communication, WPNC 2009. 243 - 251. 10.1109/WPNC.2009.4907834

[4] Faragher, R & Harle, R. (2014). An analysis of the accuracy of bluetooth low energy for indoor positioning applications. 1. 201-210.

[5] Z. Jianyong, L. Haiyong, C. Zili and L. Zhaohui, "RSSI based Bluetooth low energy indoor positioning," 2014 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), Busan, 2014, pp. 526-533.

[6] S. S. Chawathe, "Low-latency indoor localization using bluetooth beacons," 2009 12th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, St. Louis, MO, 2009, pp. 1-7.

[7] M. Chatzidakis, M. Loukerist, K. Gerakos and S. Hadjiefthymiades, "E-PreS: Monitoring and evaluation of natural hazard preparedness at school community," 2016 3rd International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM), Vienna, 2016, pp. 1-6.

[8] Y. Brian Bai, T. Gu and A. Hu, "Integrating Wi-Fi and magnetic field for fingerprinting based indoor positioning system," 2016 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), Alcala de Henares, 2016, pp. 1-6.

[9] M. Frassl, M. Angermann, M. Lichtenstern, P. Robertson, B. J. Julian and M. Doniec, "Magnetic maps of indoor environments for precise localization of legged and non-legged locomotion," 2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Tokyo, 2013, pp. 913-920.

[10] O. Rashid, P. Coulton and R. Edwards, "Implementing location based information/advertising for existing mobile phone users in indoor/urban environments," International Conference on Mobile Business (ICMB'05), 2005, pp. 377-383.

[11] M. Zaafir Barahim, M. Razvi Doomun and N. Joomun, "Low-Cost Bluetooth Mobile Positioning for Location-based Application," 2007 3rd IEEE/IFIP International Conference in Central Asia on Internet, Tashkent, 2007, pp. 1-4.

[12] Y. Wang, Xu Yang, Yutian Zhao, Yue Liu and L. Cuthbert, "Bluetooth positioning using RSSI and triangulation methods," 2013 IEEE 10th Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, 2013, pp. 837-842.

[13] http://zonith.com/

[14] Chung, Jaewoo & Donahoe, Matt & Schmandt, Chris & Kim, Ig-Jae & Razavi, Pedram & Wiseman, Micaela. (2011). Indoor location sensing using geo-magnetism. 141-154.

[15] Indoor Positioning System Indoor Atlas

[16] Eddystone BLE beacon.

[17] S.S. Chawathe, "Low-latency indoor localization using bluetooth beacons " , Intelligent Transportation Systems, 2009, 12th International IEEE Conference, pages 1-7

[18] Kenneth C. Cheung, Stephen S. Intille "An Inexpensive Bluetooth-Based Indoor Positioning Hack ", Proceedings of UbiComp 2006 Extended Abstracts. Springer-Verlag

[19] Marco Altini, Davide Brunelli, Elisabetta Farella, and Luca Benini, "Bluetooth Indoor Localization with Multiple Neural Networks" , Wireless Pervasive Computing (ISWPC), 2010 5th IEEE International Symposium pages 295 –300.

[20] Opus Reasearch - "Magnetic Positioning"

[21] Django Channels: https://channels.readthedocs.io/en/latest/

[22] Websockets: https://en.wikipedia.org/wiki/WebSocket

[23] Indoor Locator Server: https://github.com/Indoor-Positioning/indoor-locator-server

[24] Indoor Locator Client: https://github.com/Indoor-Positioning/indoor-locator
http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV-INF/001_099/001/01.01.01_60/gs_NFV-INF001v010101p.pdf