



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**Εντοπισμός και Παρακολούθηση Θέσης μέσω
Ασύρματων Δικτύων**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΓΕΡΑΚΑΚΗ Α. ΓΙΩΡΓΟΥ

Επιβλέπων : Ιωάννης Βασιλείου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2008

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Εντοπισμός και Παρακολούθηση Θέσης μέσω Ασύρματων Δικτύων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΓΕΡΑΚΑΚΗ Α. ΓΙΩΡΓΟΥ

Επιβλέπων : Ιωάννης Βασιλείου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 29^η Οκτωβρίου 2008.

.....
Ιωάννης Βασιλείου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Τιμολέων Σελλής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ανδρέας Σταφυλοπάτης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2008

.....
ΓΕΡΑΚΑΚΗΣ Α. ΓΙΩΡΓΟΣ

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

Copyright © Γερακάκης Α. Γιώργος, 2008

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Πρόλογος

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους κ. Τιμολέων Σελλή και κ. Ιωάννη Βασιλείου, καθηγητές του τομέα Τεχνολογίας Πληροφορικής και Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για την συμπαράστασή τους και τη συνδρομή τους στην εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Επιπλέον θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω και τον υποψήφιο Διδάκτορα κ. Σπύρο Αθανασίου για την πολύτιμη καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη την διάρκεια της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για τη συμπαράσταση που μου προσέφεραν όλα τα χρόνια των σπουδών μου.

Αθήνα, 29 Οκτωβρίου 2008

Γιώργος Γερακάκης

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η υλοποίηση τεχνικών για τον εντοπισμό (positioning) και τη συνεχή ιχνηλάτηση (tracking) της θέσης ενός κινούμενου χρήστη, στηριζόμενοι σε γενικής χρήσης ασύρματα δίκτυα, όπως π.χ. WiFi, GSM, κτλ. Η βασική ιδέα είναι η αξιοποίηση των σταθμών εκπομπής/βάσης, πάσης φύσεως ασύρματων δικτύων, ως απλών «φάρων» (beacons). Χωρίς να απαιτούμε διασύνδεση με το ασύρματο δίκτυο ή τη σύμφωνη γνώμη του ιδιοκτήτη του, κατορθώνουμε να προσφέρουμε υπηρεσίες εκτίμησης θέσης/ιχνηλάτησης με ακρίβεια ίδιας τάξης με αυτή που προσφέρει το δίκτυο GPS. Για παράδειγμα, τα ασύρματα δίκτυα WiFi που σχεδόν όλοι μας έχουμε στο σπίτι μας, εκπέμπουν διαρκώς ένα σήμα προς κάθε ενδιαφερόμενο, ακόμη και αν απαγορεύουν τη χρήση υπηρεσιών διασύνδεσης χωρίς τη συγκατάθεση του χειριστή. Επαληθεύοντας το ρητό «τα σκουπίδια ενός είναι ο πλούτος κάποιου άλλου», κατορθώνουμε να συλλέξουμε γνώση από αυτό το σήμα-σκουπίδι και τελικά να εξάγουμε πλούτο.

Οι τεχνικές μας είναι στην παρούσα φάση συμπληρωματικές υφιστάμενων μεθόδων (π.χ. GPS, A-GPS), ενώ μπορούν και να τις αντικαταστήσουν πλήρως υπό συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Σε κάθε περίπτωση, στόχος μας ήταν να αναζητήσουμε λύσεις στα εγγενή προβλήματα αξιοπιστίας (π.χ. εσωτερικοί χώροι), ευχρηστίας (π.χ. διακριτές συσκευές), αυτονομίας (π.χ. αυξημένη κατανάλωση GPS) και ασφάλειας (π.χ. αποκάλυψη της θέσης του χρήστη σε τρίτους) που οφείλονται στη χρήση υφιστάμενων μεθόδων.

Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας υλοποιήσαμε και αξιολογήσαμε τους σημαντικότερους αλγόριθμους της βιβλιογραφίας, ενώ προχωρήσαμε στην επέκτασή τους εισάγοντας νέες έννοιες και τεχνικές. Πέρα λοιπόν από την υλοποίηση και πειραματική αξιολόγηση της ακρίβειας και πολυπλοκότητας υφιστάμενων αλγορίθμων, η συνεισφορά μας συνοψίζεται: (α) στην προσαρμογή τεχνικών που έχουν αναπτυχθεί για εσωτερικούς χώρους, σε εξωτερικούς χώρους, (β) στην εισαγωγή τεχνικών προσαρμογής χάρτη (map matching) ως μοντέλο κίνησης, (γ) στην εισαγωγή τεχνικών προσαρμογής χάρτη για την εξομάλυνση και βελτίωση των αποτελεσμάτων και (δ) στη βελτίωση του τρόπου μέτρησης του σφάλματος τεχνικών εκτίμησης θέσης σε περίπτωση κίνησης σε οδικό δίκτυο ή γενικότερα έναν γράφο.

Λέξεις Κλειδιά: εντοπισμός θέσης, παρακολούθηση, ασύρματος εντοπισμός θέσης, αντιστοίχιση χάρτη, υπηρεσίες βάση θέσης, ασύρματα δίκτυα

Abstract

The purpose of the present diploma thesis is the implementation of positioning and tracking methods for mobile users, based on wireless networks. In order to achieve our goal, we exploit general purpose wireless networks such as the 802.11 networks, the GSM network, etc. The fundamental idea is the utilization of every kind of Access Point (AP) as a beacon. While we are not requiring an active connection to the wireless network, we are able to provide positioning and tracking services. The accuracy achieved and provided by our service can be comparable to GPS. For example, almost all of us own a home based wireless network. This network transmits signal constantly. The transmitted signal can be received by anyone even if the network services are restricted.

Our techniques are complementary of existing methods (such as GPS, A-GPS), but can fully replace them under certain circumstances. Our purpose was to seek for solutions regarding a series of problems including the inherent coverage problems (e.g. indoors positioning/tracking), user-friendly concerns (e.g. discrete devices), autonomy concerns (e.g. increased energy consumption due to a usage of a discrete GPS device) and security issues (e.g. third-parties acquiring knowledge regarding a user's position).of GPS.

The implementation and the experimental evaluation of the most important algorithms mentioned in the literature was our main purpose, but we also extended them by incorporating new notions and techniques. In order to be more precise, we can summarize our contribution to the following (a) expand indoor techniques in order to use them in outdoor environments, (b) introduce map matching techniques as a motion model, (c) introduce map matching techniques in order to smooth and improve the estimations and, (d) introduce improvements concerning the error measurement when motion is performed on a road network or a graph.

Keywords: localization, tracking, positioning, wireless positioning, map matching, location based services, wireless networks, wardriving

Πίνακας περιεχομένων

1	Εισαγωγή	1
1.1	Αντικείμενο της διπλωματικής.....	1
1.2	Οργάνωση του τόμου.....	2
2	Υπάρχουσες Τεχνικές Εντοπισμού Θέσης	5
2.1	Εύρεση θέσης (Positioning) και ιχνηλάτηση (Tracking)	6
2.2	Τεχνικές βασιζόμενες σε δορυφορικό δίκτυο	6
2.2.1	<i>Global Positioning System (GPS)</i>	8
2.2.2	<i>Galileo Positioning System</i>	9
2.2.3	<i>Beidou Positioning System</i>	10
2.2.4	<i>GLONASS</i>	10
2.2.5	<i>IRNS</i>	10
2.2.6	<i>DORIS</i>	10
2.2.7	<i>QZSS</i>	11
2.3	Τεχνικές Βασισμένες σε επίγειο δίκτυο	11
2.3.1	<i>Κινητή τηλεφωνία</i>	11
2.3.2	<i>Bluetooth</i>	15
2.3.3	<i>Υπέρυθρες</i>	16
2.3.4	<i>Ασύρματα δίκτυα 802.11 (WiFi)</i>	16
2.4	Συστήματα Εντοπισμού Θέσης για δίκτυα WiFi και GSM.....	19
2.4.1	<i>PlaceLab</i>	19
2.4.2	<i>Privacy Observant Location System (POLS)</i>	20
2.4.3	<i>PlaceEngine</i>	20
2.4.4	<i>Navizon</i>	20
2.4.5	<i>Skyhook Wireless</i>	21
2.4.6	<i>Cisco</i>	21
2.4.7	<i>Wigle.net</i>	21
3	Ανάλυση Τεχνικών για Δίκτυα 802.11	23
3.1	Ντετερμινιστικοί αλγόριθμοι	23

3.1.1	Κεντροειδής (<i>Centroid</i>)	24
3.1.2	Ραδιο-αποτυπώματα (<i>Fingerprinting</i>)	26
3.2	Μη ντετερμινιστικοί αλγόριθμοι.....	30
3.2.1	Φίλτρα <i>Bayes</i>	30
3.2.2	Φίλτρα <i>Kalman</i> (<i>Kalman filters</i>).....	31
3.2.3	Πολλαπλές-υποθετικές προσεγγίσεις (<i>multi-hypothesis approaches</i>)	32
3.2.4	Τοπολογικές Προσεγγίσεις (<i>Topological Approaches</i>).....	32
3.2.5	Μετρικές βασισμένες σε πλέγμα (<i>grid metrics</i>).....	32
3.2.6	Δειγματικές προσεγγίσεις (<i>Sample approaches</i>)	33
3.2.7	Φίλτρα σωματιδίων (<i>Particle Filtering</i>)	33
4	Επεκτάσεις και Βελτιώσεις Υφιστάμενων Τεχνικών για Δίκτυα 802.11	37
4.1	Map Matching	37
4.1.1	Ορισμός.....	37
4.1.2	Αξιοποίηση	38
4.2	Κεντροειδής	39
4.2.1	Λήψη των <i>k</i> -κοντινότερων (<i>k-nearest</i>)	40
4.2.2	Διαχωρισμός σε κατώφλια.....	41
4.2.3	Στάθμιση	43
4.3	Ραδιο-αποτυπώματα	44
4.4	Φίλτρα Σωματιδίων.....	45
5	Υλοποίηση.....	47
5.1	Λογική Αρχιτεκτονική	47
5.2	Πλατφόρμες και προγραμματιστικά εργαλεία	50
5.2.1	<i>PostgreSQL/PostGIS</i>	50
5.2.2	<i>Quantum GIS (Qgis)</i>	50
5.2.3	<i>Kismet</i>	50
5.2.4	<i>NetStumbler</i>	51
5.2.5	<i>Java Micro Edition</i>	51
5.2.6	<i>Microsoft Visual Studio 2005</i>	51
5.2.7	<i>Netbeans 6.1</i>	51
5.2.8	<i>psqlODBC</i>	52

5.2.9	<i>PostgreSQL JDBC</i>	52
5.2.10	<i>Βιβλιοθήκη γεωδαιτικών μετατροπών συντεταγμένων</i>	52
5.2.11	<i>ODBC Wrapper</i>	52
5.2.12	<i>XML parser</i>	52
5.2.13	<i>Carbide vs</i>	52
5.2.14	<i>Symbian OS 7 SDK</i>	53
5.3	Ανάλυση Υποσυστημάτων	53
5.3.1	<i>Συλλογή Δεδομένων WiFi</i>	53
5.3.2	<i>Χωρική Βάση Δεδομένων</i>	57
5.3.3	<i>Αλγόριθμοι εντοπισμού και παρακολούθησης</i>	60
5.3.4	<i>Συλλογή GSM δεδομένων</i>	68
5.3.5	<i>Ανάκτηση GSM δεδομένων</i>	75
6	Πειραματική Αξιολόγηση	85
6.1	<i>Συλλογή δεδομένων</i>	85
6.2	<i>Εντοπισμός (positioning)</i>	88
6.2.1	<i>Κεντροειδής</i>	89
6.2.2	<i>Μέθοδος Ραδιο-αποτυπωμάτων</i>	99
6.3	<i>Ιχνηλάτηση (tracking)</i>	103
6.3.1	<i>Φίλτρο σωματιδίων</i>	103
6.4	<i>Ειδικά θέματα</i>	106
6.4.1	<i>Χρόνος επεξεργασίας</i>	106
6.4.2	<i>Επίδραση πυκνότητας σημείων πρόσβασης</i>	107
6.4.3	<i>Επίδραση «ηλικίας» χάρτη</i>	108
6.4.4	<i>Επίδραση χαρτογράφησης</i>	109
6.4.5	<i>Επίδραση χρόνου στην ιχνηλάτηση</i>	110
6.4.6	<i>Κάλυψη και Υβριδικό μοντέλο</i>	111
6.5	<i>Σύνοψη αποτελεσμάτων</i>	117
7	Επίλογος	121
7.1	<i>Σύνοψη και συμπεράσματα</i>	121
7.2	<i>Μελλοντικές επεκτάσεις</i>	122
8	Βιβλιογραφία	125

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

1

Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής

Μέχρι σήμερα η πιο διαδομένη τεχνική για τον εντοπισμό θέσης αλλά και την καταγραφή της τροχιάς της κίνησης είναι το GPS. Όμως σειρά από μειονεκτήματα του ίδιου του GPS αλλά και οι τεχνολογικές εξελίξεις στο χώρο των ασύρματων δικτύων γενικότερα, οδηγούν στην τάση της εκμετάλλευσης της πληροφορίας που παρέχουν τα δίκτυα αυτά με απώτερο στόχο εφάμιλλη χρήση με αυτή του GPS. Επιχειρούνται διάφορες προσεγγίσεις, ειδικότερα στον τομέα όπου η χρήση του GPS δεν είναι δυνατή και αυτός δεν είναι άλλος από τον εντοπισμό θέσης σε εσωτερικούς χώρους.

Στη διαρκώς τεχνολογικά αναπτυσσόμενη καθημερινή μας ζωή έχουν εισβάλει συσκευές που για τη λειτουργία τους εκπέμπουν κάποιο σήμα. Κινητή τηλεφωνία, ασύρματα δίκτυα WiFi, δορυφορικά δίκτυα, υπέρυθρη τεχνολογία, ασύρματη τεχνολογία Bluetooth είναι μόνο μερικά παραδείγματα για τα είδη των τεχνολογιών που «ίπτανται» πάνω από τα κεφάλια μας. Προσπαθούμε λοιπόν, να ερευνήσουμε κατά πόσο μπορούμε να συνδυάσουμε όλες αυτές τις τεχνολογίες και να τις χρησιμοποιήσουμε για λειτουργίες εντοπισμού (χωρίς βέβαια να επηρεάζουμε την βασική και πρωτεύουσα λειτουργία τους). Με τον τρόπο αυτό, σήμα που εξυπηρετεί μία ανάγκη ενός ατόμου μπορεί να συνδράμει ώστε να επωφεληθούν και οι υπόλοιποι χωρίς να ζημιωθεί κανείς.

Πραγματοποιήθηκαν προσπάθειες ώστε να εκμεταλλευτούμε τις υπέρυθρες, την ασύρματη τεχνολογία Bluetooth και καθώς η ιδέα ωριμάζει επεκτείνεται προς τον ολοένα και αναπτυσσόμενο και αυξανόμενο χώρο των ασυρμάτων δικτύων (WiFi) αλλά και των δικτύων κινητής τηλεφωνίας με

επακόλουθη συνέπεια την επέκταση της μελέτης και σε εξωτερικούς χώρους. Πλέον υπάρχουν εφαρμογές οι οποίες αναλαμβάνουν να προσδιορίσουν τη θέση σας κάνοντας χρήση δεδομένων της συσκευής κινητής τηλεφωνίας ενώ ένα ενθουσιώδες κοινό αναλαμβάνει την ιδιότυπη «χαρτογράφηση» ολόκληρων περιοχών δημιουργώντας βάσεις δεδομένων που περιέχουν σημεία ασύρματης πρόσβασης και πληροφορίες ικανές να προσεγγίσουν την θέση μας.

Οι τεχνικές μας είναι στην παρούσα φάση συμπληρωματικές υφιστάμενων μεθόδων (π.χ. GPS, A-GPS), ενώ μπορούν και να τις αντικαταστήσουν πλήρως υπό συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Σε κάθε περίπτωση, στόχος μας ήταν να αναζητήσουμε λύσεις στα εγγενή προβλήματα αξιοπιστίας (π.χ. εσωτερικοί χώροι), ευχρηστίας (π.χ. διακριτές συσκευές), αυτονομίας (π.χ. αυξημένη κατανάλωση GPS) και ασφάλειας (π.χ. αποκάλυψη της θέσης του χρήστη σε τρίτους) που οφείλονται στη χρήση υφιστάμενων μεθόδων.

Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας υλοποιήσαμε και αξιολογήσαμε τους σημαντικότερους αλγόριθμους της βιβλιογραφίας, ενώ προχωρήσαμε στην επέκτασή τους εισάγοντας νέες έννοιες και τεχνικές. Πέρα λοιπόν από την υλοποίηση και πειραματική αξιολόγηση της ακρίβειας και πολυπλοκότητας υφιστάμενων αλγορίθμων, η συνεισφορά μας συνοψίζεται: (α) στην προσαρμογή τεχνικών που έχουν αναπτυχθεί για εσωτερικούς χώρους, σε εξωτερικούς χώρους, (β) στην εισαγωγή τεχνικών προσαρμογής χάρτη (map matching) ως μοντέλο κίνησης, (γ) στην εισαγωγή τεχνικών προσαρμογής χάρτη για την εξομάλυνση και βελτίωση των αποτελεσμάτων και (δ) στη βελτίωση του τρόπου μέτρησης του σφάλματος τεχνικών εκτίμησης θέσης σε περίπτωση κίνησης σε οδικό δίκτυο ή γενικότερα έναν γράφο.

1.2 Οργάνωση του τόμου

Ο τόμος της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελείται από επτά κεφάλαια, στα οποία γίνεται παρουσίαση των υφιστάμενων τεχνικών εύρεσης θέσης και ιχνηλάτησης, ανάλυση των υφιστάμενων αλγορίθμων εύρεσης θέσης και ιχνηλάτησης, κατάθεση βελτιώσεων και προσθηκών στους αλγορίθμους αυτούς, παρουσίαση της υλοποίησης του συστήματος που αποτέλεσε αρωγό στην προσπάθεια μας αυτή και τέλος τα αποτελέσματα των προσπαθειών μας όπως αυτά προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία την οποία ακολουθήσαμε. Ειδικότερα:

Το 1^ο κεφάλαιο είναι εισαγωγικό και περιγράφει σε γενικές γραμμές το αντικείμενο της εργασίας.

Στο 2^ο κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή στις έννοιες του εντοπισμού θέσης και της ιχνηλάτησης. Μελετάμε τις υπάρχουσες τεχνικές τις οποίες και έχουμε κατηγοριοποιήσει με βάση τον τύπο δικτύου στον οποίον στηρίζονται. Τέλος, παρουσιάζουμε και τις υπάρχουσες υλοποιήσεις

συστημάτων για τον εντοπισμό θέσης με βάση τα ασύρματα δίκτυα (WiFi), θέμα το οποίο και θα μας απασχολήσει εκτενέστερα.

Στο 3^ο κεφάλαιο παρουσιάζουμε και μελετάμε τους αλγόριθμους οι οποίοι έχουν υλοποιηθεί και εφαρμόζεται ώστε να επιτευχθεί η εύρεση θέσης και η ιχνηλάτηση. Κατηγοριοποιούμε τους αλγορίθμους σε ντετερμινιστικούς και μη ντετερμινιστικούς και αναλύουμε τον τρόπο λειτουργίας του κάθε αλγορίθμου, παρέχοντας όπου αυτό είναι εφικτό και τον αντίστοιχο ψευδοκώδικα.

Το 4^ο κεφάλαιο περιλαμβάνει τη μελέτη και τη συνεισφορά μας στη λειτουργία των αλγορίθμων που παρουσιάσαμε στο 3^ο κεφάλαιο. Εισάγουμε τον αναγνώστη στις τεχνικές προσαρμογής χάρτη (map matching) καθώς απαιτεί κομμάτι της δικής μας συνεισφοράς. Έπειτα, αναλύουμε διεξοδικά τις βελτιώσεις που προτείνουμε για κάθε αλγόριθμο με στόχο την αύξηση της αποδοτικότητας του εκάστοτε αλγορίθμου.

Το 5^ο κεφάλαιο αποτελεί το κεφάλαιο που περιγράφει το σύστημα που υλοποιήσαμε ώστε να είμαστε σε θέση να ελέγξουμε την ορθότητα των προτάσεων βελτίωσης που καταθέσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Αρχικά, περιγράφουμε τη λογική αρχιτεκτονική του συστήματος μας ώστε να καθορίσουμε τις υλικοτεχνικές απαιτήσεις του εγχειρήματος μας. Μετέπειτα, ακολουθεί η υλοποίηση του συστήματος αυτού. Παρουσιάζουμε τα εργαλεία τα οποία χρησιμοποιήσαμε και αναλύουμε κάθε υποσύστημα το οποίο απαρτίζει το σύστημα μας. Η ανάλυση κάθε υποσυστήματος περιλαμβάνει τον τρόπο δημιουργίας του κατάλληλου περιβάλλοντος για το εν λόγω υποσύστημα αλλά και την ανάλυση του κώδικα (αν αυτός υπάρχει) με τη χρήση UML διαγραμμάτων.

Το 6^ο κεφάλαιο αποτελεί την πειραματική αξιολόγηση την οποία και επιχειρήσαμε χάρη στο σύστημα το οποίο υλοποιήσαμε. Παρουσιάζουμε την πειραματική διαδικασία την οποία ακολουθήσαμε αλλά και αναλύουμε τα αποτελέσματα στα οποία οδηγηθήκαμε. Ελέγξαμε τόσο τον προσδιορισμό των βέλτιστων παραμέτρων για κάθε αλγόριθμο μας όσο και την επιρροή που ασκούν στην επίδοση των αλγορίθμων διάφοροι παράγοντες.

Το 7^ο κεφάλαιο αποτελεί μια σύνοψη της παρούσας διπλωματικής εργασίας και παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν. Επιπλέον, αναφέρονται πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις του συστήματος που υλοποιήθηκε.

2

Υπάρχουσες Τεχνικές Εντοπισμού Θέσης

Όπως προαναφέρθηκε, υπάρχει ήδη μια πληθώρα τεχνικών εντοπισμού θέσης, διαθέσιμη στο ευρύ κοινό. Οι τεχνικές αυτές χωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο προσδιορίζουν την θέση του χρήστη:

- Οι τεχνικές που βασίζονται σε αστερισμό δορυφόρων,
- Οι μέθοδοι που βασίζονται σε επίγειο δίκτυο,
- Συνδυασμός των ανωτέρω δύο μεθόδων, με απώτερο σκοπό την αύξηση της ακρίβειας και τέλος,
- Οι αδρανειακές μέθοδοι πλοήγησης.

Πρέπει να αναφερθεί ότι όλες οι προηγούμενες τεχνικές είναι προσεγγιστικές, αφού δεν υπολογίζουν με απόλυτη ακρίβεια την θέση, αλλά προσδιορίζουν ένα διάστημα στον χώρο μέσα στο οποίο βρίσκεται ο χρήστης. Το μέγεθος αυτού του διαστήματος και συνεπώς η ακρίβεια της υπολογιζόμενης θέσης, εξαρτάται άμεσα από την εκάστοτε τεχνική, αν και τα δορυφορικά συστήματα εντοπισμού θέσης είναι συνήθως ακριβέστερα από τις επίγειες μεθόδους.

Όλες οι αναφερόμενες μέθοδοι, με εξαίρεση τις αδρανειακές, βασίζονται σε φάρους (beacons), οι οποίοι είναι τοποθετημένοι είτε στην επιφάνεια της γης, είτε σε τροχιά γύρω από αυτήν και εκπέμπουν συνεχώς κάποιου είδους αναγνωριστικό σήμα. Απαραίτητη προϋπόθεση για τον εντοπισμό της θέσης του τελικού χρήστη, είναι η γνώση της θέσης των φάρων με εξαιρετικά μεγάλη ακρίβεια. Ο κινητός χρήστης επιχειρεί τον υπολογισμό είτε της απόστασης μεταξύ του ιδίου και των φάρων – σημείων αναφοράς, είτε της γωνίας της ευθείας που τους ενώνει ως προς τον ορίζοντα.

Γνωρίζοντας την ακριβή θέση των σημείων αναφοράς καθώς και την απόσταση ή την γωνία, το φορητό τερματικό έχει τη δυνατότητα να υπολογίσει την δική του θέση είτε στον τρισδιάστατο, είτε στον δισδιάστατο χώρο.

Αντίθετα με τις υπόλοιπες μεθόδους, οι αδρανειακές μέθοδοι πλοήγησης είναι πλήρως αυτόνομες, αφού δεν απαιτούν κανενός είδους beacon. Η χρήση τέτοιων μεθόδων έχει ατονήσει στις μέρες μας, αφού είναι λιγότερο ακριβείς από τις υπόλοιπες μεθόδους που βασίζονται σε φάρους και αναφέρονται για λόγους πληρότητας. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της κατηγορίας είναι η πλοήγηση ρομποτικών συσκευών (οικιακής χρήσης, διαστημική εξερεύνησης, κτλ).

2.1 Εύρεση θέσης (Positioning) και ιχνηλάτηση (Tracking)

Όταν αναφερόμαστε σε εντοπισμό θέσης, θα πρέπει να γίνει ο ακόλουθος διαχωρισμός ως προς το αντικείμενο που μας ενδιαφέρει. Διαχωρίζεται λοιπόν ο στόχος μας αναλόγως για το αν επιθυμούμε να προσδιορίσουμε την θέση ενός χρήστη κάποια χρονική στιγμή ή αν μας ενδιαφέρει να είμαστε σε θέση να μπορούμε να προσδιορίσουμε και να προσεγγίσουμε την τροχιά που καταγράφει ή έχει καταγράψει ένας χρήστης. Στην πρώτη περίπτωση ασχολούμαστε αποκλειστικά με την εύρεση θέσης (positioning) ενώ στην δεύτερη με την παρακολούθηση της τροχιάς (tracking).

Μπορούμε να αναλογιστούμε πως η εύρεση της τροχιάς αποτελείται από την επιμέρους εύρεση της θέσης του κινούμενου αντικειμένου, όμως υπεισέρχονται και άλλοι παράγοντες που συνθέτουν ένα πολύπλοκότερο και πιο σύνθετο πρόβλημα. Για την εύρεση θέσης θεωρούμε ότι έχουμε μηδενική ιστορική γνώση για προηγούμενες θέσεις του χρήστη και εξετάζουμε το πρόβλημα χωρίς την ύπαρξη κάποιου περιοριστικού πλαισίου ως προς την θέση και την περιοχή κίνησης του χρήστη. Να σημειώσουμε ότι η μηδενική γνώση αναφέρεται και στην περίπτωση όπου οι αιτήσεις για τον εντοπισμό θέσης γίνονται τόσο αραιά ώστε να μην είμαστε σε θέση να θεωρήσουμε την ύπαρξη ιστορικού μετρήσεων. Σε αντίθεση, όταν θέλουμε να προσεγγίσουμε την τροχιά ενός χρήστη, διατηρούμε ιστορικό των θέσεων ενός χρήστη ώστε να είμαστε σε θέση να περιορίσουμε την προσπάθειά μας σε μία συγκεκριμένη περιοχή.

Αλγόριθμοι και τεχνικές που υπάγονται στον ευρύτερο αυτό χώρο τυγχάνουν χρήσης είτε σε έναν από τους δύο τομείς είτε και στους δύο, ενώ μεγάλη σημασία δίδεται στην ανάπτυξη ευριστικών μεθόδων για την όσο καλύτερη εκμετάλλευση του ιστορικού και την εξόρυξη δεδομένων που συνδράμουν σε βελτιωμένη προσέγγιση της πραγματικής θέσης ή τροχιάς.

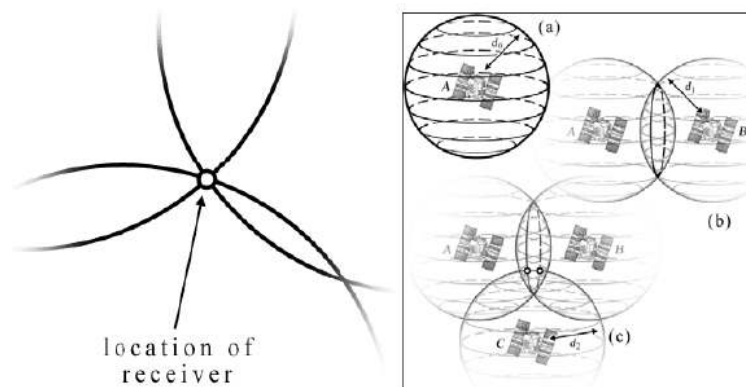
2.2 Τεχνικές βασιζόμενες σε δορυφορικό δίκτυο

Το Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης (Global Navigation Satellite System, GNSS) αποτελεί τον γενικότερο όρο για δορυφορικά συστήματα πλοήγησης που παρέχουν αυτόνομο γεω-

χωρικό εντοπισμό θέσης με παγκόσμια κάλυψη. Ένα τέτοιο σύστημα επιτρέπει σε μικρές ηλεκτρονικές συσκευές να λειτουργήσουν ως δέκτες και να είναι σε θέση να καθορίσουν την θέση τους, προσδιορίζοντας γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος αλλά και υψόμετρο. Η επιτρεπτή απόκλιση είναι της τάξης των μερικών μέτρων. Για τον προσδιορισμό της θέσης ενός χρήστη δύναται να χρησιμοποιηθεί ένας αστερισμός δορυφόρων. Σε αυτήν την περίπτωση τοποθετούνται οι δορυφόροι σε τροχιά γύρω από την γη και εκπέμπουν κάθε στιγμή τη θέση τους και τη χρονική στιγμή εκπομπής του μηνύματος. Ο δέκτης λαμβάνει τα σήματα που εκπέμπουν οι ορατοί σε αυτόν δορυφόροι και υπολογίζει τη χρονική καθυστέρηση του σήματος. Με βάση την χρονική καθυστέρηση Δt_i , υπολογίζει την απόσταση μεταξύ του δορυφόρου i και της συσκευής, πολλαπλασιάζοντας τη με την ταχύτητα του φωτός.

$$L_i = c \cdot \Delta t_i, \text{ όπου } i L \text{ η απόσταση του δορυφόρου } i \text{ από την φορητή συσκευή}$$

Ο γεωμετρικός τόπος των σημείων με απόσταση $i L$ από τον δορυφόρο i είναι στην πραγματικότητα μία σφαίρα με κέντρο τον δορυφόρο και ακτίνα $i L$. Συνεπώς η συσκευή βρίσκεται στην τομή των σφαιρών. Αν υπάρχουν τουλάχιστον 4 ορατοί δορυφόροι, η τομή των σφαιρών είναι ακριβώς 1 σημείο στο χώρο, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Εικόνα 1: Θέση του φορητού τερματικού, όπως υπολογίζεται από την τομή των σφαιρών

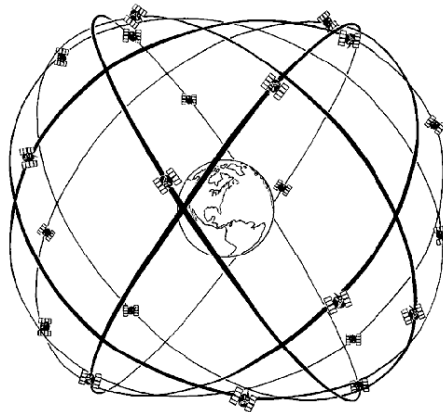
Ο υπολογισμός του ακριβούς χρόνου που απαιτείται για τον υπολογισμό της χρονικής διαφοράς του σήματος, γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο: Η συσκευή αρχικά θεωρεί ως δικό της χρόνο έναν αυθαίρετο χρόνο σχετικά κοντά στις χρονοσφραγίδες των σημάτων που λαμβάνει. Όσο οι σφαίρες που υπολογίζει δεν τέμνονται, γυρνάει προς τα πίσω το ρολόι της. Αν αντίθετα οι σφαίρες τέμνονται αλλά ορίζουν ολόκληρη περιοχή και όχι σημείο, πηγαίνει προς τα μπροστά το ρολόι της. Τελικά, μόλις οι σφαίρες τέμνονται σε ακριβώς ένα σημείο, έχει συγχρονίσει το ρολόι της με τους δορυφόρους και υπολογίζει την θέση της στον χώρο.

Πλέον λειτουργούν ή θα λειτουργήσουν τα εξής συστήματα

- **Navigation Signal Timing and Ranging – NAVSTAR** (το γνωστό Global Positioning System ή απλώς GPS) των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής,
- Galileo Positioning System, ΣινοΕυρωπαϊκό,
- **Global Navigation Satellite System (GLONASS)** της Ρωσικής Ομοσπονδίας (ημιλειτουργικό)
- Beidou Navigation System, που υπάρχει στην Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας.
- **Indian Regional Navigation Satellite Systems (IRNSS)**, της Ινδίας.
- DORIS, της Γαλλίας
- QZSS, της Ιαπωνίας.

2.2.1 *Global Positioning System (GPS)*

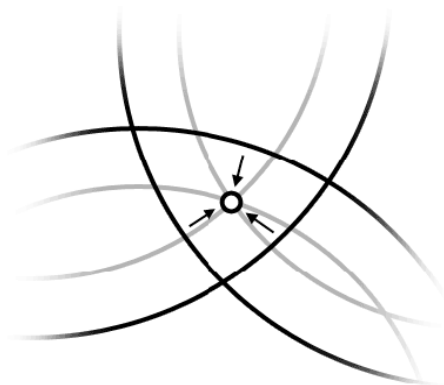
Αποτελείται από 21 κύριους και 3 εφεδρικούς δορυφόρους, οι οποίοι βρίσκονται σε υψόμετρο 20.200 km. Η περίοδος περιστροφής τους είναι 11 ώρες και 58 λεπτά, ώστε να συμπληρώνουν περίπου 2 πλήρεις περιστροφές την ημέρα. Ανά πάσα στιγμή, οπουδήποτε στην επιφάνεια της γης, τουλάχιστον 4 δορυφόροι είναι ορατοί.



Εικόνα 2: Χωρική κατανομή των δορυφόρων του GPS

Το σύστημα συντηρείται και ελέγχεται από το Υπουργείο Αμύνης των ΗΠΑ. Η ακρίβειά του είναι θεωρητικά 10m, αλλά πρακτικά λόγω διαφόρων αιτιών η ακρίβειά του μειώνεται στα 15m. Η κυβέρνηση των ΗΠΑ διατηρεί το δικαίωμα να ενεργοποιήσει οποτεδήποτε την επιλεκτική διαθεσιμότητα και να μειώσει την ακρίβεια του συστήματος στα 100m (ώστε να μη μπορεί να χρησιμοποιείται από εχθρικούς πυραύλους) ή να απαγορεύσει την εκπομπή πολιτικού σήματος GPS σε μια περιοχή, ή ακόμα και παγκόσμια. Τέλος, σε όλες τις πολιτικές συσκευές πρέπει να υπάρχει

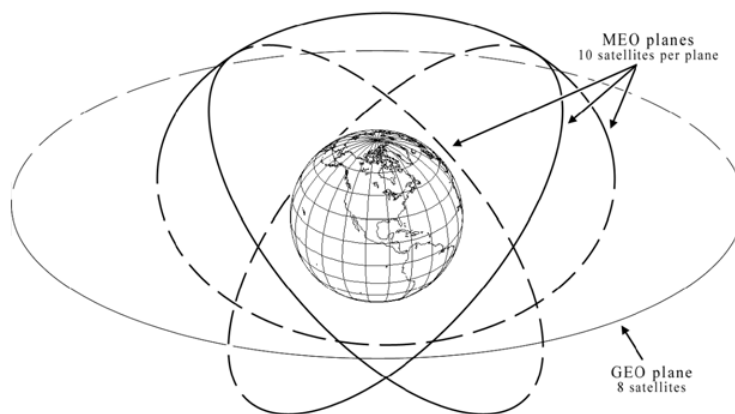
μηχανισμός που να απαγορεύει την εξαγωγή πληροφορίας όταν το υπολογιζόμενο ύψος είναι μεγαλύτερο από κάποιο όριο.



Εικόνα 3: Συγχρονισμός της συσκευής GPS. Ο συγχρονισμός είναι σωστός όταν οι σφαίρες τέμνονται σε ένα σημείο

2.2.2 Galileo Positioning System

Το Galileo βρίσκεται ακόμα σε αρχικό στάδιο. Αναπτύσσεται από κοινού από την Ευρωπαϊκή Ένωση και την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος. Το εκτιμώμενο κόστος είναι περίπου 3 δισεκατομμύρια Ευρώ, ενώ θα είναι πλήρως λειτουργικό από το 2010. Πλέον και τρίτες – μη ευρωπαϊκές – χώρες έχουν εισχωρήσει στο σχέδιο Galileo, ανάμεσά τους η Κίνα, το Ισραήλ και η Ινδία. Το Galileo θα παραμείνει υπό πολιτικό έλεγχο, σε αντίθεση με το αμερικάνικο GPS, ενώ η απενεργοποίησή του θα είναι δυνατή μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις. Η ακρίβειά που θα προσφέρει θα είναι ανώτερη του GPS, με 8m σφάλμα για όλους τους χρήστες και 1m σφάλμα για τους συνδρομητές. Το Galileo θα αποτελείται από 27 κύριους και 3 εφεδρικούς δορυφόρους σε ύψος 23.222 m, ενώ στο απώτερο μέλλον σχεδιάζεται να προστεθούν και 8 γεωδαιτικοί δορυφόροι για ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια κοντά στον ισημερινό.



Εικόνα 4: Χωρική κατανομή των δορυφόρων του Galileo

2.2.3 Beidou Positioning System

Το εγχείρημα της Κίνας τέθηκε ξεκίνησε να τίθεται σταδιακά σε λειτουργία από το 2000 και μόλις στις 3 Φεβρουαρίου του 2007 ολοκληρώθηκε και η εκτόξευση του τελευταίου δορυφόρου. Σε αντίθεση με το GPS και το Galileo, στο εν λόγω σύστημα χρησιμοποιούνται δορυφόροι που κινούνται σε γεωδαιτική τροχιά. Απόρροια αυτού είναι ο μικρός αριθμός δορυφόρων αλλά και η περιορισμένη κάλυψη στους πόλους. Συγκεκριμένα, υπηρεσία εύρεσης θέσης παρέχεται στις περιοχές που περικλείονται από 70°Α μέχρι 140°Α και από 5°Β μέχρι 55°Β. Το σύστημα αναμένεται να παρέχει δωρεάν υπηρεσίες με ακρίβεια έως και 10 μέτρα ενώ στα μελλοντικά σχέδια υπάρχει η εκτόξευση νέων δορυφόρων ώστε να μπορεί να παρέχει παγκόσμια κάλυψη.

2.2.4 GLONASS

Το GLONASS ελέγχεται από τη Ρωσική Ομοσπονδία. Η ανάπτυξη του επιβραδύνθηκε αρκετά λόγω της Ρωσικής οικονομικής κρίσης των προηγούμενων ετών αλλά τα τελευταία χρόνια επανακάμπτει. Πλέον λειτουργούν 16 δορυφόροι (3 από τους οποίους είναι εφεδρικοί) αλλά το σύστημα επικεντρώνεται στην παροχή υπηρεσιών κυρίως στο εσωτερικό της ρωσικής επικράτειας. Πιο συγκεκριμένα η παροχή της υπηρεσίας καλύπτει το 66.2% της ρωσικής επικράτειας και το 56% της συνολικής έκτασης της γης.

2.2.5 IRNS

Το IRNS αποτελεί ένα αυτόνομο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης το οποίο αναπτύσσεται από την Ινδική Οργάνωση Διαστημικής Έρευνας που βρίσκεται υπό τον έλεγχο της Ινδικής κυβέρνησης. Το έργο εγκρίθηκε από την Ινδική κυβέρνηση το 2006, θέτοντας ως στόχο την υλοποίηση και ολοκλήρωση του έργου μέχρι το 2012. Θα αποτελείται από 7 δορυφόρους το 2012 που θα τοποθετούν σε γεωστατική τροχιά ώστε να παρέχει ακριβέστερη κάλυψη στην περιοχή της Ινδίας με μικρότερο πλήθος δορυφόρων. Η ακρίβεια που πρόκειται να προσφέρει είναι της τάξης των 20 μέτρων.

2.2.6 DORIS

Η γαλλική προσπάθεια για σύστημα ακριβούς πλοήγησης γίνεται πραγματικότητα από τη Γαλλική Επιτροπή Διαστήματος. Βασική αρχή του συστήματος είναι το φαινόμενο Doppler ενώ ο βασικός τρόπος λειτουργίας απαιτεί δύο δράστες. Έναν επίγειο «φάρο» (beacon) και έναν δορυφόρο. Ο επίγειος φάρος εκπέμπει ένα σήμα το οποίο λαμβάνει ο δορυφόρος. Λόγω της μετατόπισης συχνότητας την οποία έχει υποστεί το σήμα από την κίνηση του δορυφόρου μπορούμε να υπολογίσουμε την τροχιά του δορυφόρου αλλά και επίγειες θέσεις. Το τωρινό επίγειο δίκτυο αποτελείται από 50 – 60 σταθμούς παγκόσμια ισοκατανεμημένους, διασφαλίζοντας αρκετά καλή

κάλυψη για τον υπολογισμό τροχιών. Για την εγκατάσταση ενός επίγειου φάρου, απαιτείται μόνο ηλεκτρικό ρεύμα διότι ο φάρος λειτουργεί αποκλειστικά ως πομπός και όχι ως δέκτης. Η ακρίβεια που εξασφαλίζουν για επίγειο εντοπισμό θέσης είναι λίγο χειρότερη από αυτή του GPS.

2.2.7 QZSS

Το σύστημα QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) αποτελεί μελλοντικό εγχείρημα και θα αποτελεί σύστημα 3 δορυφόρων για τη χρονική μεταφορά και βελτίωση του GPS όσον αφορά την κάλυψη στην περιοχή της Ιαπωνίας. Η εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου πρόκειται να γίνει κάπου στα τέλη του τρέχοντος έτους.

2.3 Τεχνικές Βασισμένες σε επίγειο δίκτυο

Σε αντίθεση με τις μεθόδους που αναπτύχθηκαν προηγουμένως, οι οποίες βασίζονταν σε αστερισμό δορυφόρων, υπάρχει η δυνατότητα να προσδιορίσουμε την θέση ενός χρήστη χρησιμοποιώντας επίγειους πομπούς. Οι πομποί μπορούν να ανήκουν είτε στο κυψελοειδές σύστημα της κινητής τηλεφωνίας, είτε σε κάποιο άλλου είδους ασύρματο δίκτυο, όπως WiFi, υπέρυθρες (IR) Bluetooth, κτλ.

2.3.1 Κινητή τηλεφωνία

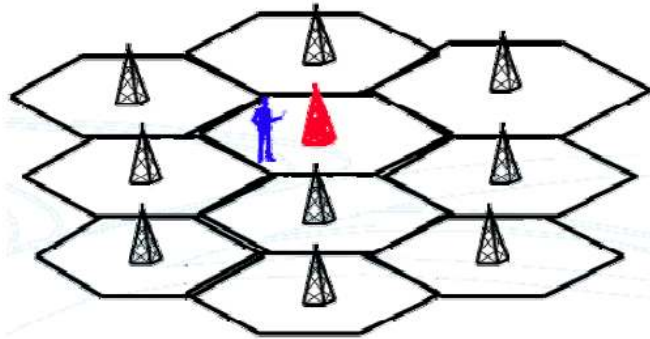
Το σύστημα κινητών επικοινωνιών αποτελείται από δύο διακριτά μέρη: τους σταθμούς βάσης και τα φορητά τερματικά. Κάθε σταθμός βάσης εκπέμπει στην περιοχή εμβέλειάς του σήμα για να είναι συνεχώς ορατός από τα κινητά τηλέφωνα. Η περιοχή εμβέλειας του σταθμού βάσης ονομάζεται κυψέλη και το σύμπλεγμα όλων των κυψελών, κυψελοειδές δίκτυο. Σε κάθε κυψέλη έχει αντιστοιχιστεί ένα μοναδικό αναγνωριστικό, το Παγκόσμιο Αναγνωριστικό της Κυψέλης (CGI – Cell Global Identifier), το οποίο εκπέμπεται συνεχώς.

Το CGI αποτελείται από 4 πεδία:

1. Mobile Country Code – MCC – Κωδικός Παρόχου
2. Mobile Network Code – MNC – Κωδικός Παρόχου
3. Location Area Code – LAC – Κωδικός Περιοχής
4. Cell ID, το οποίο είναι υποσύνολο του Cell Global Identifier.

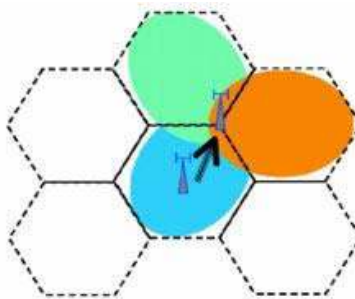
Το κινητό τηλέφωνο, όσο βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής, συνδέεται με την κυψέλη από την οποία λαμβάνει την μεγαλύτερη ισχύ και είναι σε θέση να γνωρίζει τον κωδικό της συνδεδεμένης κυψέλης, καθώς και την ισχύ του λαμβανόμενου σήματος σε dbm. Κάθε φορά που μειώνεται η

λαμβανόμενη ισχύς από τη συνδεδεμένη κυψέλη, το κινητό συνδέεται με την κυψέλη με την μέγιστη ισχύ, ενώ αν πραγματοποιείται κλήση εκείνη την στιγμή γίνεται διαπομπή της κλήσης στην νέα κυψέλη.



Εικόνα 5: Το κινητό είναι συνδεδεμένο στην κυψέλη από την οποία λαμβάνει ισχυρότερο σήμα

Συνήθως οι πάροχοι συγχωνεύουν τρεις σταθμούς βάσεις σε έναν κοινό σταθμό, ο οποίος ελέγχει τρεις κυψέλες ταυτόχρονα, οι οποίες πλέον αποτελούνται τομείς της νέας κυψέλης και τοποθετείται στην κοινή γωνία των τριών κυψελών. Αυτό γίνεται για οικονομικούς λόγους. Σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιούνται κατευθυντικές κεραίες με άνοιγμα από 65° μέχρι 85° , όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



Εικόνα 6: Συγχώνευση τριών σταθμών βάσης σε έναν.

Το μέγεθος της κυψέλης ποικίλει από μερικές εκατοντάδες μέτρα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές (μικροκυψέλες) σε μεγαλύτερο από 10 χιλιόμετρα σε αραιοκατοικημένες περιοχές (μακροκυψέλες). Η απόφαση για το μέγεθος της κυψέλης επαφίεται στον πάροχο των τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών ο οποίος συνυπολογίζει την ανάγκη για μικρές κυψέλες, ώστε να αναχρησιμοποιείται το πολύτιμο φάσμα σε γειτονικές κυψέλες και την αντικρουόμενη ανάγκη για μεγάλες κυψέλες, ώστε να περιορίζονται τα κόστη δημιουργίας και συντήρησης του δικτύου. Εξάλλου υπερβολικά μικρές κυψέλες αυξάνουν την πιθανότητα της διαπομπής μιας κλήσης σε νέα κυψέλη, αυξάνοντας το λειτουργικό κόστος. Το μέγεθος της κυψέλης είναι αρκετά σημαντικό γιατί, όπως θα δούμε αργότερα, επηρεάζει άμεσα την ακρίβεια των επίγειων μεθόδων.

Η εκτίμηση της θέσης ενός φορητού τερματικού μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε από τον πάροχο είτε από το ίδιο το κινητό τηλέφωνο.

2.3.1.1 Εκτίμησης της θέσης από τον πάροχο

Η εκτίμηση της θέσης ενός κινητού τηλεφώνου μπορεί να γίνει από τον ίδιο τον πάροχο. Το τελευταίο χρονικό διάστημα δόθηκε ώθηση στη μελέτη αυτών των τεχνικών, κυρίως λόγω νόμου της κυβέρνησης των Ηνωμένων Πολιτειών, ο οποίος υποχρεώνει τους παρόχους να είναι σε θέση να εντοπίσουν ένα κινητό τηλέφωνο, με ακρίβεια 100 ως 300 m, όταν πραγματοποιεί επείγουσα κλήση προς τον αριθμό 911. Αυτή η δυνατότητα είναι ευρύτερα γνωστή ως e-911. Η εκτίμηση της θέσης ενός κινητού τηλεφώνου από την μεριά του παρόχου, μπορεί να γίνει με έναν από τους ακόλουθους τρόπους:

- Time (Difference) of Arrival. Λαμβάνεται υπ' όψιν η χρονική καθυστέρηση στη λήψη του σήματος που εξέπεμψε το κινητό τηλέφωνο από τις γειτονικές κυψέλες. Όπως στο GPS, υπολογίζεται η απόσταση μεταξύ του κινητού και των κεραιών και από εκεί υπολογίζεται η θέση του.
- Angle of Arrival. Αντίστοιχα με το TOA, υπολογίζεται η γωνία άφιξης του σήματος στις κυψέλες. Η γωνία προκύπτει από τη χρονική καθυστέρηση ανάμεσα στα διαδοχικά στοιχεία της στοιχειοκεραίας της κυψέλης. Με βάση τη γωνία άφιξης υπολογίζεται η θέση του κινητού ως το σημείο τομής.

2.3.1.2 Εκτίμηση της θέσης από το φορητό τερματικό

Η εκτίμηση της θέσης ενός κινητού τηλεφώνου είναι δυνατή και από το ίδιο το φορητό τερματικό. Σε αντίθεση με τις μεθόδους εκτίμησης θέσης από τον πάροχο, απαιτούνται ασήμαντες ή και καθόλου αλλαγές στην υποδομή του δικτύου, κάνοντας τέτοιου είδους λύσεις αρκετά πιο ελκυστικές από τις προηγούμενες. Επιπροσθέτως, προάγεται ο σεβασμός της ιδιωτικότητας, αφού ο χρήστης έχει άμεσο έλεγχο πάνω στα ευαίσθητα προσωπικά δεδομένα που τον αφορούν.

Σημαντικό μειονέκτημα αποτελεί η έλλειψη πόρων από το κινητό τηλέφωνο, το οποίο, σε αντίθεση με τους σταθμούς βάσης, έχει εξαιρετικά περιορισμένους πόρους τόσο σε θέματα επεξεργαστή, όσο και σε θέματα μνήμης και χώρου αποθήκευσης γενικότερα. Επιβάλλεται δε οι αλγόριθμοι να είναι αρκετά απλούστεροι, ώστε να είναι υλοποιήσιμοι σε τέτοιου είδους συσκευές περιορισμένων δυνατοτήτων. Άμεση συνέπεια του τελευταίου είναι η συνήθως υποδεέστερη ποιότητα της εκτίμησης. Το φορητό τερματικό έχει τη δυνατότητα να εκτιμήσει την θέση του στον χώρο με μία από τις ακόλουθες μεθόδους:

- Enhanced Observed Time Difference (E-OTD). Πρόκειται για μία επίγεια υλοποίηση του GPS. Οι σταθμοί βάσης συγχρονίζονται και εκπέμπουν ταυτόχρονα, όπως και στο GPS, τη θέση τους στον χώρο και τη χρονοσφραγίδα εκπομπής. Το κινητό τηλέφωνο, λαμβάνοντας το σήμα από τις κοντινές σε αυτό κεραίες, υπολογίζει τη χρονική καθυστέρηση του σήματος την οποία ανάγει σε απόσταση. Με βάση την απόσταση από τους σταθμούς βάσης, εξάγει τη δική του θέση στο χώρο.
- Cell of Origin (COO). Σε αντίθεση με την E-OTD, το κινητό λαμβάνει υπ' όψιν μόνο την κυψέλη με την οποία είναι συνδεδεμένο καθώς και τη λαμβανόμενη ισχύ από αυτήν την κυψέλη και επιχειρεί να εκτιμήσει την θέση του στον χώρο.

2.3.1.3 Συνδυασμός τεχνικών

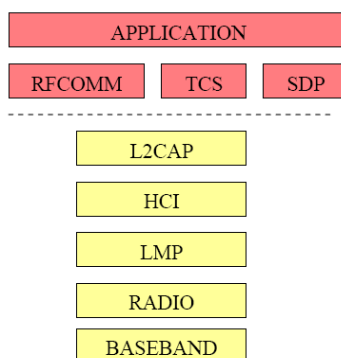
Για περαιτέρω βελτίωση της εκτίμησης GPS, είτε οποιασδήποτε άλλης δορυφορικής εκτίμησης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίγειο δίκτυο. Πρέπει να τονιστεί ότι οι ακόλουθες τεχνικές χρησιμοποιούνται αποκλειστικά και μόνο για την βελτίωση της εκτίμησης GPS και δε μπορούν να εφαρμοσθούν αν δεν υπάρχει διαθέσιμο δορυφορικό σήμα εντοπισμού.

- Differential GPS. Κατά το διαφορικό GPS, υπάρχουν επίγειοι σταθμοί οι οποίοι γνωρίζουν εκ των προτέρων, με ακρίβεια την θέση τους. Αυτοί οι σταθμοί υπολογίζουν το σφάλμα μεταξύ της πραγματικής θέσης και της εκτίμησης GPS και το εκπέμπουν έτσι ώστε να βελτιώσουν τις εκτιμήσεις τους όλες οι εντός εμβέλειας συμβατές συσκευές. Εκτός από την επιλεκτική διαθεσιμότητα, το DGPS μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την αντιστάθμιση σφαλμάτων λόγω των ατμοσφαιρικών φαινομένων και να αυξήσει περαιτέρω την ακρίβεια των εκτιμήσεων. Η βελτίωση που εισάγει το DGPS μειώνεται σταδιακά, όσο αυξάνεται η απόσταση από τον επίγειο σταθμό, ενώ εξουδετερώνεται όταν η φορητή συσκευή και ο σταθμός δεν βλέπουν τους ίδιους δορυφόρους.
- Assisted GPS. Το υποβοηθούμενο GPS χρησιμοποιείται κυρίως για την μείωση του χρόνου ψυχρής εκκίνησης για τον προσδιορισμό της θέσης. Ο χρόνος ψυχρής εκκίνησης αναφέρεται στο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από την στιγμή που εκκινήθηκε η συσκευή, η οποία δεν διαθέτει σύγχρονα δεδομένα στην μνήμη της για την τρέχουσα θέση, μέχρι να δοθεί το στίγμα GPS. Η συσκευή GPS πρέπει να είναι ενσωματωμένη σε μία συσκευή κινητού τηλεφώνου, για την εφαρμογή αυτής της μεθόδου. Στο AGPS, η συσκευή μεταβιβάζει τα δεδομένα από τους δορυφόρους στον σταθμό βάσης. Ο σταθμός βάσης γνωρίζει ήδη τη θέση της κυψέλης στον χώρο και με την αυξημένη επεξεργαστική του ισχύ, υπολογίζει ταχύτατα την θέση του κινητού στην κυψέλη και την επιστρέφει στο κινητό τηλέφωνο.

2.3.2 Bluetooth

Η ασύρματη τεχνολογία Bluetooth αποτελεί μία ανοικτή πλατφόρμα για την ασύρματη ραδιο-επικοινωνία. Χρησιμοποιεί το εύρος συχνοτήτων από 2400MHz έως 2483.5MHz ενώ την παρούσα χρονική στιγμή υπάρχουν τρεις κλάσεις συσκευών, καθώς διαφοροποιούνται ανάλογα με τη μέγιστη ισχύ σήματος που εκπέμπουν και συνεπώς και το λειτουργικό τους εύρος. Συσκευές της κλάσης I λειτουργούν με ισχύ 100mW έχοντας εύρος λειτουργίας που αγγίζει τα 33m. Συσκευές της κλάσης II λειτουργούν με ισχύ εξόδου 2.4mW και συνεπώς το εύρος τους περιορίζεται στα 10m. Τέλος η κλάση III περιλαμβάνει συσκευές με ισχύ εξόδου ίση με 1mW και εύρος λειτουργίας γύρω στα 3m.

Η διαδικασία εκκίνησης και δημιουργίας επικοινωνίας μεταξύ δύο συσκευών επιτυγχάνεται μέσω πέντε διακριτών επιπέδων, το φυσικό στρώμα, το στρώμα ραδιο-επικοινωνίας, το στρώμα διαχείρισης ζεύξης, το στρώμα διαχείρισης του τοπικού ελεγκτή και τέλος το στρώμα λογικού ελέγχου ζεύξης και πρωτόκολλα προσαρμογής.



Εικόνα 7: Στοιβα πρωτοκόλλων για το Bluetooth

Όλες οι συσκευές κλάσης I πρέπει να υλοποιούν αν πρωτόκολλο διατήρησης ενέργειας το οποίο τους επιτρέπει να ρυθμίζουν δυναμικά τα επίπεδα της ισχύος εξόδου ώστε να επιτύχουν τον την καλύτερη αποδοχή σήματος χωρίς να σπαταλούν ενέργεια.

Στο πρωτόκολλο δικτύωσης διακρίνονται δύο ρόλοι, αφέντης (master) και σκλάβος (slave). Σύμφωνα με τις προδιαγραφές του πρωτοκόλλου κάθε συσκευή μπορεί να έχει στο «δίκτυο» του έως και 7 συσκευές «σκλάβους».

Η ιδιότητα της δυναμικής ρύθμισης της ισχύος εξόδου, μας παρέχει δεδομένα ώστε να είμαστε σε θέση να προβλέψουμε την απόσταση (και άρα τη θέση) μεταξύ δύο συσκευών. Για κάθε Bluetooth συσκευή υπάρχει ένα εύρος ισχύος κατά το οποίο η λειτουργία της συσκευής γίνεται βέλτιστη. Βέβαια για κάθε συσκευή το εύρος αυτό είναι διαφορετικό αλλά γενικά το χαμηλότερο όριο είναι τα 6dB άνω της πραγματικής ευαισθησίας του δέκτη (και όχι περισσότερο από -56dBm). Το άνω όριο είναι τα 20dB πάνω από το κατώτερο όριο με σφάλμα να κυμαίνεται γύρω στα 6 dB.

Το εύρος αυτό μας δίνει αρκετές πληροφορίες ώστε να είμαστε σε θέση να αποκομίσουμε τρεις εκτιμήσεις θέσεως, στις οποίες εφαρμόζοντας τριγωνοποίηση είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται σε αποστάσεις κοντά στα 7 μέτρα είναι πάρα πολύ καλή ενώ όσο απομακρύνεται η συσκευή που θέλουμε να εντοπίσουμε το σφάλμα μπορεί να φτάσει έως και τα 5 μέτρα.

Λόγω της μικρής εμβέλειας του, ο εντοπισμός θέσης μέσω Bluetooth μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε εσωτερικούς χώρους. Λόγω της καθολικής αποδοχής του Bluetooth ιδίως από τις συσκευές κινητής τηλεφωνίας, η ανάπτυξη του Bluetooth θα συνεχίσει με συνέπεια την βελτίωση των υπαρχόντων πρωτοκόλλων, δημιουργώντας πρόσφορο έδαφος για την υλοποίηση τέτοιων συστημάτων.

2.3.3 Υπερύθρες

Η χρήση δικτύου από εκπομπούς και δέκτες υπερύθρων αποτελεί μία από τις πρώτες ιδέες και υλοποιήσεις συστημάτων εντοπισμού. Όπως βέβαια και το Bluetooth, η εμβέλεια για τα δίκτυα των υπερύθρων είναι αρκετά περιορισμένη, συνεπώς και η εν λόγω μέθοδος υλοποιείται για εσωτερικούς και όχι για εξωτερικούς χώρους.

Για να γίνει αντιληπτός ο τρόπος λειτουργίας ας θεωρήσουμε ότι έχουμε ένα χώρο γραφείων, όπου σε διάσπαρτα αλλά κομβικά σημεία είναι τοποθετημένοι στατικοί δέκτες υπερύθρων. Μηχανήματα ή και εργαζόμενοι φέρουν σε εμφανές σημείο έναν πομπό υπερύθρων, ο οποίος κάθε τέταρτο του δευτερολέπτου αποστέλλει ως σήμα την ταυτότητα του (που είναι μοναδική για κάθε πομπό). Το σήμα αυτό λαμβάνεται από τους στατικούς δέκτες και αποστέλλεται εκ νέου σε μία βάση δεδομένων όπου αποθηκεύεται ο δέκτης ο οποίος έλαβε το σήμα αλλά και το αναγνωριστικό το οποίο έλαβε. Εκμεταλλευόμενοι λοιπόν ότι οι δέκτες είναι στατικοί, γνωρίζουμε σε ποιο χώρο γραφείου βρίσκεται ο φέρων το εν λόγω αναγνωριστικό.

Όπως θα δούμε παρακάτω, πλέον είναι εύκολος ο εντοπισμός θέσης με τη χρήση των ασύρματων δικτύων υπολογιστών, δίκτυα που μπορούν σε κάθε περίπτωση να παρέχουν περισσότερες και καλύτερες ποιοτικά πληροφορίες. Για το λόγο αυτό, η τεχνολογία των υπερύθρων στον εν λόγω τομέα τείνει να εγκαταλειφθεί.

2.3.4 Ασύρματα δίκτυα 802.11 (WiFi)

Όλα τα ασύρματα δίκτυα υπολογιστών υπάγονται στα πρότυπα που έχουν καθοριστεί ως IEEE 802.11. Καταλαμβάνουν το φάσμα των συχνοτήτων των 5GHz και 2.4GHz. Η οικογένεια των δικτύων 802.11 περιλαμβάνει τεχνικές διαμόρφωσης που χρησιμοποιούν το ίδιο πρωτόκολλο. Τα πιο γνωστά είναι τα 802.11b και 802.11g αν και το πρώτο ασύρματο πρωτότυπο ήταν το 802.11-1997. Τελικά επικράτησε το 802.11b, για να το διαδεχθεί το 802.11g. Πλέον, σύντομα πρόκειται να δούμε το 802.11n να κυριαρχεί καθώς εισάγει μία νέα πολύ-ρευματική τεχνική διαμόρφωσης (multi-streaming modulation) και ενώ βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο, τα οφέλη του κυρίως στο χώρο

της ταχύτητας της ζεύξης αλλά και στο μεγαλύτερο εύρος κάλυψης, έχουν οδηγήσει πολλές εταιρίες να παρέχουν προϊόντα με το 802.11n ακόμα και σε αυτό το πρώιμο στάδιο.

Τα 802.11b και 802.11g χρησιμοποιούν την μπάντα των 2.4GHz γεγονός που αρκετές φορές οδηγεί σε παρεμβολές από συσκευές μικροκυμάτων και ασύρματα τηλέφωνα. Θεωρητικά, αν και οι συσκευές Bluetooth λειτουργούν στο ίδιο εύρος ζώνης, δεν προκαλούν προβλήματα καθώς μπορούν να μεταβάλλουν τη συχνότητα τους. Η μέγιστη ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων για το μεν 802.11b είναι 11Mbit/s ενώ το νεότερο 802.11g λειτουργεί με μέγιστη ταχύτητα ζεύξης τα 54Mbit/s.

Η αρχιτεκτονική των δικτύων LAN 802.11 έχει ως βασική δομική μονάδα μία κυψέλη, γνωστή σαν βασικό σύνολο υπηρεσίας (basic services set, BSS, όπως αναφέρεται και στην ορολογία του 802.11). Ένα BSS περιέχει τυπικά έναν ή περισσότερους ασύρματους σταθμούς και έναν κεντρικό σταθμό βάσης, γνωστό σαν σημείο πρόσβασης (Access Point, AP). Οι ασύρματοι σταθμοί, μπορεί να είναι σταθεροί ή και κινητοί, ενώ επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο ασύρματου MAC IEEE 802.11. Οι σταθμοί IEEE 802.11 μπορούν επίσης να ομαδοποιηθούν για να δημιουργήσουν ένα ad-hoc δίκτυο, δίκτυο χωρίς κεντρικό έλεγχο και χωρίς συνδέσεις με τον εξωτερικό κόσμο.

Σήμερα συναντάμε και τους δύο τύπους δικτύων (AP και ad-hoc) ενώ το κυρίαρχο πρωτόκολλο είναι το 802.11g. Οι ευκολίες της ασύρματης δικτύωσης όπως η ευκολία συγκρότησης τοπικού δικτύου άνευ τη χρήση καλωδίων για αρκετά μεγάλο εύρος, οδήγησαν στη ραγδαία εξάπλωση των ασυρμάτων δικτύων και την καθιέρωση τους. Συγκεκριμένα στην Ελλάδα, τα τελευταία χρόνια παρατηρούμε την αύξηση των συνδρομητών ADSL γεγονός που συνάδει με την προμήθεια και του απαραίτητου δικτυακού εξοπλισμού. Το δέλεαρ της ασύρματης δικτύωσης και της αποφυγής χρήσης καλωδίων ωθεί όλο και μεγαλύτερο μέρος των χρηστών του ADSL να προμηθεύονται ασύρματους δρομολογητές. Έτσι, κάνουν την εμφάνισή τους όλο και περισσότερα ασύρματα δίκτυα. Επίσης, αρκετές συσκευές κινητής τηλεφωνίας έχουν ενσωματωμένο WiFi παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα στους χρήστες να συνδεθούν μέσω αυτού στο διαδίκτυο. Βλέπουμε δηλαδή ότι αρκετές συσκευές που μεγάλο μέρος του πληθυσμού χρησιμοποιεί καθημερινά παρέχουν τη δυνατότητα ασύρματης δικτύωσης.

Ας εξετάσουμε όμως ενδελεχώς τον τρόπο λειτουργίας του WiFi ώστε να μπορέσουμε να κατανοήσουμε για ποιον λόγο μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την τεχνολογία αυτή για τους σκοπούς μας. Θα αποφύγουμε να αναφέρουμε τις λεπτομέρειες του 802.11 καθώς είναι σε αρκετά χαμηλό επίπεδο και δεν μας προσφέρουν την γνώση για το ζητούμενο μας. Πως λειτουργεί λοιπόν τα WiFi;

Το Access Point είναι η πηγή πακέτων που αποστέλλονται στη συχνότητα στην οποία λειτουργεί (2.4 ή 5 GHz). Αποστέλλει πακέτα ανά τακτά χρονικά διαστήματα, «διαφημίζοντας» την ύπαρξη του. Κάθε πακέτο περιέχει πληροφορίες τόσο για το όνομα του AP, όσο και για άλλα σημαντικά στοιχεία, όπως την ισχύ του σήματος, τον τύπο του ασύρματου δικτύου, την ασφάλεια αυτού και

άλλα. Το βεληνεκές του σήματος που αποστέλλει φτάνει περίπου τα 100 μέτρα. Αν το σήμα ήταν πιο ισχυρό ώστε να έχει μεγαλύτερο βεληνεκές, θα παρουσιάζονταν προβλήματα υγείας καθώς θα έπρεπε να αυξηθεί η ισχύς εξόδου. Κάθε τερματικό που βρίσκεται εντός της περιοχής κάλυψης του AP αυτού, λαμβάνει από τη συχνότητα αυτή τα πακέτα και μπορεί να γνωστοποιήσει στον χρήστη την ύπαρξη του και την ισχύ σήματος με την οποία παρέλαβε το πακέτο. Όπως είναι και διαισθητικά εμφανές, όσο κοντύτερα στην πηγή του σήματος, τόσο ισχυρότερο θα είναι το σήμα που θα λάβουμε. Τα μεγάλα πλεονεκτήματα της διαδικασίας αυτής είναι τα ακόλουθα. Πρώτον, ο χρήστης δεν είναι υποχρεωμένος να ανταλλάξει (εξαρτάται βέβαια και από την υλοποίηση) κανένα πακέτο με το AP γνωστοποιώντας κάποιο στοιχείο του, διατηρώντας με τον τρόπο αυτό την ανωνυμία του. Το δεύτερο είναι, ότι ένας δέκτης μπορεί να εντοπίσει όλα τα ασύρματα δίκτυα τα οποία καλύπτουν την περιοχή που βρίσκεται.

Παρατηρούμε λοιπόν, ότι έχουμε πληροφορίες που μπορούν να μας τοποθετήσουν σε έναν χώρο εν γένει, αλλά και να μας παρέχουν εκτίμηση για τη θέση μας, εφόσον εκμεταλλευτούμε τη σχέση μεταξύ λαμβανόμενης ισχύς σήματος και απόστασης από την πηγή του σήματος. Συνδυάζοντας τις γνώσεις αυτές, με την ανωνυμία που παρέχεται αλλά και την ταχεία εξάπλωση ασύρματων δικτύων και συσκευών, είναι προφανές πως τα ασύρματα δίκτυα αποτελούν μία βέλτιστη επιλογή για υπηρεσίες εντοπισμού θέσης.

Βέβαια, υπάρχουν αρκετές τεχνολογίες που θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε ώστε να επιτύχουμε το ζητούμενο, με πρώτη και καλύτερη αυτή του GPS, που αποτελεί λύση δοκιμασμένη με επιτυχή αποτελέσματα. Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας υπάρχουν επίσης παντού παρέχοντας σχεδόν ολική κάλυψη. Όμως, οι τεχνολογίες αυτές παρουσιάζουν μειονεκτήματα τα οποία μας έστρεψαν προς την εκμετάλλευση των WiFi δικτύων. Ας παρουσιάσουμε τα μειονεκτήματα της εκάστοτε τεχνολογίας.

Το GPS ξεκίνησε ως πολεμική τεχνολογία ελεγχόμενη από τις Η.Π.Α. Αν και η περίπτωση η υπηρεσία του GPS να διακοπεί εντελώς είναι κάπως απίθανο, η ακρίβεια της εκτίμησης μπορεί να μειωθεί ανά πάσα χρονική στιγμή. Συνέπεια αυτού είναι πως όλα τα συστήματα εξαρτώμενα από αυτό θα αντιμετωπίσουν προβλήματα, γεγονός που μας ωθεί έστω σε μία εναλλακτική λύση. Όμως, το GPS αποτυγχάνει και αλλού. Τα μεγάλα αστικά κέντρα περιέχουν περιοχές, επονομαζόμενες ως «αστικά φαράγγια» όπου το σήμα του GPS είτε χάνεται είτε δεν μπορεί να παρέχει ορθή εκτίμηση θέσης. Αιτία αυτού του φαινομένου είναι η άναρχη δόμηση και οι υψομετρικές διαφορές μεταξύ των κτιρίων στην περιοχή που διαμορφώνουν περιβάλλον όπου το σήμα ανακλάται συνεχώς με συνέπεια να είναι δύσκολο να φτάσει στον δορυφόρο. Τέλος, η χρήση του GPS απαιτεί την χρήση μιας συσκευής η οποία καταναλώνει ενέργεια για να επιτελεί μία και μοναδική λειτουργία γεγονός που αφαιρεί αυτονομία από τον χρήστη αλλά και καταναλώνει ενέργεια.

Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας δεν αποτελούν ούτε αυτά ιδανική λύση. Όπως έχουμε αναφέρει ο εντοπισμός θέσης μπορεί να γίνει και από τον ίδιο τον πάροχο. Η λύση αυτή από την πλευρά του

παρόχου είναι ακριβή καθώς απαιτεί την εγκατάσταση επιπλέον εξοπλισμού ενώ από την πλευρά του χρήστη είναι ασύμφορη καθώς απειλείται η ιδιωτικότητά του. Η λύση της αυτόνομης εκτίμησης θέσης από τον χρήστη εξασφαλίζει την ιδιωτικότητα του χρήστη αλλά όχι και την καλή εκτίμηση θέσης, καθώς το σφάλμα είναι περίπου στα 300m. Το σφάλμα δεν μπορεί να μειωθεί ακόμα για κατασκευαστικούς λόγους όσον αφορά το λογισμικό των τηλεφώνων (ορατοί σταθμοί βάσης). Με τις τρέχουσες αλλαγές στο χώρο των λειτουργικών συστημάτων και την πρόοδο των λύσεων ανοικτού λογισμικού, σε λίγο καιρό θα είμαστε σε θέση να χρησιμοποιήσουμε τα κινητά για να δώσουμε λύση στο πρόβλημα αυτό.

Τα ασύρματα δίκτυα λοιπόν καταφέρνουν να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις μας για κάλυψη σε εσωτερικούς αλλά και εξωτερικούς χώρους, πετυχαίνουν ακρίβεια συγκρίσιμη με αυτή του GPS, παρέχουν αυτονομία καθώς χρησιμοποιούμε μια διαδεδομένη συσκευή για περισσότερες από μία χρήσεις, δεν επιβαρύνουν με επιπλέον κόστος καθώς δεν χρειάζονται αλλαγές στο υλικό, ενώ επιπλέον δεν απειλούν την ιδιωτικότητα του χρήστη. Για τους λόγους αυτούς επικεντρώναστε λοιπόν στα ασύρματα δίκτυα WiFi.

2.4 Συστήματα Εντοπισμού Θέσης για δίκτυα WiFi και GSM

Την παρούσα χρονική στιγμή υπάρχουν αρκετές εφαρμογές οι οποίες εκμεταλλεύονται τις δυνατότητες που παρέχουν τα αντίστοιχα δίκτυα στον εντοπισμό θέσης. Η εργασία μας ενδιαφέρεται κυρίως για τον εντοπισμό θέσης μέσω WiFi και GSM και για το λόγο αυτό θα εστιάσουμε στις δύο αυτές τεχνολογίες και τις υπάρχουσες υλοποιήσεις και εφαρμογές. Ενδεικτικά θα αναφέρουμε την εφαρμογή “BlueProximity” [BPP] όπου αναλαμβάνει να υπολογίσει την απόσταση του χρήστη από τον υπολογιστή βασιζόμενο στην εκπομπή του Bluetooth της συσκευής κινητής τηλεφωνίας την οποία και φέρει. Εφόσον η απόσταση ξεπεράσει κάποιο όριο «κλειδώνει» τον υπολογιστή.

2.4.1 PlaceLab

Το PlaceLab [PLB] αποτελεί λογισμικό που παρέχει με εύκολο και ανέξοδο τρόπο την δυνατότητα εντοπισμού θέσης. Καλύπτει τόσο εσωτερικούς όσο και εξωτερικούς χώρους (σε αντίθεση με το GPS). Η εύρεση θέσης πραγματοποιείται χωρίς την ανάγκη ύπαρξης συνεχής αλληλεπίδρασης με κάποια κεντρική υπηρεσία. Η δυνατότητα αυτή αποτελεί συγκριτικό πλεονέκτημα καθώς εξασφαλίζει την προστασία προσωπικών δεδομένων.

Η λειτουργία του PlaceLab επιτρέπει σε συσκευές όπως φορητοί υπολογιστές, PDAs αλλά και κινητά τηλέφωνα να εντοπίσουν τη θέση τους χρησιμοποιώντας ως δεδομένα τις ραδιο-κυψέλες οι οποίες βρίσκονται εντός εύρους. Οι ραδιο-κυψέλες μπορούν να είναι είτε σημεία πρόσβασης 802.11

(WiFi), κυψέλες του δικτύου GSM, αλλά και στατικά τοποθετημένες συσκευές Bluetooth που υπάρχουν σε πλήθος στο περιβάλλον μας. Κάθε κυψέλη έχει μοναδικό χαρακτηριστικό όπως λ.χ στο 802.11 όπου κάθε σημείο πρόσβασης έχει μοναδική διεύθυνση MAC. Συνεπώς, κάθε συσκευή εντοπίζει την θέση της χρησιμοποιώντας μία τοπικά αποθηκευμένη βάση όπου περιέχονται τα στοιχεία που αφορούν τη θέση.

Το PlaceLab παρέχει εργαλεία ώστε να μπορεί καθένας να δημιουργεί τους δικούς του χάρτες ώστε να μπορεί να το χρησιμοποιήσει στην δική του περιοχή. Περιλαμβάνει προγράμματα πελάτες για συσκευές κινητής τηλεφωνίας με λειτουργικό σύστημα S60 (version 2) αλλά και για όλα τα διαθέσιμα λειτουργικά συστήματα.

Το 2006 σταμάτησε η ενεργή ανάπτυξη του PlaceLab το οποίο έως τότε αποτελούσε κώδικα ανοικτού λογισμικού στο οποίο συμμετείχαν ενεργά τα ερευνητικά εργαστήρια της Intel τόσο με ερευνητικό έργο αλλά και με την παραγωγή κώδικα. Δυστυχώς, ταυτόχρονα αφαιρέθηκε και μεγάλο κομμάτι της λειτουργικότητας του PlaceLab γεγονός που πλέον το καθιστά ως μη λειτουργικό.

Μέρος της προσπάθειας και της τεχνογνωσίας που καλλιεργήθηκαν στο PlaceLab εισχώρησαν στην επόμενη λύση που υπάρχει που είναι το POLS.

2.4.2 Privacy Observant Location System (POLS)

Το Pols [PLS] όπως αναφέραμε είναι ουσιαστικά η συνέχεια του Placelab. Απευθύνεται αποκλειστικά σε συσκευές κινητής τηλεφωνίας και σε περιορισμένο εύρος κινητών (μοντέλα κυρίως της εταιρίας HTC). Ανάλογα με το μοντέλο, ανιχνεύονται τα ασύρματα δίκτυα και λαμβάνονται πληροφορίες σχετικές με το GSM δίκτυο. Τα στοιχεία αυτά συγκρίνονται με τα ήδη υπάρχοντα σε μία βάση δεδομένων ώστε να γίνει δυνατή η εξαγωγή της εκτιμώμενης θέσης. Αρνητικό σημείο είναι η μη δυνατότητα επέκτασης του συστήματος σε άλλες συσκευές γεγονός που οφείλεται στην μεγάλη εξάρτηση που έχει ο κώδικας του προγράμματος από το μοντέλο του κινητού τηλεφώνου.

2.4.3 PlaceEngine

Το PlaceEngine [PLE] είναι μια προσπάθεια για παροχή παρόμοιων υπηρεσιών που όμως εκμεταλλεύεται μόνο την ύπαρξη ασύρματων WiFi δικτύων και όχι GSM δικτύου. Παρέχει κάλυψη μόνο στην περιοχή της Ιαπωνίας αλλά για πληθώρα συσκευών και λειτουργικών συστημάτων. Η διαδικασία του εντοπισμού της θέσης περιλαμβάνει την αποστολή δεδομένων στον κεντρικό εξυπηρετητή της υπηρεσίας και τη λήψη της εκτιμώμενης θέσης. Η υπηρεσία παρέχει τη δυνατότητα χαρτογράφησης νέων περιοχών από τους ίδιους τους χρήστες.

2.4.4 Navizon

Η υπηρεσία της Navizon [NVZ] μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς χρέωση (αλλά και μειωμένη ακρίβεια) χρησιμοποιώντας πληροφορίες που λαμβάνονται μόνο από το GSM δίκτυο. Επίσης,

διατίθεται και υπηρεσία επί πληρωμής η οποία αξιοποιεί όλα τα δεδομένα είτε έχουν ληφθεί από το GSM δίκτυο είτε από υπάρχοντα ασύρματα WiFi δίκτυα ώστε να εξαχθεί η εκτιμώμενη θέση. Εδώ επίσης παρέχεται η δυνατότητα στον χρήστη της υπηρεσίας να χαρτογραφήσει νέες περιοχές. Τέλος παρέχεται για κάθε δυνατό λειτουργικό σύστημα υπολογιστή αλλά και για τα κυριότερα λειτουργικά συστήματα των συσκευών κινητής τηλεφωνίας.

2.4.5 Skyhook Wireless

Η SkyHook Wireless [SHW] εκμεταλλεύεται το συνδυασμό GPS, GSM, WiFi επιτυγχάνοντας ένα σύστημα εντοπισμού λειτουργικό τόσο σε εξωτερικούς όσο και σε εσωτερικούς χώρους. Παρέχει υπηρεσίες σε απλούς χρήστες με εφαρμογή (Loki) τόσο για κινητό τηλέφωνο όσο και για φορητό υπολογιστή. Ταυτόχρονα όμως παρέχει υπηρεσίες και σε εταιρίες παρέχοντας API ώστε να είναι σε θέση να εκμεταλλευτούν την υποδομή και τη λειτουργία της SkyHook Wireless.

Η εταιρία ξεκίνησε το 2003 και πλέον το κεφάλαιο της έχει ανέλθει στα 17 εκατομμύρια δολάρια. Η παροχή των υπηρεσιών της έχει μεγάλη αποδοχή καθώς ήδη χρησιμοποιείται στο iPhone της Apple για εύρεση θέσης ενώ έχει υπογράψει με την γνωστή εταιρεία Broadcom (η οποία παράγει chipsets για WiFi,) ώστε να ενσωματωθεί η λειτουργικότητα του λογισμικού της σε chipset. Απόρροια αυτού είναι το γεγονός πως όλο και μεγαλύτερο πλήθος φορητών συσκευών θα είναι σε θέση να χρησιμοποιεί υπηρεσίες βασισμένες στην γεωγραφική περιοχή που βρίσκεται ο χρήστης, ακόμα και αν η κάλυψη του GPS δεν είναι επαρκής [TCB08].

2.4.6 Cisco

Η Cisco [CSC] προσφέρει πλέον στην αγορά σημεία πρόσβασης WiFi τα οποία παρέχουν την εξής δυνατότητα στους χρήστες. Μπορούν να τροφοδοτήσουν το σημείο πρόσβασης με έναν χάρτη και να τον χρησιμοποιήσουν για πληθώρα εφαρμογών εντοπισμού. Με άλλα λόγια, το access point αναλαμβάνει να εντοπίζει την απόσταση στην οποία βρίσκεται κάποιος άλλος δέκτης/πομπός WiFi και να λαμβάνει τα κατάλληλα μέτρα όπως παραδείγματος χάριν να ειδοποιεί το διαχειριστή. Όπως είναι φανερό, η λειτουργία αυτή είναι η πιο απλή καθώς οι συγκεκριμένες συσκευές παρέχουν και API για τον προγραμματισμό τους γεγονός που τους προσδίδει μεγάλη ευελιξία αλλά και την ικανότητα για την παροχή αρκετών υπηρεσιών βασισμένων στην τοποθεσία.

2.4.7 Wigle.net

Το Wigle.net [WGN] αποτελεί μία παγκόσμια βάση δεδομένων που ως στόχο έχει τη συνεχή χαρτογράφηση περιοχών και των αντίστοιχων ασύρματων δικτύων ώστε να είναι σε θέση να παρέχει τις πληροφορίες αυτές σε όποιον τις ζητήσει. Η χαρτογράφηση γίνεται από το κοινό που ενδιαφέρεται για το στόχο αυτό και υποβάλλει τα δεδομένα που συνέλεξε ώστε να εμπλουτιστεί η βάση δεδομένων.

3

Ανάλυση Τεχνικών για Δίκτυα 802.11

Για τα ασύρματα δίκτυα WiFi οι μέθοδοι και οι τεχνικές μπορούν να ενταχθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Τις μεθόδους που βασίζονται σε κάποιον ντετερμινιστικό αλγόριθμο για την εξαγωγή του ζητούμενου (με απλά λόγια, η έξοδος θα είναι ίδια σε κάθε εκτέλεση αν τα δεδομένα εισόδου είναι ίδια) και στις μεθόδους που χρησιμοποιούν μη ντετερμινιστικούς αλγόριθμους (δηλαδή, δύο εκτελέσεις του ίδιου αλγορίθμου με ίδια δεδομένα εισόδου θα επιστρέψει διαφορετικές τιμές εξόδου). Το σύνολο των μεθόδων και των τεχνικών που πρόκειται να αναφερθούν, απαιτούν την ύπαρξη χαρτογραφημένης περιοχής. Δηλαδή, την καταγραφή μιας περιοχής ως διακριτά σημεία βάσει του γεωγραφικού μήκους και του γεωγραφικού πλάτους αλλά και τη γνώση των ασυρμάτων δικτύων τα οποία αντιλαμβανόμαστε στο εκάστοτε σημείο. Η καταγραφή αυτή περιέχει μοναδικά χαρακτηριστικά για το κάθε διακριτό ασύρματο δίκτυο όπως η φυσική διεύθυνση του (MAC-address) αλλά και την ισχύ σήματος στο εν λόγω σημείο. Για το υπόλοιπο του κεφαλαίου, θεωρούμε γνωστή την ύπαρξη της και την δυνατότητα χρήσης της, ενώ ο τρόπος δημιουργίας της θα εξηγηθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

3.1 Ντετερμινιστικοί αλγόριθμοι

Στην κατηγορία των ντετερμινιστικών αλγορίθμων ανήκουν αρκετές μέθοδοι και συνήθως αποτελούν την πιο εύκολη υπολογιστικά λύση, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι υστερούν σε ακρίβεια.

3.1.1 Κεντροειδής (Centroid)

Η κεντροειδής μέθοδος είναι η πιο απλή αλλά και η πιο γρήγορη μέθοδος για την εύρεση θέσης. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη λειτουργία της μεθόδου, είναι να θεωρήσουμε για κάθε διακριτό ασύρματο δίκτυο, το σημείο από το οποίο εκπέμπει. Φυσικά δεν είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε από ποιο σημείο εκπέμπει. Συνεπώς, εκμεταλλευόμαστε το γεγονός πως εμείς γνωρίζουμε μόνο σε ποιες θέσεις αντιλαμβανόμαστε το ασύρματο δίκτυο. Εκμεταλλευόμαστε λοιπόν τη γνώση αυτή ώστε να εξάγουμε τον αριθμητικό μέσο των θέσεων αυτών και θεωρούμε τη θέση αυτή ως το σημείο που βρίσκεται ο εκπομπός του ασύρματου δικτύου αυτού. Έτσι, δημιουργούμε έναν ιδιότυπο χάρτη της περιοχής όπου ουσιαστικά αναγράφουμε από ποιο σημείο θεωρούμε ότι εκπέμπει το συγκεκριμένο ασύρματο δίκτυο. Όταν λοιπόν μετέπειτα θα θελήσουμε να εντοπίσουμε τη θέση μας το μόνο που έχουμε να κάνουμε, είναι να δηλώσουμε στον αλγόριθμο ποια ασύρματα δίκτυα αντιλαμβανόμαστε. Ο αλγόριθμος θα αναλάβει να βρει τις θέσεις εκπομπής των ασυρμάτων που δηλώσαμε και θα μας επιστρέψει τον αριθμητικό μέσο αυτών ως την εκτιμώμενη θέση. Στο σχήμα που ακολουθεί μπορούμε να δούμε γραφικά τον υπολογισμό της θέσης εκπομπής ενός ασύρματου δικτύου.



Εικόνα 8: Κεντροειδής μέθοδος

Εν συνεχεία πρόκειται να αναλύσουμε τα επιμέρους τμήματα της μεθόδου ώστε να δούμε αναλυτικά τον τρόπο λειτουργίας της.

3.1.1.1 Δημιουργία Χάρτη

Ακολουθεί ο αλγόριθμος της δημιουργίας του χάρτη που θα χρειαστεί για την μετέπειτα λειτουργία της μεθόδου.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΑΡΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΕΝΤΡΟΕΙΔΗ ΜΕΘΟΔΟ

- 1 Επέλεξε όλα τα διακριτά ασύρματα δίκτυα.
- 2 Για κάθε ασύρματο δίκτυο κάνε:
 - 3 Εύρεση όλων των σημείων στα οποία αντιληφθήκαμε το συγκεκριμένο ασύρματο δίκτυο.
 - 4 Υπολογισμός του αριθμητικού μέσου.
 - 5 Καταχώρηση της θέσης ως το σημείο εκπομπής του εν λόγω ασύρματου δικτύου.
- 6 Τέλος

3.1.1.2 Εκτίμηση θέσης

Έχοντας λοιπόν δημιουργήσει το χάρτη της περιοχής που χαρτογραφήσαμε είμαστε έτοιμοι να εφαρμόσουμε τη μέθοδο. Κάθε χρονική στιγμή, ο χρήστης μας γνωστοποιεί ποια ασύρματα δίκτυα αντιλαμβάνεται. Χρησιμοποιώντας το χάρτη, διαπιστώνουμε ποια είναι τα σημεία εκπομπής των ασυρμάτων δικτύων, ενώ η εκτιμώμενη θέση προκύπτει ως ο αριθμητικός μέσος όλων των βάσεων των ασυρμάτων δικτύων. Όπως μπορούμε να δούμε αποτελεί μια αρκετά γρήγορη μέθοδο υπολογισμού με φυσικό επακόλουθο τη μειωμένη ακρίβεια. Σημαντικό όμως στοιχείο το οποίο συνηγορεί υπέρ του είναι η χαμηλή απαιτούμενη υπολογιστική ισχύ. Ακολουθεί ο αλγόριθμος υπολογισμού της εκτιμώμενης θέσης.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΗΣ ΘΕΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΚΕΝΤΡΟΕΙΔΗ ΜΕΘΟΔΟ

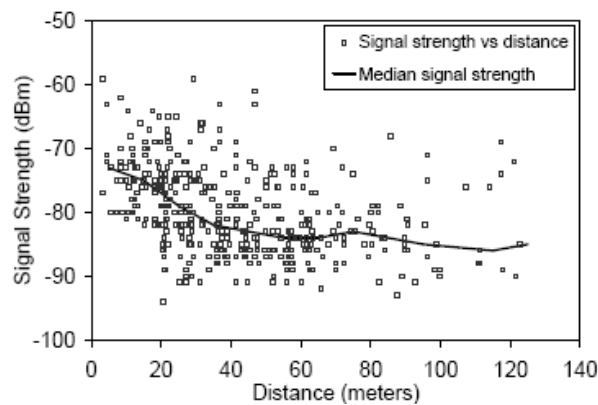
- 1 Λήψη όλων των ασυρμάτων δικτύων που αντιλαμβάνεται ο χρήστης.
- 2 Για κάθε ένα από τα ληφθέντα ασύρματα δίκτυο κάνε:
 - 3 Εύρεση θέσης του στο χάρτη της μεθόδου.
- 4 Τέλος
- 5 Εύρεση αριθμητικού μέσου.
- 6 Επιστροφή στον χρήστη της εκτιμώμενης θέσης του

Είναι εμφανές ότι μπορούν να γίνουν αρκετές βελτιώσεις στον αλγόριθμο αυτό αλλά αυτό είναι θέμα που θα μας απασχολήσει στο επόμενο κεφάλαιο. Τώρα θα εξετάσουμε την επόμενη μέθοδο που είναι αυτή των ραδιο-αποτυπωμάτων.

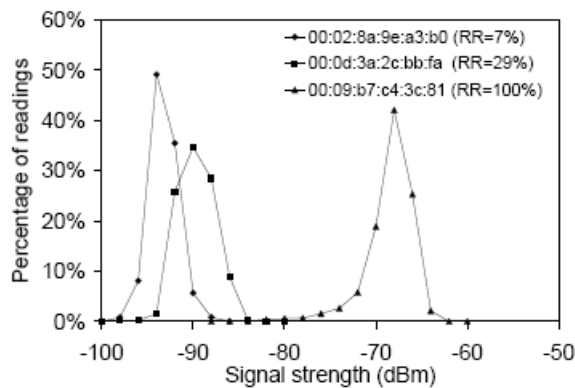
3.1.2 Ραδιο-αποτυπώματα (Fingerprinting)

Η μέθοδος αυτή είναι ευρέως διαδεδομένη αλλά και αναγνωρισμένη ως η ακριβέστερη για τον εντοπισμό θέσης σε εσωτερικούς χώρους. Η μέθοδος αυτή ανήκει στην κατηγορία των ντετερμινιστικών αλγορίθμων και η λειτουργία της εισάγει ένα ακόμα βαθμό πολυπλοκότητας (σε σχέση με την κεντροειδή μέθοδο) καθώς λαμβάνει υπόψη την ισχύ του σήματος.

Η μέθοδος εκμεταλλεύεται το γεγονός πως η ισχύς του σήματος ακολουθεί σχεδόν μία Γκαουσιαννή κατανομή με αποτέλεσμα να μπορεί να συσχετίσει την απόσταση στο χώρο της ισχύος με την πραγματική απόσταση [YCC05]. Στα επόμενα σχήματα μπορούμε να δούμε τη μεταβολή της λαμβανόμενης ισχύς σε σχέση με την απόσταση, καθώς και τη διακύμανση της ισχύος σε μια δεδομένη θέση.



Εικόνα 9: Μεταβολή της ισχύς του σήματος σε συνάρτηση με την απόσταση πομπού - δέκτη



Εικόνα 10: Διακύμανση ισχύος σήματος για στατικό δέκτη και τρία ασύρματα δίκτυα

Παρατηρούμε λοιπόν πως στην περίπτωση του στατικού δέκτη τα τρία διαφορετικά ασύρματα δίκτυα παρουσιάζουν διαφορετική μέγιστη τιμή ισχύος και αυτό συμβαίνει λόγω της εξάρτησης που υπάρχει μεταξύ ισχύος σήματος και απόστασης μεταξύ πομπού και δέκτη. Ερευνητές της Microsoft απέδειξαν στη μελέτης τους [PB00] πως σε χώρο γραφείων έκτασης 100m^2 είναι δυνατή η εύρεση θέσης με σφάλμα που κυμαίνεται μεταξύ δύο και τριών μέτρων. Να υπενθυμίσουμε ότι σε εσωτερικό χώρο δεν είναι δυνατή η χρησιμοποίηση του GPS.

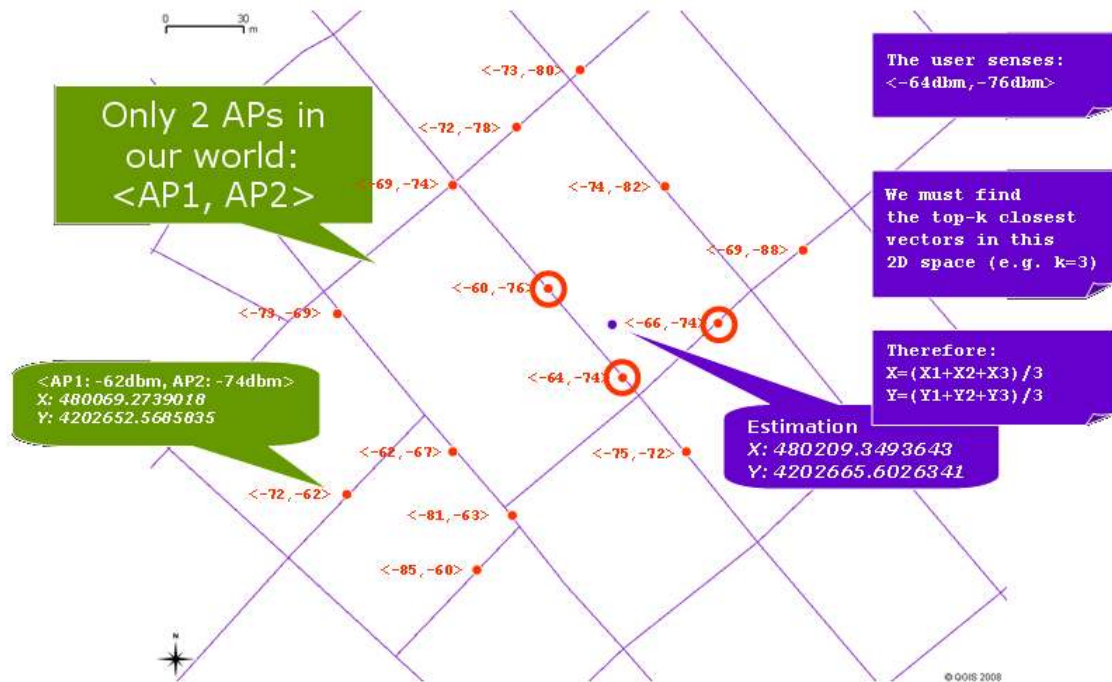
Για να εκμεταλλευτούμε τα ευρήματα αυτά, θα πρέπει να δημιουργήσουμε τα «αποτυπώματα» των σημείων της χαρτογραφημένης περιοχής. Ως «αποτύπωμα» ορίζουμε το μοναδικό για κάθε σημείο χαρακτηριστικό, το οποίο δεν είναι άλλο από τη φυσική διεύθυνση και την ισχύ σήματος κάθε ασύρματου δικτύου που αντιλαμβανόμαστε στη συγκεκριμένη θέση. Έτσι, έχουμε συσχετίσει με ένα προς ένα τρόπο το γεωγραφικό μήκος και πλάτος με την γνώση που έχουμε για τα ασύρματα δίκτυα. Ας δούμε όμως τον αλγόριθμο με τον οποίο δημιουργούμε τον χάρτη των ραδιο-αποτυπωμάτων.

3.1.2.1 Δημιουργία Χάρτη

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΑΡΤΗ ΡΑΔΙΟΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΩΝ

- 1 Επέλεξε όλα τα διακριτά γεωγραφικά σημεία (*latitude, longitude*).
- 2 Για κάθε σημείο κάνε:
 - 3 Εύρεση όλων ασυρμάτων δικτύων τα οποία αντιλαμβανόμαστε στο σημείο αυτό αλλά και της ισχύος σήματος του.
- 6 Τέλος

Σχηματικά μπορούμε να πούμε ότι δημιουργούμε ένα άλλο σύστημα συντεταγμένων όπου συντεταγμένες είναι τα ασύρματα δίκτυα και η αντίστοιχη ισχύς σήματος. Για το λόγο αυτό, πλέον η απόσταση μεταξύ δύο σημείων του χάρτη ραδιο-αποτυπωμάτων θα λέμε ότι είναι απόσταση στο χώρο της ισχύς σήματος, ενώ πρακτικά παραμένει η ευκλείδεια απόσταση.



Εικόνα 11: Μέθοδος Ραδιο-αποτυπωμάτων

3.1.2.2 Εκτίμηση θέσης

Για να υπολογίσουμε την εκτιμώμενη θέση ενός χρήστη, λαμβάνουμε από αυτόν το «αποτύπωμα» και αρχίζουμε να το συγκρίνουμε με τα αποτυπώματα που έχουμε στο δικό μας χάρτη, επιχειρώντας να ανακαλύψουμε ποιο αποτύπωμα είναι πιο κοντινό σε αυτά που περιλαμβάνει ο χάρτης. Οι παράγοντες που καθορίζουν την ομοιότητα μεταξύ δύο αποτυπωμάτων είναι δύο:

1. Η απόσταση των δύο αποτυπωμάτων στο χώρο της ισχύος σήματος.
2. Η ομοιότητα των αποτυπωμάτων όσον αφορά το πλήθος των ασυρμάτων δικτύων.

Έστω ότι ένα αποτύπωμα του χάρτη μας αποτελείται από τα ασύρματα δίκτυα A, B, Γ με αντίστοιχη ισχύ S_A, S_B, S_Γ ενώ το αποτύπωμα του χρήστη περιέχει τα ίδια ασύρματα δίκτυα αλλά με ισχύ S'_A, S'_B, S'_Γ . Η απόσταση στο χώρο της ισχύος θα είναι

$$d_s = \sqrt{(S'_A - S_A)^2 + (S'_B - S_B)^2 + (S'_\Gamma - S_\Gamma)^2}$$
. Είναι εμφανές πως όσο μικρότερη είναι η απόσταση τόσο το καλύτερο.

Μεγάλη διαφοροποίηση μεταξύ του εντοπισμού σε εσωτερικό και σε εξωτερικό χώρο παρουσιάζεται στο κριτήριο της ομοιότητας των αποτυπωμάτων όσον αφορά το πλήθος των ασυρμάτων δικτύων. Σε έναν εσωτερικό χώρο, όπως π.χ. ένα γραφείο, στη διαδικασία της χαρτογράφησης λαμβάνουμε υπόψη μόνο τα ασύρματα δίκτυα που ανήκουν στο συγκρότημα του

γραφείου και συνεπώς ξέρουμε ότι η συνεισφορά τους θα είναι αδιάλειπτη τόσο στο χάρτη των ραδιο-αποτυπωμάτων όσο και στα αποτυπώματα του χρήστη. Αντίθετα, όταν βρεθούμε σε εξωτερικό χώρο δεν είμαστε σίγουροι για τα αποτυπώματα καθώς η ύπαρξη ή όχι ενός ασυρμάτου δικτύου επαφίεται στον χρήστη αυτού (μπορεί να το απενεργοποιήσει ή να το ενεργοποιήσει). Όμως και η ολοένα αυξανόμενη διάδοση των ασυρμάτων δικτύων στους οικιακούς χρήστες δημιουργεί το εξής πρόβλημα. Το πλήθος των ασυρμάτων δικτύων που περιέχονται σε ένα αποτύπωμα μας (στον χάρτη) μπορεί να περιέχει περισσότερα ή και λιγότερα ασύρματα δίκτυα από το αποτύπωμα του χρήστη. Η ύπαρξη της διαφοροποίησης αυτής, μας οδηγεί στην θέσπιση ορίων ανοχής όσον αφορά το πλήθος των περισσότερων ή λιγότερων ασύρματων δικτύων κατά τη σύγκριση. Τα κατώφλια αυτά πρόκειται να προσδιοριστούν αργότερα μέσα από την πειραματική μας διαδικασία, ενώ βάση της βιβλιογραφίας [YCC05] ικανοποιητική τιμή είναι τα 2 περισσότερα/λιγότερα ασύρματα δίκτυα.

Έχοντας επιλύσει τα άνωθεν ζητήματα έχουμε συγκεντρώσει τα αποτυπώματα που ομοιάζουν με αυτό που απέστειλε ο χρήστης. Για να γίνει η εκτίμηση της θέσης χρησιμοποιούμε την μέθοδο των k -κοντινότερων αποτυπωμάτων, όπου χρησιμοποιούμε τα k -κοντινότερα αποτυπώματα και ο αριθμητικός μέσος αυτών είναι η εκτίμηση της θέσης που μας παρέχει η μέθοδος. Η βιβλιογραφία μας γνωστοποιεί πως έχουμε αρκετά καλή ακρίβεια για $k = 4$, γεγονός που μένει να το διαπιστώσουμε μέσω της πειραματικής μας διαδικασίας. Ακολουθεί ο αλγόριθμος της μεθόδου σε ψευδοκώδικα.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΗΣ ΘΕΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΡΑΔΙΟ-ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΩΝ

- 1 Λήψη του αποτυπώματος του χρήστη.
- 2 Για κάθε αποτύπωμα του χάρτη κάνε:
- 3 Σύγκριση του πλήθους N των ασυρμάτων δικτύων του αποτυπώματος του χρήστη με το πλήθος N_M αποτυπώματος του χάρτη.
- 4 Αν $((N \leq N_M + t_1) \text{ ΚΑΙ } (N \geq N_M - t_2))$ τότε
- 5 Εύρεση απόστασης στο χώρο της ισχύος
- 6 Αποθήκευση αποτελέσματος κατά αύξουσα σειρά*
- 7 Τέλος Αν
- 8 Τέλος
- 6 Υπολογισμός αριθμητικού μέσου των k -μικρότερων αποστάσεων.

* Η ισχύς του σήματος μετριέται σε dBm και έχει αρνητική τιμή. Στον εν λόγω αλγόριθμο θεωρούμε την θετική του τιμή άρα όσο μικρότερη τιμή τόσο ισχυρότερο είναι το σήμα.

Όπως έχουμε διατυπώσει, οι μεταβλητές t_1 και t_2 αποτελούν τα κατώφλια για το πόσα περισσότερα και λιγότερα αντίστοιχα ασύρματα δίκτυα συνυπολογίζουμε, πρόκειται να υπολογιστούν βάσει των πειραματικών μας αποτελεσμάτων. Να υπενθυμίσουμε ότι η βιβλιογραφία υποδεικνύει ως ιδανικό πλήθος το 2. Παρατηρούμε ότι η μέθοδος των ραδιο-αποτυπωμάτων δεν είναι τόσο γρήγορη όσο η κεντροειδής αλλά παρέχει σαφώς βελτιωμένα αποτελέσματα με μεγαλύτερη ακρίβεια.

3.2 Μη ντετερμινιστικοί αλγόριθμοι

Στην κατηγορία αυτή ανήκει μεγαλύτερο πλήθος αλγορίθμων αλλά και πιο πολύπλοκοι αλγόριθμοι. Επειδή βασίζονται στα φίλτρα Bayes θα προχωρήσουμε στη παρουσίαση των φίλτρων Bayes και των διαφορετικών παραλλαγών τους.

3.2.1 Φίλτρα Bayes

Τα φίλτρα Bayes εφαρμόζονται σε προβλήματα εκτίμησης της κατάστασης x ενός δυναμικού συστήματος βάσει των μετρήσεων προερχόμενων από αισθητήρες. Η βασική ιδέα των φίλτρων αυτών είναι η αναδρομική εκτίμηση της δεσμευμένης πυκνότητας πιθανότητας για το χώρο καταστάσεων, βάσει των έως τότε συλλεγμένων δεδομένων. Χωρίς απώλεια της γενικότητας, υποθέτουμε ότι τα δεδομένα αποτελούνται από μία χρονικά ταξινομημένη εναλλασσόμενη σειρά παρατηρήσεων z_t αλλά και παρατηρήσεις ελέγχου u_t οι οποίες και περιγράφουν τη δυναμική του συστήματος. Η δεσμευμένη πιθανότητα τη στιγμή t λέγεται «πεποίθηση» $Bel(x_t)$ και ορίζεται ως

$$Bel(x_t) = p(x_t | z_t, u_{t-1}, z_{t-2}, u_{t-2}, \dots, u_0, z_0)$$

Τα φίλτρα Bayes υποθέτουν ότι το δυναμικό σύστημα πληρεί τις υποθέσεις ενός μαρκοβιανού συστήματος, δηλαδή οι παρατηρήσεις z_t και οι παρατηρήσεις ελέγχου u_t είναι ανεξάρτητες από προηγούμενες παρατηρήσεις δοσμένης της γνώσης για την κατάσταση x_t . Υπό την προϋπόθεση αυτή η δεσμευμένη πιθανότητα μπορεί να καθοριστεί με τη χρήση των ακόλουθων κανόνων ανανέωσης: Οποιαδήποτε χρονική στιγμή ληφθεί μία νέα μέτρηση ελέγχου u_{t-1} , η κατάσταση του συστήματος μπορεί να προβλεφθεί σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο

$$Bel^-(x_t) \leftarrow \int p(x_t | x_{t-1}, u_{t-1}) \cdot Bel(x_{t-1}) dx_{t-1}$$

Αντίστοιχα, όποτε υπάρχει παρατήρηση z_t , η εκτίμηση της κατάστασης διορθώνεται κατά

$$Bel(x_t) \leftarrow \alpha \cdot p(z_t|x_t) \cdot Bel^-(x_t)$$

Η σταθερά α αποτελεί σταθερά κανονικοποίησης, διαβεβαιώνονται ότι η πιθανότητα σε ολόκληρο το χώρο κατάστασης αθροίζεται σε ένα. Ο όρος $p(x_t|x_{t-1}, u_{t-1})$ περιγράφει τη δυναμική του συστήματος, για παράδειγμα πως ο αλλάζει ο χώρος καταστάσεων δοθέντος πληροφοριών ελέγχου $u_{t-1} \cdot p(z_t|x_t)$, το μοντέλο αντίληψης δηλαδή, περιγράφοντας την πιθανότητα της πραγματοποίησης μιας παρατήρησης z_t , εάν γνωρίζουμε ότι η τωρινή κατάσταση είναι η x_t . Να σημειώσουμε ότι οι τυχαίες μεταβλητές x, z και u μπορεί να είναι πολυδιάστατοι πίνακες. Η πεποίθηση (belief) αμέσως μετά την πρόβλεψη και πριν την παρατήρηση, αποκαλείται προγνωστική belief $Bel^-(x_t)$. Αρχικά, η πεποίθηση $Bel(x_0)$ αρχικοποιείται με την αρχική γνώση για την κατάσταση του συστήματος.

Η υλοποίηση των φίλτρων απαιτεί τον καθορισμό του μοντέλου αντίληψης $p(z_t|x_t)$, του μοντέλου της δυναμικής του συστήματος $p(x_t|x_{t-1}, u_{t-1})$ αλλά και την αναπαράσταση της πεποίθησης $Bel(x_t)$. Οι ιδιότητες διαφορετικών υλοποιήσεων των φίλτρων Bayes διαφέρουν σημαντικά στον τρόπο με τον οποίο αναπαριστούν την πυκνότητα της κατάστασης x_t όπως θα δούμε παρακάτω.

3.2.2 Φίλτρα Kalman (Kalman filters)

Αποτελούν την πιο διαδεδομένη παραλλαγή των φίλτρων Bayes. Προσεγγίζουν την πεποίθηση με χρήση της μέσης τιμής και τη συμμεταβλητότητα. Τα Kalman φίλτρα έχουν βέλτιστη απόδοση υπό τις εξής προϋποθέσεις:

- Η αβεβαιότητα της αρχικής κατάστασης μοντελοποιείται κατά τη Γκαουσιανή κατανομή.
- Το μοντέλο παρατήρησης αλλά και της δυναμικής του συστήματος είναι γραμμικά σε σχέση με τον Γκαουσιανό θόρυβο.

Μη γραμμικότητες συνήθως προσεγγίζονται από τη γραμμικοποίηση της τωρινής κατάστασης, με απόρροια το επεκτεταμένο φίλτρο Kalman [FHK03]. Υπάρχει και ειδική κατηγορία φίλτρων Kalman όπου ντετερμινιστικά παράγονται δείγματα (σημεία σίγμα) που λαμβάνονται από μία Γκαουσιανή κατάσταση και μεταφέρονται μέσω της μη γραμμικής δυναμικής, ακολουθούμενα από μια Γκαουσιανή προσέγγιση για τα προβλεπόμενα δείγματα. Τα φίλτρα αυτά είναι ικανά να παρέχουν καλύτερες προσεγγίσεις τόσο θεωρητικά όσο και πρακτικά.

Υπερβαίνοντας τις περιοριστικές υποθέσεις, τα φίλτρα Kalman έχουν εφαρμοστεί με μεγάλη επιτυχία στον εντοπισμό κινητών ρομπότ, όπου οι εκτιμήσεις θέσεων που παρέχουν είναι πάρα πολύ καλές ακόμα και για μη γραμμικά συστήματα. Βασικό προτέρημα των φίλτρων αυτών είναι η απόδοση τους. Η πολυπλοκότητα τους είναι πολυονυμική σε σχέση με τη διαστασιοποίηση του χώρου καταστάσεων και των παρατηρήσεων.

3.2.3 Πολλαπλές-υποθετικές προσεγγίσεις (*multi-hypothesis approaches*)

Ουσιαστικά αναπαριστούν την κατάσταση που υποδεικνύει η πεποίθηση με ένα μείγμα Γκαουσιανών. Κάθε υπόθεση, ή Γκαουσιανή, συνήθως σχηματίζεται από ένα φίλτρο Kalman. Λόγω της ικανότητας τους να αναπαριστούν πολύτροπες πεποιθήσεις, οι προσεγγίσεις αυτές είναι ικανές να επιλύσουν το γενικό πρόβλημα εντοπισμού θέσης. Καθώς κάθε υπόθεση, παρέχεται από ένα φίλτρο Kalman, οι μέθοδοι βασίζονται σε υποθέσεις που υπάρχουν και στα φίλτρα Kalman. Πρακτικά όμως, οι πολλαπλό-υποθετικές προσεγγίσεις έχουν αποδειχτεί αρκετά ανθεκτικές σε παραβιάσεις των υποθέσεων αυτών. Έως τώρα δεν είναι ξεκάθαρο πως με τις μεθόδους αυτές μπορούν να εφαρμοστούν σε άκρως μη γραμμικές παρατηρήσεις. Επίσης είναι επιτακτική η χρήση εκλεπτυσμένων ευριστικών συναρτήσεων ώστε να επιλυθούν τα προβλήματα συσχετισμού δεδομένων αλλά και για τον καθορισμό της κατάλληλης στιγμής ώστε να εισαχθεί στο σύστημα μία ακόμα υπόθεση ή να αφαιρεθεί.

3.2.4 Τοπολογικές Προσεγγίσεις (*Topological Approaches*)

Βασίζονται σε συμβολικές, γραφικά δομημένες αναπαραστάσεις του περιβάλλοντος. Ο χώρος καταστάσεων ενός κινούμενου χρήστη περιλαμβάνει σύνολο διακριτών και ξεχωριστών τοποθεσιών. Το πλεονέκτημα τέτοιων προσεγγίσεων είναι η αποδοτικότητα τους καθώς μπορούν να αναπαραστήσουν αυθαίρετες κατανομές σε ένα διακριτό χώρο καταστάσεων. Έτσι μπορούν να επιλύσουν επιτυχώς το γενικό πρόβλημα εντοπισμού θέσης. Επιπροσθέτως, οι προσεγγίσεις αυτές, είναι σε θέση να παρέχουν αποτελέσματα ακόμα και σε πολυμεταβλητά συστήματα και χώρους κατάστασης καθώς η πολυπλοκότητα της τοπολογικής δομής δεν εξαρτάται άμεσα από τις διαστάσεις του χώρου καταστάσεων. Βασικό μειονέκτημα είναι η πυκνότητα της αναπαράστασης, λόγω της οποίας η εκτίμηση της θέσης παρέχει λίγες πληροφορίες για τη θέση του κινούμενου αντικειμένου. Επιπλέον, οι μόνες αξιοποιήσιμες πληροφορίες είναι οι πληροφορίες αισθητήρων σχετικές με τη συμβολική αναπαράσταση του περιβάλλοντος με συνέπεια την έλλειψη αρκετών δυνατοτήτων από αυθαίρετα περιβάλλοντα.

3.2.5 Μετρικές βασισμένες σε πλέγμα (*grid metrics*)

Βασίζονται σε διακριτές σταθερές αναπαραστάσεις της πεποίθησης. Για εντοπισμό θέσης σε εσωτερικούς χώρους, η χωρική διαμόρφωση των πλεγμάτων αυτών είναι συνήθως μεταξύ 10 και 40 εκατοστών ενώ η γωνία τους κυμαίνεται γύρω στις 5 μοίρες. Όπως και οι τοπολογικές προσεγγίσεις, οι μετρικές προσεγγίσεις μπορούν να απεικονίσουν αυθαίρετες κατανομές στο διακριτό χώρο καταστάσεων και να επιλύσουν το γενικό πρόβλημα εντοπισμού θέσης. Σε αντίθεση όμως με τις τοπολογικές προσεγγίσεις, οι μετρικές παρέχουν ακριβείς εκτιμήσεις θέσης σε συνδυασμό με υψηλή αντοχή και ανθεκτικότητα σε θόρυβο που προκαλείται από τους αισθητήρες. Μειονέκτημα της μεθόδου, είναι η υπολογιστική της πολυπλοκότητα καθώς βασίζεται στην απαίτηση εύρεσης της

τρισδιάστατης εκτίμησης θέσης, διατήρησης της αλλά και ανανέωσης της για κάθε νέα παρατήρηση. Συνεπώς η πολυπλοκότητα της αυξάνεται εκθετικά σε σχέση με το πλήθος των διαστάσεων και για το λόγο αυτό είναι αμφίβολη η χρήση της σε χώρους καταστάσεων με περισσότερες διαστάσεις.

3.2.6 Δειγματικές προσεγγίσεις (Sample approaches)

Αναπαριστούν την πεποίθηση από ένα σύνολο δειγμάτων ή σωματιδίων. Κεντρικό πλεονέκτημα των φίλτρων σωματιδίων είναι η ικανότητα τους να απεικονίζουν αυθαίρετες πυκνότητες πιθανοτήτων και για το λόγο αυτό μπορούν να παρέχουν λύση στο γενικό πρόβλημα εντοπισμού θέσης. Επίσης τα φίλτρα σωματιδίων μπορούν να συνάγουν την πραγματική δεσμευμένη πιθανότητα ακόμα και σε μη γκαουσιανά, μη γραμμικά συστήματα. Σε σχέση με τις προσεγγίσεις βασισμένες σε πλέγμα, τα φίλτρα σωματιδίων είναι άκρως αποδοτικά καθώς εστιάζουν τις πηγές τους σε περιοχές του χώρου καταστάσεων με μεγάλη πιθανότητα. Εφόσον η απόδοση των φίλτρων σωματιδίων βασίζεται στον αριθμό των δειγμάτων, πρέπει να εκλεπτυστεί η διαδικασία με την οποία συλλέγονται τα δεδομένα. Σε επόμενο κεφάλαιο θα δούμε την εφαρμογή της μεθόδου αυτής για την επίλυση του δικού μας προβλήματος.

3.2.7 Φίλτρα σωματιδίων (Particle Filtering)

Η μέθοδος αυτή έχει τις ρίζες της στον τομέα της ρομποτικής όπου το ερώτημα της θέσης έχει διατυπωθεί και επιλυθεί επιτυχώς. Περιγράφοντας τη λειτουργία της θα διαπιστώσουμε ότι αποτελεί μη ντετερμινιστική μέθοδο, καθώς βάση της μεθόδου είναι ουσιαστικά τα φίλτρα Bayes. Συνεπώς, η διατύπωση του ίδιου προβλήματος με τις ίδιες εισόδους δεν θα έχει ίδιο αποτέλεσμα.

Ας εξετάσουμε αναλυτικότερα τη μέθοδο. Κομβικής σημασίας έννοια είναι το σωματίδιο (particle). Κάθε σωματίδιο αποτελεί μια οντότητα και αντιπροσωπεύει μια συγκεκριμένη θέση επάνω στο χάρτη αλλά και την πιθανότητα αυτής στην διαμόρφωση της εκτιμώμενης θέσης. Συν τοις άλλοις, κάθε σωματίδιο έχει τη δυνατότητα να κινείται στο χώρο ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα. Παρατηρούμε λοιπόν την ύπαρξη δύο διακριτών λειτουργιών τις οποίες επιτελούν τα σωματίδια την διαμόρφωση της πιθανότητας της θέσης τους και την κίνηση τους σε νέα θέση. Η διπλή αυτής τους λειτουργία καθορίζεται και μοντελοποιείται αντίστοιχα από δύο μοντέλα. Το μοντέλο του αισθητήρα (Sensor Model) αλλά και το μοντέλο κίνησης (Motion Model).

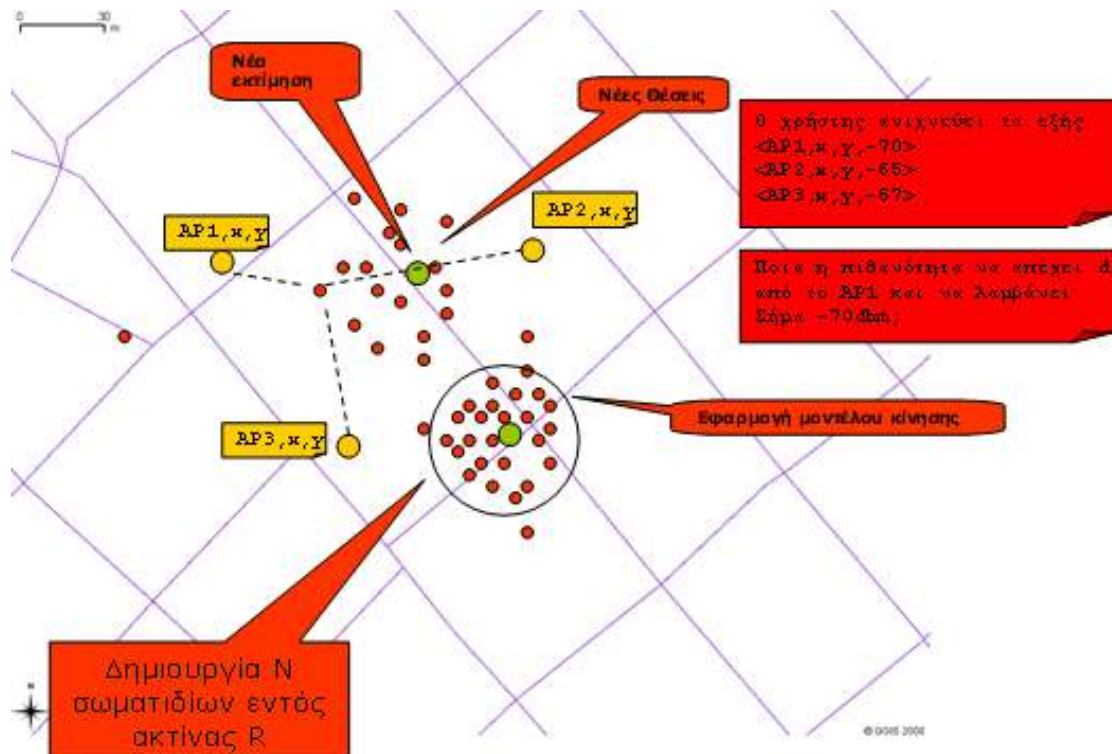
3.2.7.1 Μοντέλο Αισθητήρα (Sensor Model)

Το μοντέλο του αισθητήρα απαιτεί μία παραδοχή. Απαιτεί την ύπαρξη ενός χάρτη της περιοχής με τις θέσεις από τις οποίες εκπέμπεται κάθε ασύρματο δίκτυο, ή με άλλα λόγια τον χάρτη που παράγει στο πρώτο της βήμα η κεντροειδής μέθοδος.

Ο λόγος είναι ο εξής. Σε κάθε τυχαία θέση στην οποία βρίσκεται το σωματίδιο, θα πρέπει να ελέγξουμε την πιθανότητα αυτής να αποτελεί μία ορθά εκτιμημένη θέση. Για να γίνει αυτό, έχοντας

ως δεδομένο το αποτύπωμα του χρήστη (ποια ασύρματα δίκτυα αντιλαμβάνεται στην θέση στην οποία βρίσκεται) αναλαμβάνουμε να διαπιστώσουμε ποια είναι η μετρική απόσταση του σωματιδίου από την θέση εκπομπής κάθε ασύρματου δικτύου (θέση την οποία μας παρέχει η κεντροειδής μέθοδος). Συνεπώς, έχουμε δύο στοιχεία που θα συνδράμουν στον καθορισμό της πιθανότητας του σωματιδίου την απόσταση του από τα ασύρματα δίκτυα και την ισχύ του σήματος

Είμαστε σε θέση πλέον να υπολογίσουμε την πιθανότητα του σωματιδίου. Θα εκμεταλλευτούμε εκ νέου τη γνώση για τη σχέση που υπάρχει μεταξύ της απόστασης και της ισχύς του σήματος. Έτσι ελέγχουμε την πιθανότητα να ισχύει ο συσχετισμός απόστασης από σημείο εκπομπής και ισχύς σήματος και αναλόγως αναθέτουμε μία πιθανότητα. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για κάθε ασύρματο δίκτυο το οποίο αντιλαμβάνεται το σωματίδιο και το τελικό βάρος του σωματιδίου προκύπτει ως ο μέσος όρος των επιμέρους πιθανοτήτων $[(0 \leq w_i \leq 1) \quad (0 \leq p_i \leq 1)]$.



Εικόνα 12: Αλγόριθμος Particle Filtering

Συνεπώς η εκτιμώμενη θέση θα προκύψει ως ο σταθμισμένος αριθμητικός μέσος, καθώς η άνωθεν διαδικασία γίνεται για κάθε σωματίδιο, δίνοντας σε κάθε σωματίδιο διαφορετική πιθανότητα. Τα στοιχεία που καθιστούν τον αλγόριθμο ως μη ντετερμινιστικό δεν είναι ακόμη εμφανή, καθώς παρουσιάζονται κυρίως στο μοντέλο κίνησης το οποίο και πρόκειται να μελετήσουμε αμέσως τώρα

3.2.7.2 Μοντέλο Κίνησης (Motion Model)

Το μοντέλο κίνησης είναι υπεύθυνο για την κίνηση των σωματιδίων. Η κίνηση μπορεί να μοντελοποιηθεί με διάφορους τρόπους, οι οποίοι συνήθως είναι ευριστικοί. Θα εκθέσουμε μερικά μοντέλα κίνησης για λόγους πληρότητας.

Έστω, ότι βρισκόμαστε σε εσωτερικό χώρο όπως ένας χώρος γραφείων. Το μοντέλο κίνησης καθορίζεται άμεσα από τη διαμόρφωση του χώρου. Για παράδειγμα, αν τα γραφεία είναι τοποθετημένα αμφιθεατρικά, το μοντέλο κίνησης θα πρέπει να είναι σε θέση να διαγράφει ημικυκλικές τροχιές ενώ αν είναι τετραγωνισμένος χώρος το μοντέλο κίνησης θα πρέπει να διαγράφει ευθύγραμμη κίνηση.

Σημαντικός παράγοντας είναι και η ταχύτητα τόσο ως προς το μέτρο αλλά και ως προς τη φορά της. Για παράδειγμα, σε εσωτερικό χώρο όπου κινείται ένας άνθρωπος, η ταχύτητα είναι συνήθως μικρή αλλά και με αδιευκρίνιστη φορά, καθώς ανά πάσα ώρα και στιγμή μπορεί να κινηθεί προς οποιαδήποτε διεύθυνση ακόμα και αντιδιαμετρικά αντίθετα σε σχέση με την αμέσως προηγούμενη φορά της ταχύτητας του.

Αντίθετα, όταν βρισκόμαστε σε εξωτερικό χώρο μπορούμε να πούμε ότι υπάρχουν διαφορετικά μοντέλα κίνησης που κυρίως εξαρτώνται από το μέσο κίνησης αλλά και το χώρο κίνησης. Γενικά, το μοντέλο κίνησης διαθέτει αρκετές παραμέτρους, αν και αρκετές φορές δεν προσπαθούμε να μοντελοποιήσουμε την κίνηση αλλά επιλέγουμε τυχαία κίνηση των σωματιδίων με τυχαία ταχύτητα και τυχαία φορά. Παρατηρούμε λοιπόν ότι η κίνηση είναι ο παράγοντας ο οποίος εισάγει τον μη ντετερμινιστικό χαρακτήρα.

3.2.7.3 Εκτίμηση θέσης

Έχοντας περιγράψει τα δύο απαραίτητα συστατικά της μεθόδου είμαστε πλέον σε θέση να κατανοήσουμε τον πλήρη τρόπο λειτουργίας της. Το μοντέλο κίνησης, ιδιαίτερα για τον υπολογισμό της ταχύτητας, χρειάζεται γνώση για το ιστορικό της κίνησης. Για το λόγο αυτό θεωρούμε ότι αν δεν υπάρχει διαθέσιμο ιστορικό κίνησης, η εκτίμηση της θέσης γίνεται με βάση κάποιον από τους προηγούμενους αλγορίθμους (είτε μέσω ραδιο-αποτυπωμάτων είτε μέσω κεντροειδής μεθόδου). Ας δούμε λοιπόν σε ψευδοκώδικα τον αλγόριθμο.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΗΣ ΘΕΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

- 1 Δημιουργία χάρτη με τις τοποθεσίες των σημείων πρόσβασης των ασύρματων δικτύων
- 2 Λήψη του αποτυπώματος του χρήστη.
- 3 Όσο δεν υπάρχει ιστορικό χρήστη

- 4 Εκτίμηση θέσης με κάποιον αλγόριθμο (κεντροειδής/ραδιο-αποτυπωμάτων)
- 5 Ανανέωση ιστορικού χρήστη
- 6 Υπολογισμός ταχύτητας
- 7 Επιστροφή εκτίμησης
- 8 Τέλος
- 9 Για κάθε σωματίδιο κάνε:
- 10 Για κάθε ασύρματο δίκτυο (του αποτυπώματος χρήστη) κάνε :
 - 11 Εύρεση απόστασης μεταξύ σωματιδίου και σημείου ασύρματης πρόσβασης
 - 12 Υπολογισμός πιθανότητας βάση ευριστικής συνάρτησης μέσω της απόστασης και της ισχύος του σήματος
 - 13 Τέλος
 - 14 Υπολογισμός μέσου όρου για το συγκεκριμένο σωματίδιο
 - 15 Τέλος
- 16 Υπολογισμός εκτιμώμενης θέσης μέσω των πιθανοτήτων των σωματιδίων
- 17 Υπολογισμός ταχύτητας
- 18 Κίνηση σωματιδίων.
- 19 Επιστροφή εκτιμώμενης θέσης.

4

Επεκτάσεις και Βελτιώσεις Υφιστάμενων Τεχνικών για Δίκτυα 802.11

Έχοντας ήδη παρουσιάσει τους αλγορίθμους που θα μας απασχολήσουν, στο κεφάλαιο αυτό επιχειρούμε να εξηγήσουμε εκτενέστερα τις τεχνικές που θα χρησιμοποιήσουμε και τις βελτιώσεις τις οποίες προτείνουμε. Βελτίωση που εισάγεται σε όλους τους αλγορίθμους είναι και η τεχνική του map-matching αν και σε πολύ πρόωμη μορφή. Θα αφιερώσουμε ένα κεφάλαιο να εξηγήσουμε τι είναι το map-matching και έπειτα θα προχωρήσουμε στους αλγορίθμους τους οποίους θα εξετάσουμε στα πλαίσια της εργασίας μας.

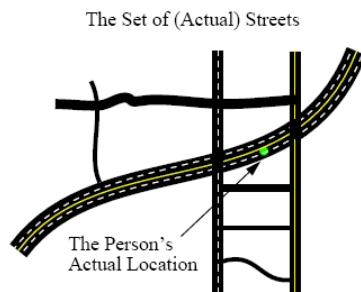
4.1 Map Matching

4.1.1 Ορισμός

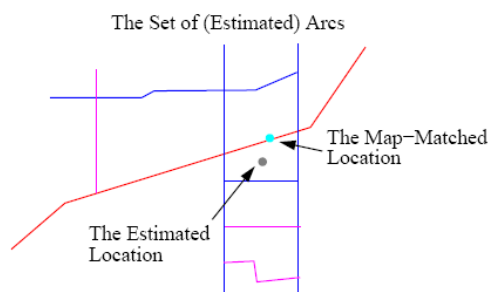
Το map-matching περικλείει ένα σύνολο αλγορίθμων το οποίο ως στόχο έχει να προσεγγίσει όσο πιο αποδοτικά και πιστά είναι εφικτό την τροχιά ενός αντικειμένου πάνω σε έναν χάρτη. Για την ακρίβεια, θεωρούμε ότι ένα κινούμενο αντικείμενο κινείται μέσα σε ένα πεπερασμένο σύστημα (ή σύνολο) δυνατών διαδρομών, $\overline{N}$. Για ένα πεπερασμένο πλήθος χρονικών στιγμών $\{0,1,...,T\}$, είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε τη θέση του αντικειμένου. Έστω ότι η θέση του αντικειμένου τη

στιγμή t ορίζεται ως $\bar{P}'$ ενώ η εκτίμηση της θέσης ορίζεται ως P' . Στόχος μας τίθεται να εκτιμήσουμε τη διαδρομή εκείνη $\bar{N}$ η οποία περιέχει το $\bar{P}'$ ή πιο απλά να καθορίσουμε σε ποια διαδρομή βρίσκεται το αντικείμενο τη χρονική στιγμή t .

Η γνώση μας για το σύστημα των δυνατών διαδρομών δεν είναι πλήρης, αλλά έχουμε μία γραφική αναπαράσταση που αποτελείται από καμπύλες στο διδιάστατο χώρο. Κάθε τέτοια καμπύλη θεωρούμε ότι τμηματικά είναι γραμμική και για το λόγο αυτό μπορεί να χαρακτηριστεί από μία πεπερασμένη ακολουθία σημείων $(A^0, A^1, \dots, A^{n_a})$ καθένα από τα οποία ανήκει στο χώρο $\mathbb{R}^2$. Τα σημεία A^0 και A^{n_a} αναφέρονται ως κόμβοι ενώ τα σημεία $(A_1, A_2, \dots, A^{n_a-1})$ αποτελούν τα σημεία του σχήματος. Ο κόμβος είναι σημείο εκκίνησης ή τερματισμού ή σημείο διασταύρωσης καμπύλων.



Εικόνα 13: Πραγματικό δίκτυο και πραγματική θέση



Εικόνα 14: Δίκτυο της μεθόδου, εκτιμώμενη θέση και θέση εφόσον έχει εφαρμοστεί αλγόριθμος map-matching

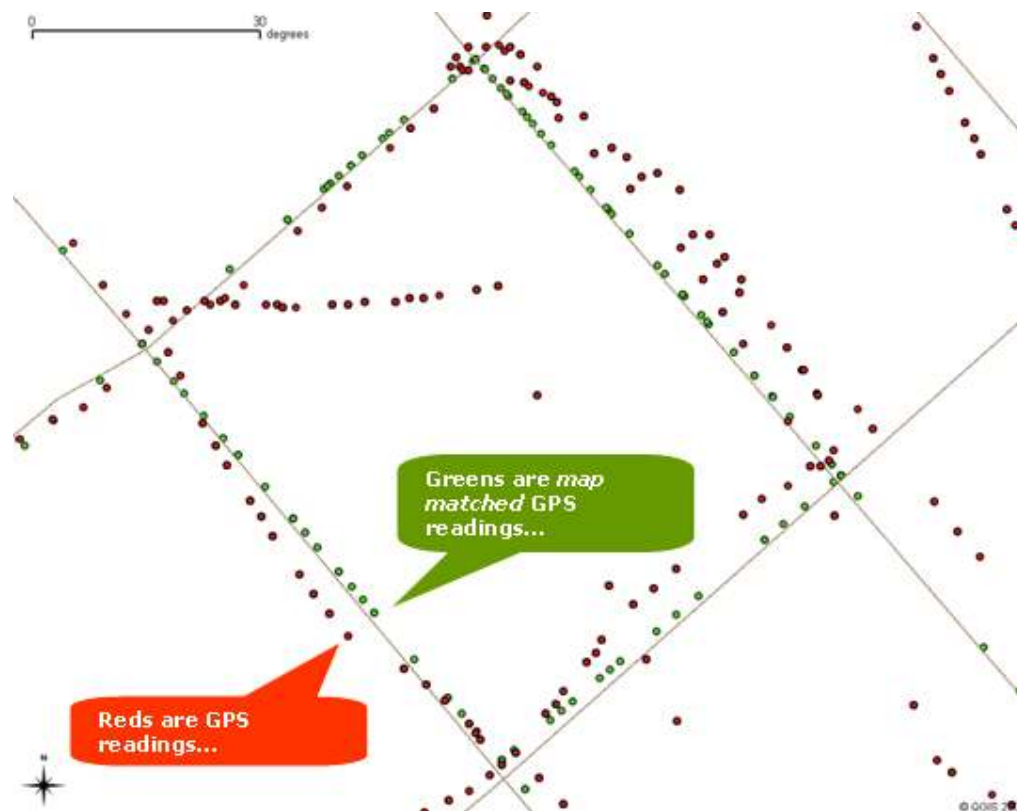
Το πρόβλημα αποκαλείται ως map-matching εξαιτίας του στόχου που δεν είναι άλλος από την προσπάθεια να «ταιριάξουμε την εκτιμώμενη θέση P' με μία καμπύλη του χάρτη N και έπειτα να εκτιμήσουμε όσο δυνατόν με μεγαλύτερη ακρίβεια την πραγματική θέση του χρήστη [DB96].

Βέβαια υπάρχουν πολλές κατηγορίες αλγορίθμων αλλά στην εργασία μας θα ενδιαφερθούμε για την πιο απλή εφαρμογή της. Δηλαδή εφόσον έχουμε εκτιμήσει τη θέση, θα φροντίσουμε ώστε το σημείο αυτό να μετακινηθεί στο κοντινότερο σημείο του χάρτη. Με τον τρόπο αυτό ακόμα και εκτιμήσεις εκτός χάρτη θα μπορέσουμε να τις προσαρμόσουμε ώστε να απεικονιστούν πάνω στα πλαίσια αυτού.

4.1.2 Αξιοποίηση

Ας δούμε πως μπορούμε να αξιοποιήσουμε τις τεχνικές του map matching. Αργότερα, κατά την πειραματική μας μελέτη θα αναφερθούμε εκτενέστερα στη διαδικασία της συλλογής δεδομένων, αλλά αξίζει να δούμε ένα στιγμιότυπο της λειτουργίας αυτής όπου θα είναι εύκολο να διακρίνουμε πως αξιοποιείται η λειτουργία του map-matching. Στην εικόνα που ακολουθεί θα διακρίνουμε

σημεία τροχιάς που διαγράψαμε. Όμως παρατηρώντας την εικόνα μπορούμε να δούμε πως οι εκτιμήσεις του GPS είναι εκτός δρόμου. Εδώ λοιπόν με τη βοήθεια του map-matching μπορούμε να «μεταφέρουμε» τις εκτιμήσεις αυτές πάνω στο οδικό δίκτυο και να λάβουμε μια καλύτερη εικόνα για την τροχιά την οποία ακολουθήσαμε.



Εικόνα 15: Map matching σε δράση

Είδαμε λοιπόν στην πράξη πως η διαδικασία αυτή μπορεί να μας προσφέρει μεγαλύτερη ακρίβεια και για το λόγο αυτό χρησιμοποιήσαμε και εμείς το map matching. Χρησιμοποιούμε απλές τεχνικές ώστε να μπορούμε να «ταιριάζουμε» πάνω στο χάρτη τις εκτιμήσεις μας από οποιονδήποτε αλγόριθμο και αν προέρχονται, ενώ ειδικά για τον αλγόριθμο του φίλτρου σωματιδίων το χρησιμοποιήσαμε για να ελέγξουμε αν λαμβάνουμε καλύτερα αποτελέσματα «ταιριάζοντας» τα σωματίδια μετά την ελεύθερη κίνηση τους πάνω στο χάρτη. Τα αποτελέσματα των προσπαθειών μας απεικονίζονται στο κεφάλαιο των πειραματικών αποτελεσμάτων.

4.2 Κεντροειδής

Στο προηγούμενο κεφάλαιο είδαμε σε αφαιρετικό επίπεδο το γενικό τρόπο λειτουργίας της μεθόδου αυτής. Όπως είδαμε υπάρχουν αρκετά σημεία στα οποία μπορούμε να εισάγουμε βελτιώσεις. Ακριβώς αυτές τις βελτιώσεις θα συζητήσουμε στο κεφάλαιο αυτό. Βασικό θεμέλιο των

βελτιώσεων που θα εισάγουμε είναι το γεγονός της ύπαρξης συσχέτισης μεταξύ της ισχύς του ασύρματου δικτύου και της απόστασης στην οποία το αντιλαμβάνεται ο δέκτης. Οδηγούμαστε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι όσο πιο κοντά στο 0 είναι η αντιλαμβανόμενη ισχύς σήματος, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να είμαστε πιο κοντά και άρα να προσεγγίζουμε με μεγαλύτερη ακρίβεια την εκτιμώμενη θέση. Οι αποκλίσεις που δημιουργούνται οφείλονται όπως έχουμε ήδη πει στο γεγονός ότι η κατανομή στη σχέση απόστασης και ισχύος είναι «σχεδόν» Γκαουσιανή. Ας δούμε όμως πως μπορούμε να επωφεληθούμε από αυτό το γεγονός.

4.2.1 Λήψη των k -κοντινότερων (k -nearest)

Όπως είδαμε η κεντροειδής μέθοδος τόσο στο στάδιο της κατασκευής του χάρτη όσο και στο στάδιο εκτίμησης της θέσης του χρήστη, αποφαίνεται χρησιμοποιώντας τον αριθμητικό μέσο όλων των διαθέσιμων μετρήσεων αγνοώντας το βασικό θεμέλιο των βελτιώσεων που περιγράψαμε.

Για το λόγο αυτό θα εισάγουμε την εξής βελτίωση. Θα λάβουμε όλες τις μετρήσεις που υπάρχουν για ένα ασύρματο δίκτυο και θα υπολογίσουμε τη θέση του βάσει των k δυνατοτέρων σημάτων. Το k αποτελεί μία τιμή η οποία θα καθοριστεί αργότερα κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας. Το ίδιο ακριβώς θα μπορέσουμε να κάνουμε και για την εκτίμηση θέσης του χρήστη όπου αντί να λάβουμε πάλι όλες τις δυνατές μετρήσεις από το αποτύπωμα του, θα χρησιμοποιήσουμε μόνο τις k ισχυρότερες.

Διαισθητικά με τον τρόπο αυτό κατανοούμε ότι επιτυγχάνουμε να μειώσουμε το σφάλμα που εισάγεται κατά τον υπολογισμό του αριθμητικού μέσου από ασύρματα δίκτυα τα οποία λαμβάνουμε με ασθενή ισχύ και μάλλον βρίσκονται μακριά από τη θέση στην οποία βρισκόμαστε. Ακολουθούν οι αλγόριθμοι τόσο για τη δημιουργία του χάρτη όσο και την εύρεση θέσης του χρήστη με τη μέθοδο αυτή.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΑΡΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΕΝΤΡΟΕΙΔΗ ΜΕΘΟΔΟ [$k - NEAREST$]

- 1 Επέλεξε όλα τα διακριτά ασύρματα δίκτυα.
- 2 Για κάθε ασύρματο δίκτυο κάνε:
 - 3 Εύρεση όλων των σημείων στα οποία αντιληφθήκαμε το συγκεκριμένο ασύρματο δίκτυο.
 - 4 Ταξινόμηση αυτών με αύξουσα σειρά.
 - 5 Επιλογή των k κοντινότερων
 - 6 Υπολογισμός του αριθμητικού μέσου.
 - 5 Καταχώρηση της θέσης ως το σημείο εκπομπής του εν λόγω ασύρματου δικτύου.
- 6 Τέλος

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΗΣ ΘΕΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΚΕΝΤΡΟΕΙΔΗ ΜΕΘΟΔΟ $[k - NEAREST]$

- 1 Λήψη όλων των ασυρμάτων δικτύων που αντιλαμβάνεται ο χρήστης.
- 2 Για κάθε ένα από τα ληφθέντα ασύρματα δίκτυο κάνε:
 - 3 Εύρεση θέσης του στο χάρτη της μεθόδου.
- 4 Τέλος
- 5 Λήψη των k κοντινότερων (k δυνατότερα σήματα) και υπολογισμός του αριθμητικού μέσου.
- 6 Επιστροφή στον χρήστη της εκτιμώμενης θέσης του

4.2.2 Διαχωρισμός σε κατώφλια

Χρησιμοποιώντας το ίδιο βασικό θεμέλιο, σκεφτήκαμε να διαχωρίσουμε τις μετρήσεις σε διαστήματα με βάση την ισχύ σήματος. Έτσι σχηματίζουμε τρία διαστήματα τα οποία ουσιαστικά αντικατοπτρίζουν την ευριστική θεώρηση μας ότι υπάρχουν διαστήματα εμπιστοσύνης μέσα στο οποία μπορούμε να εντάξουμε την ισχύ του σήματος. Συνεπώς δημιουργούμε τρία διαστήματα όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί.

$$\text{Ισχύ σήματος} \leq THRESHOLD_1 \quad \text{Ισχύ σήματος} \leq THRESHOLD_2 \quad \text{Ισχύ σήματος} \leq THRESHOLD_3$$

Τα όρια κάθε διαστήματος θα μελετηθούν και θα διαπιστωθούν κατά την πειραματική διαδικασία. Η λειτουργία της μεθόδου έχει ως εξής. Κατά τον υπολογισμό του αριθμητικού μέσου, λαμβάνονται αρχικά υπόψη μόνο μετρήσεις που ανήκουν στο πρώτο διάστημα το οποίο θεωρούμε ότι περιέχει τις πιο έγκυρες πληροφορίες λόγω του διαχωρισμού βάσει της ισχύος. Αν τα δεδομένα δεν παρέχουν τέτοιες μετρήσεις, τότε θα απευθυνθούμε στο δεύτερο διάστημα. Τέλος αν πάλι δεν είμαστε σε θέση να εξάγουμε κάποιο συμπέρασμα απευθυνόμαστε και στο τρίτο διάστημα. Αν στο τέλος της διαδικασίας αυτής δεν μπορούμε να εξάγουμε κάποιο συμπέρασμα, αγνοούμε το εν λόγω ασύρματο δίκτυο καθώς δεν μπορεί να μας παρέχει ασφαλή συμπεράσματα. Ακολούθως παρουσιάζουμε τον αλγόριθμο τόσο για τη δημιουργία του χάρτη όσο και για τη εύρεση θέσης του χρήστη.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΑΡΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΕΝΤΡΟΕΙΔΗ ΜΕΘΟΔΟ [$THRESHOLD$]

- 1 Επέλεξε όλα τα διακριτά ασύρματα δίκτυα.
- 2 Για κάθε ασύρματο δίκτυο κάνε:
 - 3 Για κάθε σημείο στο οποίο αντιληφθήκαμε το συγκεκριμένο ασύρματο:
 - 4 Αν η ισχύς σήματος είναι μικρότερη από $THRESHOLD_1$ τότε κρατάμε το σημείο προς υπολογισμό.
 - 5 Τέλος
 - 6 Αν το πλήθος των σημείων που έχουμε διατηρήσει είναι μηδέν τότε
 - 7 Για κάθε σημείο στο οποίο αντιληφθήκαμε το συγκεκριμένο ασύρματο:
 - 8 Αν η ισχύς σήματος είναι μικρότερη από $THRESHOLD_2$ τότε κρατάμε το σημείο προς υπολογισμό
 - 9 Τέλος
 - 10 Τέλος
 - 11 Αν το πλήθος των σημείων που έχουμε διατηρήσει είναι μηδέν τότε
 - 12 Για κάθε σημείο στο οποίο αντιληφθήκαμε το συγκεκριμένο ασύρματο:
 - 13 Αν η ισχύς σήματος είναι μικρότερη από $THRESHOLD_3$ τότε κρατάμε το σημείο προς υπολογισμό
 - 14 Τέλος
 - 15 Τέλος
 - 16 Αν το πλήθος των σημείων που έχουμε διατηρήσει είναι μηδέν τότε
 - 17 Δεν εξάγουμε εκτίμηση θέσης
 - 18 Αλλιώς
 - 19 Η εκτίμηση της θέσης εξάγεται ως ο αριθμητικός μέσος των σημείων που έχουμε αποθηκεύσει
 - 20 Τέλος
 - 21 Τέλος

Να σημειωθεί ότι στον αλγόριθμο που ακολουθεί θεωρούμε ότι N_p είναι το πλήθος των σημείων.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΕΝΤΡΟΕΙΔΗ ΜΕΘΟΔΟ $[THRESHOLD]$

- 1 Λήψη αποτυπώματος χρήστη
- 2 Θέτω $t = THRESHOLD_1$
- 3 Όσο $(t \leq THRESHOLD_3 \wedge N_p == 0)$ τότε
- 3 Για κάθε ασύρματο δίκτυο του αποτυπώματος κάνε:
- 4 Αν η ισχύς σήματος είναι μικρότερη από t τότε $N_p = N_p + 1$
- 5 Εύρεση στο χάρτη της μεθόδου τη θέση του συγκεκριμένου ασυρμάτου και αποθήκευση της θέσης του.
- 6 Τέλος
- 7 Αν $t == THRESHOLD_3$ τότε $t = THRESHOLD_3 + 1$
- 8 Αν $t == THRESHOLD_2$ τότε $t = THRESHOLD_3$
- 9 Αν $t == THRESHOLD_1$ τότε $t = THRESHOLD_2$
- 10 Τέλος
- 11 Αν $N_p > 0$ τότε
- 12 Υπολογισμός του αριθμητικού μέσου των σημείων που βρήκαμε
- 13 Επιστροφή της εκτιμώμενης θέσης
- 14 Αλλιώς
- 15 Αδυναμία επιστροφής εκτίμησης θέσης
- 16 Τέλος

4.2.3 Στάθμιση

Για την προσέγγιση αυτή χρησιμοποιούμε τον σταθμισμένο μέσο όρο, ο οποίος προκύπτει ανάλογα με το πιο ισχυρό σήμα που είναι καταγεγραμμένο στη βάση των δεδομένων μας την οποία χρησιμοποιούμε. Προσπαθούμε δηλαδή να προσδώσουμε πιθανότητα ανάλογη με την ισχύ του σήματος ώστε να βασιστούμε στο βασικό θεμέλιο το οποίο έχουμε θέσει. Οπότε μπορούμε να ορίσουμε ως βάρος

$$w_i = \frac{SignalStrength_{MAX}}{SignalStrength}, SignalStrength_{MAX} \leq SignalStrength (1)$$

Συνεπώς η εκτίμηση θέσης θα βρεθεί από την ακόλουθη σχέση για κάθε ασύρματο δίκτυο:

$$(EstimatedLatitude, EstimatedLongitude) = \left(\frac{\sum_{i=1}^N w_i \cdot latitude_i}{\sum_{i=1}^N w_i}, \frac{\sum_{i=1}^N w_i \cdot longitude_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \right) \quad (2)$$

Ακολουθεί η υλοποίηση σε ψευδοκώδικα του αλγορίθμου τόσο για την κατασκευή του χάρτη όσο και για τον προσδιορισμό της θέσης του χρήστη.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΑΡΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΕΝΤΡΟΕΙΔΗ ΜΕΘΟΔΟ [WEIGHTED]

- 1 Εύρεση μεγαλύτερης τιμής ισχύος. Έστω $SignalStrength_{MAX}$
- 2 Για κάθε ασύρματο δίκτυο κάνε:
 - 3 Εύρεση όλων των σημείων στα οποία αντληφθήκαμε το συγκεκριμένο ασύρματο δίκτυο.
 - 4 Υπολογίζουμε το βάρος που αντιστοιχεί σε κάθε σημείο βάση της σχέσης (1)
 - 4 Υπολογίζουμε το σταθμισμένο αριθμητικό μέσο με τους τύπους που αναφέραμε πρωτότερα (2). Το αποτέλεσμα είναι το ζητούμενο σημείο
- 5 Τέλος

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΗΣ ΘΕΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΚΕΝΤΡΟΕΙΔΗ ΜΕΘΟΔΟ [WEIGHTED]

- 1 Λήψη όλων των ασυρμάτων δικτύων που αντιλαμβάνεται ο χρήστης.
- 2 Για κάθε ένα από τα ληφθέντα ασύρματα δίκτυο κάνε:
 - 3 Εύρεση βάρους μέσω της σχέσης (1)
 - 4 Εύρεση θέσης του στο χάρτη της μεθόδου.
 - 5 Υπολογισμός σταθμισμένης θέσης.
- 4 Τέλος
- 5 Υπολογισμός συνολικής σταθμισμένης θέσης.
- 6 Επιστροφή στον χρήστη της εκτιμώμενης θέσης του

4.3 Ραδιο-αποτυπώματα

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάσαμε πως μπορούμε να εκμεταλλευτούμε εξολοκλήρου το σύνολο του αποτυπώματος του χρήστη. Υπάρχουν όμως μερικά αδιευκρίνιστα θέματα τα οποία και θα αναλύσουμε στη συνέχεια.

Σε πραγματική κατάσταση, η βάση μας είτε θα περιέχει περισσότερα δεδομένα από την τρέχουσα κατάσταση της περιοχής που έχουμε χαρτογραφήσει είτε θα περιέχει λιγότερα δεδομένα. Ως εκ τούτου, το αποτύπωμα ενός χρήστη από την εν λόγω περιοχή για ποικίλους λόγους μπορεί να περιέχει είτε περισσότερα είτε λιγότερα ασύρματα δίκτυα από το χάρτη των αποτυπωμάτων τον οποίο έχουμε στη βάση. Συνεπώς, πρέπει να εντοπίσουμε τη σωστή αναλογία μεταξύ του πλήθους των ασυρμάτων που διαφέρουν μεταξύ αποτυπώματος χρήστη και βάσης. Θεωρούμε τον επιτρεπόμενο αριθμό περισσοτέρων ασυρμάτων ως N_{MB} και ως N_{LB} το πλήθος των λιγότερων ασυρμάτων. Οι τιμές αυτές θα δούμε αργότερα πως υπεισέρχονται στον αλγόριθμο και βέβαια οι τιμές τους θα προσδιοριστούν μέσω της πειραματικής διαδικασίας. Υπάρχει ακόμη μία περίπτωση. Η περίπτωση κάποιο ασύρματο δίκτυο να μην υπάρχει καθόλου στα εκπαιδευτικά δεδομένα. Είναι εμφανές ότι μπορούμε να το αγνοήσουμε ώστε ο αλγόριθμος να γίνει πιο ανθεκτικός σε αλλαγές του περιβάλλοντος όσον αφορά τις μεταβολές στην ύπαρξη νέων ή μη χαρτογραφημένων ασυρμάτων δικτύων. Συνεπώς, ο αλγόριθμος τροποποιείται ώστε αν κάποιο ασύρματο δίκτυο που έχει ανιχνευτεί από το χρήστη δεν υπάρχει καθόλου στα εκπαιδευτικά μας δεδομένα τότε το αγνοούμε και δεν το συμπεριλαμβάνουμε καθόλου στη διαδικασία της εκτίμησης θέσης. Τέλος, προσθέσαμε και την απλή λειτουργία της τεχνικής ταιριάσματος χάρτη ώστε να είμαστε σε θέση να μελετήσουμε και τη συμπεριφορά αυτής.

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος αποτελεί ενδεδειγμένη λύση για εσωτερικούς χώρους όπως έχουμε πει και θα έχει ενδιαφέρον να μελετήσουμε τη συμπεριφορά του στον εξωτερικό χώρο.

4.4 Φίλτρα Σωματιδίων

Ας αναλύσουμε βήμα προς βήμα τον αλγόριθμο και να επιλύσουμε τα προβλήματα τα οποία θα συναντήσουμε.

Αρχικά, όταν το σύστημα εκκινήσει τη λειτουργία του, δεν έχει γνώση της ιστορικότητας της κίνησης του χρήστη με αποτέλεσμα να μην μπορεί να εκτιμήσει τη θέση του χρήστη. Για το λόγο αυτό χρειαζόμαστε αρχικά δεδομένα τα οποία θα αντλήσουμε από την κλήση κάποιου από τους ήδη προαναφερθέντες αλγορίθμους οι οποίοι δεν χρειάζονται ιστορικότητα. Μπορούμε λοιπόν να λάβουμε δύο εκτιμήσεις θέσης από τους αλγορίθμους και να υπολογίσουμε την ταχύτητα λόγω αυτών.

Λαμβάνουμε λοιπόν από την εκτέλεση αυτή δύο σημαντικά στοιχεία. Χρησιμοποιούμε την εκτιμώμενη θέση ώστε να μπορέσουμε να δημιουργήσουμε τα σωματίδια γύρω από αυτή σε ακτίνα R . Έπειτα με την εκτίμηση των δύο σημείων, θεωρούμε ότι η κίνηση είναι ευθύγραμμη ομαλή και μπορούμε να εκτιμήσουμε την ταχύτητα.

Έχουμε τα σημεία $(latitude_1, longitude_1, t_1)$ αλλά και $(latitude_1, longitude_1, t_2)$. Συνεπώς, θεωρώντας ότι η κίνηση είναι ευθύγραμμη ομαλή τότε θα ισχύει ότι:

$$u = \left(\frac{latitude_2 - latitude_1}{t_2 - t_1} \right)^{\wedge} x + \left(\frac{longitude_2 - longitude_1}{t_2 - t_1} \right)^{\wedge} y$$

Συνεπώς βάσει των πειραματικών αποτελεσμάτων θα αποφασίσουμε για την καλύτερη μέθοδο που θα μας δώσει τις δύο πρώτες εκτιμήσεις αν και αντικειμενικά το σφάλμα των δύο πρώτων εκτιμήσεων όπως θα δούμε δεν επηρεάζει την απόδοση του αλγορίθμου, ενώ σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και η ακτίνα γύρω από την οποία δημιουργούνται τα σωματίδια καθώς εν μέρει εξισορροπούν το σφάλμα στον υπολογισμό της ταχύτητας. Τη σχέση που αναπτύσσεται μεταξύ ταχύτητας και ακτίνας δημιουργίας θα την μελετήσουμε και στα πειραματικά μας αποτελέσματα σε επόμενο κεφάλαιο.

Επόμενο θέμα της μελέτης μας είναι η ύπαρξη ή όχι περιορισμού στο μοντέλο κίνησης και γενικότερα η συμπεριφορά των σωματιδίων ως προς τη γνώση αυτή. Έχουμε το οδικό δίκτυο της περιοχής που μας ενδιαφέρει και συνεπώς είμαστε σε θέση να πραγματοποιήσουμε ένα από τα ακόλουθα σενάρια:

- Τα σωματίδια αλλά και η τελική εκτίμηση να αγνοήσουν την ύπαρξη του οδικού δικτύου.
- Τα σωματίδια να αγνοήσουν την ύπαρξη του οδικού δικτύου αλλά η εκτίμηση μέσω της μεθόδου του naïve map-matching να τοποθετείται στην κατάλληλη θέση πάνω στον οδικό άξονα.
- Τα σωματίδια να δημιουργούνται και να κινούνται ελεύθερα στο χώρο αλλά εφόσον κινηθούν μέσω map-matching να τοποθετούνται πάνω στο γνωστό οδικό δίκτυο. Η εκτίμηση μπορεί είτε να αφήνεται ελεύθερη είτε να τοποθετείται πάνω στο οδικό δίκτυο.
- Τα σωματίδια να δημιουργούνται και να κινούνται μόνο πάνω στο οδικό δίκτυο. Για την εκτίμηση ισχύει ότι και πρότινος.

Μέσω των πειραματικών αποτελεσμάτων θα διαπιστώσουμε αν η γνώση και η προσαρμογή μας στο οδικό δίκτυο έχει θετική επίδραση τόσο στην εκτίμηση της θέσης όσο και στο συνολικό σφάλμα στην εκτίμηση της τροχιάς.

Τέλος, αναπόφευκτο γεγονός της μεθόδου αυτής είναι ότι κάποια σωματίδια θα έχουν πολύ μικρή πιθανότητα λόγω της λανθασμένης κατεύθυνσης στην οποία έχουν κινηθεί. Συνεπώς, πρέπει να ορίσουμε ένα όριο κάτω από το οποίο αν βρεθεί η πιθανότητα ενός σωματιδίου, θα σημάνει την αναδημιουργία του σε ακτίνα R γύρω από την τελευταία εκτίμηση θέσης. Με τον τρόπο αυτό το πλήθος των σωματιδίων παραμένει σταθερό και δε συνεχίζεται η κίνηση προς περιοχές όπου δε σημειώνεται η πραγματική κίνηση. Όλα αυτά θα δούμε εκτενώς πως επιδρούν κατά την παράθεση των πειραματικών αποτελεσμάτων.

5

Υλοποίηση

Στο κεφάλαιο αυτό πρόκειται να περιγράψουμε την υλοποίηση μας αλλά και την αρχιτεκτονική με την οποία είναι δομημένο το λογισμικό μας. Στόχος είναι να επιδείξουμε το λογισμικό βάσει του οποίου εκτελέσαμε τα πειράματά μας. Επίσης παρουσιάζουμε και την εφαρμογή που υλοποιήσαμε για τη συσκευή του κινητού τηλεφώνου που στόχο είχε την συλλογή GSM δεδομένων αν και τελικά για λόγους που εξηγούμε δεν χρησιμοποιήθηκε.

5.1 Λογική Αρχιτεκτονική

Έχοντας κατανοήσει πια τις απαιτήσεις του συστήματος μας, είμαστε πλέον σε θέση να περιγράψουμε τη λογική αρχιτεκτονική του συστήματος και τις δομικές μονάδες από τις οποίες αυτό αποτελείται.

Πρωταρχικό μας μέλημα είναι η συλλογή δεδομένων ώστε να μπορούμε να ελέγξουμε μέσω πειραμάτων τους αλγορίθμους μας αλλά και τις παραμέτρους που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα των αλγορίθμων. Συνεπώς χρειαζόμαστε δύο δομικές μονάδες οι οποίες να είναι σε θέση να καταγράφουν δεδομένα για τα ασύρματα δίκτυα αλλά και για το δίκτυο της κινητής τηλεφωνίας. Συνεπώς, υλοποιήσαμε ένα υποσύστημα συλλογής δεδομένων WiFi το οποίο και εγκαταστήσαμε σε ένα φορητό υπολογιστή και ένα υποσύστημα συλλογής GSM δεδομένων το οποίο εγκαταστήσαμε σε μία συσκευή κινητής τηλεφωνίας.

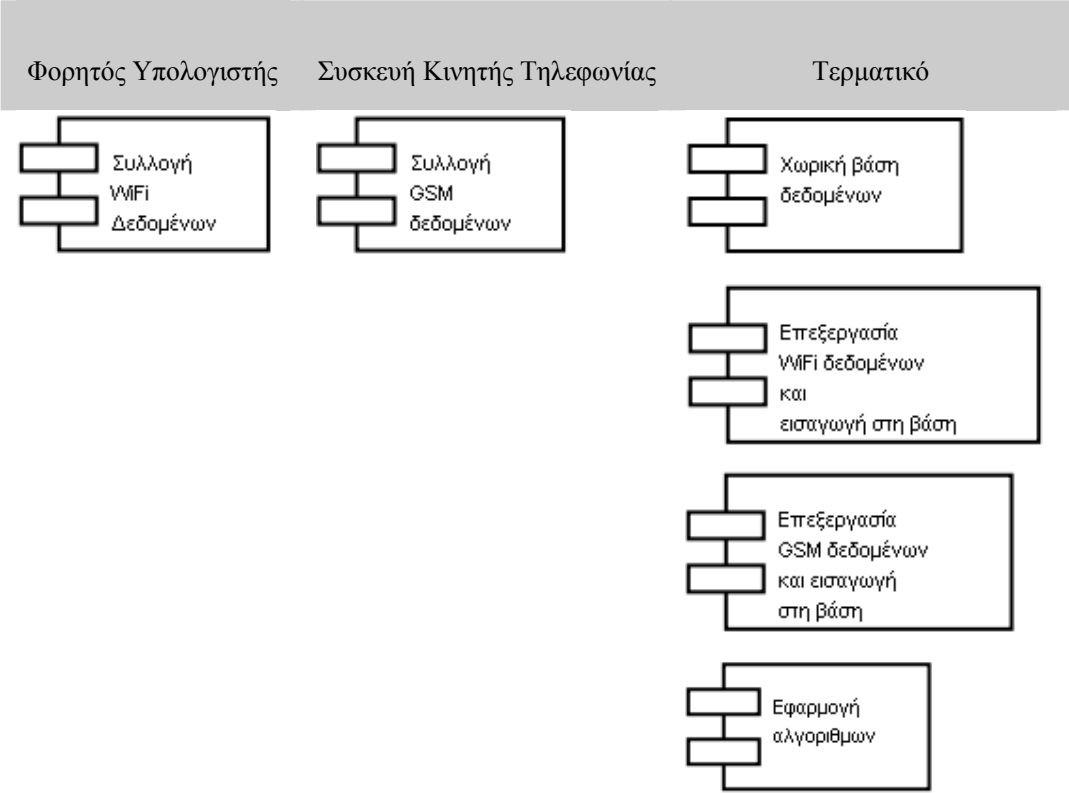
Τα δεδομένα τα οποία συλλέγουμε απαιτείται να τα επεξεργαστούμε ώστε να είμαστε σε θέση να διατηρήσουμε την πληροφορία που μας ενδιαφέρει και να την εισάγουμε σε μια βάση δεδομένων. Συνεπώς είναι επιτακτική η ανάγκη ύπαρξης ενός υποσυστήματος το οποίο θα δέχεται τα δεδομένα που συλλέξαμε και ως έξοδο θα παράγει τα δεδομένα που μας ενδιαφέρουν και θα τα εισάγει στη χωρική βάση δεδομένων.

Η χωρική βάση δεδομένων θα είναι η «αποθήκη» της γνώσης μας την οποία θα μπορούμε να εκμεταλλευτούμε ώστε να ελέγξουμε την εγκυρότητα των αλγορίθμων αλλά και να επιτελέσουμε της απλές λειτουργίες του map matching. Επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε χωρική βάση δεδομένων ώστε να εκμεταλλευτούμε κυρίως τις χωρικές λειτουργίες που μπορεί να μας παρέχει αλλά και την καλύτερη οργάνωση των χωρικών πληροφοριών που παρέχουμε. Ας μην ξεχνάμε ότι παρέχουμε ως πληροφορία τόσο το οδικό δίκτυο του Ζωγράφου, το οποίο δεν είναι τίποτα άλλο από ένα σύνολο σημείων και ευθύγραμμων τμημάτων, όσο και τα δεδομένα μας που αποτελούν σημεία στο χώρο. Συνεπώς, η χωρική βάση δεδομένων μαζί με τις αντίστοιχες λειτουργίες αποτελούν ακόμα ένα υποσύστημα.

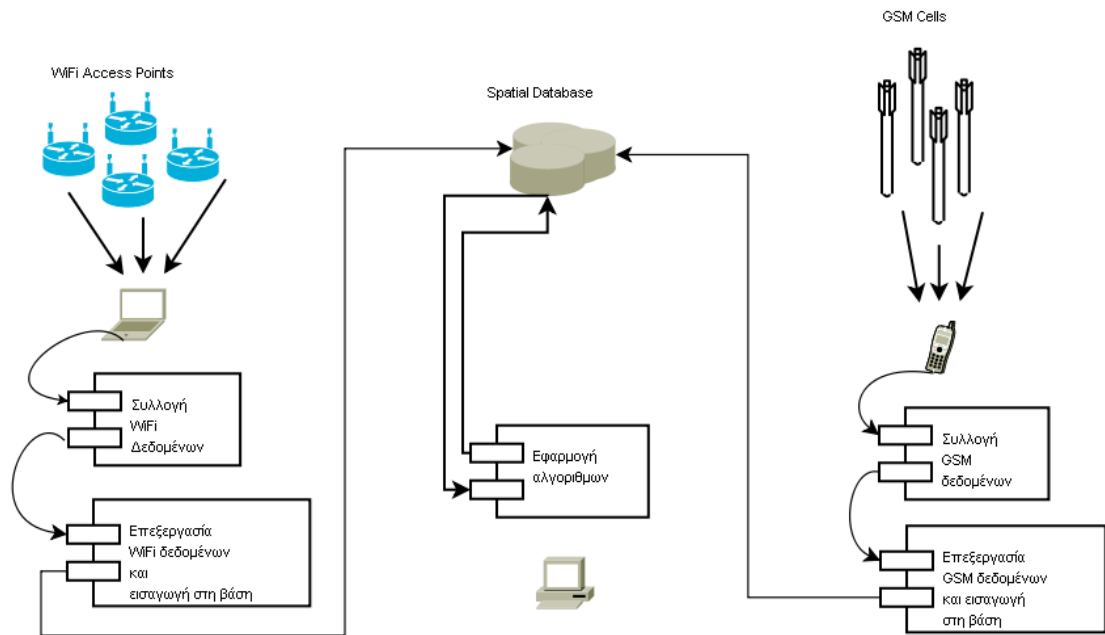
Τέλος, χρειαζόμαστε ένα κεντρικό υποσύστημα το οποίο ως στόχο θα έχει την εφαρμογή των αλγορίθμων λαμβάνοντας ως εισόδους τα δεδομένα από τη χωρική βάση δεδομένων. Θα πρέπει να εφαρμόζει τους αλγορίθμους και να είναι σε θέση να παράγει έξοδο την οποία να μπορούμε να εκμεταλλευτούμε.

Ας δούμε όμως και την αρχιτεκτονική της κατανομής των υποσυστημάτων αυτών σε επιμέρους φυσικά μέσα. Εν γένει, οι εφαρμογές συλλογής δεδομένων είτε WiFi είτε GSM μπορούν να εγκατασταθούν τόσο σε συσκευές κινητής τηλεφωνίας όσο και σε φορητό υπολογιστή. Βέβαια θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η συσκευή κινητής τηλεφωνίας θα πρέπει να έχει δυνατότητα σύνδεσης σε WiFi δίκτυα ώστε να μπορέσει να συλλέξει δεδομένα, ενώ αντίστοιχα ο φορητός υπολογιστής θα πρέπει να είναι σε θέση να συλλέγει GSM δεδομένα (μέσω κάποιας αντίστοιχης PCMCIA κάρτας) καθώς πλέον όλοι φορητοί υπολογιστές είναι εξοπλισμένοι με τη δυνατότητα να συνδεθούν σε ασύρματα δίκτυα WiFi. Σε περίπτωση που το υποσύστημα συλλογής δεδομένων εγκατασταθεί σε κινητό τηλέφωνο θα πρέπει να έχουμε εξασφαλίσει τον τρόπο μεταφοράς των δεδομένων που συλλέχθηκαν από το τηλέφωνο σε κάποιο τερματικό το οποίο θα αναλάβει να επεξεργαστεί τα δεδομένα και να τα εισάγει στη βάση δεδομένων. Το υποσύστημα της επεξεργασίας και εισαγωγής των δεδομένων στη βάση πρέπει να εγκατασταθεί σε κάποιο τερματικό που θα μπορεί να έχει ικανότητα σύνδεσης με τη βάση. Αυτό μπορεί να είναι είτε ο φορητός υπολογιστής τον οποίο χρησιμοποιήσαμε για την συλλογή των δεδομένων είτε κάποιο άλλο τερματικό. Τέλος, τα υποσυστήματα της χωρικής βάσης δεδομένων και εφαρμογής αλγορίθμων θα πρέπει να βρίσκονται εγκατεστημένα στο ίδιο τερματικό ώστε να μειώσουμε την καθυστέρηση κατά την μεταφορά των δεδομένων από και προς την βάση.

Για την δική μας υλοποίηση απεικονίζομαι στον πίνακα που ακολουθεί φυσικό μέσο εγκατάστασης κάθε υποσυστήματος.



Μπορούμε τώρα να απεικονίσουμε τη συνολική λειτουργία του συστήματος μας.



Εικόνα 16: Γενική αρχιτεκτονική

Προχωρώντας λοιπόν θα εξετάσουμε τμηματικά τα συστατικά κομμάτια της αρχιτεκτονικής μας και θα γνωρίσουμε τα εργαλεία με τα οποία δημιουργήσαμε το εκάστοτε υποσύστημα.

5.2 Πλατφόρμες και προγραμματιστικά εργαλεία

Εδώ πρόκειται να παρουσιάσουμε όλα τα εργαλεία τα οποία χρησιμοποιήσαμε ώστε να μπορέσουμε να δομήσουμε καθένα από τα υποσυστήματα τα οποία αναφέραμε προηγουμένως.

5.2.1 PostgreSQL/PostGIS

Η PostgreSQL [PGS08] αποτελεί ένα σύστημα διαχείρισης βάσης δεδομένων που μπορεί να διαχειριστεί τόσο αντικείμενα όσο και σχεσιακά δεδομένα (ORDBMS). Διανέμεται υπό την άδεια BSD και αποτελεί ελεύθερο λογισμικό το οποίο αναπτύσσεται από μία παγκόσμια κοινότητα προγραμματιστών και εταιριών. Έχει αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας τη γλώσσα C ενώ μπορεί να εγκατασταθεί σε οποιαδήποτε πλατφόρμα λειτουργικού συστήματος. Παρέχει επίσης τη δυνατότητα συγγραφής προγραμμάτων όχι μόνο SQL αλλά και σε γλώσσα PL/pgSQL η οποία αποτελεί μία διαδικαστική γλώσσα και προσφέρει τη δυνατότητα δημιουργίας προγραμμάτων με επαναληπτικούς βρόχους και άλλες δομές ελέγχου ροής, δυνατότητες που δεν υπάρχουν στη γλώσσα SQL.

Το PostGIS [GIS] αποτελεί ένα ανοικτού λογισμικού γεωγραφικό πληροφοριακό σύστημα που ουσιαστικά επεκτείνει την PostgreSQL με χωρικούς τύπους δεδομένων, τελεστές και δείκτες. Το PostGIS ακολουθεί τα πρότυπα της SQL αλλά και αυτά που έχουν τεθεί από τον οργανισμό OGC (Open Geospatial Consortium). Ο εμπλουτισμός που προσφέρει περιέχει γεωμετρικούς τύπους δεδομένων όπως σημεία, ευθείες, πολύγωνα αλλά και χωρικά κατηγορήματα και τελεστές για την τέλεση λειτουργιών όπως την εύρεση εμβαδού, την μέτρηση μήκους, την μέτρηση απόστασης κ.α.

5.2.2 Quantum GIS (Qgis)

Το Quantum GIS [QGS] αποτελεί ελεύθερο λογισμικό υπό την άδεια GPL που παρέχει λειτουργίες όπως η απεικόνιση των δεδομένων αλλά και η χωρική ανάλυση τους. Αναπτύχθηκε με τη χρήση της γλώσσας C++ ενώ είναι διαθέσιμο για όλες τις πλατφόρμες λειτουργικών συστημάτων. Η συντήρηση και ανάπτυξη κώδικα γίνεται από μία κοινότητα εθελοντών προγραμματιστών και έχει μεταφραστεί ήδη σε 14 γλώσσες.

5.2.3 Kismet

Το λογισμικό Kismet [KSM] αποτελεί λογισμικό για ανακάλυψη δικτύων, λήψη πακέτων αλλά και ανακάλυψη παραβιάσεων για ασύρματα δίκτυα 802.11. Αποτελεί λογισμικό ανοικτού κώδικα και διαμοιράζεται βάση της άδειας GNU. Είναι συμβατό με κάθε ασύρματη κάρτα που υποστηρίζει τη

λειτουργία καταγραφής απλών πακέτων (raw monitoring mode) και μπορεί να ανιχνεύσει κίνηση που υπάγεται στα πρωτόκολλα 802.11a, 802.11b, 802.11g. Είναι διαθέσιμο για όλα τα λειτουργικά συστήματα τα οποία βασίζονται στο Unix ενώ για Windows υποστηρίζεται μόνο υλικό μίας συγκεκριμένης εταιρείας όπως θα δούμε και παρακάτω.

5.2.4 NetStumbler

Το NetStumbler [NSM] είναι λογισμικό για την ανακάλυψη ασύρματων δικτύων που υλοποιούν κάποιο από τα πρωτόκολλα 802.11b, 802.11a, 802.11g. Η ανάπτυξη του λογισμικού έχει διακοπεί, ενώ δεν αποτελεί λογισμικό ανοικτού κώδικα αν και η διανομή του γίνεται ελεύθερα. Αποτελεί εργαλείο το οποίο απαιτεί την ύπαρξη λειτουργικού συστήματος Windows έως και την έκδοση XP, καθώς η έκδοση των Windows Vista δεν υποστηρίζεται. Παρέχεται επίσης μία εφαρμογή εν ονόματι MiniStumbler η οποία απευθύνεται σε συσκευές που έχουν εγκατεστημένο λειτουργικό σύστημα της οικογένειας Windows CE.

5.2.5 Java Micro Edition

Η Java Micro Edition [JME] αποτελεί υποσύνολο της πλατφόρμας Java που στοχεύει στην παροχή συγκεκριμένων συλλογών από API ώστε να είναι δυνατή η ανάπτυξη λογισμικού για μικρές και περιορισμένων πόρων συσκευές που βασίζονται σε μικροελεγκτές όπως ARM7, ARM9, AVR32. Συνεπώς, παρέχει μία πλατφόρμα ανάπτυξης κώδικα και για κινητά τηλέφωνα που αρχικά ήταν περιορισμένων δυνατοτήτων αλλά η ανάπτυξη των JSR διεπαφών έχει οδηγήσει στην διεύρυνση των δυνατοτήτων της.

5.2.6 Microsoft Visual Studio 2005

Το λογισμικό Visual Studio της Microsoft [MVS] αποτελεί ένα ενιαίο περιβάλλον ανάπτυξης εφαρμογών. Η γκάμα εφαρμογών που δίνει τη δυνατότητα να αναπτυχθούν εκτείνεται από εφαρμογές γραμμής εντολών μέχρι και δικτυακές εφαρμογές για όλες τις πλατφόρμες της Microsoft όπως Microsoft Windows, Windows Mobile, .NET Framework, .NET Compact Framework, Microsoft Silverlight. Υποστηρίζει τις γλώσσες C/C++, Visual Basic .NET, C# ενώ με πρόσθετα πακέτα μπορεί να υποστηρίξει γλώσσες όπως Chrome, F#, Python, Ruby αλλά και XML/XSLT, HTML/XHTML, JavaScript, CSS. Δεν αποτελεί ελεύθερο λογισμικό. Η προμήθεια του για χάρη των ακαδημαϊκών μας στόχων έγινε μέσω του προγράμματος Academic Alliance το οποίο και έχει συνάψει η σχολή των Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ με τη Microsoft.

5.2.7 Netbeans 6.1

Το λογισμικό Netbeans [JNB] της SUN αποτελεί μία ολοκληρωμένη λύση για την ανάπτυξη εφαρμογών σε Java. Μπορεί να επεκταθεί ώστε να προσφέρει περιβάλλον για την ανάπτυξη

εφαρμογών που χρησιμοποιούν Java Micro Edition αλλά και για εφαρμογές C/C++. Αποτελεί λογισμικό ανοικτού κώδικα υπό την άδεια GPL2.

5.2.8 *psqlODBC*

Το λογισμικό psqlODBC αποτελεί τον επίσημο οδηγό για ODBC σύνδεση με την PostgreSQL και αποτελεί εξέλιξη του PostODBC που είχε τον ίδιο στόχο. Αναπτύσσεται από προγραμματιστές οι οποίοι εθελοντικά συνεισφέρουν στο έργο της PostgreSQL και διανέμεται ελεύθερα υπό την άδεια LGPL.

5.2.9 *PostgreSQL JDBC*

Το λογισμικό αυτό [JNB] παρέχει τον κατάλληλο οδηγό ώστε να είμαστε σε θέση μέσα από προγράμματα σε Java να συνδεθούμε σε βάση PostgreSQL. Διανέμεται ελεύθερα και είναι ένα αρχείο το οποίο απλά πρέπει να συμπεριλάβουμε στον κώδικα μας.

5.2.10 *Βιβλιοθήκη γεωδαιτικών μετατροπών συντεταγμένων*

Η βιβλιοθήκη αυτή [TRL] περιέχει γεωδαιτικούς μετασχηματισμούς συντεταγμένων και είναι πολύ χρήσιμη ώστε να μπορέσουμε να μετατρέψουμε μεταξύ των συστημάτων συντεταγμένων που εμείς θα χρησιμοποιήσουμε δηλαδή το WGS-84 και GR87. Η βιβλιοθήκη διανέμεται ελεύθερα.

5.2.11 *ODBC Wrapper*

Επειδή οι κλήσεις και η επικοινωνία μέσω ODBC προγραμματιστικά χρειάζεται αρκετά βήματα, θεωρήσαμε χρήσιμο τη χρήση ενός Wrapper [WOD]. Διανέμεται ελεύθερα

5.2.12 *XML parser*

Το λογισμικό XML parsers [XML] είναι κώδικας σε C++ και παρέχει τον απαραίτητο κώδικα ώστε να επιτελέσει κανείς λειτουργίες σε αρχεία XML. Διανέμεται ελεύθερα.

5.2.13 *Carbide.vs*

Το Carbide.vs είναι plugin για το Visual Studio 2005 [NCV] και διαμορφώνει κατάλληλα το περιβάλλον και τα απαραίτητα εργαλεία ώστε να είναι δυνατή η συγγραφή, η εκτέλεση αλλά και η αποσφαλμάτωση προγραμμάτων που προορίζονται για συσκευές με λογισμικό Symbian. Διανέμεται σε διάφορες εκδόσεις, μίας εκ των οποίων είναι και ελεύθερη.

5.2.14 Symbian OS 7 SDK

Το SDK παρέχει τις απαραίτητες βιβλιοθήκες ώστε να είμαστε σε θέση να επικοινωνήσουμε με το λειτουργικό σύστημα και να αλληλεπιδράσουμε με αυτό. Χρειαζόμαστε το συμβατό με την πλατφόρμα S60 2nd Edition, Feature Pack 1 SDK και μπορούμε να το βρούμε εδώ [S60]. Διανέμεται ελεύθερα.

5.3 Ανάλυση Υποσυστημάτων

Στην ενότητα αυτή έχουμε ως στόχο να αναλύσουμε τα υποσυστήματα από τα οποία αποτελείται το σύστημα μας.

5.3.1 Συλλογή Δεδομένων WiFi

Όσον αφορά το απαραίτητο λογισμικό, προσπαθήσαμε να βρούμε ένα πρόγραμμα το οποίο να μας επιτρέπει να λαμβάνουμε τα στοιχεία που μας ενδιαφέρουν με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αξιοπιστία. Προτιμήσαμε να μην αναπτύξουμε κάποια δική μας εφαρμογή καθώς υπάρχουν πληθώρα προγραμμάτων, γλιτώνοντας έτσι από προβλήματα και παραβλέψεις που θα μας οδηγούσαν σε λανθασμένα αποτελέσματα.

Το υποψήφιο λογισμικό για τη συλλογή των δεδομένων περιλάμβανε δύο προγράμματα, το Netstumbler για την πλατφόρμα των Windows XP και το Kismet για πλατφόρμα Linux. Πρώτο λογισμικό που δοκιμάσαμε ήταν το Netstumbler. Όμως αντιμετωπίσαμε το εξής πρόβλημα. Δεν υπήρχε έγκυρη καταγραφή των ασυρμάτων δικτύων ενώ καταγράφονταν και οι προσπάθειες από άλλα ασύρματα δίκτυα να βρουν άλλα ασύρματα. Συνεπώς οι προσπάθειες αυτές δεν θα έπρεπε να καταγραφούν ή να είμαστε σε θέση να μπορέσουμε να τα διαχωρίσουμε, κάτι που δεν ήταν δυνατό. Ταυτόχρονα, παρατηρήσαμε προβλήματα τα οποία οφείλονται στον τρόπο με τον οποίο συλλέγει τα δεδομένα του το NetStumbler. Χρησιμοποιεί την υποδομή WMI των Windows ώστε να λάβει στοιχεία για τα ασύρματα δίκτυα, μη έχοντας δηλαδή απευθείας πρόσβαση στην κάρτα δικτύου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ήταν ότι κατά τη διάρκεια της συλλογής καταγράψαμε και ασύρματα δίκτυα τύπου adhoc που στην πραγματικότητα δεν υπήρχαν στην περιοχή της χαρτογράφησης μας. Για το λόγο αυτό στραφήκαμε στη λύση του Kismet, το οποίο εκτελείται στην πλατφόρμα του Linux. Χρησιμοποιήσαμε τη διανομή Debian Lenny με πυρήνα 2.6.26-1-686 ενώ τα modules που φορτώνονται για την ορθή λειτουργία της κάρτας Intel Corporation PRO/Wireless 4965 AG or AGN Network Connection είναι τα iw4965 και mac80211.

Το Kismet δεν υπάρχει υλοποιημένο για Windows για οδηγούς συσκευών, εκτός από οδηγούς για υλικό CACE AIRPCAP [KMW]. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό, είναι πως (σύμφωνα με την ίδια πηγή), οι οδηγοί για Windows που υπάρχουν για τις κάρτες των ασυρμάτων δικτύων δεν έχουν υλοποιημένη την λειτουργία Sniffer που είναι απαραίτητη για τη λειτουργία του Kismet.

5.3.1.1 Λογισμικό ανάγνωσης δεδομένων

Τα αρχεία καταγραφής του Kismet αποτελούν αρχεία xml που ενθυλακώνουν την πληροφορία που μας ενδιαφέρει. Ακολουθεί ένα παράδειγμα από ένα αρχείο xml ώστε να δούμε τη μορφή του.

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<!DOCTYPE gps-run SYSTEM "http://kismetwireless.net/kismet-gps-2.9.1.dtd">

<gps-run gps-version="5" start-time="Fri Oct 3 11:21:38 2008">

  <network-file>/root/.test/kismet/Kismet-Oct-03-2008-1.xml</network-file>

  <gps-point bssid="00:40:96:5C:98:6A" source="00:40:96:5C:98:6A" time-sec="1223022099" time-usec="122766" lat="37.980412" lon="23.781225" alt="712.140015" spd="25.395956" heading="59.230000" fix="3" signal="-80" noise="0"/>
  <gps-point bssid="00:50:7B:A0:00:00" time-sec="1223022099" time-usec="952768" lat="37.980412" lon="23.781225" alt="712.140015" spd="25.395956" heading="59.230000" fix="3" signal="-80" quality="0" noise="0"/>
  <gps-point bssid="00:15:56:CD:6A:C3" source="00:15:56:CD:6A:C3" time-sec="1223028490" time-usec="261459" lat="38.000565" lon="23.765663" alt="787.049988" spd="0.118558" heading="233.770004" fix="3" signal="-86" noise="0"/>
  <gps-point bssid="00:15:56:CD:6A:C3" source="00:15:56:CD:6A:C3" time-sec="1223028492" time-usec="923883" lat="38.000557" lon="23.765659" alt="784.080017" spd="0.089478" heading="233.770004" fix="3" signal="-77" noise="0"/>
  <gps-point bssid="00:15:56:CD:6A:C3" source="00:15:56:CD:6A:C3" time-sec="1223028493" time-usec="26278" lat="38.000557" lon="23.765659" alt="784.080017" spd="0.089478" heading="233.770004" fix="3" signal="-78" noise="0"/>
  <gps-point bssid="00:1A:70:9C:FC:A6" source="00:1A:70:9C:FC:A6" time-sec="1223028502" time-usec="286536" lat="38.000538" lon="23.765650" alt="783.419983" spd="0.140927" heading="233.770004" fix="3" signal="-90" noise="0"/>

</gps-run>
```

Εικόνα 17: Αρχείο καταγραφής Kismet

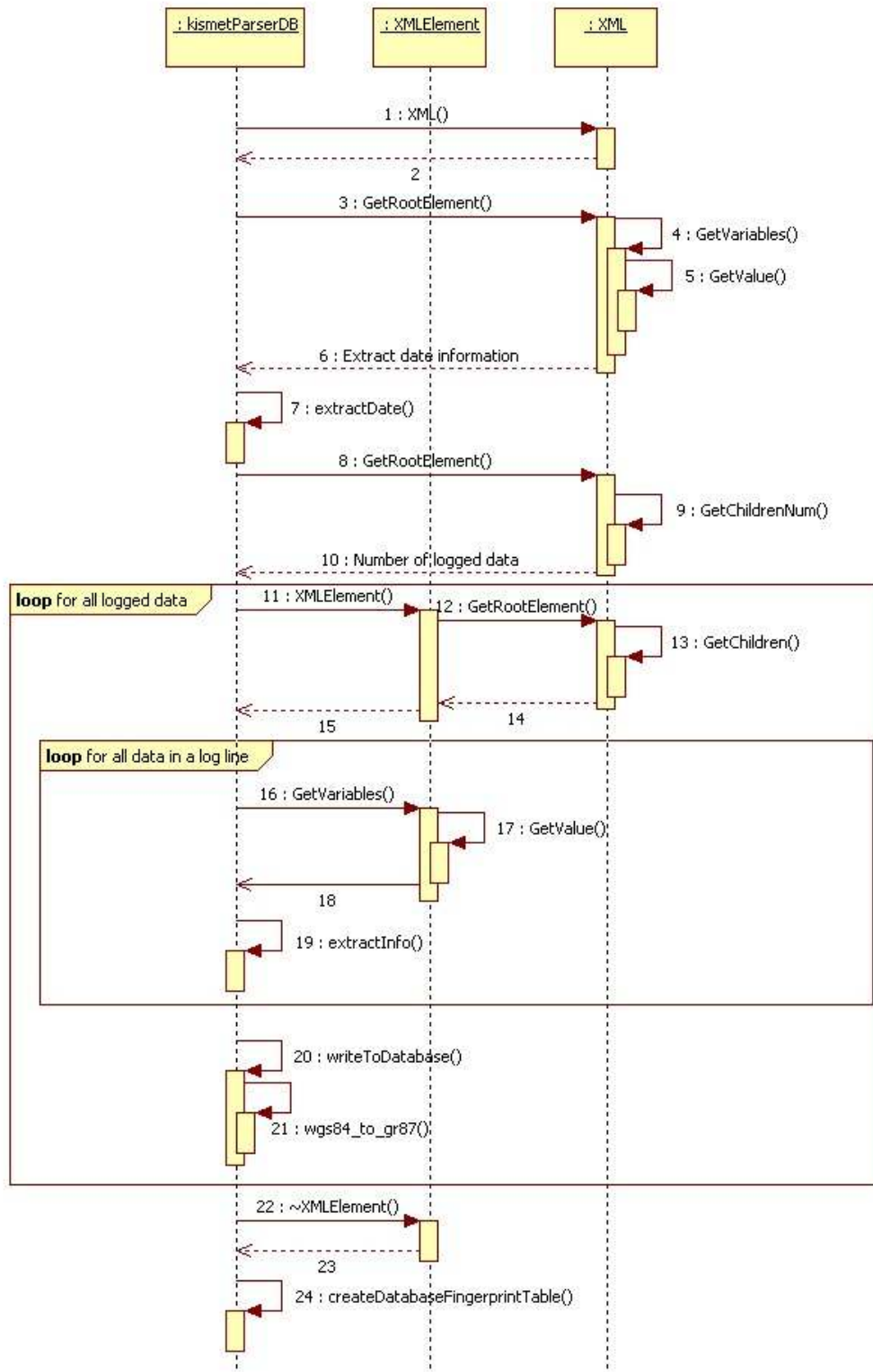
Οι πληροφορίες που μας παρέχονται και ενδιαφέρουν είναι οι ακόλουθες:

- **source:** Είναι η φυσική διεύθυνση του υλικού που δημιουργεί το ασύρματο δίκτυο και είναι μοναδικό για κάθε ασύρματο δίκτυο.
- **time-sec:** Ο χρόνος σε δευτερόλεπτα από την 1^η Ιανουαρίου 1970.
- **lat:** Είναι το γεωγραφικό πλάτος σε σύστημα συντεταγμένων WGS-84.
- **lon:** Είναι το γεωγραφικό μήκος σε σύστημα συντεταγμένων WGS-84.
- **signal:** Ισχύς σήματος. Είναι αρνητική τιμή με μονάδα dbm.
- **noise:** Θόρυβος σήματος. Επιλέξαμε να μην τον καταγράφουμε, αν και το λογισμικό τον καταγράφει.

Δημιουργήσαμε λοιπόν λογισμικό ώστε να μπορούμε να εξάγουμε τη ζητούμενη πληροφορία. Λάβαμε βοήθεια από τον κώδικα που βρήκαμε σχετικό με την XML και λειτουργίες σε αρχείου τέτοιου τύπου [XML]. Εφόσον λοιπόν εξάγουμε την πληροφορία που επιθυμούμε από το αρχείο, εισάγουμε αυτή σε έναν πίνακα στη βάση δεδομένων τον οποίο θα πρέπει πρότινος να έχουμε δημιουργηθεί και να έχει την μορφή που δηλώνουμε στην ενότητα 5.3.2.2 της παρούσας εργασίας. Εν συνεχεία παρουσιάζουμε τις εμπλεκόμενες κλάσεις, ενώ να σημειώσουμε ότι οι σχετικές με XML κλάσεις υπάγονται στον βοηθητικό κώδικα που αναφέρουμε ότι χρησιμοποιήσαμε.

kismetParserDB	
-extractTime(mtime: long): string -extractDate(data: string): string -writeToDatabase(what: data, date: string): void -createDatabaseFingerprintTable(): void <<create>>-kismetParserDB(datasource: string, dsusername: string, dspassword: string, filename: char, dbtable: string) +loadDatabase(): void	
XML	XMLElement
<<create>>-XML() <<create>>-XML(file: char, LoadMode: int, eclass, edata) <<create>>-XML(file: wchar_t, LoadMode: int, eclass, edata) +Version(): XML_VERSION_INFO(): void +MemoryUsage(): int +CompressMemory(): void +IntegrityTest(): bool +Compare(): XML: int <<create>>-XML(x: XML) <<CppOperator>>+=(; XML): XML <<destroy>>-XML() +DoMatch(text: char, p: char, IsCaseSensitive: bool): int +VMatch(text: char, p: char, IsCaseSensitive: bool): bool +TestMatch(item1: char, comp: char, item2: char): bool +ReadToZ(char, edata, isL: bool): Z<char> +Convert2HexCharToNumber(c1: int, c2: int): int +Paste(): XMLElement +ParseStatus(): int: int +SetUnicode(x: bool): void +SaveOnClose(): bool: void +Load(data: char, LoadMode: int, eclass, edata): int +LoadText(): char: int +LoadText(wchar_t): int +PartialLoad(file: char, map: char): int +PartialElement(file: char, map: char): XMLElement +Save(file: char, SaveMode: int, TargetMode: int, eclass, edata): int +Export(fp: FILE, SaveMode: int, TargetMode: int, hdr: XMLHeader, eclass, edata): void +SetExportFormatting(xf: XMLEXPORTFORMAT): void +Lock(): bool: void +SetRootElement(): XMLElement: void +RemoveRootElementAndKeep(): XMLElement +RemoveTemporalElements(): int +GetRootElement(): XMLElement +GetHeader(): XMLHeader +SetHeader(h: XMLHeader): void +ImportDBI(IMPORTDBPARAMS): XMLElement +ImportKeyL(IMPORTKEYDATA): XMLElement +XMLEncode(src: char, trg: char): int +XMLDecode(src: char, trg: char): int +XMLGetValue(section: char, attr: char, put: char, maxlen: int): int +XMLSetValue(section: char, attr: char, put: char): void +XMLQuery(rootsection: char, expression: char, rv: XMLElement, deep: unsigned int): int -Init(): void -Clear(): void	<<create>>-XMLElement(par: XMLElement, el: char, Type: int, Temp: bool) <<destroy>>-XMLElement() <<CppOperator>>+[(; int): XMLElement +SetElementParam(p: unsigned __int64): void +GetElementParam(): unsigned __int64 +Reparse(el: char, Type: int): void +GetDeep(): int +AddElement(): XMLElement: int +AddElement(char): int +InsertElement(): unsigned int, : XMLElement: int +BorrowElement(): XMLElement, : unsigned int = (unsigned)-1: int +ReleaseBorrowedElements(): int +UpdateElement(): XMLElement, UpdateVariableValues: bool: int +FindElement(): XMLElement: int +FindElement(n: char): int +FindElementZ(): XMLElement: XMLElement +FindElementZ(n: char, ForceCreate: bool, el: char, Temp: bool): XMLElement +RemoveElement(): unsigned int: int +RemoveElementAndKeep(): unsigned int, el: XMLElement: int +RemoveAllElements(): int +RemoveTemporalElements(Deep: bool): int +DeleteUnloadedElementFile(): int: int +UnloadElements(): unsigned int: int +ReloadElement(): unsigned int: int +ReloadAllElements(): int +MoveElement(): unsigned int, y: unsigned int: int +SortElements(): fcmp: void +SortVariables(): fcmp: void <<CppFriend>>+XMLElement(fcmp: void, : void): int <<CppFriend>>XMLVariable(fcmp: void, : void): int +Duplicate(): XMLElement: XMLElement +Copy(): void +MemoryUsage(): int +CompressMemory(): void +IntegrityTest(): bool +Compare(): XMLElement: int +GetComments(): XMLComment +GetCommentsNum(): unsigned int +AddComment(): XMLComment, InsertBeforeElement: int: int +AddComment(char, : int): int +RemoveComment(): unsigned int: int +RemoveAllComments(): int +GetCDatas(): XMLCDATA +GetCDatasNum(): unsigned int +AddCDATA(): XMLCDATA, InsertBeforeElement: int: int +AddCDATA(char, : int): int +RemoveCDATA(): unsigned int: int +RemoveAllCDatas(): int +AddVariable(): XMLVariable: int +AddVariable(char, : char): int +AddBinaryVariable(char, : char, : int): int +FindVariable(): XMLVariable: int +FindVariable(x: char): int +FindVariableZ(): XMLVariable: XMLVariable +FindVariableZ(x: char, ForceCreate: bool, defnew: char, Temp: bool): XMLVariable +RemoveVariable(): unsigned int: int +RemoveVariableAndKeep(): unsigned int, vr: XMLVariable: int +RemoveAllVariables(): int +RemoveTemporalVariables(Deep: bool): int +AddContent(v: XMLContent, InsertBeforeElement: int): int +AddContent(char, : int): int +RemoveContent(): unsigned int: int +RemoveAllContents(): void +GetContents(): XMLContent +GetContentsNum(): unsigned int +GetElementInSection(char): XMLElement +XMLQuery(expression: char, rv: XMLElement, deep: unsigned int): int +GetParent(): XMLElement +GetChildren(): XMLElement +GetChildrenNum(): unsigned int +GetAllChildren(): XMLElement, deep: unsigned int: unsigned int +GetAllChildrenNum(deep: unsigned int): unsigned int +GetVariables(): XMLVariable +GetVariableNum(): unsigned int +Export(fp: FILE, ShowAll: int, SaveMode: int, TargetMode: int, hdr: XMLHeader, eclass, edata): void +SetExportFormatting(xf: XMLEXPORTFORMAT): void +SetElementName(char): void +GetElementName(char, NoDecode: int): int +GetElementFullName(char, NoDecode: int): int +GetElementUniqueString(char): int +SetTemporal(): bool: void +IsTemporal(): bool +GetType(): int +Write16String(fp: FILE, s: char): void <<create>>-XMLElement(): XMLElement -SpaceForElement(): unsigned int: int -SpaceForVariable(): unsigned int: int -SpaceForComment(): unsigned int: int -SpaceForContent(): unsigned int: int -SpaceForCDATA(): unsigned int: int -print(fp: FILE, root: XMLElement, deep: int, ShowAll: int, SaveMode: int, TargetMode: int): void -SetParent(): XMLElement: void

Εικόνα 18: Διάγραμμα κλάσεων για το kismetParser



Εικόνα 19: Ακολουθιακό διάγραμμα λειτουργίας

Να σημειώσουμε ότι η συνάρτηση `wgs84_to_gr87()` έχει ως στόχο την μετατροπή των συντεταγμένων από `wgs84` σε συντεταγμένες `gr87` δηλαδή σε συντεταγμένες `x,y` ώστε να μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ευκλείδεια γεωμετρία. Ο κώδικας μεταγλωττίζεται σε εκτελέσιμο το οποίο λαμβάνει 5 ορίσματα: το όνομα του DSN, το όνομα του χρήστη, τον κωδικό, το αρχείο το οποίο θέλουμε να επεξεργαστούμε αλλά και τον πίνακα στον οποίο θα εισάγουμε τα δεδομένα. Παράδειγμα εκτέλεσης:

```
kismetParses.exe dsname username password Kismet.gps.xml databaseTable
```

5.3.2 Χωρική Βάση Δεδομένων

Τα δεδομένα τα οποία διαχειρίζεται η βάση είναι δύο κατηγοριών: α) δεδομένα από την χαρτογραφημένη περιοχή, τα οποία ονομάζουμε και ως δεδομένα εκπαίδευσης και β) τα δεδομένα των τροχιών που καταγράψαμε ώστε να ελέγξουμε την πληρότητα και την αποδοτικότητα των αλγορίθμων μας. Πρόκειται λοιπόν αφού εξετάσουμε τον τρόπο με τον οποίο διαμορφώνουμε το περιβάλλον εργασίας ώστε να έχουμε μια λειτουργική βάση δεδομένων, να εξετάσουμε τον τρόπο με τον οποίο είναι οργανωμένη η βάση μας.

5.3.2.1 Δημιουργία περιβάλλοντος εργασίας

Το περιβάλλον εργασίας μας στήθηκε σε περιβάλλον Windows XP Professional SP3 και περιελάμβανε τα ακόλουθα απαραίτητα εργαλεία

- PostgreSQL [PSQ]
- PostGIS [GIS], που αποτελεί την επέκταση της PostgreSQL ώστε να μπορεί να επεξεργαστεί χωρικά δεδομένα.

Όσον αφορά τις ρυθμίσεις της βάσης, η προκαθορισμένη λειτουργία που διαμορφώνεται κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης είναι αρκετή, ενώ χάρη ευκολίας χρησιμοποιούμε τον υπερ-χρήστη της βάσης, τον χρήστη “postgres”.

5.3.2.2 Οργάνωση δεδομένων

Για την αποθήκευση των δεδομένων δεν ακολουθείται κάποιο ιδιαίτερο σχήμα καθώς ουσιαστικά χρησιμοποιείται όλη η πληροφορία που παρέχεται από ένα tuple της βάσης γεγονός που καθιστά επιτακτική την άμεση εύρεση της πληροφορίας και όχι την αναζήτηση της σε πίνακες κάποιου σχήματος. Ακολουθεί η εντολή δημιουργίας πίνακα στον οποίο διατηρούμε τα δεδομένα μας.

```
CREATE TABLE datacollection
(
    id serial NOT NULL,
    "Latitude" double precision,
    "Longitude" double precision,
    "xyLatitude" double precision,
    "xyLongitude" double precision,
    "BSSID" text,
    "Time" text,
    "SignalStrength" smallint,
    "Noise" smallint,
    "Date" text,
    the_geom geometry,
    CONSTRAINT pk_las PRIMARY KEY (id)
)
```

Συνεπώς, ένας πίνακας είτε διαθέτει δεδομένα εκπαιδευτικά είτε δεδομένα χρήστη εμπεριέχει τα άνωθεν πεδία τα οποία και θα επεξηγήσουμε.

Όνομα στήλης	Τύπος δεδομένων	Επεξήγηση
Id	serial	Αποτελεί αύξων αριθμό και πρωτεύον κλειδί
Latitude	double	Γεωγραφικό μήκος εκφρασμένο σε WGS-84
Longitude	double	Γεωγραφικό πλάτος εκφρασμένο σε WGS-84
xyLatitude	double	Γεωγραφικό μήκος εκφρασμένο σε GR87-XY
xyLongitude	double	Γεωγραφικό πλάτος εκφρασμένο σε GR87-XY
BSSID	text	Φυσική διεύθυνση του ασύρματου δικτύου. Μοναδικό αναγνωριστικό του δικτύου
Time	text	Χρόνος
SignalStrength	small integer	Ισχύς σήματος σε απόλυτη τιμή εκφρασμένη σε dbm
Noise	small integer	Θόρυβος σήματος
Date	text	Ημερομηνία
the_geom	geometry	Γεωμετρία. Εδώ αποτελεί ένα σημείο στο χώρο

Ταυτόχρονα, δημιουργούμε κάποιες συναρτήσεις στη βάση με χρήση της PLpg/SQL οι οποίες θα μας χρησιμεύσουν στην επίλυση των αλγορίθμων. Στον πίνακα που ακολουθεί αναφέρονται τόσο οι συναρτήσεις που εμείς δημιουργήσαμε όσο και αυτές που παρέχονται από το PostGIS και τις χρησιμοποιήσαμε:

Όνομα συνάρτησης	Περιγραφή λειτουργίας
mapestimation()	Εφαρμόζει map-match για το σημείο (<i>latitude, longitude</i>) πάνω στο χάρτη και επιστρέφει μία εγγραφή με πληροφορίες

<code>createfingerprintmap()</code>	Δημιουργεί τον χάρτη για την μέθοδο των ραδιο-αποτυπωμάτων. Θα εξηγήσουμε μετά τι ακριβώς κάνει η συνάρτηση αυτή.
<code>st_pointfromtext()</code>	Επιστρέφει γεωμετρικό τύπο σημείου το οποίο και δημιουργεί από την είσοδο μας που είναι μία συμβολοσειρά
<code>st_line_interpolate_point()</code>	Επιστρέφει το σημείο στο γεωμετρικό σχήμα που εισάγουμε και έχει απόσταση όση δηλώσουμε. Η απόσταση μετράται από την αρχή του γεωμετρικού σχήματος.
<code>st_line_locate_point()</code>	Επιστρέφει το ποσοστό κατά μήκος της γραμμής όπου βρίσκεται το σημείο που είναι στο σημείο το οποίο εισάγουμε.

Το σύνολο των συναρτήσεων αυτών έχουν ως στόχο να μας επιβοηθήσουν είτε δημιουργώντας απαραίτητα συστατικά κομμάτια για τους ελέγχους είτε αναλαμβάνοντας λειτουργίες map-match οι οποίες λόγω και της χωρικής προέκτασης της βάσης μπορούν να γίνουν γρηγορότερα και ευκολότερα. Γενικότερα, να θυμίσουμε ότι το map-match γίνεται με την εξής λογική. Αναζητούμε την κοντινότερη ευθεία για το σημείο που μας ενδιαφέρει και έπειτα βρίσκουμε την προβολή του σημείου μας πάνω στην κοντινότερη ευθεία.

Σημαντική συνάρτηση συστήματος είναι η `createfingerprintmap(text table)` όπου μοναδικό όρισμα είναι το όνομα του πίνακα στον οποίο θα εφαρμοστεί η συνάρτηση αυτή. Σκοπός μας είναι να μπορέσει να διαμορφώσει έναν πίνακα που θα είναι ο χάρτης της μεθόδου των ραδιοαποτυπωμάτων. Ο πίνακας που δημιουργεί είναι ο ακόλουθος

Όνομα στήλης	Τύπος δεδομένων	Επεξήγηση
Latitude	double	Γεωγραφικό μήκος εκφρασμένο σε GR87-XY
Longitude	double	Γεωγραφικό πλάτος εκφρασμένο σε GR87-XY
BSSIDs	text	Αναγραφή όλων των BSSID μαζί με την ισχύ σήματος τους. Περιέχει εγγραφές με την εξής μορφή «φυσική διεύθυνση, ισχύς σήματος, φυσική διεύθυνση, ισχύς σήματος...»

Πλέον, έχουμε αναλύσει το κομμάτι της αρχιτεκτονικής της χωρικής βάσης δεδομένων. Θα προχωρήσουμε με την ανάλυση του βασικού προγράμματος όπου περιέχονται όλοι οι αλγόριθμοι τους οποίους έχουμε παρουσιάσει.

5.3.3 Αλγόριθμοι εντοπισμού και παρακολούθησης

Η εφαρμογή αυτή έχει ως κύριο στόχο τον έλεγχο της λειτουργίας των αλγορίθμων για την εύρεση θέσης. Πρόκειται να έχει συνεχή επικοινωνία με τη βάση δεδομένων και να εκτελεί αρκετές αριθμητικές πράξεις ενώ θέλουμε και απευθείας πρόσβαση στη μνήμη για δημιουργία και δέσμευση δικών μας δομών δεδομένων. Θυσιάζουμε λοιπόν την ευχρηστία που θα μας παρείχε κάποια γλώσσα όπως η Java και επιλέξαμε τη C++.

Πρώτο μέλημα μας είναι να εξασφαλίσουμε την επικοινωνία με τη βάση εφόσον από εκεί θα αντλήσουμε όλα μας τα δεδομένα. Επιλέξαμε αυτό να γίνει μέσω των οδηγών ODBC. Η postgres παρείχε κάποιον κώδικα γραμμένο σε C ο οποίος εξασφάλιζε τη διαλειτουργικότητα και επικοινωνία μεταξύ κώδικα και βάσης, αλλά δεν ήμασταν σε θέση να τον αξιοποιήσουμε. Για το λόγο αυτό χρειάζεται να περιγράψουμε και τον τρόπο δημιουργίας του περιβάλλοντος καθώς χρειάζονται συγκεκριμένες ρυθμίσεις είτε για τη χρήση και εκτέλεση της εφαρμογής είτε για τη διαδικασία ανάπτυξης του λογισμικού. Προχωρώντας λοιπόν, θα δούμε πως διαμορφώνουμε το περιβάλλον και έπειτα θα περάσουμε στην ανάλυση του κώδικα με διαγράμματα UML.

5.3.3.1 Δημιουργία περιβάλλοντος εργασίας

Για τη συγγραφή του κώδικα χρησιμοποιήσαμε το Microsoft Visual Studio 2005 ώστε να εκμεταλλευτούμε εύκολα τις έτοιμες δυναμικές βιβλιοθήκες (dll) που υπάρχουν για τη σύνδεση μας μέσω των οδηγών ODBC με τη βάση δεδομένων.

Για την ορθή συνεργασία μεταξύ των ODBC οδηγών και της βάσης πρέπει να εγκαταστήσουμε το λογισμικό psqLODBC [POD], το οποίο παρέχει τους κατάλληλους οδηγούς. Επόμενο βήμα είναι η δημιουργία μιας ODBC σύνδεσης. Για να γίνει αυτό ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα

1. Πηγαίνουμε στον Πίνακα Ελέγχου (Control Panel)
2. Επιλέγουμε τα Εργαλεία Διαχείρισης (Administration Tools)
3. Επιλέγουμε Πηγές Δεδομένων (Data Sources (ODBC))
4. Κάνουμε κλικ στο Προσθήκη (New) και ακολουθούμε τα βήματα τα οποία μας υποδεικνύονται.

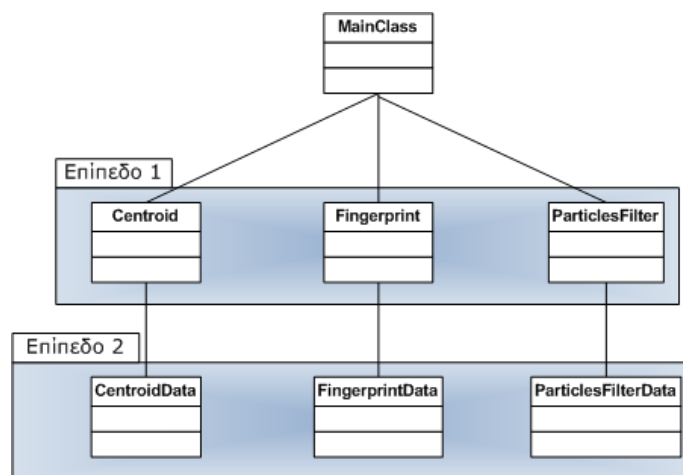
Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας, πρέπει να συγκρατήσουμε το όνομα DSN, το όνομα χρήστη και τον κωδικό χρήστη.

Οι πρωτογενείς κλήσεις για τη σύνδεση, ανάληψη, εισαγωγή δεδομένων είναι αρκετά πολύπλοκες. Για το λόγο αυτό αναζητήσαμε κάποιο Wrapper, κώδικα δηλαδή που να αυτοματοποιεί κάπως τις βασικές λειτουργίες τις οποίες χρειαζόμαστε. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήσαμε τον κώδικα που βρήκαμε εδώ [WOD]. Με τον τρόπο αυτό απλοποιήθηκε σημαντικός φόρτος εργασίας.

Τέλος, πρέπει να βρούμε μια βιβλιοθήκη η οποία να μας επιτρέπει να μετασχηματίζουμε συντεταγμένες μεταξύ των συστημάτων συντεταγμένων που έχουμε δηλαδή το WGS-84 και το GR87-XY [TRL]. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήσαμε την βιβλιοθήκη που βρήκαμε από τη Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π.

5.3.3.2 Παρουσίαση Υλοποίησης

Η εφαρμογή είναι δομημένη κατά το πρότυπο της αρχιτεκτονικής ανοικτής στιβάδας. Προσπαθήσαμε εν γένει να έχουμε τρία επίπεδα. Το αρχικό επίπεδο είναι αυτό το οποίο θα αναγνωρίσει τα ορίσματα τα οποία εισάγουμε στο πρόγραμμα και βάσει αυτών θα δημιουργήσει τη σειρά εκτέλεσης εντολών ώστε να επιτευχθεί το ζητούμενο. Το δεύτερο επίπεδο είναι αυτό που θα λάβει τα απαιτούμενα δεδομένα από τη βάση δεδομένων και θα τα διοχετεύσει στο τρίτο επίπεδο όπου και γίνονται οι απαραίτητες αλγοριθμικές διαδικασίες. Οι παραβάσεις του μοντέλου αυτού είναι ότι τόσο το δεύτερο όσο και το τρίτο επίπεδο είναι σε θέση να γράψουν αποτελέσματα σε αρχεία, αλλά και το γεγονός ότι το τρίτο επίπεδο για λόγους ευκολίας μπορεί να επικοινωνήσει με τη βάση ώστε να εισάγει δεδομένα τα οποία θα χρησιμοποιήσουμε κυρίως για λόγους απεικόνισης. Ακολουθεί σχεδιάγραμμα όπου εμφανίζεται η ιεραρχία την οποία αναφέραμε αλλά και το γεγονός ότι τα δεδομένα καταλήγουν μέσω των κλάσεων επιπέδου 1 σε αυτές του επιπέδου 2.

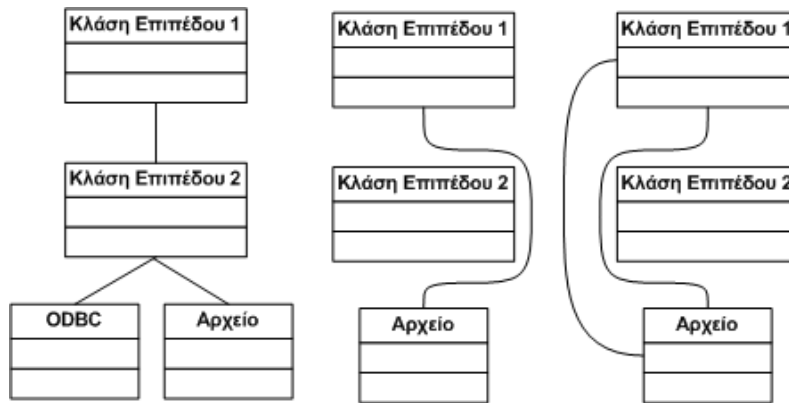


Εικόνα 20: Ιεραρχία κλάσεων



Εικόνα 21: Ροή δεδομένων

Όσον αφορά την έξοδο των δεδομένων, ανάλογα με την κλάση, ακολουθούνται διαφορετικές προσεγγίσεις. Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζουμε τις δυνατές προσεγγίσεις.

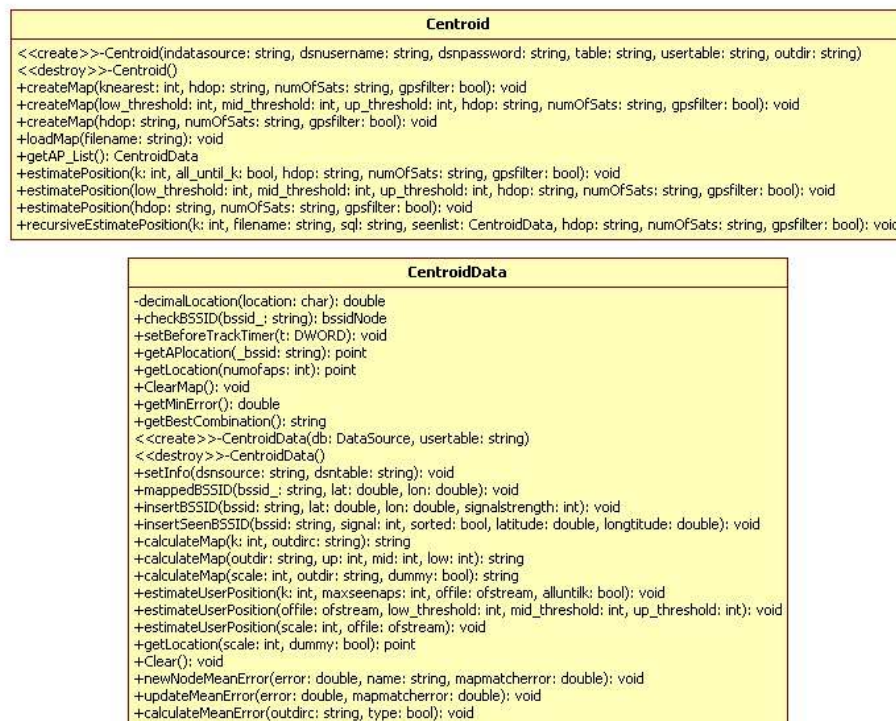


Εικόνα 22: Ροή πληροφορίας εξόδου

Εν συνεχεία θα αναλύσουμε κάθε μία από τις κλάσεις που υλοποιούν τους τρεις αλγορίθμους τους οποίους υλοποιούμε καθώς και τις παραλλαγές αυτών, ενώ στο τέλος θα παρουσιάσουμε και τη μορφή του αρχείου εξόδου και των πληροφοριών που αυτό εμπεριέχει.

Κεντροειδής

Οι κλάσεις που σχετίζονται με την μέθοδο αυτή είναι οι Centroid και CentroidData. Ακολουθούν τα διαγράμματα κλάσεων τους.

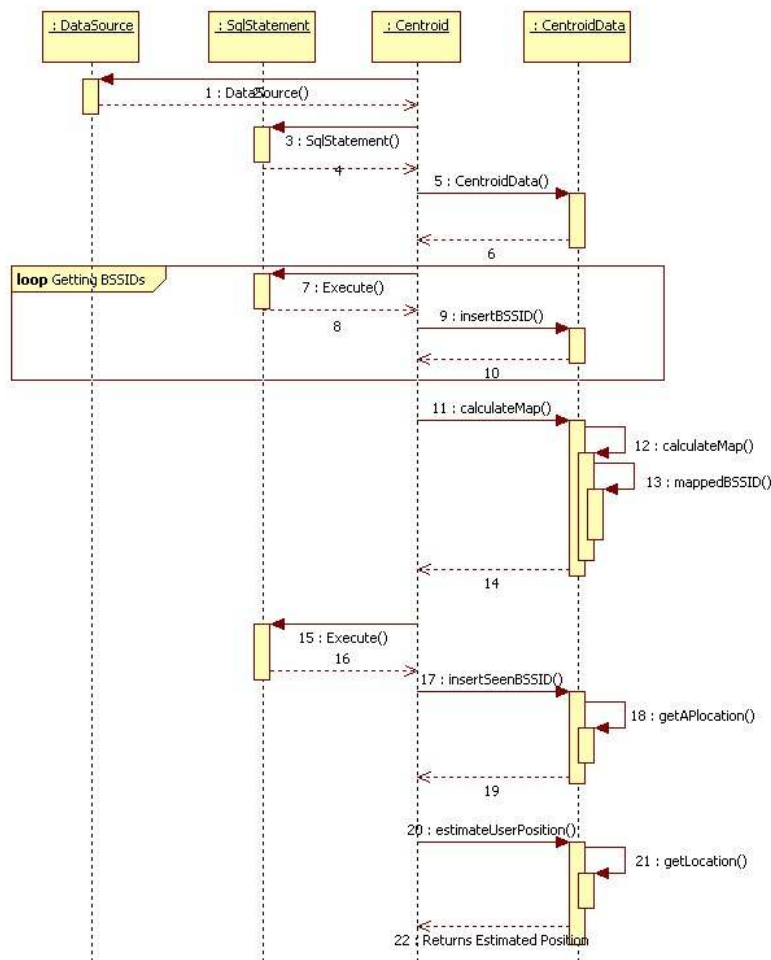


Εικόνα 23: Διάγραμμα κλάσεων για την κεντροειδή μέθοδο

Όπως είχαμε αναφέρει και στο κεφάλαιο 4, υπάρχουν τρεις μέθοδοι που θα μελετήσουμε είτε για τον τρόπο δημιουργίας του χάρτη είτε για τον τρόπο εντοπισμού θέσης του χρήστη. Για το λόγο αυτό όπως παρατηρούμε στην κλάση *Centroid* υπάρχουν αντίστοιχα 3 μέθοδοι για τη δημιουργία του χάρτη και 3 για την εκτίμηση της θέσης. Αντίστοιχα σε κάθε μέθοδο οι παράμετροι που εισάγουμε είναι οι εξής:

- k για την μέθοδο k -κοντινότερων.
- $low, mid, high$ για την μέθοδο των διαστημάτων.

Για την 3^η μέθοδο η μέγιστη τιμή της ισχύος μπορεί να ληφθεί από τα δεδομένα της βάσης με συνέπεια να μην υπάρχει η ανάγκη να οριστεί παράμετρος. Στο επόμενο ακολουθιακό διάγραμμα θα δούμε πως δουλεύει η κλάση ώστε να είναι σε θέση να εκτιμήσει τη θέση του χρήστη.

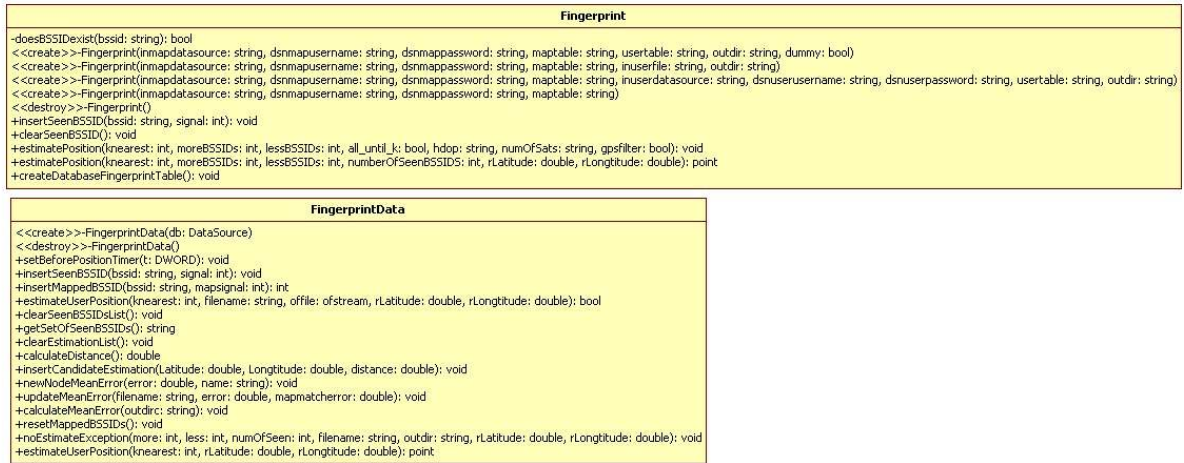


Εικόνα 24: Ακολουθιακό διάγραμμα λειτουργίας Κεντροειδή

Στο ακολουθιακό διάγραμμα φαίνεται η λογική, η συνολική λειτουργία αλλά και η λειτουργία των επιμέρους κλάσεων.

Ραδιο-αποτυπώματα

Για την εν λόγω μέθοδο υπάρχουν αντίστοιχα δύο κύριες κλάσεις η Fingerprint και η FingerprintData για τις οποίες και ακολουθούν τα διαγράμματα κλάσεων.

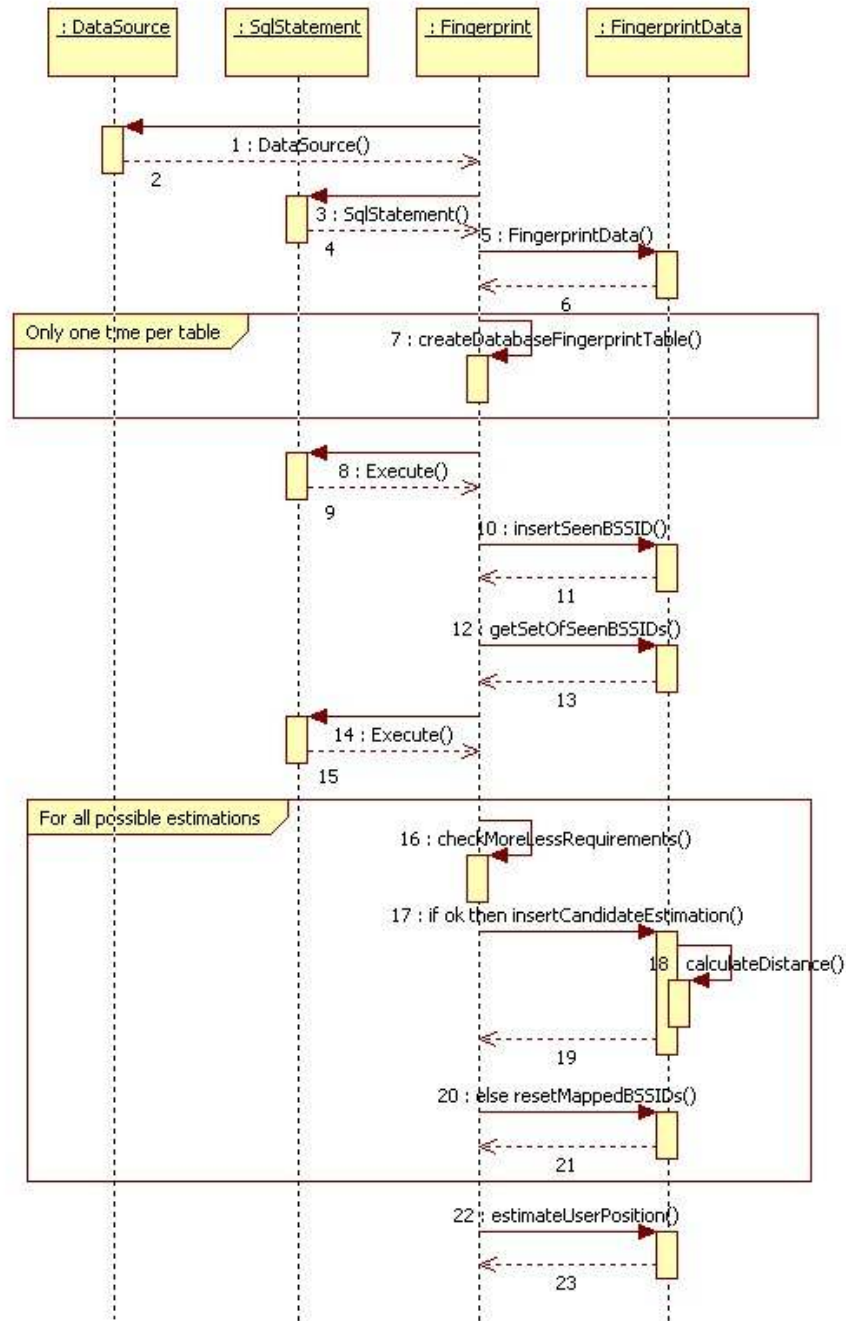


Εικόνα 25: Διαγράμματα κλάσεων μεθόδου ραδιοαποτυπώματος

Οι παράμετροι τις μεθόδου που είχαμε θέσει είναι οι ακόλουθες:

- *moreBSSID* : πλήθος περισσότερων BSSID που είναι αποδεκτό.
- *lessBSSID* : πλήθος λιγότερων BSSID που είναι αποδεκτό
- *k* : το πλήθος των *k* -κοντινότερων εκτιμήσεων τις οποίες θα συμπεριλάβουμε στην εκτίμηση της θέσης του χρήστη.

Συνεπώς κάθε κλήση προς τη συνάρτηση εκτίμησης θέσης περιέχει τις παραμέτρους αυτές ως ορίσματα. Στο ακολουθιακό διάγραμμα που ακολουθεί θα δούμε τον τρόπο λειτουργίας των κλάσεων ώστε να επιτευχθεί το ζητούμενο αποτέλεσμα.



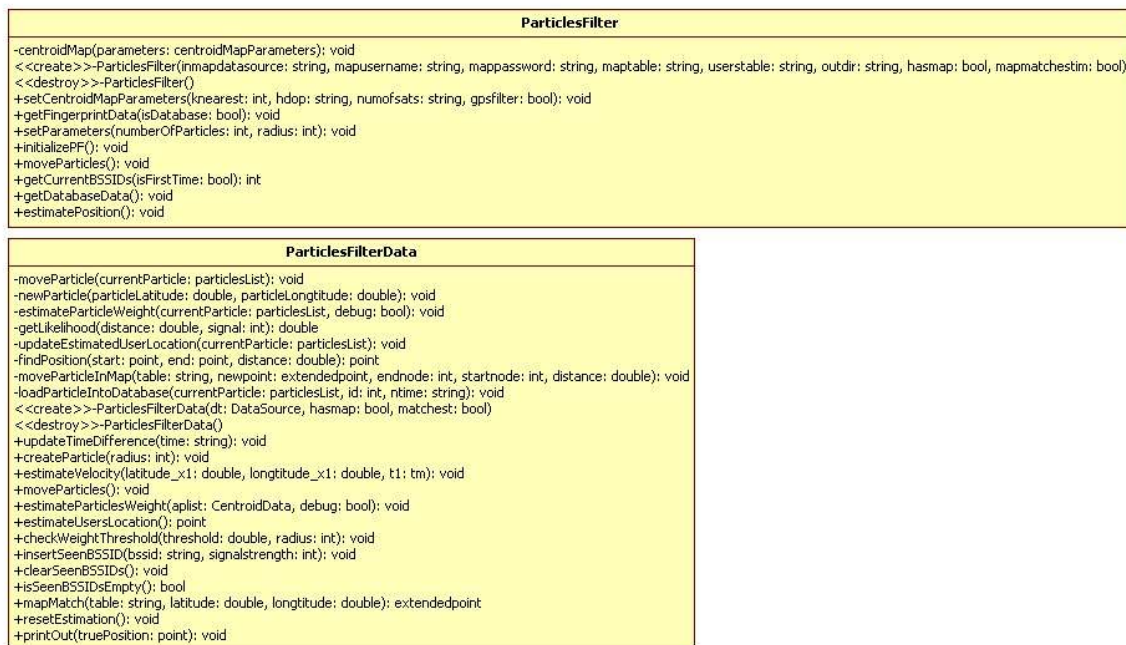
Εικόνα 26: Ακολουθιακό διάγραμμα εκτίμησης θέσης με τη μέθοδο των ραδιοαποτυπωμάτων

Το ακολουθιακό διάγραμμα υλοποιεί τον αλγόριθμο των οποίο περιγράψαμε σε προηγούμενη ενότητα και μπορούμε να δούμε ποιες κλάσεις εξυπηρετούν το σκοπό μας. Θεωρούμε ότι δημιουργούμε (μέσω της συνάρτησης `createDatabaseFingerprintData`) ή έχουμε ήδη δημιουργήσει τον πίνακα-χάρτη της μεθόδου. Επόμενο βήμα είναι να λάβουμε από τον αντίστοιχο πίνακα τα ασύρματα δίκτυα τα οποία ανιχνεύει ο χρήστης και να επιλέξουμε από τον χάρτη της μεθόδου όλες

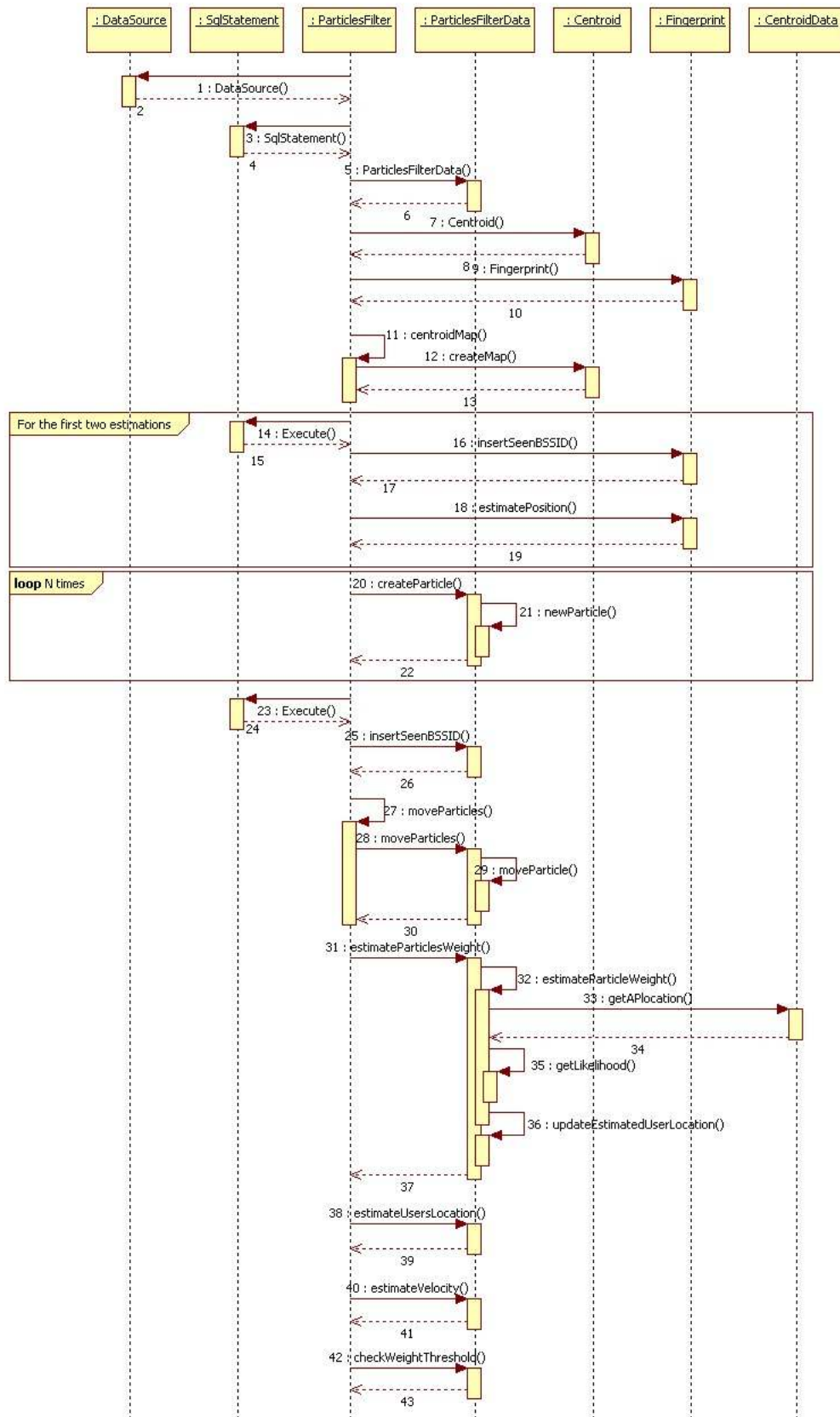
τις πιθανές θέσεις που ικανοποιούν τις συνθήκες που έχουμε θέσει για το πλήθος των περισσότερων και λιγότερων ασυρμάτων που γίνονται αποδεκτά. Έπειτα, έχοντας υπολογίσει την απόσταση στο χώρο της ισχύος μπορούμε να υπολογίσουμε τον αριθμητικό μέσο των k -κοντινότερων στο χώρο ισχύος πιθανών θέσεων εξάγουμε την εκτιμώμενη θέση του χρήστη.

Φίλτρο Σωματιδίων

Θα δούμε τώρα τη λειτουργία των κλάσεων που σχετίζονται με τον αλγόριθμο του φίλτρου των σωματιδίων. Ακολουθεί τόσο το σχεδιάγραμμα των κλάσεων αλλά και το ακολουθιακό διάγραμμα που δείχνει τον τρόπο λειτουργίας.



Εικόνα 27: Διάγραμμα κλάσεων της μεθόδου φίλτρου σωματιδίων



Εικόνα 28: Ακολουθιακό διάγραμμα λειτουργίας μεθόδου φίλτρου σωματιδίων

Η λειτουργία του αλγορίθμου έχει ως εξής. Αρχικά δημιουργούμε έναν χάρτη για την τοποθεσία των σημείων πρόσβασης των ασυρμάτων δικτύων με την κεντροειδή μέθοδο καθώς θα μας χρειαστεί στη συνέχεια. Μετέπειτα πρέπει να βρούμε δύο εκτιμήσεις θέσεις ώστε να μπορέσουμε να αρχικοποιήσουμε τον αλγόριθμο και να έχουμε τις πρώτες τιμές για το μοντέλο κίνησης. Συνεπώς μέσω του αλγορίθμου των ραδιο-αποτυπωμάτων (θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε την κεντροειδή μέθοδο) προβαίνουμε σε εκτίμηση θέσης για τις δύο αρχικές τοποθεσίες. Πλέον μπορούμε να δημιουργήσουμε το πλήθος των σωματιδίων το οποίο έχουμε ορίσει σε ακτίνα το πολύ όσο αυτή που έχουμε ορίσει. Ταυτόχρονα το μοντέλο κίνησης έχει αρχικοποιηθεί οπότε το εφαρμόζουμε κινώντας τα σωματίδια στο χώρο. Πλέον, ο αλγόριθμος εφαρμόζεται κανονικά. Για κάθε νέα μέτρηση, παραλαμβάνει τα ασύρματα δίκτυα τα οποία αισθάνεται ο χρήστης και αναλαμβάνει να αναθέσει μία πιθανότητα σε κάθε σωματίδιο ανάλογα με την απόσταση που έχει από την πηγή του κάθε ασύρματου δικτύου και την ισχύ σήματος. Εφόσον γίνει αυτό για όλα τα σωματίδια, ο σταθμισμένος μέσος όρος τους είναι η νέα εκτίμηση θέσης. Αν επιθυμούμε εφαρμόζουμε τεχνικές προσαρμογής χάρτη στα σωματίδια και εν συνεχεία ενημερώνουμε το μοντέλο κίνησης και κινούμε τα σωματίδια. Βέβαια πριν παραδώσουμε την τελική εκτίμηση μπορούμε να εφαρμόσουμε και σε αυτήν προσαρμογή ώστε να ταιριάζει στο χάρτη.

5.3.4 Συλλογή GSM δεδομένων

Για την εφαρμογή απαιτείται το λειτουργικό σύστημα να μας δίνει την δυνατότητα να λάβουμε πληροφορίες σχετικές με το δίκτυο GSM. Τη χρονική στιγμή που επιχειρούσαμε την κατασκευή της εφαρμογής τα μόνα διαθέσιμα λειτουργικά για τα οποία ήταν δυνατό να γράψουμε κώδικα ήταν τα ακόλουθα: Windows Mobile Edition και Symbian. Για το λειτουργικό των Windows Mobile Edition δεν ήμασταν σε θέση να βρούμε τρόπο να μπορέσουμε να διαβάσουμε τα GSM δεδομένα. Το POLS έχει υλοποιήσει εφαρμογή ικανή να ανακτήσει δεδομένα του GSM δικτύου αλλά η εφαρμογή είναι αποκλειστικά βασισμένη για κινητά της εταιρείας HTC με κώδικα αποκλειστικά βασισμένο στη λειτουργία των κινητών αυτών. Για το λόγο αυτό επιλέξαμε να υλοποιήσουμε την εφαρμογή σε κινητό με λειτουργικό σύστημα Symbian.

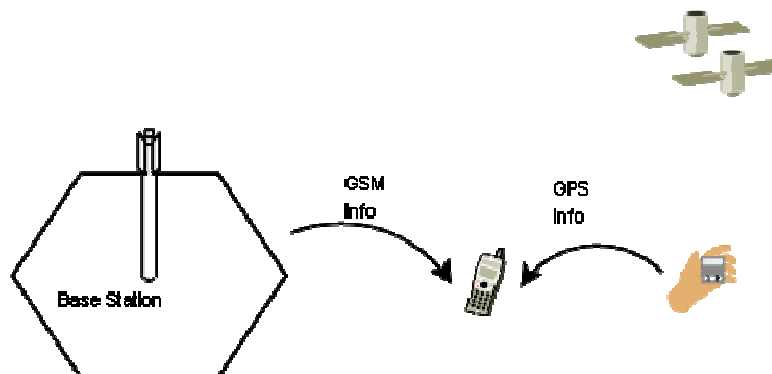
Το κινητό το οποίο χρησιμοποιήσαμε είναι το Nokia 6260 [NMP] με SymbianOS v7.0, series 60. Ο λόγος για τον οποίο επιλέχτηκε η συσκευή είναι ότι περιέχει ακριβώς το ελάχιστο απαιτούμενο πλήθος τεχνικών χαρακτηριστικών, γεγονός που σημαίνει ότι μπορούμε με βάση αυτό να δημιουργήσουμε μια γενική εφαρμογή η οποία χωρίς αλλαγές να μπορεί να εκτελεστεί σε όλα τα κινητά. Τεχνικά χαρακτηριστικά τα οποία μας ενδιαφέρουν παρατίθενται στον πίνακα που ακολουθεί.

Δίκτυα Λειτουργίας:	GSM 900/1800/1900 MHz
Λειτουργικό Σύστημα:	Symbian OS v7.0s
Πλατφόρμα ανάπτυξης:	S60 2 nd Edition, Feature Pack 1
Έκδοση Bluetooth:	1.1
Java Τεχνολογία	
Έκδοση MIDP:	2.0
Έκδοση CLDC:	1.0
Υποστηριζόμενα JSR	
JSR 82:	API για Bluetooth (χωρίς OBEX)
JSR 120:	API για mobile media
JSR 135:	API για wireless messaging



Πίνακας 1: Τεχνικά χαρακτηριστικά Nokia 6260

Οι απαιτήσεις μας ήταν η δυνατότητα καταγραφής GSM δεδομένων, η καταγραφή GPS δεδομένων και η δυνατότητα μεταφοράς των καταγεγραμμένων αρχείων με τα δεδομένα μέσω της χρήσης του Bluetooth. Για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις αυτές, διαχωρίσαμε τους ρόλους μεταξύ δύο εφαρμογών. Μία εφαρμογή γραμμένη σε Symbian C++ η οποία ως στόχο θα έχει την λήψη των GSM δεδομένων και τη διοχέτευση αυτής σε sockets, από τα οποία μία Java (Java Mobile Edition) εφαρμογή θα μπορούσε να τα λάβει και να τα επεξεργαστεί. Η υλοποίηση ολόκληρου του εγχειρήματος σε Java δεν είναι δυνατή καθώς η Java εκτελείται σε ένα Java Virtual Machine και μπορεί να επικοινωνήσει με τον εξωτερικό κόσμο μόνο μέσω των διαθέσιμων JSR. Συνεπώς, η επικοινωνία με τον πυρήνα του λειτουργικού όπου υπάρχουν οι πληροφορίες που μας ενδιαφέρουν είναι αδύνατη. Στη συνέχεια, πρόκειται να μελετήσουμε την αρχιτεκτονική και τη λειτουργία καθενός από τα μέρη αυτά.



Εικόνα 29: Λειτουργίες της εφαρμογής του κινητού τηλεφώνου

5.3.4.1 Ρύθμιση περιβάλλοντος ανάπτυξης

Για να είμαστε σε θέση να γράψουμε και να εκτελέσουμε κώδικα χρειαζόμαστε τα εξής:

1. Το SDK για Symbian C++ σε λειτουργικό Symbian OS 7.0 S60.
2. Ένα περιβάλλον εργασίας με τα απαραίτητα εργαλεία ώστε να είμαστε σε θέση να μεταγλωττίσουμε τον κώδικα μας.
3. Εφαρμογή σύνδεσης μας με το κινητό τηλέφωνο

Το SDK παρέχει τις απαραίτητες βιβλιοθήκες ώστε να είμαστε σε θέση να επικοινωνήσουμε με το λειτουργικό σύστημα και να αλληλεπιδράσουμε με αυτό. Χρειαζόμαστε το συμβατό με την πλατφόρμα S60 2nd Edition, Feature Pack 1 SDK και μπορούμε να το βρούμε εδώ [S60] αλλά υπάρχει ένα μεγάλο πρόβλημα. Οι βιβλιοθήκες τις οποίες χρησιμοποιούμε για να λάβουμε τις πληροφορίες GSM έχουν αφαιρεθεί. Μπορούμε όμως να τις βρούμε [ETEL] και ακολουθώντας τις οδηγίες [ETI] να αποκαταστήσουμε τη λειτουργία τους. Πλέον το SDK είναι έτοιμο.

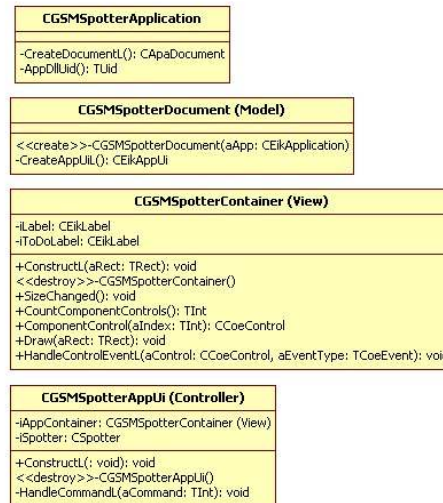
Υπάρχουν δύο εφικτές λύσεις για περιβάλλον εργασίας. Η πρώτη ονομάζεται Carbide.c++ [NCD] και ουσιαστικά είναι το περιβάλλον του Eclipse παραμετροποιημένο ώστε να περιέχει τα εργαλεία που χρειαζόμαστε για ανάπτυξη σε Symbian C++. Υπάρχουν αρκετές εκδόσεις του από τις οποίες μία είναι χωρίς κόστος και με περιορισμένες δυνατότητες. Η δεύτερη επιλογή είναι το Carbide.vs που είναι plugin για το Visual Studio 2005 [NCV]. Δουλέψαμε με το Carbide.vs διότι η διαδικασία εγκατάστασης ήταν εύκολη αλλά και η διαδικασία δημιουργίας SIS πακέτων, δηλαδή εκτελέσιμων προς εγκατάσταση στο κινητό. Μεγάλο μειονέκτημα και των δύο λύσεων είναι η απουσία δυνατότητας αποσφαλμάτωσης (debug) ενώ η εφαρμογή εκτελείται στο κινητό.

Τέλος, η εφαρμογή που πραγματοποιεί τη σύνδεση μεταξύ υπολογιστή και κινητού είναι το γνωστό Nokia PC Suite [NPC]. Είμαστε έτοιμοι πλέον να παρουσιάσουμε τον κώδικα και τη λειτουργία αυτού.

Να σημειώσουμε πως όλο το άνωθεν λογισμικό υπήρχε μόνο για το λειτουργικό σύστημα των Windows XP ενώ δεν υπήρχε αντίστοιχη υλοποίηση για Linux. Για το λόγο αυτό επικεντρωθήκαμε στο λειτουργικό σύστημα Windows XP.

5.3.4.2 Υλοποίηση

Η εφαρμογή μας είναι αρκετά απλή. Θέλουμε ουσιαστικά να δημιουργήσουμε με sockets έναν server που όταν δεχθεί κάποιον πελάτη, τότε να ανακτήσει GSM δεδομένα και να τα παραδώσει στον πελάτη. Όλα τα προγράμματα στο Symbian συνήθως ακολουθούν την αρχιτεκτονική MVC (Model, View, Controller). Συνεπώς, στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζουμε το διάγραμμα των κλάσεων που απαρτίζουν το βασικό πρότυπο μιας Symbian εφαρμογής, το οποίο και χρησιμοποιήσαμε.



Εικόνα 30: Διάγραμμα κλάσεων βασικού προτύπου

Δε θα επεξηγήσουμε λεπτομερώς την λειτουργία των ανωτέρω γιατί είναι εμφανής από την ονομασία. Η κλάση **Cspotter** είναι αυτή που αναλαμβάνει την επιθυμητή για εμάς λειτουργία. Αρχικοποιείται και εκκινείται κατά την κατασκευή της κλάσης του controller (**CGSMSpotterAppUI**). Ας περάσουμε όμως τώρα να δούμε το διάγραμμα της κλάσης που επιτελεί την ενδιαφέρουσα για εμάς λειτουργία.



Εικόνα 31: Διάγραμμα βασικής κλάσης

Η τρόπος λειτουργίας είναι ο εξής. Η κλάση Cspotter αρχικοποιείται και ξεκινά η μέθοδος StartL() η οποία δημιουργεί το απαραίτητο socket στο οποίο πρόκειται να συνδεθεί η εφαρμογή ανάκτησης των δεδομένων και επιτελεί τις απαραίτητες λειτουργίες. Διακόπτει τη λειτουργία της, περιμένοντας

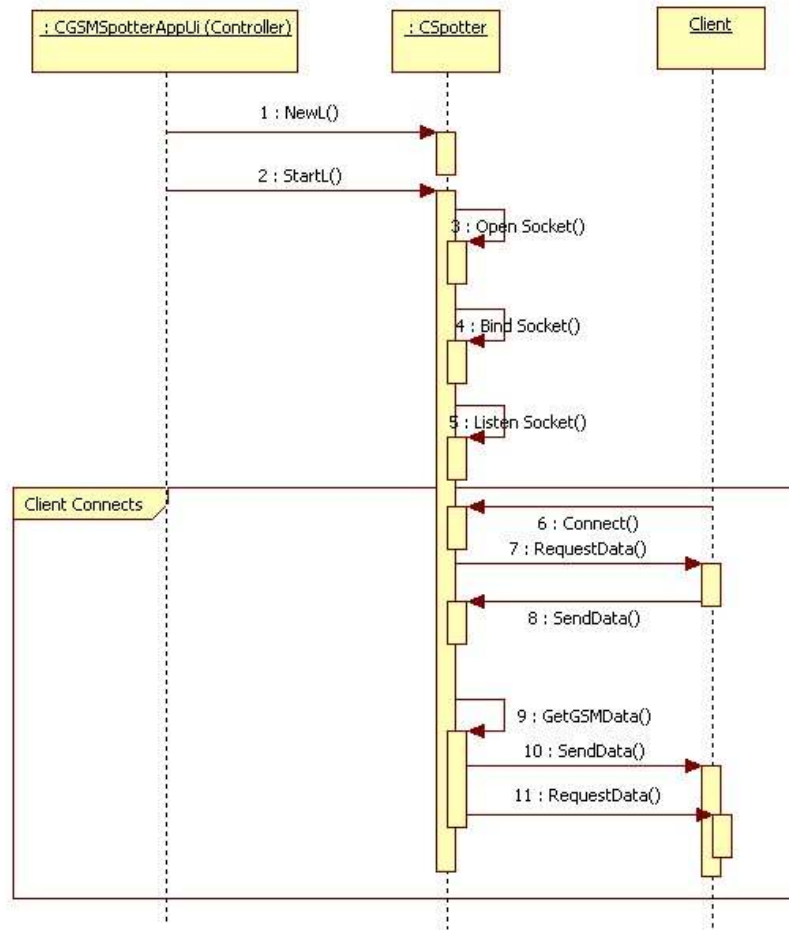
να συνδεθεί σε αυτόν κάποιος πελάτης. Όταν αυτό συμβεί, απαιτεί από τον πελάτη να λάβει κάποια δεδομένα, τα οποία είναι «σκουπίδια» άρα μπορεί να είναι οτιδήποτε και εφόσον αυτό συμβεί τότε μέσω της κλήσης GetGSMData() συλλέγει τα δεδομένα που επιθυμεί και τα διοχετεύει στο socket και συνεπώς στον πελάτη. Να σημειώσουμε εδώ ότι τα δεδομένα τα οποία συλλέγουμε είναι τα ακόλουθα

- Mobile Country Code – MCC – Κωδικός Παρόχου
- Mobile Network Code – MNC – Κωδικός Παρόχου
- Location Area Code – LAC – Κωδικός Περιοχής
- Cell ID, το οποίο είναι υποσύνολο του Cell Global Identifier.
- SignalStrength, η ισχύς του σήματος μετρούμενη σε dbm
- Πάροχος υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας

Αποστέλλουμε μέσα σε μία γραμμή τα δεδομένα με την ακόλουθη σειρά.

CellID, LAC, SignalStrength, MCC, MNC, Πάροχος.

Η όλη διαδικασία αυτή απεικονίζεται και στο ακολουθιακό διάγραμμα που ακολουθεί.



Εικόνα 32: Ακολουθιακό διάγραμμα που απεικονίζει τη λειτουργία του GSM εξυπηρετητή

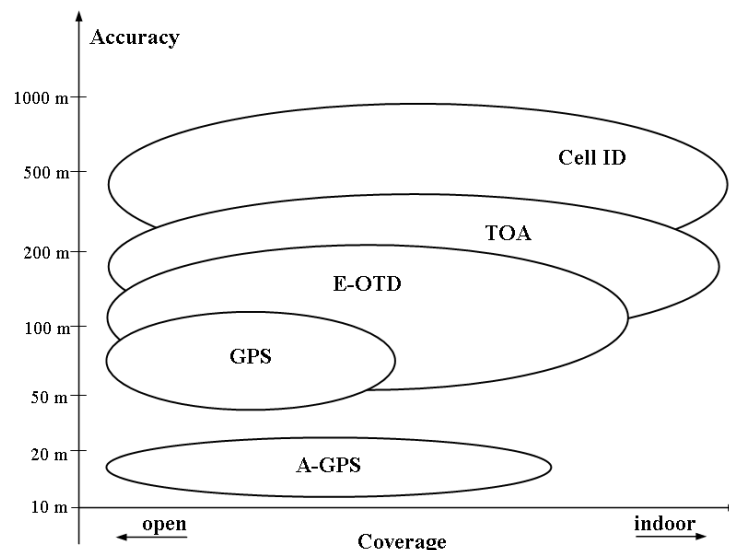
Με τον τρόπο αυτό καταφέραμε να διοχετεύσουμε τις απαραίτητες πληροφορίες στην Java εφαρμογή που επακολουθεί.

5.3.4.3 Προβλήματα

Ας δούμε όμως ποια διαδικασία ακολουθεί η συσκευή ώστε να ενταχθεί σε μια κυψέλη. Το λειτουργικό σύστημα ή το υλικό της συσκευής αναλαμβάνει να ελέγξει ποιες είναι οι κοντινότερες (σε έννοια ισχύος σήματος) κυψέλες και εντάσσεται στην ισχυρότερη από αυτές. Η διαδικασία αυτή λοιπόν, δεν γνωστοποιείται μέσω κάποιου συγκεκριμένου τρόπου του λειτουργικού συστήματος προς τον χρήστη/προγραμματιστή. Παρόμοια προσπάθεια αναφέρεται να έχει καταλήξει στην συγγραφή προγράμματος σε C που να διαβάζει τα δεδομένα αυτά απευθείας από τη μνήμη του τηλεφώνου [AV06]. Όπως γίνεται αντιληπτό η συγγραφή ενός τέτοιου προγράμματος, αντικειμενικά δημιουργεί εξαρτήσεις με την κατασκευάστρια εταιρία για την παροχή πληροφοριών ενώ ταυτόχρονα το εκάστοτε πρόγραμμα είναι αποκλειστικά δημιουργημένο για μια συγκεκριμένη

συσκευή. Για το λόγο αυτό, θα θεωρήσουμε ότι οι συσκευές κινητής τηλεφωνίας είναι κλειδωμένες ώστε κάθε στιγμή να μπορούν να αντληθούν μόνο μια κυψέλη, αυτή στην οποία συνδέονται. Απόρροια αυτού είναι η δυνατότητα μας να καταγράψουμε μόνο μια κυψέλη για μία μεγάλη περιοχή. Πιο συγκεκριμένα, γνωρίζουμε ότι η ακτίνα κάλυψης μιας κεραίας μπορεί να αγγίζει και τα 10 χιλιόμετρα. Επίσης γνωρίζουμε ότι ακόμα και αν επικαλύπτονται κυψέλες μεταξύ τους, η συσκευή μας θα αλλάξει κυψέλη μόλις περάσει το όριο κάλυψης της κυψέλης και τότε θα μεταφερθεί στην επόμενη κυψέλη.

Βλέπουμε λοιπόν ότι τόσο η χαρτογράφηση μιας περιοχής αλλά όσο και η χρήση της υπηρεσίας είναι αρκετά περιορισμένη καθώς και το αποτύπωμα του χρήστη δεν μπορεί να περιέχει πάνω από μία κυψέλη, γεγονός που αναπόφευκτα είτε υπάρχει ιστορικό κίνησης είτε όχι δεν είναι σε θέση να παρέχει εκτίμηση θέσης με αρκετά καλή ακρίβεια. Μια εκτίμηση [ET04] για την ακρίβεια που μπορούμε να επιτύχουμε παρέχεται από τη βιβλιογραφία και απεικονίζεται στο ακόλουθο σχήμα. Μπορούμε λοιπόν να δούμε ότι με τους περιορισμούς που έχουμε θέσει, η ακρίβεια κυμαίνεται γύρω στα 500m απόσταση η οποία είναι καλή μόνο για να τοποθετηθούμε σε μία περιοχή ή να επιβοηθήσουμε άλλες κύριες μεθόδους (όπως το GPS και το WiFi). Συνεπώς με την τρέχουσα κατάσταση δεν είναι δυνατή η αυτόνομη χρήση του δικτύου GSM για να μπορέσουμε να εντοπίσουμε τη θέση μας.



Εικόνα 33: Ακρίβεια μεθόδων τόσο για εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους

Για το λόγο αυτό δεν θα συνεχίσουμε τη μελέτη μας για τον εντοπισμό θέσης αυτόνομα με τη χρήση της μεθόδου αυτής αλλά και γενικότερα με τη χρήση του δικτύου GSM. Στο επόμενο κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε παρόλα αυτά την εφαρμογή που δημιουργήσαμε.

5.3.5 Ανάκτηση GSM δεδομένων

Είμαστε πλέον σε θέση να ανακτήσουμε πληροφορίες για το GSM δίκτυο. Πλέον, αυτό που θέλουμε είναι

- Να είμαστε σε θέση να συνδεθούμε σε GPS συσκευή και να κρατήσουμε συνδυασμένη πληροφορία θέσης – GSM.
- Να αποθηκεύσουμε τις διοχετευόμενες αυτές πληροφορίες σε αρχεία.
- Να μπορούμε να αποστέλλουμε τα αρχεία αυτά μέσω Bluetooth.
- Να μπορούμε να διοχετεύουμε μόνο την πληροφορία GSM μέσω Bluetooth.

Αναλύοντας περαιτέρω τις απαιτήσεις, παρατηρούμε ότι ουσιαστικά επιθυμούμε τη δημιουργία λογισμικού που ταυτόχρονα λειτουργεί και ως εξυπηρετητής και ως πελάτης υπηρεσιών παρεχομένων είτε από άλλο λογισμικό είτε από υλικό. Η γενική αρχιτεκτονική δόμησης της εφαρμογής μας είναι ανοικτής στιβάδας, καθώς κλιμακοποιούμε ιεραρχικά τον τρόπο λειτουργίας της εφαρμογής. Για την υλοποίηση του λογισμικού αυτού επιλέξαμε τη Java Micro Edition η οποία και υποστηρίζεται από το κινητό και παρέχει το JSR-82 το οποίο μας επιτρέπει να διαχειριστούμε το Bluetooth.

Αρχικά θα δούμε πως μπορούμε να έχουμε ένα περιβάλλον ανάπτυξης κώδικα και προχωρώντας θα αναλύσουμε τα λειτουργικά μέρη της εφαρμογής μας.

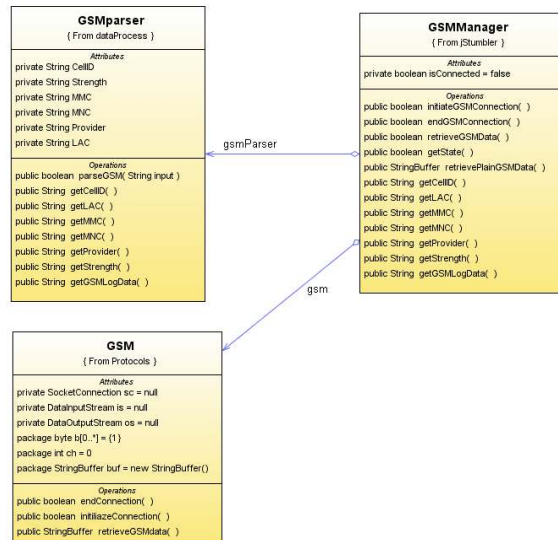
5.3.5.1 Ρύθμιση περιβάλλοντος ανάπτυξης

Η ρύθμιση και λειτουργία του περιβάλλοντος ανάπτυξης κώδικα για την Java Micro Edition είναι αρκετά εύκολη. Είναι ενσωματωμένη σε αρκετά περιβάλλοντα και εμείς επιλέξαμε το Netbeans [JNB]. Η εγκατάσταση αναλαμβάνει να δημιουργήσει και να ρυθμίσει σωστά το περιβάλλον εργασίας συνεπώς είμαστε έτοιμοι για την ανάπτυξη του κώδικα.

5.3.5.2 Υλοποίηση

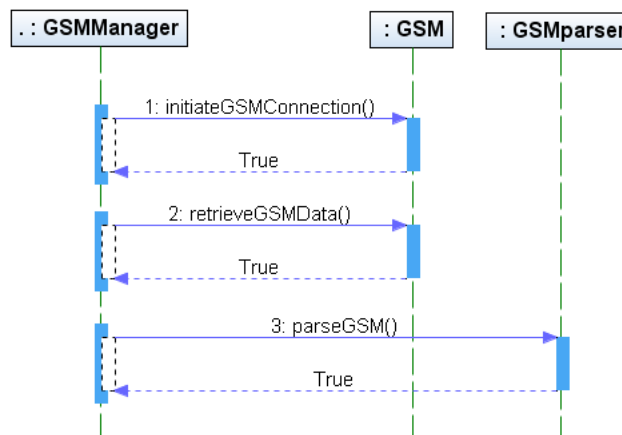
Σύνδεση και ανάκτηση GSM δεδομένων

Το τμήμα αυτό είναι υπεύθυνο να συνδεθεί στην εφαρμογή που μελετήσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο και να λάβει τα GSM δεδομένα. Ας δούμε το σχετικό διάγραμμα κλάσεων.



Εικόνα 34: Διάγραμμα των εμπλεκόμενων με τη GSM πληροφορία κλάσεων

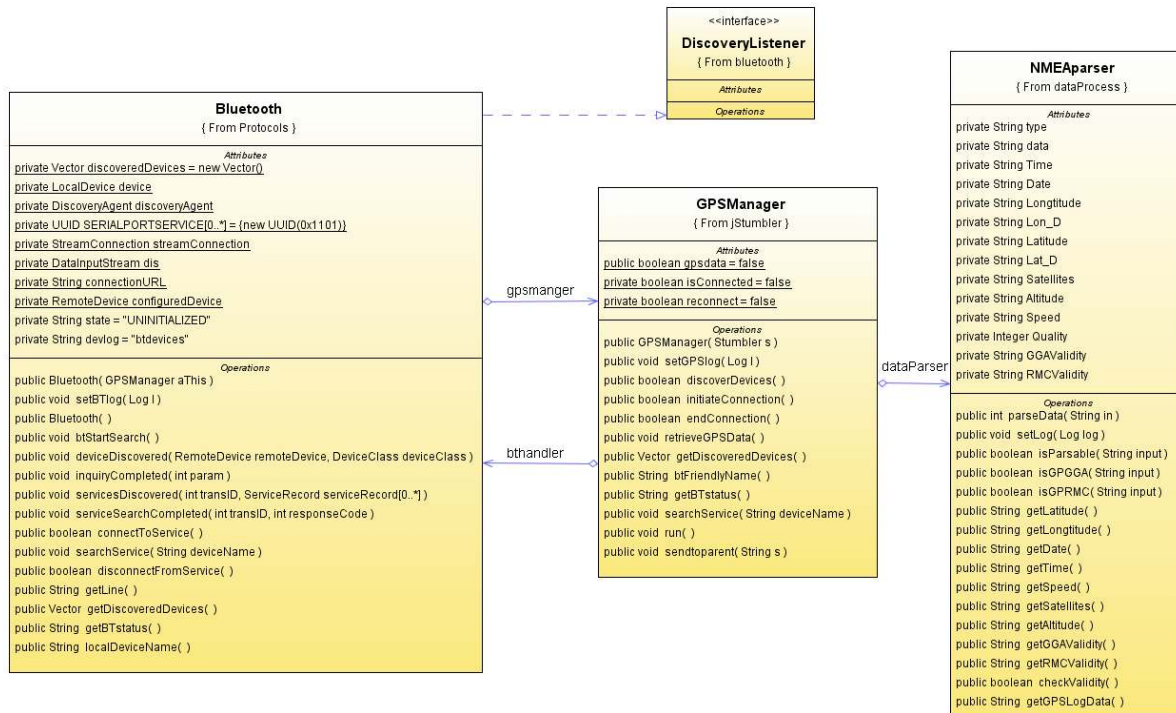
Υπάρχει λοιπόν μία κλάση που συντονίζει τις ενέργειες που πρέπει να γίνουν ώστε να είμαστε σε θέση να λάβουμε τα δεδομένα. Συνεπώς η κλάση GSMManager αναλαμβάνει να αποστείλει σήμα (GSMManager.initiateGSMConnection) στην GSM (GSM.initializaConnection) η οποία με τη σειρά της ξεκινά την εγκατάσταση επικοινωνίας στο επίπεδο των sockets. Όταν η επικοινωνία έχει αποκατασταθεί, επιστρέφει επιτυχώς στην GSMManager, η οποία επιχειρεί πάλι (GSMManager.retrievePlainGSMData) μέσω της GSM να λάβει το μεταδιδόμενο μήνυμα. Η GSM διαβάζει τα δεδομένα και τα επιστρέφει στην GSMManager. Τώρα θα πρέπει να επεξεργαστούμε τα δεδομένα συνεπώς, αυτά στέλνονται στην κλάση GSMParser η οποία και τα διαχωρίζει, ώστε να είναι προσβάσιμα από την κλάση GSMManager. Όσα είπαμε εδώ, απεικονίζονται και στο ακόλουθο ακολουθιακό διάγραμμα.



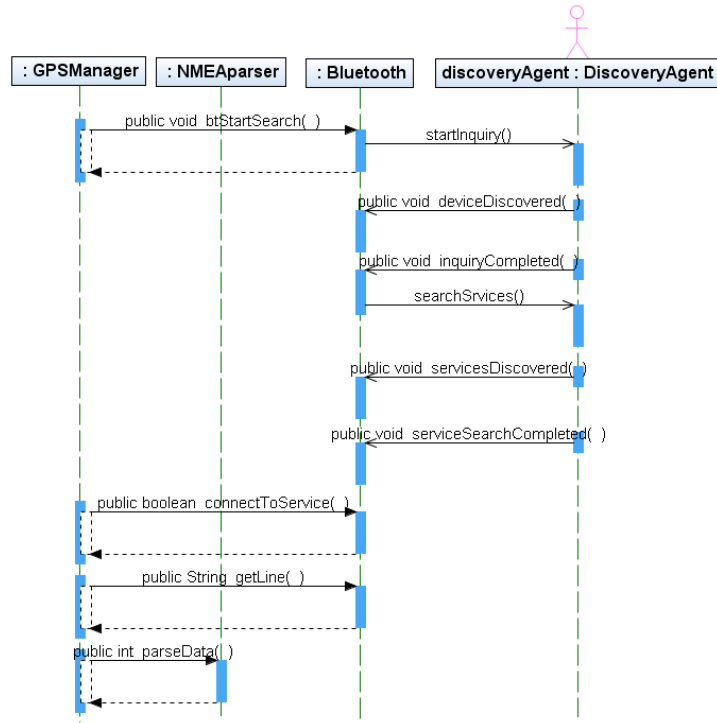
Εικόνα 35: Ακολουθιακό διάγραμμα

Σύνδεση και ανάκτηση GPS δεδομένων

Η σύνδεση με τη συσκευή GPS είναι λίγο πιο πολύπλοκη. Πρέπει το κινητό απαραίτητως να υποστηρίζει το JSR-82 το οποίο είναι API που μας επιτρέπει να επικοινωνήσουμε με το Bluetooth. Ο τρόπος που γίνεται αυτό όπως φαίνεται και στο ακόλουθο διάγραμμα κλάσεων είναι υλοποιώντας μία διεπαφή η οποία παρέχει μεθόδους οι οποίες καλούνται από το πρωτόκολλο του Bluetooth σε κάποιες καταστάσεις τις οποίες θα αναλύσουμε αργότερα. Ακολουθεί το διάγραμμα κλάσεων αλλά και το ακολουθιακό διάγραμμα.



Εικόνα 36: Διάγραμμα κλάσεων για τη σύνδεση με τη συσκευή GPS



Εικόνα 37: Ακολουθιακό διάγραμμα για σύνδεση και λήψη δεδομένων από το GPS

Όπως μπορούμε να δούμε στο ακολουθιακό διάγραμμα, για να ανακαλύψουμε συσκευές και υπηρεσίες πρέπει να γίνουν οι αντίστοιχες κλήσεις μέσω του JSR 82. Ο τρόπος επικοινωνίας μεταξύ της υπεύθυνης κλάσης (Bluetooth) και του περιβάλλοντος γίνεται μέσω της διεπαφής DiscoveryListener με ασύγχρονο τρόπο. Εμείς μεταβιβάζουμε τα ερωτήματά μας σε αυτή τη διεπαφή και αυτή αναλαμβάνει να διαχειριστεί την εύρεση συσκευών και υπηρεσιών. Ιεραρχικά, πρώτα αναζητούμε συσκευές και όταν τελειώσει η αναζήτηση συσκευών τότε αν θέλουμε εκκινούμε την αναζήτηση για το αν παρέχουν την υπηρεσία που μας ενδιαφέρει. Εδώ μας ενδιαφέρει η αναζήτηση για παροχή υπηρεσιών μέσω της σειριακής θύρας. Εφόσον ολοκληρωθεί η διαδικασία της αναζήτησης, είμαστε κάτοχοι των απαραίτητων πληροφοριών ώστε να μπορέσουμε να συνδεθούμε στη συσκευή και να αντλήσουμε δεδομένα. Τα δεδομένα αυτά τα παραδίδουμε στην κλάση NMEAParser η οποία είναι υπεύθυνη για να φιλτράρει και να διατηρήσει τα δεδομένα που μας ενδιαφέρουν.

Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι το GPS μας τροφοδοτεί με δεδομένα ανά δευτερόλεπτο και τα δεδομένα αυτά είναι κωδικοποιημένα βάσει του πρωτοκόλλου NMEA-0183. Αποστέλλονται σε εμάς 5 ή 6 προτάσεις αλλά δεν μας ενδιαφέρουν όλες. Μας ενδιαφέρουν οι προτάσεις GGA και RMC οι οποίες θα εξηγηθούν παρακάτω. Αναφορά για τις υπόλοιπες προτάσεις δεν θα κάνουμε αλλά μπορούν να αναζητηθούν [NME].

Η πρόταση GGA δομείται ως ακολούθως:

0	0		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
\$	GP	GGA	hhmmss.ss	llll.ll	a	yyyyy.yy	a	X	xx	x.x	x.x	M	x.x	M	x.x	xxxx	* hh

Τα πεδία με τον αριθμό 0 διαφέρουν από συσκευή σε συσκευή και εδώ αναγράφουμε μόνο ότι ισχύει για τη δική μας συσκευή. Για τα υπόλοιπα πεδία που είναι κοινά ακολουθεί η εξήγηση κάθε πεδίου.

- | | | | |
|----|-------------------------------|----|-------------------------------------|
| 1 | Ωρα Γκρήνουιτς | 8 | Οριζόντια μείωση ακρίβειας σε μέτρα |
| 2 | Γεωγραφικό Πλάτος (μοίρες) | 9 | Υψόμετρο κεραίας |
| 3 | Βορράς / Νότος | 10 | Μονάδα μέτρησης υψομέτρου |
| 4 | Γεωγραφικό Μήκος (Μοίρες) | 11 | Διαφορά συστημάτων συντεταγμένων |
| 5 | Ανατολή / Δύση | 12 | Μονάδα διαφοράς |
| 6 | Δείκτης Ποιότητας σήματος GPS | 13 | - |
| 0: | Δεν υπάρχει διαθέσιμο σήμα | 14 | - |
| 1: | Διαθέσιμο σήμα | 15 | Checksum |
| 2: | Σήμα από διαφορικό GPS | | |
| 7 | Πλήθος Δορυφόρων | | |

Από τα δεδομένα τα οποία μας παρέχει, ενδιαφερόμαστε μόνο για τα πεδία 1,2,4,6,7,8. Αντίστοιχα για την πρόταση RMC έχουμε:

0	0		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
\$	GP	RMC	hhmmss.ss	A	llll.ll	a	yyyyy.yy	a	x.x	x.x	xxxx	x.x	a	m	* Hh

Όπου κάθε πεδίο έχει την ακόλουθη σημασία:

- | | | | |
|---|----------------------------|----|--------------------|
| 1 | Ωρα Γκρήνουιτς | 8 | - |
| 2 | Κατάσταση, A= Έτοιμο | 9 | Ημερομηνία |
| 3 | Γεωγραφικό Πλάτος (μοίρες) | 10 | Μαγνητική Απόκλιση |
| 4 | Βορράς / Νότος | 11 | Ανατολικά/Δυτικά |
| 5 | Γεωγραφικό Μήκος (Μοίρες) | 12 | - |
| 6 | Ανατολή / Δύση | 13 | Checksum |
| 7 | Ταχύτητα σε μίλια | | |

Από τα δεδομένα της πρότασης εμείς ενδιαφερόμαστε για τα πεδία 2, 7, 9.

Συνδυασμός δεδομένων και αποθήκευση

Έως τώρα έχουμε δει πως μπορούμε να λάβουμε τα δεδομένα από τις εκάστοτε πηγές μας. Τώρα θα πρέπει να εξετάσουμε πως μπορούμε να συνδυάσουμε τα δεδομένα αυτά και να τα καταγράψουμε σε ένα αρχείο.

Να εξηγήσουμε λίγο το μηχανισμό με τον οποίο γίνεται η καταγραφή των δεδομένων. Δεδομένης της απουσίας κάποιου JSR που θα μας επέτρεπε να δημιουργήσουμε αρχεία απευθείας στη μνήμη του κινητού, εκμεταλλευόμαστε τη δομή RecordStore η οποία παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας Records. Ομοιάζουν με αρχεία αλλά ο χώρος ζωής τους είναι αποκλειστικά εγκλεισμένος μέσα στο χώρο της Java Virtual Machine και δεν υπάρχει τρόπος να τα προσπελάσουμε από κάποια άλλη εφαρμογή.

Η δομή των Records δεν είναι κάτι το ιδιαίτερο. Κάθε RecordStore έχει ένα όνομα και βάσει αυτού το διαχειριζόμαστε και περιέχει όσα Records θέλουμε. Εκμεταλλευτήκαμε και εμείς τη δυνατότητα αυτή ώστε να μπορούμε να δημιουργούμε αρχεία καταγραφής τόσο για τα δεδομένα μας όσο και για τις λειτουργίες. Ακολουθεί το διάγραμμα της κλάσης που είναι υπεύθυνη για τις λειτουργίες αυτές.



Εικόνα 38: Διάγραμμα Κλάσης για την καταγραφή δεδομένων

Όπως παρατηρούμε παρέχονται οι βασικές λειτουργίες δηλαδή η δημιουργία του αρχείου καταγραφής, η καταγραφή δεδομένων στο αρχείο που εμείς καθορίζουμε, διαβάζουμε τις καταχωρίσεις του RecordStore και τις καταχωρούμε σε ένα πίνακα τον οποίο και επιστρέφουμε, διαγράφουμε πλήρως ένα αρχείο καταγραφής, διαγράφουμε όλα τα αρχεία καταγραφής. Συνεπώς, υλοποιήσαμε και την ανάγκη μας αυτή.

Αποστολή αρχείων μέσω Bluetooth

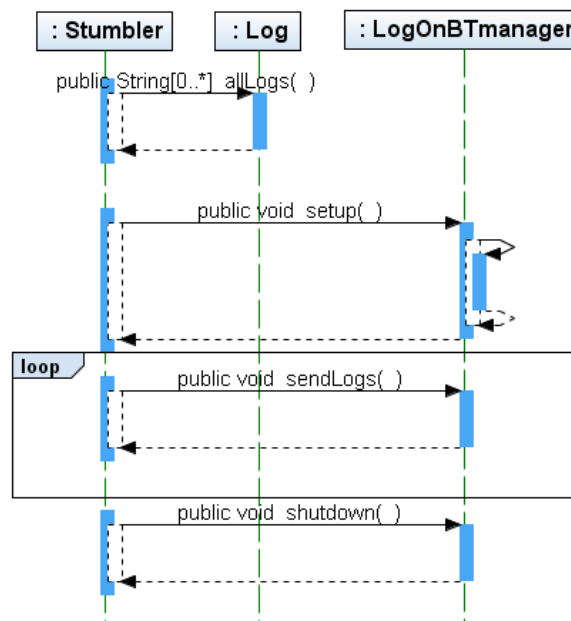
Θέλουμε να είμαστε σε θέση να μπορούμε να μεταφέρουμε τα αρχεία από την Java εφαρμογή μας χωρίς να εξαρτόμαστε από τον τρόπο σύνδεσης μεταξύ κινητού και υπολογιστή. Για το λόγο αυτό προτιμήσαμε να είμαστε σε θέση να μεταφέρουμε τα δεδομένα μέσω Bluetooth καθώς με τον τρόπο

αυτό υπάρχουν ήδη προγράμματα σε οποιαδήποτε πλατφόρμα ώστε να «διαβάσουμε» δεδομένα από τη θύρα στην οποία συνδέεται το Bluetooth.

Συνεπώς, πρέπει να δημιουργήσουμε έναν εξυπηρετητή Bluetooth και όταν συνδεθεί κάποιος πελάτης να αποστείλουμε τα δεδομένα. Ας δούμε το διάγραμμα της υπεύθυνης για τη λειτουργία αυτής κλάσης και το ακολουθιακό διάγραμμα.



Εικόνα 39: Διάγραμμα κλάσης υπεύθυνης για τη μεταφορά αρχείων μέσω Bluetooth



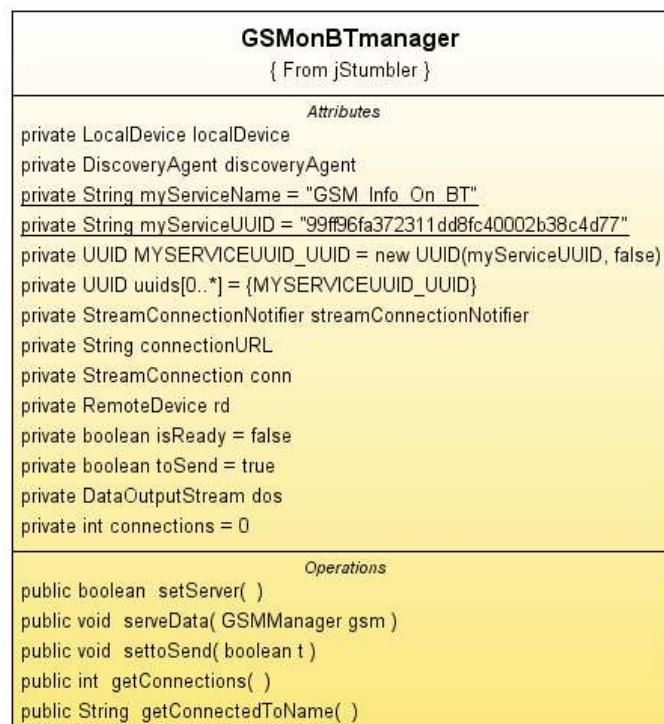
Εικόνα 40: Ακολουθιακό διάγραμμα για τη λειτουργία της αποστολής αρχείων μέσω Bluetooth

Να σημειωθεί ότι είμαστε σε θέση είτε να αποστέλουμε απευθείας όλα τα καταγεγραμμένα αρχεία ταυτόχρονα είτε ένα-ένα. Να εξηγήσουμε ότι η κλάση LogOnBt είναι η υπεύθυνη για την λειτουργία ως εξυπηρετητή, την εγκαθίδρυση της σύνδεσης και την αποστολή των δεδομένων.

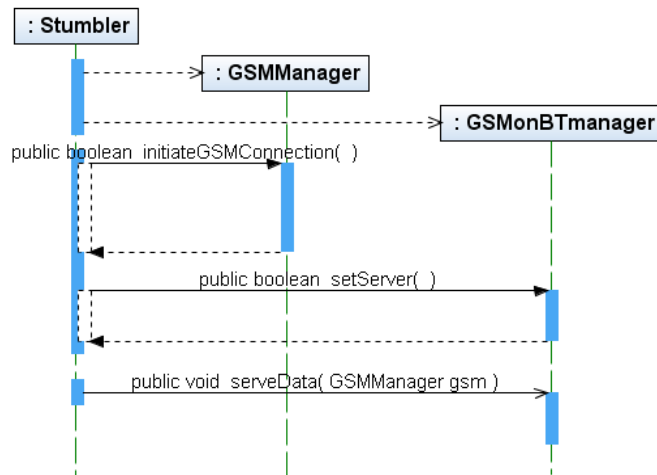
Αυτόνομη αποστολή GSM δεδομένων

Οδηγηθήκαμε στην προσθήκη αυτής της δυνατότητας καθώς με τον τρόπο αυτό, μπορεί ο οποιοσδήποτε να χρησιμοποιήσει το κινητό ώστε να πάρει τα δεδομένα και να τα συνδυάσει αργότερα με άλλα δεδομένα. Παρέχουμε δηλαδή τα δεδομένα όπως αυτά τα λάβαμε από την Symbian C++ εφαρμογή, εισάγουμε και την πληροφορία για το χρόνο και την αποστέλλουμε.

Αυτό που υλοποιούμε ουσιαστικά είναι ένας ακόμα εξυπηρετητής Bluetooth και εφόσον συνδεθεί κάποιος πελάτης, λαμβάνει GSM δεδομένα από την κλάση GSMManager και τα αποστέλλει προς τον πελάτη, εφόσον προσθέσει και την πληροφορία του χρόνου. Ακολουθεί το διάγραμμα της κλάσης αλλά και το ακολουθιακό διάγραμμα για τη λειτουργία την οποία και παρουσιάσαμε.



Εικόνα 41: Διάγραμμα κλάσης υπεύθυνης για τη λειτουργία μετάδοσης GSM πληροφορίας μέσω Bluetooth



Εικόνα 42: Ακολουθιακό Διάγραμμα λειτουργίας

6

Πειραματική Αξιολόγηση

Στο κεφάλαιο αυτό πρόκειται να παρουσιάσουμε το σύνολο της πειραματικής διαδικασίας την οποία ακολουθήσαμε καθώς και τα στάδια αυτής. Θα μπορούσαμε να διαχωρίσουμε τα στάδια στο στάδιο συλλογής δεδομένων, στο στάδιο επεξεργασίας των δεδομένων και στη διαδικασία της διεξαγωγής πειραμάτων όπου θα εξετάσουμε αναλυτικά την επίδοση κάθε τεχνικής εντοπισμού θέσης.

6.1 Συλλογή δεδομένων

Για τις ανάγκες της συλλογής δεδομένων πρέπει να είμαστε σε θέση να καταγράφουμε τόσο τα ασύρματα δίκτυα όσο και τη θέση τους. Συνεπώς είναι εμφανές ότι χρειαζόμαστε καταρχάς ένα δέκτη GPS αλλά και ένα φορητό υπολογιστή με κατάλληλο λογισμικό εγκατεστημένο σε αυτό.

Ο δέκτης GPS που χρησιμοποιήσαμε είναι ο **Emtac BTGPS II Trine Bluetooth GPS**. Στον πίνακα που ακολουθεί παραθέτουμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά του.

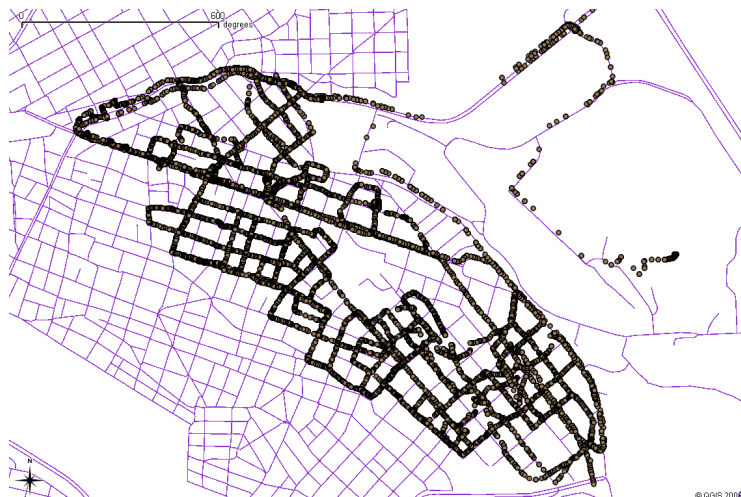
Frequency:	L1, 1575.42 MHz
Channels:	12 channels all in view tracking
Antenna Type:	Built-In Antenna
Position Accuracy:	10 meters
Velocity Accuracy:	0.1 meters/second
Time Accuracy:	1 microsecond
Connection:	Class 2 Bluetooth
Protocol:	NMEA-0183 (V2.20) – GGA(1), GSA(1), GSV(1), RMC(1), VTG(1)



Πίνακας 2: Τεχνικά χαρακτηριστικά δέκτη GPS

Ο φορητός υπολογιστής ο οποίος χρησιμοποιήσαμε διαθέτει την κάρτα ασύρματου δικτύου WiFi της Intel, Intel 4965AGN [IGN] η οποία έχει τη δυνατότητα να ανιληφθεί δίκτυα τύπου a, b, g και N.

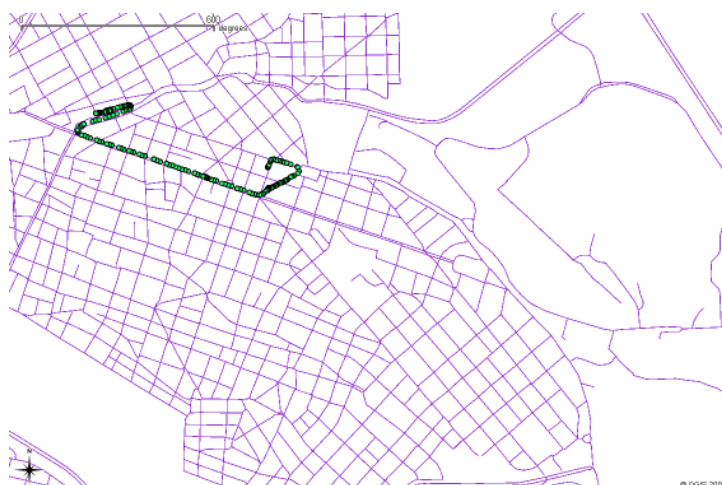
Με την υλική υποδομή να είναι έτοιμη, ήμασταν πλέον σε θέση να ξεκινήσουμε τη συγκέντρωση δεδομένων. Η συγκέντρωση έγινε τμηματικά την ίδια μέρα. Συλλέξαμε δεδομένα τις μεσημεριανές ώρες (12.00 – 14.00) αλλά και τις απογευματινές ώρες (15.30 – 17.30) ενώ οι τροχιές καταγράφηκαν την ίδια μέρα μετέπειτα. Οι καιρικές συνθήκες ήταν καλές και δεν αντιμετωπίσαμε προβλήματα κατά τη διάρκεια της συλλογής. Η περιοχή που χαρτογραφήθηκε αλλά και οι διαδρομές τις οποίες πρόκειται να μελετήσουμε φαίνονται στις επόμενες εικόνες.



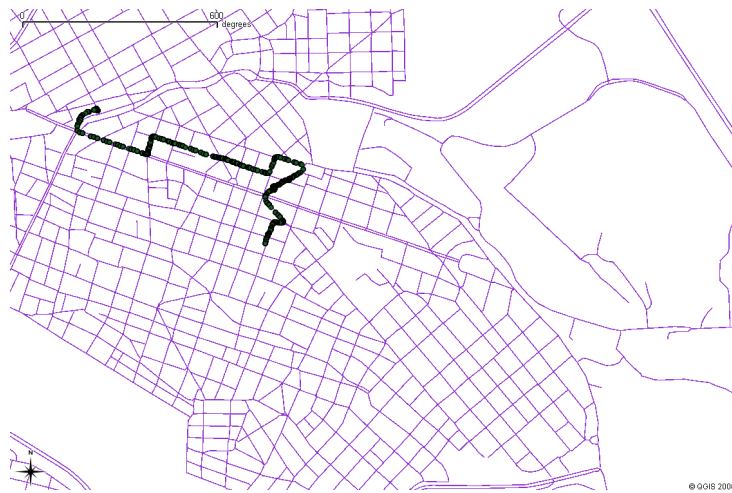
Εικόνα 43: Το σύνολο της περιοχής που χαρτογραφήσαμε



Εικόνα 44: Πρώτη διαδρομή



Εικόνα 45: Δεύτερη διαδρομή



Εικόνα 46: Τρίτη διαδρομή



Εικόνα 47: Τέταρτη διαδρομή

6.2 Εντοπισμός (positioning)

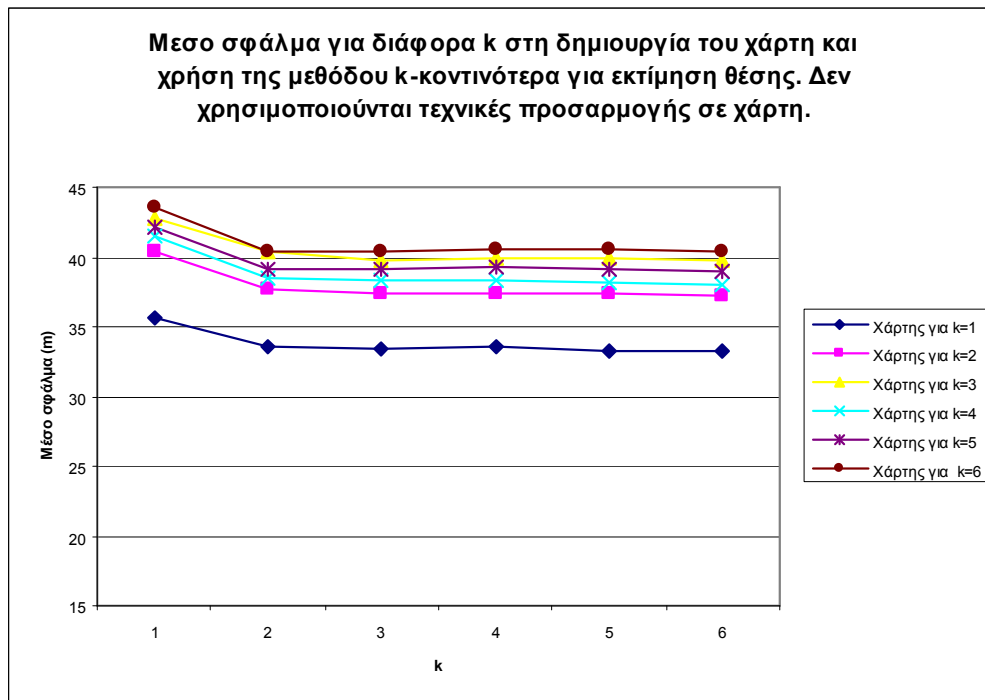
Επιθυμούμε να δούμε την συμπεριφορά και τα αποτελέσματα των αλγορίθμων για τις διάφορες παραμέτρους που έχουμε ορίσει. Στόχος μας είναι τόσο η εύρεση του καλύτερου δυνατού συνδυασμού όσο και η μελέτη της επίδρασης της εκάστοτε παραμέτρου στην επίδοση του αλγορίθμου. Όπως έχουμε αναφέρει, αλγόριθμοι εντοπισμού θέσης είναι μόνο ο κεντροειδής και η μέθοδος των ραδιο-αποτυπωμάτων

6.2.1 Κεντροειδής

Οι παράμετροι που επηρεάζουν ανήκουν σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Σε αυτές που επηρεάζουν την κατασκευή του χάρτη και σε αυτές που επηρεάζουν τον τρόπο εκτίμησης θέσης. Συνεπώς οι συνδυασμοί που θα πρέπει να εξετάσουμε είναι οι ακόλουθοι.

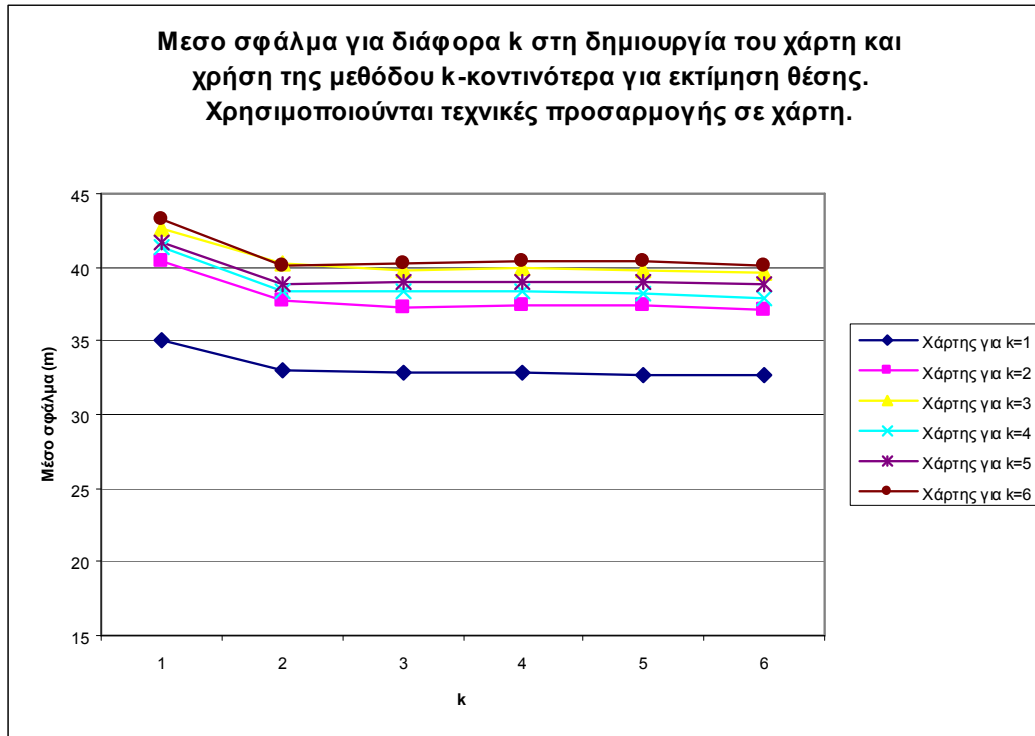
Δημιουργία Χάρτη	Εκτίμηση θέσης
k-κοντινότερα	k-κοντινότερα
k-κοντινότερα	Διαστήματα
k-κοντινότερα	Σταθμισμένη μέθοδος
Διαστήματα	k-κοντινότερα
Διαστήματα	Διαστήματα
Διαστήματα	Σταθμισμένη μέθοδος
Σταθμισμένη μέθοδος	k-κοντινότερα
Σταθμισμένη μέθοδος	Διαστήματα
Σταθμισμένη μέθοδος	Σταθμισμένη μέθοδος

Ας δούμε λοιπόν τα αποτελέσματα των πειραμάτων και την φυσική τους εξήγηση.



Εικόνα 48: Μέσο σφάλμα για την περίπτωση χάρτης:k-κοντινότερα εκτίμηση θέσης: k-κοντινότερα

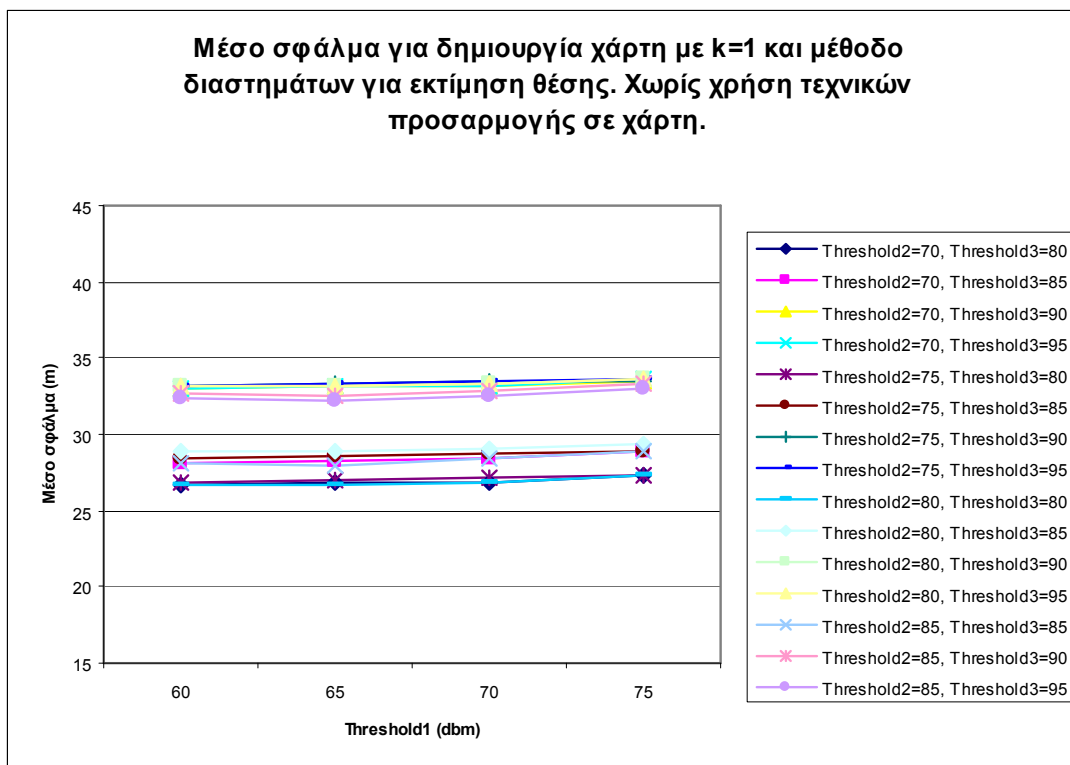
Παρατηρούμε ότι όταν η δημιουργία του χάρτη συντελεστεί θεωρώντας ως θέση εκπομπής του ασυρμάτου δικτύου το σημείο όπου βρήκαμε την υψηλότερη τιμή σήματος, η εκτίμηση θέσης παρέχει ακρίβεια με σφάλμα γύρω στα 35 μέτρα. Όμως παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το πλήθος του k που χρησιμοποιούμε ώστε να εκτιμήσουμε τη θέση μας, το σφάλμα της εκτίμησης μειώνεται, λογικό αν σκεφτούμε ότι λαμβάνουμε τα k ισχυρότερα σήματα για τον υπολογισμό της θέσης. Ας δούμε όμως και ποια είναι η επίδραση της απλής τεχνικής του map match που εφαρμόσαμε.



Εικόνα 49: Επίδραση του map match στην εκτίμηση θέσης.

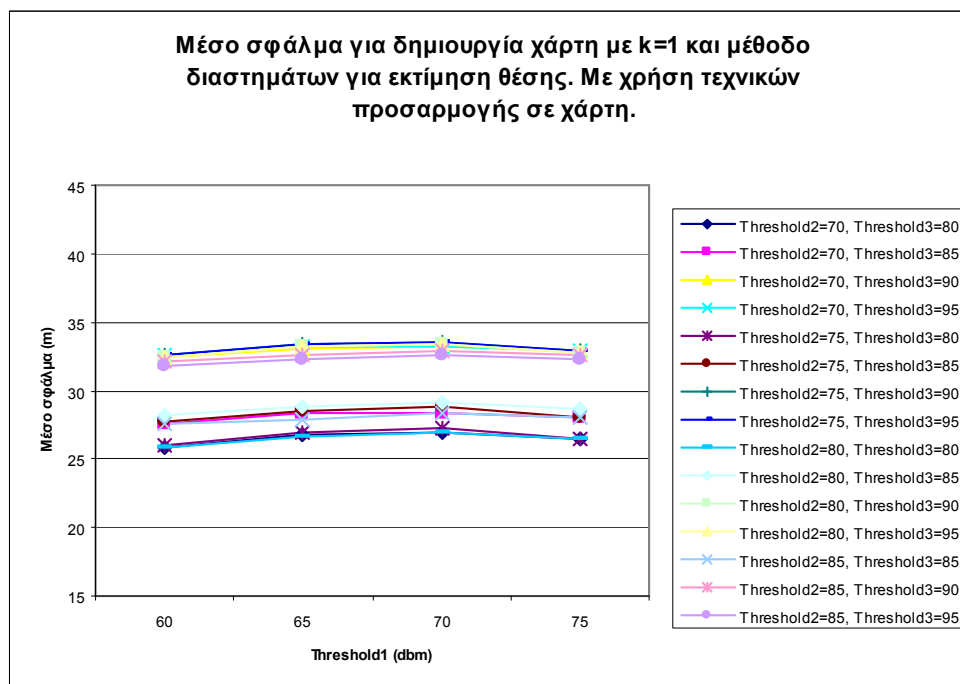
Οι τιμές του k και η συμπεριφορά παρατηρούμε ότι δεν αλλάζουν. Όμως, βελτιώθηκε κάπως η ακρίβεια της εκτίμησης κατά 2 περίπου μέτρα και πλέον κυμαίνεται στα 33 μέτρα. Το γεγονός ότι η παράμετρος $k=1$ είναι βέλτιστη θα το επιβεβαιώσει και ο συνδυασμός δημιουργίας χάρτη με k -κοντινότερα και εκτίμηση θέσης με τη μέθοδο των διαστημάτων που είναι η επόμενη που θα μελετήσουμε.

Καταρχάς ας δούμε την επίδραση διαφόρων τιμών διαστημάτων στην εκτίμηση θέσης και στο σφάλμα που εισάγουν.



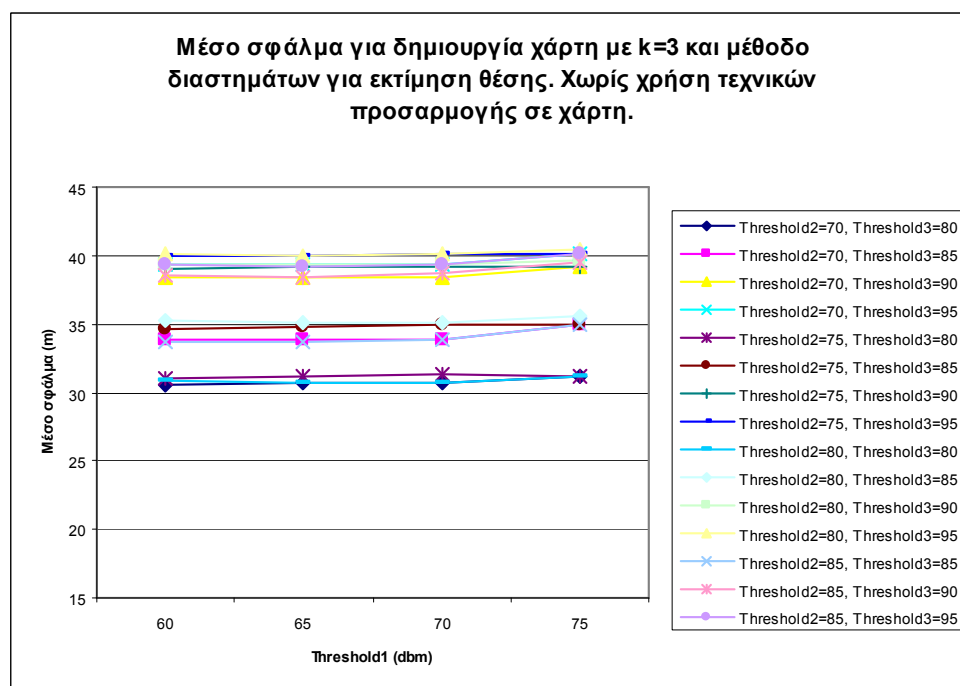
Εικόνα 50: Δημιουργία χάρτη με k -κοντινότερα και εκτίμηση θέσης με διαστήματα. Χωρίς map match

Στο γράφημα απεικονίζεται η σχέση που υπάρχει μεταξύ των διαστημάτων που έχουμε επιλέξει και της ακρίβειας. Βλέπουμε λοιπόν ότι τα χαμηλότερα επίπεδα σφάλματος (της τάξης των 27 μέτρων) παρουσιάζονται για $THRESHOLD_1 = 60$ και $THRESHOLD_3 = 80$ ενώ το $THRESHOLD_2$ μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 70, 75 και 80. Η μέθοδος των διαστημάτων μας εξασφαλίζει ότι θα συμπεριλάβει στους υπολογισμούς όλες τις μετρήσεις που ανήκουν στο κατάλληλο διάστημα, εμφανίζοντας το συγκριτικό πλεονέκτημα έναντι της μεθόδου των k -κοντινότερων της μείωσης του σφάλματος κατά 10 περίπου μέτρα. Εδώ φαίνεται και η αδυναμία της μεθόδου των k -κοντινότερων καθώς δεν γνωρίζουμε τι τιμές έχουν οι k αυτές τιμές, ενώ με τη μέθοδο των διαστημάτων είμαστε σίγουροι ότι ανήκουν σε κάποιο από τα διαστήματα που έχουμε ορίσει. Επίσης σημαντικό είναι να παρατηρήσουμε ότι βάσει της μεθόδου αυτής μπορούμε να αγνοήσουμε εντελώς σήματα με ισχύ που ξεπερνούν τα -80dbm καθώς εμφανίζουν το μεγαλύτερο σφάλμα. Η εφαρμογή της απλής μεθόδου του map match στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν προσφέρει όπως θα δούμε αξιολογη βελτίωση στην εκτίμηση της θέσης και τα επίπεδα του σφάλματος παραμένουν τα ίδια.

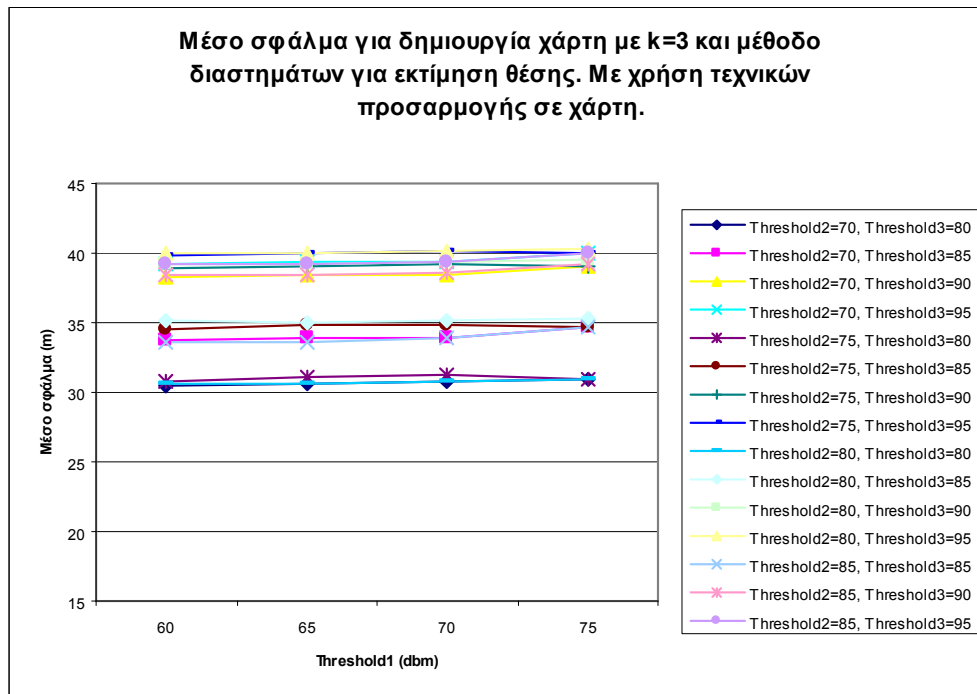


Εικόνα 51: Χάρτης με k -κοντινότερα, εκτίμηση θέσης με διαστήματα. Εφαρμογή map match

Τώρα θα μελετήσουμε την επίδραση της αύξησης του k για τον υπολογισμού του χάρτη. Θα δούμε ότι όσο μεγαλώνει το k τόσο αυξάνει και το σφάλμα της εκτίμησης θέσης. Ακολουθούν τα αντίστοιχα γραφήματα για δημιουργία χάρτη με $k=3$ και $k=6$.

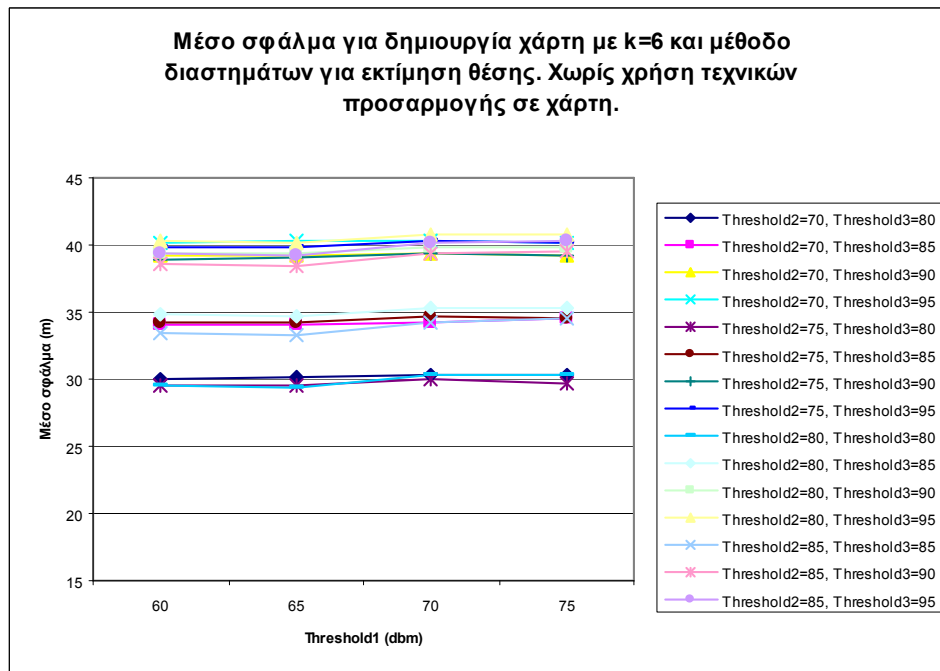


Εικόνα 52: Χάρτης για χάρτη με $k=3$ και εκτίμηση θέσης μέσω των διαστημάτων. Χωρίς map match.

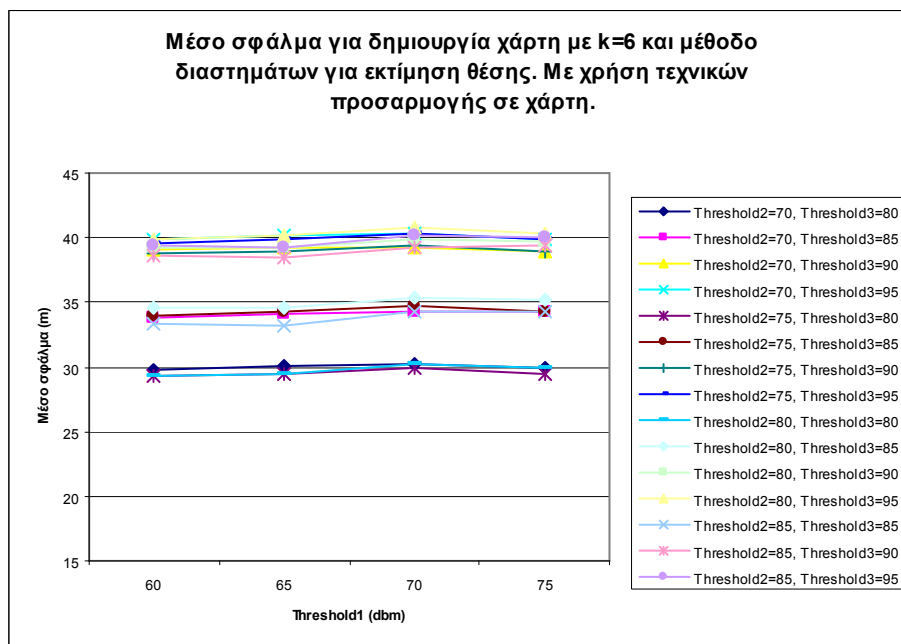


Εικόνα 53: Χάρτης για χάρτη με $k=3$ και εκτίμηση θέσης μέσω των διαστημάτων. Με map match.

Παρατηρούμε ότι το σφάλμα στην καλύτερη περίπτωση είναι 30 μέτρα. Για να δούμε τι συμβαίνει αν αυξήσουμε το k για τη δημιουργία του χάρτη. Θα δούμε τι συμβαίνει για $k=6$.

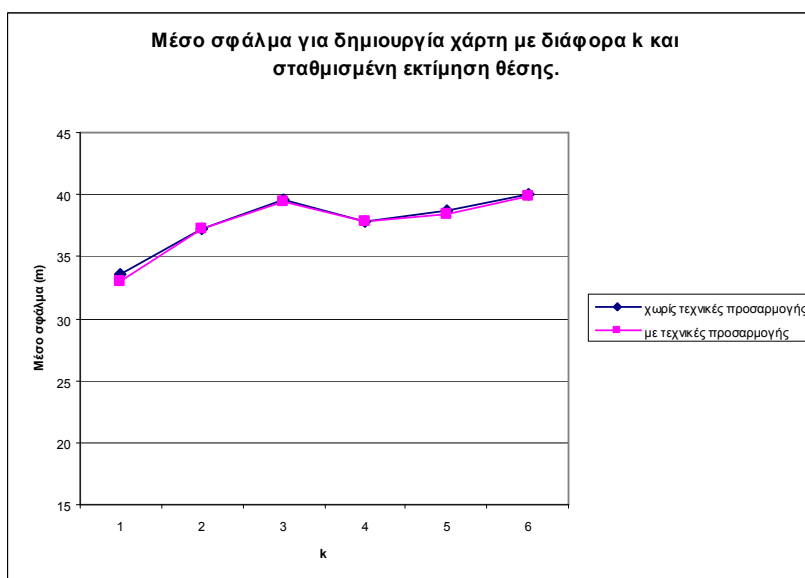


Εικόνα 54: Χάρτης για χάρτη με $k=6$ και εκτίμηση θέσης μέσω των διαστημάτων. Χωρίς map match.



Εικόνα 55: Χάρτης για χάρτη με $k=6$ και εκτίμηση θέσης μέσω των διαστημάτων. Με map match.

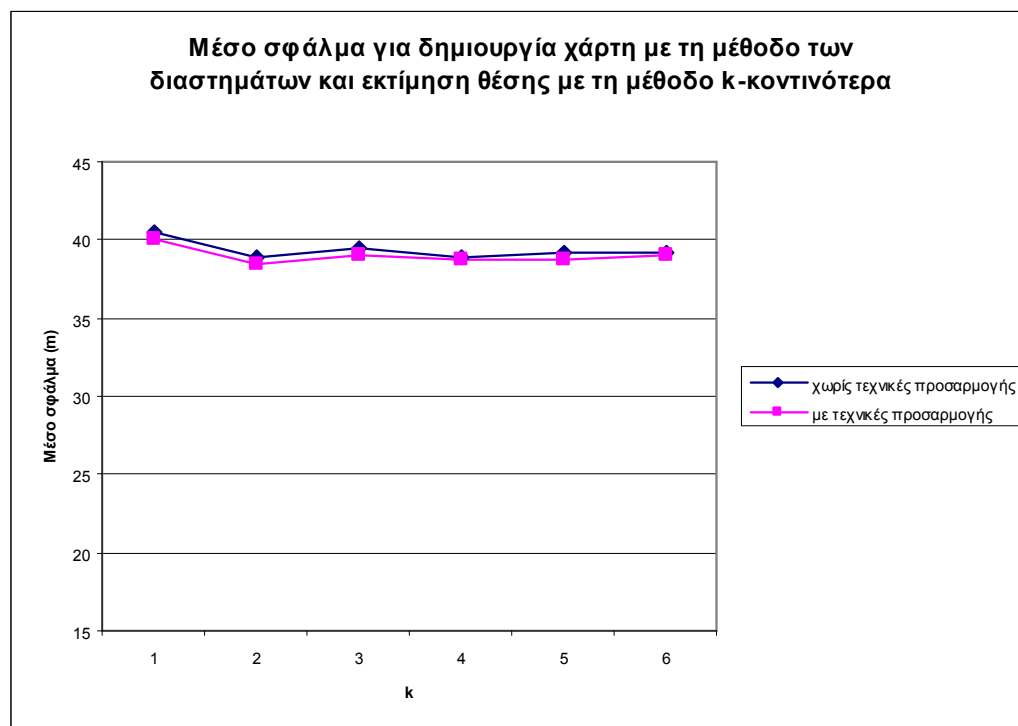
Παρατηρούμε ότι σε σχέση με $k=3$ το σφάλμα μειώθηκε αλλά και πάλι κυμαίνεται στα επίπεδα των 30 μέτρων. Τέλος θα μελετήσουμε και τον τελευταίο συνδυασμό για χάρτη δημιουργημένο από τη μέθοδο των k -κοντινότερων, δηλαδή την εξαγωγή της εκτιμώμενης θέσης ως σταθμισμένο αριθμητικό μέσο όλων των παρατηρήσεων. Ας δούμε τα αντίστοιχα διάγραμμα.



Εικόνα 56: Σχέση μεταξύ k στη δημιουργία του χάρτη και της εκτίμησης θέσης μέσω σταθμισμένου αριθμητικού μέσου

Παρατηρούμε ότι και εδώ επαληθεύεται πως η καλύτερη τιμή για το k όσον αφορά τη δημιουργία του χάρτη είναι $k=1$ ενώ η εκτίμηση θέσης μέσω σταθμισμένου μέσου όρου βλέπουμε ότι παρουσιάζει σφάλμα που στην καλύτερη περίπτωση είναι κοντά στα 33 μέτρα. Στο γράφημα βλέπουμε ότι και η τεχνική του map match δεν μας προσφέρει κάτι περισσότερο. Συνολικά πλέον μπορούμε να πούμε ότι ο καλύτερος συνδυασμός είναι αυτός της δημιουργίας χάρτη με τη μέθοδο των k -κοντινότερων και εκτίμηση θέσης με τα διαστήματα (60,70,80) όπου το μέσο σφάλμα κυμαίνεται κοντά στα 25 μέτρα.

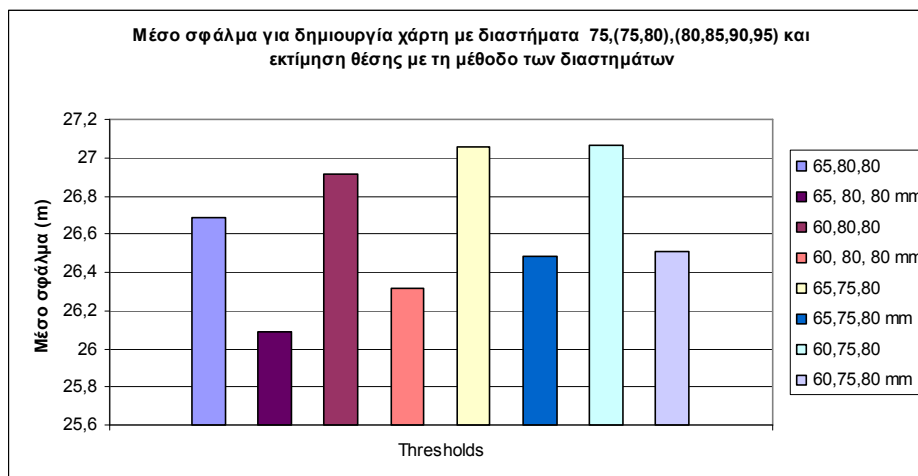
Έχοντας μελετήσει τι συμβαίνει θεωρώντας ως μέθοδο δημιουργίας του χάρτη την k -κοντινότερη ας εξετάσουμε τι συμβαίνει αν δημιουργήσουμε τον χάρτη με τη μέθοδο των διαστημάτων και τη συνδυάσουμε με εκτίμηση θέσης μέσω των υπολοίπων μεθόδων. Το πρώτο γράφημα που θα μελετήσουμε απεικονίζει τη δημιουργία χάρτη με την μέθοδο των διαστημάτων και υπολογισμό της θέσης μέσω της μεθόδου των k -κοντινότερων. Βλέπουμε το σφάλμα για διάφορα k .



Εικόνα 57: Δημιουργία χάρτη με τη μέθοδο των διαστημάτων και εκτίμηση θέσης μέσω k -κοντινότερων.

Παρατηρούμε ότι το σφάλμα κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα, περίπου στα 40m ενώ η επίδραση του k ωθεί στην ελάχιστη μείωση του σφάλματος κατά περίπου 2 μέτρα για μεγαλύτερα k . Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε, η εφαρμογή μεθόδων map match προσφέρει ελάχιστη βελτίωση

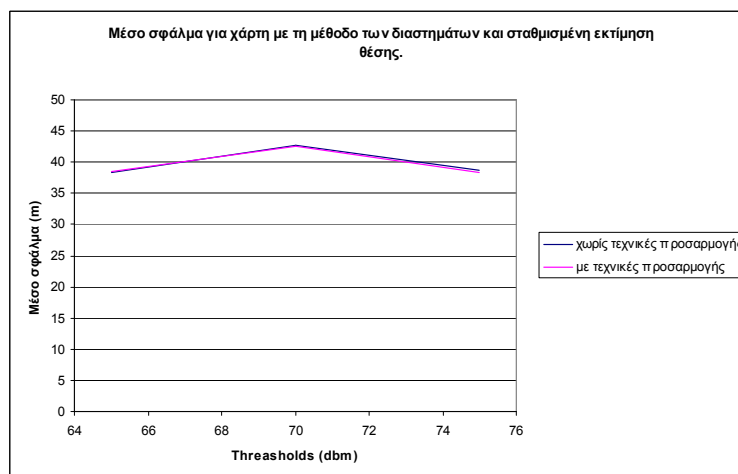
Επόμενος συνδυασμός είναι η δημιουργία και εκτίμηση θέσης μέσω της μεθόδου των διαστημάτων. Ακολουθεί ένα συγκριτικό διάγραμμα



Εικόνα 58: Χάρτης και εκτίμηση θέσης με την μέθοδο των διαστημάτων

Βλέπουμε ότι το σφάλμα στην περίπτωση μας, είτε με χρήση είτε όχι, τεχνικών map match κυμαίνεται σε αρκετά ικανοποιητικά επίπεδα δίνοντας σφάλμα κοντά στα 26 μέτρα. Πρέπει να παρατηρήσουμε ότι το σφάλμα μένει σχεδόν ανεπηρέαστο από τις αλλαγές στα διαστήματα γεγονός που αποδεικνύει τη σταθερότητα του αλγορίθμου και την ικανότητα να παράγει ορθά αποτελέσματα. Η τελευταία περίπτωση και εδώ είναι η εκτίμηση θέσης με τη μέθοδο των διαστημάτων.

Στο ακόλουθο διάγραμμα φαίνεται ότι ο εν λόγω συνδυασμός όπως και πρωτύτερα παρουσιάζει σφάλμα που κυμαίνεται κοντά στα 40 μέτρα ενώ οι τεχνικές του map match δεν περιορίζουν το σφάλμα.

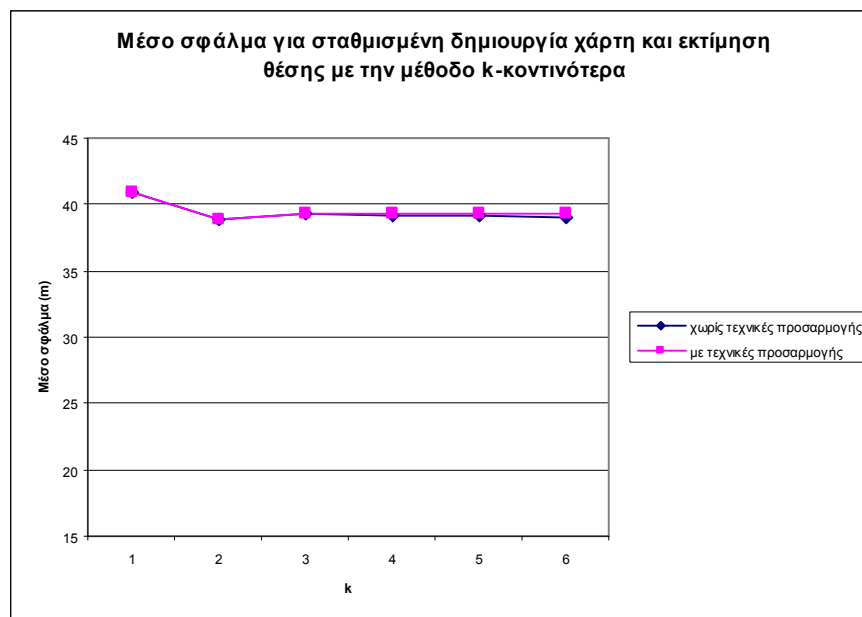


Εικόνα 59: Δημιουργία χάρτη με τη μέθοδο των διαστημάτων και σταθμισμένη εκτίμηση θέσης

Να σημειωθεί ότι η τιμή του κατωφλίου που αναγράφεται, αναφέρεται μόνο στο χαμηλότερο κατώφλι καθώς το σφάλμα δεν επηρεαζόταν από τις τιμές των υπολοίπων διαστημάτων και παρέμενε σταθερό. Μπορούμε πλέον να συμπεράνουμε από τις έως τώρα εξεταζόμενες μεθόδους, τις καλύτερες επιδόσεις που έχουμε λάβει και τις συνοψίζουμε εδώ

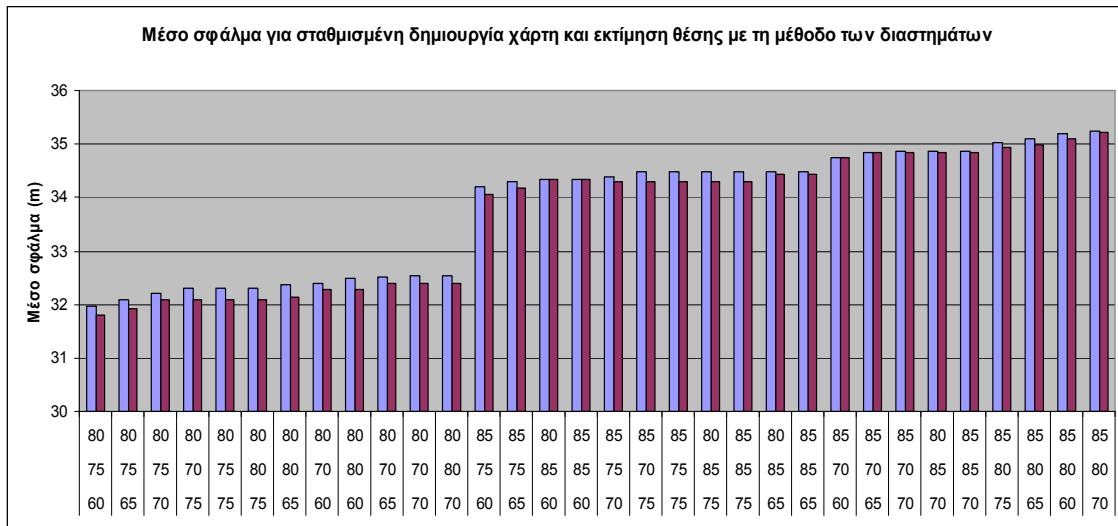
Μέθοδος δημιουργίας χάρτη	Μέθοδος εκτίμησης θέσης	Σφάλμα
k-κοντινότερα, για k=1	Μέθοδος διαστημάτων (60,70,80)	~27 μέτρα
Μέθοδος διαστημάτων (75,75,80)	Μέθοδος διαστημάτων (65,80,80)	~27 μέτρα

Μένει να εξετάσουμε τι συμβαίνει αν ο χάρτης δημιουργηθεί με τη μέθοδο του σταθμισμένου αριθμητικού μέσου. Βάσει των όσων έχουμε παρατηρήσει αναμένουμε ότι το σφάλμα στην περίπτωση αυτή θα είναι μεγαλύτερο από τους προηγούμενους συνδυασμούς. Αρχικά βλέπουμε το συνδυασμό σταθμισμένου μέσου για τη δημιουργία του χάρτη και μέθοδο των k-κοντινότερων για την εκτίμηση της θέσης Όπως αναμέναμε το σφάλμα είναι μεγαλύτερο και κυμαίνεται κοντά στα 40 μέτρα, ενώ η ακρίβεια αυξάνεται όσο μεγαλώνει το k.



Εικόνα 60: Μέσο σφάλμα για μέθοδο δημιουργίας με σταθμισμένο μέσο όρο και εκτίμηση μέσω k κοντινότερων

Η διαφορά στην ακρίβεια όταν εφαρμόσουμε και τεχνικές map – match δεν είναι σημαντική όπως φαίνεται και στο γράφημα ενώ φαίνεται περισσότερο η διαφορά όσο αυξάνεται το k. Ας δούμε τώρα τι συμβαίνει αν επιλέξουμε τη μέθοδο των διαστημάτων



Εικόνα 61: Δημιουργία χάρτη με τη σταθμισμένη μέθοδο και εκτίμηση θέσης μέσω διαστημάτων.

Παρατηρούμε ότι το μέσο σφάλμα στην καλύτερη περίπτωση είναι γύρω στα 32 μέτρα ενώ ακόμα και αν λάβουμε και μετρήσεις με αδύναμη ισχύ (~85) τότε η εκτίμηση της θέσης έχει σφάλμα που αγγίζει τα 35 μέτρα. Εδώ οι αλγόριθμοι του map match βοηθούν στη μείωση του σφάλματος - όχι βέβαια δραστηκά.

Αντίστοιχα, ο έλεγχος για το συνδυασμό δημιουργίας χάρτη με σταθμισμένο μέσο όρο και της εκτίμησης θέσης με σταθμισμένο μέσο παρουσιάζει σφάλμα 38,7 χωρίς map match ενώ με την λειτουργία του map match το σφάλμα αυξάνει στα 38,9 μέτρα.

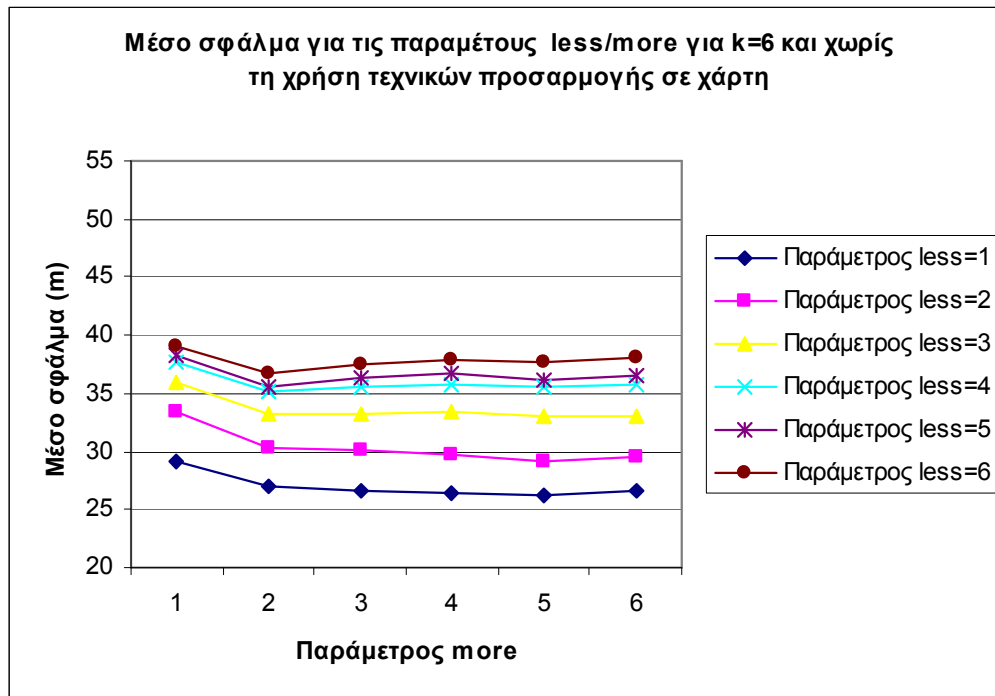
Πλέον μπορούμε να συμπληρώσουμε τον συγκεντρωτικό πίνακα για τους συνδυασμούς των μεθόδων και τα σφάλματά τους.

Μέθοδος δημιουργίας χάρτη	Μέθοδος εκτίμησης θέσης	Σφάλμα
k-κοντινότερα, για k=1	Μέθοδος διαστημάτων (60,70,80)	~27 μέτρα
Μέθοδος διαστημάτων (75,75,80)	Μέθοδος διαστημάτων (65,80,80)	~27 μέτρα
Σταθμισμένος μέσος	Μέθοδος διαστημάτων (60,75,80)	~32 μέτρα

Βλέπουμε λοιπόν ότι οι δύο πρώτοι συνδυασμοί παρέχουν αποτελέσματα σχεδόν με την ίδια ακρίβεια αλλά η υπολογιστική πολυπλοκότητα για τη μέθοδο της δημιουργίας του χάρτη μέσω της μεθόδου των k κοντινότερων είναι ασφαλώς μικρότερη από αυτή για τη δημιουργία του χάρτη με τη μέθοδο των διαστημάτων. Στη συνέχεια θα δούμε την επίδοση και της μεθόδου των ραδιο-αποτυπωμάτων.

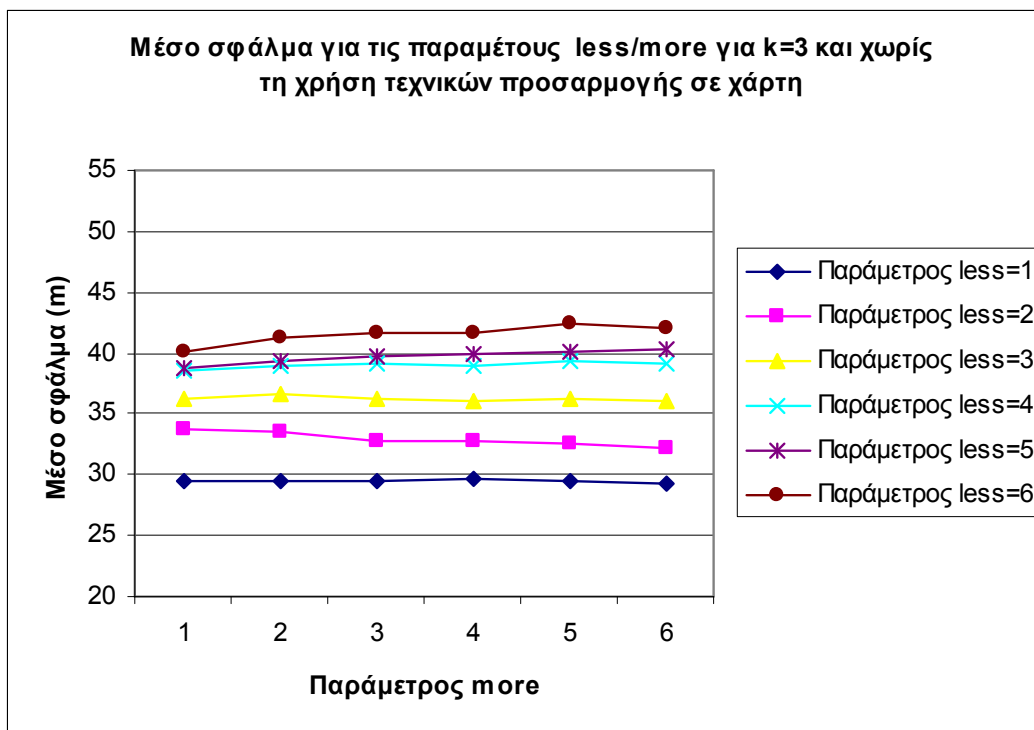
6.2.2 Μέθοδος Ραδιο-αποτυπωμάτων

Η μέθοδος των ραδιο-αποτυπωμάτων έχει τρεις παραμέτρους, k , less, more. Η παράμετρος k καθορίζει το πλήθος των κοντινότερων, σε έννοια ισχύος σημάτων που λαμβάνουμε υπόψη μας στον υπολογισμό. Η παράμετρος more υποδηλώνει το πλήθος των περισσότερων ασυρμάτων δικτύων που δεχόμαστε να υπάρχουν στο συγκρινόμενο με το δικό μας αποτύπωμα. Αντίστοιχα η παράμετρος less είναι ενδεικτική των λιγότερων ασυρμάτων δικτύων που δεχόμαστε να υπάρχουν στο αποτύπωμα της βάσης σε σχέση με το αποτύπωμα του χρήστη. Ας δούμε λοιπόν την απόδοση του αλγορίθμου.

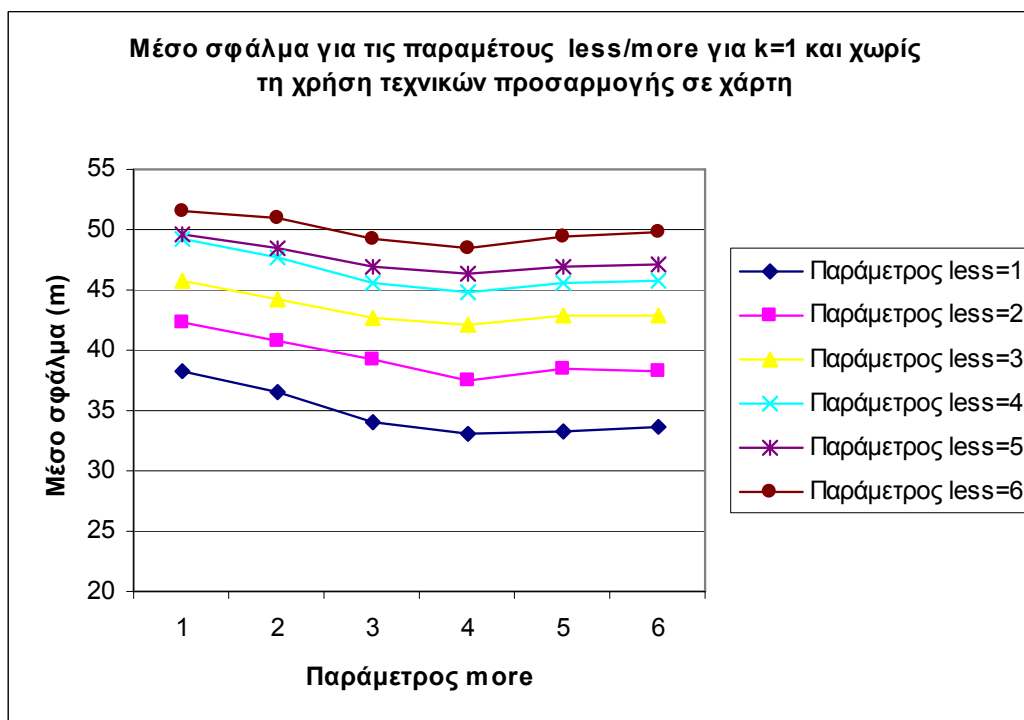


Εικόνα 62: Μέσο σφάλμα για $k=6$ και συνδυασμούς των more/less

Στο γράφημα απεικονίζεται το μέσο σφάλμα για $K=6$ και διάφορες τιμές των less/more. Παρατηρούμε λοιπόν ότι για $k=6$ η καλύτερη τιμή της ακρίβειας που μπορούμε να επιτύχουμε είναι κοντά στα 25 μέτρα. Για να συμβεί αυτό πρέπει να θεωρήσουμε ότι less=1 και more=5. Δηλαδή είναι ασφαλέστερο να θεωρήσουμε περισσότερα άγνωστα από το αποτύπωμα μας ασύρματα δίκτυα από το να θεωρήσουμε λιγότερα ασύρματα δίκτυα. Ας δούμε κατά πόσο επηρεάζει η τιμή της παραμέτρου k . Αναμένουμε ότι όσο μειώνεται το k τόσο θα μειώνεται και η ακρίβεια που μπορούμε να επιτύχουμε.

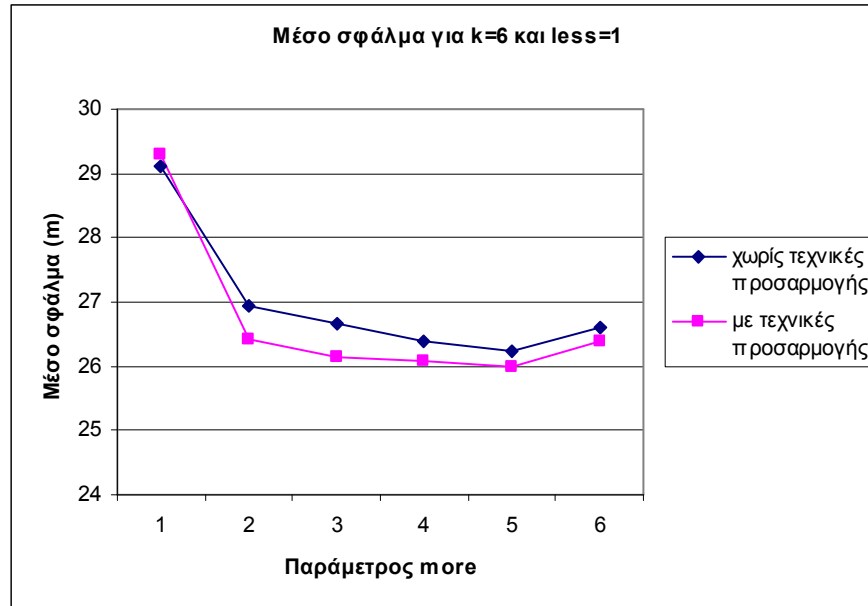


Εικόνα 63: Μέσο σφάλμα για $k=3$ και συνδυασμός των more/less



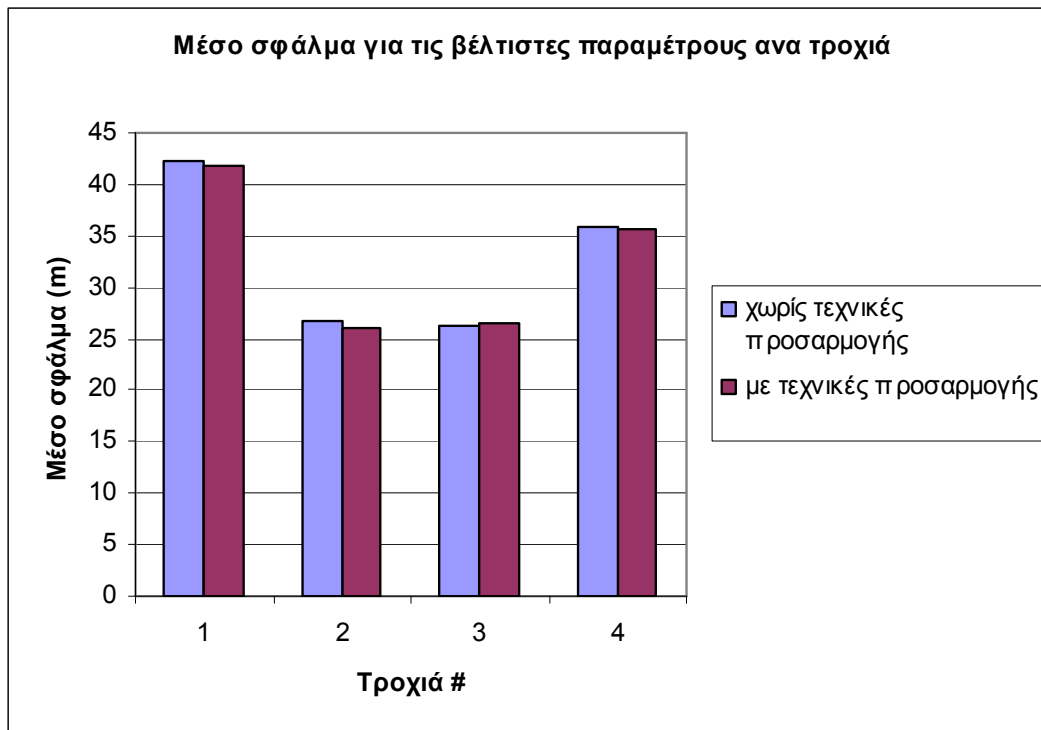
Εικόνα 64: Μέσο σφάλμα για $k=1$ και συνδυασμός των more/less

Όπως αναμέναμε η μείωση του k έχει αρνητικά αποτελέσματα και μειώνει την ακρίβεια σε 30 και 35 μέτρα αντίστοιχα. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι όσο μεγαλύτερο το k τόσο το καλύτερο για την ακρίβεια του συστήματος. Ας εξετάσουμε πως επηρεάζει η εφαρμογή του map match στην ακρίβεια της εκτίμησης.



Εικόνα 65: Map match για $k=6$ και $less=1$

Βλέπουμε εδώ ότι οι τεχνικές map match έχουν αποτέλεσμα καθώς μειώνεται το σφάλμα και κυμαίνεται στα 26 μέτρα ενώ ιδανική τιμή για την παράμετρο more (περισσότερα ασύρματα δίκτυα) είναι η τιμή 5 στην οποία η διαφορά μεταξύ εκτίμησης χωρίς map match και με map match τείνει να μηδενιστεί αγγίζοντας ακρίβεια με σφάλμα λίγο πάνω από τα 26 μέτρα.



Εικόνα 66: Μέσο σφάλμα ανά τροχιά με και χωρίς map match

Παρατηρούμε ότι το σφάλμα σε κάθε τροχιά είναι διαφορετικό αλλά δεν πέφτει κάτω από τα 25 μέτρα. Ενδιαφέρον είναι το γεγονός ότι για τις διαδρομές 1 και 4 το σφάλμα αυξάνει στα 40 και στα 35 μέτρα. Προσπαθώντας να προσδιορίσουμε το λόγο για τον οποίο συμβαίνει αυτό, διαπιστώσαμε ότι οι διαδρομές 2 και 3 καταγράφηκαν σε περιοχές εντός των δεδομένων μας σε αντίθεση με τις διαδρομές 1 και 4 που καταγράφηκαν στα όρια των μετρήσεων μας, γεγονός που προκαλεί την απόκλιση από το επιθυμητό αποτέλεσμα. Το κοινό σε όλες τις περιπτώσεις είναι ότι το map match βελτιώνει την εκτίμηση θέσης.

Να σημειώσουμε ότι στους αλγορίθμους δεν συμπεριλάβαμε το φίλτρο σωματιδίων καθώς θεωρούμε ότι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εύρεση θέσης καθώς η βάση λειτουργίας του είναι η ύπαρξη γνώσης για προηγούμενες θέσεις ώστε να μπορούμε να εφαρμόσουμε το μοντέλο κίνησης. Όσον αφορά τις μεθόδους που εξετάσαμε παρατηρούμε ότι το σφάλμα κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα με ελαφρά μικρότερο σφάλμα για τον αλγόριθμο των ραδιο-αποτυπωμάτων. Εάν λάβουμε υπόψη μας ότι η εκτέλεση της μεθόδου των ραδιο-αποτυπωμάτων απαιτεί μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ μπορούμε να επιλέξουμε την κεντροειδή μέθοδο ώστε με μικρότερη υπολογιστική ισχύ να έχουμε σχεδόν την ίδια ακρίβεια. Εν συνεχεία θα ελέγξουμε το φίλτρο σωματιδίων που όπως είπαμε χρησιμοποιούμε για την παρακολούθηση της τροχιάς / ιχνηλάτηση.

6.3 Ιχνηλάτηση (tracking)

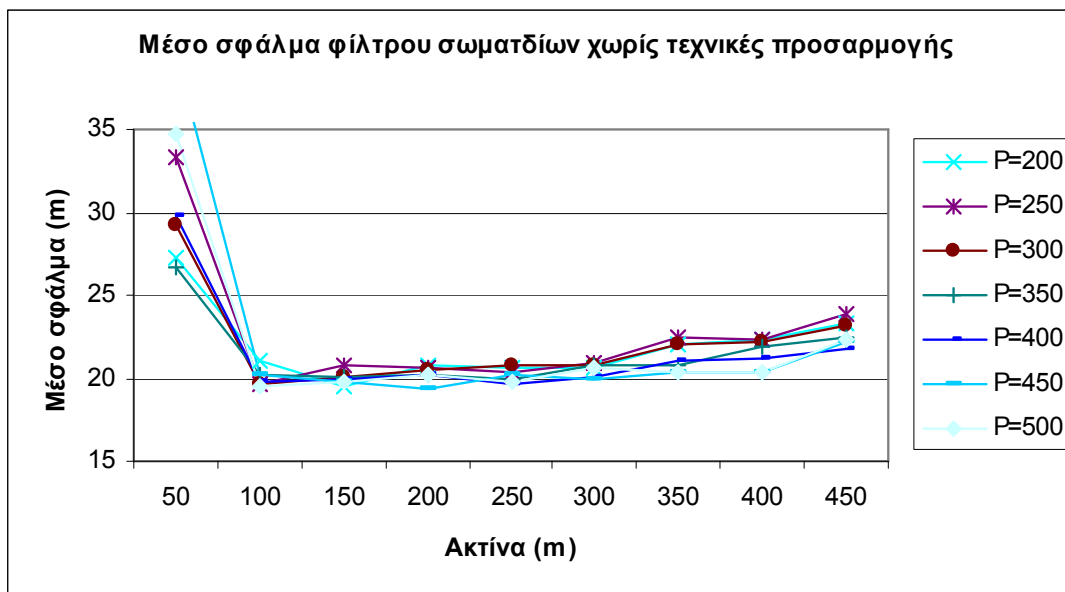
Οι αλγόριθμοι που παρουσιάσαμε στην προηγούμενη ενότητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την παρακολούθηση, ενώ τα αποτελέσματα τους δεν αλλάζουν καθόλου καθώς η παρακολούθηση της τροχιάς είναι το άθροισμα των μεμονωμένων εκτιμήσεων θέσεως. Συνεπώς όλο το βάρος της μελέτης μας θα εναποτεθεί στη μέθοδο του φίλτρου σωματιδίων.

6.3.1 Φίλτρο σωματιδίων

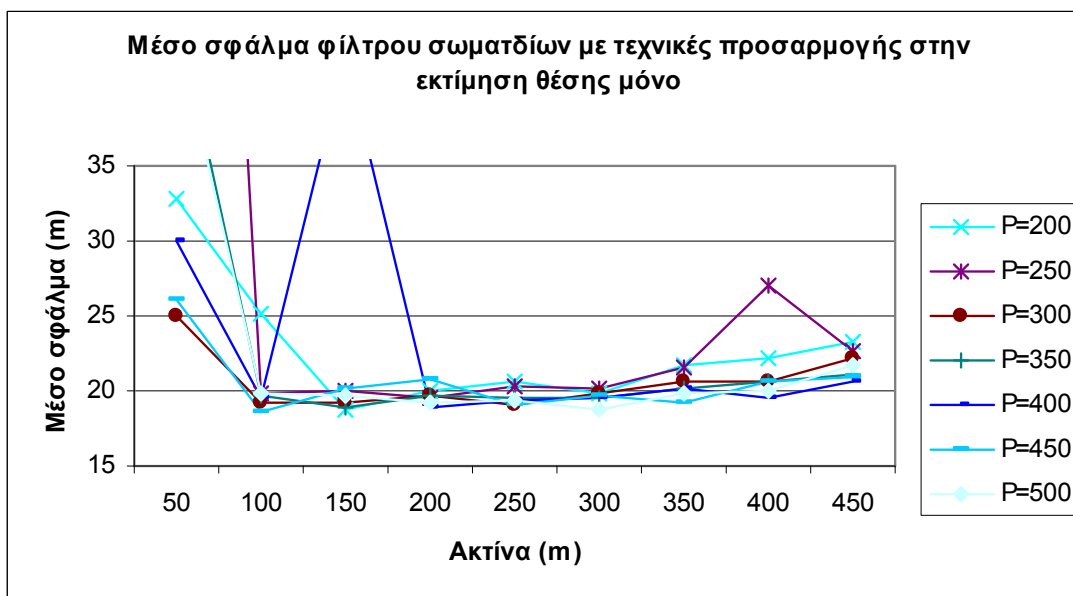
Κατά την εκτέλεση των πειραμάτων δοκιμάσαμε τα ακόλουθα. Πρώτον θέλαμε να διαπιστώσουμε ποιες είναι οι βέλτιστες τιμές για τις παραμέτρους. Οι παράμετροι που μας ενδιαφέρουν είναι δύο. Πρώτα είναι η ακτίνα γύρω από την εκτίμηση που δημιουργούμε τα σωματίδια είτε αρχικά είτε όταν η πιθανότητα της εκτίμησης γίνει μικρότερη από 0.3 οπότε και δημιουργούμε ξανά το σωματίδιο. Δεύτερη παράμετρος είναι το βέλτιστο πλήθος των σωματιδίων που θα δημιουργήσουμε. Τέλος μας ενδιαφέρει να δούμε τι επίδραση έχει το map match σε διάφορες περιπτώσεις. Εξετάσαμε λοιπόν τις ακόλουθες τέσσερις περιπτώσεις.

- Καθόλου χρήση map match.
- Χρήση map match για τις θέσεις των σωματιδίων. Με τον τρόπο αυτό αν και τα σωματίδια κινούνται ελεύθερα στο χώρο, μέσω του map match καταλήγουν σε θέσεις πάνω στο οδικό δίκτυο.
- Χρήση map match μόνο για την εκτιμώμενη θέση. Έτσι τα σωματίδια κινούνται ελεύθερα στο χώρο και μόνο η εκτίμηση της θέσης που προκύπτει υποβάλλεται σε map match ώστε να αποτελέσει σημείο του οδικού δικτύου.
- Χρήση του map match τόσο για τα σωματίδια όσο και για την εκτιμώμενη θέση.

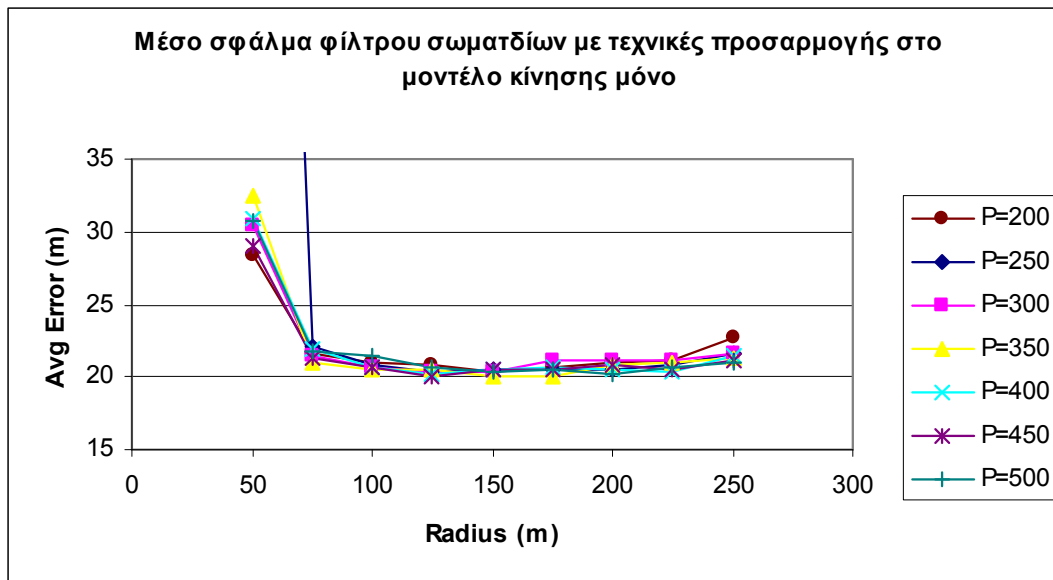
Εν συνεχεία παρουσιάζουμε τα γραφήματα που απεικονίζουν τη συμπεριφορά του μέσου σφάλματος στην εκάστοτε περίπτωση.



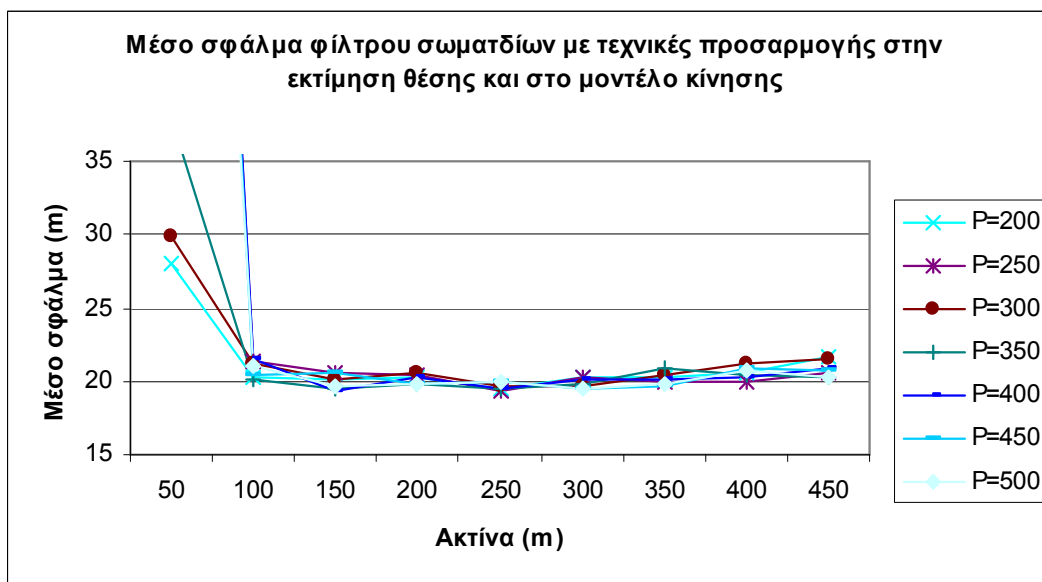
Εικόνα 67: Φίλτρο σωματιδίων χωρίς τη χρήση map match



Εικόνα 68: Φίλτρο σωματιδίων με χρήση map match μόνο για την τελική εκτίμηση

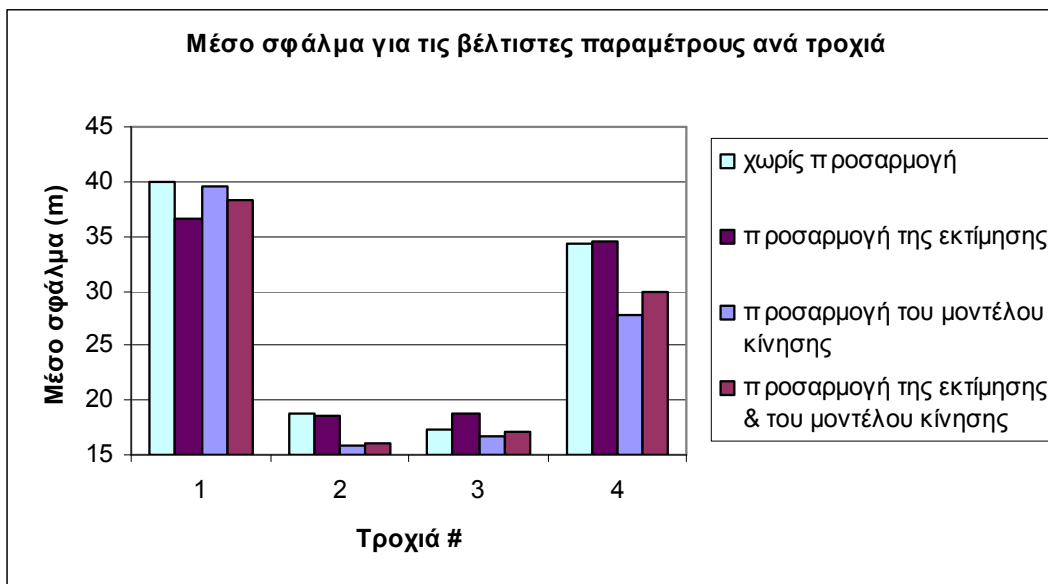


Εικόνα 69: Φίλτρο σωματιδίων με χρήση map match για το μοντέλο κίνησης μόνο



Εικόνα 70: Φίλτρο σωματιδίων με χρήση map match για σωματίδια και τελική εκτίμηση.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι το μέσο σφάλμα κυμαίνεται στο άκρως ικανοποιητικό επίπεδο των 20 μέτρων. Ο ιδανικότερος συνδυασμός είναι: αριθμός σωματιδίων 450, ακτίνα 75 και χρήση τεχνικών προσαρμογής μόνο για την τελική εκτίμηση θέσης. Στο γράφημα που ακολουθεί μπορούμε να δούμε την επίδοση του αλγορίθμου και το σφάλμα αυτού ανά τροχιά.



Εικόνα 71: Μέσο σφάλμα ανά τροχιά

Όπως μπορούμε να δούμε, για τις τροχιές 2 και 3 το σφάλμα σχεδόν γίνεται ίδιο με το εγγενές μέσο σφάλμα του GPS το οποίο υπενθυμίζουμε ότι ανέρχεται στα 15 μέτρα. Η διαφορά στην ακρίβεια που παρατηρείται μεταξύ των τροχιών μας οδήγησε στην περαιτέρω μελέτη των παραγόντων που επηρεάζουν τον αλγόριθμο και από τα επόμενα πειράματα θα είμαστε σε θέση να παρέχουμε το λόγο για τον οποίο συμβαίνει αυτό.

6.4 Ειδικά θέματα

Έχοντας καθορίσει τις ιδανικές παραμέτρους για κάθε οικογένεια αλγορίθμων, είμαστε πλέον σε θέση να εξετάσουμε τη συμπεριφορά των αλγορίθμων σε ειδικές περιπτώσεις όπου εξομοιώνουμε πραγματικές καταστάσεις. Πρόκειται λοιπόν να μελετήσουμε το χρόνο που χρειάζεται κάθε αλγόριθμος, την επίδραση της πυκνότητας των σημείων πρόσβασης, ώστε να δούμε την επίδραση του περιβάλλοντος, την επίδραση της «ηλικίας» του χάρτη, την επίδραση της χαρτογράφησης, την επίδραση του χρόνου που μεσολαβεί μεταξύ διαδοχικών μετρήσεων στην περίπτωση της ιχνηλάτησης και τέλος θα μελετήσουμε την απόκριση ενός υβριδικού μοντέλου που στόχο έχει τη μεγαλύτερη δυνατή κάλυψη όπως θα εξηγήσουμε αργότερα.

6.4.1 Χρόνος επεξεργασίας

Μία σημαντική παράμετρος για κάθε αλγόριθμο είναι ο χρόνος ο οποίος χρειάζεται για την εξαγωγή μιας εκτίμησης θέσης. Για να το ελέγξουμε εκτελέσαμε και τις τρεις μεθόδους μόνο για το βέλτιστο

συνδυασμό παραμέτρων με δεδομένα τροχιάς τα ίδια δεδομένα με αυτά που χρησιμοποιούμε ως γνώση. Στον ακόλουθο πίνακα αναφέρονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του H/Y σχετικά με την εκτέλεση των αλγορίθμων.

Επεξεργαστής	Intel Pentium 4 Prescott
Συχνότητα Λειτουργίας	3 GHz
L1 Cache	16 Kbytes
L2 Cache	2 Mbytes
Μνήμη	3 Gbytes
Συχνότητα Λειτουργίας	266.6 MHz

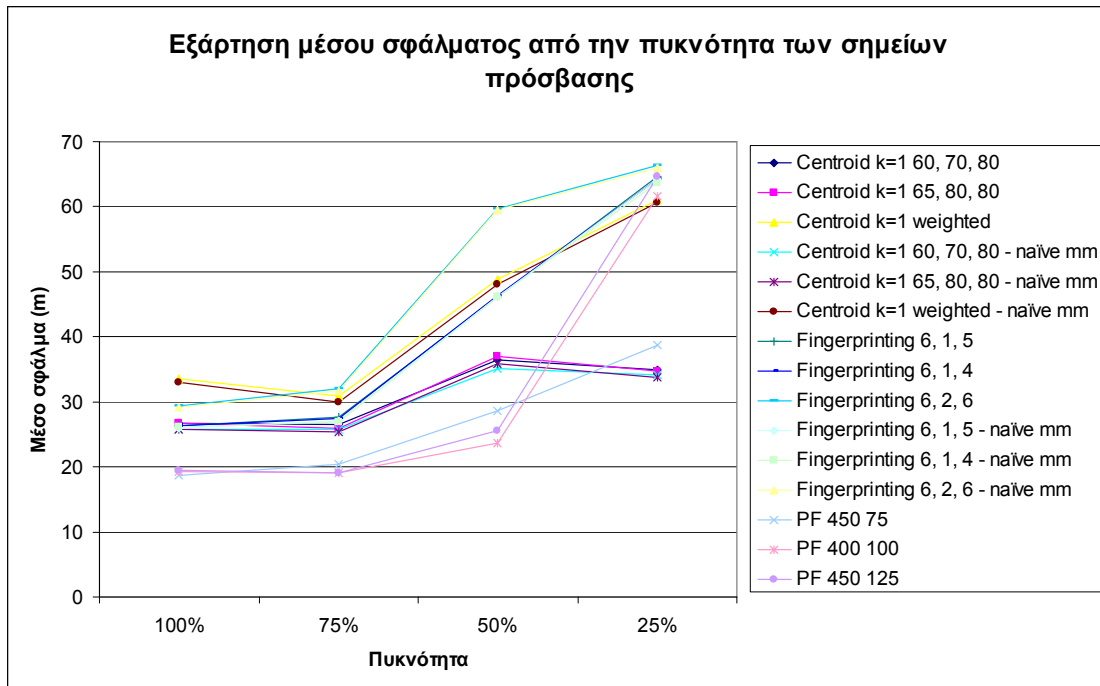
Η εκτέλεση λοιπόν μας υπέδειξε ότι

Αλγόριθμος	Χρόνος/εκτίμηση (msec)
Κεντροειδής	156,365
Ραδιο-αποτυπώματα	459,965
Φίλτρο σωματιδίων	447,739

Όπως φαίνεται ο πιο γρήγορος αλγόριθμος με μεγάλη διαφορά, περίπου 300msec λιγότερα, είναι ο κεντροειδής αλγόριθμος γεγονός που αντικατοπτρίζει και την μικρή πολυπλοκότητα του αλγορίθμου. Οι υπόλοιποι δύο αλγόριθμοι είναι της τάξης των 450 msec καθώς είναι περισσότερο πολύπλοκοι.

6.4.2 Επίδραση πυκνότητας σημείων πρόσβασης

Πρώτα επιθυμούμε να εξετάσουμε τη συμπεριφορά των αλγορίθμων σε σχέση με την πυκνότητα των σημείων πρόσβασης. Η βάση μας περιέχει ένα πλήθος διαφορετικών ασυρμάτων δικτύων και θα μελετήσουμε τι συμβαίνει αν αφαιρέσουμε το 25%, 50% και 75% των ασυρμάτων δικτύων που μας είναι γνωστά τόσο από τα δεδομένα που χρησιμοποιούμε ως γνώση όσο και από τις τροχίες που καταγράψαμε. Με την μετρική αυτή ουσιαστικά μπορούμε να μετατρέψουμε το περιβάλλον μας από καθαρά αστικό (π.χ. μία πόλη) σε λιγότερο αστικό (π.χ. ένα χωριό). Στο γράφημα απεικονίζονται οι πληροφορίες που μας ενδιαφέρουν.



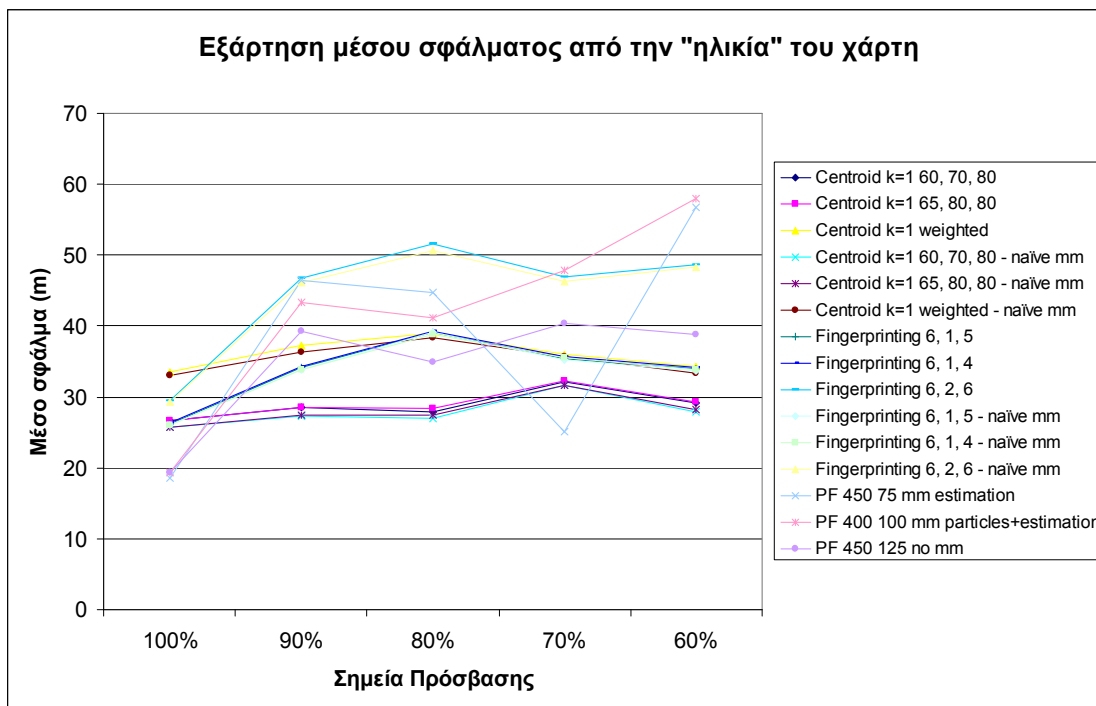
Εικόνα 72: Εξάρτηση μέσου σφάλματος από την πυκνότητα των σημείων πρόσβασης (AP)

Αναμέναμε πως ο αλγόριθμος των ραδιο-αποτυπωμάτων (fingerprint) θα έχει την χειρότερη απόδοση όσο μειώνουμε την πυκνότητα, γεγονός που απορρέει από την αλγοριθμική διαδικασία που ακολουθεί τόσο για τη δημιουργία του χάρτη όσο και για την εξαγωγή της εκτίμησης θέσης. Οι εκτιμήσεις μας επαληθεύονται από το γράφημα καθώς παρατηρούμε ότι ο αλγόριθμος αυξάνει συνεχώς το μέσο σφάλμα του όσο μειώνουμε την πυκνότητα. Συνεπώς, είναι κατανοητό ότι δεν αποτυγχάνει ο αλγόριθμος αλλά αποτυγχάνουν οι παράμετροι τις οποίες έχουμε καθορίσει. Για να είναι λοιπόν σε θέση να μας παρέχει σωστά αποτελέσματα θα πρέπει να επαναπροσδιορίσουμε τις αντίστοιχες παραμέτρους για το νέο μας περιβάλλον. Σε αντίθεση, ο αλγόριθμος του φίλτρου σωματιδίων (particles filter, PF) αποδεικνύει τη σταθερότητα του μέχρι και μείωση της πυκνότητας η οποία να αγγίζει το 50% όπου το σφάλμα αυξάνεται μόνο κατά λίγα μέτρα. Τέλος, ο κεντροειδής αλγόριθμος παράγει τα πιο σταθερά αποτελέσματα ακόμα και αν μειώσουμε την πυκνότητα κατά 75%. Η αύξηση την οποία παρουσιάζει το μέσο σφάλμα του είναι περίπου 7 μέτρα.

6.4.3 Επίδραση «ηλικίας» χάρτη

Όπως έχουμε επισημάνει, η διαθεσιμότητα των ασυρμάτων δικτύων αποτελεί μία αρκετά ασταθή παράμετρο. Παρατηρούμε αύξηση αλλά και μείωση των ασυρμάτων δικτύων πολύ γρήγορα γεγονός που μας προϊδεάζει για το σημαντικό ρόλο που διαδραματίζει η ηλικία του χάρτη. Συνεπώς, εξομοιώσαμε το γεγονός αυτό, αφαιρώντας ασύρματα δίκτυα μόνο από τα δεδομένα που

χρησιμοποιούμε ως γνώση και εφαρμόσαμε τους αλγορίθμους στα νέα αυτά δεδομένα. Το γράφημα που απεικονίζει την επίδραση ακολουθεί

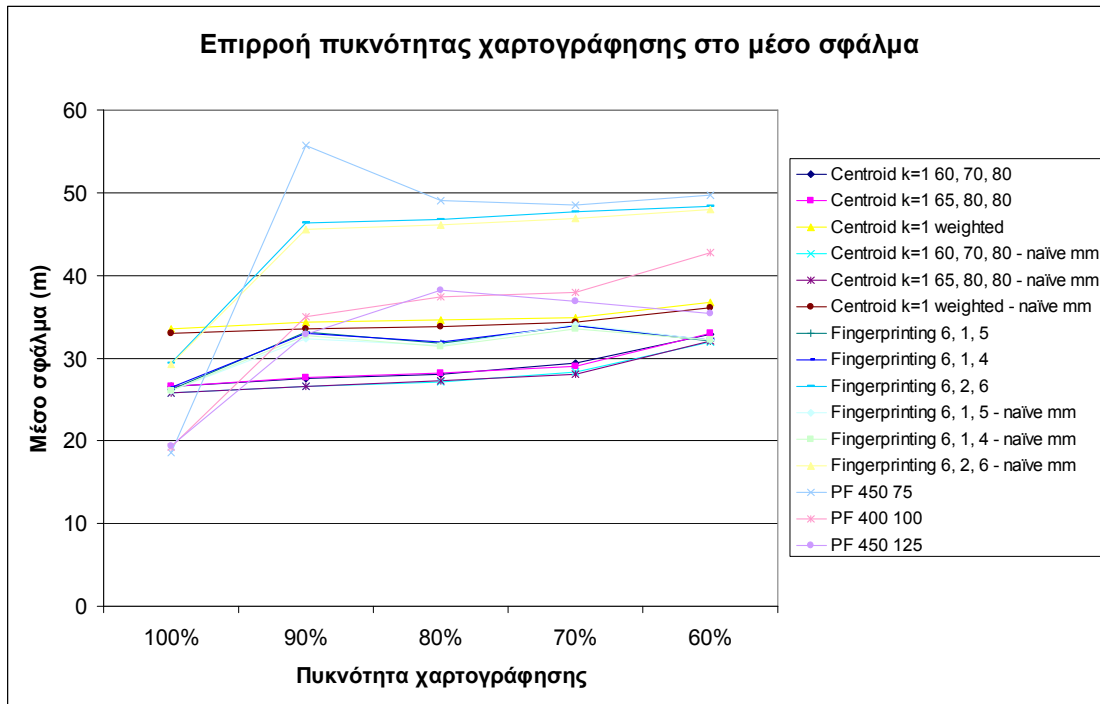


Εικόνα 73: Επίδραση "ηλικίας" χάρτη στο μέσο σφάλμα

Παρατηρούμε ότι τη μικρότερη επίδραση επιδέχεται ο κεντροειδής αλγόριθμος του οποίου το σφάλμα δεν αυξάνεται παρά λίγα μέτρα (περίπου 3 μέτρα). Επιδεικνύει λοιπόν μεγάλη σταθερότητα. Οι υπόλοιποι αλγόριθμοι παρουσιάζουν μεγαλύτερη εξάρτηση. Ο αλγόριθμος των ραδιο-αποτυπωμάτων εμφανίζει την αμέσως μικρότερη εξάρτηση καθώς το σφάλμα του αυξάνει μόνο κατά περίπου 10 μέτρα και μπορούμε να ισχυριστούμε ότι στο γεγονός αυτό συμβάλλει σημαντικά η θεώρηση μας ότι αν κάποιο ασύρματο δίκτυο το συναντήσουμε σε κάποιο αποτύπωμα του χρήστη αλλά δεν υπάρχει καθόλου ως γνώση μας, τότε το αγνοούμε. Έτσι περιορίζουμε την εξάρτηση από την ηλικία του χάρτη για την εν λόγω μέθοδο. Ο αλγόριθμος του φίλτρου σωματιδίων παρουσιάζει τη μεγαλύτερη εξάρτηση και το σφάλμα αυξάνει δραστικά.

6.4.4 Επίδραση χαρτογράφησης

Επιθυμούμε να διαπιστώσουμε αν η χαρτογράφηση διαδραματίζει σημαντικό ρόλο. Για να το ελέγξουμε αφαιρέσαμε σημεία από την βάση γνώσης μας, θεωρώντας δηλαδή ότι δεν διήρθαμε από τυχαία σημεία, άρα αγνοώντας την ύπαρξη των ασυρμάτων δικτύων στα εν λόγω σημεία. Στα νέα αυτά δεδομένα ελέγξαμε πάλι τους αλγορίθμους και τα αποτελέσματα παρατίθενται στο επόμενο διάγραμμα.

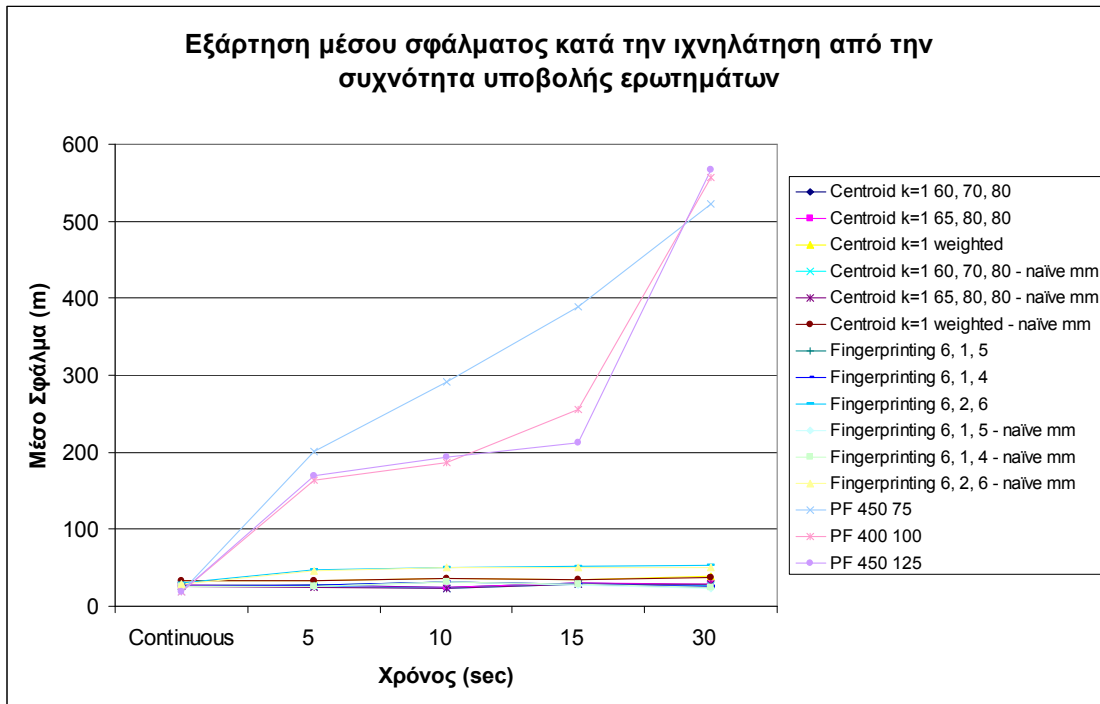


Εικόνα 74: Επιρροή της χαρτογράφησης στο μέσο σφάλμα

Είναι εμφανές ότι την μεγαλύτερη επίδραση και αύξηση στο σφάλμα παρουσιάζει η μέθοδος του φίλτρου των σωματιδίων όπου το σφάλμα αυξάνεται ραγδαία. Αντιθέτως τόσο η κεντροειδής μέθοδος όσο και η μέθοδος των ραδιο-αποτυπωμάτων επηρεάζονται λιγότερο και το μέσο σφάλμα τους αν και αυξάνεται, η αύξηση δεν ξεπερνάει τα 10 μέτρα. Συνεπώς, παρατηρούμε ότι για τη λειτουργία του κεντροειδή αλλά και των ραδιο-αποτυπωμάτων είναι εφικτά ορθά αποτελέσματα με μικρότερο κόπο κατά τη διαδικασία της χαρτογράφησης.

6.4.5 Επίδραση χρόνου στην ιχνηλάτηση

Ας αναλογιστούμε ένα πραγματικό μοντέλο παροχής τέτοιων υπηρεσιών. Ένα βασικό ζητούμενο είναι μείωση της επικοινωνίας μεταξύ πελάτη και εξυπηρετητή ώστε να μειωθεί και το οικονομικό κόστος όσο και το κόστος επεξεργασίας. Για το λόγο αυτό έχει ενδιαφέρον να δούμε τι συμβαίνει με το σφάλμα όσο αυξάνουμε το χρόνο μεταξύ δύο διαδοχικών ερωτημάτων κατά τη διαδικασία της ιχνηλάτησης. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στο ακόλουθο διάγραμμα.



Εικόνα 75: Εξάρτηση μέσου σφάλματος από τη συχνότητα ερωτημάτων

Βλέπουμε ότι οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούμε για την εύρεση θέσης, δηλαδή ο κεντροειδής και τα ραδιο-αποτυπώματα δεν αντιμετωπίζουν ιδιαίτερα προβλήματα αφού δε διατηρούν κάποιο ιστορικό και κάθε ερώτημα αντιμετωπίζεται ως μεμονωμένο και χωρίς κάποια συσχέτιση με προηγούμενες εκτιμήσεις. Αντιθέτως ο αλγόριθμος του φίλτρου σωματιδίων, ο οποίος διατηρεί ιστορικό κίνησης και το μοντέλο κίνησης του εξαρτάται από το ιστορικό αυτό, παρουσιάζει απογοητευτικά αποτελέσματα ακόμα και όταν μειώσαμε το χρόνο στα 5 sec ανά ερώτημα. Το γεγονός αυτό μας υποδεικνύει, πως αν υπάρχει ανάγκη χρήσης της μεθόδου του φίλτρου των σωματιδίων τότε θα πρέπει να εξασφαλίσουμε τη συνεχή ανταλλαγή ερωτημάτων, ή να εξασφαλίσουμε την αυτόνομη και ανεξάρτητη εκτέλεση του αλγορίθμου στην συσκευή που τον χρησιμοποιεί.

6.4.6 Κάλυψη και Υβριδικό μοντέλο

Σημαντική κατ' εμάς παράλειψη της βιβλιογραφίας είναι η μη αναφορά σε ποσοστό κάλυψης, δηλαδή σε τι ποσοστό των ερωτημάτων είναι σε θέση ο κάθε αλγόριθμος να προσφέρει μια εκτίμηση. Η μετρική της κάλυψης λοιπόν είναι αρκετά σοβαρό θέμα, καθώς για ένα πραγματικό σύστημα θα πρέπει να βρεθεί η χρυσή τομή ώστε να επιτυγχάνεται η μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια παράλληλα με τη μεγαλύτερη δυνατή κάλυψη. Απόρροια αυτού είναι και το μέγεθος των δεδομένων που θα πρέπει να συλλέξουμε. Μία μεγάλη βάση δεδομένων πιθανόν να έχει μεγαλύτερη κάλυψη αλλά αυτό δεν είναι πάντα εφικτό. Για το λόγο αυτό, κατά τη συλλογή δεδομένων μας,

προσπαθήσαμε όπου αυτό ήταν εφικτό να διασχίσουμε μόνο μία φορά κάθε δρόμο ώστε να λάβουμε τα βασικά δεδομένα.

Κατά την εφαρμογή των αλγορίθμων του εντοπισμού θέσης προσπαθήσαμε να βρούμε το ποσοστό κάλυψης του καλύτερου συνδυασμού για κάθε αλγόριθμο αλλά και να εφαρμόσουμε ένα συνδυασμό που να μας εξασφαλίζει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη κάλυψη. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Κάλυψη	Κεντροειδής k=1 80-70-60	Κεντροειδής k=1 σταθμισμένος	Χωρίς εκτίμηση	Ραδιο-αποτυπώματα k=6 less=1 more=5	Ραδιο-αποτυπώματα k=6 less=6 more=2	Χωρίς εκτίμηση
Τροχιά 1	63%	37%	1%	54%	15%	31%
Τροχιά 2	67%	30%	2%	63%	14%	22%
Τροχιά 3	84%	16%	0%	50%	16%	34%
Τροχιά 4	71%	29%	0%	58%	14%	28%
Μέση κάλυψη	71%	28%	1%	56%	15%	29%

Ο πίνακας απεικονίζει το ποσοστό κάλυψης πρώτα για τον καλύτερο αλγόριθμο κάθε οικογένειας και έπειτα αναζητούμε από τον αλγόριθμο που μας εξασφαλίζει την μεγαλύτερη κάλυψη με το ελάχιστο σφάλμα, να συμπληρώσει τον βέλτιστο ως προς το σφάλμα. Έτσι παρατηρούμε ότι η κεντροειδής μέθοδος παρέχει μία μέση κάλυψη που αγγίζει το 71% όσον αφορά το βέλτιστο αλγόριθμο ενώ το ποσοστό που συμπληρώνεται είναι 28%, αφήνοντας μόνο το 1% χωρίς τη δυνατότητα να παρέχουμε κάποια εκτίμηση. Αντιθέτως ο αλγόριθμος των ραδιο-αποτυπωμάτων παρουσιάζει αδυναμία εκτίμησης θέσης στο 29% των περιπτώσεων, καθώς ο βέλτιστος αλγόριθμος ως προς το σφάλμα παρέχει μόνο το 56% των εκτιμήσεων και μπορεί να συμπληρωθεί μόνο κατά ακόμα 15% από τον βέλτιστο ως προς την κάλυψη αλγόριθμο. Συνεπώς όσον αφορά την κάλυψη η κεντροειδής μέθοδος παρέχοντας ποσοστό κάλυψης 99% έναντι 71% των ραδιο-αποτυπωμάτων παρέχει ουσιαστική λύση σε ένα πραγματικό σύστημα.

Ας ελέγξουμε όμως τι συμβαίνει και με το σφάλμα στις αντίστοιχες περιπτώσεις ώστε να έχουμε μια πιο πλήρη εικόνα.

Μέσο Σφάλμα	Κεντροειδής k=1 80-70-60	Κεντροειδής k=1 σταθμισμένος	Μέσο σφάλμα	Ραδιο-αποτυπώματα k=6 less=1 more=5	Ραδιο-αποτυπώματα k=6 less=6 more=2	Μέσο σφάλμα
Τροχιά 1	36,64	55,61	43,34	32,90	18,00	20,42
Τροχιά 2	17,88	30,00	21,12	26,62	17,69	19,41
Τροχιά 3	21,04	43,90	24,59	26,32	16,05	15,75
Τροχιά 4	34,35	58,95	41,39	30,23	23,04	20,83
Μέσο σφάλμα	27,48	47,12	32,61	29,02	18,69	19,10

Παρατηρούμε λοιπόν ότι ο κεντροειδής παρέχει συνολικό μέσο σφάλμα ίσο με 32,61 μέτρα ενώ ο αλγόριθμος των ραδιο-αποτυπωμάτων παρέχει σφάλμα ίσο με 19,10 μέτρα. Συνεπώς δημιουργείται το δίλημμα μεταξύ ακρίβειας στην εκτίμηση και κάλυψης. Βέβαια, αν επικεντρωθούμε σε ένα

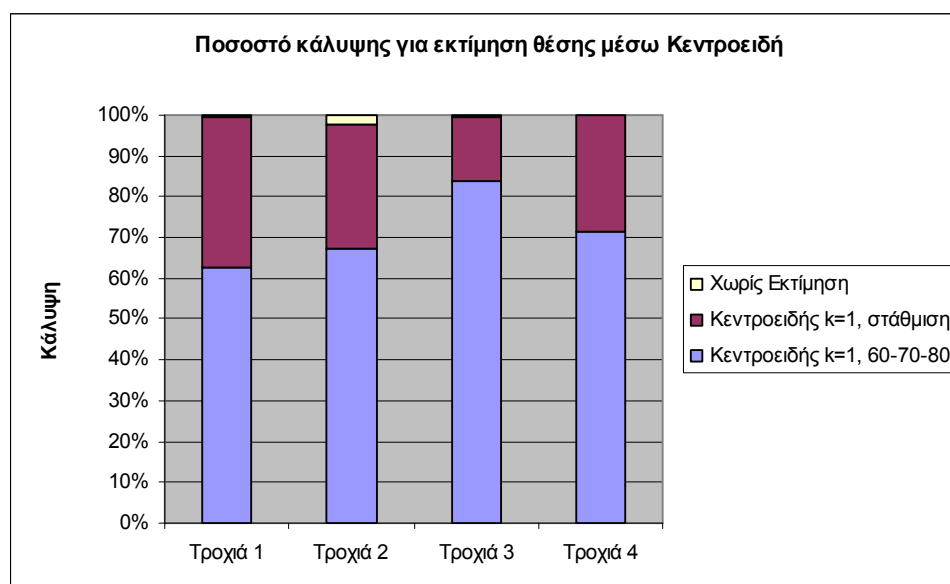
ρεαλιστικό σενάριο όπου ζητούμενο είναι η παροχή κάποιας εκτίμησης, θα προτιμήσουμε την κεντροειδή μέθοδο λόγω της καθολικής σχεδόν κάλυψης που παρέχει. Το μοντέλο λοιπόν αυτό όπου χρησιμοποιούμε δύο μεθόδους για την παροχή εκτίμησης θέσης το ονομάσαμε υβριδικό μοντέλο. Ας δούμε όμως και μερικά στατιστικά στοιχεία και πιο συγκεκριμένα τον μέσο αλλά και την διασπορά για κάθε τροχιά και συνολικά.

	Κεντροειδής		Κεντροειδής με τεχνικές ταιριάσματος	
	Τυπική απόκλιση	Μέσος	Τυπική απόκλιση	Μέσος
Τροχιά 1	63,84	25,94	63,91	26,27
Τροχιά 2	20,19	16,30	20,19	16,47
Τροχιά 3	41,35	15,21	20,19	16,47
Τροχιά 4	73,82	21,07	73,29	19,16
Μέση τιμή	52,78	18,11	52,60	16,62

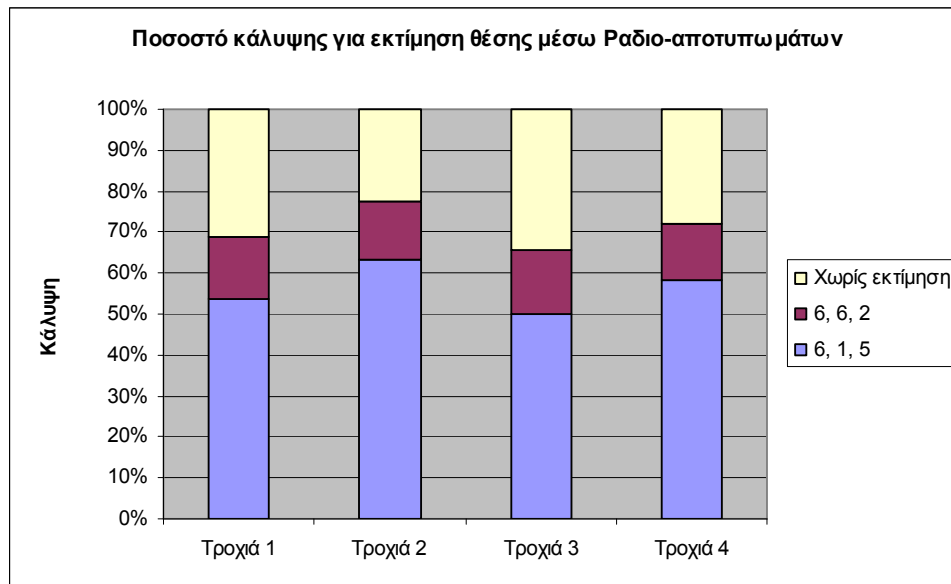
	Ραδιο-αποτυπώματα		Ραδιο-αποτυπώματα με τεχνικές ταιριάσματος	
	Τυπική Απόκλιση	Μέσος	Τυπική απόκλιση	Μέσος
Τροχιά 1	40,56	19,06	39,72	19,28
Τροχιά 2	28,46	18,09	28,63	18,06
Τροχιά 3	31,87	14,85	32,48	14,20
Τροχιά 4	69,04	19,21	69,36	19,60
Μέση τιμή	45,70	17,39	45,89	16,94

Βλέπουμε λοιπόν ότι ο μέσος και για τις περιπτώσεις είναι αρκετά χαμηλά περίπου στα 17 μέτρα ενώ η τυπική απόκλιση ανέρχεται περίπου στα 50 μέτρα.

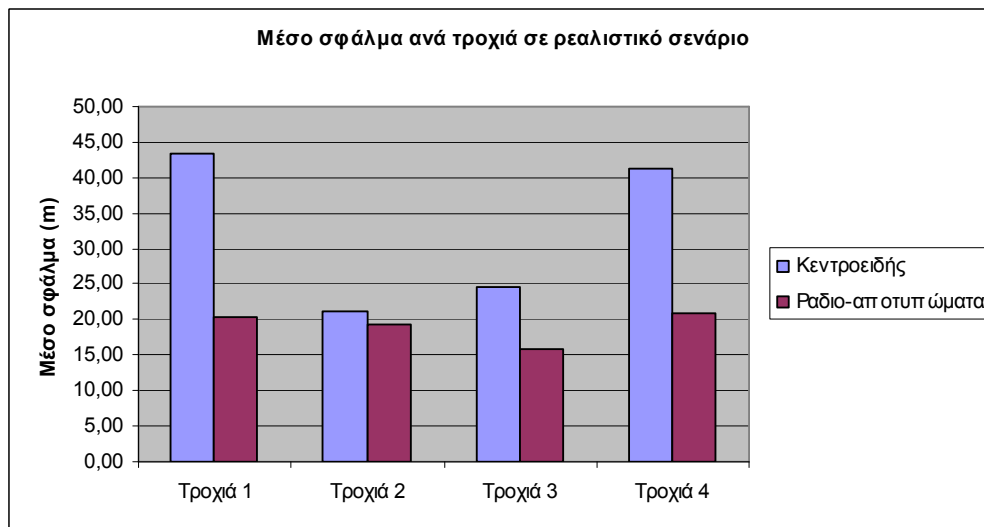
Ακολουθούν διαγράμματα όπου παρουσιάζονται ακριβώς όσα αναλύσαμε εδώ.



Εικόνα 76: Ποσοστό κάλυψης για εκτίμηση θέσης μέσω Κεντροειδή



Εικόνα 77: Ποσοστό κάλυψης για εκτίμηση θέσης μέσω Ραδιο-αποτυπωμάτων



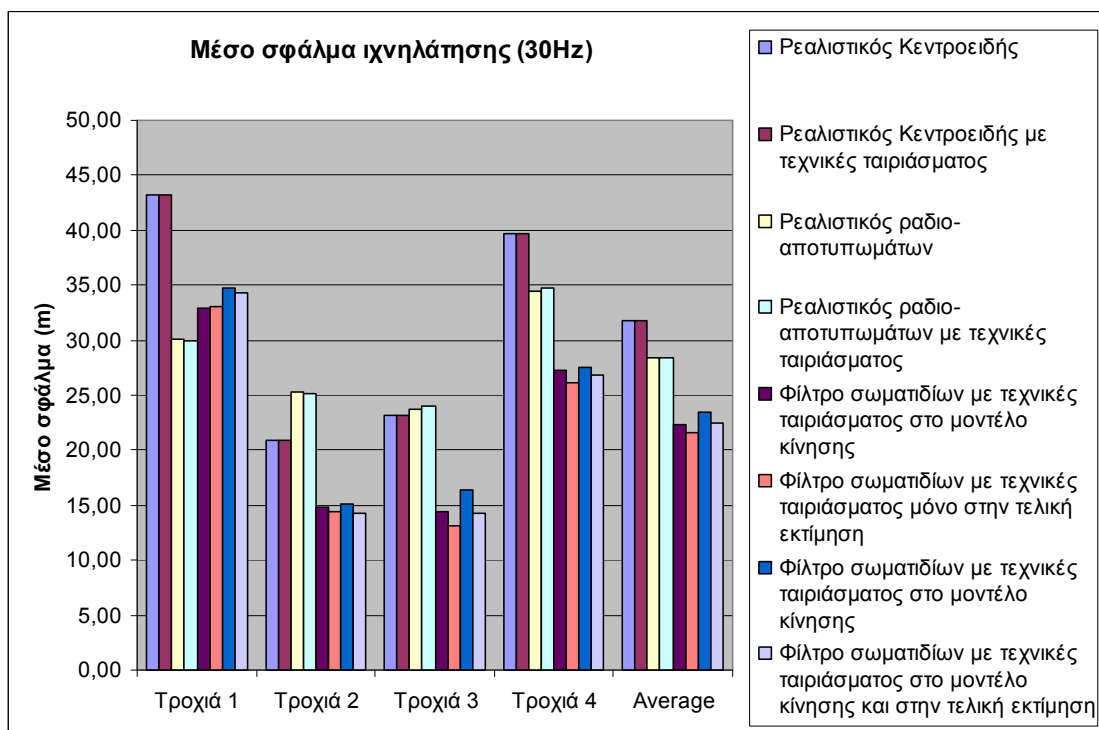
Εικόνα 78: Μέσο σφάλμα ανά τροχιά σε ρεαλιστικό σενάριο

Εφόσον λοιπόν ορίσαμε το υβριδικό μοντέλο θέλουμε να εξετάσουμε πως συμπεριφέρεται κατά την ιχνηλάτηση, θεωρώντας ότι τα ερωτήματα γίνονται κάθε 2 δευτερόλεπτα. Επίσης επειδή όπως έχουμε δει ακόμα και το υβριδικό μοντέλο μπορεί να μην παρέχει κάποια εκτίμηση, θεωρούμε ότι όταν συμβαίνει αυτό, εξάγουμε ως εκτίμηση την προηγούμενη εκτίμηση θέσης. Στον πίνακα που ακολουθεί μπορούμε να δούμε τη συμπεριφορά των αλγορίθμων.

	Κεντροειδής		Ραδιο-αποτυπώματα	
	Μέσο σφάλμα	Μέσο σφάλμα με εφαρμογή τεχνικών ταιριάσματος	Μέσο σφάλμα	Μέσο σφάλμα με εφαρμογή τεχνικών ταιριάσματος
Τροχιά 1	43,45	43,15	30,03	29,99
Τροχιά 2	21,61	20,92	25,34	25,12
Τροχιά 3	24,61	23,21	23,71	24,01
Τροχιά 4	41,39	39,68	34,53	34,70
Μέσο σφάλμα	32,77	31,74	28,40	28,46

	Φίλτρο Σωματιδίων			
	Χωρίς τεχνικές ταιριάσματος	Τεχνικές ταιριάσματος στην τελική εκτίμηση	Τεχνικές ταιριάσματος και στα σωματίδια και στην τελική εκτίμηση	Τεχνικές ταιριάσματος μόνο στα σωματίδια
Τροχιά 1	32,88	33,01	34,30	34,75
Τροχιά 2	14,89	14,47	14,22	15,07
Τροχιά 3	14,39	13,12	14,30	16,43
Τροχιά 4	27,28	26,12	26,77	27,58
Μέσο σφάλμα	22,36	21,68	22,40	23,46

Η κάλυψη που μας παρέχει ο κεντροειδής και αγγίζει το 99% συμβάλλει σημαντικά ώστε το σφάλμα του να μην μεταβάλλεται. Αντιθέτως για τη μέθοδο των ραδιο-αποτυπώματων βλέπουμε ότι το σφάλμα αυξάνεται καθώς το ποσοστό της μη κάλυψης είναι κοντά στο 30% όπου και όπως θεωρήσαμε, διατηρήσαμε την προηγούμενη εκτίμηση και φυσικά αυτό αποτελεί πηγή λαθών. Το χαμηλότερο σφάλμα παρουσιάζει η μέθοδος του φίλτρου των σωματιδίων όπου το σφάλμα κυμαίνεται στα 22 μέτρα. Σημαντικό στοιχείο είναι πως η εφαρμογή τεχνικών ταιριάσματος δεν βελτιώνει σημαντικά το μέσο σφάλμα παρά μόνο κατά 1 με 2 μέτρα. Στο γράφημα που ακολουθεί μπορούμε να δούμε τη συνολική εικόνα όσων αναφέραμε.

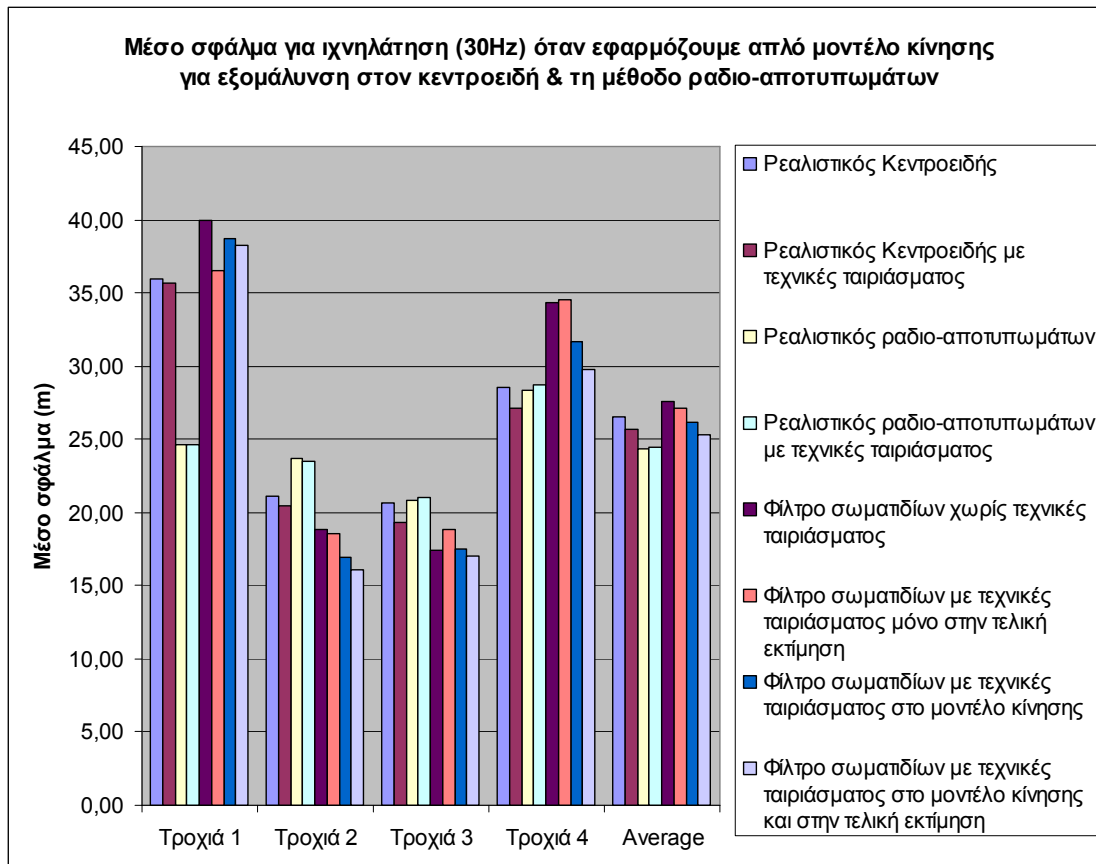


Εικόνα 79: Μέσο σφάλμα αλγορίθμων στην ιχνηλάτηση

Εξετάσαμε και κάτι ακόμα. Θεωρήσαμε ένα πολύ απλό και θεωρητικό μοντέλο κίνησης για τους αλγορίθμους κεντροειδή και ραδιο-αποτυπωμάτων. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό θεωρήσαμε ότι ένα όχημα κινείται το πολύ με 40 χλμ/ώρα συνεπώς κάθε σφάλμα που ξεπερνάει τα 100 μέτρα, επανεκτιμούμε τη θέση του μέχρι να λάβουμε εκτίμηση θέσης ώστε το σφάλμα να γίνει μικρότερο ή ίσο με 40 μέτρα. Εδώ θεωρήσαμε τη χειρότερη περίπτωση δηλαδή σφάλμα ίσο με 40 μέτρα. Ας δούμε λοιπόν την συμπεριφορά των αλγορίθμων στην περίπτωση αυτή.

	Κεντροειδής		Ραδιο-αποτυπωμάτων	
	Μέσο σφάλμα	Μέσο σφάλμα με τεχνικές ταιριάσματος	Μέσο σφάλμα	Μέσο σφάλμα με τεχνικές ταιριάσματος
Τροχιά 1	35,94	35,71	24,67	24,63
Τροχιά 2	21,10	20,43	23,66	23,53
Τροχιά 3	20,67	19,35	20,86	21,07
Τροχιά 4	28,52	27,12	28,39	28,73
Μέσο σφάλμα	26,56	25,65	24,40	24,49

Παρατηρούμε λοιπόν ότι με τη μέθοδο αυτή πετύχαμε μείωση του σφάλματος ακόμα περισσότερο εφαρμόζοντας ένα απλό μοντέλο κίνησης. Στο γράφημα που ακολουθεί παρουσιάζουμε τη συνολική εικόνα για το απλό μοντέλο αυτό κίνησης και τη σύγκριση με το φίλτρο των ραδιο-αποτυπωμάτων.



Εικόνα 80: Συνολική εικόνα αλγορίθμων

6.5 Σύνοψη αποτελεσμάτων

Ας κάνουμε μία αποτίμηση της πειραματικής μας διαδικασίας. Στόχος μας ήταν αφενός να προσδιορίσουμε τις τιμές για τις εκάστοτε παραμέτρους του κάθε αλγορίθμου και αφετέρου να παρατηρήσουμε την συμπεριφορά των αλγορίθμων σε διαφορετικές περιπτώσεις χρήσης ώστε να είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε ποια χαρακτηριστικά επηρεάζουν την απόδοση των αλγορίθμων.

Βάσει λοιπόν των πειραμάτων μας προσδιορίσαμε ότι οι βέλτιστες παράμετροι που ελαχιστοποιούν το σφάλμα για την κεντροειδή μέθοδο είναι δημιουργία χάρτη με $k = 1$ και εκτίμηση θέσης βάσει της μεθόδου των διαστημάτων όπου $THRESHOLD_1 = 60$, $THRESHOLD_2 = 70$, $THRESHOLD_3 = 80$. Το σφάλμα στην περίπτωση αυτή μαζί και με την εφαρμογή τεχνικών ταιριάσματος χάρτη ανέρχεται περίπου στα 26 μέτρα. Ας εξετάσουμε και τα υπόλοιπα στοιχεία που χαρακτηρίζουν τον αλγόριθμο. Ο χρόνος εκτέλεσης ανέρχεται στα 156 msec. Επίσης επέδειξε χαρακτηριστική σταθερότητα σε μεταβολές της πυκνότητας των σημείων πρόσβασης, σε μείωση της χαρτογραφημένης περιοχής αλλά και σε ανεκτή «ηλικία» χάρτη. Με τη βοήθεια του υβριδικού μοντέλου το οποίο και παρουσιάσαμε επιτυγχάνει ποσοστό κάλυψης 99% επί της χαρτογραφημένης περιοχής αν και το

μέσο σφάλμα ανέρχεται στα 33 μέτρα. Τέλος, όσον αφορά τη διαδικασία της ιχνηλάτησης, δεν εμπεριέχει κάποιο μοντέλο κίνησης συνεπώς δεν επηρεάζεται από το χρόνο που μεσολαβεί μεταξύ δύο ερωτημάτων για την παροχή εκτίμησης. Λαμβάνοντας λοιπόν τα άνωθεν υπόψη, μπορούμε να πούμε ότι η κεντροειδής μέθοδος αποτελεί μία σταθερή και αξιόπιστη λύση η οποία μπορεί να υλοποιηθεί εύκολα αλλά και να διατηρήσει τα ορθά της αποτελέσματα για περισσότερο χρονικό διάστημα καθώς επηρεάζεται λιγότερο από τις μεταβολές που μελετήσαμε. Η χαμηλή πολυπλοκότητα που οδηγεί και σε μικρό χρόνο εκτέλεσης καθιστούν ιδανική τη μέθοδο για συσκευές κινητής τηλεφωνίας όπου οι διαθέσιμοι πόροι είναι αρκετά περιορισμένοι. Αν λοιπόν σκεφτούμε ότι η μέθοδος δεν επηρεάζεται από την ύπαρξη μεγάλης βάσης δεδομένων, μπορούμε να έχουμε μικρή βάση δεδομένων ικανή ακόμα και να τοποθετηθεί σε κινητό προσφέροντας μια πλήρως αυτόνομη και ανεξάρτητη λύση. Το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται από την «ηλικία» του χάρτη, προσδίδει μία σταθερότητα στον αλγόριθμο, ιδιαίτερα στον συγκεκριμένο τομέα των ασυρμάτων δικτύων όπου οι μεταβολές του πλήθους των υπαρχόντων δικτύων είναι συνεχείς. Τέλος, όσον αφορά την λειτουργία της εύρεσης θέσης, είδαμε ότι δεν επηρεαζόμαστε από την πυκνότητα των σημείων πρόσβασης, γεγονός που υποδεικνύει τη δυνατότητα χρήσης του αλγορίθμου και σε λιγότερο αστικά περιβάλλοντα. Βέβαια, για την ιχνηλάτηση το γεγονός της μικρής πολυπλοκότητας και της γρήγορης εκτίμησης σε συνδυασμό με τη σχεδόν μηδαμινή επίδραση του ενδιαμέσου μεταξύ δύο ερωτημάτων χρόνου, καθιστά τον αλγόριθμο ως την ιδανική λύση για ιχνηλάτηση ταχέων αντικειμένων με το μικρότερο πλήθος ερωτημάτων και ακρίβεια που αγγίζει τα 33 μέτρα. Γενικά, λοιπόν μπορούμε να πούμε ότι είναι ένας σταθερός και πολύ εύελικτος αλγόριθμος ικανός να δουλέψει σε κάθε περιβάλλον.

Ο επόμενος αλγόριθμος που εξετάσαμε είναι ο αλγόριθμος των ραδιο-αποτυπωμάτων. Βρήκαμε τις βέλτιστες παραμέτρους οι οποίες, σε συνδυασμό και με τις τεχνικές ταιριάσματος, εξασφαλίζουν μέσο σφάλμα στα 26 μέτρα και αυτές είναι $k = 6$, $less = 1$, $more = 5$. Ο μέσος χρόνος για της απόκριση είναι 460 msec γεγονός που αντανακλά και την αυξημένη πολυπλοκότητα του αλγορίθμου. Διαπιστώσαμε επίσης ότι το αποτέλεσμα του αλγορίθμου επηρεάζεται αρνητικά από τη μείωση της πυκνότητας των σημείων πρόσβασης αυξάνοντας το μέσο σφάλμα κατά 10 με 40 μέτρα ανάλογα τη μείωση που υπάρχει. Δεν επηρεάζεται δραστικά από την «ηλικία» του χάρτη καθώς το σφάλμα του αυξάνει κατά περίπου 8 μέτρα (πάντα για τις βέλτιστες περιπτώσεις) ενώ είδαμε ότι παραμένει σταθερή όταν μειώσαμε τα δεδομένα χαρτογράφησης Μεγάλο μειονέκτημα της μεθόδου είναι το ποσοστό κάλυψης. Το ποσοστό κάλυψης είναι μόνο 71% επί της χαρτογραφημένης περιοχής ακόμα και με το υβριδικό μοντέλο. Όσον αφορά τη διαδικασία της ιχνηλάτησης, ως αλγόριθμος εύρεσης θέσης δεν επηρεάζεται από τον χρόνο που μεσολαβεί μεταξύ δύο ερωτημάτων. Αξιολογώντας τα δεδομένα αυτά, παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο μειονέκτημα, αυτό της κάλυψης, δεν μπορεί να υπερκεραστεί από κάποιο άλλο δεδομένο του αλγορίθμου. Ταυτόχρονα παρατηρούμε ότι εξαρτάται και από το περιβάλλον και την πυκνότητα των σημείων πρόσβασης καθιστώντας τον

αλγόριθμο ακατάλληλο για λιγότερο αστικές περιοχές. Δεν υπερτερεί σε κανένα σημείο της κεντροειδούς μεθόδου ενώ η πολυπλοκότητα του των κάνει ακατάλληλο και για οποιαδήποτε συσκευή κινητής τηλεφωνίας. Συγκριτικά με την κεντροειδή μέθοδο, δεν κρίνεται ως κατάλληλη για την εύρεση θέσης ή και την ιχνηλάτηση εφόσον δεν παρουσιάζει κανένα συγκριτικό πλεονέκτημα σε σχέση με τον κεντροειδή αλγόριθμο.

Μελετήσαμε επίσης και μία μέθοδο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποκλειστικά και μόνο για την ιχνηλάτηση και αυτή είναι η μέθοδος του φίλτρου σωματιδίων. Καθορίσαμε βάσει της πειραματικής διαδικασίας πως οι βέλτιστες τιμές των παραμέτρων είναι: αριθμός σωματιδίων – 450, ακτίνα δημιουργίας σωματιδίων – 75 μέτρα χρήση τεχνικών ταιριάσματος μόνο για την εκτιμώμενη θέση. Βάσει αυτών το μέσο σφάλμα της μεθόδου είναι περίπου 19 μέτρα το οποίο είναι και το μικρότερο δυνατό σφάλμα το οποίο επιτύχαμε και με τους τρεις αλγορίθμους. Το αρκετά χαμηλό μέσο σφάλμα είναι αρκετά ενθαρρυντικό στοιχείο. Η συμπεριφορά του αλγορίθμου σε αστικό και σχεδόν αστικό περιβάλλον παραμένει σταθερή χωρίς να μεταβάλλεται σχεδόν καθόλου το μέσο σφάλμα. Μειώσαμε κατά 25% τα ασύρματα δίκτυα που ανιχνεύσαμε (και από τα δεδομένα εκπαίδευσης και από τα δεδομένα των τροχιών) και το σφάλμα παρέμεινε το ίδιο. Ακόμα και στα 50% το σφάλμα αυξήθηκε περίπου 7 μέτρα αλλά η περαιτέρω αύξηση οδήγησε σε μεγάλη αύξηση του σφάλματος και αυτό άγγιξε τα 40 μέτρα. Ο αλγόριθμος είναι ο μόνος ο οποίος επηρεάζεται με ασταθή τρόπο από την «ηλικία» του χάρτη. Εμφανίζει αύξηση του σφάλματος όσο παλαιώνει ο χάρτης, ενώ και για την ορθή του λειτουργία απαιτεί μεγάλο όγκο δεδομένων διότι σε αντίθετη περίπτωση το σφάλμα αυξάνεται και μπορεί να αγγίξει τελικά τα 50 μέτρα. Όπως έχουμε αναφέρει ο αλγόριθμος λειτουργεί βάση συγκεκριμένου μοντέλου κίνησης το οποίο και έχουμε περιγράψει. Το μοντέλο αυτό δεν είναι καθόλου ανθεκτικό σε διαστήματα χρόνου μεταξύ διαδοχικών ερωτημάτων που υπερβαίνουν τα 2 δευτερόλεπτα καθώς ακόμα και στα 5 δευτερόλεπτα το σφάλμα έχει αυξηθεί στα 100 μέτρα. Τέλος, αποτελεί αρκετά πολύπλοκο αλγόριθμο γεγονός που οδηγεί τον χρόνο απόκρισης στα 450 msec. Βέβαια, μεγάλο πλεονέκτημα είναι η καθολική κάλυψη καθώς τόσο το μοντέλο αισθητήρα όσο και το μοντέλο κίνησης εξασφαλίζουν την εξαγωγή εκτίμησης θέσης σε κάθε ερώτημα. Συγκριτικά λοιπόν με την κεντροειδή μέθοδο παρατηρούμε ότι έχουμε μία μέθοδο η οποία λειτουργεί ανστηρά σε αστικά και ημιαστικά περιβάλλοντα, απαιτεί μεγαλύτερο όγκο δεδομένων ώστε να λειτουργήσει σωστά, ενώ απαιτεί και συχνή επανάληψη της χαρτογράφησης. Η μέθοδος σε περίπτωση ιχνηλάτησης θα πρέπει να επαναλαμβάνεται συνεχώς ή το πολύ ανά 2 δευτερόλεπτα. Αποτελεί λοιπόν μια αρκετά πιο χρονοβόρα και επίπονη διαδικασία τόσο για την εξαγωγή της εκτίμησης θέσης όσο και για τη διαμόρφωση των κατάλληλων συνθηκών ώστε να είναι αποδοτικός ο αλγόριθμος. Οι υπολογιστικές απαιτήσεις του δεν τον καθιστούν ως ιδανικό αλγόριθμο για κινητό τηλέφωνο. Εν κατακλείδι, απαιτεί έναν ακριβή αλγόριθμο με αρκετές απαιτήσεις και σχετικά ευαίσθητο στις αλλαγές.

Εν κατακλείδι, συνοψίζοντας την γνώση που αποκομίσαμε, μπορούμε να δηλώσουμε πως η καλύτερη μέθοδος είναι ο κεντροειδής αλγόριθμος λόγω της ευελιξίας του, της ανοχής του σε αλλαγές περιβάλλοντος, λόγω του χαμηλού υπολογιστικού κόστους, της σχεδόν καθολικής του κάλυψης και φυσικά του σφάλματος που είναι κοντά στα 26 μέτρα. Αντιθέτως αν επιθυμούσαμε υψηλότερη ακρίβεια και αδιαφορούσαμε για τις λοιπές παραμέτρους, η μέθοδος του φίλτρου σωματιδίων επιτυγχάνει την βέλτιστη απόδοση.

7

Επίλογος

7.1 Σύνοψη και συμπεράσματα

Κάθε εργασία κρίνεται εκ του αποτελέσματος το οποίο παράγει. Έχοντας ολοκληρώσει την πειραματική διαδικασία και των αντίστοιχων συμπερασμάτων, μπορούμε να ισχυριστούμε πως αποπερατώσαμε επιτυχώς την εργασία μας καθώς επιτύχαμε τον στόχο μας αλλά και οδηγηθήκαμε σε ενθαρρυντικά αποτελέσματα.

Μελετώντας τις διαθέσιμες εναλλακτικές μεθόδους εντοπισμού θέσης και ιχνηλάτησης καταλήξαμε πως μάλλον οι καταλληλότερες μέθοδοι είναι αυτές της χρήσης των δικτύων GSM και WiFi. Μέσω της διαδικασίας της υλοποίησης αντιμετωπίσαμε εγγενή προβλήματα τα οποία μας υπέδειξαν την τωρινή αδυναμία μας να χρησιμοποιήσουμε την τεχνολογία GSM, συνεπώς στραφήκαμε εξ' ολοκλήρου στην τεχνολογία των ασυρμάτων δικτύων και όχι άδικα. Μελετήσαμε τη συμπεριφορά των ασυρμάτων δικτύων (WiFi) και εφαρμόσαμε αλγορίθμους επιτυγχάνοντας σχετικά μικρό σφάλμα και σίγουρα συγκρίσιμο με την τεχνολογία του GPS. Πιο συγκεκριμένα επιτύχαμε σφάλμα ίσο με 20 μέτρα, σε δεδομένα όπου το μέσο σφάλμα των ίδιων των μετρήσεων του GPS ανήλθε στα 15 μέτρα.

Προχωρήσαμε μελετώντας παραμέτρους που βελτιώνουν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων αλλά και παραμέτρους που συμβάλλουν ώστε να είμαστε σε θέση να χαρακτηρίσουμε κάποια μέθοδο ως σταθερή και ανεκτική σε αλλαγές του ασύρματου «περιβάλλοντος». Εξομοιώσαμε πειραματικά

διάφορες ρεαλιστικές συνθήκες ώστε να είμαστε σε θέση να αξιολογήσουμε κατά πόσο είναι εφικτό το εγχείρημα της πλοήγησης μέσω ασύρματων δικτύων μόνο. Ορμώμενοι και από την θέληση μας αυτή ελέγξαμε και τις τεχνικές προσαρμογής χάρτη για να διαπιστώσουμε ότι ακόμα και οι απλές τεχνικές μπορούν να μας προσφέρουν μείωση του σφάλματος αλλά σίγουρα και καλύτερο οπτικό αποτέλεσμα.

Τέλος, στην επόμενη ενότητα παρουσιάζουμε τις μελλοντικές επεκτάσεις που κατά τη γνώμη μας θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε ακόμη μεγαλύτερη μείωση σφάλματος αλλά και στην διεύρυνση των υπαρχόντων τεχνικών.

7.2 Μελλοντικές επεκτάσεις

Η μελέτη μας κάλυψε ένα ευρύ φάσμα του συγκεκριμένου θέματος, όμως δε θα μπορούσαμε να πούμε πως δεν επιδέχεται βελτιώσεις αλλά και επεκτάσεις. Οι βελτιώσεις και οι επεκτάσεις που θα συνιστούσαν μελλοντική εργασία μπορούν να διαχωριστούν σε αυτές που αφορούν καθαρά τους αλγορίθμους και σε αυτούς που αφορούν την γενικότερη υλοποίηση.

Οι αλγόριθμοι που εξετάσαμε μας παρέχουν καλά αποτελέσματα όπως είδαμε αλλά επιδέχονται βελτιώσεις. Θα ήταν ενδιαφέρον να δοκιμάσουμε να εισάγουμε ευριστικές συναρτήσεις στους αλγορίθμους της εύρεσης θέσης οι οποίες ως στόχο να έχουν την εξομοίωση κάποιου μοντέλου κίνησης ώστε να μπορούμε να βελτιώνουμε την εκάστοτε εκτίμηση. Όπως ενθυμούμαστε όλες οι μέθοδοι υπολόγιζαν την οποιαδήποτε θέση θεωρώντας τον αριθμητικό μέσο. Ενδιαφέρον θα έχει να αντικατασταθεί ο αριθμητικός μέσος είτε με γεωμετρικό μέσο πολυγώνου είτε με τριγωνοποίηση διαδικασίες που χάρη στην ύπαρξη χωρικών βάσεων δεδομένων έχουν απλοποιηθεί αρκετά. Με τον τρόπο ίσως να είμαστε σε θέση να εκμεταλλευτούμε και την εν γένει σφαιρική διάδοση σήματος του ασύρματου δικτύου. Ιδιαίτερη μελέτη θα πρέπει να δοθεί στην κατάστρωση διαφορετικών μοντέλων κίνησης για το φίλτρο σωματιδίων. Πιο συγκεκριμένα, θα μπορούσαμε να έχουμε ένα μοντέλο κίνησης προσαρμοσμένο στο εκάστοτε κινούμενο αντικείμενο το οποίο παρακολουθούμε. Με τον τρόπο αυτό θα μπορούσαμε να προβλέψουμε πηγές σφάλματος και να της εξαλείψουμε δημιουργώντας έναν πιο σταθερό αλγόριθμο. Υποχρεωτική κατ' εμάς επέκταση είναι η ανάπτυξη «εξυπνότερων» αλγορίθμων map matching ώστε να ελέγξουμε κατά πόσο βελτιώνουν το σφάλμα αλλά και κατά πόσο μπορούν να συμπληρώσουν τους αλγορίθμους ώστε να αυξήσουμε το ενδιαμέσο διάστημα μεταξύ της υποβολής ερωτήματος εύρεσης θέσης.

Η γενικότερη υλοποίηση περιλαμβάνει κάθε ένα από τα υποσυστήματα που υλοποιήσαμε. Ξεκινώντας από τη συλλογή δεδομένων WiFi, είναι επιτακτικό να είμαστε σε θέση να αναγνωρίζουμε ακριβώς τη σημασία των μετρήσεων τις οποίες λαμβάνουμε. Γενικότερα, οι επιστρεφόμενες τιμές δεν μπορούν να θεωρηθούν πάντα σωστές και μερίδιο ευθύνης φέρουν γι αυτό και οι κατασκευαστές καθώς δεν συμμορφώνονται σε κάποιο συγκεκριμένο πρότυπο. Για το λόγο αυτό ίσως να ήταν επιθυμητό ο περιορισμός των αποδεκτών συσκευών αλλά η εξ' ολοκλήρου

γνώση των επιστρεφόμενων τιμών ώστε να έχουμε ξεκάθαρη εικόνα των δεδομένων. Επίσης, θα πρέπει να εισάγουμε φίλτρα για την καταγραφή των GPS δεδομένων βασισμένες σε ποιοτικά χαρακτηριστικά του GPS όπως το Horizontal Dilution και Number Of Satellites που υποδηλώνουν την ποιότητα και την εγκυρότητα του σήματος. Όσον αφορά τη συλλογή των GSM δεδομένων αλλά και της γενικότερης χρήσης του GSM για τον εντοπισμό θέσης, οι εξελίξεις στο χώρο του λογισμικού για τις συσκευές κινητής τηλεφωνίας αλλάζει ραγδαία με σαφή κλίση προς το λογισμικό ανοικτού κώδικα. Ενδεχομένως λοιπόν εν μέσω του όλου κλίματος να αναιρεθούν και οι περιορισμοί τους οποίους εμείς συναντήσαμε και να είμαστε πλέον σε θέση να χρησιμοποιήσουμε και το GSM δίκτυο. Τέλος, το λογισμικό που ως στόχο είχε την εκτέλεση αλγορίθμων επιδέχεται βελτιώσεις οι οποίες ως στόχο θα έχουν την μείωση της απαιτούμενης επεξεργαστικής ισχύς. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση των βέλτιστων δυναμικών δομών δεδομένων για τον εκάστοτε αλγόριθμο, μειώνοντας έτσι και τις απαιτήσεις κάθε αλγορίθμου σε πόρους συστήματος. Εφόσον γίνει αυτό, η εφαρμογή θα μπορούσε να μεταφερθεί σε κάποια φορητή συσκευή και να δημιουργηθεί μία πρότυπη υπηρεσία ώστε να εξεταστούν και τα ζητήματα που αφορούν την λειτουργία μιας αυτόνομης υπηρεσίας που στόχο θα έχει την εξυπηρέτηση ερωτημάτων εύρεσης θέσης.

Οι ιδέες για μετέπειτα αξιοποίηση σίγουρα είναι ποικίλες και πλέον έχουμε ένα ευρύ φάσμα νέων δυνατοτήτων και νέων υπηρεσιών που βασίζονται στην αυτόνομη αυτή γνώση της θέσης μας.

8

Βιβλιογραφία

- [AV06] Alex Varshavsky, MikeY. Chen, Eyal de Lara, Jon Froehlich, Dirk Haehnel, Jeffrey Hightower, Anthony LaMarca, Fred Potter, Timothy Sohn, Karen Tang, and Ian Smith, “Are GSM phones THE solution for localization?”. In proc. of 7th *IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (HotMobile 2006)*.
- [BPP] <http://blueproximity.sourceforge.net/>
- [CSC] <http://www.cisco.com/en/US/products/ps6398/>
- [DB96] David Bernstein and Alain Kornhauser, “An Introduction to Map Matching for Personal Navigation Assistants”. Princeton University, 1996.
- [ET04] Emiliano Trevisani, Andrea Vitaletti, “Cell-ID location technique, limits and benefits: an experimental study”. In proc. of 6th *IEEE Workshop on Mobile Computing Systems & Applications 2004*
- [ETEL] <http://zerogravity.narod.ru/symbian/uiq/etelmm.html>
- [ETI] <http://mikiie.iki.fi/symbian/cellid.html>
- [FHK03] Dieter Fox, Jeffrey Hightower, Henry Kauz, Lin Liao and Donald J. Patterson, “Bayesian Techniques for Location Estimation” In the proc. of 5th *International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2003)*.

- [GIS] Επέκταση για χωρικά δεδομένα σε Postgres, <http://www.postgis.org>
- [IGN] Intel Wifi 4965 AGN,
http://www.intel.com/network/connectivity/products/wireless/wireless_n/overview.htm
- [JME] Java Micro Edition, <http://java.sun.com/javame/index.jsp>
- [JNB] Netbeans: Περιβάλλον Ανάπτυξης Κώδικα, <http://www.netbeans.org>
- [KMW] Kismet, <http://www.kismetwireless.net/documentation.shtml>
- [KSM] Kismet, <http://www.kismetwireless.net>
- [MVS] Microsoft Visual Studio 2005,
<http://www.microsoft.com/hellas/msdn/products/vsprofesional.msp>
- [NCD] <http://www.forum.nokia.com/info/sw.nokia.com/id/dbb8841d-832c-43a6-be13-f78119a2b4cb.html>
- [NCV] http://www.forum.nokia.com/info/sw.nokia.com/id/a133232e-8a5a-4bd3-973e-a48edeb098b0/Carbide_vs_3_0.html
- [NME] Επεξήγηση πρωτοκόλλου NMEA, <http://gpsd.berlios.de/NMEA.txt>
- [NMP] <http://www.forum.nokia.com/devices/6260>
- [NPC] <http://europe.nokia.com/pcsuite>
- [NSM] NetStumbler, <http://www.netstumbler.org>
- [NVZ] <http://www.navizon.com/index.asp>
- [PB00] Paramvir Bahl and Venkata N. Padmanabhan, “RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System”. In proc. of IEEE Infocom2000, The conference on Computer Communications (Infocom2000)
- [PJD] PostgreSQL JDBC, <http://jdbc.postgresql.org>
- [PLB] <http://www.placelab.org/>
- [PLE] <http://www.placeengine.com/en>
- [PLS] <http://pols.sourceforge.net/>
- [POD] Οδηγοί ODBC για σύνδεση σε Postgres,
<http://www.postgresql.org/ftp/odbc/versions/msi/>
- [PSQ] Βάση δεδομένων PostgreSQL, <http://www.postgresql.org>

- [QGS] Quantum GIS, <http://www.qgis.org>
- [S60] http://www.forum.nokia.com/info/sw.nokia.com/id/6e772b17-604b-4081-999c-31f1f0dc2dbb/S60_Platform_SDKs_for_Symbian_OS_for_Java.html
- [SHW] <http://www.skyhookwireless.com/howitworks/>
- [SMHS04] S.Sayeeef, U.K.Madawala, P.G. Handley & D.Santoso, “Indoor Personnel Tracking Using Infrared Beam Scanning”, In proc. of Position Location and Navigation Symposium, 2004 (PLANS 2004)
- [TCB08] Erick Schonfeld, <http://www.techcrunch.com/2008/09/30/broadcom-and-skyhook-wireless-partner-to-bring-WiFi-positioning-to-more-mobile-phones/>, “Broadcom and Skyhook Wireless Partner To Bring WiFi positioning To More Mobile Phones”
- [TRL] Βιβλιοθήκη μετασχηματισμών,
<http://www.itia.ntua.gr/~soulman/icoordstrans/>
- [WGN] Wigle.Net, <https://www.wigle.net>
- [WOD] Ένας Wrapper για ODBC, <http://www.ddj.com/database/184416383>
- [XML] A flexible XML parser,
<http://www.codeproject.com/KB/recipes/FlexibleParser.aspx>
- [YCC05] Yu-Chung Cheng, Yatin Chawathe, Anthony LaMarca, John Krumm, “Accuracy Characterization for Metropolitan-scale WiFi Localization” In proc. of 3rd International Conference On Mobile Systems, Applications, and Services 2005 (Mobisys 2005)