



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**Εντοπισμός Χρήστη με τη Μέθοδο Fingerprinting σε  
GSM δίκτυα**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

των

**ΣΠΥΡΙΔΑΚΗ Κ. ΝΙΚΟΛΑΟΥ  
ΤΖΙΑΝΟΥ Χ. ΣΕΡΓΙΟΥ-ΓΕΩΡΓΙΟΥ**

**Επιβλέπων :** Μιχαήλ Ε. Θεολόγου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2007

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.



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

## Εντοπισμός Χρήστη με τη Μέθοδο Fingerprinting σε GSM δίκτυα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

των

**ΣΠΥΡΙΔΑΚΗ Κ. ΝΙΚΟΛΑΟΥ**  
**ΤΖΙΑΝΟΥ Χ. ΣΕΡΓΙΟΥ-ΓΕΩΡΓΙΟΥ**

**Επιβλέπων :** Μιχαήλ Ε. Θεολόγου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 25<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου 2007.

.....  
Μιχαήλ Ε. Θεολόγου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Ευστάθιος Συκάς  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Μιλτιάδης Αναγνώστου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2007

.....  
**ΣΠΥΡΙΔΑΚΗΣ Κ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

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

.....  
**ΤΖΙΑΝΟΣ Χ. ΣΕΡΓΙΟΣ-ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

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

© 2007 – 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.

## Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εκπονήθηκε στη σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, στα πλαίσια των δραστηριοτήτων του Τομέα Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής. Ωστόσο η πραγματοποίησή της δε θα ήταν εφικτή χωρίς τη βοήθεια κάποιων ανθρώπων.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον καθηγητή Ε.Μ.Π. κ. Μιχαήλ Θεολόγου για την ευκαιρία που μας έδωσε να εργαστούμε σε ένα τόσο σύγχρονο και ταυτόχρονα ενδιαφέρον αντικείμενο.

Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε ιδιαίτερα τον επιβλέποντα της διπλωματικής μας εργασίας, υποψήφιο διδάκτορα Ε.Μ.Π. κ. Μιχάλη Μασίκο για την πολύτιμη βοήθεια, καθοδήγηση και υπομονή του σε όλη την πορεία ανάπτυξης και συγγραφής της διπλωματικής αυτής.

Τέλος, οφείλουμε ένα μεγάλο ευχαριστώ στις οικογένειές μας για την αμέριστη συμπαράσταση και υποστήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μας.

Σπυριδάκης Νικόλαος  
Τζιάνος Σέργιος  
Σεπτέμβριος 2007



## Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής είναι η παρουσίαση των τεχνολογιών εντοπισμού θέσης κινητού τερματικού και η εφαρμογή της μεθόδου Fingerprinting. Η μέθοδος Fingerprinting χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό χρήστη σε κυψελωτό δίκτυο επικοινωνιών. Βασίζεται σε μετρήσεις λαμβανόμενης ισχύος στο κινητό τερματικό του χρήστη και επεξεργασία των μετρήσεων από κάποιο υπολογιστή για την εξαγωγή της θέσης του χρήστη. Η μέθοδος εφαρμόζεται σε περιοχή για την οποία έχει δημιουργηθεί βάση δεδομένων η οποία περιέχει για διακριτά σημεία της ένα διάνυσμα λαμβανόμενης ισχύος από την κυψέλη από την οποία εξυπηρετείται ο χρήστης καθώς και από τις έξι γειτονικές κυψέλες.

Στα πλαίσια του παραπάνω σεναρίου χρήσης, αναπτύξαμε μια εφαρμογή σε γραφικό περιβάλλον των Windows. Η εφαρμογή είναι υπεύθυνη για την επεξεργασία μετρήσεων που λαμβάνονται από το κινητό τερματικό και για την εμφάνιση της θέσης του χρήστη καθώς και του αντίστοιχου πιθανού σφάλματος. Η υλοποίησή της έγινε σε C++ χρησιμοποιώντας το εργαλείο ανάπτυξης Borland C++ Builder.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ακρίβεια της μεθόδου Fingerprinting σε σχέση με άλλες μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό χρήστη.

Τέλος γίνεται παρουσίαση των Βασιζόμενων στη Θέση Υπηρεσιών (Location Based Services) που διέρχονται περίοδο σημαντικής ανάπτυξης και βασίζονται στον εντοπισμό του χρήστη, καθώς και μερικών από τις παρούσες τεχνικές και τα προϊόντα για τον εντοπισμό της θέσης.

**Λέξεις Κλειδιά:** << Εντοπισμός θέσης, Υπηρεσίες με βάση τη θέση, Fingerprinting, Τριγωνοποίηση, Ανάλυση σκηνής, Εγγύτητα, Ισχύς λαμβανόμενου σήματος, Κυψελωτό δίκτυο >>

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.



## **Abstract**

The object of this thesis is the presentation of localisation technologies for mobile terminals as well as the application of the Fingerprinting method. The Fingerprinting method is used for the localisation of users in cellular networks in communications. It is based on measurements of received signal strength at the user's mobile terminal and in procession of these measurements by a server in order to resolve the current location of the user. The method is applied to a region for which a database containing vectors of received signal strength and cell-id has been created for distinguishable points of it.

An application has been developed in a graphical Windows interface. The application is responsible for processing the measurements gathered from the mobile terminal using the Fingerprinting algorithm and as a result the location of the user as well as the possible error is shown on a map of the region which was studied. The application was developed in C++ using Borland™ C++ Builder

The main aim of the present thesis is to conclude whether the Fingerprinting method is accurate enough in order to compete with other localization methods which are currently in use.

Finally a thorough presentation of Location Based Services takes place as these kind of services are mainly based on the accurate localization of the person who uses them, as well as some of the current techniques and products that are used for user and object localization

**Keywords:** << Localization, Location Based Services, Fingerprinting, Triangulation, Scene Analysis, Proximity, Received Signal Strength, Cellular Network>>

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

## Πίνακας περιεχομένων

<b>1</b>	<b>Εισαγωγή.....</b>	<b>19</b>
1.1	Αντικείμενο της Διπλωματικής.....	20
1.2	Οργάνωση του τόμου.....	20
<b>2</b>	<b>Τα Κυψελωτά Δίκτυα.....</b>	<b>23</b>
2.1	Ιστορία των Κυψελωτών Δικτύων.....	23
2.2	Κυψελωτά Συστήματα 1 <sup>ης</sup> Γενιάς.....	24
2.3	Μετάβαση στα Ψηφιακά Κυψελωτά Συστήματα.....	25
2.4	Κυψελωτά Συστήματα 2 <sup>ης</sup> Γενιάς.....	27
2.4.1	<i>GSM 900 και DSC 1800</i> .....	27
2.4.2	<i>IS-54, IS-136 και IS-95</i> .....	28
2.4.3	<i>PDC (Personal Digital Cellular)</i> .....	28
2.5	Κυψελωτά Συστήματα 3 <sup>ης</sup> Γενιάς.....	29
2.6	Κυψελωτά Συστήματα 4 <sup>ης</sup> Γενιάς.....	31
2.7	Στοιχεία Ραδιοσυστημάτων Κινητών Επικοινωνιών.....	33
<b>3</b>	<b>Η ανάγκη εντοπισμού θέσης.....</b>	<b>35</b>
3.1	911 Mandate.....	35
3.2	Έκτακτες Κλήσεις 112.....	36
3.3	Βασισμένες στη Θέση Υπηρεσίες (Location Based Services - LBS).....	36
3.3.1	<i>Παραδείγματα LBS</i> .....	40
<b>4</b>	<b>Παρούσες Μέθοδοι Εντοπισμού Θέσης.....</b>	<b>43</b>
4.1	Ταξινόμηση.....	43
4.1.1	<i>Indoor/Outdoor</i> .....	43
4.1.2	<i>RF, WLAN, Bluetooth, UWB, IR</i> .....	44
4.2	Τεχνικές Εντοπισμού Θέσης.....	44
4.2.1	<i>Τριγωνοποίηση</i> .....	44
4.2.1.1	Τριγωνοποίηση βασισμένη σε μετρήσεις αποστάσεων.....	45
4.2.1.2	Γωνιοποίηση.....	48

4.2.2	<i>Ανάλυση Σκηνής</i> .....	49
4.2.3	<i>Εγγύτητα</i> .....	51
4.2.4	<i>Χαρακτηριστικά των Τεχνικών Εντοπισμού Θέσης</i> .....	52
4.2.4.1	Φυσική Θέση και Συμβολική Τοποθεσία.....	52
4.2.4.2	Απόλυτα και Σχετικά Συστήματα.....	53
4.2.4.3	Τοπικός Υπολογισμός της Θέσης.....	54
4.2.4.4	Ακρίβεια Θέσης και Μεθόδου.....	55
4.2.4.5	Κλίμακα .....	56
4.2.4.6	Αναγνώριση .....	57
4.2.4.7	Κόστος .....	58
4.2.4.8	Περιορισμοί.....	59
4.3	<i>Προϊόντα</i> .....	60
4.3.1	<i>Active Badge</i> .....	60
4.3.2	<i>Active Bat</i> .....	63
4.3.3	<i>Cricket</i> .....	64
4.3.4	<i>SpotON</i> .....	65
4.3.5	<i>Ekahau</i> .....	67
4.3.6	<i>Ubisense</i> .....	68
4.3.7	<i>Landmarc</i> .....	68
4.3.8	<i>Versus</i> .....	70
4.3.9	<i>MotionStar</i> .....	70
4.3.10	<i>RADAR</i> .....	71
4.3.11	<i>Smart Floor</i> .....	73
4.4	<i>Συγκριτικός Πίνακας των Προϊόντων Εντοπισμού Θέσης</i> .....	73
<b>5</b>	<b>Εντοπισμός Θέσεως Κινητού Τερματικού σε κυβελωτά δίκτυα</b> .....	<b>79</b>
5.1	Μέθοδοι βασισμένες στο Τηλεπικοινωνιακό Δίκτυο .....	80
5.1.1	<i>Εντοπισμός βάσει αναγνωριστικού κυψέλης (Cell-ID)</i> .....	80
5.1.2	<i>Εντοπισμός με χρήση μέτρησης χρόνων (Enhanced Cell-ID)</i> .....	81
5.1.3	<i>Εντοπισμός βάσει χρόνου άφιξης (Time of Arrival, TOA)</i> .....	81
5.1.4	<i>Εντοπισμός με υπολογισμό της Διαφοράς Χρόνων Άφιξης (Time Difference of Arrival, TDOA)</i> .....	83
5.1.5	<i>Enhanced Observed Time Difference</i> .....	83
5.1.6	<i>Εντοπισμός βάσει της γωνίας λήψης (Angle of Arrival, AOA)</i> .....	84

5.2	Μέθοδοι βασισμένες στο Κινητό Τερματικό.....	85
5.2.1	Καθολικό Σύστημα Εντοπισμού Θέσης ( <i>Global Positioning System, GPS</i> ).....	85
5.2.2	Υποβοηθούμενο Καθολικό Σύστημα Εντοπισμού Θέσης ( <i>Assisted-GPS, A-GPS</i> ).....	86
5.2.3	Σύγκριση των διαφόρων Τεχνικών Εντοπισμού.....	87
5.2.4	Συγκριτικός Πίνακας.....	90
5.3	Εντοπισμός Βασισμένος στην Ισχύ του Λαμβανόμενου Σήματος (RSSI).....	91
5.4	Η τεχνική Fingerprinting.....	93
<b>6</b>	<b>Μετρήσεις.....</b>	<b>95</b>
6.1	Εξοπλισμός.....	95
6.2	Λογισμικό Μετρήσεων.....	100
6.2.1	Το πρόγραμμα <i>Netmon</i> .....	100
6.2.2	Το πρόγραμμα <i>GPS Tuner™</i> .....	102
6.3	Διαδικασία Μετρήσεων.....	103
6.4	Πειραματικές Μετρήσεις.....	104
6.4.1	Σχολιασμός των Μετρήσεων.....	111
<b>7</b>	<b>Λογισμικό Εντοπισμού Θέσης.....</b>	<b>113</b>
7.1	Ανάπτυξη εφαρμογής για επεξεργασία μετρήσεων σε C++.....	113
7.1.1	Ο αλγόριθμος του Fingerprinting.....	114
7.1.2	Η λειτουργία του αλγορίθμου fingerprinting.....	114
7.1.3	Τρόποι χρήσης του αλγορίθμου από την εφαρμογή.....	116
7.1.3.1	Υπολογισμός θέσης με βάση το καλύτερο ταίριασμα (best matching).....	116
7.1.3.2	Υπολογισμός θέσης με βάση αραιότερες μετρήσεις.....	116
7.1.3.3	Υπολογισμός θέσης με βάση τα τρία καλύτερα αποτελέσματα (3-Nearest Neighbors).....	116
7.2	Τρόπος λειτουργίας της εφαρμογής.....	117
7.2.1	Το κεντρικό μενού εισόδου της εφαρμογής.....	117
7.2.2	Η καρτέλα «Διαδρομή».....	118
7.2.3	Η καρτέλα «Best Matching».....	119
7.2.4	Η καρτέλα «Αραιά Fingerprints».....	120
7.2.5	Η καρτέλα «3-Nearest Neighbors».....	121
7.3	Αποτελέσματα από εκτελέσεις της εφαρμογής.....	122
7.4	Στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων.....	133

7.5	Ακρίβεια θέσης και μεθόδου.....	136
<b>8</b>	<b>Επίλογος.....</b>	<b>139</b>
8.1	Σύνοψη και συμπεράσματα.....	139
8.2	Μελλοντικές επεκτάσεις .....	140
<b>9</b>	<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>143</b>

## Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Μετάβαση από τα δίκτυα 2ης γενιάς (2G) στα δίκτυα 3ης γενιάς (3G) .....	31
Εικόνα 2: Κυψελοειδή Δίκτυα.....	32
Εικόνα 3: Αδόμητα (AD-HOC) Δίκτυα .....	32
Εικόνα 4: Δομικά Στοιχεία Συστήματος Κινητών Επικοινωνιών .....	34
Εικόνα 5: Εντοπισμός Χρήστη (παιδιού) μέσω κινητού τηλεφώνου στο Ηνωμένο Βασίλειο (ΠΗΓΗ [18]).....	39
Εικόνα 6: Ο εντοπισμός θέσης σε 2 διαστάσεις με τη χρήση μετρήσεων αποστάσεων απαιτεί μετρήσεις μεταξύ του αντικείμενου 'X' και τριών μη συγγραμμικών σημείων. ....	45
Εικόνα 7: Αυτό το παράδειγμα μιας δισδιάστατης γωνιοποίησης δείχνει τον εντοπισμό ενός στοιχείου X, χρησιμοποιώντας γωνίες ως προς ένα διάνυσμα αναφοράς για τις 0ο και την απόσταση μεταξύ δύο σημείων αναφοράς. Η δισδιάστατη γωνιοποίηση απαιτεί πάντα τουλάχιστον τη μέτρηση δύο γωνιών για να εντοπίσει με ακρίβεια ένα αντικείμενο.....	49
Εικόνα 8: Οριζόντιες μορφές εξηγμένες από μια οπτική σκηνή μπορούν να χρησιμοποιηθούν στατικά για να εντοπιστεί η θέση που παρατηρητή από ένα προκαθορισμένο σύστημα δεδομένων ή δυναμικά για να υπολογιστεί η κίνηση της κάμερας προσαρτημένης σε όχημα.....	50
Εικόνα 9: Τα αντικείμενα X, Y και Z εντοπίζονται παρατηρώντας τη συσχέτισή τους με ένα ή περισσότερα σημεία πρόσβασης σε ένα ασύρματο κυψελωτό δίκτυο. Η γεωμετρία των κυψελών είναι ένα τεχνητό κατασκεύασμα της ασύρματης τεχνολογίας που χρησιμοποιείται στην εφαρμογή. Για παράδειγμα, ένα κυψελωτό δίκτυο μπορεί να έχει τη μορφή μιας περιοχής που περιλαμβάνει το αντικείμενο X, ενώ οι εκπεμπόμενες υπέρυθρες ακτίνες στο δωμάτιο περιορίζονται από τους τοίχους καταλήγοντας σε ένα τετράγωνο σχήμα.....	52
Εικόνα 10: Η διάταξη του κυκλώματος μια ετικέτας (ΠΗΓΗ [6]).....	61
Εικόνα 11: Το κύκλωμα ενός αισθητήρα και η τοπολογία του δικτύου (ΠΗΓΗ [6]). ....	61
Εικόνα 12: Το πρόγραμμα εντοπισμού των χρηστών (ΠΗΓΗ [6]). ....	62
Εικόνα 13: Η διάταξη των αισθητήρων του συστήματος Active Bat, καθώς και η ετικέτα που φέρουν τα άτομα και τα αντικείμενα των οποίων παρακολουθείται η θέση (ΠΗΓΗ [4]). .....	64

Εικόνα 14: Συνήθης τοποθέτηση αναγνωστών RF και ετικετών RF αναφοράς (ΠΗΓΗ [11]). .....	69
Εικόνα 15: Το σύστημα μαγνητικού εντοπισμού DC MotionStar, ένα σύστημα ακριβείας που χρησιμοποιείται για τη σύλληψη κίνησης για εφαρμογές computer animation, εντοπίζει τη θέση και τον προσανατολισμό έως 108 αισθητήρων σε ένα αντικείμενο ή σκηνή. Τα μέρη τους συστήματος είναι οι κεραίες εκπομπής μαγνητικών παλμών (δεξιά κι αριστερά) και οι κεραίες λήψης και ο ελεγκτής (κέντρο) (ΠΗΓΗ [13]).	71
Εικόνα 16: Εντοπισμός βάσει αναγνωριστικού κυψέλης (Cell-ID)	80
Εικόνα 17: Εντοπισμός με χρήση μέτρησης χρόνων (Enhanced Cell-ID)	81
Εικόνα 18: Εφαρμογή της τεχνικής της τριγωνοποίησης (ΠΗΓΗ [38])	82
Εικόνα 19: Εντοπισμός με υπολογισμό της Διαφοράς Χρόνων Άφιξης (Time Difference of Arrival, TDOA)	83
Εικόνα 20:βάσει της γωνίας λήψης (Angle of Arrival, AOA)	84
Εικόνα 21: Global Positioning System (GPS)	86
Εικόνα 22: Επικαλυπτόμενες ψευδοακτίνες, αναπαριστώμενες ως καμπύλες, τροποποιούνται από πεδίο σε ένα μοναδικό πιθανό σημείο.	86
Εικόνα 23: Σύγκριση τεχνολογιών ως προς την ακρίβεια που επιτυγχάνουν σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους.	90
Εικόνα 24: Ακρίβεια των κυριότερων μεθόδων εντοπισμού	91
Εικόνα 25: Η PDS αποθηκεύει σε μια βάση δεδομένων με τη μορφή πλέγματος όλες τις τιμές RSSI από τους λαμβανόμενους σταθμούς βάσης του δικτύου (ΠΗΓΗ [17]).	92
Εικόνα 26: Κυψέλες στο GSM	97
Εικόνα 27: Πραγματική Εικόνα Ραδιοκάλυψης	98
Εικόνα 28: Nokia 3650	100
Εικόνα 29: : Η καρτέλα του προγράμματος Netmon με τις ενδείξεις RSSI	101
Εικόνα 30: Οι λειτουργίες του προγράμματος GPS Tuner.	103
Εικόνα 31: Χάρτης της Πολυτεχνειούπολης και δρόμοι που έγιναν οι μετρήσεις	104
Εικόνα 32: Η πορτοκαλί περιοχή αντιστοιχεί στην κάλυψη της κυψέλης 34 και με κίτρινο η κάλυψη της κυψέλης 28.	111
Εικόνα 33: Εφαρμογή του τρόπου υπολογισμού της θέσης με βάση τα τρία καλύτερα αποτελέσματα.	117
Εικόνα 34: Το κεντρικό μενού της εφαρμογής.	118
Εικόνα 35: Η πραγματική (κόκκινο χρώμα) και η εκτιμώμενη (μαύρο χρώμα) διαδρομή.	119



Εικόνα 36: Ένα αποτέλεσμα της καρτέλας «Best Matching» του προγράμματος .....	120
Εικόνα 37: Το αποτέλεσμα της καρτέλας «Αραιά Fingerprints» .....	121
Εικόνα 38: Το αποτέλεσμα της μεθόδου «3-Nearest Neighbors».....	122
Εικόνα 39: Σφάλμα στον εντοπισμό θέσης. ....	134
Εικόνα 40: Άνω όριο σφάλματος. ....	136

## Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά Κυψελωτών Συστημάτων 1ης Γενιάς. ....	25
Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά Κυψελωτών Συστημάτων 2 <sup>ης</sup> Γενιάς.....	29
Πίνακας 3: Σύγκριση μεταξύ των υπαρχόντων τεχνολογιών εντοπισμού θέσης. ....	77
Πίνακας 4: Σύγκριση τεχνολογιών εντοπισμού σε κυψελωτά δίκτυα.....	89
Πίνακας 5: Ακρίβεια των κυριότερων μεθόδων εντοπισμού. ....	90
Πίνακας 6: Οι μετρήσεις, όπως καταγράφηκαν με την παραπάνω διαδικασία. ....	110
Πίνακας 7: Στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων. ....	133
Πίνακας 8: Άνω όριο σφάλματος .....	135

# 1

## *Εισαγωγή*

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1980, ένας από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους κλάδους των τηλεπικοινωνιών είναι και αυτός των Δικτύων Κινητών Επικοινωνιών. Το πρώτο εμπορικό κυψελωτό δίκτυο ξεκίνησε στην Ιαπωνία το 1979 από την NTT. Πλήρως αυτόματα κυψελωτά δίκτυα συναντώνται για πρώτη φορά με το σύστημα Nordic Mobile Telephone (NMT) το 1981. Αυτό ακολουθήθηκε από μια έκρηξη στην χρήση κινητών τηλεφώνων ιδιαίτερα στη Βόρεια Ευρώπη. Το κυριότερο πλεονέκτημα των κινητών επικοινωνιών είναι η ελευθερία που προσφέρουν στον χρήστη τους. Στη σημερινή εποχή το κινητό τηλέφωνο έχει γίνει απαραίτητο εργαλείο για ένα μεγάλο ποσοστό των ανθρώπων πάνω στον πλανήτη. Είτε χρησιμοποιείται για εργασία είτε για ψυχαγωγία ή ενημέρωση, οι δυνατότητες που προσφέρει πια το κινητό τηλέφωνο είναι πραγματικά απεριόριστες.

Βασιζόμενες στην τεράστια άνθηση των τηλεπικοινωνιών, οι εταιρίες – πάροχοι κινητής τηλεφωνίας επιδίδονται σε αγώνα δρόμου για την παροχή καινοτόμων νέων υπηρεσιών που θα κεντρίσουν το ενδιαφέρον του χρήστη και φυσικά θα επιφέρουν και το αναμενόμενο κέρδος. Στο πλαίσιο αυτό ξεκίνησε και η ανάπτυξη των Βασιζόμενων στη Θέση Υπηρεσιών (Location Based Services – LBS). Για να υλοποιηθούν και να προσφερθούν στο κοινό τέτοιου είδους υπηρεσίες είναι απαραίτητος αρχικά ο γεωγραφικός εντοπισμός του χρήστη ο οποίος θα

χρησιμοποιήσει την υπηρεσία μέσω του κινητού του τερματικού. Η γνώση της θέσης του χρήστη ανά πάσα στιγμή δίνει τη δυνατότητα για προσφορά υψηλής ποιότητας υπηρεσιών. Σε πρώτη φάση, οι υπηρεσίες αυτές προσφέρονταν στα πλαίσια του εμπορίου μέσω του κινητού τηλεφώνου (mCommerce) και της ενημέρωσης - διασκέδασης (Infotainment). Στη συνέχεια, με βάση τις θεματικές προτιμήσεις του χρήστη και σε συνδυασμό με τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα Δίκτυα Επόμενης Γενιάς και οι υπηρεσίες με βάση τη θέση, αναπτύχθηκε πληθώρα από προσωποκεντρικές υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας (Value Added Services).

## ***1.1 Αντικείμενο της Διπλωματικής***

Η διπλωματική αυτή εργασία έχει ως σκοπό να εισάγει τον αναγνώστη στις έννοιες των Δικτύων Κινητών Επικοινωνιών. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής, θα παρακολουθήσουμε την εξέλιξη τους από τα δίκτυα GSM (2G) στα δίκτυα GPRS (2,5G), UMTS (3G) και ad-hoc (4G), αναλύοντας τα χαρακτηριστικά των Δικτύων Επόμενης Γενιάς (Next Generation Networks). Παράλληλα θα αναφερθούμε αναλυτικά στις Υπηρεσίες με Βάση τη Θέση (Location Based Services) καθώς επίσης και στις υπάρχουσες τεχνικές εντοπισμού θέσης αλλά και στα ολοκληρωμένα προϊόντα που υπάρχουν εμπορικά διαθέσιμα και τα οποία αφορούν εντοπισμό κινητού τερματικού όχι μόνο σε κυψελωτά δίκτυα αλλά και σε οποιοδήποτε περιβάλλον εσωτερικού ή εξωτερικού χώρου μικρής ή μεγάλης κλίμακας.

Στα πλαίσια πρακτικής εφαρμογής της διπλωματικής εργασίας, αναπτύχθηκε ένα πρόγραμμα, το οποίο λαμβάνει μετρήσεις από κάποιο κινητό τερματικό και εφαρμόζοντας τους αλγόριθμους της τεχνικής Fingerprinting υπολογίζει την πιθανή θέση του χρήστη και την απεικονίζει πάνω στον χάρτη.

Όλες οι έννοιες που αναφέρθηκαν παραπάνω αναλύονται στα σχετικά κεφάλαια που ακολουθούν.

## ***1.2 Οργάνωση του τόμου***

Η διπλωματική αυτή εργασία έχει οργανωθεί σε εννέα κεφάλαια. Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή.

Το 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο έχει ως θέμα τα Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών. Παρουσιάζονται το Καθολικό Σύστημα για Κινητές Επικοινωνίες (GSM – Global System for Mobile Communications), τα κυψελωτά συστήματα 1<sup>ης</sup>, 2<sup>ης</sup>, 3<sup>ης</sup> και 4<sup>ης</sup> γενιάς.

Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται μια επισκόπηση των Υπηρεσιών με βάση τη Θέση. Μελετώνται τα γενικά χαρακτηριστικά των υπηρεσιών αυτών, η χρησιμότητα και τα συστατικά μέρη τους. Επίσης παρουσιάζονται οι δύο πρωταρχικές υπηρεσίες με βάση τη θέση που αναπτύχθηκαν δηλαδή το αμερικάνικο 911 Mandate και ο ευρωπαϊκός αριθμός έκτακτης ανάγκης 112.

Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο ταξινομούνται και παρουσιάζονται οι παρούσες μέθοδοι εντοπισμού θέσης και γίνεται και η απαραίτητη σύγκριση μεταξύ αυτών. Παράλληλα παρουσιάζονται συνοπτικά ορισμένες από τις εμπορικές εφαρμογές εντοπισμού θέσης κινητών χρηστών και αντικειμένων.

Στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναλύονται οι υπάρχουσες τεχνικές εντοπισμού θέσης κινητών τερματικών σε κυψελωτά δίκτυα. Παράλληλα αναλύεται η τεχνική του Fingerprinting η οποία αποτελεί το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας.

Στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία λήψης των μετρήσεων καθώς επίσης και οι εφαρμογές που χρησιμοποιήθηκαν για τον σκοπό αυτό.

Στο 7<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζονται: η εφαρμογή που πραγματοποιεί τον εντοπισμό του χρήστη, παραδείγματα χρήσης της και τα αποτελέσματα που εξήχθησαν.

Στο 8<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται μία σύνοψη των αποτελεσμάτων της διπλωματικής εργασίας και παρουσιάζονται πιθανοί τρόποι επέκτασης της.

Στο 9<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρατίθεται η σχετική βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε.



# 2

## *Τα Κυψελωτά Δίκτυα*

### *2.1 Ιστορία των Κυψελωτών Δικτύων*

Αρχικά τα πρώτα συστήματα επικοινωνιών χρησιμοποιήθηκαν από αστυνομικά τμήματα σε πόλεις των Η.Π.Α. και ήταν αναλογικά συστήματα που χρησιμοποιούσαν διαμόρφωση πλάτους (AM) [21],[30]. Το 1946 εγκαταστάθηκαν για πρώτη φοράς συστήματα κινητών επικοινωνιών σε 25 πόλεις των Η.Π.Α. Κάθε σύστημα χρησιμοποιούσε πομπό σε υψηλό πύργο για να καλύπτει αποστάσεις μέχρι και 50km και το εύρος ζώνης για την φωνή ήταν 120KHz. Στην συνέχεια και κατά την δεκαετία του 1950 η τεχνολογία επέτρεψε την μείωση του εύρους στα 60KHz και στην δεκαετία του 1960 στα 30KHz. Στη δεκαετία του 1960 η AT&T Bell Labs καθώς και άλλες εταιρίες τηλεπικοινωνιών ανέπτυξαν τις βασικές ιδέες των κυψελωτών συστημάτων. Η βασική ιδέα αυτών ήταν ο χωρισμός μιας περιοχής κάλυψης σε μικρές κυψέλες, κάθε μια από τις οποίες επαναχρησιμοποιεί διαύλους με αποτέλεσμα να αυξάνεται η χωρητικότητα των συστημάτων. Βέβαια παρόλο που η AT&T πρότεινε τα κυψελωτά συστήματα στην Federal Communications Commission (FCC) το 1968, η τεχνολογία δεν ήταν έτοιμη ακόμα να τα υποστηρίξει μέχρι και τα τέλη της δεκαετίας του 1970. Το 1976 το WARC (World Administrative Radio

Conference) ενέκρινε την απόδοση συχνοτήτων για κυψελωτά συστήματα επικοινωνιών στην περιοχή 800/900 MHz θέτοντας τις βάσεις για την ανάπτυξη των εμπορικών συστημάτων. Μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί και διατεθεί για εμπορικούς σκοπούς 3 γενιές κυψελωτών συστημάτων με την 4<sup>η</sup> γενιά να βρίσκεται προ των πυλών.

Παρακάτω θα ακολουθήσει μία σύντομη περιγραφή της εξέλιξης των κυψελωτών συστημάτων με σκοπό την εξοικείωση του αναγνώστη με το κυψελωτό σύστημα επικοινωνιών και τις βασικές αρχές που διέπουν την λειτουργία του.

## 2.2 Κυψελωτά Συστήματα 1<sup>ης</sup> Γενιάς

Το πρώτο παγκοσμίως τηλεπικοινωνιακό σύστημα που λειτούργησε ήταν στην Ιαπωνία το 1979 από την Nippon Telephone and Telegraph (NTT) [22],[30]. Το σύστημα χρησιμοποιούσε 600 FM duplex διαύλους με εύρος 25KHz στα 925-940/870-855 MHz. Το 1981 η Ericsson ανέπτυξε το πρώτο Ευρωπαϊκό κυψελωτό σύστημα, το NMT450, στην ζώνη 450-470 MHz, το οποίο μετεξελίχθηκε στο NMT900, στην ζώνη 890-915/917-950 MHz, το 1986. Το 1983 αναπτύχθηκε το πρώτο δοκιμαστικό κυψελωτό σύστημα στην Αμερική, το AMPS (Advance Mobile Phone System) από την AT&T στο Σικάγο, στη ζώνη 824-849/869-894 MHz , με εύρος διαύλου τα 30KHz. Τα NTT, NMT450, NMT900, AMPS, ETACS, JTACS, C-450 αποτελούν κυψελωτά συστήματα 1<sup>ης</sup> γενιάς, με βασικά χαρακτηριστικά την αναλογικά διαμόρφωση συχνότητας FM και την τεχνική FDD (Frequency Division Duplex). Η φασματική πυκνότητα ισχύος στα FDD συστήματα πρέπει να ελέγχεται προσεκτικά ώστε η ακτινοβολούμενη ισχύς σε γειτονικούς διαύλους να είναι 60-80Db χαμηλότερα από την επιθυμητή. Όλα τα προαναφερθέντα συστήματα χρησιμοποιούσαν μια απόσταση 45MHz μεταξύ των συχνοτήτων εκπομπής και λήψης, τέτοια ώστε να είναι εφικτή η υλοποίηση του διπλέκτη με επαρκή απομόνωση των δύο συχνοτήτων. Παρακάτω ακολουθεί ένας συγκεντρωτικός πίνακας (Πίνακας 1.1) με τα χαρακτηριστικά των κυψελωτών συστημάτων 1<sup>ης</sup> γενιάς:

Προδιαγραφή	Ζώνη Συχνοτήτων Αντίστροφη/Ευθεία Ζεύξη (MHz)	Απόσταση Φερόντων (KHz)	Αριθμός Διαύλων	Περιοχή Ανάπτυξης
NTT	925-940/870-885	25	600	Ιαπωνία



NMT450	453-457,5/463-467,5	25	180	Σουηδία
NMT900	890-915/935-960	12,5	1999	Σουηδία
AMPS	824-849/869-894	30	832	ΗΠΑ
ETACS	872-905/917-950	25	1240	Αγγλία
JTACS	915-925/860-870	25	400	Ιαπωνία
C-450	450-455,74/460-465,74	10	573	Γερμανία

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά Κυψελωτών Συστημάτων 1ης Γενιάς.

### 2.3 Μετάβαση στα Ψηφιακά Κυψελωτά Συστήματα

Οι σημερινές ψηφιακές επικοινωνίες έχουν τις ρίζες τους στην επαναστατική μελέτη του Nyquist το 1924 ο οποίος καθόρισε το μέγιστο ρυθμό σηματοδοσίας που μπορεί να μεταδοθεί από τηλεγραφικό δίαυλο συγκεκριμένου εύρους ζώνης χωρίς να εμφανίζεται το φαινόμενο της διασυμβολικής παρεμβολής. Στη συνέχεια ο Hartley το 1928 ασχολήθηκε με το μέγιστο πλήθος δεδομένων που μπορούν να μεταδοθούν αξιόπιστα από ένα δίαυλο πεπερασμένου εύρους ζώνης με τη χρήση σημάτων πλάτους σε πολλαπλές στάθμες. Το 1948 ο Shannon έθεσε τις μαθηματικές αρχές της θεωρίας πληροφορίας και τα βασικά όρια στα ψηφιακά συστήματα επικοινωνιών. Σημαντική συνεισφορά υπήρξε και εκείνη του Kotelnikov το 1947, που ανέλυσε διάφορα ψηφιακά συστήματα επικοινωνιών με βάση τη γεωγραφική προσέγγιση, καθώς και η επέκταση της εργασίας από τους Wozzencraft και Jacobs το 1965. Στους θεμελιωτές των ψηφιακών συστημάτων επικοινωνιών συγκαταλέγεται και ο Hamming που το 1950 δημοσίευσε τις εργασίες του πάνω στην αναγνώριση και διόρθωση σφαλμάτων.

Ενώ οι ψηφιακές τεχνικές γρήγορα υιοθετήθηκαν στα ενσύρματα συστήματα επικοινωνιών, έπρεπε να προηγηθεί ραγδαία εξέλιξη στην τεχνολογία της μικροηλεκτρονικής μέχρι να βρουν εφαρμογή στα ασύρματα συστήματα. Τα πλεονεκτήματα των ψηφιακών συστημάτων έναντι των αναλογικών είναι αρκετά και περιλαμβάνουν:

- Την αυξημένη ανοσία στο θόρυβο

- Τις περισσότερο αποδοτικές τεχνικές μετάδοσης και την καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών, κάνοντας χρήση των κωδίκων διόρθωσης σφαλμάτων, φασματικά αποδοτικών τεχνικών διαμόρφωσης αποδοτική κωδικοποίηση πληροφορίας και κωδικοποίηση διαύλου
- Τη δυνατότητα εφαρμογής τεχνικών κρυπτογράφησης για την ασφάλεια της μετάδοσης
- Τη διευκόλυνση της ανάπτυξης και της επέκτασης των δικτύων
- Την χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος
- Επιτρέπουν την εφαρμογή διαφορετικών επιπέδων ποιότητας υπηρεσίας, παρέχοντας ταυτόχρονα υπηρεσίες φωνής και δεδομένων
- Δίνουν τη δυνατότητα επεξεργασίας του σήματος
- Είναι εύκολα υλοποιήσιμα με VLSI χαμηλού κόστους
- Παρέχουν τη δυνατότητα για επιπλέον τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης (TDMA/CDMA/SDMA) και duplexing (TDD)
- Επιτρέπουν την υλοποίηση software δεκτών.

Υπάρχουν όμως και κάποια μειονεκτήματα έναντι των αναλογικών συστημάτων όπως

- Ανάγκη για ισοστάθμιση ώστε να αποφεύγονται διασυμβολικές παρεμβολές
- Κόστος αντικατάστασης υπαρχόντων αναλογικών συστημάτων, όπου αυτά υπάρχουν όπως π.χ. στις Η.Π.Α.
- Ποιότητα φωνής συχνά υποβαθμισμένη
- Ανάγκη για συγχρονισμό
- Αυξημένη πολυπλοκότητα αλγορίθμων, διαδικασιών ελέγχου και πρωτοκόλλων.

Στις αρχές του 1980 έγινε εμφανής η αδυναμία των αναλογικών συστημάτων να ανταπεξέλθουν στις απαιτήσεις των επερχόμενων χρόνων λόγω των τεσσάρων βασικών περιορισμών που τα χαρακτήριζαν

1. εξαιρετικά περιορισμένο φάσμα προς απόδοση, και συνεπώς χαμηλή χωρητικότητα συστημάτων
2. η αντίληψη των χρηστών ότι ήταν περιορισμένης χρησιμότητας λόγω της χαμηλής ποιότητας υπηρεσιών αλλά και του αριθμού των προσφερόμενων υπηρεσιών

3. αδυναμία να μειώσουν το κόστος των τερματικών και της υποδομής των δικτύων
4. ασυμβατότητα μεταξύ των διαφόρων αναλογικών συστημάτων.

Ήταν συνεπώς αναμενόμενη η στροφή της βιομηχανίας στις ψηφιακές τεχνικές που αποδείχθηκαν ιδιαίτερα αποτελεσματικές και στα ενσύρματα συστήματα επικοινωνιών. Τα 2<sup>ης</sup> γενιάς κυψελωτά δίκτυα βασίζονται όλα σε ψηφιακές τεχνικές, εκμεταλλευόμενα τα εμφανή και πολλαπλά πλεονεκτήματα αυτών.

## **2.4 Κυψελωτά Συστήματα 2<sup>ης</sup> Γενιάς**

Στα κυψελωτά συστήματα 2<sup>ης</sup> γενιάς συγκαταλέγονται όλα τα υπάρχοντα και εν λειτουργία συστήματα [23],[30]. Στηρίζονται στις τεχνικές TDMA (Time Division Multiple Access) ή DS-CDMA (Direct Sequence Code Division Multiple Access) και για τις ΗΠΑ είναι τα IS-54, IS-136 και IS-95, για την Ευρώπη είναι το GSM (Global System of Mobile communications) και για την Ιαπωνία το PDC (Personal Digital Cellular).

### **2.4.1 GSM 900 και DSC 1800**

Το σύστημα GSM σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε εξ' ολοκλήρου στην Ευρώπη και είναι το πλέον πετυχημένο κυψελωτό σύστημα παγκοσμίως [28],[30]. Η σχεδίαση του ξεκίνησε το 1982 ως πανευρωπαϊκή προδιαγραφή και λειτούργησε το 1992 σαν το πρώτο ψηφιακό κυψελωτό σύστημα. Στηρίζεται σε TDMA τεχνική με απόσταση φερόντων 200KHz αλλά συνδυάζει και την FDMA (Frequency Division Multiple Access) τεχνική με FDD. Κάθε φέρον έχει 8 διαύλους διάρκειας χρονοσχισμής 0.577msec και χρησιμοποιεί την τεχνική ψηφιακής διαμόρφωσης GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) με τελικό ρυθμό μετάδοσης τα 270,8Kbps. Οι συχνότητες λειτουργίας είναι οι 890-915MHz/935-960MHz. Υποστηρίζει υπηρεσίες φωνής (13Kbps) και υπηρεσίες δεδομένων μέχρι 9,6Kbps.

Μια τροποποίηση του GSM 900 είναι το DSC 1800 το οποίο λειτουργεί στις ζώνες συχνοτήτων 1710-1785MHz/1805-1880MHz. Το σύστημα έχει βελτιστοποιηθεί για τερματικές συσκευές χειρός με μέγιστη ισχύ το 1Watt ή τα 250 mWatt και υποστηρίζει την κάλυψη macrocells και picocells.

#### **2.4.2 IS-54, IS-136 και IS-95**

Στις Η.Π.Α. αναπτύχθηκαν δύο διαφορετικά συστήματα 2<sup>ης</sup> γενιάς το IS-54 με τεχνική TDMA και το IS-95 με τεχνική CDMA (Code Division Multiple Access) [29], [30]. Και τα δύο συστήματα σχεδιάστηκαν ώστε να είναι συμβατά με το σύστημα AMPS. Η IS-54 προδιαγραφή, που πολλές φορές καλείται USDC (United States Digital Cellular), καθορίζει τερματικά διπλού τρόπου λειτουργίας, συμβατά με το AMPS αλλά και ικανά για ψηφιακή σηματοδότηση βασισμένα σε TDMA (3 χρονοσχισμές ανά φέρον), με απόσταση φερόντων τα 30KHz, διαμόρφωση  $\pi/4$  – DQPSK (Differential Phase Shift Keying), με τελικό ρυθμό μετάδοσης τα 48,6Kbps. Οι συχνότητες λειτουργίας είναι 824-849MHz/869-894MHz. Το σύστημα υποστηρίζει δύο τύπους διαύλων σηματοδότησης ελέγχου, ένα για το ψηφιακό με ρυθμό 48,6Kbps και ένα για τους διαύλους του AMPS με ρυθμό 10Kbps. Εξέλιξη του IS-54 είναι το IS-136 που υποστηρίζει την αποστολή μικρών μηνυμάτων, και τις κλειστές ομάδες χρηστών. Τα τερματικά του IS-136 δεν είναι συμβατά με εκείνα του IS-54 γιατί το IS-136 έχει διαύλους σηματοδότησης ελέγχου μόνο στα 48,6Kbps.

Το Μάρτιο του 1992 υιοθετήθηκε ένα επιπλέον σύστημα, το IS-95, που βασίζεται στην τεχνική CDMA και προτάθηκε από την Qualcomm. Χρησιμοποιεί διασπορά φάσματος direct sequence και παρουσιάζει ασυμμετρία ζεύξης, χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνικές για την ευθεία και την αντίστροφη ζεύξη. Σε κάθε κινητό σταθμό σε μια κυψέλη αποδίδεται ένας διαφορετικός κώδικας, παρέχοντας έτσι πλήρη ορθογωνιότητα μεταξύ των χρηστών. Οι συχνότητες λειτουργίας είναι ίδιες με αυτές του AMPS και του IS-54, αλλά έχουν αποδοθεί και επιπλέον συχνότητες στην περιοχή (1,8-2GHz). Η επιτυχία του IS-95 αλλά και η πολλά υποσχόμενη τεχνική διασποράς φάσματος που χρησιμοποιεί το κατέστησαν οδηγό και οδηγό και βάση εκκίνησης για τα κυψελωτά συστήματα 3<sup>ης</sup> γενιάς.

#### **2.4.3 PDC (Personal Digital Cellular)**

Το PDC αναπτύχθηκε στη Ιαπωνία από το 1989 και στηρίζεται στις αρχές του IS-54, με TDMA τεχνική πολλαπλής πρόσβασης (3 χρονοσχισμές ανά φέρον), απόσταση φερόντων τα 25KHz, διαμόρφωση  $\pi/4$  – DQPSK και τελικό ρυθμό μετάδοσης τα 42Kbps [27],[30]. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του PDC είναι η διαφορική λήψη

στην κεραία του κινητού σταθμού. Οι συχνότητες λειτουργίας είναι 810-830MHz/940-960MHz και 1429-1453MHz/1477-1501MHz. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά τα βασικά χαρακτηριστικά των κυψελωτών συστημάτων 2<sup>ης</sup> γενιάς.

Σύστημα	Ζώνη Συχνοτήτων Αντίστροφη/Ευθεία Ζεύξη (MHz)	Απόσταση Φερόντων (KHz)	Διαμόρφωση	Τεχνική Πολλαπλής Πρόσβασης
GSM	890-915/935-960	200	GMSK	TDMA/FDMA/FDD
IS-54	824-849/869-894	30	$\pi/4$ – DQPSK	TDMA/FDMA/FDD
IS-95	824-849/869-894 1800-2000	1250	QPSK/BPSK	CDMA
PDC	810-830/940-960 1429-1453/1477- 1501	25	$\pi/4$ -DQPSK	TDMA/FDMA/FDD

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά Κυψελωτών Συστημάτων 2<sup>ης</sup> Γενιάς

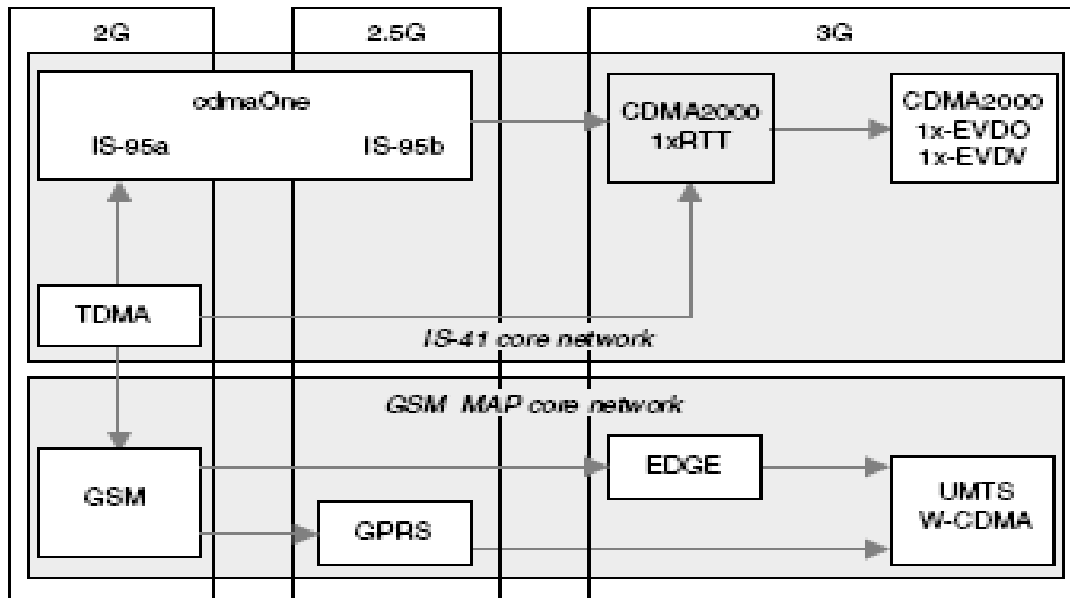
## 2.5 Κυψελωτά Συστήματα 3<sup>ης</sup> Γενιάς

Η μετάβαση από τα κυψελωτά συστήματα 1<sup>ης</sup> γενιά στα κυψελωτά συστήματα 2<sup>ης</sup> γενιάς σηματοδεύτηκε από την εισαγωγή ψηφιακών τεχνικών διαμόρφωσης και κωδικοποίησης, που έδωσαν την δυνατότητα παροχής υπηρεσιών σε μεγάλους πληθυσμούς και μεγάλες γεωγραφικές εκτάσεις, λόγω της πολύ καλής ποιότητας της φωνητικής υπηρεσίας [24],[30]. Η δυνατότητα όμως υποστήριξης υπηρεσιών δεδομένων είναι περιορισμένη στα συστήματα 2<sup>ης</sup> γενιάς και η ανάγκη για παροχή υπηρεσιών με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, ώστε να μεταδίδονται σε πραγματικό χρόνο εικόνες υψηλής ποιότητας και βίντεο (live streaming), ή να παρέχεται πρόσβαση στο διαδίκτυο με υψηλές ταχύτητες, οδήγησε στην σχεδίαση των κυψελωτών δικτύων 3<sup>ης</sup> γενιάς. Το βασικό χαρακτηριστικό τους είναι η υποστήριξη εφαρμογών πολυμέσων και η δυνατότητα πρόσβασης σε πληροφορίες και υπηρεσίες από δημόσια ή ιδιωτικά δίκτυα, με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Τα βασικά χαρακτηριστικά των 3G δικτύων είναι τα εξής:

- Ρυθμοί μετάδοσης θεωρητικά μέχρι και 2Mbps. Πρακτικά σήμερα τα υπάρχοντα 3G δίκτυα στην Ελλάδα υποστηρίζουν ρυθμούς μετάδοσης μέχρι και 384Kbps
- Μεταβαλλόμενος ρυθμός μετάδοσης για δυνατότητα προσφοράς του εύρους ζώνης κατ' απαίτηση
- Πολυπλεξία υπηρεσιών με διαφορετικές απαιτήσεις ως προς την ποιότητα (π.χ. φωνή, βίντεο, πακέτα δεδομένων) στην ίδια σύνδεση
- Μεταβαλλόμενες απαιτήσεις ως προς την καθυστέρηση, ανάλογα με την ευαισθησία της υπηρεσίας ως προς την καθυστέρηση
- Μεταβαλλόμενες απαιτήσεις ποιότητας ανάλογα με την υπηρεσία, από 10% FER (Frame Error Rate – Ρυθμός λανθασμένων πλαισίων) μέχρι  $10^{-6}$  BER (Bit Error Rate – Ρυθμός λανθασμένων bit)
- Συνύπαρξη 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> γενιάς συστημάτων και υποστήριξη διαπομπής μεταξύ των συστημάτων για βελτίωση της κάλυψης και εξισορρόπηση του τηλεπικοινωνιακού φορτίου
- Υποστήριξη ασύμμετρης τηλεπικοινωνιακής κίνησης στην ευθεία και την αντίστροφη ζεύξη (π.χ. όπως στο web browsing όπου η κίνηση στην ευθεία ζεύξη είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντίστροφη)
- Μεγάλη φασματική απόδοση
- Συνύπαρξη FDD (Frequency Division Duplex) και TDD (Time Division Duplex) συστημάτων

Οι ραδιοεπαφές που έχουν αναπτυχθεί για τα συστήματα 3<sup>ης</sup> γενιάς, που από την ITU καλούνται IMT-2000, είναι το WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access), το CDMA-2000 και το EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution). Οι συχνότητες που αποδόθηκαν από το WARC'92 για τα 3<sup>ης</sup> γενιάς συστήματα διαφέρουν ανά περιοχή και αυτό οφείλεται στις ζώνες συχνοτήτων που είχαν καταλάβει τα δίκτυα 2<sup>ης</sup> γενιάς σε κάθε περιοχή. Στην Ευρώπη οι συχνότητες που αποδόθηκαν είναι 1920-1980MHz (uplink)/2110-2170MHz (downlink) για WCDMA FDD συστήματα, 1900-1920MHz/2020-2025MHz για TDD συστήματα με υποχρέωση έκδοσης άδειας και 2010-2020MHz για συστήματα χωρίς αδειοδότηση (SPA, Self Provided Applications).

Στην συνέχεια ακολουθεί ένα διάγραμμα που δείχνει την μετάβαση από τα συστήματα 2<sup>ης</sup> γενιάς στα αντίστοιχα 3<sup>ης</sup> γενιάς με όλες τις τεχνολογίες που έχουν περιγραφεί παραπάνω.

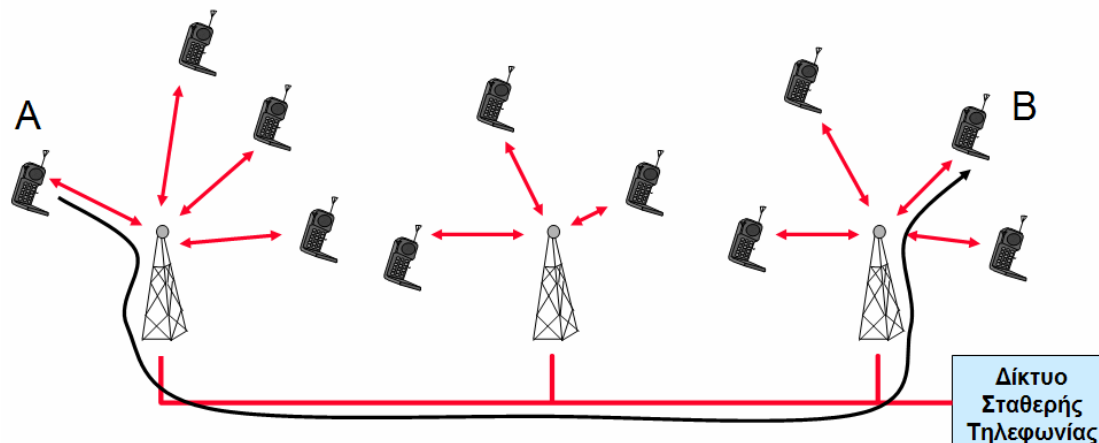


Εικόνα 1: Μετάβαση από τα δίκτυα 2ης γενιάς (2G) στα δίκτυα 3ης γενιάς (3G)

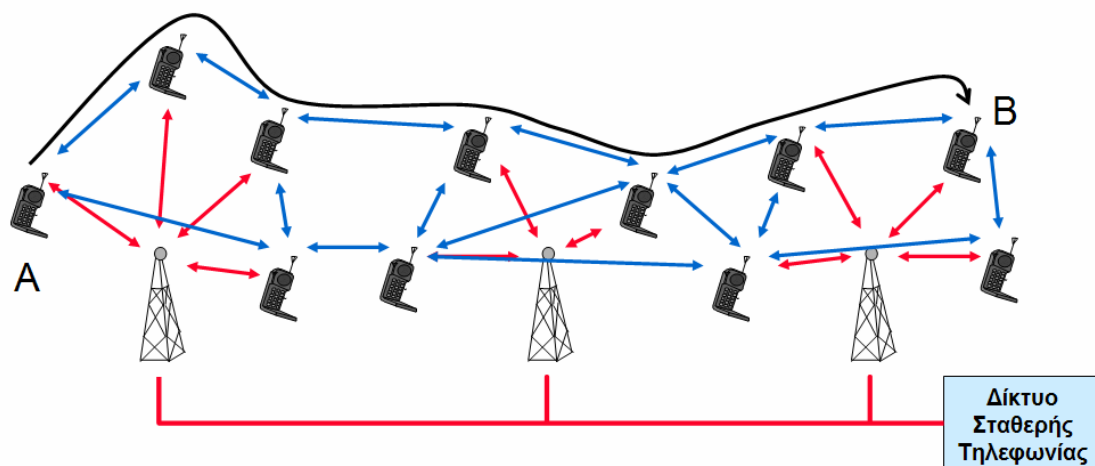
## 2.6 Κυβελωτά Συστήματα 4<sup>ης</sup> Γενιάς

Στα σημερινά κυβελωτά συστήματα (GSM, IS-95, UMTS κτλ.) τα κινητά τερματικά έχουν εξαιρετικά περιορισμένο εύρος αρμοδιοτήτων [25]. Έτσι τα κινητά τερματικά (Mobile Station, MS) ανταλλάσσουν δεδομένα, πληροφορίες μόνο με τους σταθμούς βάσης και στην συνέχεια οι σταθμοί βάσης επικοινωνούν με τα κινητά τερματικά στα οποία θα καταλήξουν αυτά τα δεδομένα. Έτσι λοιπόν με τα μέχρι σήμερα δεδομένα η επικοινωνία μεταξύ δύο MS γίνεται αποκλειστικά και μόνο με διαμεσολαβητές σταθμούς βάσης και ότι φυσικά κρύβεται πίσω από τον σταθμό βάσης (BSC, MSC, HLR, VLR, PSTN κτλ.) δηλαδή όλο το κυβελωτό δίκτυο.

Εδώ έρχονται να αλλάξουν τα πράγματα τα Αδόμητα (ad hoc) Δίκτυα. Σε αυτό το είδος των δικτύων τα κινητά τερματικά έχουν ένα μεγαλύτερο εύρος δραστηριοτήτων καθώς ανταλλάσσουν δεδομένα απευθείας μεταξύ τους. Έτσι μπορεί τα δεδομένα που στέλνει απευθείας ένα MS σε ένα άλλο να προέρχονται είτε από αυτό είτε να προωθηθεί τα δεδομένα κάποιου άλλου κινητού τερματικού.



Εικόνα 2: Κυψελοειδή Δίκτυα



Εικόνα 3: Αδόμητα (AD-HOC) Δίκτυα

Με βάση αυτό το σκεπτικό αναπτύσσονται τα Υβριδικά Δίκτυα Κινητής Τεχνολογίας ή αλλιώς η 4<sup>η</sup> γενιά των δικτύων κινητών επικοινωνιών. Στα δίκτυα 4ης γενιάς, τα κινητά τερματικά θα μπορούν να ανταλλάσσουν απευθείας δεδομένα, εξοικονομώντας ενέργεια και εύρος ζώνης. Τα δίκτυα αυτά αποτελούν την ολοκλήρωση των δικτύων κυψελοειδούς και αδόμητης τοπολογίας.

Τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς θα είναι πλήρως βασισμένα στο IP (Internet Protocol) και θα είναι σε θέση να προσφέρουν ταχύτητες της τάξης των 100Mbps στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και 1Gbps στα τοπικά ασύρματα δίκτυα τόσο σε εξωτερικούς αλλά και εσωτερικούς χώρους. Επίσης, θα προσφέρουν end-to-end QoS (Quality-of-Service) αλλά και υψηλή ασφάλεια δεδομένων. Έτσι, θα μπορούν να προσφέρουν οποιοδήποτε είδος υπηρεσιών κατ' απαίτηση, οποτεδήποτε και οπουδήποτε, ανεξαρτήτως των απαιτήσεων σε ταχύτητα, χρονοκαυστέρηση (συγχρονισμό) και ασφάλεια.



Το 4G λοιπόν δεν θεωρείται τόσο ως μια νέα τεχνολογία, αλλά ως σύγκλιση-συλλογή των ήδη υπαρχόντων τεχνολογιών και πρωτοκόλλων με σκοπό να επιτευχθούν η πλήρης διασύνδεση και συνεργασία τους και η μεγαλύτερη δυνατή διαμεταγωγή δεδομένων (throughput).

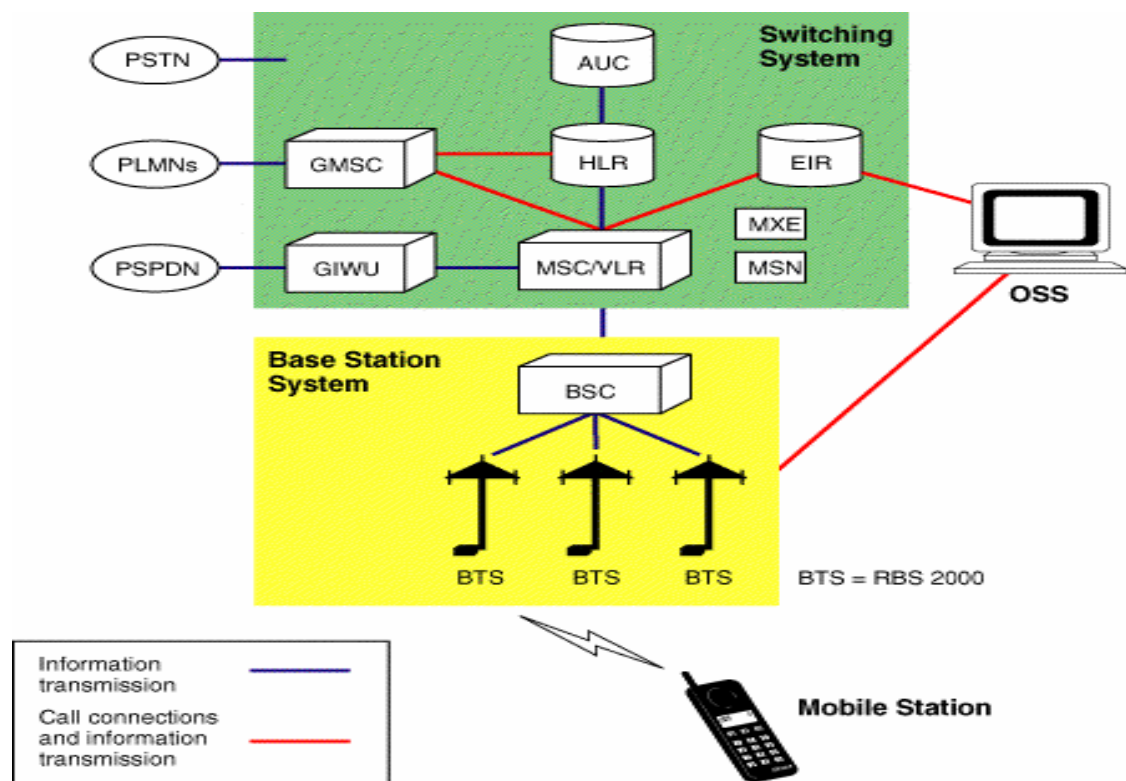
## ***2.7 Στοιχεία Ραδιοσυστημάτων Κινητών Επικοινωνιών***

Ο κινητός σταθμός MS (Mobile Station) επικοινωνεί με τον σταθμό βάσης BTS (Base Transceiver Station) χρησιμοποιώντας τους αντίστοιχους ραδιοδιαύλους και την αντίστοιχη ραδιοεπαφή. Για όλα τα στοιχεία του συστήματος που επικοινωνούν μεταξύ τους υπάρχουν οι αντίστοιχες διεπαφές (interfaces). Με τον όρο κινητός σταθμός MS εννοούμε όλα τα τερματικά, είτε χειρός (κινητά τηλέφωνα) είτε φορητά (laptop σε αυτοκίνητο). Οι σταθμοί βάσης (BTS) είναι οι σταθεροί σταθμοί του δικτύου που χρησιμοποιούνται για την ραδιοεπικοινωνία με τους MS.

Ένας BTS είναι εγκατεστημένος είτε στο κέντρο είτε στα όρια μιας γεωγραφικής περιοχής κάλυψης και αποτελείται από κεραίες εκπομπής και λήψης, συνήθως πάνω σε ιστό, καθώς και από τους αντίστοιχους πομποδέκτες. Επίσης ένας BTS αποτελείται και από ενισχυτές ισχύος που ενισχύουν το σήμα και από τις κεραίες. Κάθε BTS συνδέεται και με το δίκτυο κορμού (Backbone Network) του παρόχου, μέσω ενός ελεγκτή που ονομάζεται BSC (Base Station Controller). Πολλοί BSC συνδέονται σε ένα κέντρο μεταγωγής MSC (Mobile Switching Center) που διαχειρίζεται και δρομολογεί τις κλήσεις σε μια μεγάλη περιοχή εξυπηρέτησης. Συνήθως ένα από τα MSC αναλαμβάνει και τη διασύνδεση του συστήματος επικοινωνιών (PLMN) με το σταθερό δίκτυο επικοινωνιών (PSTN) και ονομάζεται GMSC (Gateway Mobile Switching Center).

Με την εισαγωγή των κυψελωτών συστημάτων τα δίκτυα προσφέρουν υψηλής ποιότητας υπηρεσίες με μεγάλο αριθμό χρηστών σε περιορισμένο εύρος ζώνης συχνοτήτων. Βασική ιδέα των κυψελωτών συστημάτων είναι η περιορισμένη ισχύς εκπομπής από τους σταθμούς βάσης, ώστε να περιοριστεί η κάλυψη σε μικρές γεωγραφικές περιοχές που ονομάζονται κυψέλες, και η επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων για την κάλυψη κάποιας άλλης κυψέλης. Δηλαδή βασική ιδέα των κυψελωτών συστημάτων είναι η επαναχρησιμοποίηση συχνότητας. Το φάσμα είναι πολύ περιορισμένο και θα ήταν αδύνατο να εξυπηρετηθούν τα εκατομμύρια των

χρηστών σήμερα χωρίς αυτή την τεχνική. Μάλιστα όσο μικραίνουν οι κυψέλες και ανάλογα πληθαίνουν οι BTS μπορούν να εξυπηρετηθούν ακόμα περισσότεροι χρήστες και εκτός αυτού μειώνεται και η ισχύς ακτινοβολίας και στις δύο ζεύξεις (uplink/downlink) ως αποτέλεσμα της μείωσης των αποστάσεων. Στα CDMA κυψελωτά συστήματα είναι δυνατόν ακόμα και γειτονικές κυψέλες να χρησιμοποιούν τους ίδιους διαύλους. Κάθε κυψέλη εξυπηρετείται από ένα BTS και όταν ένας χρήστης αλλάζει κυψέλη γίνεται το handoff δηλαδή διαπομπή και το MS συνδέεται αυτόματα με το νέο BTS χωρίς καμία διακοπή στην επικοινωνία. Στη συνέχεια ακολουθεί ένα σχήμα στο οποίο παρουσιάζονται τα βασικά δομικά στοιχεία ενός συστήματος κινητών επικοινωνιών (Εικόνα 4).



Εικόνα 4: Δομικά Στοιχεία Συστήματος Κινητών Επικοινωνιών

Στο κεφάλαιο 5 γίνεται εκτενέστερη αναφορά στην σηματοδότηση στο GSM και στην επικοινωνία μεταξύ Σταθμού Βάσης και Κινητού Τερματικού. Επίσης, αναφερόμαστε στην πληροφορία που υπάρχει διαθέσιμη στο MS και στον τρόπο εκμετάλλευσής της ώστε να προσφερθούν στο MS Υπηρεσίες Βασισμένες στη Θέση.

# 3

## *Η ανάγκη εντοπισμού θέσης*

### *3.1 911 Mandate*

Οι κανονισμοί του ενισχυμένου ασύρματου συστήματος έκτακτης ανάγκης “E911” στις Η.Π.Α. επιθυμούν τη βελτίωση της αποδοτικότητας και της αξιοπιστίας των υπηρεσιών της υπηρεσίας έκτακτης ανάγκης παρέχοντας στην αστυνομία, την πυροσβεστική και τα ασθενοφόρα περαιτέρω πληροφορίες για τις ασύρματες κλήσεις προς τον αριθμό 911 [1].

Το πρόγραμμα E911 διαιρείται σε δύο μέρη. Κατά την πρώτη φάση απαιτείται από τους παρόχους να αναφέρουν τον αριθμό του τηλεφώνου που καλεί τον αριθμό 911 και την τοποθεσία της κεραίας που λαμβάνει την κλήση. Σε δεύτερη φάση οι πάροχοι απαιτείται να παρέχουν πολύ πιο ακριβείς πληροφορίες θέσης:

- 100 μέτρων για το 67% των κλήσεων και 300 μέτρων για το 95% των κλήσεων, εάν χρησιμοποιούνται τεχνικές εντοπισμού θέσης βασισμένες στο δίκτυο.
- 50 μέτρων για το 67% των κλήσεων και 150 μέτρων για το 95% των κλήσεων, εάν χρησιμοποιούνται τεχνικές εντοπισμού θέσης βασισμένες στο τερματικό.

Οι πάροχοι των ΗΠΑ, εφόσον εγκατέστησαν την υποδομή που απαιτούνταν, αποφάσισαν να την εκμεταλλευτούν και εμπορικά (η παροχή πληροφορίας θέσης στο E911 ήταν μη κερδοσκοπική). Έτσι άρχισαν να αναδεικνύονται και να υλοποιούνται οι πρώτες υπηρεσίες θέσης, όπως για παράδειγμα η δυνατότητα να βρίσκει ο χρήστης ενός κινητού τηλεφώνου το κοντινότερο βενζινάδικο, ταχυδρομείο, θέατρο, ή μηχανήμα αυτόματης ανάληψης.

### ***3.2 Έκτακτες Κλήσεις 112***

Όσον αφορά τον πανευρωπαϊκό αριθμό έκτακτης ανάγκης “112”, στην οδηγία 2002/22/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 7<sup>ης</sup> Μαρτίου 2002 για την καθολική υπηρεσία και τα δικαιώματα των χρηστών όσον αφορά δίκτυα και υπηρεσίες ηλεκτρονικών επικοινωνιών αναφέρει ότι: «Τα κράτη μέλη εξασφαλίζουν ότι οι επιχειρήσεις που εκμεταλλεύονται δημόσια τηλεφωνικά δίκτυα, διαθέτουν πληροφορίες για τον εντοπισμό του καλούντος στις αρμόδιες για την αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης αρχές, στο μέτρο του τεχνικώς εφικτού, για όλες τις κλήσεις στον ενιαίο ευρωπαϊκό αριθμό κλήσης έκτακτης ανάγκης “112”» [2], [3].

Η οδηγία αυτή καθιστά σαφή την αναγκαιότητα εντοπισμού του καλούντος, αλλά δεν καθορίζει κάποια ακρίβεια αυτού του εντοπισμού. Χωρίς υπερβολικό επιπλέον κόστος, είναι δυνατός ο εντοπισμός της θέσης του κινητού χρήστη που πραγματοποιεί την κλήση έκτακτης ανάγκης χρησιμοποιώντας μόνο τις υπάρχουσες δομές του δικτύου.

### ***3.3 Βασισμένες στη Θέση Υπηρεσίες (Location Based Services - LBS)***

Τα τελευταία χρόνια συντελούνται πολύ μεγάλες αλλαγές στις ασύρματες επικοινωνίες. Η διεύθυνσή τους στις καταναλωτικές αγορές είναι πολύ μεγάλη, ενώ δεν απέχουμε πολύ και από τις επόμενες γενιές ασύρματων δικτύων που υπόσχονται να μεταφέρουν το πλήρες περιβάλλον του διαδικτύου καθώς επίσης και όλες τις υπηρεσίες που μπορούν να υποστηριχθούν μέσω του διαδικτύου στο κινητό

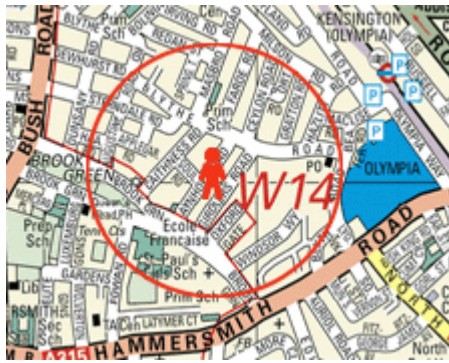
τερματικό. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο άρχισαν να αναπτύσσονται νέες υπηρεσίες για κινούμενους χρήστες, οι οποίες προσανατολίζονται κυρίως στην παροχή δεδομένων σε οποιαδήποτε τοποθεσία και αν βρίσκεται ο χρήστης και φυσικά πάντα σε υψηλές ταχύτητες. Οι πιο πολύ εξελισσόμενες και πιο πολλά υποσχόμενες από αυτές είναι οι Βασισμένες στη Θέση Υπηρεσίες (Location Based Services) [19].

Οι βασισμένες στη θέση υπηρεσίες είναι ουσιαστικά εφαρμογές που εκτελούνται, αφού γίνει γεωγραφικός εντοπισμός του εν λόγω χρήστη. Με τον όρο χρήστης θα αναφέρεται ο τελικός χρήστης ενός ασύρματου δικτύου. Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία μελετάται η εφαρμογή του εντοπισμού θέσης κάποιου κινητού χρήστη σε κυψελωτά δίκτυα και συγκεκριμένα στο GSM. Αυτό δεν σημαίνει πως τα αποτελέσματα δεν μπορούν να εφαρμοστούν και σε άλλους τύπους δικτύων, όπως για παράδειγμα στα ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless Local Area Networks - WLANs). Όμως τα ασύρματα τοπικά δίκτυα δεν αφορούν μεγάλο αριθμό χρηστών και γενικά είναι περιορισμένης χρησιμότητας όχι σε ποιότητα αλλά σε ποσότητα. Έτσι λοιπόν συμπεραίνουμε πως η τοπική φύση αυτών των δικτύων δεν οδηγεί στη δημιουργία καινοτόμων νέων υπηρεσιών που θα στηρίζονται στον εντοπισμό θέσης, υπηρεσίες οι οποίες μπορούν πολύ πιο εύκολα να αναπτυχθούν για κυψελωτά δίκτυα τα οποία αφορούν μεγάλο αριθμό χρηστών και κίνηση σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές.

Το πρώτο ενδιαφέρον για τις υπηρεσίες θέσης εμφανίστηκε λίγο μετά την εγκατάσταση και αποδοχή του GSM ως του επικρατούντος και πιο ευρέως χρησιμοποιούμενου κυψελωτού δικτύου. Οι πάροχοι δικτύων κινητών τηλεπικοινωνιών βλέποντας ότι η διείδυση της κινητής τηλεφωνίας θα έφθανε σε μεγάλο βαθμό στις αγορές και με βάση τις υπάρχοντες υπηρεσίες θα έφθανε σύντομα σε κορεσμό, άρχισαν να στρέφονται σε άλλου είδους υπηρεσίες οι οποίες ονομάζονται υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας (Value Added Services). Ο όρος υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας χρησιμοποιείται ουσιαστικά για όλες τις υπηρεσίες που παρέχουν τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα πέρα από την βασική κλήση φωνής. Έτσι λοιπόν τα γραπτά μηνύματα SMS (Short Message Service), τα multimedia μηνύματα MMS (Multimedia Message Service), το GPRS (General Packet Radio Service) αλλά και η βίντεο κλήση θεωρούνται υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας. Παρόλα αυτά οι εν λόγω υπηρεσίες δεν περιορίζονται μόνο στις παραπάνω καθώς μπορούν να παρέχονται είτε απευθείας από τον τηλεπικοινωνιακό πάροχο είτε από κάποιον τρίτο ο οποίος έχει συνάψει συμφωνία με την εταιρία τηλεπικοινωνιών και

εκμεταλλεζόμενος το δίκτυο αυτής προσφέρει υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας στους συνδρομητές (π.χ. εταιρίες που προσφέρουν αποτελέσματα στοιχήματος, ωροσκόπιο, java games, ringtones κτλ.).

Ως Value Added Services βέβαια θεωρούνται και οι υπηρεσίες εντοπισμού θέσης. Το πρώτο βήμα για την ανάπτυξή τους έγινε το 1996 όταν η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών των Η.Π.Α. υποχρέωσε τους παρόχους τηλεπικοινωνιών να παρέχουν στις αρμόδιες αρχές όπως Αστυνομία, Πυροσβεστική και Νοσοκομεία πληροφορία για την θέση αυτού που έκανε μια κλήση έκτακτης ανάγκης προς αυτές με σκοπό την καλύτερη διαχείριση τέτοιων καταστάσεων. Στο κεφάλαιο 3.1 της διπλωματικής εργασίας γίνεται εκτενέστερη αναφορά στο σύστημα E911. Στην συνέχεια και καθώς η υπηρεσία αυτή ήταν μη κερδοσκοπική οι πάροχοι των Η.Π.Α., εφόσον φυσικά είχαν εγκαταστήσει όλη την απαραίτητη υποδομή, αποφάσισαν να εκμεταλλευτούν και εμπορικά την δυνατότητα που είχαν για εντοπισμό της θέσης των χρηστών τους με αποτέλεσμα να αρχίσουν να αναδεικνύονται και να υλοποιούνται οι πρώτες υπηρεσίες εντοπισμού θέσης. Στην Ευρώπη οι πρώτες υπηρεσίες θέσης άρχισαν να εμφανίζονται το 1998. Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται η πλοήγηση του χρήστη μέσω χαρτών που ανανεώνονται περιοδικά εξαρτώμενοι από παράγοντες όπως π.χ. η κίνηση, η εύρεση του πιο κοντινού σημείου ενδιαφέροντος, όπως εστιατόρια, φαρμακεία, τράπεζες κτλ., η παροχή πληροφοριών για την περιοχή στην οποία βρίσκεται ο χρήστης όπως τουριστικά αξιοθέατα κ.ά. Επίσης έχουν υλοποιηθεί και κάποιες υπηρεσίες που αφορούν κυρίως επιχειρήσεις, όπως η διαχείριση στόλου αλλά και η προβολή διαφημίσεων στον χρήστη που αφορούν επιχειρήσεις που εδρεύουν στην εκάστοτε περιοχή που βρίσκεται το κινητό τερματικό. Τέλος σε κάποιες πόλεις της Ευρώπης αλλά και των Η.Π.Α. έχουν αναπτυχθεί εταιρίες που δίνουν την δυνατότητα σε γονείς να μπορούν ανά πάσα στιγμή να εντοπίσουν τα παιδιά τους μέσω του κινητού τους τηλεφώνου (Εικόνα 5) [18].



**Εικόνα 5: Εντοπισμός Χρήστη (παιδιού) μέσω κινητού τηλεφώνου στο Ηνωμένο Βασίλειο (ΠΗΓΗ [18]).**

Συμπεραίνουμε λοιπόν πως οι βασισμένες στη θέση υπηρεσίες αναμφισβήτητα μπορούν να προσφέρουν πολύτιμη βοήθεια στους ιδιοκτήτες κινητών τηλεφώνων καθώς υπηρεσίες όπως η καθοδήγηση σε διανυκτερεύοντα φαρμακεία ή πρατήρια καυσίμων είναι πολύτιμες. Οι LBS δίνουν στο χρήστη τη δυνατότητα να εκμεταλλευτεί στο έπακρο τις δυνατότητες του τηλεφώνου του, κάνοντας ταυτόχρονα τη ζωή του πιο εύκολη. Άλλωστε στις Η.Π.Α. ήδη εφαρμόζονται προγράμματα χρέωσης των κλήσεων με βάση την θέση του κινητού τηλεφώνου καθώς ο χρήστης μπορεί να ορίσει τις περιοχές στις οποίες θα έχει χαμηλότερη χρέωση, ενώ με τις LBS γίνεται πολύ εύκολη η πρόσβαση σε νοσοκομεία κ.α. σε περιπτώσεις ανάγκης, όπως για παράδειγμα ατυχήματα σε επαρχιακούς, απομακρυσμένους δρόμους. Σήμερα υπάρχει η δυνατότητα παρακολούθησης κάποιου κινητού τερματικού για λόγους ασφαλείας αλλά και εντοπισμό κάποιου χρήστη που έχει πέσει θύμα κάποιου ατυχήματος π.χ. σε κάποια απομακρυσμένη περιοχή. Επίσης με βάση τις LBS έρχεται και η προσωποποίηση των υπηρεσιών που παρέχονται στους χρήστες (customized services) καθώς μπορεί πολύ εύκολα να σχηματιστεί το προφίλ του χρήστη, μέσω των υπηρεσιών που προτιμά, της ηλικίας του, αλλά και της οικονομικής του κατάστασης και έτσι στον εν λόγω συνδρομητή να παρέχονται κατάλληλες διαφημίσεις, την κατάλληλη στιγμή, ανάλογα με την περιοχή στην οποία βρίσκεται.

Βέβαια από την εξέταση των LBS και ειδικά αυτών που παρέχονται στον συνδρομητή από την πλευρά του παρόχου χωρίς την άμεση συγκατάθεση αυτού, δεν πρέπει να παραλείψουμε και το κομμάτι της ασφάλειας και της ιδιωτικότητας του εκάστοτε χρήστη καθώς πρέπει όλες οι υπηρεσίες να παρέχονται με γνώμονα καταρχήν την επιθυμία του χρήστη και την μη παραβίαση των δικαιωμάτων του και των προσωπικών του δεδομένων.

### 3.3.1 Παραδείγματα LBS

Σήμερα έχουν υλοποιηθεί αρκετές υπηρεσίες θέσης και έχουν προταθεί ακόμα περισσότερες. Οι κυριότερες υπηρεσίες είναι:

- I. Διαφημίσεις (Advertising)
- II. Ιχνηλασία (Tracking)
- III. Πλοήγηση (Navigation)
- IV. Σημεία Ενδιαφέροντος (Points of Interest)
- V. Διασκέδαση (Entertainment)
- VI. Υπηρεσίες Έκτακτης Ανάγκης (Emergency Services)

Στην συνέχεια θα δώσουμε μία συνοπτική περιγραφή των παραπάνω υπηρεσιών:

#### I. Διαφημίσεις (Advertising)

Μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες: Push advertising και Pull advertising. Η πρώτη κατηγορία περιγράφει την περίπτωση στην οποία το κινητό τερματικό δέχεται διαφημιστικά μηνύματα ανάλογα με την περιοχή στη οποία βρίσκεται (π.χ. μηνύματα μαγαζιών, εστιατορίων κ.τ.λ.) αυτόματα χωρίς ο ιδιοκτήτης του να έχει προηγουμένως ζητήσει την υπηρεσία. Η δεύτερη κατηγορία είναι ακριβώς ίδια με την πρώτη με την διαφορά ότι ο χρήστης έχει τώρα ζητήσει μέσω του τερματικού του την υπηρεσία πληρώνοντας το αντίστοιχο αντίτιμο για τα διαφημιστικά μηνύματα που λαμβάνει. Ένα παράδειγμα push διαφήμισης σε συνάρτηση με την προσωποποίηση των υπηρεσιών που αναφέρθηκε παραπάνω είναι διαφημίσεις που εμφανίζονται στην οθόνη του χρήστη όταν εκείνος παραδείγματος χάριν παρακολουθεί τηλεόραση μέσα από το κινητό τερματικό του. Στην συγκεκριμένη περίπτωση στέλνονται αυτόματα διαφημίσεις στην οθόνη αλλά με διαφορά ότι άλλη διαφήμιση παρακολουθεί κάποιος άνθρωπος μέσης ηλικίας και άλλη κάποιος νεαρός, πράγμα που είναι αποτέλεσμα της προσπάθειας που γίνεται και θα συνεχιστεί στο μέλλον για να προσωποποιηθούν οι υπηρεσίες (customized services).

#### II. Ιχνηλασία (Tracking)

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει υπηρεσίες που σχετίζονται με την παρακολούθηση και τον εντοπισμό αυτοκινήτων, κατοικίδιων ακόμη και μικρών παιδιών. Ειδικά η



περίπτωση της παρακολούθησης των αυτοκινήτων, γνωστή και ως διαχείριση στόλου (fleet management), χρησιμοποιείται από εταιρείες που έχουν έναν στόλο αυτοκινήτων των οποίων είναι γνωστή η γεωγραφική τους θέση ανά πάσα στιγμή σε πραγματικό χρόνο (όπως π.χ. εταιρείες χρηματοποστολών). Το γεγονός αυτό καθιστά δυνατή την εύκολη διαχείριση του στόλου με άμεσο αποτέλεσμα την καλύτερη εκμετάλλευση του αλλά και την μείωση του κόστους λειτουργίας του.

### III. Πλοήγηση (Navigation)

Μία ακόμη σημαντική κατηγορία είναι η Πλοήγηση (Navigation). Ειδικότερες περιπτώσεις αυτής της κατηγορίας είναι πληροφορίες για την κατάσταση της οδικής κυκλοφορίας, όπως επίσης και για διάφορα γεγονότα που σχετίζονται με αυτή (π.χ. ατυχήματα, κλειστοί δρόμοι κτλ.). Όλα αυτά συμπληρώνονται και από την δυνατότητα που έχει ο χρήστης να λαμβάνει οδηγίες για την συντομότερη διαδρομή μεταξύ δύο σημείων που επιλέγει. Αν το σύστημα είναι αρκετά εξελιγμένο τότε δεν λαμβάνεται μόνο υπόψιν η γεωγραφική απόσταση μεταξύ των δύο αυτών σημείων αλλά και πληροφορίες για την κατάσταση της κυκλοφορίας με σκοπό την ελαχιστοποίηση του χρόνου της διαδρομής.

### IV. Σημεία Ενδιαφέροντος (Points of Interest)

Υπάρχουν επίσης και εφαρμογές που προσφέρουν πληροφορίες για αναζητήσεις συγκεκριμένων σημείων που ενδιαφέρουν τον χρήστη. Αυτές οι αναζητήσεις μπορεί να αφορούν π.χ. κοντινά εστιατόρια ή ακόμα και διανυκτερεύοντα, φαρμακεία ή βενζινάδικα στην περιοχή στην οποία βρίσκεται ο χρήστης.

### V. Διασκέδαση (Entertainment)

Η περιορισμένη διαθεσιμότητα αλλά και το κόστος των διαφόρων συσκευών εντοπισμού θέσης είχε παλιότερα σαν αποτέλεσμα την μη χρησιμοποίηση αυτών σε εφαρμογές που ανήκουν στην ευρύτερη κατηγορία της διασκέδασης (entertainment). Με την ανάπτυξη όμως τεχνικών εντοπισμού θέσης για δίκτυα GSM, αλλά και την αύξηση του εύρους ζώνης με τα δίκτυα νέων γενιών, έχουμε παράλληλα και την ανάπτυξη αυτών των εφαρμογών, όπως η ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ ατόμων που βρίσκονται στον ίδιο χώρο ή υπηρεσίες ραντεβού (dating services) κτλ. Από την

εμπειρία στον χώρο των υπολογιστών, μπορεί κανείς να υπολογίζει ότι θα αναπτυχθούν και αρκετά παίγνια, στα οποία ένας παράγοντας που θα επηρεάζει την εξέλιξή τους θα είναι, η θέση του χρήστη.

#### VI. Υπηρεσίες Έκτακτης Ανάγκης (Emergency Services)

Μια πολύ σημαντική εφαρμογή των βασισμένων στην θέση υπηρεσιών είναι η δυνατότητα εντοπισμού κάποιου ανθρώπου ο οποίος διατρέχει κίνδυνο μέσω της τερματικής συσκευής την οποία διαθέτει. Έτσι λοιπόν δίνεται οι δυνατότητα να βοηθηθούν άνθρωποι σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης και παραδείγματα τέτοιων υπηρεσιών είναι φυσικά το 911 Mandate των Η.Π.Α. και οι έκτακτες κλήσεις 112 της Ευρώπης που έχουν αναλυθεί παραπάνω.

# 4

## *Παρούσες Μέθοδοι Εντοπισμού Θέσης*

### *4.1 Ταξινόμηση*

Στα κεφάλαια 4.1.1 και 4.1.2 επιχειρείται μία σύντομη ταξινόμηση και περιγραφή των υπαρχόντων μεθόδων εντοπισμού θέσης όσον αφορά την εφαρμογή τους σε εσωτερικούς ή εξωτερικούς χώρους αλλά και το μέσο που χρησιμοποιούν για να επιτύχουν τον εντοπισμό θέσης (RF, Bluetooth κοκ.).

#### *4.1.1 Indoor/Outdoor*

Η ταξινόμηση των μεθόδων εντοπισμού θέσης στις δύο κατηγορίες για εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους σχετίζεται με το είδος της υπηρεσίας που προσφέρεται στους χρήστες και για τη λειτουργία της οποίας είναι απαραίτητη η πληροφορία της θέσης τους. Οι διάφορες μέθοδοι διαφέρουν ως προς το πρόβλημα που καλούνται να λύσουν και ως προς τις εφαρμογές που είναι δυνατόν να υποστηρίξουν. Για παράδειγμα, εφαρμογές που καλούνται να κάνουν εντοπισμό χρήστη σε εσωτερικούς χώρους είναι για τον εντοπισμό ασθενών και ιατρικού εξοπλισμού σε ένα νοσοκομείο, όπως το σύστημα EkaHau, ή για τον εντοπισμό του προσωπικού στο κτίριο μιας επιχείρησης, ώστε να δρομολογούνται οι κλήσεις προς αυτούς, όπως το σύστημα Active Bat. Εφαρμογές που απαιτούν τη γνώση της θέσης του χρήστη σε εξωτερικούς χώρους

είναι η υπηρεσία εντοπισμού των κλήσεων έκτακτης ανάγκης (911) στις Η.Π.Α., καθώς και εφαρμογές πλοήγησης του χρήστη σε αστικό περιβάλλον ή προβολής διαφημιστικών μηνυμάτων ανάλογα με την τοποθεσία του χρήστη.

#### **4.1.2 RF, WLAN, Bluetooth, UWB, IR**

Για την επίτευξη του προσδιορισμού της θέσης ενός κινητού χρήστη απαιτείται κάποιας μορφής ασύρματη επικοινωνία μεταξύ αυτού και του συστήματος εντοπισμού θέσης. Έτσι, τα συστήματα SpotOn και Landmarc έκαναν χρήση RF σημάτων, το σύστημα Active Badge χρησιμοποιούσε IR σήματα, το Ekahau έκανε χρήση της υποδομής 802.11 (WLAN) και το Ubisense χρησιμοποιεί σήματα υπερευρείας ζώνης (UWB). Επίσης, είναι δυνατή η χρήση της τεχνολογίας Bluetooth. Ανάλογα με το είδος της εφαρμογής που απαιτεί τον εντοπισμό της θέσης του χρήστη και τη μορφολογία του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται, γίνεται και η επιλογή του είδους των σημάτων που θα χρησιμοποιηθούν. Έτσι, για εσωτερικούς χώρους προτιμώνται τα σήματα IR, WLAN και Bluetooth, τα οποία έχουν μικρή σχετικά εμβέλεια και είναι φθηνές τεχνολογίες ως προς την υλοποίησή τους. Σε εξωτερικούς χώρους, από την άλλη, προτιμάται η χρήση RF σημάτων, τα οποία διαδίδονται σε μεγάλες αποστάσεις και επιτρέπουν τον προσδιορισμό της θέσης σε μεγάλες περιοχές.

## **4.2 Τεχνικές Εντοπισμού Θέσης**

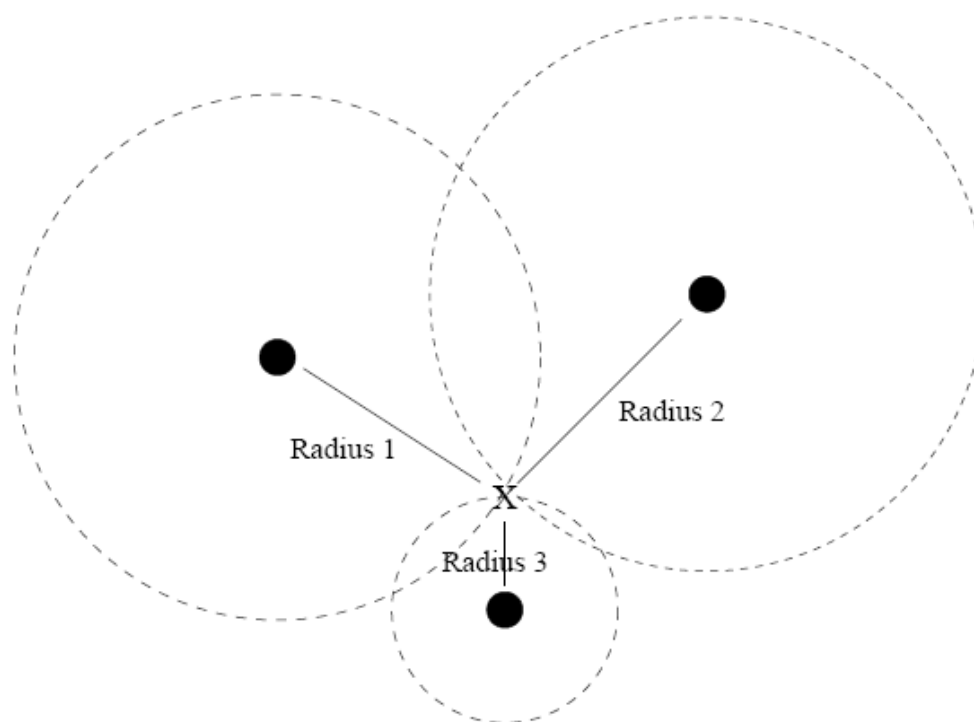
Οι τρεις κύριες τεχνικές για τον αυτοματοποιημένο εντοπισμό θέσης είναι η τριγωνοποίηση, η ανάλυση σκηνής και η εγγύτητα [4]. Για κάθε τεχνική περιγράφονται οι βασικές αρχές της, μερικές από τις τεχνολογίες που εφαρμόζουν και παραδείγματα συστημάτων εντοπισμού θέσης που τις χρησιμοποιούν.

### **4.2.1 Τριγωνοποίηση**

Η τεχνική της τριγωνοποίησης χρησιμοποιεί τις γεωμετρικές ιδιότητες των τριγώνων για να υπολογίσει τη θέση των αντικειμένων. Η τριγωνοποίηση διαιρείται σε δύο υποκατηγορίες αν χρησιμοποιούνται μετρήσεις αποστάσεων ή μετρήσεις γωνιών.

#### 4.2.1.1 Τριγωνοποίηση βασισμένη σε μετρήσεις αποστάσεων

Στην περίπτωση αυτή η θέση ενός αντικειμένου υπολογίζεται μετρώντας την απόστασή του από πολλαπλά σημεία αναφοράς. Ο υπολογισμός της θέσης ενός αντικειμένου σε δύο διαστάσεις απαιτεί μετρήσεις απόστασης από 3 μη συγγραμμικά σημεία, όπως στην εικόνα 1. Για τον τρισδιάστατο χώρο απαιτούνται μετρήσεις αποστάσεων από 4 μη συνεπίπεδα σημεία. Ειδικότερες χωροταξικές γνώσεις μπορούν να μειώσουν το πλήθος των μετρήσεων αποστάσεων. Για παράδειγμα, το σύστημα εντοπισμού θέσης «Active Bat» μετρά την απόσταση φορητών ετικετών εσωτερικού χώρου από ένα πλέγμα υπερηχητικών αισθητήρων αναρτημένων στο ταβάνι. Ο τρισδιάστατος εντοπισμός θέσης που επιτυγχάνει το παραπάνω σύστημα επιτυγχάνεται με τη χρήση μόνο τριών μετρήσεων αποστάσεων, επειδή οι αισθητήρες στο ταβάνι είναι πάντα πάνω από το δέκτη. Αυτό γίνεται με την παραδοχή ότι ο δέκτης δε μπορεί να βρίσκεται στον επόμενο όροφο ή στη στέγη, αλλά μόνο κάτω από το πλέγμα των αισθητήρων.



**Εικόνα 6: Ο εντοπισμός θέσης σε 2 διαστάσεις με τη χρήση μετρήσεων αποστάσεων απαιτεί μετρήσεις μεταξύ του αντικειμένου 'X' και τριών μη συγγραμμικών σημείων.**

Υπάρχουν γενικά τρεις προσεγγίσεις για τη μέτρηση των αποστάσεων που απαιτούνται από την παραπάνω τεχνική.

- **Άμεση.** Οι άμεσες μετρήσεις αποστάσεων χρησιμοποιούν μια φυσική δράση ή κίνηση. Για παράδειγμα, ένα ρομπότ μπορεί να εκτείνει έναν αισθητήρα μέχρι να αγγίξει κάτι ή να λάβει μετρήσεις με μια μετροταινία. Οι άμεσες μετρήσεις αποστάσεων είναι απλές στην κατανόηση, αλλά είναι δύσκολο να αποκτηθούν αυτόματα εξαιτίας της πολυπλοκότητας στην καθοδήγηση μιας κίνησης.
- **«Χρόνος πτήσης».** Μετρώντας την απόσταση από ένα αντικείμενο ως κάποιο σημείο P χρησιμοποιώντας το «χρόνο πτήσης» σημαίνει να μετράται ο χρόνος που απαιτείται για τη διαδρομή από το αντικείμενο προς το σημείο P με μια γνωστή ταχύτητα. Το αντικείμενο μπορεί να κινείται το ίδιο, όπως ένα αεροσκάφος που ταξιδεύει με μια γνωστή ταχύτητα για ένα δοθέν χρονικό διάστημα, ή, πιο σύνηθες, το αντικείμενο θεωρείται ακίνητο και παρατηρείται η χρονική διαφορά μεταξύ της εκπομπής και της άφιξης ενός σήματος. Για παράδειγμα, τα ηχητικά κύματα έχουν ταχύτητα περίπου 344 μέτρα το δευτερόλεπτο στον αέρα. Οπότε, ένας υπερηχητικός παλμός που αποστέλλεται από ένα αντικείμενο και καταφτάνει στο σημείο P 14.5 msec αργότερα μας κάνει να συμπεράνουμε πως το αντικείμενο απέχει 5 μέτρα από το σημείο P. Η μέτρηση του «χρόνου πτήσης» του φωτός ή ραδιοκυμάτων είναι επίσης δυνατή, αλλά απαιτεί ρολόγια με πολύ υψηλότερη ακρίβεια από αυτά που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των υπερήχων επειδή το φως που εκπέμπεται από ένα αντικείμενο ταξιδεύει με ταχύτητα 299792458 μέτρα το δευτερόλεπτο και διανύει την απόσταση των 5 μέτρων σε 16.7 nsec. Επίσης, ανάλογα με τις δυνατότητες του αντικειμένου και του δέκτη στο σημείο P, μπορεί να είναι απαραίτητη η μέτρηση της καθυστέρησης πλήρους διαδρομής του σήματος που αντιστοιχεί στη διπλάσια απόσταση. Στη μέτρηση «χρόνου πτήσης», πρόκληση αποτελεί ο αποκλεισμός των παλμών που καταλήγουν στο σημείο P μέσω έμμεσης (και κατ' επέκταση μεγαλύτερης) διαδρομής και που προκαλούνται από ανακλάσεις στο περιβάλλον, καθώς η άμεση και η ανακλώμενοι παλμοί παρουσιάζονται πανομοιότυποι. Η τεχνολογία «Active Bat» και άλλες στατιστικά αποκλείουν τις ανακλώμενες μετρήσεις συγκεντρώνοντας μετρήσεις από πολλαπλούς δέκτες και παρατηρώντας τις ιδιότητες ανάκλασης του περιβάλλοντος.

Ένα άλλο θέμα στη μέτρηση «χρόνου πτήσης» είναι η συμφωνία σχετικά με το χρόνο. Όταν μόνο μια μέτρηση είναι απαραίτητη, όπως με ήχο πλήρους διαδρομής ή ανακλάσεις ραντάρ, η «συμφωνία» είναι απλή επειδή το αντικείμενο είναι ταυτόχρονα πομπός και δέκτης και πρέπει απλά να διατηρήσει το δικό του χρόνο με επαρκή ακρίβεια για να υπολογιστεί η απόσταση. Παρόλα αυτά, σε ένα σύστημα όπως το GPS ο δέκτης δεν είναι συγχρονισμένος με τους δορυφορικούς πομπούς και κατ' επέκταση δε μπορεί να μετρήσει με ακρίβεια το χρόνο που χρειάστηκε το σήμα για να φτάσει στο έδαφος από το διάστημα. Κατά συνέπεια, οι δορυφόροι GPS είναι συγχρονισμένοι με ακρίβεια μεταξύ τους και εκπέμπουν τον τοπικό τους χρόνο στο σήμα επιτρέποντας στους δέκτες να υπολογίσουν τη διαφορά σε «χρόνο πτήσης». Οι δέκτες GPS μπορούν να υπολογίσουν την τρισδιάστατη θέση τους (γεωγραφικό πλάτος, ύψος και υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας) χρησιμοποιώντας τέσσερις δορυφόρους. Οι δορυφόροι είναι πάντοτε πάνω από τους δέκτες και κατά συνέπεια υπό κανονικές συνθήκες μόνο τρεις δορυφόροι θα απαιτούνταν για τον υπολογισμό μιας τρισδιάστατης τοποθεσίας. Όμως, στο GPS απαιτείται η μέτρηση ενός τέταρτου δορυφόρου για να μας επιτρέψει να λύσουμε ως προς τον τέταρτο άγνωστο, το σφάλμα μεταξύ του ρολογιού του δέκτη και των συγχρονισμένων ρολογιών των δορυφόρων – ένα σύστημα τεσσάρων εξισώσεων (τα 4 δορυφορικά σήματα) και τεσσάρων αγνώστων (X, Y, Z και χρόνος εκπομπής). Για να διατηρηθεί ο συγχρονισμός καθένας από τους 27 GPS δορυφόρους περιέχει τέσσερα ατομικά ρολόγια καισίου/ρουβιδίου που είναι τοπικά ρυθμισμένα να διατηρούν ακρίβεια χρόνου ενός σημείου σε  $10^{13}$  δευτερόλεπτα. Επιπλέον, κάθε δορυφόρος συγχρονίζεται καθημερινά με τα πιο ακριβή ατομικά ρολόγια στο Αμερικάνικο Ναυτικό Παρατηρητήριο από το κέντρο εδάφους GPS της αμερικανικής αεροπορίας.

- **Εξασθένηση.** Η ένταση ενός εκπεμπόμενου σήματος ελαττώνεται όσο αυξάνεται η απόσταση από την πηγή εκπομπής. Η ελάττωση συσχετιζόμενη με την αρχική ένταση αποτελεί την εξασθένηση. Δεδομένης μια συνάρτησης που συσχετίζει την εξασθένηση και την απόσταση για κάποιο είδος εκπομπής καθώς και την αρχική ισχύ της εκπομπής είναι δυνατόν να υπολογιστεί η απόσταση από ένα αντικείμενο σε κάποιο σημείο P μετρώντας την ισχύ της εκπομπής όταν αυτή φτάνει το σημείο P. Για παράδειγμα, ένα ραδιοσήμα

ελευθέρου χώρου που εκπέμπεται από ένα αντικείμενο θα εξασθενήσει κατά έναν παράγοντα ανάλογο του  $1/r^2$  όταν αυτό φτάνει το σημείο P σε απόσταση r από το αντικείμενο.

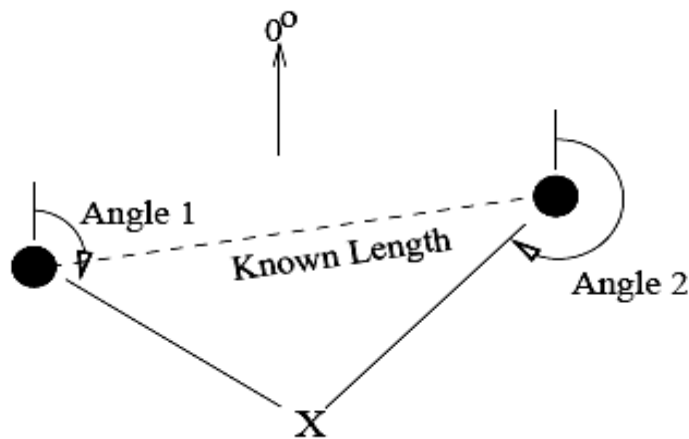
Σε περιβάλλοντα με πολλά εμπόδια όπως ένα γραφείο ο υπολογισμός της απόστασης χρησιμοποιώντας την εξασθένηση είναι συνήθως λιγότερο ακριβής απ' ό,τι ο «χρόνος πτήσης». Θέματα που έχουν να κάνουν με τη διάδοση του σήματος, όπως η ανάκλαση, η διάθλαση και οι πολλαπλές διαδρομές έχουν ως αποτέλεσμα η εξασθένηση να μη συσχετίζεται με ακρίβεια με την απόσταση καταλήγοντας σε ανακριβείς μετρήσεις. Το σύστημα εντοπισμού «Spot ON» εισάγει μετρήσεις εξασθένησης χρησιμοποιώντας ετικέτες χαμηλού κόστους. Οι Spot ON ετικέτες χρησιμοποιούν την εξασθένηση ραδιοσημάτων για να υπολογίσουν την απόσταση μεταξύ των ετικετών και να εκμεταλλευτούν την πυκνότητα των συμπλεγμάτων των ετικετών και την συσχέτιση πολλαπλών μετρήσεων για να ξεπεράσουν μερικές από τις δυσκολίες της εκπομπής σημάτων.

#### 4.2.1.2 Γωνιοποίηση

Η γωνιοποίηση είναι παρόμοια με την προηγούμενη τεχνική μόνο που αντί για αποστάσεις χρησιμοποιούνται γωνίες για τον καθορισμό της θέσης ενός αντικειμένου. Γενικά, η δυσδιάστατη γωνιοποίηση απαιτεί δύο μετρήσεις γωνιών και μια μέτρηση απόστασης, όπως η απόσταση μεταξύ των σημείων αναφοράς της εικόνας 7. Σε τρεις διαστάσεις μια μέτρηση απόστασης, μια μέτρηση αζιμούθιου και δύο μετρήσεις γωνιών απαιτούνται για να καθοριστεί μια συγκεκριμένη θέση. Οι μέθοδοι της γωνιοποίησης μερικές φορές επιλέγουν να χρησιμοποιούν ένα σταθερό διάνυσμα αναφοράς ως  $0^\circ$ .

Οι φασικά ελεγχόμενες στοιχειοκεραίες είναι μια τεχνολογία που επιτρέπει άριστα την τεχνική της γωνιοποίησης. Οι πολλαπλές κεραίες με δεδομένη απόσταση υπολογίζουν το χρόνο της άφιξης τους σήματος. Δεδομένων των αποκλίσεων των χρόνων άφιξης και της γεωμετρίας της στοιχειοκεραίας λήψης, είναι δυνατόν να υπολογιστεί η γωνία από την οποία ξεκίνησε η εκπομπή. Αν υπάρχουν αρκετά στοιχεία στη συστοιχία και αρκετά μεγάλες αποστάσεις, μπορεί να εκτελεστεί ο υπολογισμός μέσω της τεχνικής της γωνιοποίησης.





**Εικόνα 7:** Αυτό το παράδειγμα μιας δισδιάστατης γωνιοποίησης δείχνει τον εντοπισμό ενός στοιχείου X, χρησιμοποιώντας γωνίες ως προς ένα διάνυσμα αναφοράς για τις  $\theta_0$  και την απόσταση μεταξύ δύο σημείων αναφοράς. Η δισδιάστατη γωνιοποίηση απαιτεί πάντα τουλάχιστον τη μέτρηση δύο γωνιών για να εντοπίσει με ακρίβεια ένα αντικείμενο.

#### 4.2.2 Ανάλυση Σκηνής

Η τεχνική ανάλυσης σκηνής χρησιμοποιεί χαρακτηριστικά από μια τοποθεσία όπως αυτή παρατηρείται από μια πλεονεκτική σκοπιά έτσι ώστε να βγάλει συμπεράσματα για τη θέση του παρατηρητή ή των αντικειμένων. Συνήθως, οι παρατηρούμενες σκηνές είναι απλοποιημένες ώστε να αποκτήσουν χαρακτηριστικά που μπορούν εύκολα να αναπαρασταθούν και να συγκριθούν (π.χ. το σχήμα των οριζόντιων περιγραμμάτων όπως της εικόνας 8 όπως αυτά καταγράφονται από μια κάμερα προσαρτημένη σε όχημα). Στην ανάλυση στατικής σκηνής τα παρατηρούμενα χαρακτηριστικά εξετάζονται σύμφωνα με ένα προκαθορισμένο σύνολο δεδομένων που τα αντιστοιχεί με τοποθεσίες αντικειμένων. Αντίθετα, η ανάλυση διαφορικής σκηνής εντοπίζει τη διαφορά μεταξύ εναλλασσόμενων σκηνών ώστε να εκτιμήσει τη θέση. Οι διαφορές στις σκηνές θα αντιστοιχούν σε κινήσεις του παρατηρητή και αν τα χαρακτηριστικά στις σκηνές είναι γνωστά ως συγκεκριμένες θέσεις, ο παρατηρητής μπορεί να υπολογίσει τη θέση σε σχέση με αυτά.

Το πλεονέκτημα της ανάλυσης σκηνής είναι ότι οι θέσεις των αντικειμένων μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας παθητική παρατήρηση και χαρακτηριστικά που δεν αντιστοιχούν σε γεωμετρικές γωνίες ή αποστάσεις. Όπως είδαμε, η μέτρηση γεωμετρικών δεδομένων συχνά απαιτεί κίνηση ή εκπομπή σημάτων, οι οποίες

μπορούν να παρέμβουν στην ιδιωτικότητα και απαιτούν περισσότερη ενέργεια. Το μειονέκτημα της ανάλυσης σκηνής είναι ότι ο παρατηρητής πρέπει να έχει πρόσβαση σε χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος με τα οποία θα αντιπαραβάλλει τις παρατηρούμενες σκηνές. Επιπλέον, κάποιες αλλαγές στο περιβάλλον που μπορούν να διαφοροποιήσουν τα χαρακτηριστικά των σκηνών είναι δυνατόν να απαιτούν την επανακατασκευή ή την ανάκτηση ενός εντελώς καινούριου του προκαθορισμένου συστήματος δεδομένων.

Η σκηνής από μόνη της μπορεί να αποτελείται από οπτικές εικόνες όπως τα καρτέ που συλλαμβάνει μια φορητή κάμερα ή οποιοδήποτε άλλο μετρήσιμο φυσικό φαινόμενο, όπως τα ηλεκτρομαγνητικά χαρακτηριστικά που δημιουργούνται όταν ένα αντικείμενο βρίσκεται σε μια συγκεκριμένη θέση και προσανατολισμό. Το σύστημα εντοπισμού Microsoft Research RADAR είναι ένα παράδειγμα του τελευταίου. Το RADAR χρησιμοποιεί ένα σύστημα δεδομένων από μετρήσεις ισχύος σημάτων που δημιουργούνται από την παρατήρηση ραδιοεκπομπών μιας συσκευής ασύρματου δικτύου 802.11 σε πολλές θέσεις και προσανατολισμούς μέσα σε ένα κτίριο. Οι θέσεις άλλων συσκευών δικτύου 802.11 μπορεί να υπολογιστεί ανατρέχοντας στον πίνακα του προκαθορισμένου συστήματος δεδομένων. Τα παρατηρούμενα χαρακτηριστικά, η ισχύς των σημάτων στην προκειμένη περίπτωση, συσχετίζονται με συγκεκριμένες τοποθεσίες μέσα στο κτίριο, αλλά δεν ανταποκρίνονται άμεσα στα γεωμετρικά μήκη και τις γωνίες που περιγράφουν αυτές τις θέσεις.



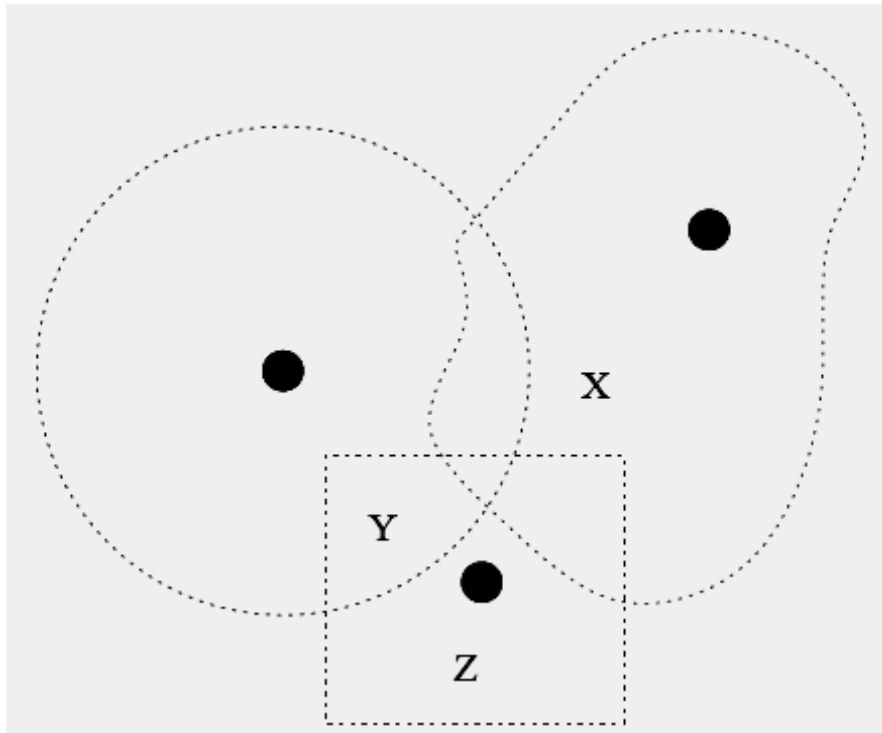
**Εικόνα 8: Οριζόντιες μορφές εξηγμένες από μια οπτική σκηνή μπορούν να χρησιμοποιηθούν στατικά για να εντοπιστεί η θέση που παρατηρητή από ένα προκαθορισμένο σύστημα δεδομένων ή δυναμικά για να υπολογιστεί η κίνηση της κάμερας προσαρτημένης σε όχημα.**

### 4.2.3 Εγγύτητα

Η τεχνική εύρεσης κοντινών θέσεων συνεπάγεται τον καθορισμό του πότε ένα αντικείμενο είναι «κοντά» σε μια γνωστή θέση. Η παρουσία του αντικειμένου γίνεται αντιληπτή χρησιμοποιώντας ένα φυσικό φαινόμενο με περιορισμένο εύρος. Υπάρχουν τρεις γενικές προσεγγίσεις στον εντοπισμό της εγγύτητας:

- **Εντοπισμός φυσικής επαφής.** Ο εντοπισμός φυσικής επαφής με ένα αντικείμενο είναι το πιο βασικό είδος εντοπισμού εγγύτητας. Οι τεχνολογίες για τον εντοπισμό της φυσικής επαφής περιλαμβάνουν αισθητήρες αφής, αισθητήρες πίεσης και αισθητήρες ηλεκτροχωρητικότητας.
- **Παρατήρηση ασύρματων κυψελωτών σημείων πρόσβασης.** Η παρατήρηση ενώ μια κινητή συσκευή είναι σε εύρος ενός ή περισσότερων σημείων πρόσβασης σε ένα ασύρματο κυψελωτό δίκτυο είναι άλλη μια εφαρμογή της τεχνικής εντοπισμού κοντινών θέσεων και αναπαρίσταται στο σχέδιο 4. Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων είναι το Σύστημα Εντοπισμού Active Badge, το Xerox ParcTAB System και το Carnegie Mellon Wireless Andrew.
- **Παρατηρώντας αυτόματα ID συστήματα.** Μια Τρίτη εφαρμογή της τεχνικής εντοπισμού κοντινών θέσεων χρησιμοποιεί συστήματα αυτόματης αναγνώρισης, όπως τα τερματικά των αναγνωστών πιστωτικών καρτών, τα ιστορικά login των υπολογιστών, τα επίγεια τηλεφωνικά δίκτυα και αναγνωριστικές ετικέτες.

Οι τεχνικές εγγύτητας μπορεί να χρειαστεί να συνδυαστούν με συστήματα αναγνώρισης αν δεν συμπεριλαμβάνουν μια μέθοδο για αναγνώριση στον εντοπισμό της εγγύτητας.



**Εικόνα 9:** Τα αντικείμενα X, Y και Z εντοπίζονται παρατηρώντας τη συσχέτισή τους με ένα ή περισσότερα σημεία πρόσβασης σε ένα ασύρματο κυψελωτό δίκτυο. Η γεωμετρία των κυψελών είναι ένα τεχνητό κατασκεύασμα της ασύρματης τεχνολογίας που χρησιμοποιείται στην εφαρμογή. Για παράδειγμα, ένα κυψελωτό δίκτυο μπορεί να έχει τη μορφή μιας περιοχής που περιλαμβάνει το αντικείμενο X, ενώ οι εκπεμπόμενες υπέρυθρες ακτίνες στο δωμάτιο περιορίζονται από τους τοίχους καταλήγοντας σε ένα τετράγωνο σχήμα.

#### 4.2.4 Χαρακτηριστικά των Τεχνικών Εντοπισμού Θέσης

##### 4.2.4.1 Φυσική Θέση και Συμβολική Τοποθεσία

Ένα σύστημα εντοπισμού θέσης μπορεί να παρέχει δύο ειδών πληροφορίες: φυσικές και συμβολικές [5]. Το GPS παρέχει φυσικές θέσεις. Για παράδειγμα, ότι ένα κτίριο βρίσκεται στις συντεταγμένες  $47^{\circ} 39' 17''$  N και  $122^{\circ} 18' 23''$  W σε υψόμετρο 20.5 μέτρων. Αντίθετα, η συμβολική τοποθεσία περιέχει αφηρημένες ιδέες για το που βρίσκεται κάτι: στην κουζίνα, δίπλα από το γραμματοκιβώτιο ή στο τρένο που πλησιάζει το Ντένβερ.

Ένα σύστημα που παρέχει μια φυσική θέση μπορεί συνήθως να επεκταθεί για να παρέχει σχετικές πληροφορίες συμβολικής τοποθεσίας μαζί με επιπλέον πληροφορίες, υποδομές ή και τα δύο. Για παράδειγμα, ένας φορητός υπολογιστής εφοδιασμένος με δέκτη GPS μπορεί να έχει πρόσβαση σε μια ξεχωριστή βάση δεδομένων που περιέχει τις θέσεις και τις γεωμετρικές περιοχές υπηρεσιών από άλλα αντικείμενα για να

παρέχει σε συμβολικές πληροφορίες σε εφαρμογές. Συνδέοντας τις θέσεις πραγματικού χρόνου ενός τρένου με μια βάση δεδομένων για κρατήσεις και έκδοση εισιτηρίων μπορεί να βοηθήσει στο να εντοπιστεί ένας επιβάτης σε ένα τρένο. Οι εφαρμογές μπορούν επίσης να χρησιμοποιήσουν την φυσική θέση για να προσδιορίσουν μια σειρά από συμβολικές πληροφορίες. Για παράδειγμα, μια εφαρμογή μπορεί να χρησιμοποιήσει μία μόνο φυσική θέση GPS για να βρει τον κοντινότερο εκτυπωτή, ενώ μια άλλη μπορεί να συνδέσει αυτή τη θέση με πληροφορίες ημερολογίου για να παρέχει πληροφορίες σχετικά με την παρούσα δραστηριότητα του ατόμου.

Η διάκριση μεταξύ φυσικής θέσης και συμβολικής τοποθεσίας είναι περισσότερο προφανής με κάποιες τεχνολογίες, παρά με κάποιες άλλες. Το GPS είναι καθαρά μια τεχνολογία φυσικής θέσης. Σαρωτές γραμμωτού κώδικα και συστήματα που παρακολουθούν τη δραστηριότητα login σε υπολογιστές είναι τεχνολογίες συμβολικής τοποθεσίας που βασίζονται περισσότερο στην εγγύτητα με γνωστά αντικείμενα. Παρόλα αυτά, κάποια συστήματα όπως το «Cricket» μπορούν να χρησιμοποιηθούν και με τους δύο τρόπους, ανάλογα με τη συγκεκριμένη ρύθμισή τους.

Η ανάλυση των συστημάτων φυσικής θέσης μπορεί να έχει επίδραση στην οριστικότητα της συμβολικής πληροφορίας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αντλήσουν. Για παράδειγμα, γνωρίζοντας που βρίσκεται ένα άτομο μέσα σε ένα κτίριο, εντός ακτίνας 10 μέτρων, μπορεί να είναι αναποτελεσματικός ο εντοπισμός ενός ατόμου σε ένα συγκεκριμένο δωμάτιο εξαιτίας της θέσης των τοίχων σε αυτή την ακτίνα 10 μέτρων. Τα συστήματα που χρησιμοποιούν καθαρά συμβολικές τοποθεσίες τυπικά παρέχουν φυσικές θέσεις χωρίς μεγάλη λεπτομέρεια. Η χρήση τους απαιτεί συχνά πολλαπλούς αναγνώστες ή αισθητήρες για την αύξηση της ακρίβειας.

#### *4.2.4.2 Απόλυτα και Σχετικά Συστήματα*

Ένα απόλυτο σύστημα εντοπισμού θέσης χρησιμοποιεί ένα διαμοιραζόμενο πίνακα αναφοράς για όλα τα εντοπιζόμενα αντικείμενα [5]. Για παράδειγμα, όλοι οι δέκτες GPS χρησιμοποιούν το γεωμετρικό μήκος ως και το υψόμετρο για να αναφέρουν τη

θέση . Δύο δέκτες GPS τοποθετημένοι στο ίδιο σημείο θα αναφέρουν τις ίδιες ενδείξεις θέσης ανεξαρτήτως του δέκτη GPS.

Σε ένα σχετικό σύστημα, κάθε αντικείμενο μπορεί να έχει το δικό του πλαίσιο αναφοράς. Για παράδειγμα, μια ομάδα διάσωσης που ψάχνει για θύματα χιονοστιβάδας σε ένα βουνό μπορεί να χρησιμοποιήσει υπολογιστές παλάμης για να εντοπίσει σήματα που ενεργοποιούνται από πομπούς των θυμάτων σε περίπτωση χιονοστιβάδας. Κάθε συσκευή του διασώστη αναφέρει τη θέση του θύματος σε σχέση με τον εαυτό της.

Μια απόλυτη θέση μπορεί να μετατραπεί σε σχετική θέση, σχετική με ένα δεύτερο σημείο αναφοράς. Παρόλα αυτά, δεν είναι πάντα διαθέσιμη μια δεύτερη απόλυτη θέση. Αντίθετα, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τριγωνοποίηση για τον καθορισμό ενός απόλυτου σημείου από πολλαπλές αναγνώσεις αν γνωρίζουμε την απόλυτη θέση του σημείου αναφοράς. Αλλά συχνά δε μπορούμε να γνωρίζουμε αυτές τις θέσεις αν τα σημεία αναφοράς είναι και αυτά κινητά. Έτσι, η διάκριση μεταξύ απόλυτης και σχετικής θέσης υποδηλώνει κυρίως τι πληροφορία είναι διαθέσιμη και πως τη χρησιμοποιεί το σύστημα, παρά τις όποιες εγγενείς δυνατότητες.

#### *4.2.4.3 Τοπικός Υπολογισμός της Θέσης*

Μερικά συστήματα παρέχουν δυνατότητα εντοπισμού και επιμένουν ότι το αντικείμενο που εντοπίζεται στην πραγματικότητα υπολογίζει την ίδια του τη θέση [5]. Αυτό το μοντέλο διασφαλίζει την ιδιωτικότητα απαγορεύοντας σε οποιαδήποτε άλλη οντότητα να γνωρίζει που βρίσκεται το αντικείμενο εκτός αν το αντικείμενο αναλάβει πρωτοβουλία να δημοσιεύσει αυτή την πληροφορία. Για παράδειγμα, οι δορυφόροι GPS που βρίσκονται σε τροχιά δεν γνωρίζουν τίποτα για το ποιος λαμβάνει τα σήματα που εκπέμπουν. Εξυπηρετητές με online χάρτες και παλαιομοδίτικοι οδικοί άτλαντες επίσης εμπίπτουν σε αυτή την κατηγορία.

Σε αντίθεση, μερικά συστήματα απαιτούν από το εντοπιζόμενο αντικείμενο να εκπέμπει περιοδικά, να απαντά ή διαφορετικά να εκπέμπει πληροφορίες τηλεμετρίας προκειμένου να το εντοπίσει η εξωτερική υποδομή. Η υποδομή μπορεί να βρει αντικείμενα στην δικαιοδοσία της χωρίς να εμπλέκει ευθέως τα αντικείμενα στον υπολογισμό. Τα συστήματα εντοπισμού που χρησιμοποιούν προσωπικές ετικέτες εμπίπτουν σε αυτή την κατηγορία, όπως και οι γραμμωτοί κώδικες και οι ετικέτες

ραδιοσυχνοτήτων που αποτρέπουν την κλοπή εμπορευμάτων, παρακολουθούν μεταφερόμενα εμπορεύματα και βοηθούν στον εντοπισμό εκτρεφόμενων ζώων στους αγρούς. Δίνοντας περισσότερο βάρος στην υποδομή μειώνονται οι απαιτήσεις σε υπολογισμούς και ενέργεια των αντικειμένων που εντοπίζονται, πράγμα που επιτρέπει την ανάπτυξη πολύ περισσότερων εφαρμογών, εξαιτίας του χαμηλού κόστους.

Η πολιτική για την εκμετάλλευση των πληροφοριών θέσης δεν απαιτείται να είναι εκεί όπου πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί. Για παράδειγμα, ένα σύστημα με επίπεδα πρόσβασης μπορεί να παρέχει ιδιωτικότητα για το ιστορικό μετακινήσεων σε ένα σύστημα εντοπισμού προσωπικού ενώ συνεχίζει να επιτρέπει στην υποδομή να πραγματοποιεί υπολογισμούς θέσης. Αυτό, βέβαια, επιβάλλει μια απαιτούμενη αξιοπιστία στον έλεγχο πρόσβασης.

#### *4.2.4.4 Ακρίβεια Θέσης και Μεθόδου*

Ένα σύστημα εντοπισμού θέσης θα πρέπει να αναφέρει τις θέσεις με ακρίβεια και συνέχεια από μέτρηση σε μέτρηση [5]. Μερικοί φθηνοί δέκτες GPS μπορούν να υπολογίσουν θέσεις με ακρίβεια 10 μέτρα για περίπου το 95% των μετρήσεων. Πιο ακριβοί διαφορικοί δέκτες συνήθως φθάνουν ακρίβειες 1-3 μέτρα το 99% του χρόνου. Αυτές οι αποστάσεις αποτελούν την ακρίβεια θέσης, ή το μέγεθος κόκκου, της πληροφορίας που μπορεί να παρέχει το GPS. Τα ποσοστά αποτελούν την ακρίβεια της μεθόδου, ή πόσο συχνά μπορούμε να αναμένουμε να έχουμε αυτή την ακρίβεια θέσης.

Προφανώς, αν μπορούμε να ανεχτούμε λιγότερη ακρίβεια θέσης, θα ήταν δυνατόν να την ανταλλάξουμε με αυξημένη ακρίβεια της μεθόδου. Έτσι, πρέπει να τοποθετήσουμε και τις δύο παραμέτρους σε ένα κοινό πλαίσιο για σύγκριση. Για να πετύχουμε μια περιεκτική και ποσοτική περίληψη της ακρίβειας θέσης και μεθόδου, μπορούμε να μελετήσουμε την κατανομή σφάλματος που προκύπτει κατά τον εντοπισμό αντικειμένων, μαζί με κάθε είδους εξαρτήσεις, όπως την απαιτούμενη πυκνότητα των στοιχείων της υποδομής. Για παράδειγμα, «χρησιμοποιώντας πέντε σταθμούς βάσης ανά 300 τετραγωνικά μέτρα εσωτερικού χώρου, το σύστημα εντοπισμού θέσης X μπορεί να εντοπίσει αντικείμενα με περιθώρια σφάλματος που καθορίζονται από μια γκαουσιανή κατανομή με κέντρο την πραγματική θέση των αντικειμένων και τυπική απόκλιση 2 μέτρων».

Το «κράμα» αισθητήρων προσπαθεί να βελτιώσει την ακρίβεια θέσης και μεθόδου ενσωματώνοντας πολλά συστήματα εντοπισμού θέσης για να σχηματίσει ιεραρχικά και επικαλυπτόμενα επίπεδα ανάλυσης. Η στατιστική συγχώνευση κατανομών σφαλμάτων είναι ένας αποδοτικός τρόπος για την αξιολόγηση του συνδυασμένου αποτελέσματος των πολλαπλών αισθητήρων.

Οι κοινότητες « Ad hoc sensor networking» και «Smart dust» συχνά αναφέρονται στο θέμα της εναρμονισμένης πιστότητας. Ένα σύστημα εντοπισμού θέσης με αυτή την ικανότητα μπορεί να ρυθμίσει την ακρίβεια της μεθόδου του σε απάντηση με δυναμικές καταστάσεις, όπως τμηματικά σφάλματα ή οδηγίες για εξοικονόμηση ενέργειας των μπαταριών.

Συχνά, αξιολογούμε την ακρίβεια θέσης ενός συστήματος εντοπισμού για να προσδιορίσουμε αν είναι κατάλληλο για μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Οι εγκαταστάσεις σύλληψης κίνησης που υποστηρίζουν το computer animation παρουσιάζουν χωρικό εντοπισμό θέσης της τάξης εκατοστού του μέτρου και ακριβή ανάλυση ως προς το χρόνο. Αλλά οι περισσότερες εφαρμογές δεν απαιτούν ακρίβεια τέτοιου επιπέδου. Οι ετικέτες GPS μπορεί να αποδειχτούν ικανοποιητικές για τους βιολόγους σχετικά με τη μετανάστευση μιας φάλαινας αν έχουν ακρίβεια ενός τετραγωνικού χιλιομέτρου. Ένα προσωπικό σύστημα εντοπισμού θέσης για χρήση στο σπίτι ή στο γραφείο μπορεί να απαιτεί τόση ακρίβεια ώστε να απαντήσει στην ερώτηση «Σε ποιο δωμάτιο βρισκόμουν το μεσημέρι;», αλλά όχι «Σε ποιο σημείο βρισκόταν ο αριστερός μου αντίχειρας στις 12:22:34 μμ με ακρίβεια κυβικού εκατοστού;».

#### 4.2.4.5 Κλίμακα

Ένα σύστημα εντοπισμού θέσης μπορεί να είναι σε θέση να εντοπίσει αντικείμενα παγκοσμίως, μέσα σε μια μητροπολιτική περιοχή, σε μια πανεπιστημιούπολη, σε ένα συγκεκριμένο κτίριο, ή μέσα σε ένα και μόνο δωμάτιο [5]. Επιπρόσθετα, ο αριθμός των αντικειμένων που το σύστημα μπορεί να εντοπίσει με μια συγκεκριμένη υποδομή ή μέσα σε συγκεκριμένο χρόνο μπορεί να είναι περιορισμένος. Για παράδειγμα, το GPS μπορεί να εξυπηρετήσει απεριόριστο αριθμό δεκτών παγκοσμίως χρησιμοποιώντας 24 δορυφόρους και τρεις εφεδρικούς. Από την άλλη, κάποιος



ηλεκτρονικοί αναγνώστες ετικετών δεν μπορούν να διαβάσουν κάθε ετικέτα αν περισσότερες από μια βρίσκονται εντός ακτίνας.

Για να αξιολογήσουμε την κλίμακα ενός συστήματος εντοπισμού θέσης, μελετούμε την περιοχή που καλύπτει ανά μονάδα υποδομής και τον αριθμό των αντικειμένων που μπορεί να εντοπίσει ανά μονάδα υποδομής και ανά κάποιο χρονικό διάστημα. Ο χρόνος αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα λόγω του περιορισμένου διαθέσιμου εύρους ζώνης στα παρακολουθούμενα αντικείμενα. Για παράδειγμα, μια τεχνολογία βασισμένη στις ραδιοσυχνότητες μπορεί να αντέξει ένα μέγιστο αριθμό επικοινωνιών πριν το κανάλι υποστεί συμφόρηση. Πέρα από αυτό το κατώφλι, είτε θα αυξηθεί ο χρόνος απόκρισης στον υπολογισμό της θέσης των αντικειμένων, είτε θα μειωθεί η ακρίβεια, επειδή το σύστημα υπολογίζει τις θέσεις των αντικειμένων με μικρότερη συχνότητα.

Τα συστήματα μπορούν συχνά να αυξηθούν σε μεγαλύτερη κλίμακα αυξάνοντας την υποδομή. Για παράδειγμα, ένα σύστημα ετικετών που εντοπίζει αντικείμενα σε ένα μόνο κτίριο μπορεί να λειτουργήσει σε μια πανεπιστημιούπολη εξοπλίζοντας όλα τα κτίρια και τους εξωτερικούς χώρους με την απαραίτητη υποδομή αισθητήρων. Περιορισμοί στην κλιμάκωση σε ένα σύστημα εντοπισμού θέσης δεν περιλαμβάνουν μόνο το κόστος της υποδομής αλλά και την πολυπλοκότητα του σχεδιασμού. Μπορεί να αποδειχθεί δύσκολη η διαχείριση μεγαλύτερων και πιο κατανεμημένων βάσεων δεδομένων για μια εφαρμογή κλίμακας όσο μια πανεπιστημιούπολη.

#### *4.2.4.6 Αναγνώριση*

Για εφαρμογές που απαιτούν την αναγνώριση ή την κατηγοριοποίηση των εντοπιζόμενων αντικειμένων ώστε να έχουν μια προβούν σε μια συγκεκριμένη ενέργεια βασισμένη στη θέση, απαιτείται ένας αυτόματος μηχανισμός ταυτοποίησης [5]. Για παράδειγμα, ένα σύγχρονο σύστημα διαχείρισης αποσκευών σε ένα αεροδρόμιο χρειάζεται να κατευθύνει αυτόματα τις εισερχόμενες και τις εξερχόμενες αποσκευές στις σωστές πτήσεις ή στον ταινιόδρομο παραλαβής αποσκευών από τους επιβάτες. Ένα σύστημα βασισμένο στην τεχνική της εγγύτητας αποτελούμενο από αναγνώστες ετικετών που έχουν εγκατασταθεί σε σημεία κλειδιά κατά μήκος των αυτόματων διαδρόμων αποσκευών καθιστά την αναγνώριση ένα απλό θέμα

εκτυπώνοντας τους κατάλληλους κώδικες προορισμών πάνω στις αυτοκόλλητες ετικέτες αποσκευών κατά το check-in.

Τα συστήματα με δυνατότητα αναγνώρισης μπορούν να αναγνωρίσουν μόνο ορισμένους τύπους χαρακτηριστικών. Για παράδειγμα, οι κάμερες και τα συστήματα όρασης μπορούν εύκολα να ξεχωρίσουν ένα χρώμα ή το σχήμα ενός αντικειμένου, αλλά δεν μπορούν να αναγνωρίσουν αυτόματα ανθρώπους.

Μια γενική τεχνική για την παροχή δυνατότητας αναγνώρισης αποδίδει ονόματα ή μοναδικά IDs στα αντικείμενα που εντοπίζει το σύστημα. Όταν μια ετικέτα ή κονκάρδα που βρίσκεται πάνω σε ένα αντικείμενο αποκαλύψει την μοναδική ID του, η υποδομή μπορεί να έχει πρόσβαση σε μια εξωτερική βάση δεδομένων για να αναζητήσει το όνομα, το είδος ή άλλες πληροφορίες για το αντικείμενο. Μπορεί επίσης να συνδυάσει την μοναδική ID με άλλες πληροφορίες των συμφραζομένων ώστε να ερμηνεύσει αυτό το αντικείμενο διαφορετικά κάτω από διάφορες περιπτώσεις. Για παράδειγμα, ένα άτομο μπορεί να πληροφορηθεί τις περιγραφές των αντικειμένων μέσα σε ένα μουσείο σε μια συγκεκριμένη γλώσσα. Η υποδομή μπορεί επίσης να αναστρέψει το μοντέλο των μοναδικών IDs για να εκτέμψει IDs όπως URL που μπορούν να αναγνωρίζουν να χρησιμοποιήσουν φορητά αντικείμενα.

#### 4.2.4.7 Κόστος

Μπορούμε να αξιολογήσουμε το κόστος ενός συστήματος εντοπισμού θέσης σε πολλούς τρόπους [5]. Το κόστος σε χρόνο περιλαμβάνει παράγοντες όπως τη διάρκεια της διαδικασίας εγκατάστασης και τις ανάγκες διαχείρισης του συστήματος. Το κόστος σε χρόνο περικλείει την ποσότητα της εγκατεστημένης υποδομής και το μέγεθος του εξοπλισμού.

Το κόστος κεφαλαίου περιλαμβάνει παράγοντες όπως την τιμή κάθε φορητής μονάδας ή στοιχείου της υποδομής και τους μισθούς του προσωπικού υποστήριξης. Για παράδειγμα, οι δέκτες GPS απαιτούν μια κεραία επαρκούς μεγέθους για ικανή δορυφορική λήψη και μπορεί να απαιτούν μια δεύτερη κεραία για να λαμβάνουν το επίγειο διαφορικό σήμα. Το προσωπικό υποστήριξης του σταθμού βάσης US Air Force του GPS πρέπει να επιτηρούν συχνά την κατάσταση των δορυφόρων GPS.

Επιπλέον, η κατασκευή και η εκτόξευση των δορυφόρων απαιτήσε μια μεγάλη επένδυση κεφαλαίου από την αμερικανική κυβέρνηση.

Ένας απλός δέκτης GPS για πολιτική χρήση κοστίζει περίπου 100\$ και αντιπροσωπεύει το αυξητικό κόστος για να γίνει ένα αντικείμενο ανεξάρτητα εντοπισμο στην θέση που βρίσκεται παγκοσμίως. Ένα σύστημα που χρησιμοποιεί υπέρυθρους πομπούς για την εκπομπή IDs δωματίων απαιτεί έναν πομπό σε κάθε δωμάτιο στο οποίο οι χρήστες θέλουν το σύστημα να τους εντοπίσει. Σε αυτή την περίπτωση και η υποδομή και το αντικείμενο που εντοπίζεται από το σύστημα συμβάλλουν στο αυξητικό κόστος.

#### *4.2.4.8 Περιορισμοί*

Κάποια συστήματα δεν μπορούν να λειτουργήσουν σε συγκεκριμένα περιβάλλοντα [5]. Μια δυσκολία με το GPS είναι ότι οι δέκτες συνήθως δεν ανιχνεύουν τις εκπομπές των δορυφόρων σε εσωτερικούς χώρους. Αυτός ο περιορισμός έχει επιπτώσεις στο είδος των εφαρμογών που μπορούμε να αναπτύξουμε χρησιμοποιώντας το GPS. Για παράδειγμα, επειδή τα περισσότερα σταθερά τηλέφωνα βρίσκονται σε εσωτερικούς χώρους, ακόμη κι αν η ακρίβεια θέσης και μεθόδου του ήταν αρκετά υψηλές για να το καταστήσουν δυνατό, το GPS δεν παρέχει επαρκή υποστήριξη σε μια εφαρμογή που δρομολογεί τις κλήσεις στο σταθερό τηλέφωνο που είναι πιο κοντά στον αποδέκτη της κλήσης. Μια πιθανή λύση που διατηρεί την αλληλεπίδραση του GPS και λειτουργεί σε εσωτερικούς χώρους είναι η τοποθέτηση επαναληπτών στις γωνίες των κτιρίων για να επανεκπέμπουν τα σήματα μέσα στο κτίριο.

Μερικά συστήματα ετικετών μπορούν να διαβάσουν τις ετικέτες σωστά μόνο όταν μια και μόνο ετικέτα είναι παρούσα. Σε κάποιες περιπτώσεις, συστήματα που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα αντιμετωπίζουν παρεμβολές. Γενικά, αξιολογούμε τους λειτουργικούς περιορισμούς εξετάζοντας τα χαρακτηριστικά των τεχνολογιών που εφαρμόζει το σύστημα εντοπισμού θέσης.

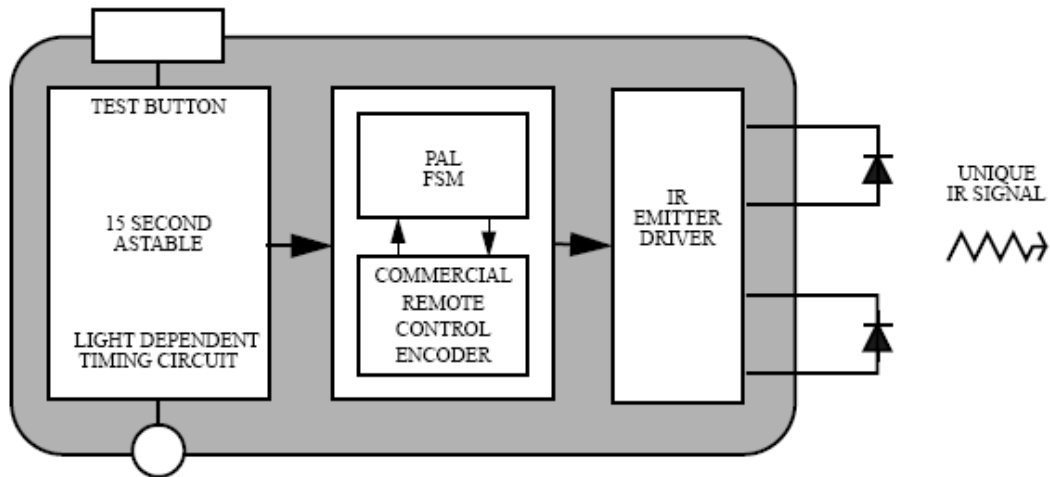
## 4.3 Προϊόντα

### 4.3.1 Active Badge

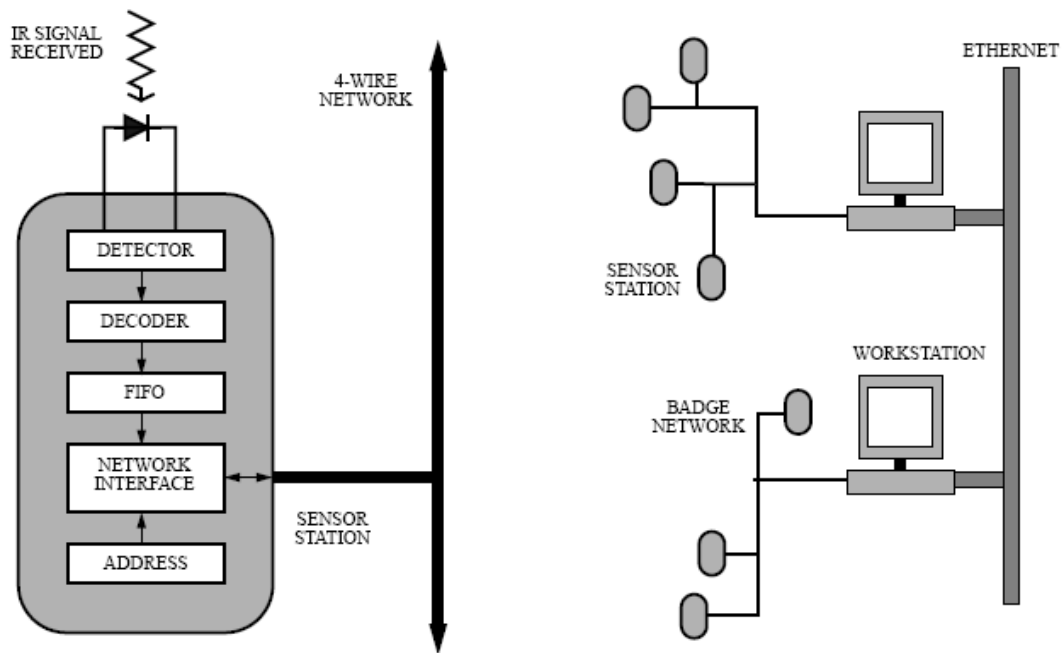
Ο Want και οι συνεργάτες του πρότειναν το σύστημα εντοπισμού Active Badge το 1992 [6]. Η λύση της στο πρόβλημα του αυτόματου καθορισμού της θέσης της προσώπου ήταν να σχεδιάσουν μια αναγνωριστική κάρτα που να μπορεί να φορεθεί και η οποία εκπέμπει ένα μοναδικό κωδικό κάθε 15 δευτερόλεπτα. Αυτά τα σήματα λαμβάνονταν στη συνέχεια από αισθητήρες σε όλο το κτίριο. Ένας κεντρικός σταθμός δεχόταν τα σήματα από τους αισθητήρες και επεξεργαζόταν τα δεδομένα, ώστε να είναι διαθέσιμα σε διάφορες εφαρμογές και να παρασταθούν σε γραφικό περιβάλλον. Μεταξύ της αναγνωριστικής κάρτας και του αισθητήρα χρησιμοποιούνταν υπέρυθρους παλμούς (IR), διαμορφωμένους κατά πλάτος. Η εμβέλεια των σημάτων αυτών ήταν περίπου 6 μέτρα και δεν μπορούσαν να διαπεράσουν τοίχους. Έτσι, έπρεπε να εγκατασταθεί τουλάχιστον της αισθητήρας σε κάθε δωμάτιο, ενώ απαιτούνταν περισσότεροι για πιο πολύπλοκα δωμάτια. Επειδή η κάθε αναγνωριστική κάρτα εκπέμπει ένα σήμα διάρκειας 1/10 του δευτερολέπτου κάθε 15 δευτερόλεπτα, υπάρχει πιθανότητα 2/150 σύγκρουσης δύο σημάτων που προέρχονται από διαφορετικές ετικέτες στον ίδιο χώρο. Για να αποφευχθεί αυτό, επιλέχθηκαν ταλαντωτές για τις κάρτες με ανοχή 10%, ώστε ακόμη κι αν τύχει να συγχρονίσουν την εκπομπή τους δύο κάρτες, να χάσουν αυτό το συγχρονισμό μέσα σε λίγες περιόδους.

Ο σχεδιασμός του συστήματος επέτρεπε σε ένα ανεξάρτητο δίκτυο να υποστηρίξει μέχρι 128 αισθητήρες που να ελέγχονται από την θύρα RS232 ενός υπολογιστή. Αυτή η προσέγγιση επέτρεπε σε ένα δίκτυο υπολογιστών μέσω Ethernet να υποστηρίξει πολλαπλά δίκτυα ετικετών. Τα δεδομένα των υπολογιστών στέλνονταν σε έναν κεντρικό εξυπηρετητή από συμβατικά πρωτόκολλα δικτύων. Το δίκτυο ετικετών πρέπει να συνδέει όλες τις περιοχές ενός κτιρίου με μια συγκεκριμένη τοπολογία. Επιπλέον, απαιτείται η τροφοδότηση του δικτύου με ηλεκτρικό ρεύμα, επειδή δεν είναι δυνατή η μεμονωμένη τροφοδότηση κάθε αισθητήρα ξεχωριστά. Για το σκοπό αυτό, το δίκτυο αισθητήρων - ετικετών σχεδιάστηκε σαν ένα σύστημα τεσσάρων αγωγών. Οι δύο από αυτούς χρησιμοποιούνται για την παροχή ενέργειας, ο τρίτος αγωγός για τις πληροφορίες διευθυνσιοδότησης επιτρέποντας την υποβολή ενός σταθμού και το τέταρτο για τη μεταφορά δεδομένων προς τον αισθητήρα. Τα

καλώδια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα συμβατικά τηλεφωνικά, κι έτσι ήταν δυνατή η χρησιμοποίηση τυχόν ελεύθερων τηλεφωνικών καλωδίων που ήταν ήδη εγκατεστημένα στο κτίριο.



Εικόνα 10: Η διάταξη του κυκλώματος μια ετικέτας (ΠΗΓΗ [6]).



Εικόνα 11: Το κύκλωμα ενός αισθητήρα και η τοπολογία του δικτύου (ΠΗΓΗ [6]).

Το πρόγραμμα εντοπισμού των χρηστών που φέρουν τις ετικέτες αρχικά χρησιμοποιήθηκε για τη χρήση από το τηλεφωνικό κέντρο μιας επιχείρησης ή ενός οργανισμού, ώστε οι κλήσεις να δρομολογούνται σε κάποιο τηλέφωνο κοντά στο

σημείο ή στο δωμάτιο που βρίσκεται ο χρήστης. Δίπλα από κάθε όνομα του ατόμου που φέρει την ετικέτα υπάρχουν δύο πληροφορίες: η τοποθεσία που βρίσκεται και η πιθανότητα να βρίσκεται εκεί. Αν η πιθανότητα είναι κάτω από 100%, σημαίνει ότι ο χρήστης κινείται, ενώ αν δεν ληφθεί σήμα από το χρήστη για 5 λεπτά, τότε εμφανίζεται η τελευταία ώρα που βρισκόταν στο σημείο αυτό. Τέλος, αν δεν ληφθεί κανένα σήμα για 24 ώρες, τότε εμφανίζεται η ένδειξη “AWAY”.

ORL/STL Active Badge Project					
Name	Location	Prob.	Name	Location	Prob.
P Ainsworth	X343 Accs	100%	J Martin	X310 Mc Rm	100%
T Blackie	X222 DVI Rm.	80%	O Mason	X307 Lab	77%
M Chopping	X410 R302	TUE.	D Milway	X307 Drill	AWAY
D Clarke	X316 R321	10:30	B Miners	X202 DVI Rm.	10:40
V Falcao	X218 R435	AWAY	P Mital	X213 PM	11:20
D Garnett	X232 R310	100%	J Porter	X398 Lib.	100%
J Gibbons	X0 Rec.	AWAY	B Robertson	X307 Lab	100%
D Greaves	X304 F3	MON.	C Turner	X307 Lab.	MON.
A Hopper	X434 AH	100%	R Want	X309 Meet. Rm.	77%
A Jackson	X308 AJ	90%	M Wilkes	X300 MW	100%
A Jones	X210 Coffee	100%	I Wilson	X307 Lab.	100%
T King	X309 Meet. Rm.	11:20	S Wray	X204 SW	11:20
D Lioupis	X304 R311	100%	K Zielinski	X402 Coffee	100%

12.00 1st January 1990

Εικόνα 12: Το πρόγραμμα εντοπισμού των χρηστών (ΠΗΓΗ [6]).

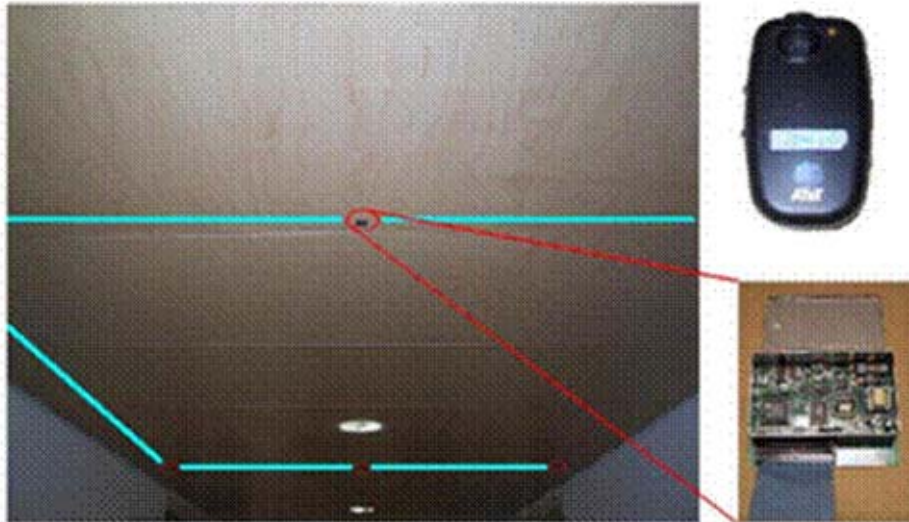
Οι άνθρωποι έπρεπε να φορούν ειδικές κονκάρδες, έξω από τα ρούχα τους, επειδή τα σήματα διαδίδονταν μέσω την οπτικής επαφής. Το καλύτερο σημείο είναι στο ύψος του στήθους του ατόμου, αλλά πολλοί προτιμούν να φορούν τις ετικέτες στη ζώνη, πράγμα που προκαλεί προβλήματα όταν κάθονται πίσω από ένα γραφείο. Το συνολικό κόστος των αισθητήρων, των αναγνωριστικών καρτών, της καλωδίωσης και της εγκατάστασης ήταν υψηλό, ειδικά όταν έπρεπε να καλυφθεί ένα μεγάλο κτίριο. Δεν είχε προβλεφθεί η επικάλυψη των περιοχών κάλυψης των αισθητήρων. Ακόμα κι αν πολλοί αισθητήρες λάμβαναν σήματα από την ίδια αναγνωριστική κάρτα, αυτή η πληροφορία έμενε αχρησιμοποίητη στην αύξηση της ακρίβειας. Τέλος, δεν λαμβάνονταν υπόψιν τα χαρακτηριστικά του σήματος για να υποδειχθεί η ακριβής θέση μέσα στο δωμάτιο.

### 4.3.2 *Active Bat*

Σε πιο πρόσφατη τους εργασία, οι ερευνητές του AT&T ανέπτυξαν το σύστημα εντοπισμού θέσης «Active Bat» [4], το οποίο χρησιμοποιεί μια τεχνική τριγωνοποίησης βασισμένη σε μετρήσεις αποστάσεων, αξιοποιώντας το «χρόνο πτήσης» υπερήχων. Η τεχνική αυτή παρέχει ακριβέστερη φυσική θέση από το σύστημα «Active Badge». Οι χρήστες και τα αντικείμενα φέρουν ετικέτες Active Bat. Σε απάντηση μιας αίτησης που στέλνει ο ελεγκτής μέσω ραδιοκύματος μικρής εμβέλειας, η ετικέτα εκπέμπει έναν υπερηχητικό παλμό σε ένα πλέγμα δεκτών που είναι προσαρτημένοι στην οροφή. Την ίδια στιγμή που στέλνει ο ελεγκτής το πακέτο αίτησης μέσω ραδιοσυχνότητας, στέλνει επίσης ένα συγχρονισμένο σήμα επαναφοράς στους αισθητήρες οροφής χρησιμοποιώντας ένα ενσύρματο σειριακό δίκτυο. Κάθε αισθητήρας οροφής μετρά τη χρονική περίοδο μεταξύ του σήματος επαναφοράς και της άφιξης του υπερηχητικού παλμού και υπολογίζει την απόστασή του από την ετικέτα. Τότε, ο τοπικός ελεγκτής προωθεί τις μετρήσεις απόσταση σε έναν κεντρικό ελεγκτή, ο οποίος πραγματοποιεί τους υπολογισμούς της τριγωνοποίησης. Η στατιστική αποκοπή ελαχιστοποιεί τις λανθασμένες μετρήσεις των αισθητήρων που προκαλούνται από τη λήψη ενός υπερηχητικού παλμού από έναν αισθητήρα οροφής ύστερα από ανάκλαση κι όχι μέσω της απευθείας διάδοσής του από την ετικέτα προς τον αισθητήρα.

Το σύστημα, όπως αναφέρθηκε το 1999, μπορεί να εντοπίσει ετικέτες σε ακτίνα 9 εκατοστών από την πραγματική του θέση για το 95% των μετρήσεων, ενώ βρίσκονται σε εξέλιξη εργασίες για την περαιτέρω βελτίωση της παραπάνω ακρίβειας. Μπορεί επίσης να υπολογίσει πληροφορίες προσανατολισμού δοθέντων στοιχείων για την τοποθέτηση των ετικετών στο αντικείμενο εκ των προτέρων. Κάθε ετικέτα Bat έχει μια μοναδική ID για διευθυνσιοδότηση και αναγνώριση.

Η χρήση της τεχνολογίας «χρόνου πτήσης» των υπερήχων απαιτεί μια μεγάλη υποδομή σταθερών αισθητήρων σε όλη την οροφή και είναι αρκετά ευαίσθητη στην ακριβή τοποθέτηση αυτών των αισθητήρων. Έτσι, η κλιμάκωση, η ευκολία εφαρμογής και το κόστος είναι τα μειονεκτήματα αυτής της προσέγγισης.



Εικόνα 13: Η διάταξη των αισθητήρων του συστήματος Active Bat, καθώς και η ετικέτα που φέρουν τα άτομα και τα αντικείμενα των οποίων παρακολουθείται η θέση (ΠΗΓΗ [4]).

### 4.3.3 Cricket

Το σύστημα Cricket αναπτύχθηκε το 2000 από τον Priyantha και της συνεργάτες του [7]. Είναι ένα σύστημα για εφαρμογές εντοπισμού θέσης εσωτερικού χώρου. Επιτρέπει σε κινητούς και στατικούς κόμβους να μαθαίνουν τη φυσική της θέση χρησιμοποιώντας δέκτες που λαμβάνουν και αναλύουν πληροφορίες από πομπούς τοποθετημένους σε όλο το κτίριο. Σε αντίθεση με το σύστημα Active Badge, ο εντοπισμός θέσης γίνεται από της συσκευές που φέρουν οι χρήστες κι όχι από έναν κεντρικό εξυπηρετητή. Έτσι, η συσκευή ελέγχει της πληροφορίες θέσης και μπορεί να αποφασίσει σε ποιον θα της δημοσιοποιήσει και σε ποια έκταση. Αυτό μετριάζει της φόβους για παραβίαση της ιδιωτικότητας, αλλά από την άλλη καθιστά αδύνατη τη δημιουργία εφαρμογών που παρέχουν εγγυημένα εύρεση θέσης. Το σύστημα Cricket χρησιμοποιεί πομπούς που στέλνουν πληροφορίες θέσης της δέκτες. Ο πομπός είναι μια μικρή συσκευή που τοποθετείται σε συγκεκριμένη θέση μέσα στο γεωγραφικό χώρο που πρόκειται να ορίζει, συνήθως στο ταβάνι ή στον τοίχο. Το μήνυμα που αποστέλλει και χρησιμοποιείται για την αναγνώριση της τοποθεσίας είναι με τη μορφή απλού κειμένου.

Για να αποκτήσει πληροφορία θέσης, κάθε συσκευή έχει έναν δέκτη συνδεδεμένο σε αυτή. Οι συσκευές μετρούν τη διάδοση των υπερηχητικών σημάτων που εκπέμπονται από τον πομπό της τη μια κατεύθυνση. Ο πομπός στέλνει πληροφορίες μέσω ραδιοσυχνότητας, μαζί με έναν υπερηχητικό παλμό. Όταν ο δέκτης λάβει το RF



σήμα, ανοίγει τον υπερηχητικό δέκτη και λαμβάνει τον υπερηχητικό παλμό, ο οποίος θα ληφθεί λίγο αργότερα επειδή η ταχύτητα του ήχου είναι μικρότερη από αυτή του φωτός. Ο δέκτης χρησιμοποιεί τη χρονική διαφορά μεταξύ των λήψεων του υπερηχητικού σήματος και του RF για να υπολογίσει την απόσταση από τον πομπό. Αυτό γίνεται για να εξακριβωθεί ποιος είναι ο κοντινότερος πομπός, του οποίου η πληροφορία θέσης θα ληφθεί για την εκτίμηση της θέσης του χρήστη.

#### **4.3.4 SpotON**

Η τεχνολογία SpotOn αναπτύχθηκε για να καλύψει την ανάγκη εντοπισμού κινητών χρηστών [8]. Με την συγκεκριμένη τεχνολογία είναι εφικτός ο εντοπισμός σε τρεις διαστάσεις (x,y,z) ενώ βασίζεται σε ανάλυση της ισχύος RF σημάτων. Ο στόχος της τεχνολογίας SpotOn ήταν να γίνει εφικτός ο εντοπισμός κινητών χρηστών μέσα σε εσωτερικούς χώρους. Με σκοπό να δοθούν στον χρήστη διάφορες νέες υπηρεσίες.

Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητο να διευκρινιστεί η διαφορά μεταξύ συστημάτων εντοπισμού θέσης (tracking) και συστημάτων πληροφορίας θέσης (positioning). Στα μεν positioning συστήματα υπάρχουν τα μέσα για να καθοριστεί η θέση του κινητού χρήστη αλλά η απόφαση βρίσκεται στην διακριτική ευχέρεια αυτού για να βρει αυτός εάν το επιθυμεί την θέση του. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιων συστημάτων είναι το γνωστό GPS (Global Positioning System) όπου ο χρήστης μπορεί όποτε εκείνος το επιθυμεί να ενημερώνεται για την θέση στην οποία βρίσκεται. Αντίθετα τα συστήματα εντοπισμού θέσης (tracking) παρακολουθούν την θέση του κινητού χρήστη χωρίς όμως να εμπλέκουν τον χρήστη σε αυτή την διαδικασία.

Πολλά συστήματα είναι υβριδικά μεταξύ των δύο τύπων, κάποιες φορές γιατί έτσι έχουν σχεδιαστεί και κάποιες φορές γιατί έτσι έχουν προγραμματιστεί να λειτουργούν. Πολλές φορές δε υπάρχουν συγκεκριμένα όρια στον τρόπο λειτουργίας τέτοιων συστημάτων για να προστατεύονται τα προσωπικά δεδομένα του εκάστοτε χρήστη.

Μέχρι σήμερα έχουν δημιουργηθεί πολλά διαφορετικά συστήματα που μπορούν να εντοπίζουν κινητούς χρήστες. Φυσικά το κάθε σύστημα βασίζεται σε διαφορετικές αρχές λειτουργίας και προορίζεται για διαφορετικές εφαρμογές εντοπισμού. Έτσι τα συστήματα που υπάρχουν διαφέρουν σημαντικά σε παραμέτρους όπως είναι η ακρίβεια, το κόστος υλοποίησης και λειτουργίας, το μέγεθος, η δυνατότητα

μετατροπής της λειτουργίας, η ευελιξία στην υιοθέτηση νέων τεχνολογιών σε υπάρχουσες, η ασφάλεια και η αξιοπιστία. Τέτοια συστήματα όπως έχουν αναφερθεί και σε άλλα κομμάτια της διπλωματικής εργασίας είναι το GPS (Global Positioning System), το Active Badges, το Xerox ParcTAB, το AT&T Cambridge Ultrasonics Bats, το Smart Floor από το τεχνολογικό πανεπιστήμιο της Georgia, πολλά συστήματα βασισμένα σε υπολογιστές και άλλα συστήματα βασισμένα σε κινητά τηλέφωνα. Το πρώτο σύστημα εντοπισμού θέσης κινητού χρήστη σε εσωτερικό χώρο αναπτύχθηκε από την AT&T σε συνεργασία με το Cambridge και είναι το Active Badges το οποίο περιγράφεται διεξοδικά στο αντίστοιχο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας. Η συνέχεια του Active Badges ήταν το Xerox ParcTAB. Και τα δύο συστήματα βασίζονται σε υπέρυθρες δέσμες που εκπέμπονται από τους κινητούς χρήστες. Κάθε δέσμη είναι μοναδική και αποτελεί την ταυτότητα του χρήστη. Οι δέσμες ανιχνεύονται από ειδικούς ανιχνευτές που είναι τοποθετημένοι στο χώρο του κτιρίου και στην συνέχεια τα δεδομένα στέλνονται σε έναν Server όπου επεξεργάζονται και προσφέρονται στις εφαρμογές που τα χρησιμοποιούν για να υπολογίζουν την θέση του κινητού χρήστη. Το Xerox ParcTAB κατάφερε να βελτιώσει το πρόβλημα της κατευθυντικότητας της IR δέσμης καθώς λειτουργεί σε 360°.

Το σύστημα SpotON ξεκίνησε με σκοπό να διαφοροποιηθεί από τα υπάρχοντα μέχρι τότε συστήματα εντοπισμού θέσης. Έτσι τέθηκε η εξής ιδέα. Γιατί να δημιουργηθεί καινούριο hardware και να μην γίνει κατάλληλη μετατροπή σε ήδη υπάρχον υλικό. Έτσι αποφασίστηκε από τους υπευθύνους να δοκιμαστεί ένα ήδη υπάρχον σύστημα που μετρά την ισχύ RF σημάτων. Το σύστημα ονομάζεται AIRID και αποτελεί δημιουργία της εταιρίας RFIDEAS. Μετά από μετρήσεις που έγιναν με το AIRID για να διαπιστωθεί αν είναι κατάλληλο για να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη του συστήματος τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά και έτσι αυτό χρησιμοποιήθηκε. Έτσι λοιπόν το μόνο που είχαν να κάνουν οι δημιουργοί του συστήματος SpotON αφού είχαν έτοιμο τον τρόπο να μετρούν το σήμα ήταν να μετατρέψουν κατάλληλα το AIRID έτσι ώστε να στέλνονται οι μετρήσεις σε κάποιον Server και να επιλέξουν τον τρόπο που θα χρησιμοποιούσαν για να υπολογίζουν την θέση του κινητού χρήστη. Να επιλέξουν δηλαδή τον κατάλληλο αλγόριθμο για τον εντοπισμό της θέσης. Ο αλγόριθμος ο οποίος χρησιμοποιήθηκε είχε ως σκοπό να ελαχιστοποιήσει το σφάλμα της μέτρησης της ισχύος. Βασίζεται στον εμπειρικό τύπο:

$$RSS=0.0236d^2-0.629d+4.781$$

Το μεγάλο πλεονέκτημα του συστήματος SpotOn είναι η ευελιξία καθώς μπορεί πολύ εύκολα να υποστηρίξει διάφορους μηχανισμούς διαχείρισης λόγω του υλικού που έχει αξιοποιηθεί. Παράλληλα μπορεί εύκολα να μετατραπεί ή και να αλλάξει ο αλγόριθμος ο οποίος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της θέσης. Όμως στο σύστημα SpotOn μπορεί κάθε φορά να δοθεί στους πελάτες η εκάστοτε θέση κάποιου κινητού χρήστη χωρίς να υπάρχει δυνατότητα αποθήκευσης των θέσεων ή ανάλυσης στο πεδίο του χρόνου από την πλευρά του Server. Παράλληλα οι εφαρμογές που τρέχουν στους πελάτες πρέπει να συμφωνούν με το API που υπάρχει στον Server.

**Αποτελέσματα :** Το SpotOn μπορεί να καθορίσει τη θέση του κινητού χρήστη ημιαξιόπιστα. Φυσικά υπάρχουν αρκετοί περιορισμοί στη λειτουργία και αξιοπιστία του συστήματος. Πρώτον παρόλο που το σύστημα αποδίδει επαρκώς για κάποιες εφαρμογές όπως έλεγχο αυτόματου φωτισμού, η συνολική ακρίβεια είναι αρκετά φτωχότερη από την επιθυμητή. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι η συχνότητα που μπορούν να λαμβάνονται οι μετρήσεις καθώς το έτοιμο hardware (AIRID) που χρησιμοποιήθηκε για να μετρά την στάθμη του σήματος χρειάζεται 10-20 sec. για να ολοκληρώσει μια μέτρηση απ όλους τους γειτονικούς σταθμούς βάσης. Οπότε όπως είναι κατανοητό υπάρχει πιθανότητα αν ο κινητός χρήστης κινείται με κάποια ταχύτητα μεταξύ αυτών των δευτερολέπτων να υπάρχει σημαντική διαφορά από τη μετρούμενη και την πραγματική θέση του χρήστη. Τέλος όσον αφορά το κόστος αυτό ανέρχεται στα 30-40\$.

#### **4.3.5 Ekahau**

Το σύστημα εντοπισμού θέσης Ekahau χρησιμοποιεί το πρότυπο ασύρματης δικτύωσης IEEE 802.11 και τις ετικέτες του wi-fi [9]. Η Ekahau Positioning Engine συλλέγει δεδομένα για τη θέση και την κατάσταση των ετικετών και χρησιμοποιώντας αλγορίθμους υπολογίζει με ακρίβεια τη θέση άλλων συσκευών που χρησιμοποιούν το πρότυπο IEEE 802.11, όπως φορητοί υπολογιστές, υπολογιστές παλάμης, κ.λπ.

Το σύστημα κάνει χρήση της υπάρχουσας υποδομής wi-fi ενός χώρου ή κτιρίου και δίνει τη δυνατότητα στο διαχειριστή του συστήματος να γνωρίζει τον αριθμό, τη θέση και την κατάσταση των ετικετών, οι οποίες μπορούν να στέλνουν πληροφορίες ανά

τακτά χρονικά διαστήματα. Επίσης, είναι δυνατή η αναφορά πληροφοριών από τις ετικέτες με την αλλαγή κινητικότητας του χρήστη ή του αντικειμένου που φέρει την ετικέτα ή με το πάτημα ενός κουμπιού της ετικέτας.

#### **4.3.6 Ubisense**

Το σύστημα εντοπισμού θέσης “Ubisense” [10] κάνει χρήση αισθητήρων υπερυρεϊας ζώνης, οι οποίοι εκπέμπουν παλμούς μικρής διάρκειας που είναι ευκολότεροι στο να φιλτραριστούν και να καθοριστεί ποια σήματα είναι σωστά και ποια προέρχονται από πολλαπλές ανακλάσεις. Επιπλέον, τα σήματα διαπερνούν εύκολα τοίχους, εξοπλισμό και ρουχισμό ελαττώνοντας σημαντικά το μέγεθος της υποδομής και εξαλείφουν την ανάγκη για επαναρρύθμιση του συστήματος όταν συμβεί κάποια χωροταξική αλλαγή. Τα σήματα υπερυρεϊας ζώνης έχουν το πλεονέκτημα ανοσίας απέναντι σε απώλειες πολλαπλών διαδρομών, αλλά όχι σε διασυμβολικές παρεμβολές.

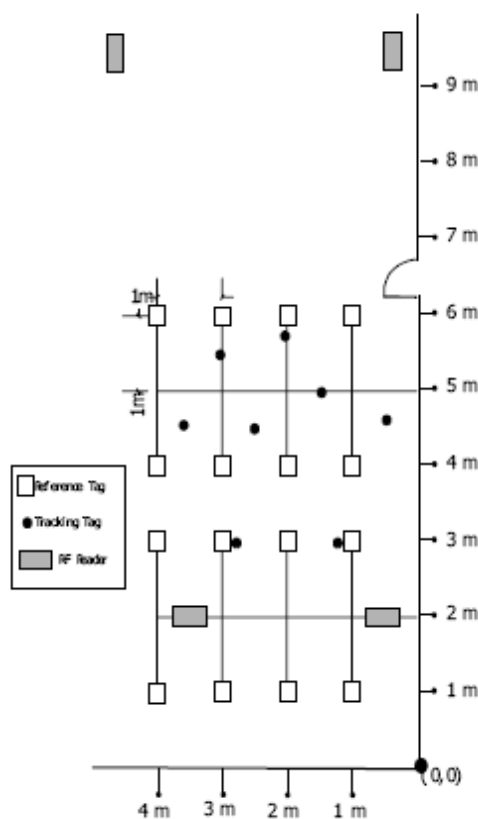
Ο εντοπισμός θέσης σε τρεις διαστάσεις καθορίζεται με 2 αλγορίθμους: TDOA και AOA. Το πλεονέκτημα είναι ότι μόνο δύο αισθητήρες αρκούν για ολόκληρο το σύστημα εντοπισμού, μειώνοντας έτσι την απαιτούμενη πυκνότητα των αισθητήρων σε σχέση με συστήματα που κάνουν χρήση μόνο τις μεθόδου TDOA.

Τόσο οι ετικέτες όσο και οι αισθητήρες έχουν τη δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας. Το σύστημα Ubisense μπορεί να αλλάξει δυναμικά το ρυθμό ανανέωσης των ετικετών, ενώ κουμπιά τοποθετημένα στις ετικέτες επιτρέπουν στο χρήστη να στείλει πληροφορίες και εντολές. Η συχνότητα που χρησιμοποιείται είναι 5.8 – 7.2 GHz, ενώ η ακρίβεια που επιτυγχάνεται σε τρεις διαστάσεις είναι 30 εκατοστά στο 95% του χρόνου.

#### **4.3.7 Landmarc**

Το σύστημα εντοπισμού θέσης “Landmarc” είναι ένα πρωτότυπο σύστημα εντοπισμού θέσης που προτάθηκε το 2003 από τον Lionel Ni και τους συνεργάτες του [11]. Το σύστημα βασίζεται στις τεχνολογίες της αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων. Το δίκτυο εντοπισμού θέσης περιλαμβάνει κυρίως αναγνώστες RF και ετικέτες RF. Οι αναγνώστες RF έχουν τη δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας κατά το πρότυπο

ασύρματης δικτύωσης IEEE 802.11b. Τις πληροφορίες που συλλέγουν από τις ετικέτες RF, τις αποστέλλουν σε ένα συγκεκριμένο εξυπηρετητή εντοπισμού θέσης. Συγκεκριμένα, οι αναγνώστες RF αναφέρουν συνεχώς την ισχύ του σήματος από έναν αριθμό ετικετών RF αναφοράς, οι οποίες είναι τοποθετημένες σε γνωστά σημεία. Για κάθε ετικέτα RF αναφοράς καταγράφεται ένα διάνυσμα με την ισχύ του σήματος από όλους τους αναγνώστες RF. Κατά την παρακολούθηση μιας άγνωστης ετικέτας που αντιστοιχεί σε έναν κινούμενο χρήστη, γίνεται σύγκριση των διανυσμάτων της ισχύος του σήματος με τα καταγεγραμμένα από τις ετικέτες αναφοράς. Ο αλγόριθμος απόφασης χρησιμοποιεί την πληροφορία του διανύσματος ισχύος σήματος της παρακολουθούμενης ετικέτας κι εκτιμά την πιθανή θέση με βάση ένα ή περισσότερα γειτονικά διανύσματα. Η ακρίβεια του συστήματος Landmark φτάνει τα 2 μέτρα και εξαρτάται από την πυκνότητα των αναγνωστών RF και των ετικετών RF αναφοράς. Παρόλα αυτά, το σύστημα αντιμετωπίζει προβλήματα υψηλού χρόνου απόκρισης λόγω του τρόπου κατασκευής των προϊόντων RFID και λόγω του χρονικού κενού για την αποτροπή σύγκρουσης σημάτων, όταν το σύστημα διαχειρίζεται μέχρι 500 ετικέτες.



Εικόνα 14: Συνήθης τοποθέτηση αναγνωστών RF και ετικετών RF αναφοράς (ΠΗΓΗ [11]).

#### 4.3.8 *Versus*

Το πληροφοριακό σύστημα “Versus” είναι ένα σύστημα εντοπισμού θέσης πραγματικού χρόνου που χρησιμοποιεί υπέρυθρη και τεχνολογία ενεργούς RFID [12]. Χρησιμοποιώντας απλά εξαρτήματα βοηθά στον εύκολο εντοπισμό ανθρώπων και αντικειμένων μέσα στο χώρο που εποπτεύει το σύστημα. Το σύστημα Versus χρησιμοποιεί ετικέτες που φοριούνται από ανθρώπους ή προσκολλώνται σε εξοπλισμό και εκπέμπουν σήματα, συμπεριλαμβανομένου και του μοναδικού κωδικού της ετικέτας. Καθώς οι άνθρωποι και ο εξοπλισμός μετακινούνται μέσα στην περιοχή εποπτείας, αισθητήρες τοποθετημένοι στο ταβάνι σε δωμάτια και διαδρόμους λαμβάνουν τα εκπεμπόμενα σήματα των ετικετών. Οι αισθητήρες στέλνουν τα δεδομένα στο πληροφοριακό σύστημα, στα οποία μπορούν να έχουν πρόσβαση τοπικοί, αλλά και απομακρυσμένοι χρήστες του συστήματος. Σε αντίθεση με τα ραδιοκύματα, οι υπέρυθρη ακτινοβολία δεν διαπερνά τοίχους και ταβάνια κι έτσι το σήμα κάθε ετικέτας παραμένει σε ένα συγκεκριμένο χώρο (δωμάτιο, διάδρομο, γραφείο), πράγμα που επιτρέπει στο σύστημα Versus να πετυχαίνει εντοπισμό θέσης σε επίπεδο δωματίου, χωρίς περαιτέρω ανάλυση του σήματος για μεγαλύτερη ακρίβεια.

#### 4.3.9 *MotionStar*

Ο εντοπισμός θέσης μέσω ηλεκτρομαγνητικών αισθητήρων αποτελεί μια κλασική μέθοδο. Ο μεγαλύτερος όγκος της έρευνας και των προϊόντων που υποστηρίζουν εικονική πραγματικότητα και σύλληψη κίνησης για computer animation συχνά προσφέρουν σύγχρονες προσεγγίσεις αυτής της τεχνολογίας. Για παράδειγμα, το σύστημα «Ascention» [14] προσφέρει μια ποικιλία από λύσεις σύλληψης της κίνησης, όπως επίσης και το σύστημα DC μαγνητικού εντοπισμού «MotionStar», όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Αυτά τα συστήματα παράγουν αξονικούς DC παλμούς μαγνητικού πεδίου από μια κεραία εκπομπής σε μια σταθερή θέση. Το σύστημα υπολογίζει τη θέση και τον προσανατολισμό των κεραιών λήψης μετρώντας την απόκριση στον μεταδιδόμενο πεδιακό παλμό στους τρεις ορθογώνιους άξονες, σε συνδυασμό με τις μόνιμες επιδράσεις του μαγνητικού πεδίου της Γης.

Συστήματα εντοπισμού όπως το MotionStar [13] αισθάνονται ακριβείς φυσικές θέσης σχετικές με την κεραία εκπομπής. Αυτά τα συστήματα προσφέρουν το πλεονέκτημα

της μεγάλης ακρίβειας θέσης και μεθόδου, της τάξης του μικρότερου από 1 mm χωρική ανάλυση, 1 ms χρονική ανάλυση και  $0,1^\circ$  δυνατότητα προσανατολισμού. Τα μειονεκτήματα περιλαμβάνουν το πολύ υψηλό κόστος της εφαρμογής και την ανάγκη να είναι συνδεδεμένο το εντοπιζόμενο αντικείμενο με τη μονάδα ελέγχου μέσω καλωδίων. Επιπλέον, οι αισθητήρες πρέπει να βρίσκονται σε απόσταση 1 έως 3 μέτρα από τον πομπό, ενώ τη ακρίβεια θέσης ελαττώνεται με την παρουσία μεταλλικών αντικειμένων στο περιβάλλον. Τα συστήματα αυτά δεν είναι σχεδιασμένα για να εφαρμοστούν σε εφαρμογές εντοπισμού θέσης μεγάλης κλίμακας. Αντίθετα, συλλαμβάνουν τη θέση σε ένα πλήρως ελεγχόμενο περιβάλλον.



**Εικόνα 15:** Το σύστημα μαγνητικού εντοπισμού DC MotionStar, ένα σύστημα ακριβείας που χρησιμοποιείται για τη σύλληψη κίνησης για εφαρμογές computer animation, εντοπίζει τη θέση και τον προσανατολισμό έως 108 αισθητήρων σε ένα αντικείμενο ή σκηνή. Τα μέρη τους συστήματος είναι οι κεραίες εκπομπής μαγνητικών παλμών (δεξιά κι αριστερά) και οι κεραίες λήψης και ο ελεγκτής (κέντρο) (ΠΗΓΗ [13]).

#### **4.3.10 RADAR**

Μια ερευνητική ομάδα της Microsoft ανέπτυξε το σύστημα RADAR, ένα ευρύ σύστημα εντοπισμού σε κτίρια βασισμένο στο πρότυπο ασύρματης δικτύωσης IEEE 802.11 [15].

Το RADAR μετρά την ισχύ του λαμβανόμενου σήματος και το σηματοθορυβικό λόγο των σημάτων που στέλνουν οι ασύρματες συσκευές στο σταθμό βάσης. Μετά χρησιμοποιεί αυτά τα δεδομένα για να υπολογίσει τη δυσδιάστατη θέση μέσα σε ένα κτίριο. Η Microsoft έχει αναπτύξει δύο εφαρμογές του RADAR: μία που χρησιμοποιεί ανάλυση τοπίου και μία άλλη που χρησιμοποιεί τριγωνοποίηση.

Η προσέγγιση του RADAR προσφέρει δύο πλεονεκτήματα: απαιτεί μόνο λίγους σταθμούς βάσης και χρησιμοποιεί την ίδια υποδομή που παρέχει στο κτίριο ασύρματη δικτύωση γενικής χρήσης. Όμως, το RADAR έχει δύο βασικά μειονεκτήματα. Το πρώτο είναι ότι το εντοπιζόμενο από το σύστημα αντικείμενο θα πρέπει να υποστηρίζει ασύρματη δικτύωση, πράγμα που αποτελεί περιορισμό για μικρές συσκευές ή με περιορισμένες δυνατότητες σε ενέργεια. Το δεύτερο είναι το πρόβλημα που προκύπτει όταν γενικεύεται το σύστημα RADAR σε πολυώροφα κτίρια ή σε τρισδιάστατο χώρο.

Η εφαρμογή ανάλυσης σκηνής του RADAR μπορεί να εντοπίσει αντικείμενα σε ακτίνα τριών μέτρων από την πραγματική τους θέση με 50% πιθανότητα, ενώ με την εφαρμογή τριγωνοποίησης ισχύος σήματος επιτυγχάνεται 4,3 μέτρα ακρίβεια θέσης στα ίδια επίπεδα πιθανότητας. Παρόλο που η ανάλυση σκηνής προσφέρει μεγαλύτερη ακρίβεια θέσης, σημαντικές αλλαγές στο περιβάλλον, όπως η μετακίνηση μιας μεταλλικής βιβλιοθήκης ή μεγάλες ομάδες ανθρώπων που συναθροίζονται σε δωμάτια ή διαδρόμους, μπορεί να απαιτήσουν την ανακατασκευή της προκαθορισμένης βάσης δεδομένων ισχύων σήματος ή τη δημιουργία μιας καινούριας βάσης δεδομένων.

Διάφορες εμπορικές εταιρείες, όπως η WhereNet και η Pinpoint, πωλούν πακέτα εντοπισμού θέσης σε ασύρματα δίκτυα, τα οποία λειτουργούν με όμοιο τρόπο όπως το RADAR. Το Pinpoint πραγματοποιεί εντοπισμό θέσης εσωτερικού χώρου χρησιμοποιώντας ένα σταθμό βάσης και ετικέτες για να μετρούν το «χρόνο πτήσης» των ραδιοκυμάτων. Το σύστημα Pinpoint επιτυγχάνει 1 έως 3 μέτρα ακρίβεια θέσης και προσφέρει ευκολότερη εγκατάσταση και διαχείριση, λόγω του ότι πρόκειται για εμπορικό προϊόν.

Το σύστημα Pinpoint έχει το μειονέκτημα ότι κάθε κεραία έχει μικρό πεδίο επιρροής, πράγμα που συνεπάγεται απαγορευτικό κόστος για την εφαρμογή μεγάλης έκτασης. Έτσι, το Pinpoint ταιριάζει καλύτερα σε εσωτερικούς χώρους όπως αποθήκες και νοσοκομεία. Τέλος, παρουσιάζει δυσκολίες όταν λειτουργεί μαζί με υποδομή



ασύρματης δικτύωσης 802.11 εξαιτίας παρεμβολών, επειδή το συγκεκριμένο φάσμα χρησιμοποιείται και από άλλες βιομηχανικές, επιστημονικές και ιατρικές εφαρμογές.

#### ***4.3.11 Smart Floor***

Το σύστημα εντοπισμού θέσης «Smart Floor» του πανεπιστημίου της Georgia χρησιμοποιεί την τεχνική της εγγύτητας [16]. Εμφυτευμένοι αισθητήρες πίεσης συλλαμβάνουν τα βήματα και το σύστημα χρησιμοποιεί τα δεδομένα για εντοπισμό θέσης και αναγνώριση πεζών. Αυτό το σύστημα δεν απαιτεί από τους ανθρώπους να φορούν ετικέτες. Παρόλα αυτά, το σύστημα έχει τα μειονεκτήματα της περιορισμένης κλιμάκωσης και τους υψηλού αυξητικού κόστους επειδή το δάπεδο κάθε κτιρίου που εγκαθίσταται το σύστημα Smart Floor πρέπει να τροποποιείται ώστε να εγκατασταθούν τα πλέγματα των αισθητήρων πίεσης.

### ***4.4 Συγκριτικός Πίνακας των Προϊόντων Εντοπισμού Θέσης***

<i>Τεχνολογία</i>	<i>Τεχνική</i>	<i>Φυσική Θέση</i>	<i>Συμβολική Τοποθεσία</i>	<i>Απόλυτο Σύστημα</i>	<i>Σχετικό Σύστημα</i>	<i>Τοπικός</i>		<i>Ακρίβεια</i>			
						<i>Υπολογισμός Θέσης</i>	<i>Αναγνώριση</i>	<i>Θέσης και Μεθόδου</i>	<i>Κλίμακα</i>	<i>Κόστος</i>	<i>Περιορισμοί</i>
GPS	Τριγωνοποίηση βασισμένη σε μετρήσεις αποστάσεων βάσει του «χρόνου πτήσης» ραδιο- κυμάτων	•		•		√		1-5 μέτρα (95-99%)	24 δορυφόροι παγκοσμίως	Ακριβή υποδομή, 100\$ οι δέκτες	Όχι σε εσωτερικούς χώρους
Active Badge	Διάδοση υπερύθρων, εγγύτητα		•	•			√	Μέγεθος δωματίου	1 σταθμός βάσης ανά δωμάτιο, 1 ετικέτα ανά σταθμό βάσης ανά 10 sec	Κόστος διαχείρισης, φθηνές ετικέτες και σταθμοί βάσης	Το ηλιακό φως και οι λάμπες φθορισμού προκαλούν παρεμβολές στο υπέρυθρο
Active Bat	Τριγωνοποίηση βασισμένη σε μετρήσεις αποστάσεων	•		•			√	9 cm (95%)	1 σταθμός βάσης ανά 10 τετραγωνικά	Κόστος διαχείρισης, φθηνές ετικέτες και	Απαιτείται πλέγμα αισθητήρων στην οροφή

	βάσει του «χρόνου πτήσης» υπερήχων						μέτρα, 25 υπολογισμοί ανά δωμάτιο ανά sec	αισθητήρες		
MotionStar	Ανάλυση σκηνής, τριγωνοποίηση	●	●		√	1 mm, 1 ms, 0,1° (σχεδόν 100%)	Ελεγκτής ανά σκηνή, 108 αισθητήρες ανά σκηνή	Ελεγχόμενες σκηνές, ακριβός εξοπλισμός	Ένωση με τη μονάδα ελέγχου με καλώδιο, ακριβής εγκατάσταση	
Cricket	Εγγύτητα, τριγωνοποίηση		●	○	○	√	Περιοχές 1,22 x 1,22 μέτρα (περίπου 100%)	1 δέκτης ανά 1,5 τετραγωνικό μέτρο	10\$ κάθε πομπός και δέκτης	Δεν γίνεται κεντρική διαχείριση των υπολογισμών των δεκτών
RADAR	IEEE 802.11 ανάλυση σκηνής και τριγωνοποίηση	●	●		√	3-4,3 μέτρα (50%)	3 σταθμοί βάσης ανά όροφο	Εγκατάσταση δικτύου 802.11, περίπου 100\$ για κάθε κάρτα ασύρματου	Απαιτούνται κάρτες ασύρματου δικτύου	

								δικτύου
PinPoint	Τριγωνοποίηση ραδιοκυμάτων βασισμένη σε μετρήσεις αποστάσεων	•	•	√	1-3 μέτρα	Πολλοί σταθμοί βάσης ανά κτίριο	Εγκατάσταση υποδομής, ακριβός εξοπλισμός	Πατενταρισμένο, παρεμβολές από το 802.11
Smart Floor	Επαφή, εγγύτητα	•	•	√	Απόσταση των αισθητή- ρων πίεσης (100%)	Πλέγμα αισθητήρων ανά δάπεδο	Εγκατάσταση του πλέγματος αισθητήρων, δημιουργία βάσης δεδομένων	Η αναγνώριση μπορεί να μην κλιμακώνεται σε μεγάλους πληθυσμούς
E911	Τριγωνοποίηση	•	•	√	150-300 μέτρα (95%)	Πυκνότητα της κυψελωτής υποδομής	Αναβάθμιση του υλικού του κινητού τηλεφώνου ή της υποδομής των κυψελών	Μόνο όπου υπάρχει κάλυψη του δικτύου
SpotON	Τριγωνοποίηση βασισμένη σε μετρήσει αποστάσεων	•	•	√	Εξαρτάται από το μέγεθος της	Συστοιχία τουλάχιστον 2 ετικετών	30\$ ανά ετικέτα, δεν απαιτείται υποδομή	Η εξασθένιση είναι λιγότερο ακριβής από το «χρόνο πτήσης»

					συστοι- χίας			
EkaHau	Τριγωνοποίηση, ανάλυση σκηνής	•	•	√	1 μέτρο (99%)	Δίκτυο σταθμών βάσης wi-fi	Κόστος wi-fi ετικετών, κόστος υποδομής wi- fi	Υποστηρίζονται μόνο οι wi-fi συσκευές, ή οι ετικέτες wi-fi
Ubinence	Τριγωνοποίηση παλμών υπερευρείας ζώνης (UWB)	•	•	√	30 cm (95%)	2 αισθητήρες UWB	Κόστος αισθητήρων, κόστος ετικετών	
Landmark	Ανάλυση σκηνής ισχύων σημάτων συχνοτήτων RF	•	•	√	2 μέτρα (95%)	Πλέγμα αναγνωστών RF	Κόστος αναγνωστών, κόστος ετικετών RF	
Versus	Υπέρυθρη ακτινοβολία, RFID	•	•	√	Μέγεθος δωματίου	1 αισθητήρας ανά δωμάτιο ή διάδρομο	Κόστος αισθητήρων, κόστος ετικετών	Χωρίς περεταίρω ανάλυση του σήματος για μεγαλύτερη ακρίβεια

**Πίνακας 3: Σύγκριση μεταξύ των υπάρχοντων τεχνολογιών εντοπισμού θέσης.**



# 5

## *Εντοπισμός Θέσεως Κινητού Τερματικού σε κυψελωτά δίκτυα*

Μέχρι σήμερα έχουν εμφανιστεί πολλές διαφορετικές τεχνικές εντοπισμού θέσης κάποιου κινητού τερματικού. Οι τεχνικές αυτές διαφέρουν ως προς το είδος του δικτύου πάνω στο οποίο μπορούν να υλοποιηθούν π.χ. ασύρματα δίκτυα ή κυψελωτά δίκτυα τηλεπικοινωνιών αλλά και τον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται ο εντοπισμός του χρήστη ως προς το αν γίνεται με την βοήθεια του κινητού τερματικού ή κατευθείαν από το δίκτυο. Έχουμε λοιπόν δύο βασικές τεχνικές:

1. Εύρεση θέσης μέσω του τηλεπικοινωνιακού δικτύου: Με βάση αυτή την προσέγγιση, το τερματικό είτε ανιχνεύεται αυτόματα από το δίκτυο, είτε στέλνει κάποιο σήμα, που επιτρέπει στο δίκτυο να βρει τη θέση του.
2. Εύρεση θέσης απευθείας από το κινητό τερματικό: Σε αυτή την περίπτωση, το ίδιο το τερματικό υπολογίζει τη θέση του με βάση σήματα που φθάνουν σε αυτό από σταθμούς βάσης. Το πιο γνωστό παράδειγμα τέτοιου τύπου εύρεσης θέσης είναι το Global Positioning System (GPS), στο οποίο οι σταθμοί βάσης είναι δορυφόροι και χρειάζεται η πληροφορία από τρεις μόλις δορυφόρους για να

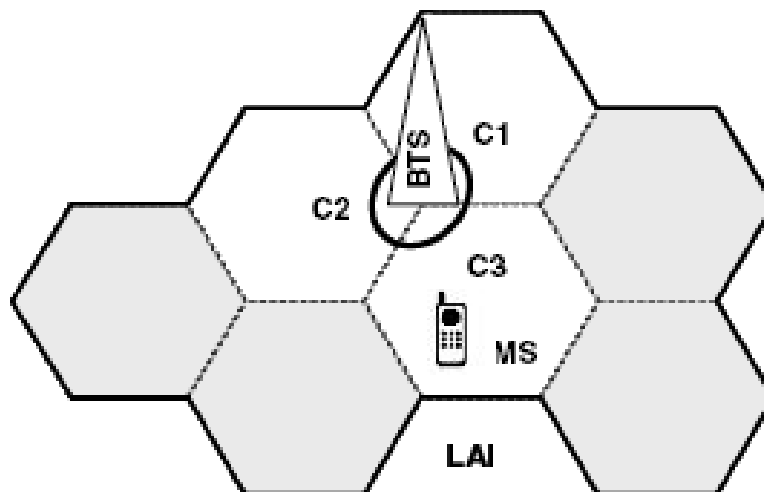
υπολογίσει το ίδιο το κινητό τερματικό την θέση του (στην συνέχεια το GPS αναλύεται διεξοδικότερα).

3. Εύρεση θέσης από το κινητό με υποβοήθηση του από το δίκτυο: Σε αυτή την περίπτωση το κινητό τερματικό έχει την δυνατότητα να εντοπίσει την θέση στην οποία βρίσκεται με κάποια βοήθεια (πληροφορία) η οποία παρέχεται από το δίκτυο. Οι δικτυακές οντότητες λειτουργούν συμπληρωματικά. Υποβοηθούν τις διαδικασίες που εκτελούνται στο τερματικό ή χρησιμοποιούνται για επαλήθευση.

## 5.1 Μέθοδοι βασισμένες στο Τηλεπικοινωνιακό Δίκτυο

### 5.1.1 Εντοπισμός βάσει αναγνωριστικού κυψέλης (Cell-ID)

Είναι η απλούστερη μέθοδος εντοπισμού που υπάρχει καθώς το κινητό τερματικό εντοπίζεται με βάση την πληροφορία που υπάρχει ήδη μέσα στο δίκτυο και αφορά την γεωγραφική περιοχή κάλυψης του σταθμού βάσης που καλύπτει το κινητό την εκάστοτε χρονική στιγμή [33]. Έτσι λοιπόν γνωρίζουμε χωρίς κάποια μετατροπή είτε στο κινητό είτε στο δίκτυο σε πια γεωγραφική περιοχή βρίσκεται ο χρήστης. Το θέμα είναι όμως πως η ακρίβεια αυτής της μεθόδου ποικίλλει από μερικά μέτρα σε δεκάδες χιλιόμετρα καθώς σε αγροτικές περιοχές η περιοχή κάλυψης κάποιου σταθμού βάσης μπορεί να φτάσει και τα 35 χιλιόμετρα.

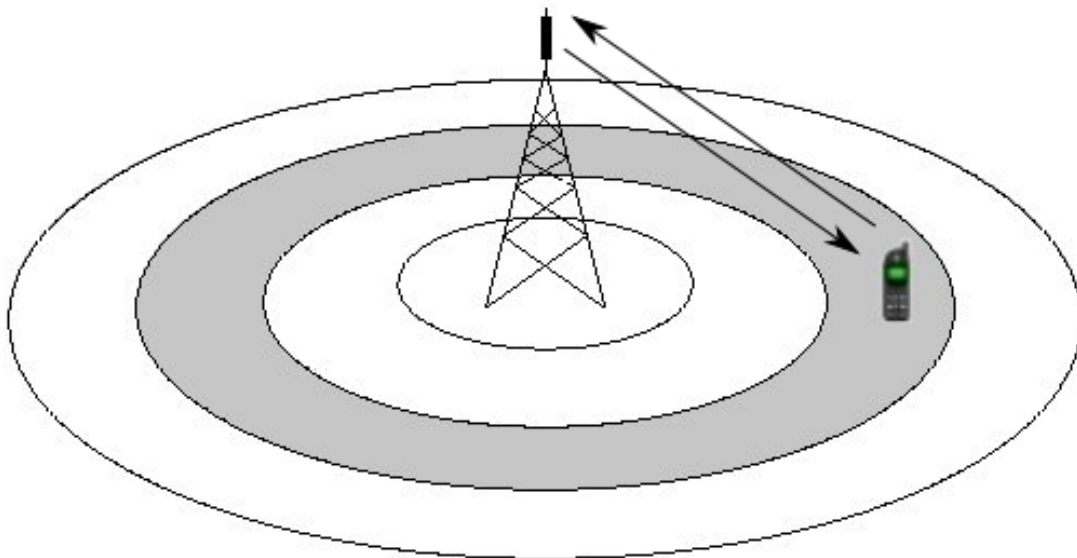


Εικόνα 16: Εντοπισμός βάσει αναγνωριστικού κυψέλης (Cell-ID)



### 5.1.2 Εντοπισμός με χρήση μέτρησης χρόνων (*Enhanced Cell-ID*)

Κάθε BTS εκπέμπει ένα ad-hoc σήμα στις κυψέλες του. Το σήμα αυτό λαμβάνεται από το κινητό τερματικό το οποίο με την σειρά του υπολογίζει την απόσταση του από κάθε ορατό BTS χρησιμοποιώντας την διαφορά του χρόνου που στάλθηκε το σήμα από τον BTS μέχρις ότου ελήφθη από τον MS. Στην συνέχεια με την βοήθεια του trilateration το κινητό τερματικό υπολογίζει την θέση στην οποία βρίσκεται. Είναι η συνέχεια της προηγούμενης μεθόδου και ουσιαστικά ένας τρόπος για να αυξηθεί η ακρίβεια του απλού Cell-Id. Έτσι λοιπόν για τον εντοπισμό του κινητού χρησιμοποιείται επιπροσθέτως η πληροφορία του χρόνου μεταξύ της εκπομπής πληροφορίας από τον σταθμό βάσης και της επιστροφής πληροφορίας από το κινητό στον σταθμό βάσης. Έτσι υπολογίζεται η απόσταση μεταξύ σταθμού βάσης και κινητού τερματικού με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια ιδιαίτερα σε αγροτικές περιοχές όπου η ακτίνα της κυψέλης είναι πολύ μεγάλη.

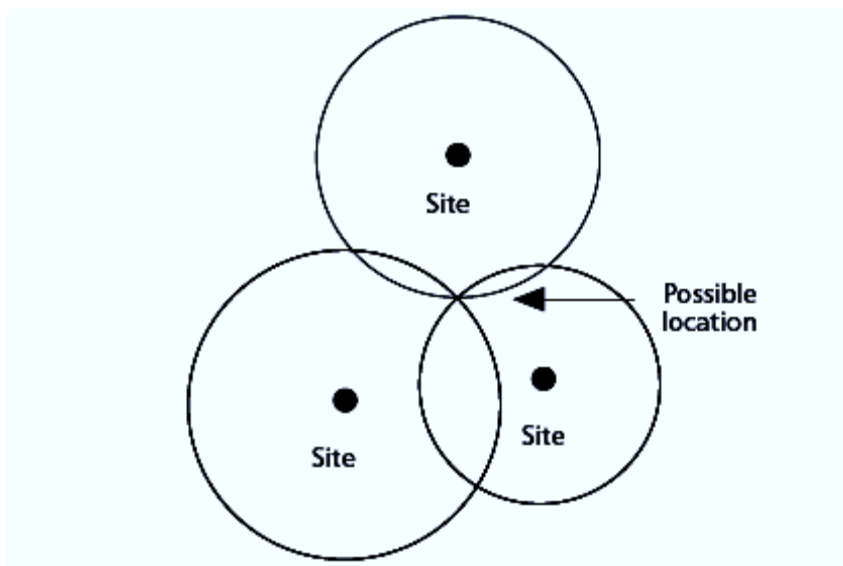
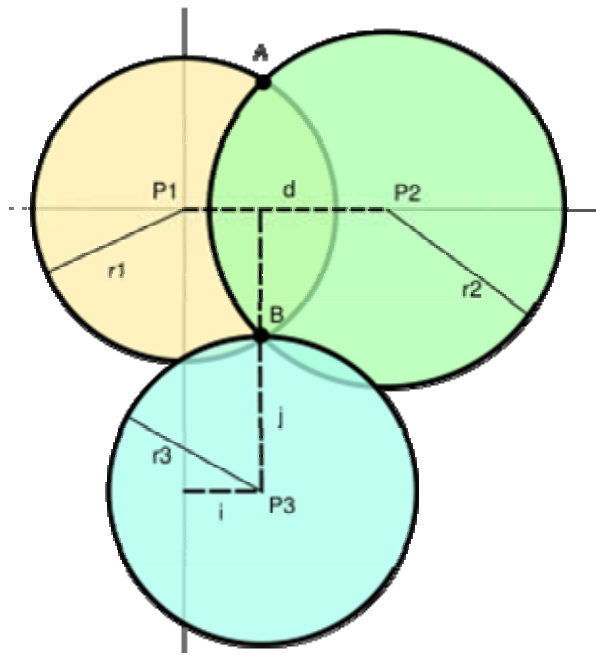


Εικόνα 17: Εντοπισμός με χρήση μέτρησης χρόνων (*Enhanced Cell-ID*)

### 5.1.3 Εντοπισμός βάσει χρόνου άφιξης (*Time of Arrival, TOA*)

Η εν λόγω μέθοδος [32] υλοποιείται με την βοήθεια κάποιων μονάδων που αποκαλούνται LMU (Location Measurement Unit) οι οποίες πρέπει να τοποθετηθούν σε κάθε BTS και δουλειά των οποίων είναι να μετρούν την διαφορά χρόνου από την στιγμή της εκπομπής πληροφορίας από το κινητό μέχρι την στιγμή που φτάνει στον BTS. Με την εν λόγω μέθοδο το κινητό τερματικό εξαναγκάζεται να ξεκινήσει

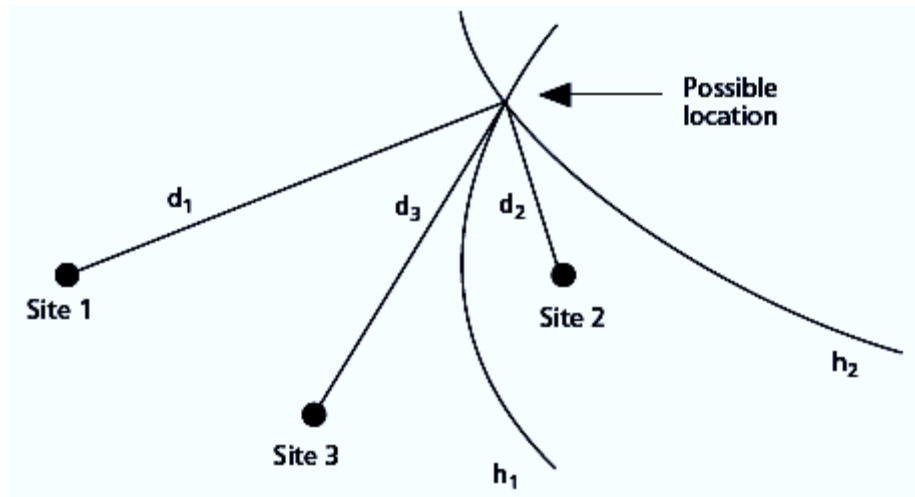
διαδικασία handoff δηλαδή από τον σταθμό βάσης από τον οποίο εξυπηρετήσε να περάσει σε κάποιον άλλο και μετά σε κάποιον άλλο κ.ο.κ. Έτσι λοιπόν μετράται ο χρόνος που απαιτείται να διανύσει το σήμα από το κινητό τερματικό προς τους πλησιέστερους σταθμούς βάσης με αποτέλεσμα από την επεξεργασία των διαφόρων μετρήσεων χρόνου και με την εφαρμογή της διαδικασίας του trilateration ή αλλιώς τριγωνοποίηση να υπολογίζεται με καλή ακρίβεια η θέση του κινητού. Παρόλα αυτά είναι μία αρκετά ακριβή μέθοδος καθώς είναι απαραίτητη η τοποθέτηση LMU σε κάθε σταθμό βάσης και ενδεικτικά αναφέρουμε πως κοστίζει περίπου 10 φορές όσο η τεχνική E-Cell Id.



Εικόνα 18: Εφαρμογή της τεχνικής της τριγωνοποίησης (ΠΗΓΗ [38]).

#### 5.1.4 Εντοπισμός με υπολογισμό της Διαφοράς Χρόνων Αφιξης (Time Difference of Arrival, TDOA)

Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται για να βελτιώσει την ακρίβεια της προηγούμενης μεθόδου. Το πρόβλημα στην μέθοδο TOA έγκειται στην έλλειψη απόλυτου συγχρονισμού στα κυψελωτά δίκτυα επικοινωνιών (GS και UMTS). Στηρίζεται όπως και η προηγούμενη μέθοδος στις μετρήσεις χρόνου για το σήμα από το κινητό στον σταθμό βάσης απλά για να εξαληφθεί το πρόβλημα της έλλειψης συγχρονισμού γίνεται αναγωγή των μετρήσεων σε ανά κοινό παρανομαστή βάση των μετρήσεων των διαφορών των χρόνων μεταξύ των Σταθμών Βάσης. Έτσι οι χρόνοι που μετρώνται σε κάθε Σταθμό Βάσης ανάγονται με κατάλληλες προσθαφαιρέσεις στον πραγματικό χρόνο ενός Σταθμού Βάσης, που χρησιμοποιείται ως αναφορά, προσδίδοντας με τον τρόπο αυτό επιπλέον αξιοπιστία στις μετρήσεις και κατά συνέπεια και στην ακρίβεια της θέσης του χρήστη. Εξέλιξη της μεθόδου αυτής αποτελεί και η μέθοδος εντοπισμού Επαυξημένης Παρατήρησης Διαφοράς Χρόνων (Enhanced Observed Time Difference, E-OTD), κατά την οποία οι υπολογισμοί των διαφορών των εν λόγω χρόνων είναι δυνατόν να γίνουν και στο τερματικό.



Εικόνα 19: Εντοπισμός με υπολογισμό της Διαφοράς Χρόνων Αφιξης (Time Difference of Arrival, TDOA)

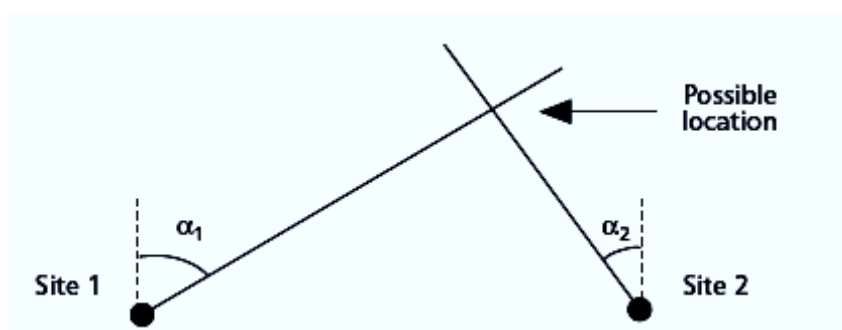
#### 5.1.5 Enhanced Observed Time Difference

Κάθε BTS εκπέμπει ένα ad-hoc σήμα στις κυψέλες του [37]. Το σήμα αυτό λαμβάνεται από το κινητό τερματικό το οποίο με την σειρά του υπολογίζει την

απόσταση του από κάθε ορατό BTS χρησιμοποιώντας την διαφορά του χρόνου που στάλθηκε το σήμα από τον BTS μέχρις ότου ελήφθη από τον MS. Στην συνέχεια με την βοήθεια του trilateration το κινητό τερματικό υπολογίζει την θέση στην οποία βρίσκεται. Η τεχνική E-OTD προϋποθέτει την αναβάθμιση των κινητών τερματικών ώστε αυτά να μπορούν να επεξεργαστούν ad-hoc σήματα και παράλληλα την εγκατάσταση κάποιων συγχρονισμένων ρολογιών τα οποία θα δίνουν έναν κοινό χρόνο αναφοράς για να μπορεί να υπολογίζεται σωστά η θέση του MS.

### 5.1.6 Εντοπισμός βάσει της γωνίας λήψης (Angle of Arrival, AOA)

Σε αντίθεση με τις τρεις προηγούμενες μεθόδους που αναλύθηκαν παραπάνω η συγκεκριμένη μέθοδος απαιτεί την εγκατάσταση επιπλέον εξοπλισμού στους σταθμούς βάσης για να μπορέσει να εφαρμοστεί [31],[35]. Έτσι απαιτείται η εγκατάσταση εξειδικευμένων διατάξεων κεραιών στους Σταθμούς Βάσης, οι οποίες θα πρέπει να είναι πολύ κατευθυντικές και επίσης με ικανότητα στροφής του λοβού ακτινοβολίας ανάλογα με την θέση του κινητού, κεραιές οι οποίες υπάρχουν στα δίκτυα τρίτης γενιάς (3G). Ο εντοπισμός της θέσης του χρήστη πραγματοποιείται μέσω του υπολογισμού των γωνιών μισής ισχύος  $\Delta_{3dB}$  (η γωνία που σχηματίζουν οι διευθύνσεις εκατέρωθεν της διεύθυνσης μέγιστου για τις οποίες η ένταση ακτινοβολίας είναι η μισή της μέγιστης τιμής). Το κινητό τερματικό εντοπίζεται μέσα στον κλειστό χώρο που ορίζουν οι διευθύνσεις μισής ισχύος των κύριων λοβών κάθε Σταθμού Βάσης.

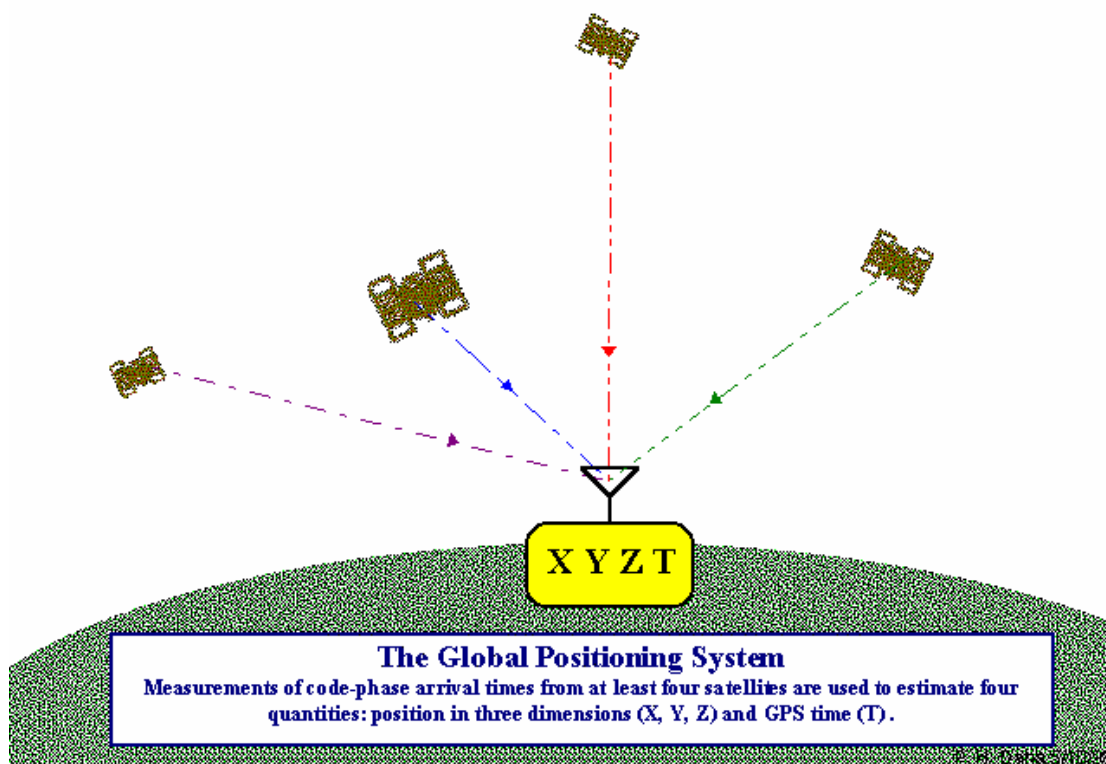


Εικόνα 20:βάσει της γωνίας λήψης (Angle of Arrival, AOA)

## **5.2 Μέθοδοι βασισμένες στο Κινητό Τερματικό**

### **5.2.1 Καθολικό Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (Global Positioning System, GPS)**

Το Καθολικό Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (GPS) αποτελείται από πολλούς δορυφόρους οι οποίοι καλύπτουν όλη την επιφάνεια της γης κάθε χρονική στιγμή [36]. Οι δορυφόροι εκπέμπουν συνέχεια σήματα τα οποία περιέχουν ως πληροφορία την ακριβή θέση εκείνη την χρονική στιγμή του δορυφόρου. Έτσι λοιπόν οι επίγειοι δέκτες που λαμβάνουν τα ψηφιακά αυτά σήματα έχουν την δυνατότητα να γνωρίζουν ακριβώς την το πόσος χρόνος χρειάζεται για την λήψη του σήματος από κάποιον δορυφόρο. Γνωρίζοντας τη θέση κάποιου δορυφόρου, ο επίγειος δέκτης καταλαβαίνει ότι βρίσκεται κάπου στον χώρο που ορίζει η νοητή σφαίρα με κέντρο τον ίδιο τον δορυφόρο. Με χρήση τριών δορυφόρων (κατά συνέπεια τριών νοητών σφαιρών), είναι δυνατός ο εντοπισμός της θέσης του δέκτη στο επίπεδο (η τομή των τριών νοητών σφαιρών). Με χρήση τεσσάρων δορυφόρων, υπολογίζεται και η Τρίτη διάσταση των συντεταγμένων του δέκτη (ύψος). Το GPS χαρακτηρίζεται από την πολύ μεγάλη του ακρίβεια και είναι το πρώτο σύστημα εντοπισμού θέσης το οποίο έγινε παγκόσμια αποδεκτά. Το σύστημα GPS αποτελείται από 24 δορυφόρους οι οποίοι βρίσκονται σε 6 ελλειπτικές τροχιές συγκεκριμένου ύψους πάνω από την γη με κοινή κλίση. Το σύστημα έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε κάθε χρονική στιγμή 6 τουλάχιστον δορυφόροι να είναι «ορατοί» από κάθε σημείο πάνω στην γη. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα του GPS είναι ότι επιτυγχάνει πολύ μεγάλη ακρίβεια κάτω από οποιεσδήποτε μετεωρολογικές συνθήκες. Σήμερα το GPS χρησιμοποιείται σε αυτοκίνητα, πλοία, αεροπλάνα από ιδιώτες, στρατό και υπηρεσίες και είναι παγκόσμια εξαπλωμένο με πολύ μεγάλη διείσδυση στην αγορά των συστημάτων εντοπισμού θέσης.



Εικόνα 21: Global Positioning System (GPS)



Εικόνα 22: Επικαλυπτόμενες ψευδοακτίνες, αναπαριστώμενες ως καμπύλες, τροποποιούνται από πεδίο σε ένα μοναδικό πιθανό σημείο.

### 5.2.2 Υποβοηθούμενο Καθολικό Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (Assisted-GPS, A-GPS)

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα του κλασσικού GPS το οποίο περιγράφηκε παραπάνω είναι ότι δεν είναι δυνατόν να εντοπιστεί κινητό τερματικό μέσα σε εσωτερικούς χώρους. Για το λόγο αυτό σχεδιάστηκε το Υποβοηθούμενο Καθολικό Σύστημα Εντοπισμού Θέσης [34] στο οποίο η δορυφορική πληροφορία παρέχεται στους εσωτερικούς χώρους μέσω των κυψελωτών δικτύων επικοινωνιών. Τοποθετήθηκαν

σε κάποια σημεία δέκτες GPS σε σταθμούς βάσης και η πληροφορία στους εσωτερικούς χώρους στέλνεται από τους σταθμούς βάσης στα κινητά τερματικά τα οποία βρίσκονται σε εσωτερικούς χώρους.

### 5.2.3 Σύγκριση των διαφόρων Τεχνικών Εντοπισμού

Τεχνική	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<b>Cell-Id</b>	<p>-Δε απαιτούνται υπολογισμοί για την απόκτηση της πληροφορίας θέσης, αφού αυτή υπάρχει ήδη (γεωγραφική περιοχή κάλυψης του σταθμού βάσης).</p> <p>-Δεν απαιτείται καμία αλλαγή ούτε στο δίκτυο αλλά ούτε και στο κινητό τερματικό.</p> <p>-Ελάχιστος χρόνος απαιτείται για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.</p>	<p>-Η ακρίβεια εξαρτάται άμεσα από την πυκνότητα των κυψελών, με αποτέλεσμα σε αγροτικές περιοχές να είναι της τάξης των 35 χιλιομέτρων ενώ σε αντίστοιχες αστικές μπορεί να είναι της τάξης των 100 μέτρων.</p> <p>-Λόγω φαινομένων διάδοσης ή συμφόρησης του δικτύου η κυψέλη που εξυπηρετεί το κινητό δεν είναι πάντα και η πιο κοντινή με αποτέλεσμα η ακρίβεια να μην είναι ικανοποιητική.</p>
<b>Enhanced Cell-Id</b>	<p>-Πολύ λίγοι υπολογισμοί απαιτούνται για τον εντοπισμό του κινητού τερματικού.</p> <p>-Ελάχιστες αλλαγές απαιτούνται στα ήδη υπάρχοντα συστήματα για την εφαρμογή της.</p> <p>-Ο χρόνος που απαιτείται για την εξαγωγή αποτελεσμάτων είναι ελάχιστος.</p> <p>-Η ακρίβεια είναι βελτιωμένη σε σχέση με το Cell-ID και δεν επηρεάζεται τόσο πολύ από το</p>	<p>-Υπάρχουν περιπτώσεις που το σήμα διανύει μεγαλύτερες αποστάσεις από την πραγματική απόσταση μεταξύ Κινητού Τερματικού και Σταθμού Βάσης (περιπτώσεις ανακλάσεων και πολυδιαδρομικής λήψης). Έτσι, μπορεί η πραγματική απόσταση να είναι τελικά μικρότερη από την ελάχιστη ακτίνα που υπολογίζει η μέθοδος.</p>

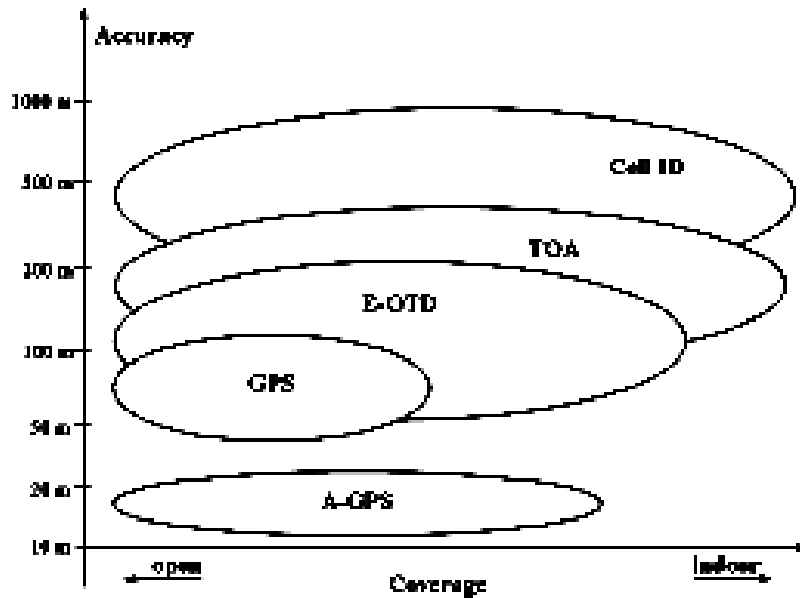
	μέγεθος της κυψέλης.	
<b>ΤΟΑ</b>	<p>-Επιτυγχάνεται πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με τις δύο προηγούμενες μεθόδους.</p> <p>-Οι υπολογισμοί που απαιτούνται για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων είναι αρκετά περιορισμένοι.</p>	<p>-Απαιτείται τέλειος συγχρονισμός μεταξύ τριών τουλάχιστον σταθμών βάσης της τάξης των nsec.</p> <p>-Απαιτείται η τοποθέτηση LMU σε κάθε σταθμό βάσης πράγμα που είναι πολύδάπανο.</p>
<b>TDOA</b>	<p>-Πολύ μεγάλη ακρίβεια σε σχέση με τις προηγούμενες μεθόδους.</p> <p>-Δεν απαιτείται μεγάλο χρονικό διάστημα για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.</p>	<p>-Απαιτεί την προσθήκη νέων μονάδων στο δίκτυο και την προσαρμογή του λογισμικού των κινητών τερματικών.</p> <p>-Εισάγεται σφάλμα όταν υπάρχει πολυδιαδρομική διάδοση και όταν το σήμα διανύει μεγαλύτερες αποστάσεις από την πραγματική απόσταση μεταξύ κινητού τερματικού και των σταθμών βάσης.</p> <p>-Απαιτούνται περισσότεροι υπολογισμοί και μετρήσεις σε σχέση με τις προηγούμενες μεθόδους.</p>
<b>ΑΟΑ</b>	<p>-Ο χρόνος που απαιτείται για την εξαγωγή αποτελεσμάτων είναι ελάχιστος.</p> <p>-Απαιτεί μόνο δύο Σταθμούς Βάσης για τον προσδιορισμό θέσης.</p> <p>-Δεν χρειάζεται κάποια μετατροπή στο υλικό ή το λογισμικό των Κινητών Τερματικών.</p>	<p>-Απαιτεί την εισαγωγή στο δίκτυο πολύ ακριβών διατάξεων Κεραιών Λήψης (Εξυπνες Κεραίες).</p> <p>-Δεν εγγυάται την σωστή λειτουργία σε συνθήκες όπου το σήμα διανύει μεγαλύτερες αποστάσεις από την πραγματική απόσταση μεταξύ κινητού</p>



		τερματικού και σταθμού βάσης.
<b>GPS</b>	<p>-Το συγκεκριμένο σύστημα εγγυάται πολύ μεγάλη ακρίβεια (3-50m) κάτω από οποιεσδήποτε μετεωρολογικές συνθήκες.</p> <p>-Το κόστος εγκατάστασης ενός τέτοιου συστήματος είναι πολύ μικρό.</p> <p>-Δεν απαιτείται καμιά μετατροπή στο δίκτυο.</p>	<p>-Το σύστημα δεν λειτουργεί σε εσωτερικούς χώρους καθώς εισέρχεται πολύ μεγάλη εξασθένιση των σημάτων του GPS λόγω των παρεμβαλλόμενων κτιρίων και ταυτόχρονα δεν υπάρχει άμεση οπτική επαφή του επίγειου δέκτη με τον δορυφόρο.</p>
<b>Assisted-GPS</b>	<p>-Δυνατότητα από κινητά τερματικά τα οποία βρίσκονται σε εσωτερικούς κλειστούς χώρους να εντοπίσουν την ακριβή τους θέση.</p>	<p>-Ανάγκη εξοπλισμού του κυψελωτού δικτύου Επικοινωνιών με Δέκτες GPS και προώθηση των πληροφοριών που λαμβάνονται από τους δέκτες στα κινητά τερματικά τα οποία βρίσκονται σε εσωτερικούς χώρους.</p>

**Πίνακας 4: Σύγκριση τεχνολογιών εντοπισμού σε κυψελωτά δίκτυα.**

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται μία σύγκριση μεταξύ των μεθόδων εντοπισμού θέσης, της ακρίβειας που επιτυγχάνουν καθώς και του κατά πόσο είναι εφικτό να χρησιμοποιηθούν για εντοπισμό σε εσωτερικό και εξωτερικό χώρο.



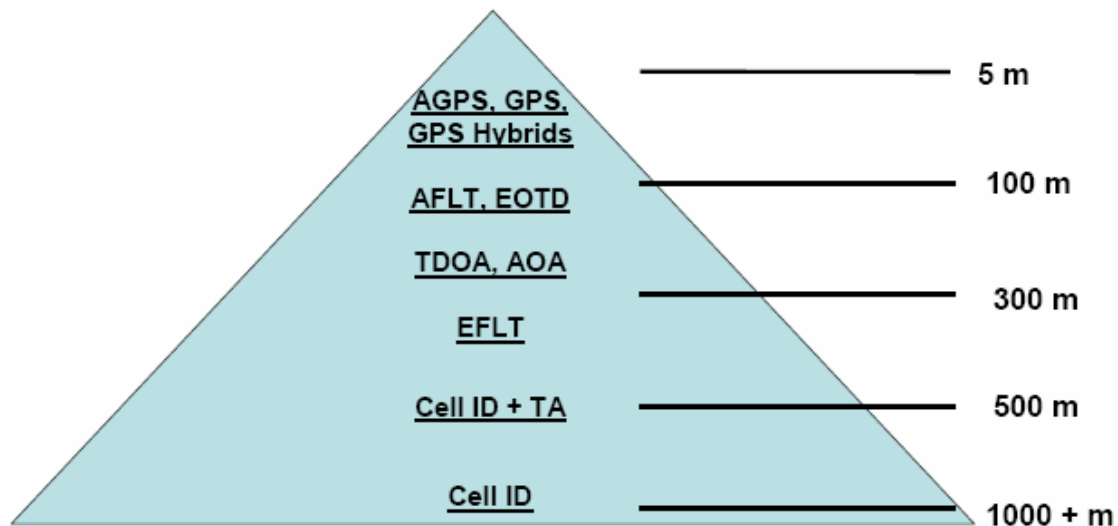
Εικόνα 23: Σύγκριση τεχνολογιών ως προς την ακρίβεια που επιτυγχάνουν σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους.

#### 5.2.4 Συγκριτικός Πίνακας

Ένας συγκεντρωτικός πίνακας που παρουσιάζει τυπικές επιδόσεις των τεχνικών που προαναφέρθηκαν είναι ο παρακάτω (οι τιμές αναφέρονται σε αστικό περιβάλλον):

Τεχνική	Ακρίβεια (m)
Cell id + TA	50-500
TOA	40-150
E-OTD	50-125
AOA	40
A-GPS	5-50
RSS-Location Fingerprinting	1-2

Πίνακας 5: Ακρίβεια των κυριότερων μεθόδων εντοπισμού.



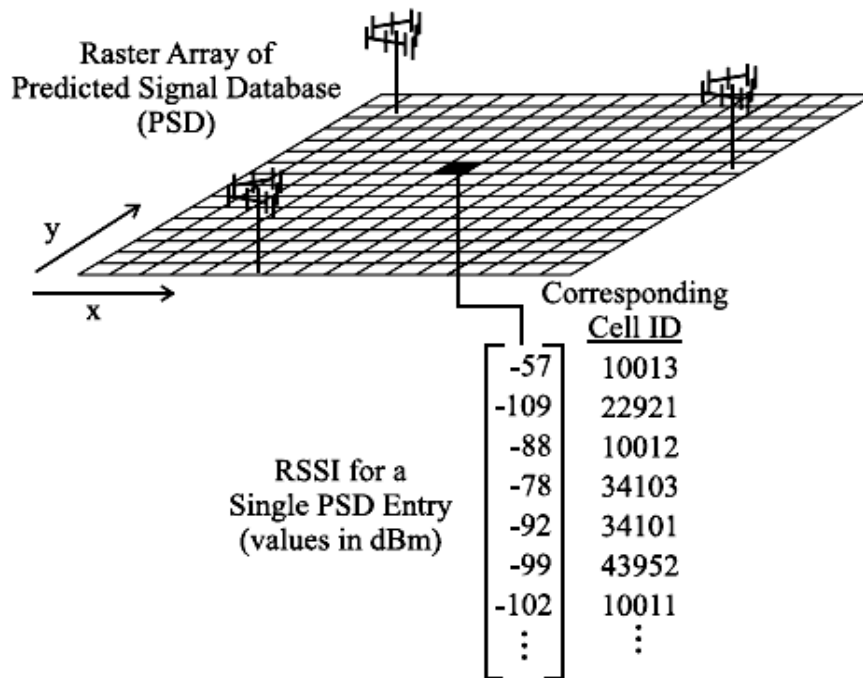
Εικόνα 24: Ακρίβεια των κυριότερων μεθόδων εντοπισμού.

Σε πραγματικά συστήματα πολλές φορές χρησιμοποιούνται συνδυασμοί των παραπάνω τεχνικών, ώστε να επιτευχθεί ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια. Επίσης οι συντεταγμένες που υπολογίζονται από τις παραπάνω μεθόδους μπορούν να συνδυαστούν και με στοιχεία από βάσεις γεωγραφικών δεδομένων έτσι ώστε να αποκλειστούν ή να προβλεφθούν κάποιες θέσεις.

### ***5.3 Εντοπισμός Βασισμένος στην Ισχύ του Λαμβανόμενου Σήματος (RSSI)***

Η λειτουργία της μεθόδου εντοπισμού θέσης βασισμένη στο RSSI είναι αρκετά ξεκάθαρη: Η περιοχή ενός κυψελωτού δικτύου αναπαρίσταται στον υπολογιστή από έναν μεγάλο δυδιάστατο πίνακα με ομοιόμορφη πλευρά πλέγματος, η οποία μπορεί να κυμαίνεται από 10 έως 50 μέτρα ή και περισσότερα. Κάθε σημείο του πλέγματος αντιστοιχεί με μια θέση μέσα στο κυψελωτό δίκτυο και περιλαμβάνει ένα διάνυσμα των τιμών της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος σε dBm για όλους τους λαμβανόμενους σταθμούς βάσης. Κάθε τιμή της RSSI αντιστοιχεί σε έναν μοναδικό αναγνωριστικό αριθμό κυψέλης (Cell ID). Ένας ολοκληρωμένος πίνακας με τις τιμές των RSSI ονομάζεται βάση δεδομένων πρόγνωσης σήματος (PSD). Όταν κατασκευαστεί η PSD για μια περιοχή του δικτύου, η μηχανή αναζήτησης της πιθανής θέσης πρέπει να συγκρίνει την ισχύ του λαμβανόμενου σήματος, όπως μετρήθηκε από τη φορητή συσκευή, με τα διανύσματα της PSD. Το αποτέλεσμα με

το βέλτιστο ταίριασμα καθορίζει τις συντεταγμένες της πιο πιθανής θέσης της συσκευής.



**Εικόνα 25: Η PDS αποθηκεύει σε μια βάση δεδομένων με τη μορφή πλέγματος όλες τις τιμές RSSI από τους λαμβανόμενους σταθμούς βάσης του δικτύου (ΠΗΓΗ [17]).**

Η συσκευή μετρά τις τιμές RSSI μέσω της αναφοράς μετρήσεων δικτύου (NMRs) της φορητής συσκευής του χρήστη. Τα NMRs στέλνονται από τη φορητή συσκευή στο σταθμό βάσης όταν ζητηθούν από το κέντρο μεταγωγής (MSC). Κάθε NMR είναι μια λίστα από πολλές RSSI που αντιστοιχούν στους διάφορους ραδιοδιαύλους του δικτύου. Ο ακριβής αριθμός εξαρτάται από τη θέση της συσκευής, την αρχιτεκτονική του δικτύου και την παρεμβολή του αέρα. Τα τυπικά NMRs αναφέρουν από έξι έως δώδεκα μοναδικές κυψέλες με τις φορητές συσκευές GSM να αναφέρουν τις έξι ισχυρότερες κυψέλες, ενώ οι συσκευές των προδιαγραφών IS-136 αναφέρουν μεταξύ οκτώ και δώδεκα κυψελών ή και περισσότερες.

Η αποθήκευση μιας βάσης δεδομένων πρόγνωσης σήματος (PSD) και η λειτουργία ενός προγράμματος εντοπισμού θέσης βασισμένου στο RSSI απαιτούν μόνο έναν μέσο υπολογιστή, καθιστώντας το συγκεκριμένο σύστημα εντοπισμού θέσης ιδιαίτερα οικονομικό και ακριβές. Όμως, προϋποθέτει την ύπαρξη μιας PSD υψηλής ποιότητας για την επιτυχία της μεθόδου εντοπισμού θέσης. Όσο πιο ακριβής είναι η PSD, τόσο καλύτερη είναι η απόδοση της τεχνικής. Η καλύτερη PSD μπορεί να

δημιουργηθεί λαμβάνοντας μετρήσεις σε κάθε πιθανό σημείο του δικτύου. Κάτι τέτοιο, όμως, δεν είναι εφικτό, καθώς απαιτεί πολύ χρόνο και κόπο. Έτσι, πρέπει να επιλεγεί μια βέλτιστη λύση που να ισοσταθμίζει την απόδοση της μεθόδου με το κόστος [17].

## **5.4 Η τεχνική *Fingerprinting***

Η τεχνική του *fingerprinting* βασίζεται στη μέθοδο εντοπισμού θέσης βασισμένη στις RSSI και στην ανάλυση σκηνης, όπως περιγράφηκε αναλυτικά σε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Πολλά διαφορετικά δεδομένα, συμπεριλαμβανομένης και της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος, καταγράφονται για διαφορετικές θέσεις. Όταν ζητείται η εύρεση μιας νέας θέσης, τα δεδομένα αυτά συγκρίνονται με αυτά που είχαν καταγραφεί. Η νέα θέση θεωρείται ότι είναι κοντά σε καταγεγραμμένα σημεία με παραπλήσια χαρακτηριστικά. Η τεχνική ονομάστηκε *fingerprinting* και τα συλλεγμένα σημεία *fingerprints*, σε αναλογία με την ταυτοποίηση των δακτυλικών αποτυπωμάτων στην αστυνομική έρευνα και την ιατροδικαστική. Όμοια, για την ταυτοποίηση της θέσης μιας φορητής συσκευής γίνεται σύγκριση του αποτυπώματός της με τα αποτυπώματα που συλλέχθηκαν την περίοδο εκμάθησης από γνωστές θέσεις.

Για την καλή απόδοση του *fingerprinting* αρχικά απαιτείται τα χαρακτηριστικά του σήματος να παρουσιάζουν σημαντική χωρική μεταβλητότητα, καθώς επίσης και να παρουσιάζουν σταθερότητα στο χρόνο. Συνδυάζοντας αυτά τα δύο, απαιτείται ένα προφίλ σήματος πλούσιο σε χωρικές μεταβολές και σχετικά σταθερό στο χρόνο.

Το πλεονέκτημα του συστήματος εντοπισμού θέσης βασισμένο στο *fingerprinting* είναι ότι επιτρέπει τον καθορισμό της θέσης με μεγάλη ακρίβεια καθώς λαμβάνονται υπόψιν όλες οι οντότητες της διάδοσης του σήματος. Παρόλα αυτά, όσο περισσότερες λεπτομέρειες χρησιμοποιούνται, τόσο περισσότερο ευάλωτο είναι το σύστημα σε μεταβολές του περιβάλλοντος, όπως στην μετακίνηση εξοπλισμού εντός του κτιρίου ή στο κτίσιμο νέων κτιρίων. Γι' αυτό απαιτείται χρόνο με το χρόνο εκ νέου βαθμονόμηση του συστήματος ώστε να προσαρμοστεί στις αλλαγές του περιβάλλοντος. Όμως, τα στοιχεία του περιβάλλοντος που επηρεάζουν περισσότερο τη διάδοση του σήματος είναι συνήθως σταθερά κι έτσι δεν απαιτείται συχνά εκ νέου βαθμονόμηση.

Η τεχνική του fingerprinting μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορους τύπους δεδομένων εισόδου. Το πιο σύνηθες είναι η χρήση μετρήσεων της ισχύος του σήματος, του χρόνου ή της γωνίας άφιξης ή συνδυασμούς αυτών. Ένα άλλο σημαντικό κομμάτι του εντοπισμού θέσης βασισμένου στο fingerprinting είναι ο αλγόριθμος εκτίμησης θέσης. Ο ρόλος του είναι να υπολογίζει τη θέση των νέων σημείων ανάλογα με το πόσο ταιριάζουν με τα σημεία που είχαν καταγραφεί κατά την περίοδο εκμάθησης του συστήματος. Με άλλα λόγια, η απόφαση εάν ένα fingerprint είναι πανομοιότυπο με ένα από τα καταγεγραμμένα σημεία είναι ασήμαντη. Ο αλγόριθμος πρέπει να είναι σε θέση να εκτιμήσει τη θέση και σε όλες τις άλλες περιπτώσεις, όπως όταν ο χρήστης είναι μεταξύ δύο καταγεγραμμένων σημείων [17].

# 6

## *Μετρήσεις*

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μία εκτενής περιγραφή του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε για να γίνουν οι μετρήσεις καθώς και του τρόπου με τον οποίο επιλέχθηκε ο συγκεκριμένος εξοπλισμός. Στην συνέχεια περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο έγιναν οι μετρήσεις και παρατίθενται τα φύλλα των μετρήσεων που έγιναν στον χώρο της Πολυτεχνειούπολης.

### *6.1 Εξοπλισμός*

Για να γίνει εφικτός ο εντοπισμός ενός MS με την διαδικασία του Fingerprinting πρέπει αρχικά να καταστρωθεί ένας χάρτης κάλυψης της περιοχής που θα μελετηθεί. Για οποιοδήποτε σημείο του χάρτη κάλυψης θα μπορεί στην συνέχεια να εφαρμοστεί ο αλγόριθμος για να εντοπιστεί ο MS.

Η τεχνική του Fingerprinting βασίζεται λοιπόν στη στάθμη ισχύος (Signal Strength) που λαμβάνει στο κινητό τερματικό στο σημείο το οποίο βρίσκεται. Στην συνέχεια για λόγους συντομίας όταν αναφερόμαστε σε στάθμη ισχύος που λαμβάνει το κινητό τερματικό θα χρησιμοποιούμε την συντομογραφία RSSI (Received Signal Strength Indicator). Όμως όπως γίνεται αντιληπτό το RSSI από μόνο του δεν μπορεί να είναι αρκετό για να εντοπισθεί η θέση του MS καθώς όσο πυκνά και αν έχουν γίνει οι μετρήσεις και όσο μεγάλη ακρίβεια και να υπάρχει είναι πέρα από πιθανό να

υπάρχουν πολλά σημεία στην περιοχή που έγιναν οι μετρήσεις όπου το RSSI να είναι ακριβώς ίδιο. Και επιπλέον δεν είναι απαραίτητο τα σημεία αυτά να βρίσκονται κοντά αλλά ούτε καν να εξυπηρετούνται από τον ίδιο BTS.

Έτσι λοιπόν βλέπουμε πως πρέπει να υπάρχει και άλλος παράγοντας που πρέπει να εισαχθεί και στις μετρήσεις μας αλλά και στον αλγόριθμο που θα φτιάξουμε για να μπορέσει να λειτουργήσει η τεχνική του Fingerprinting.

Λίγο πιο πάνω αναφέραμε πως είναι πιθανό σε δύο σημεία που έχουμε μετρήσει RSSI να βρούμε ακριβώς την ίδια τιμή αλλά αυτά τα δύο σημεία γεωγραφικά να βρίσκονται σε τελείως διαφορετικές περιοχές. Έτσι λοιπόν ένα άλλο χαρακτηριστικό που θα πρέπει να λάβουμε υπόψιν μας είναι η περιοχή στην οποία έχει ληφθεί η μέτρηση. Όμως αυτό φυσικά έρχεται σε αντίθεση με την όλη φιλοσοφία της εν λόγω διπλωματικής εργασίας καθώς ο σκοπός μας είναι να εντοπίσουμε την θέση του MS. Πως λοιπόν μπορούμε να λάβουμε υπόψιν μας στον αλγόριθμο που θα φτιάξουμε την περιοχή στην οποία βρίσκεται ο χρήστης όταν αυτό είναι το ζητούμενο;

Την απάντηση σε αυτό το ερώτημα έρχεται να την δώσει το δίκτυο GSM. Όπως έχει περιγραφή αναλυτικά στο κεφάλαιο 2 το GSM είναι ένα κυψελωτό δίκτυο. Κάθε κυψέλη «φωτίζεται» από έναν διαφορετικό BTS και σε κάθε κυψέλη αποδίδονται και διαφορετικές συχνότητες (έχει περιγραφεί αναλυτικά η τεχνική της επανααναχρησιμοποίησης συχνότητας στο κεφ. 2). Επίσης, κάθε κυψέλη έχει έναν δικό της χαρακτηριστικό αριθμό ο οποίος είναι η ταυτότητα της και ο οποίος ονομάζεται cell-id. Στην σηματοδότηση που υπάρχει μεταξύ MS και BTS υπάρχει και η πληροφορία για την κυψέλη στην οποία βρίσκεται την εκάστοτε χρονική στιγμή το MS. Έτσι λοιπόν αρκεί να καταφέρουμε να πάρουμε αυτή την πληροφορία από το MS και έτσι θα μπορούμε να φτιάξουμε για κάθε σημείο του χάρτη που θέλουμε ένα ζευγάρι μετρήσεων που θα αποτελείται από το cell-id της κυψέλης στην οποία βρίσκεται το MS και από το RSSI που μετράει το MS εκείνη την χρονική στιγμή.

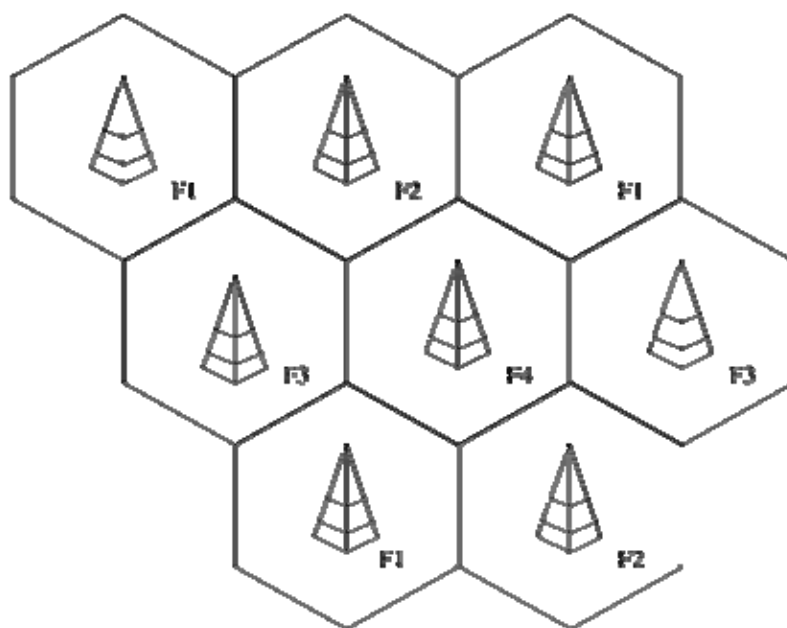
Στο συγκεκριμένο σημείο θα πρέπει και πάλι να αναρωτηθούμε για το κατά πόσο ένα τέτοιο ζευγάρι μετρήσεων, για κάθε σημείο της περιοχής στο οποίο λαμβάνουμε μέτρηση, είναι αρκετό ώστε να έχουμε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Είναι φανερό, πως ένα μόνο ζευγάρι μετρήσεων δεν αρκεί για τον ακριβή εντοπισμό ενός άγνωστου σημείου.

Οι κυψέλες ανάλογα με την περιοχή που πρέπει να καλύψουν και με τον κόσμο που πρέπει να μπορεί να εξυπηρετηθεί (αριθμός χρηστών) χωρίζονται με κριτήριο το



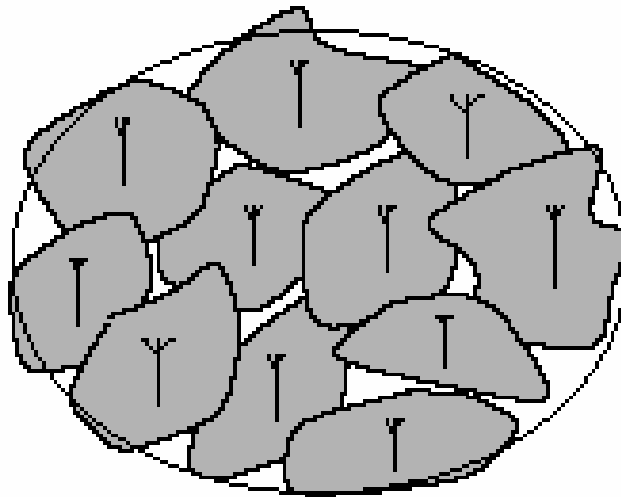
μέγεθος τους. Έτσι λοιπόν σε αστικές περιοχές έχουμε micro-cells και pico-cells ενώ σε μη αστικές περιοχές μπορεί να έχουμε και macro-cells. Η ακτίνα των κυψελών λοιπόν μπορεί να διαφέρει από μερικά μέτρα μέχρι μερικές εκατοντάδες μέτρα. Έτσι λοιπόν είναι πολύ πιθανόν να υπάρχουν δύο σημεία τα οποία να βρίσκονται στην ίδια ακριβώς κυψέλη και στα οποία το MS να λαμβάνει ακριβώς το ίδιο RSSI με αποτέλεσμα με την μέχρι τώρα πληροφορία να μην μπορούμε να διαχωρίσουμε αυτά τα δύο σημεία. Έτσι λοιπόν είναι απαραίτητο να δούμε τι επιπλέον πληροφορία μπορεί να μας προσφέρει το MS για να μπορέσουμε να την παρέχουμε στον αλγόριθμο εντοπισμού θέσης που θα χρησιμοποιήσουμε.

Και πάλι λοιπόν θα επανέλθουμε στο δίκτυο GSM. Όπως γίνεται εύκολα φυσιολογικά και μιλώντας για ραδιοκάλυψη και συχνότητες το σχήμα 20 που απεικονίζει κυψέλες στο δίκτυο GSM δεν είναι απλά μία θεωρητική αναπαράσταση του πως θα έμοιαζαν οι κυψέλες αν ήταν όλα ιδανικά. Το κυψελωτό σχήμα έχει δοθεί για να διευκολύνονται οι μαθηματικοί υπολογισμοί και για να μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτή η ιδέα του κυψελωτού δικτύου.



Εικόνα 26: Κυψέλες στο GSM

Πρακτικά όμως οι κυψέλες στο δίκτυο GSM μπορεί να υπερκαλύπτουν η μία την άλλη και τα σχήματα τα οποία έχουν να είναι ακανόνιστα. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται πως πραγματικά μπορεί να είναι η κάλυψη σε κάποια περιοχή.



**Εικόνα 27: Πραγματική Εικόνα Ραδιοκάλυψης.**

Έτσι λοιπόν γίνεται εύκολα αντιληπτό πως το MS λαμβάνει σήμα σε κάθε σημείο στο οποίο βρίσκεται από περισσότερες από μία κυψέλες. Βέβαια το MS αυτόματα ψάχνει να βρει πιο είναι το πιο δυνατό από τα σήματα τα οποία λαμβάνει και αυτό επιλέγει.

Έτσι λοιπόν συμπεραίνουμε πως σημαντικό ρόλο στον εντοπισμό της θέσης ενός MS μπορούν να παίξουν και οι γειτονικές κυψέλες που βρίσκονται κοντά στην κυψέλη στην οποία βρίσκεται το MS. Όμως πως είναι δυνατόν να ταυτοποιήσουμε αυτές τις γειτονικές κυψέλες και παράλληλα να βρούμε και το RSSI όλων αυτών των γειτονικών κυψελών;

Η απάντηση σε αυτό το ερώτημα είναι αυτή που θα μας δώσει και την απάντηση στο ερώτημα «Τι θα χρησιμοποιήσουμε για να πραγματοποιήσουμε τις μετρήσεις μας και να φτιάξουμε για κάθε σημείο του χάρτη ένα πίνακα που θα αποτελείται από ζεύγη (cell-id, RSSI), όπου ως cell-id θα έχουμε την current cell-id αλλά και όσες περισσότερες γειτονικές κυψέλες μπορούμε να εντοπίσουμε;».

Όταν πραγματοποιείται επικοινωνία μεταξύ του MS και του BTS ανταλλάσσονται πάρα πολλές πληροφορίες μεταξύ των δύο. Αυτές οι πληροφορίες είναι ουσιαστικά όλη η γνώση του MS και χωρίς αυτές φυσικά δεν θα μπορούσε να λειτουργήσει δηλαδή να αλλάξει κυψέλη ή να κάνει μία κλήση κτλ. Στην συνέχεια παρουσιάζεται συνοπτικά ο τρόπος που ο εκάστοτε BTS κοινοποιεί πληροφορίες που αφορούν το δίκτυο στους MS τους οποίους έχει υπό την κάλυψη του.

Καταρχήν να διευκρινίσουμε πως οι πληροφορίες που στέλνει ο εκάστοτε BTS και οι οποίες αφορούν το δίκτυο γενικότερα γίνονται Broadcast σε όλα τα MS που βρίσκονται υπό την κάλυψη του συγκεκριμένου BTS. Οι πληροφορίες που αφορούν εγκατάσταση κλήσης και οποιαδήποτε άλλη ενέργεια που αφορά κάποιον MS γίνονται στο κανάλι το οποίο έχει ανατεθεί για την επικοινωνία του συγκεκριμένου MS με τον BTS.

Έτσι λοιπόν υπάρχει ένα κανάλι σηματοδότησης και ελέγχου που ονομάζεται Broadcast Control Channel (στην συνέχεια θα αναφερόμαστε σε αυτό ως BCCH). Κάθε BTS λοιπόν έχει ένα BCCH μέσω του οποίου κοινοποιεί στους διάφορους MS πληροφορίες που αφορούν το δίκτυο. Σε κάθε BCCH έχει ανατεθεί κάποια συγκεκριμένη συχνότητα οπότε όπως είναι κατανοητό κάθε BCCH έχει έναν αριθμό που είναι μοναδικός. Έτσι λοιπόν βρίσκουμε την απάντηση για το πώς μπορούμε να ταυτοποιήσουμε κάποια κυψέλη εμμέσως χωρίς να γνωρίζουμε απευθείας το cell-id της. Εφόσον κάθε BCCH είναι μοναδικό για κάθε BTS και έχει έναν μοναδικό αριθμό (κανάλι) που του αναλογεί κάθε κυψέλη μπορεί να παρασταθεί από το αντίστοιχο BCCH. Τι πληροφορία όμως υπάρχει και κοινοποιείται στους MS μέσω του BCCH; Συνοπτικά, το BCCH περιέχει πληροφορία για το Location Area Code (LAC), το Routing Area Code (RAC), τη λίστα των συχνοτήτων που είναι διαθέσιμες στην κυψέλη, το current cell-id, μία λίστα με τις γειτονικές κυψέλες και άλλα. Το BCCH ουσιαστικά χωρίζεται σε τρία υποκανάλια το SCH (Synchronization Channel), το οποίο είναι μια σειρά από bits μέσω των οποίων συγχρονίζεται το MS στην σωστή χρονοσχισμή του TDMA, το FCCH (Frequency Correction Channel), το οποίο χρησιμοποιείται από το MS για να συγχρονίζεται ο MS στην σωστή συχνότητα για τον BTS και το BCCH που περιέχει όλες τις άλλες πληροφορίες για το δίκτυο.

Έτσι λοιπόν συμπεραίνουμε πως με την βοήθεια του BCCH μπορούμε να λάβουμε την πληροφορία που χρειαζόμαστε για τις γειτονικές κυψέλες με σκοπό να προσδώσουμε ακρίβεια στο σύστημα εντοπισμού θέσης, το οποίο προσπαθούμε να υλοποιήσουμε. Αυτό που απομένει είναι να βρούμε έναν τρόπο για να αποκωδικοποιήσουμε την πληροφορία που υπάρχει στο BCCH και η οποία φτάνει στο MS και να εκμεταλλευτούμε αυτή την πληροφορία.

## 6.2 Λογισμικό Μετρήσεων

Για να γίνουν οι μετρήσεις της ισχύος του σήματος όπως αναφέρθηκε και παραπάνω χρησιμοποιήθηκε ένα κινητό τηλέφωνο τεχνολογίας Symbian 1<sup>st</sup> edition σε πλατφόρμα OS version 3.1. Το κινητό τηλέφωνο είναι το Nokia 3650 (Εικόνα 28).



Εικόνα 28: Nokia 3650

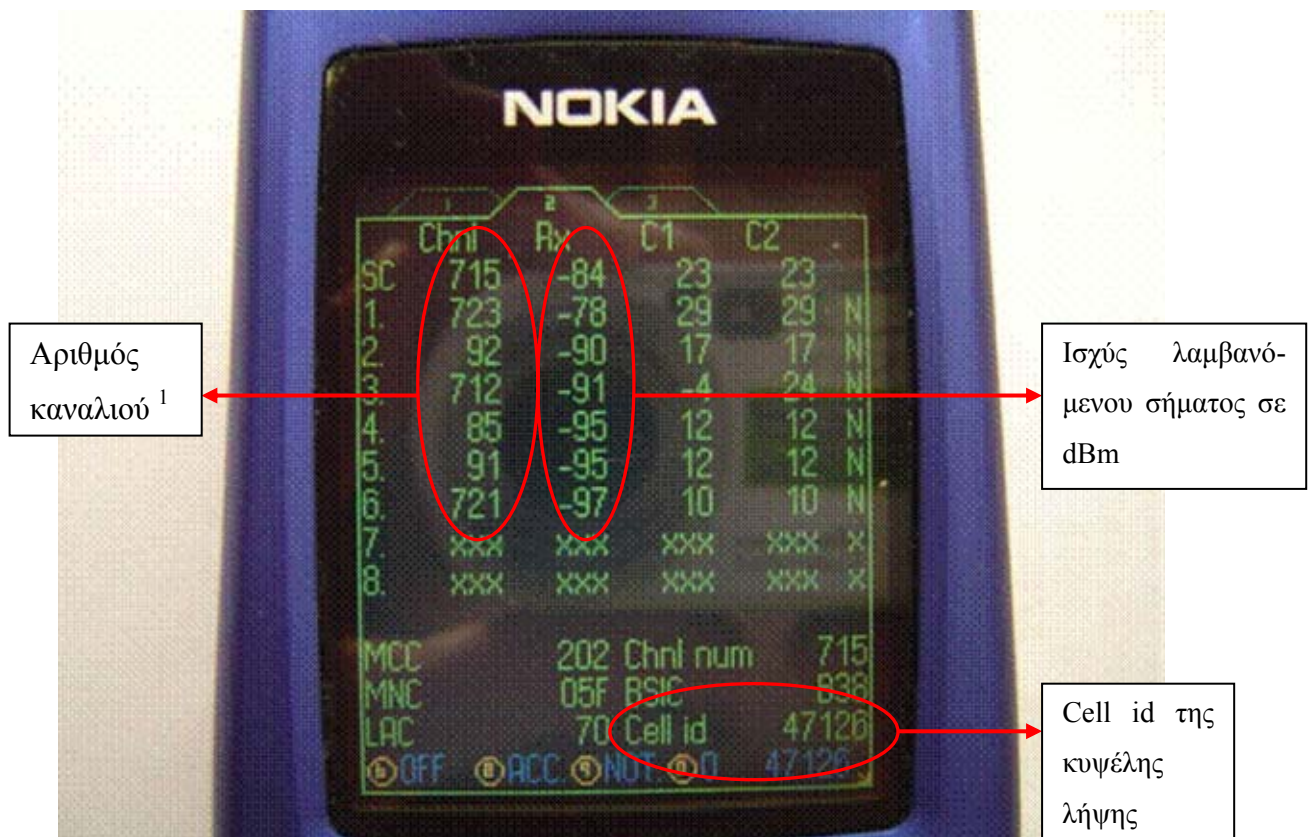
Επιλέχθηκε το συγκεκριμένο κινητό τηλέφωνο γιατί είναι ένα τηλέφωνο με ανοιχτό λογισμικό τύπου Symbian και έτσι μπορέσαμε σε αυτό να εγκαταστήσουμε το πρόγραμμα Netmon με τη βοήθεια του οποίου λάβαμε τις μετρήσεις ισχύος του σήματος που χρειαζόμασταν.

Επιπροσθέτως, για την εύρεση του γεωγραφικού πλάτους και μήκους για την κάθε λαμβανόμενη μέτρηση χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα GPS Tuner το οποίο προσαρμόσαμε ειδικά για τον χώρο της Πολυτεχνειούπολης.

### 6.2.1 Το πρόγραμμα Netmon

Το πρόγραμμα Netmon αναπτύχθηκε από τον Vadim Yegorov σε πλατφόρμα Symbian και σχεδιάστηκε για να λειτουργεί σε κινητά τηλέφωνα QD™ και Nokia™ 3650 και N-Gage™. Έχοντας άμεση πρόσβαση στις διευθύνσεις της μνήμης της κάρτας SIM και στο BCCH, αντλεί πληροφορίες σχετικά με το δίκτυο, όπως την ισχύ του λαμβανόμενου σήματος τόσο από την κυψέλη στην οποία είναι συνδεδεμένο το

τηλέφωνο (κανάλι συγχρονισμού, SCH), όσο και από τις γειτονικές κυψέλες, καθώς και την ισχύ του μεταδιδόμενου σήματος, κατά την πραγματοποίηση μιας κλήσης.. Επίσης περιλαμβάνει πληροφορία για τον κωδικό της κυψέλης στην οποία είναι συνδεδεμένο το κινητό τηλέφωνο. Η πολύ χρήσιμη πληροφορία για την μέθοδο του Fingerprinting είναι τα broadcast channels των γειτονικών σταθμών βάσης τα οποία είναι διαθέσιμα στο πρόγραμμα Netmon. Όπως εξηγήσαμε και παραπάνω για να είναι εφικτή η υλοποίηση του αλγορίθμου του Fingerprinting πρέπει να έχουμε πληροφορία εκτός από το λαμβανόμενο σήμα των γειτονικών σταθμών βάσης και για την ταυτότητα των γειτονικών σταθμών βάσης. Έτσι λοιπόν εφόσον μέσα στο πρόγραμμα netmon έχουμε τα broadcast channels για τους γειτονικούς σταθμούς βάσης έχει λυθεί το συγκεκριμένο πρόβλημα και έτσι έχουμε φτιάξει τα ζευγάρια (broadcast channel, received signal strength) για κάθε σημείο. Οι παράμετροι τις οποίες χρησιμοποιήσαμε για τις ανάγκες των μετρήσεών μας, είναι η λαμβανόμενη ισχύς από τις έξι κυψέλες με την ισχυρότερη ισχύ λήψης καθώς και ο αντίστοιχος αριθμός της κυψέλης και παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα.

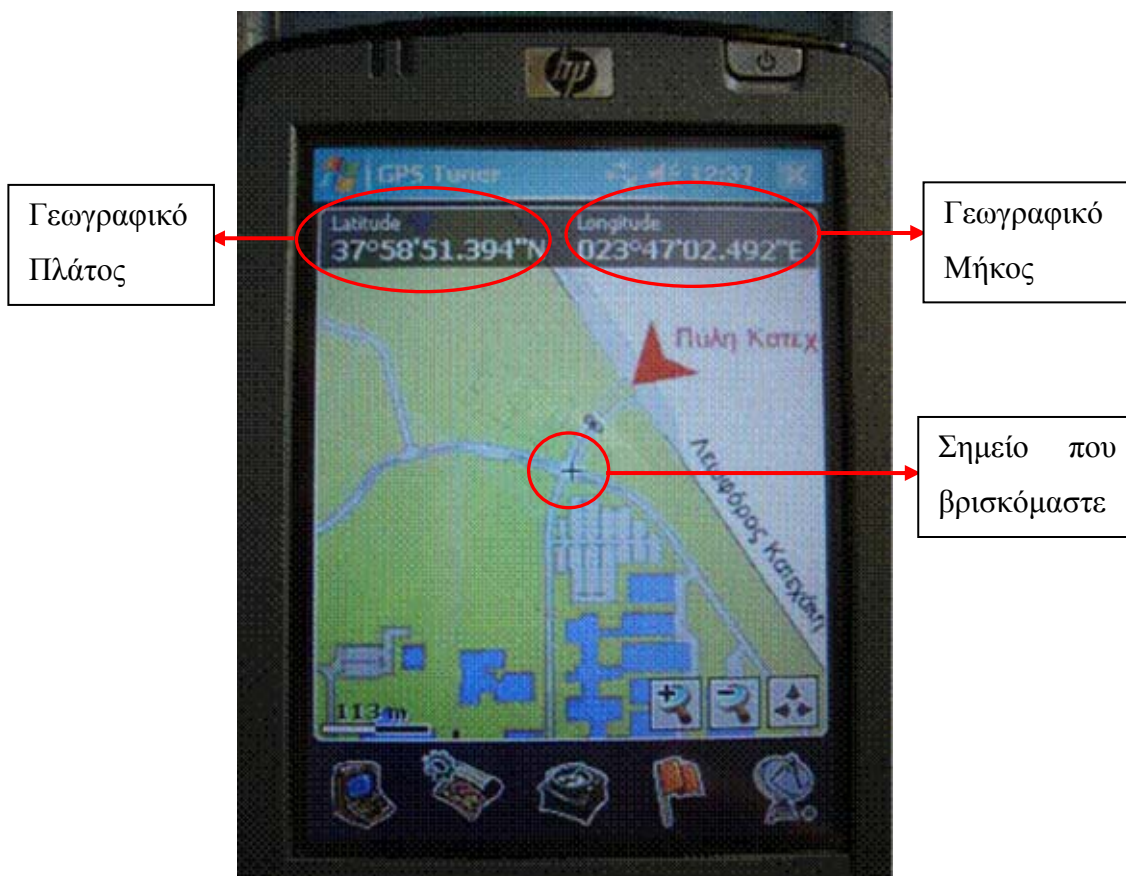


Εικόνα 29: : Η καρτέλα του προγράμματος Netmon με τις ενδείξεις RSSI

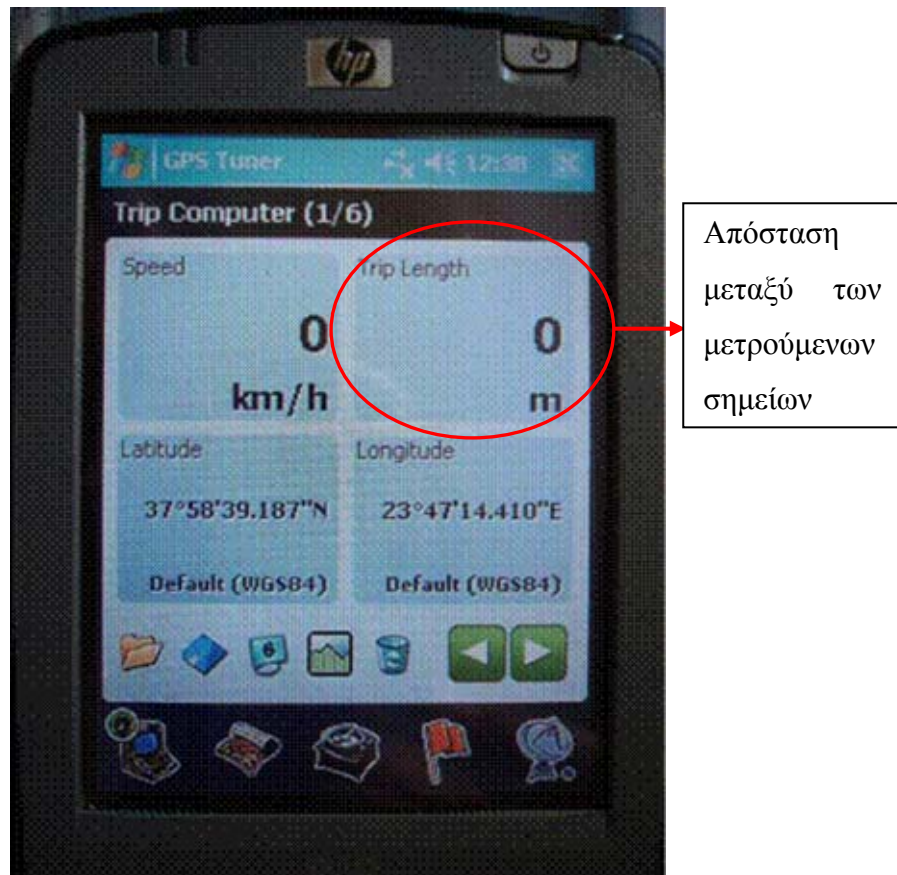
<sup>1</sup> Είναι ο αριθμός του broadcast channel του σταθμού βάσης που καλύπτει το κινητό (Serving Cell) καθώς και των γειτονικών σταθμών βάσης (1,2,3,...).

### 6.2.2 Το πρόγραμμα GPS Tuner™

Το πρόγραμμα GPS Tuner™ είναι μία εμπορική εφαρμογή κατάλληλη για υπολογιστές παλάμης (Personal Digital Assistant - PDAs) σχεδιασμένη για να λειτουργεί σε πλατφόρμα Windows™ Mobile. Με τη βοήθεια αυτού του προγράμματος μπορούμε να εισάγουμε τον χάρτη μιας οποιασδήποτε περιοχής ενδιαφέροντος και στην συνέχεια εισάγοντας το γεωγραφικό πλάτος και μήκος δύο μόνο γνωστών σημείων πάνω στον χάρτη το πρόγραμμα υπολογίζει τις συντεταγμένες για όλη την περιοχή. Εκτός του υπολογισμού γεωγραφικού πλάτους και μήκους το πρόγραμμα μετρά και διανυόμενη απόσταση με αρκετά καλή ακρίβεια. Με την βοήθεια λοιπόν του προγράμματος GPS Tuner πήραμε μετρήσεις σε συγκεκριμένα σημεία του οδικού δικτύου της Πολυτεχνειούπολης και με απόσταση 20-30 μέτρα μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων.







Εικόνα 30: Οι λειτουργίες του προγράμματος GPS Tuner.

### 6.3 Διαδικασία Μετρήσεων

Για να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις σε έναν χώρο μεγάλο όσο η Πολυτεχνειούπολη φυσικά χρειαζόταν να χρησιμοποιηθεί ένα μεταφορικό μέσο, ένα αυτοκίνητο. Το υλικό που χρειάστηκε για να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις ήταν ένα κινητό τερματικό στην προκειμένη περίπτωση ένα κινητό τηλέφωνο Nokia 3650 με το εγκατεστημένο πρόγραμμα netmon, το οποίο αναφέρθηκε παραπάνω, και ένας φορητός υπολογιστής όπου συγκροτήθηκε ο πίνακας με τις μετρήσεις.

Οι μετρήσεις έγιναν σε όλο το οδικό δίκτυο εντός της Πολυτεχνειούπολης. Κάθε μέτρηση απείχε από την προηγούμενη 20-30 μέτρα. Δεν είχε νόημα να πάρουμε πιο πυκνές μετρήσεις γιατί όπως παρατηρήθηκε σε μικρότερες αποστάσεις μεταξύ των μετρήσεων δεν άλλαζαν σημαντικά τα μετρούμενα μεγέθη. Στην συνέχεια και συγκεκριμένα στο σχήμα 5.1 φαίνεται ο χάρτης της Πολυτεχνειούπολης. Πάνω στην κόκκινη διαδρομή έχουν ληφθεί οι μετρήσεις της λαμβανόμενης ισχύος του σήματος



Εικόνα 31: Χάρτης της Πολυτεχνειούπολης και δρόμοι που έγιναν οι μετρήσεις.

#### ***6.4 Πειραματικές Μετρήσεις***

Στην συνέχεια ακολουθούν οι μετρήσεις που λάβαμε στον χώρο της Πολυτεχνειούπολης σύμφωνα με την παραπάνω διαδικασία που περιγράφηκε.



latitude	longitude	cur,cellid	chn1	dbm1	chn2	dbm2	chn3	dbm3	chn4	dbm4	chn5	dbm5	chn6	dbm6
37 58 26,888	23 47 0,654	<b>31400</b>	<b>34</b>	-62	<b>28</b>	-75	<b>48</b>	-81	<b>10</b>	-85	<b>16</b>	-86	<b>22</b>	-87
26.925	1.021	<b>31400</b>	<b>34</b>	-65	<b>28</b>	-69	<b>10</b>	-79	<b>48</b>	-79	<b>614</b>	-83	<b>22</b>	-88
26.922	1.506	<b>31400</b>	<b>34</b>	-65	<b>28</b>	-67	<b>10</b>	-74	<b>48</b>	-75	<b>614</b>	-82	<b>8</b>	-84
27.044	2.192	<b>20170</b>	<b>28</b>	-59	<b>34</b>	-64	<b>48</b>	-74	<b>10</b>	-76	<b>614</b>	-80	<b>49</b>	-83
27.113	3.135	<b>31400</b>	<b>34</b>	-50	<b>28</b>	-61	<b>48</b>	-66	<b>10</b>	-69	<b>5</b>	-83	<b>614</b>	-82
27.079	3.939	<b>31400</b>	<b>34</b>	-49	<b>28</b>	-68	<b>10</b>	-68	<b>48</b>	-68	<b>26</b>	-84	<b>5</b>	-88
27.172	4.794	<b>31400</b>	<b>34</b>	-51	<b>10</b>	-67	<b>48</b>	-68	<b>28</b>	-76	<b>22</b>	-84	<b>614</b>	-86
27.266	5.940	<b>31400</b>	<b>34</b>	-55	<b>28</b>	-70	<b>48</b>	-70	<b>10</b>	-71	<b>5</b>	-84	<b>26</b>	-87
27.215	7.599	<b>31400</b>	<b>34</b>	-50	<b>48</b>	-63	<b>10</b>	-71	<b>28</b>	-74	<b>26</b>	-83	<b>22</b>	-87
27.387	10.648	<b>31400</b>	<b>34</b>	-47	<b>10</b>	-65	<b>48</b>	-65	<b>28</b>	-72	<b>22</b>	-85	<b>5</b>	-86
27.396	12.355	<b>31400</b>	<b>34</b>	-45	<b>10</b>	-62	<b>48</b>	-65	<b>26</b>	-78	<b>28</b>	-82	<b>22</b>	-83
27.415	13.680	<b>31400</b>	<b>34</b>	-44	<b>10</b>	-64	<b>48</b>	-60	<b>28</b>	-79	<b>26</b>	-84	<b>22</b>	-87
27.541	15.095	<b>31400</b>	<b>34</b>	-42	<b>10</b>	-63	<b>48</b>	-61	<b>26</b>	-78	<b>28</b>	-78	<b>5</b>	-86
27.828	16.220	<b>31400</b>	<b>34</b>	-43	<b>10</b>	-58	<b>48</b>	-65	<b>28</b>	-82	<b>22</b>	-86	<b>26</b>	-86
28.410	17.227	<b>31400</b>	<b>34</b>	-61	<b>10</b>	-63	<b>28</b>	-60	<b>48</b>	-62	<b>22</b>	-79	<b>631</b>	-83
29.081	18.053	<b>31400</b>	<b>34</b>	-40	<b>10</b>	-55	<b>48</b>	-58	<b>28</b>	-70	<b>26</b>	-75	<b>16</b>	-90
29.948	18.910	<b>31400</b>	<b>34</b>	-44	<b>10</b>	-59	<b>48</b>	-66	<b>28</b>	-71	<b>26</b>	-73	<b>8</b>	-87
30.840	19.639	<b>31400</b>	<b>34</b>	-38	<b>48</b>	-56	<b>10</b>	-62	<b>26</b>	-75	<b>28</b>	-79	<b>50</b>	-84
31.964	20.104	<b>31400</b>	<b>34</b>	-47	<b>48</b>	-66	<b>28</b>	-73	<b>26</b>	-75	<b>50</b>	-75	<b>10</b>	-76
33.022	19.960	<b>31400</b>	<b>34</b>	-55	<b>48</b>	-66	<b>50</b>	-78	<b>10</b>	-80	<b>26</b>	-82	<b>28</b>	-83
33.768	19.496	<b>31400</b>	<b>34</b>	-57	<b>48</b>	-57	<b>10</b>	-73	<b>26</b>	-75	<b>50</b>	-83	<b>28</b>	-79
34.604	18.704	<b>31400</b>	<b>34</b>	-51	<b>48</b>	-68	<b>10</b>	-73	<b>26</b>	-78	<b>28</b>	-76	<b>16</b>	-88
35.387	18.014	<b>31400</b>	<b>34</b>	-57	<b>48</b>	-63	<b>26</b>	-73	<b>28</b>	-74	<b>635</b>	-79	<b>10</b>	-81
36.193	17.383	<b>31400</b>	<b>34</b>	-57	<b>48</b>	-64	<b>26</b>	-77	<b>28</b>	-78	<b>10</b>	-80	<b>635</b>	-87
36.449	16.789	<b>31400</b>	<b>34</b>	-59	<b>28</b>	-69	<b>48</b>	-79	<b>10</b>	-79	<b>50</b>	-84	<b>8</b>	-85
37.115	16.250	<b>20170</b>	<b>28</b>	-58	<b>34</b>	-63	<b>48</b>	-73	<b>17</b>	-79	<b>12</b>	-80	<b>26</b>	-81
37.916	15.761	<b>31400</b>	<b>34</b>	-61	<b>28</b>	-64	<b>48</b>	-72	<b>614</b>	-82	<b>631</b>	-83	<b>10</b>	-86
38.898	15.019	<b>20170</b>	<b>26</b>	-60	<b>34</b>	-63	<b>48</b>	-70	<b>631</b>	-74	<b>26</b>	-77	<b>17</b>	-77
40.569	13.587	<b>31400</b>	<b>34</b>	-64	<b>48</b>	-69	<b>28</b>	-79	<b>10</b>	-82	<b>26</b>	-87	<b>635</b>	-90

41.303	12.692	31400	34	-68	48	-74	26	-83	28	-84	21	-88	10	-89
41.962	12.269	31400	34	-67	28	-72	48	-77	10	-83	50	-84	5	-89
42.875	11.528	31400	34	-67	28	-69	635	-82	12	-82	3	-84	10	-84
34.708	10.733	20170	28	-63	34	-73	48	-75	26	-77	40	-82	10	-83
44.630	10.090	31400	34	-61	28	-66	48	-71	26	-83	8	-89	10	-89
45.352	9.354	20170	28	-64	34	-72	12	-76	17	-82	48	-84	10	-85
46.085	8.734	31400	34	-71	33	-77	48	-77	10	-82	26	-83	10	-84
46.940	8.025	20170	28	-73	34	-72	22	-76	48	-77	50	-86	10	-88
47.701	7.390	20170	28	-60	34	-69	12	-73	17	-81	40	-82	10	-85
48.491	6.680	20170	28	-61	34	-67	48	-70	614	-78	12	-73	17	-74
49.422	5.891	20170	28	-61	12	-72	34	-72	33	-77	16	-81	17	-81
50.308	4.950	20170	28	-59	48	-72	34	-74	33	-76	17	-77	12	-79
50.973	3.391	20170	28	-53	8	-73	34	-76	614	-76	33	-77	40	-79
51.380	2.071	20170	28	-52	8	-71	614	-72	7	-76	26	-81	4	-81
51.933	46 59,386	20170	28	-69	34	-76	614	-82	48	-82	40	-84	38	-86
51.949	58.113	20170	28	-74	34	-81	7	-85	8	-86	48	-86	26	-88
51.754	55.930	20170	28	-69	34	-70	26	-83	614	-84	17	-82	48	-82
51.623	54.692	20170	28	-73	34	-76	26	-77	614	-78	40	-81	8	-84
50.683	53.596	20170	28	-63	40	-83	34	-82	17	-84	33	-85	48	-86
50.041	53.026	20170	28	-61	40	-80	34	-83	8	-84	48	-85	3	-83
49.426	52.019	20170	28	-68	34	-74	40	-79	614	-79	8	-86	16	-86
48.756	50.781	20170	28	-64	34	-72	614	-74	40	-81	11	-82	49	-83
48.220	49.379	20170	28	-59	34	-75	8	-81	21	-82	40	-82	614	-84
47.845	48.539	20170	28	-61	26	-78	48	-77	50	-82	10	-83	34	-83
47.338	47.477	31400	34	-69	28	-72	50	-78	10	-80	48	-84	10	-85
46.853	46.432	20170	28	-68	34	-73	625	-82	10	-84	48	-81	40	-85
46.435	45.484	20170	28	-69	34	-79	48	-82	625	-82	26	-84	40	-85
46.033	44.539	20170	28	-65	34	-71	40	-80	10	-87	49	-87	629	-87
45.573	43.269	20170	28	-50	34	-74	8	-78	45	-77	614	-78	5	-82
45.441	42.347	20170	28	-56	34	-75	11	-76	40	-80	8	-81	614	-82
45.412	41.038	20170	28	-60	614	-74	11	-79	8	-81	38	-83	34	-84
45.646	39.291	20170	28	-53	614	-70	8	-76	12	-82	48	-82	34	-83

45.943	38.161	20170	28	-57	34	-77	8	-79	40	-81	12	-83	614	-83
46.279	36.980	20170	28	-62	40	-83	34	-83	33	-85	48	-85	614	-86
46.305	35.625	20170	28	-63	614	-70	34	-80	38	-86	8	-87	45	-87
45.349	34.498	20170	28	-57	614	-78	48	-79	40	-80	12	-83	8	-84
44.349	34.515	20170	28	-68	34	-79	40	-79	8	-82	614	-85	10	-88
43.410	35.497	20170	28	-70	34	-76	614	-79	40	-83	10	-88	8	-89
42.721	36.211	20170	28	-70	34	-75	40	-82	10	-84	48	-84	38	-89
41.915	37.067	20170	28	-59	34	-72	12	-82	5	-83	614	-83	40	-85
41.124	37.863	20170	28	-54	34	-76	614	-77	7	-75	33	-77	5	-79
40.289	38.776	20170	28	-55	33	-77	48	-77	34	-78	40	-78	614	-79
38.356	39.442	20170	28	-57	12	-66	34	-67	40	-68	33	-71	17	-77
37.829	39.206	20170	28	-57	33	-63	40	-65	614	-70	47	-72	12	-74
36.358	39.385	20170	28	-66	40	-67	34	-73	33	-75	49	-74	7	-76
35.621	40.289	23700	40	-60	28	-68	34	-72	12	-76	33	-76	16	-77
34.019	42.166	20170	28	-63	34	-75	16	-76	33	-78	40	-79	21	-75
32.756	43.197	20170	28	-68	40	-73	33	-75	16	-78	3	-78	21	-78
31.675	44.104	20170	28	-68	34	-71	16	-73	22	-75	33	-78	10	-80
30.890	44.869	20170	28	-72	33	-75	34	-76	40	-78	16	-79	12	-79
30.178	45.730	20170	28	-65	34	-71	8	-77	16	-70	40	-81	22	-84
29.590	46.805	20170	28	-62	8	-70	22	-74	34	-75	48	-79	26	-80
29.044	47.915	20170	28	-64	8	-67	22	-73	34	-74	10	-77	16	-82
28.775	48.805	31400	34	-64	8	-67	28	-70	10	-77	22	-80	214	-82
28.430	50.122	20170	28	-70	34	-70	22	-77	26	-77	8	-75	625	-80
27.971	51.848	20170	28	-67	10	-69	22	-71	34	-70	26	-73	8	-77
27.640	52.921	18530	22	-64	34	-66	10	-71	28	-72	8	-75	26	-80
27.323	54.055	31400	34	-67	10	-75	8	-76	28	-79	22	-80	26	-79
27.007	55.382	11400	48	-63	34	-64	10	-68	28	-69	625	-70	629	-73
26.680	56.911	31400	34	-59	10	-69	625	-75	48	-75	629	-78	28	-80
26.843	58.645	31400	34	-71	28	-74	629	-81	10	-82	26	-84	48	-78
50.429	47 1,495	20170	28	-65	34	-74	26	-79	33	-81	40	-82	629	-82
49.446	1.122	20170	28	-54	625	-77	34	-79	40	-80	48	-80	8	-80
48.359	1.129	20170	28	-64	48	-77	34	-80	40	-80	12	-81	33	-82

47.351	1.120	20170	28	-67	34	-77	17	-85	26	-85	8	-86	40	-86
46.043	1.036	20170	28	-65	34	-83	40	-87	8	-88	12	-88	33	-90
44.029	0.881	20170	28	-68	34	-78	40	-82	26	-87	614	-89	625	-90
41.701	0.832	20170	28	-71	34	-80	629	-83	3	-86	48	-87	625	-88
38.210	0.906	20170	28	-54	614	-69	26	-77	34	-75	38	-75	40	-79
37.507	2.620	20170	28	-68	34	-84	17	-85	614	-89	26	-87	40	-89
39.218	5.059	20170	28	-72	34	-77	48	-76	625	-80	26	-81	614	-88
38.952	6.742	20170	28	-67	34	-80	48	-78	625	-86	12	-91	40	-91
38.962	8.288	20170	28	-66	34	-78	48	-81	625	-81	40	-84	629	-86
39.734	11.400	31400	34	-59	48	-66	28	-69	26	-72	10	-78	625	-84
38.897	13.254	20170	28	-52	34	-56	48	-66	614	-74	10	-75	631	-78
38.107	12.151	20170	28	-50	34	-71	48	-74	40	-73	8	-75	26	-75
36.829	10.747	20170	28	-70	34	-73	40	-75	49	-75	33	-79	8	-80
35.777	10.800	20170	28	-69	48	-77	17	-79	625	-80	33	-81	40	-81
33.352	9.582	31400	34	-61	28	-73	10	-75	48	-76	26	-81	21	-83
31.501	10.010	31400	34	-46	10	-62	48	-74	28	-74	50	-83	26	-84
30.113	10.772	31400	34	-52	22	-65	48	-67	10	-71	625	-71	28	-77
29.314	9.536	31400	34	-58	10	-71	28	-72	48	-72	22	-78	625	-80
29.439	7.629	20170	28	-60	34	-60	5	-75	10	-70	8	-76	22	-78
29.442	5.970	31400	34	-52	28	-64	22	-66	48	-69	10	-71	8	-72
29.404	4.600	31400	34	-54	22	-71	10	-72	28	-72	48	-72	8	-77
29.354	3.391	31400	34	-55	10	-68	28	-69	22	-75	5	-79	8	-79
30.080	1.618	31400	34	-55	28	-57	10	-67	48	-68	8	-71	5	-73
32.747	8.686	31400	34	-63	28	-64	26	-74	10	-78	21	-81	48	-82
33.053	6.670	20170	28	-65	48	-66	26	-73	10	-76	34	-75	12	-80
33.252	4.292	20170	28	-64	34	-72	10	-81	40	-82	48	-81	12	-84
33.095	2.844	20170	28	-62	34	-70	48	-77	8	-81	10	-82	26	-84
33.355	1.383	20170	28	-58	34	-73	12	-79	8	-81	26	-80	10	-82
28.561	0.568	20170	28	-68	34	-76	48	-78	12	-79	22	-79	614	-80
30.514	46 59,515	20170	28	-62	34	-74	8	-77	12	-82	614	-77	40	-81
32.403	57.850	20170	28	-66	34	-81	614	-82	12	-83	8	-84	10	-85
33.820	56.302	20170	28	-43	614	-63	8	-70	34	-73	40	-73	12	-76

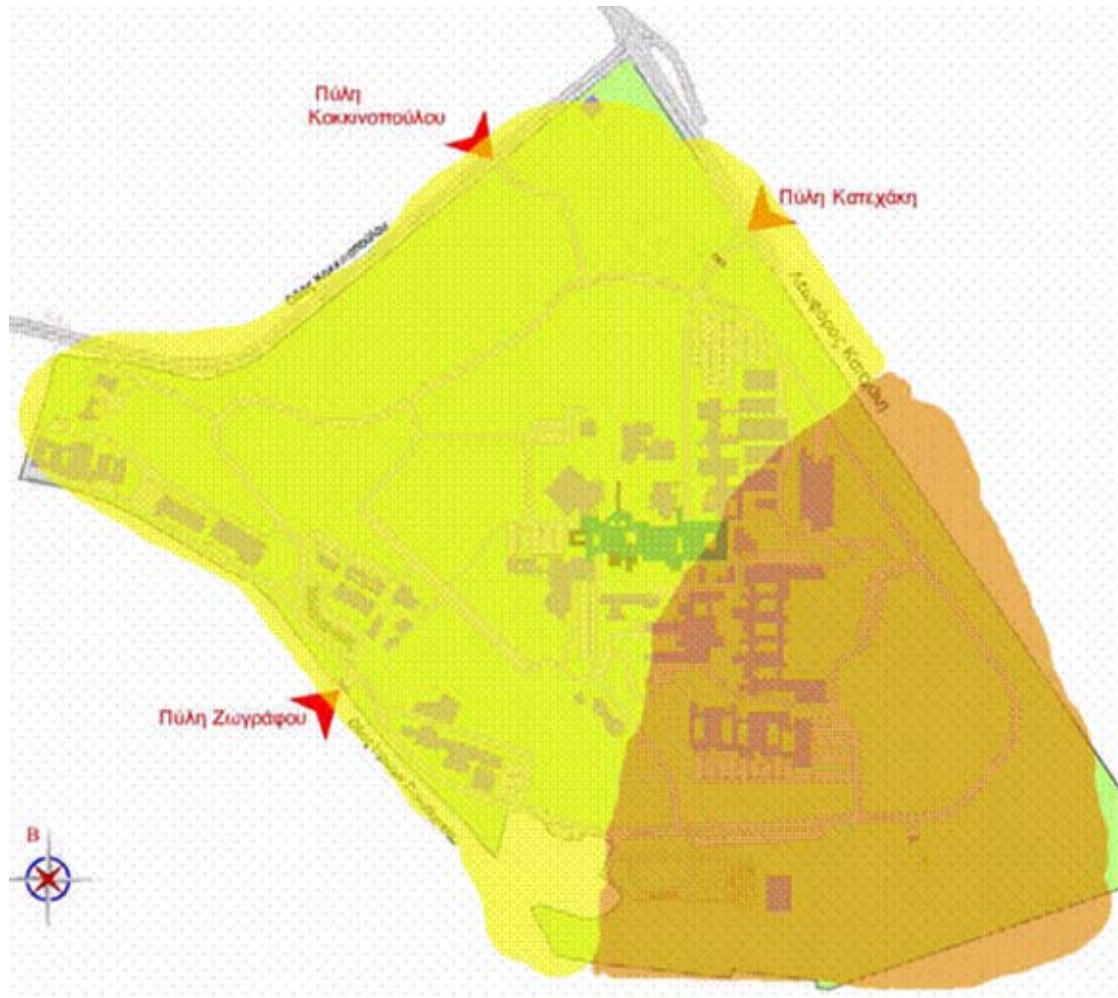
34.380	47 1,088	<b>31400</b>	<b>34</b>	-69	<b>10</b>	-77	<b>28</b>	-78	<b>48</b>	-80	<b>8</b>	-81	<b>22</b>	-84
34.182	59.603	<b>20170</b>	<b>28</b>	-55	<b>8</b>	-72	<b>22</b>	-76	<b>34</b>	-76	<b>5</b>	-79	<b>3</b>	-83
33.460	58.245	<b>20170</b>	<b>28</b>	-57	<b>12</b>	-72	<b>22</b>	-75	<b>34</b>	-76	<b>8</b>	-77	<b>49</b>	-75
35.105	56.919	<b>20170</b>	<b>28</b>	-52	<b>614</b>	-73	<b>12</b>	-76	<b>34</b>	-77	<b>40</b>	-81	<b>50</b>	-79
35.901	58.401	<b>20170</b>	<b>28</b>	-64	<b>614</b>	-76	<b>34</b>	-77	<b>21</b>	-82	<b>8</b>	-83	<b>40</b>	-82
35.312	55.935	<b>20170</b>	<b>28</b>	-56	<b>614</b>	-74	<b>12</b>	-74	<b>49</b>	-78	<b>8</b>	-80	<b>16</b>	-81
36.725	55.881	<b>20170</b>	<b>28</b>	-69	<b>10</b>	-78	<b>16</b>	-80	<b>34</b>	-81	<b>22</b>	-82	<b>14</b>	-83
37.980	56.162	<b>20170</b>	<b>28</b>	-64	<b>34</b>	-71	<b>8</b>	-78	<b>614</b>	-76	<b>625</b>	-78	<b>48</b>	-89
39.325	56.123	<b>20170</b>	<b>28</b>	-69	<b>34</b>	-79	<b>614</b>	-84	<b>26</b>	-90	<b>40</b>	-90	<b>629</b>	-89
40.777	55.139	<b>20170</b>	<b>28</b>	-54	<b>40</b>	-79	<b>8</b>	-80	<b>614</b>	-80	<b>34</b>	-83	<b>625</b>	-82
40.744	52.848	<b>20170</b>	<b>28</b>	-49	<b>614</b>	-69	<b>34</b>	-75	<b>8</b>	-76	<b>629</b>	-78	<b>16</b>	-79
42.415	52.295	<b>20170</b>	<b>28</b>	-56	<b>614</b>	-65	<b>49</b>	-76	<b>34</b>	-76	<b>40</b>	-74	<b>17</b>	-77
44.536	52.346	<b>20170</b>	<b>28</b>	-54	<b>614</b>	-71	<b>40</b>	-77	<b>5</b>	-79	<b>8</b>	-80	<b>38</b>	-82
45.128	55.152	<b>20170</b>	<b>28</b>	-51	<b>614</b>	-69	<b>40</b>	-77	<b>8</b>	-77	<b>5</b>	-82	<b>38</b>	-85
40.344	50.230	<b>20170</b>	<b>28</b>	-55	<b>614</b>	-73	<b>34</b>	-74	<b>40</b>	-75	<b>33</b>	-80	<b>625</b>	-81
34.711	54.079	<b>20170</b>	<b>28</b>	-61	<b>614</b>	-79	<b>34</b>	-77	<b>16</b>	-78	<b>8</b>	-81	<b>40</b>	-82
35.382	51.259	<b>20170</b>	<b>28</b>	-58	<b>49</b>	-77	<b>33</b>	-77	<b>614</b>	-79	<b>34</b>	-81	<b>16</b>	-81
37.566	48.335	<b>20170</b>	<b>28</b>	-59	<b>34</b>	-79	<b>12</b>	-80	<b>40</b>	-81	<b>21</b>	-82	<b>614</b>	-82
36.766	46.313	<b>20170</b>	<b>28</b>	-62	<b>34</b>	-65	<b>40</b>	-78	<b>21</b>	-80	<b>614</b>	-81	<b>48</b>	-80
38.566	47.059	<b>20170</b>	<b>28</b>	-49	<b>614</b>	-76	<b>7</b>	-73	<b>40</b>	-74	<b>33</b>	-78	<b>45</b>	-79
40.275	44.620	<b>20170</b>	<b>28</b>	-54	<b>614</b>	-70	<b>40</b>	-78	<b>45</b>	-79	<b>34</b>	-80	<b>49</b>	-80
42.689	44.447	<b>20170</b>	<b>28</b>	-52	<b>614</b>	-67	<b>40</b>	-72	<b>38</b>	-82	<b>8</b>	-75	<b>34</b>	-83
44.555	46.360	<b>20170</b>	<b>28</b>	-54	<b>34</b>	-70	<b>614</b>	-75	<b>8</b>	-77	<b>10</b>	-77	<b>26</b>	-80
38.432	37.055	<b>20170</b>	<b>28</b>	-57	<b>614</b>	-61	<b>49</b>	-68	<b>34</b>	-70	<b>11</b>	-71	<b>40</b>	-71
39.695	34.625	<b>20170</b>	<b>28</b>	-58	<b>34</b>	-72	<b>40</b>	-75	<b>50</b>	-77	<b>12</b>	-78	<b>14</b>	-79
41.619	30.422	<b>20170</b>	<b>28</b>	-70	<b>50</b>	-77	<b>40</b>	-78	<b>614</b>	-78	<b>12</b>	-82	<b>11</b>	-82
42.571	28.205	<b>20170</b>	<b>614</b>	-72	<b>28</b>	-51	<b>12</b>	-72	<b>49</b>	-75	<b>11</b>	-76	<b>38</b>	-78
42.826	26.186	<b>20170</b>	<b>28</b>	-60	<b>11</b>	-73	<b>34</b>	-77	<b>33</b>	-78	<b>16</b>	-80	<b>49</b>	-80
43.265	23.285	<b>20170</b>	<b>28</b>	-56	<b>614</b>	-69	<b>12</b>	-75	<b>40</b>	-77	<b>16</b>	-79	<b>34</b>	-79
45.240	24.844	<b>20170</b>	<b>28</b>	-55	<b>614</b>	-60	<b>40</b>	-68	<b>12</b>	-72	<b>8</b>	-75	<b>49</b>	-76
45.037	26.520	<b>20170</b>	<b>28</b>	-52	<b>34</b>	-70	<b>614</b>	-71	<b>12</b>	-72	<b>40</b>	-78	<b>33</b>	-79
44.263	29.241	<b>20170</b>	<b>28</b>	-65	<b>34</b>	-74	<b>49</b>	-75	<b>629</b>	-73	<b>625</b>	-74	<b>11</b>	-80

43.135	30.724	20170	28	-61	34	-61	10	-72	50	-74	629	-74	48	-72
41.947	33.194	31400	34	-62	28	-70	50	-72	10	-74	21	-75	625	-78
41.358	35.052	20170	28	-61	40	-69	48	-73	12	-76	50	-76	34	-77
39.591	41.578	20170	28	-47	33	-63	614	-67	34	-70	629	-71	10	-72
40.426	40.204	20170	614	-56	28	-43	40	-66	45	-66	33	-67	34	-67
38.177	40.822	20170	28	-60	49	-71	34	-72	11	-73	40	-75	12	-77
36.451	41.698	20170	28	-49	17	-74	12	-77	11	-77	33	-77	34	-78
35.605	42.655	20170	28	-57	614	-71	34	-77	16	-78	8	-81	40	-82
32.366	45.288	20170	28	-63	40	-70	16	-74	34	-76	21	-76	12	-78
31.772	47.474	20170	28	-68	34	-67	48	-76	10	-77	21	-77	8	-81
31.358	49.526	31400	34	-65	28	-70	10	-74	48	-74	50	-78	21	-79
30.853	51.637	31400	34	-63	10	-70	28	-69	22	-71	48	-74	8	-75
29.663	52.220	31400	34	-57	22	-63	10	-66	28	-70	8	-75	48	-78

Πίνακας 6: Οι μετρήσεις, όπως καταγράφηκαν με την παραπάνω διαδικασία.

#### 6.4.1 Σχολιασμός των Μετρήσεων

Όπως παρατηρούμε από τις μετρήσεις που παρατέθηκαν παραπάνω ολόκληρος ο χώρος της Πολυτεχνειούπολης καλύπτεται από δύο κυψέλες, τις 34 και 28. Στον παρακάτω χάρτη φαίνεται κατά προσέγγιση η περιοχή που καλύπτει η κάθε κυψέλη.



Εικόνα 32: Η πορτοκαλί περιοχή αντιστοιχεί στην κάλυψη της κυψέλης 34 και με κίτρινο η κάλυψη της κυψέλης 28.





# 7

## *Λογισμικό Εντοπισμού Θέσης*

### *7.1 Ανάπτυξη εφαρμογής για επεξεργασία μετρήσεων σε C++*

Για την ανάπτυξη της εφαρμογής στην οποία θα απεικονίζονται τα αποτελέσματα του εντοπισμού της θέσης του κινητού χρήστη χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα C++ και συγκεκριμένα η πλατφόρμα Borland C++ Builder v.6.0. Με την συγκεκριμένη πλατφόρμα μας δόθηκε η δυνατότητα να φτιάξουμε ένα περιβάλλον φιλικό προς τον χρήστη μέσω του οποίου απλά εισάγοντας τα δεδομένα του σημείου στο οποίο βρίσκεται (chn1, dbm1, chn2, dbm2, ..., chn6, dbm6) το πρόγραμμα «τρέχει» τον αλγόριθμο εντοπισμού θέσης και εμφανίζει σε έναν χάρτη της Πολυτεχνειούπολης την πιθανή τοποθεσία στην οποία βρίσκεται ο χρήστης μαζί με το σφάλμα που ενδέχεται να υπάρχει. Στην συνέχεια του παρόντος κεφαλαίου θα παραθέσουμε τις διάφορες κλάσεις που δημιουργήθηκαν για το πρόγραμμα και θα εξηγήσουμε τι κάνει η κάθε μία και πώς λειτουργεί το πρόγραμμα στο σύνολό του.

### 7.1.1 Ο αλγόριθμος του *Fingerprinting*

Η τεχνική για την εκτίμηση της θέσης είναι να επιλέξουμε τη θέση του σημείου με την μικρότερη ευκλείδεια απόσταση σε έναν χώρο διανυσμάτων λαμβανόμενης ισχύος σήματος. Η ευκλείδεια απόσταση  $D$  υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση όπου  $S_1, S_2, \dots, S_N$  είναι οι ισχείς σήματος από το άγνωστο σημείο του οποίου θέλουμε να υπολογίσουμε την πιθανή του θέση και  $S'_1, S'_2, \dots, S'_N$  είναι οι αντίστοιχες ισχείς σήματος των σημείων που ελήφθησαν οι μετρήσεις.

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^N (S_i - S'_i)^2}$$

Μιας και σε όλα τα σημεία την Πολυτεχνειούπολης δεν υπάρχει κάλυψη από τις ίδιες κυψέλες, ο αλγόριθμος εφαρμόζεται μόνο για τα σημεία, των οποίων τα διανύσματα ισχύος σήματος εμφανίζουν μεγαλύτερη ταύτιση στις κυψέλες με το διάνυσμα ισχύων σήματος του αγνώστου σημείου του οποίου επιχειρείται να υπολογιστεί η πιθανή θέση.

Η προσέγγιση του αλγορίθμου του προγράμματος που αναπτύχθηκε χρησιμοποιεί τις έξι κυψέλες με τη μεγαλύτερη ισχύ σήματος. Έτσι, για ένα άγνωστο σημείο που έχει διάνυσμα ισχύος σήματος με έξι τιμές, γίνεται πρώτα έλεγχος αν υπάρχει πλήρης ταύτιση και των έξι κυψελών με κάποια μετρούμενα σημεία. Στην περίπτωση αυτή, ο αλγόριθμος εκτελείται με τιμή  $N=6$ . Σε περίπτωση που δεν υπάρχει, γίνεται έλεγχος αν υπάρχει ταύτιση σε πέντε κυψέλες και για τα σημεία αυτά εκτελείται ο αλγόριθμος για  $N=5$  κτλ.

### 7.1.2 Η λειτουργία του αλγορίθμου *fingerprinting*

Στον αλγόριθμο που αναπτύξαμε αρχικά αποθηκεύονται σε έναν δισδιάστατο πίνακα τα έξι ζεύγη τιμών λαμβανόμενης ισχύος από τον αντίστοιχο σταθμό βάσης ο οποίος προσδιορίζεται όπως εξηγήσαμε και παραπάνω με το κανάλι κοινής εκπομπής του (Broadcast Channel) και τα οποία δεδομένα έχουν ληφθεί από το κινητό τερματικό στην θέση την οποία βρίσκεται και της οποίας επιθυμεί να μάθει τις συντεταγμένες.

Στην συνέχεια το πρόγραμμα δημιουργεί τον χάρτη κάλυψης της περιοχής της Πολυτεχνειούπολης με βάση τα δεδομένα τα οποία έχουν συλλεχθεί κατά το «off-

line» στάδιο. Κάθε σημείο χαρακτηρίζεται από την γεωγραφική θέση (Latitude, Longitude) καθώς επίσης και από 6 ζεύγη τιμών λαμβανόμενης ισχύος και αντίστοιχου BCCH. Ο χάρτης κάλυψης είναι λοιπόν ουσιαστικά ένας πίνακας της μορφής:

Σημείο	Latitude	Longitude	SrcCh	SrcDbm	Bcch1	Dbm1
Σημείο1	...	...	...	...	...	...
Σημείο2	...	...	...	...	...	...

Bcch2	Dbm2	Bcch3	Dbm3	Bcch4	Dbm4	Bcch5	Dbm5
...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...

Bcch6	Dbm6
...	...
...	...

Έχοντας τα δεδομένα του σημείου το οποίο θέλουμε να εντοπίσουμε και όλης της γεωγραφικής περιοχής της Πολυτεχνειούπολης εφαρμόζουμε τον αλγόριθμο της ευκλείδεια απόστασης. Το ερώτημα, λοιπόν, που τίθεται είναι για ποια σημεία θα τον εφαρμόσουμε. Η απάντηση είναι φυσικά για τα σημεία στα οποία υπάρχει ταύτιση των σταθμών βάσης που τα καλύπτουν. Έτσι με βάση τα 6 BCCH τα οποία έχει στείλει το κινητό τερματικό θα πρέπει να βρούμε πια είναι τα σημεία της Πολυτεχνειούπολης στα οποία υπάρχει η μεγαλύτερη ταύτιση των σταθμών βάσης που τα καλύπτουν με αυτούς τους σταθμούς βάσης που ανιχνεύει το κινητό τερματικό την δεδομένη χρονική στιγμή και για την θέση στην οποία βρίσκεται. Έτσι λοιπόν με αναζήτηση μέσα στον πίνακα κάλυψης και σύγκριση με τα κανάλια που έχει στείλει το κινητό βρίσκουμε καταρχήν τα σημεία εκείνα της Πολυτεχνειούπολης, στα οποία παρατηρείται η μεγαλύτερη ταύτιση των σταθμών βάσης.

Για τα σημεία αυτά τώρα είμαστε έτοιμοι να τρέξουμε τον αλγόριθμο ελάχιστης απόστασης (ευκλείδεια απόσταση) και να προσδιορίσουμε το μικρότερο Fingerprint. Στην συνέχεια χρησιμοποιώντας το γεωγραφικό μήκος και πλάτος του σημείου στο οποίο εμφανίζεται το ελάχιστο Fingerprint, εμφανίζεται η θέση του χρήστη πάνω στον χάρτη της Πολυτεχνειούπολης.

### **7.1.3 Τρόποι χρήσης του αλγορίθμου από την εφαρμογή**

Για τον υπολογισμό της πιθανής θέσης του κινητού τηλεφώνου εφαρμόσαμε τρεις διαφορετικές εκδοχές του αλγορίθμου fingerprinting ως προς το πλήθος των αποτελεσμάτων που χρησιμοποιούνται για την εύρεση της πιθανής θέσης και ως προς το μέγεθος της βάσης δεδομένων από την οποία τροφοδοτείται ο αλγόριθμος. Οι τρεις αυτοί τρόποι παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω:

#### *7.1.3.1 Υπολογισμός θέσης με βάση το καλύτερο ταίριασμα (best matching)*

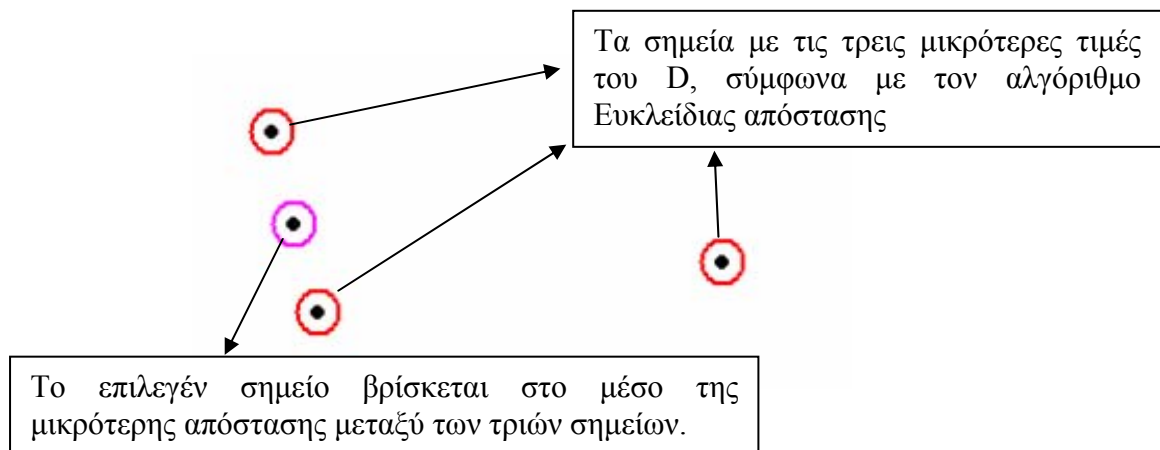
Στον τρόπο αυτό εφαρμογής του αλγορίθμου, η πιθανή θέση του κινητού τηλεφώνου προκύπτει με βάση το διάνυσμα του οποίου η ευκλείδια απόσταση  $D$  είναι η ελάχιστη δυνατή από το διάνυσμα του άγνωστου σημείου του οποίου η θέση ζητείται να υπολογιστεί. Η εφαρμογή του τρόπου αυτού γίνεται με την επιλογή «Position» στην κεντρική καρτέλα που προγράμματος.

#### *7.1.3.2 Υπολογισμός θέσης με βάση αραιότερες μετρήσεις*

Στον τρόπο αυτό εφαρμογή της μεθόδου, χρησιμοποιούμε μόνο το 1/3 των μετρήσεων για τη βάση δεδομένων την οποία χρησιμοποιεί ο αλγόριθμος στην εκτέλεσή του. Έτσι, οι μετρήσεις πλέον είναι ανά 90 μέτρα, αντί ανά 30 όπως στην πρώτη μέθοδο. Σκοπός του τρόπου αυτού είναι η εξακρίβωση της επίπτωσης που έχει η πυκνότητα των μετρήσεων στα αποτελέσματα της μεθόδου.

#### *7.1.3.3 Υπολογισμός θέσης με βάση τα τρία καλύτερα αποτελέσματα (3-Nearest Neighbors)*

Σύμφωνα με την προσέγγιση αυτή, η πιθανή θέση του κινητού τηλεφώνου δεν καθορίζεται από το σημείο που έχει την ελάχιστη τιμή  $D$ , αλλά από τα σημεία που έχουν τις τρεις μικρότερες τιμές της ευκλείδιας απόστασης  $D$ . Στη συνέχεια εξετάζουμε τις μεταξύ τους αποστάσεις και σαν πιθανή θέση του κινητού τηλεφώνου επιλέγεται το μέσον της απόστασης των δύο σημείων που μεταξύ τους απέχουν τη μικρότερη απόσταση, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

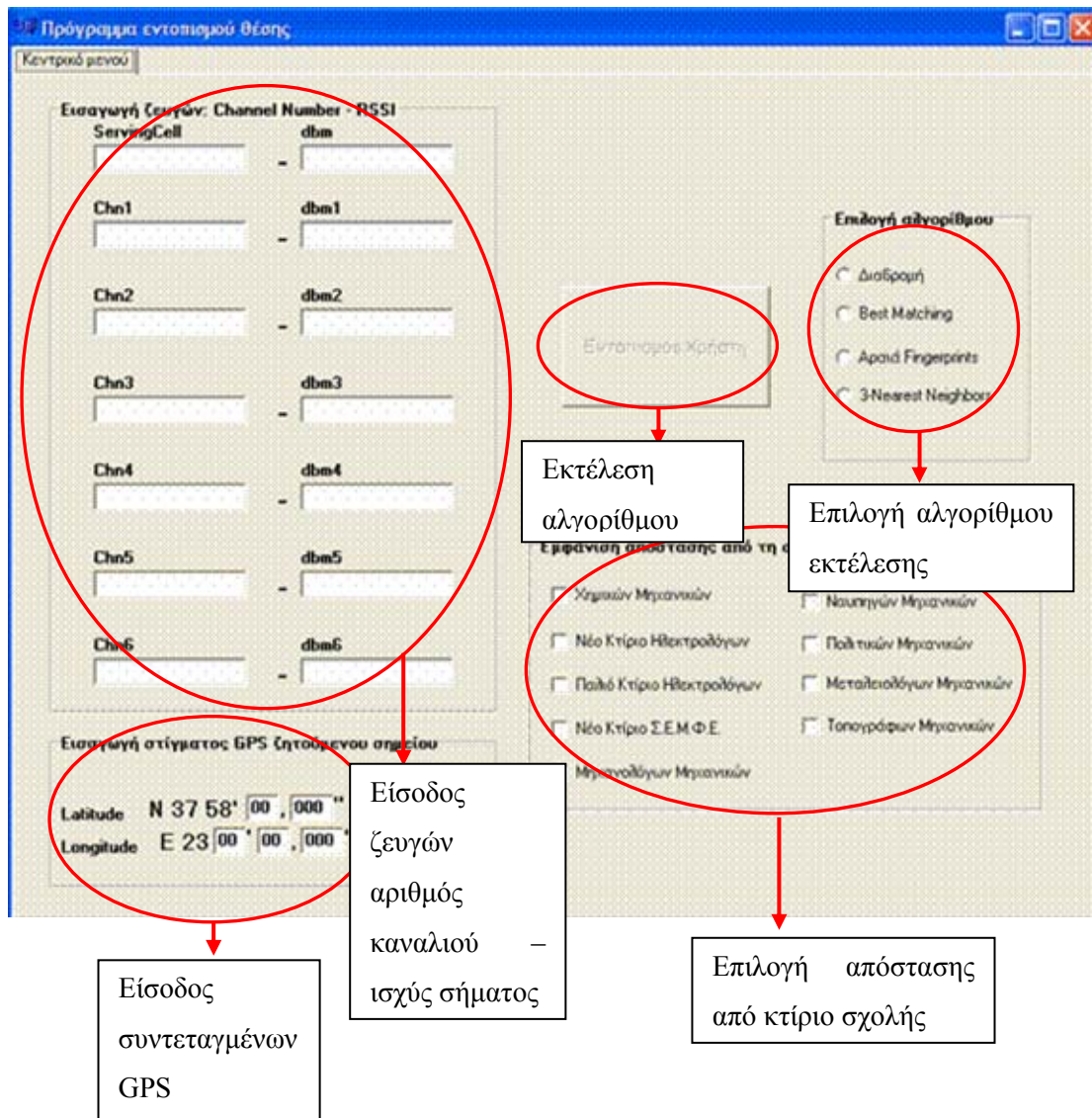


**Εικόνα 33: Εφαρμογή του τρόπου υπολογισμού της θέσης με βάση τα τρία καλύτερα αποτελέσματα.**

## 7.2 Τρόπος λειτουργίας της εφαρμογής

### 7.2.1 Το κεντρικό μενού εισόδου της εφαρμογής

Στο κεντρικό μενού της εφαρμογής ο χρήστης μπορεί να εισάγει τα δεδομένα των μετρήσεων για τα ζεύγη αριθμών καναλιού και ισχύων λαμβανόμενου σήματος σε dBm. Ουσιαστικά οι μετρήσεις αυτές αποστέλλονται μέσω GPRS στον εξυπηρετητή (server). Ωστόσο στην περίπτωση μας δεν μας ενδιαφέρει η παρουσίαση της άμεσης αποστολής μετρήσεων από το τερματικό στον εξυπηρετητή και γι' αυτό το λόγο οι μετρήσεις εισάγονται από το χρήστη. Στη συνέχεια ο χρήστης επιλέγει τον υπολογισμό μια πιθανής διαδρομής, δίνοντας σαν είσοδο ένα αρχείο που περιέχει μετρήσεις που έλαβε κατά τη διαδρομή αυτή, ή τον υπολογισμό της πιθανής θέσης ενός μόνο σημείου με έναν από τους τρεις τρόπους της μεθόδου, όπως περιγράφηκαν παραπάνω. Επιπλέον, μπορεί να εισάγει το γεωγραφικό πλάτος και μήκος του σημείου από το οποίο πήρε τη μέτρηση, ώστε το πρόγραμμα να υπολογίσει το σφάλμα μεταξύ της εκτιμώμενης θέσης και της πραγματικής. Τέλος, μπορεί να επιλέξει τον υπολογισμό της απόστασής του από κάποιο από τα κτίρια της Πολυτεχνειούπολης.

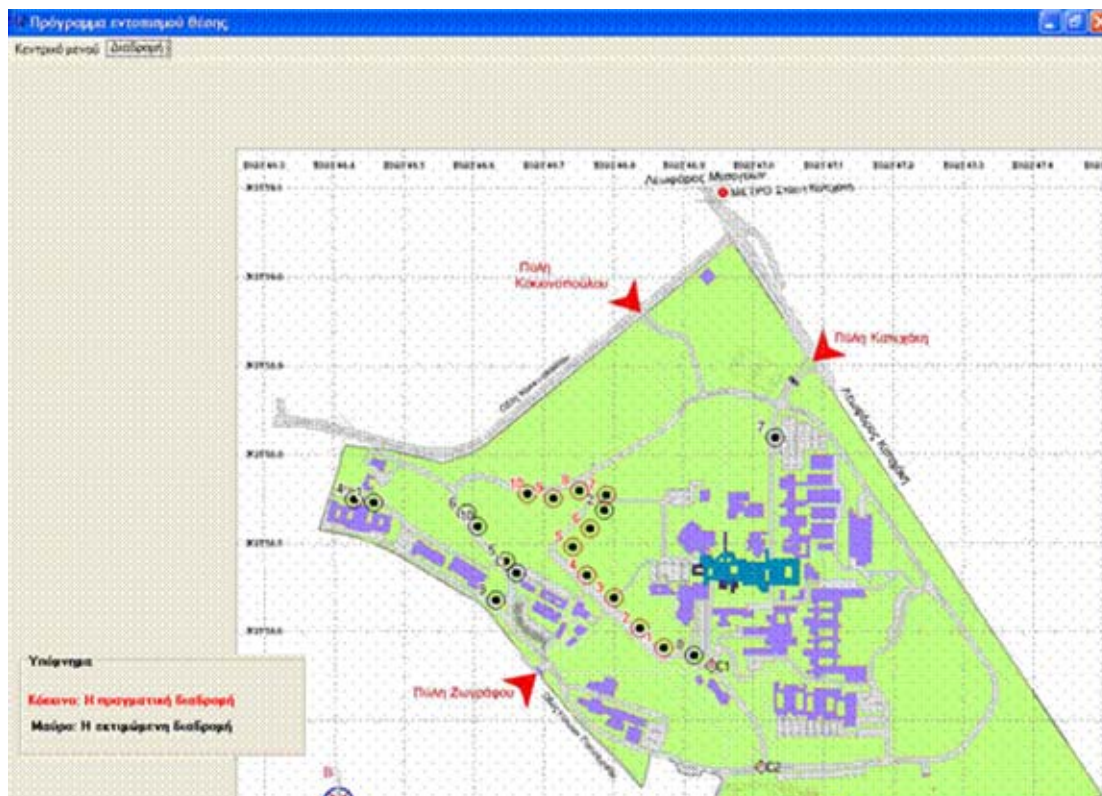


Εικόνα 34: Το κεντρικό μενού της εφαρμογής.

### 7.2.2 Η καρτέλα «Διαδρομή»

Η καρτέλα αυτή εμφανίζεται επιλέγοντας την επιλογή «Διαδρομή» από το κεντρικό μενού και πατώντας το κουμπί της εκτέλεσης. Το πρόγραμμα δέχεται σαν είσοδο ένα αρχείο κειμένου με δέκα μετρήσεις ζευγών αριθμού καναλιού και ισχύος σήματος που ακολουθούνται από τις πραγματικές συντεταγμένες GPS της κάθε μέτρησης. Το πρόγραμμα εμφανίζει τα εκτιμώμενα σημεία της διαδρομής με μαύρο χρώμα, τα οποία είναι αριθμημένα από το 1 ως το 10, δηλώνοντας τη σειρά με την οποία εμφανίστηκαν. Επίσης, εμφανίζει με κόκκινο χρώμα τη σειρά των πραγματικών σημείων από όπου ελήφθησαν οι μετρήσεις, μαζί με την αντίστοιχη αρίθμηση. Η

εμφάνιση των σημείων γίνεται το ένα μετά το άλλο, επιλέγοντας την κατάλληλη επιλογή.

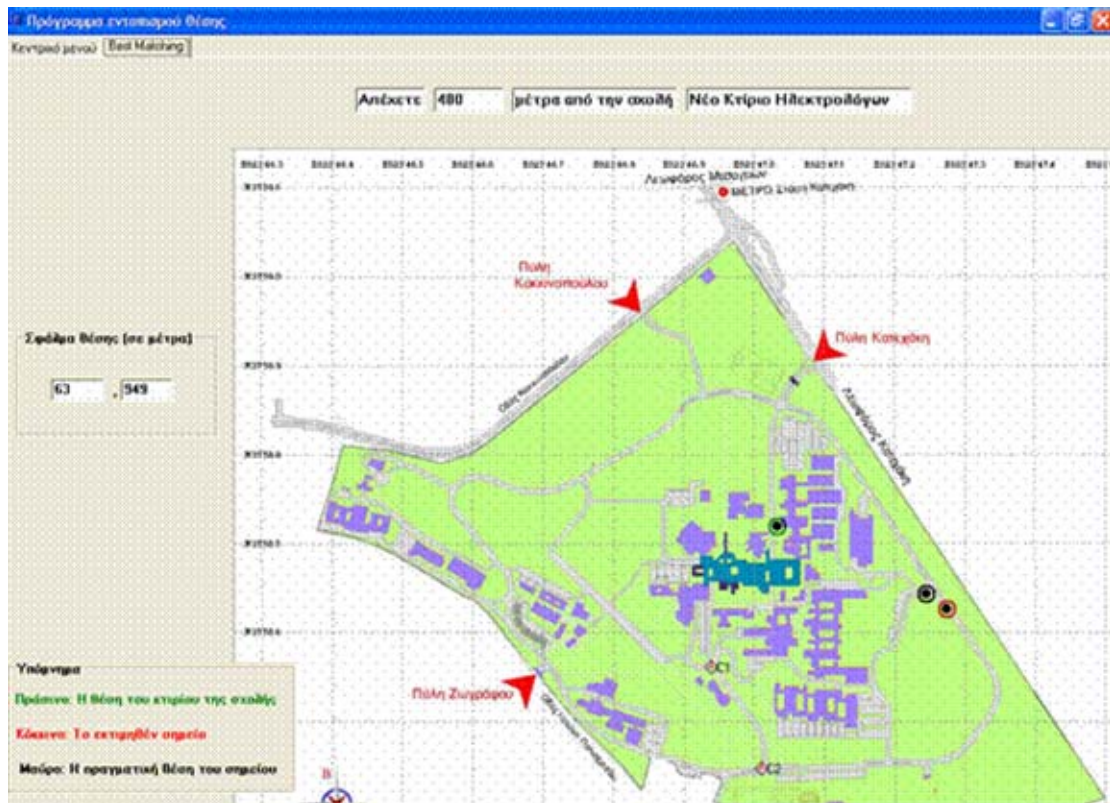


Εικόνα 35: Η πραγματική (κόκκινο χρώμα) και η εκτιμώμενη (μαύρο χρώμα) διαδρομή.

### 7.2.3 Η καρτέλα «Best Matching»

Η καρτέλα αυτή εμφανίζεται όταν ο χρήστης επιλέξει την επιλογή «Position» από το κεντρικό μενού. Στην περίπτωση αυτή ο υπολογισμός θέσης γίνεται με βάση τον αλγόριθμο της ελάχιστης ευκλειδίας αποστασης. Το πρόγραμμα δέχεται σαν είσοδο από το χρήστη το πολύ έξι ζεύγη αριθμού καναλιού και ισχύος λαμβανόμενου σήματος και εκτιμά την πιθανή θέση του χρήστη. Ο χρήστης μπορεί να εισάγει τις πραγματικές συντεταγμένες της θέσης του για να πληροφορηθεί το σφάλμα της μεθόδου. Τέλος, μπορεί να επιλέξει να μάθει την απόστασή του από κάποιο κτίριο της Πολυτεχνειούπολης.



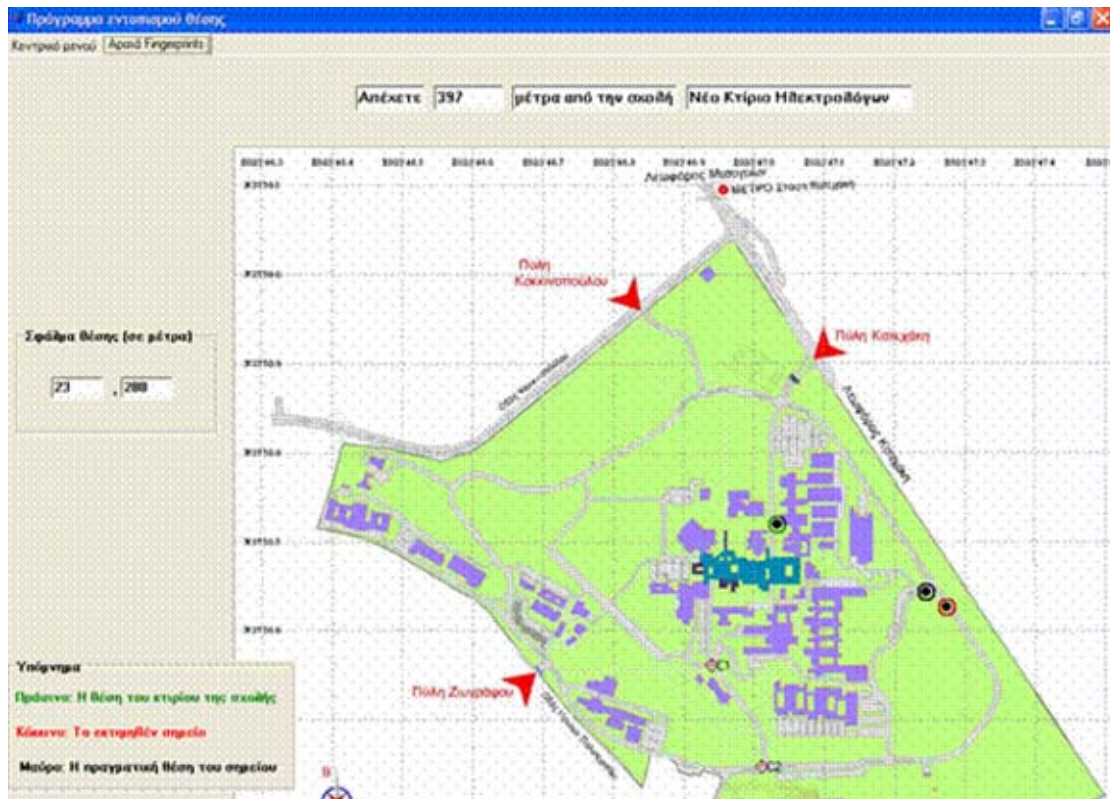


Εικόνα 36: Ένα αποτέλεσμα της καρτέλας «Best Matching» του προγράμματος.

#### 7.2.4 Η καρτέλα «Αραιά Fingerprints»

Η καρτέλα αυτή εμφανίζεται με την επιλογή της κουκκίδας «Αραιά Fingerprints» από το χρήστη στο κεντρικό μενού επιλογών. Εκτελεί τον αλγόριθμο fingerprinting με πιο αραιές μετρήσεις, χρησιμοποιώντας μόνο το 1/3 των μετρήσεων, δηλαδή ανά 90 μέτρα, αντί για 30 μέτρα απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων.

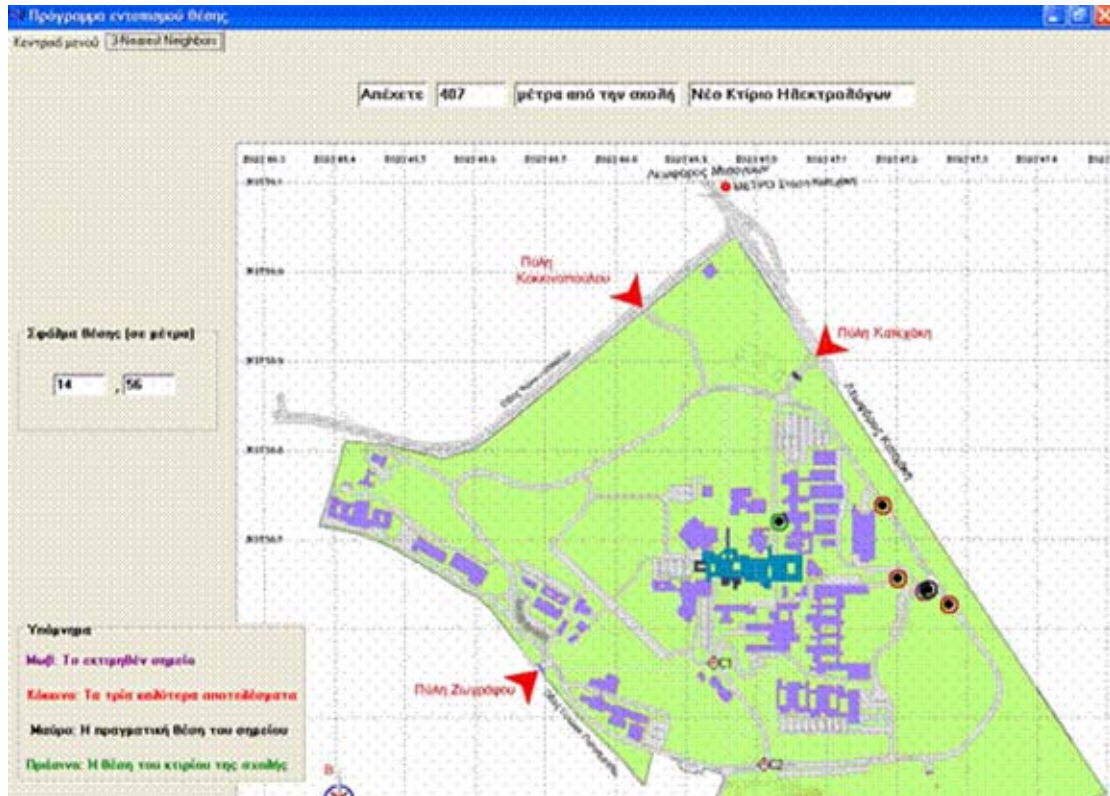




Εικόνα 37: Το αποτέλεσμα της καρτέλας «Αραιά Fingerprints».

### 7.2.5 Η καρτέλα «3-Nearest Neighbors»

Στην καρτέλα αυτή γίνεται ο υπολογισμός της πιθανής θέσης με βάση τον τρίτο αλγόριθμο που περιγράφηκε παραπάνω. Ο χρήστης μπορεί να εκτελέσει τον υπολογισμό επιλέγοντας την επιλογή «3-Nearest Neighbors» στο κεντρικό μενού και εισάγοντας τα απαραίτητα δεδομένα στο πρόγραμμα. Το πρόγραμμα εμφανίζει τα τρία καλύτερα αποτελέσματα με κόκκινο χρώμα, το επιλεγμένο σαν πιθανό σημείο με μωβ και το πραγματικό σημείο (GPS) με μαύρο χρώμα. Επιπλέον, με βάση τις συντεταγμένες του πραγματικού σημείου (GPS), υπολογίζει το σφάλμα της μεθόδου.



Εικόνα 38: Το αποτέλεσμα της μεθόδου «3-Nearest Neighbors».

### 7.3 Αποτελέσματα από εκτελέσεις της εφαρμογής

Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιάσουμε πέντε παραδείγματα εφαρμογής της μεθόδου fingerprinting για πέντε τυχαία σημεία στον χώρο της Πολυτεχνειούπολης.

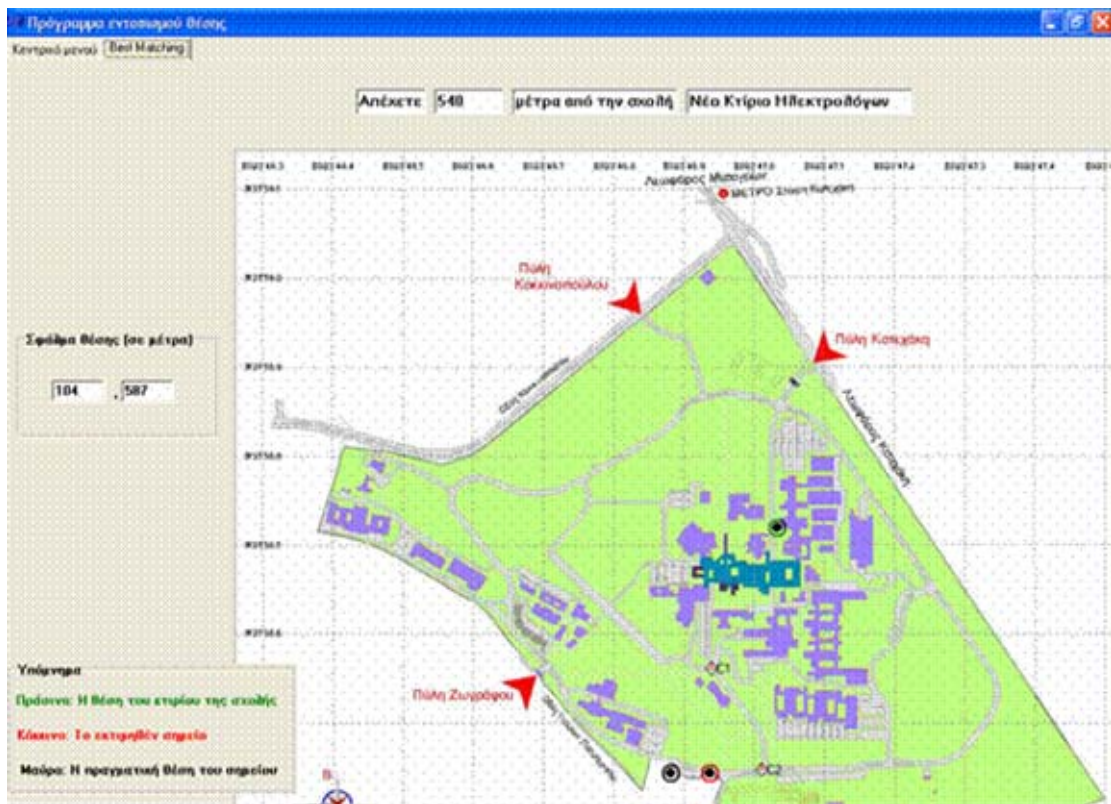
- 1<sup>ο</sup> σημείο με συντεταγμένες:

latitude	longitude
37° 58' 27.863	23° 46' 52.631

Οι μετρούμενες τιμές στο παραπάνω σημείο είναι οι παρακάτω:

	Serving Cell	Κουφέλη 1	Κουφέλη 2	Κουφέλη 3	Κουφέλη 4	Κουφέλη 5	Κουφέλη 6
Channel	34	10	28	48	625	629	12
RSSI	57	67	68	73	73	75	80

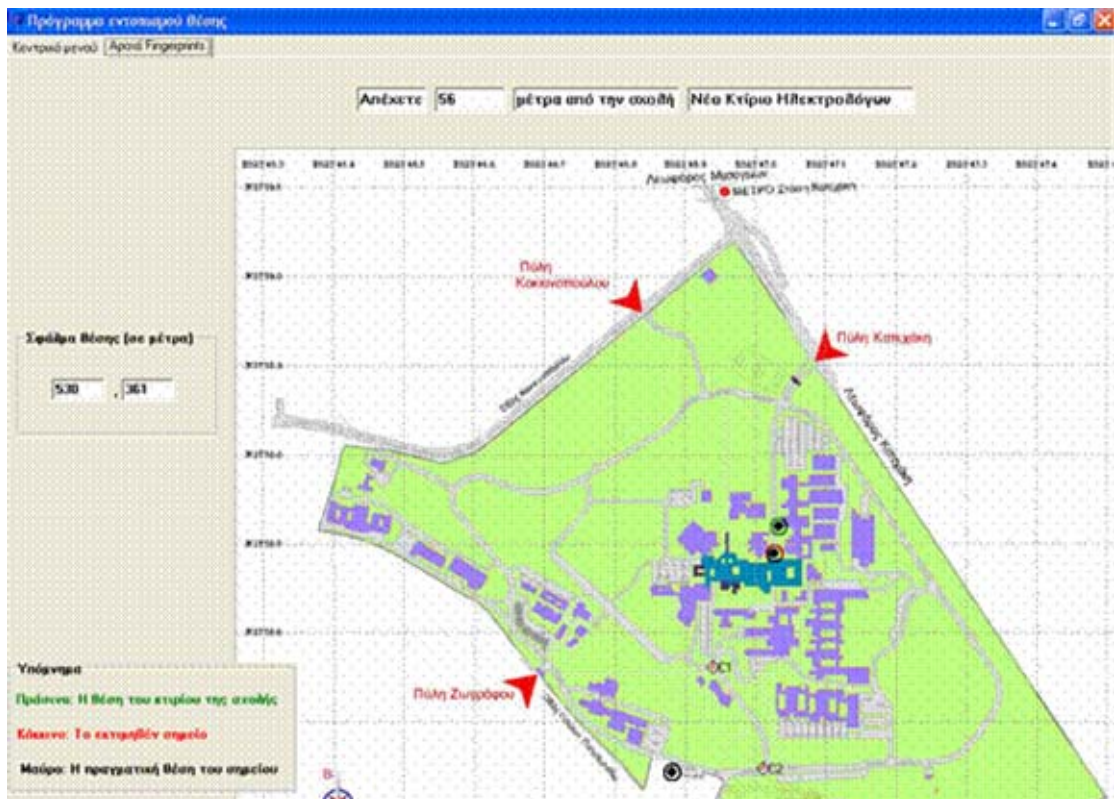
Στον παρακάτω χάρτη απεικονίζεται η ακριβής θέση του σημείου στο οποίο πήραμε τη μέτρηση καθώς επίσης και το σημείο που είναι το αποτέλεσμα της εφαρμογής της μεθόδου «Best Matching»:



Το σφάλμα είναι: 104,587 μέτρα.

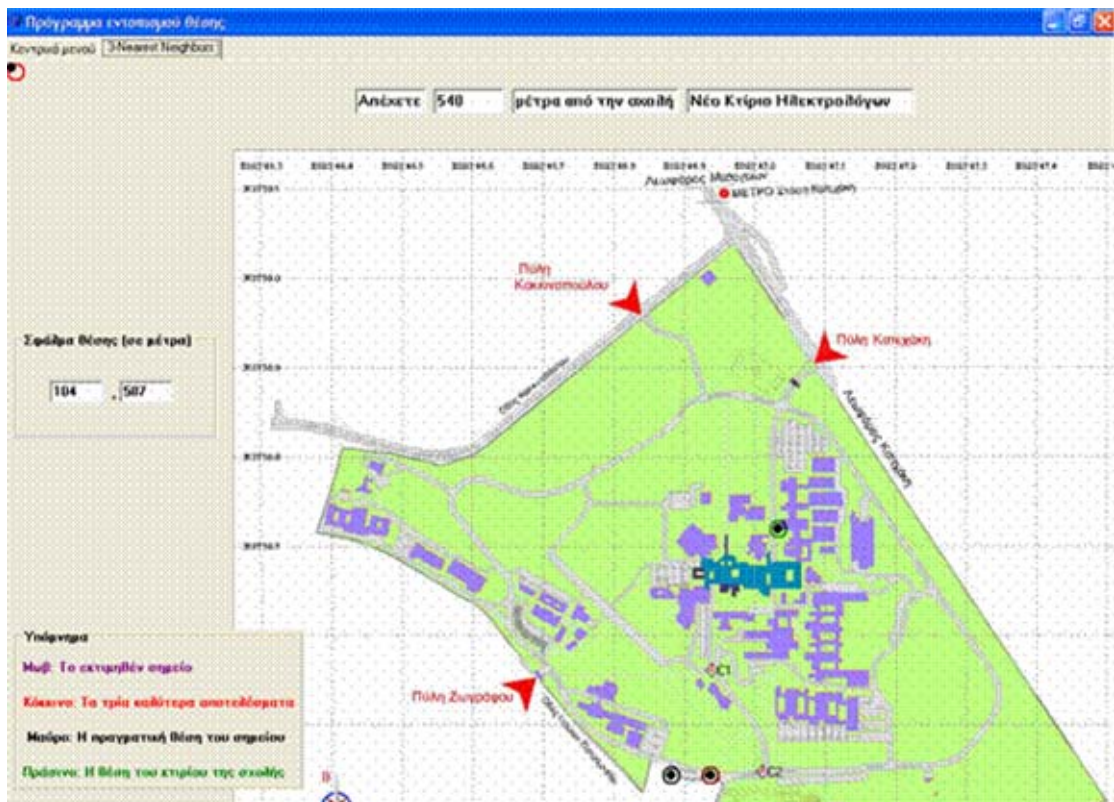
Με την εφαρμογή της μεθόδου «Αραιά Fingerprints» έχουμε:





Το σφάλμα της μεθόδου είναι 530,361 μέτρα.

Με την εφαρμογή της μεθόδου «3-Nearest Neighbors» παίρνουμε το παρακάτω αποτέλεσμα:



Το σφάλμα της μεθόδου είναι: 104,587 μέτρα

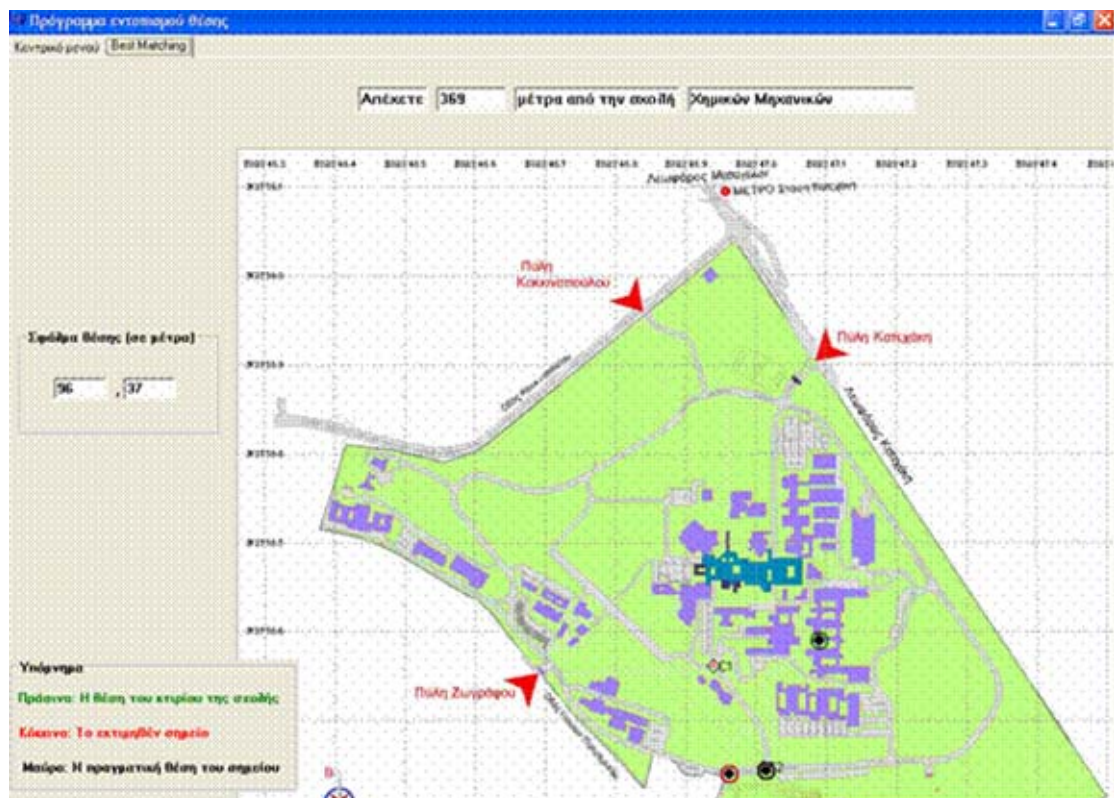
- 2<sup>ο</sup> σημείο με συντεταγμένες:

latitude	longitude
37° 58' 27,036	23° 47' 0,442

Οι μετρούμενες τιμές στο παραπάνω σημείο είναι οι παρακάτω:

	Serving Cell	Κουφέλη 1	Κουφέλη 2	Κουφέλη 3	Κουφέλη 4	Κουφέλη 5	Κουφέλη 6
Channel	34	48	28	625	10	629	12
RSSI	64	71	75	82	81	82	82

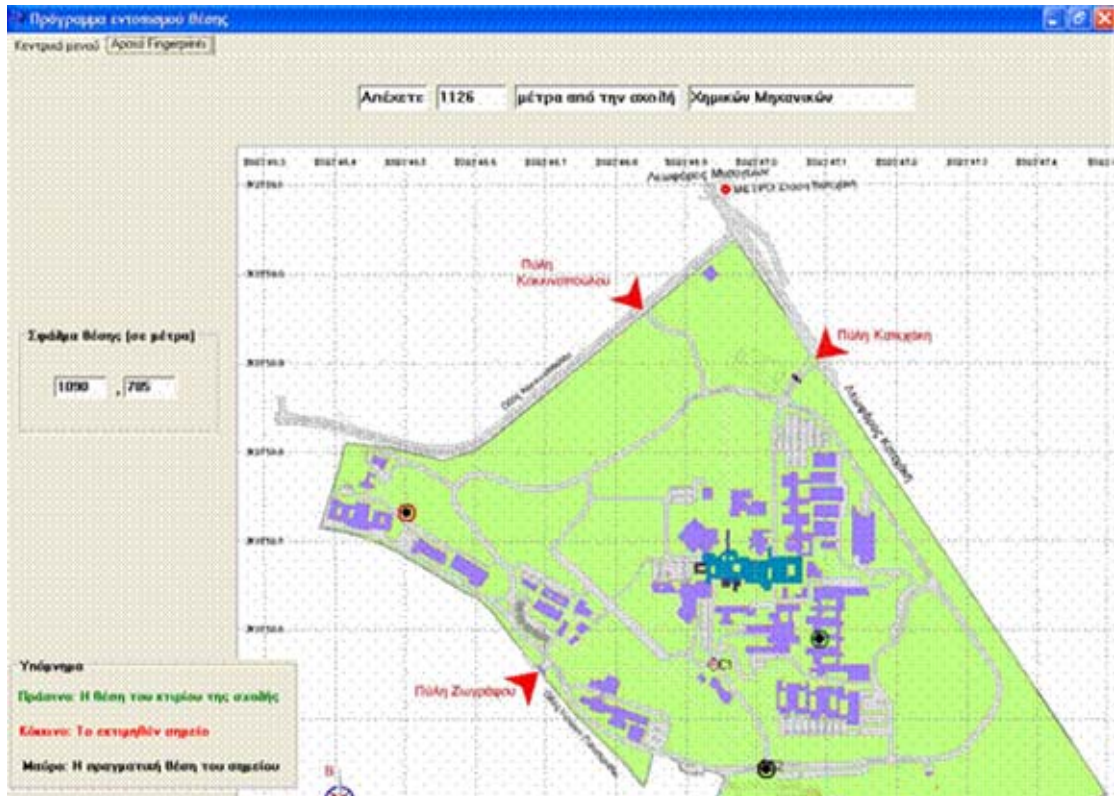
Όμοια, το πραγματικό και το υπολογιζόμενο από τη μέθοδο «Best Matching» απεικονίζονται παρακάτω:



Σε αυτή την περίπτωση το σφάλμα ήταν: 96,037 μέτρα.

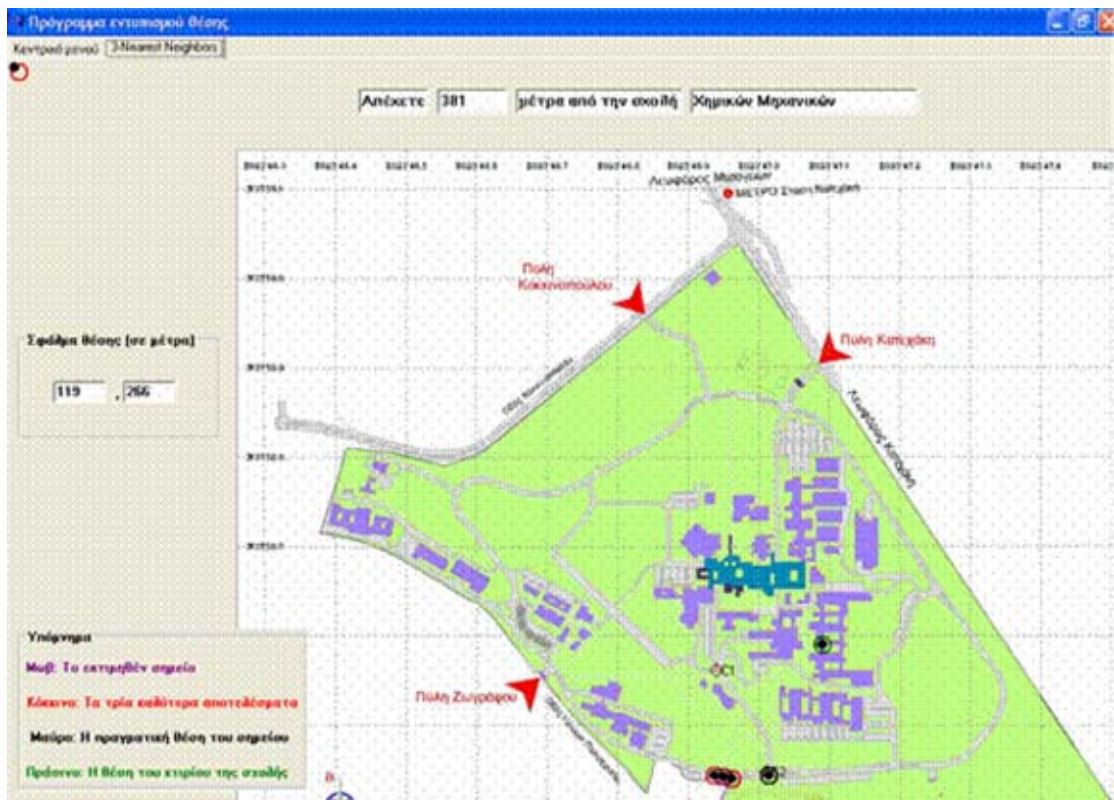
Όμοια, για τη μέθοδο «Αραιά Fingerprints» έχουμε:





Το σφάλμα της μεθόδου είναι: 1090,785 μέτρα.

Το πραγματικό και το υπολογιζόμενο από τη μέθοδο «3-Nearest Neighbors» απεικονίζονται παρακάτω:



Σε αυτή την περίπτωση το σφάλμα της μεθόδου είναι: 119,266 μέτρα.

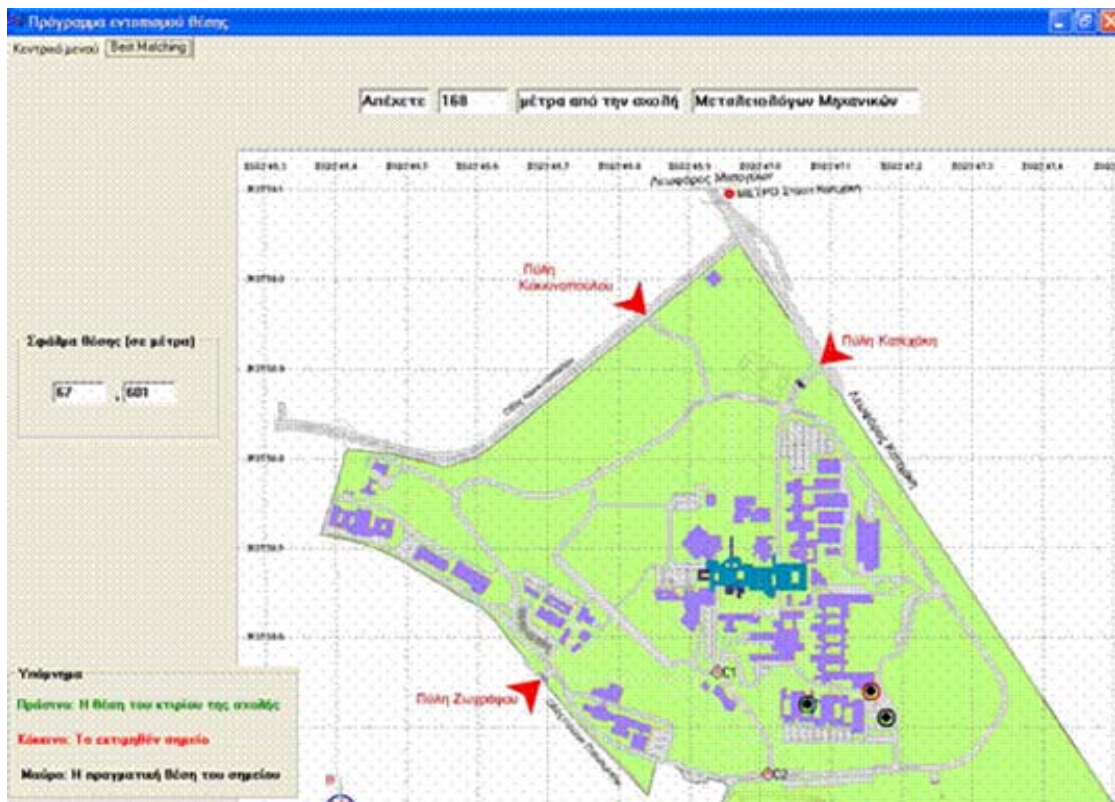
- 3<sup>ο</sup> σημείο με συντεταγμένες:

latitude	longitude
37° 58' 31,027	23° 47' 10,856

Οι μετρούμενες τιμές στο παραπάνω σημείο είναι οι παρακάτω:

	Serving Cell	Κουφέλη 1	Κουφέλη 2	Κουφέλη 3	Κουφέλη 4	Κουφέλη 5	Κουφέλη 6
Channel	34	28	10	26	48	614	625
RSSI	60	67	76	76	82	85	85

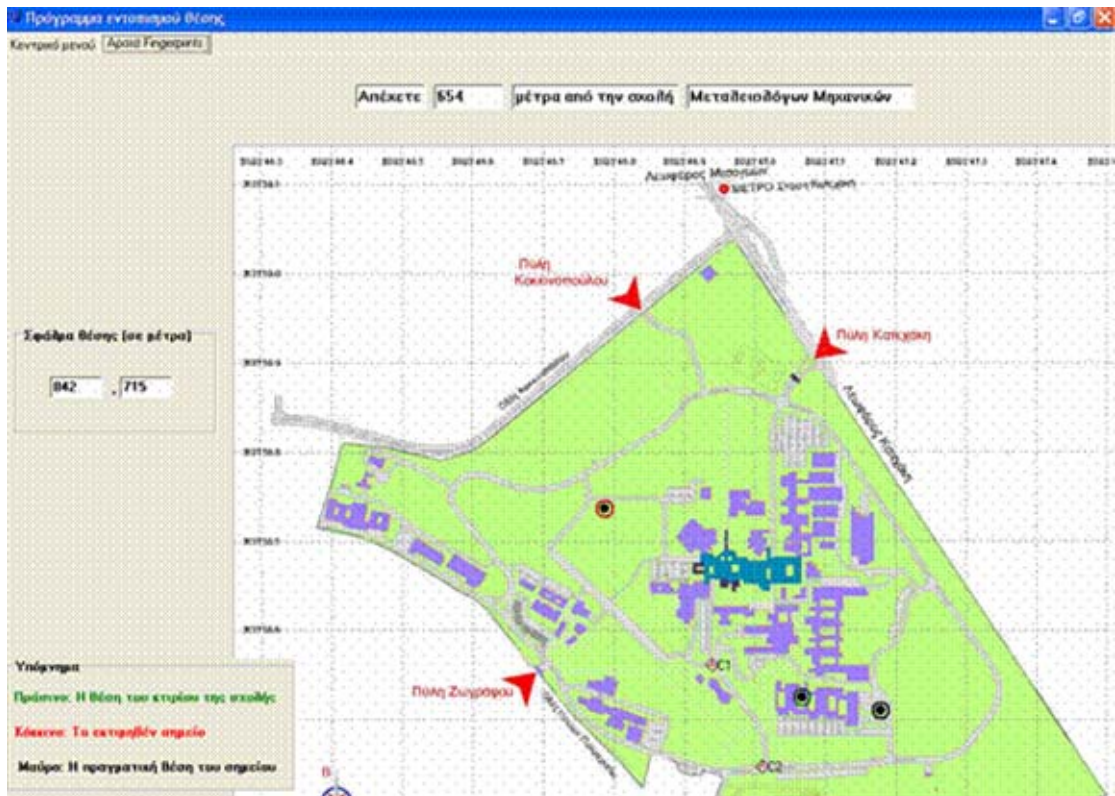
Το πραγματικό και το υπολογιζόμενο από τη μέθοδο «Best Matching» απεικονίζονται παρακάτω:



Το σφάλμα της μεθόδου είναι 67,601 μέτρα.

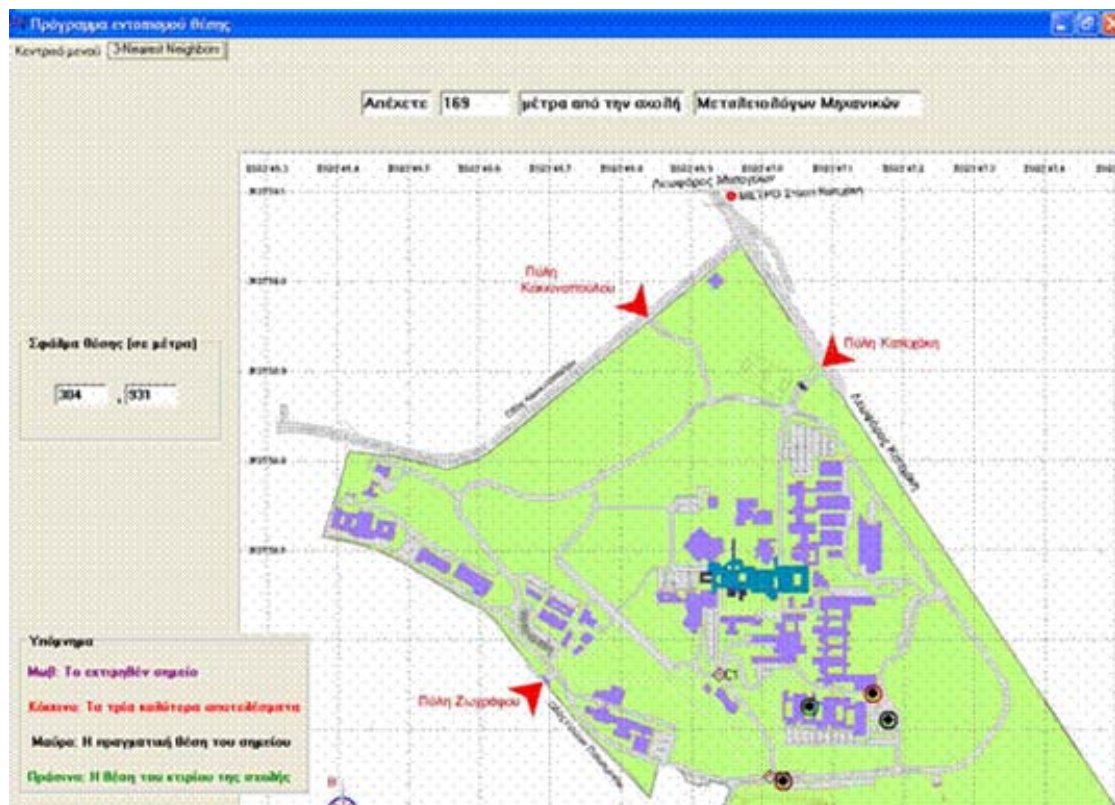
Με τη μέθοδο «Αραιά Fingerprints» έχουμε:





Το σφάλμα είναι: 842,715 μέτρα.

Το πραγματικό και το υπολογιζόμενο από τη μέθοδο «3-Nearest Neighbors» απεικονίζονται παρακάτω:





Το σφάλμα της μεθόδου είναι 304,931 μέτρα.

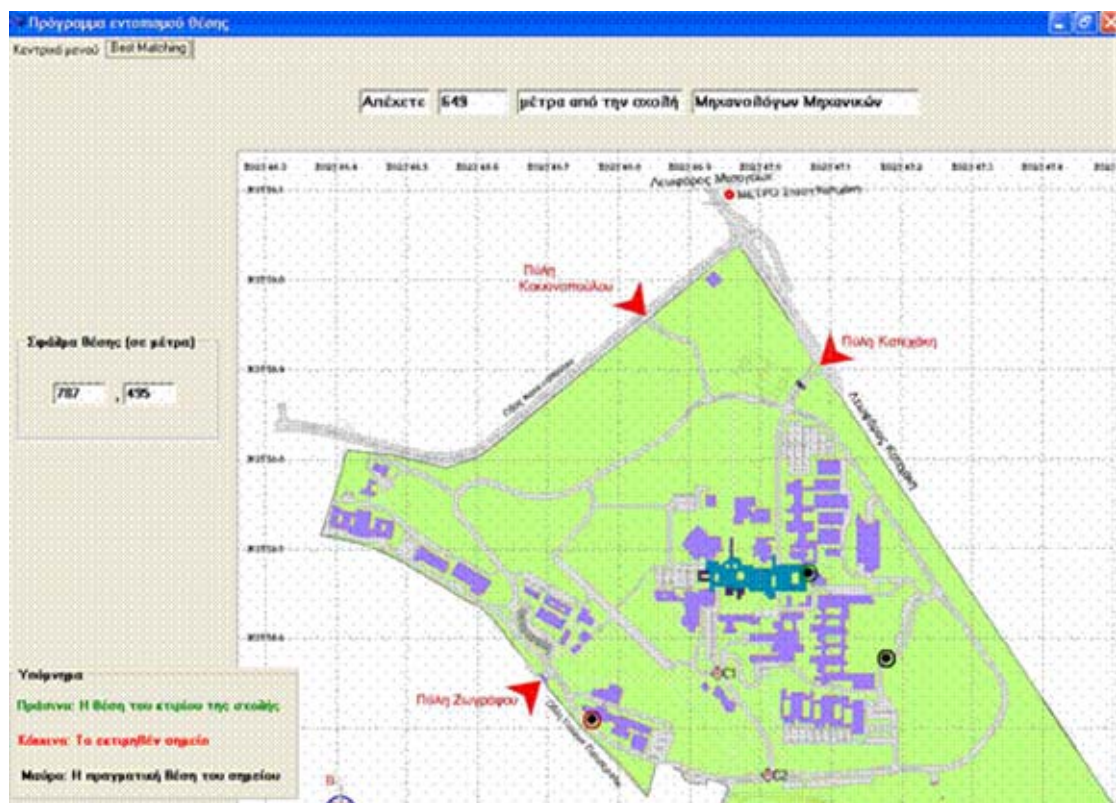
- 4<sup>ο</sup> σημείο με συντεταγμένες:

latitude	longitude
37° 58' 35,027	23° 47' 10,937

Οι μετρούμενες τιμές στο παραπάνω σημείο είναι οι παρακάτω:

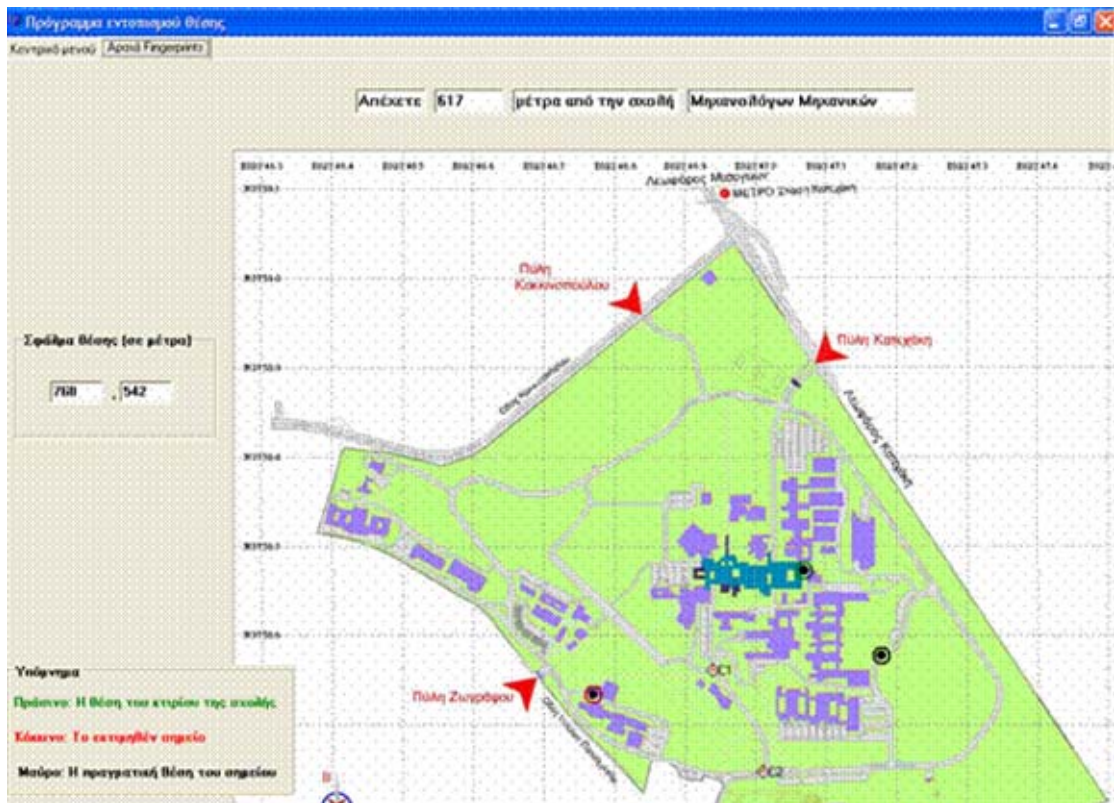
	Serving Cell	Κυψέλη 1	Κυψέλη 2	Κυψέλη 3	Κυψέλη 4	Κυψέλη 5	Κυψέλη 6
Channel	28	34	40	12	16	3	614
RSSI	69	75	74	75	80	77	85

Το πραγματικό και το υπολογιζόμενο από τη μέθοδο «Best Matching» σημείο απεικονίζονται παρακάτω:



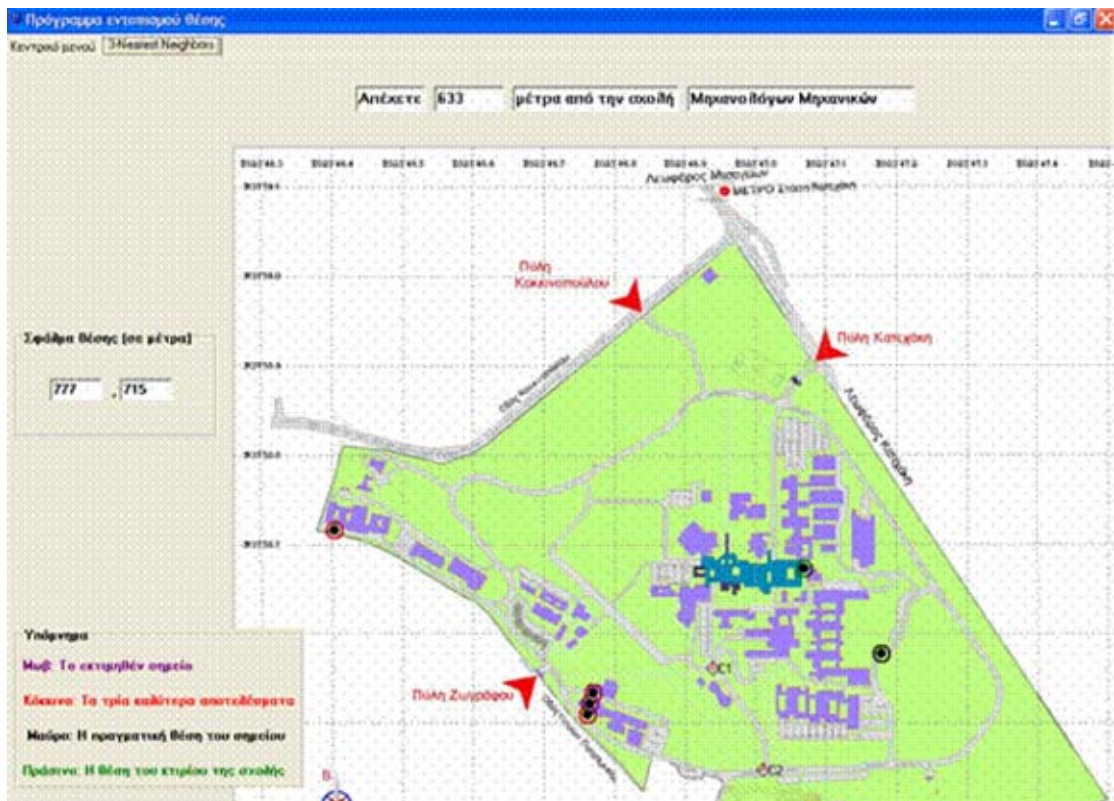
Το σφάλμα είναι 787,945 μέτρα.

Όμοια για τη μέθοδο «Αραιά Fingerprints»:



Το σφάλμα είναι: 768,542 μέτρα.

Το αποτέλεσμα της μεθόδου «3-Nearest Neighbors φαίνεται παρακάτω:



Το σφάλμα της μεθόδου είναι 777,715 μέτρα.



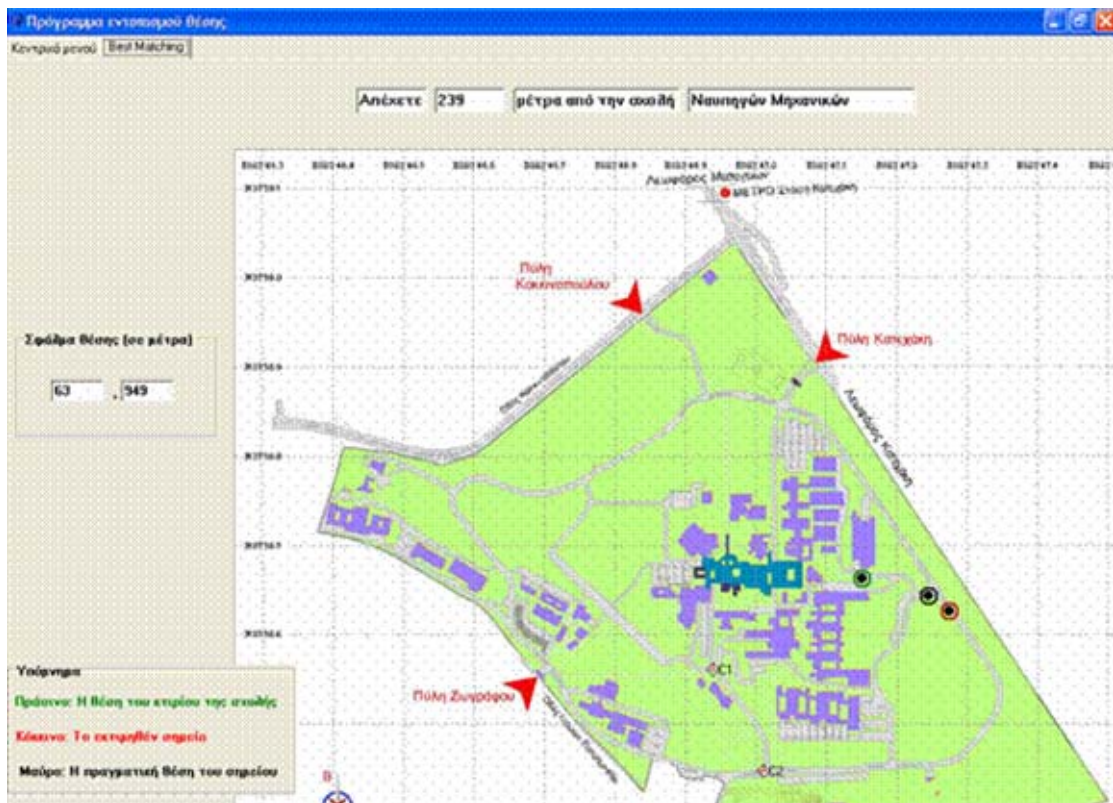
- 5<sup>ο</sup> σημείο με συντεταγμένες:

latitude	longitude
37° 58' 39,200	23° 46' 14,413

Οι μετρούμενες τιμές στο παραπάνω σημείο είναι οι παρακάτω:

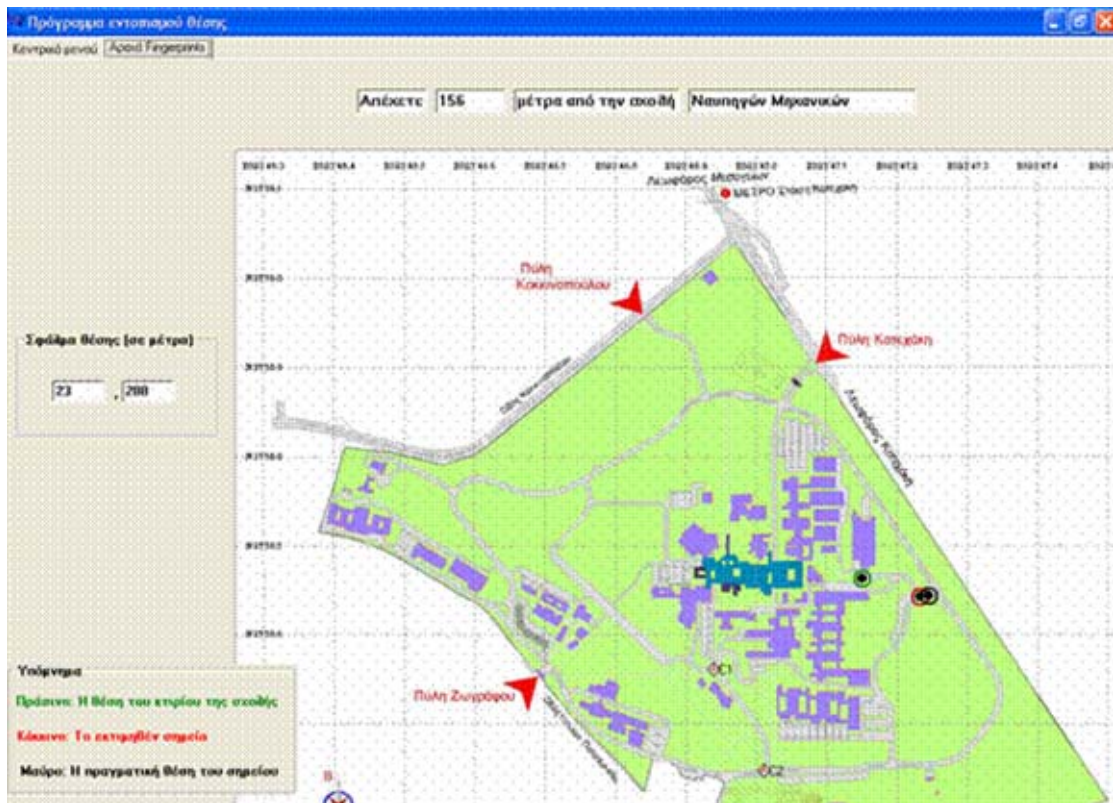
	Serving Cell	Κουφέλη 1	Κουφέλη 2	Κουφέλη 3	Κουφέλη 4	Κουφέλη 5	Κουφέλη 6
Channel	28	34	48	26	10	631	614
RSSI	63	59	66	79	81	82	85

Το αποτέλεσμα της μεθόδου «Best Matching» είναι το παρακάτω:



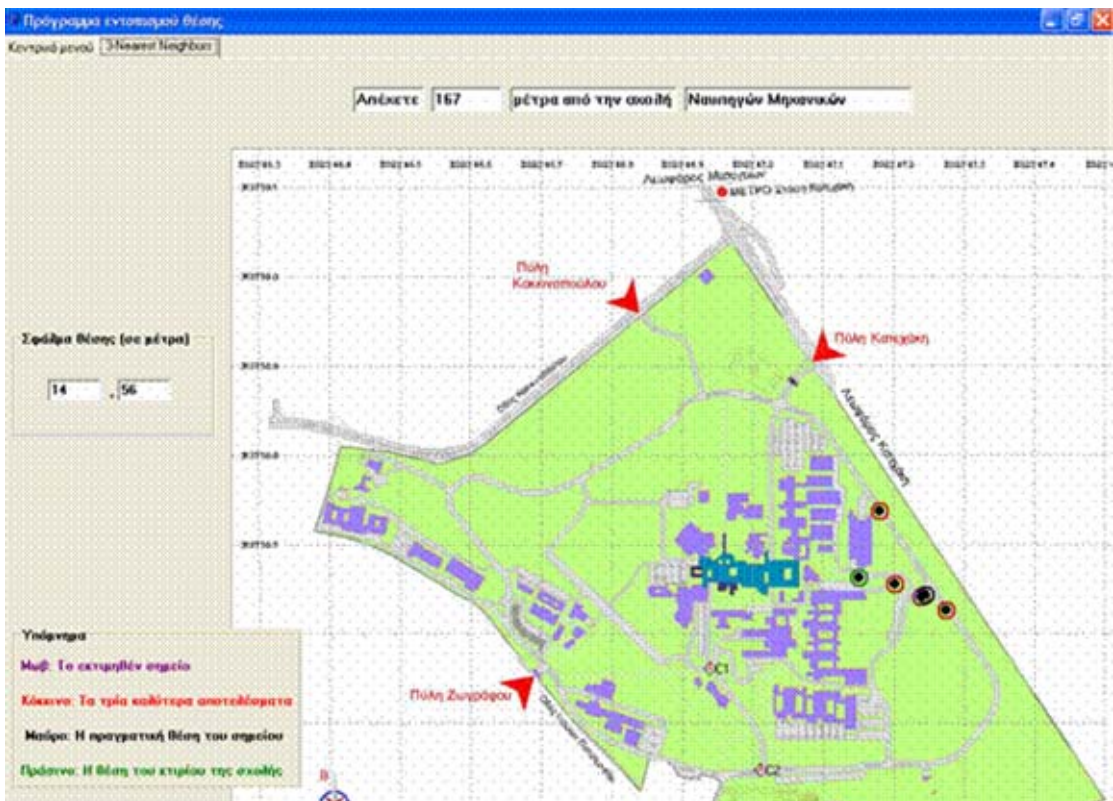
Το σφάλμα είναι 63,949 μέτρα.

Η μέθοδος «Αραιά Fingerprints» δίνει αποτέλεσμα:



Το σφάλμα είναι 23,288 μέτρα.

Τέλος, η μέθοδος «3-Nearest Neighbors» δίνει:



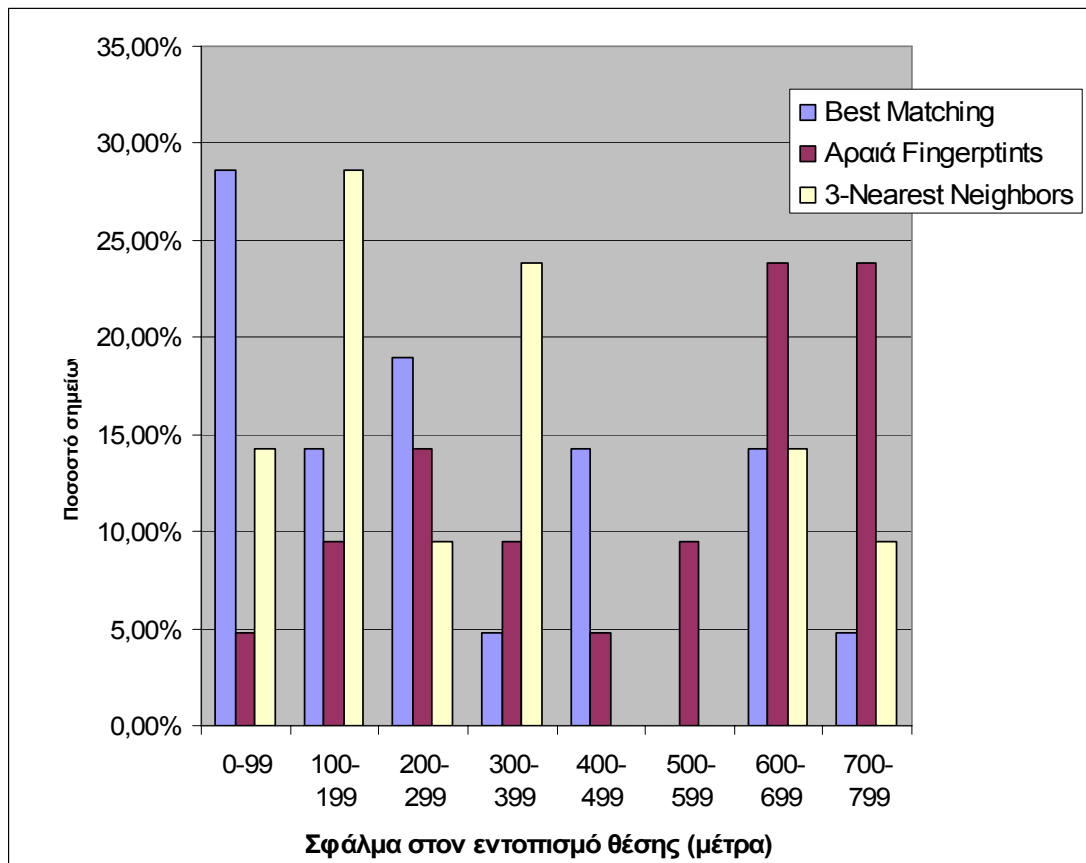
Το σφάλμα της μεθόδου είναι 14,056 μέτρα.

## 7.4 Στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων

Πήραμε 21 τυχαία δείγματα μετρήσεων σε ολόκληρη την περιοχή της Πολυτεχνειούπολης και στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζουμε τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων για την εκτίμηση θέσης και με τις τρεις μεθόδους:

		«Best Matching»						
Κλάσεις σφάλματος σε μέτρα	0-99	100-199	200-299	300-399	400-499	500-599	600-699	700-799
Αριθμός σημείων	6	3	4	1	3	0	3	1
% επί του συνόλου	28,6%	14,3%	19%	4,8%	14,3%	0%	14,3%	4,8%
		«Αραιά Fingerprints»						
Κλάσεις σφάλματος σε μέτρα	0-99	100-199	200-299	300-399	400-499	500-599	600-699	700-799
Αριθμός σημείων	1	2	3	2	1	2	5	5
% επί του συνόλου	4,8%	9,5%	14,3%	9,5%	4,8%	9,5%	23,8%	23,8%
		«3-Nearest Neighbors»						
Κλάσεις σφάλματος σε μέτρα	0-99	100-199	200-299	300-399	400-499	500-599	600-699	700-799
Αριθμός σημείων	3	6	2	5	0	0	3	2
% επί του συνόλου	14,3%	28,6%	9,5%	23,8%	0%	0%	14,3%	9,5%

Πίνακας 7: Στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

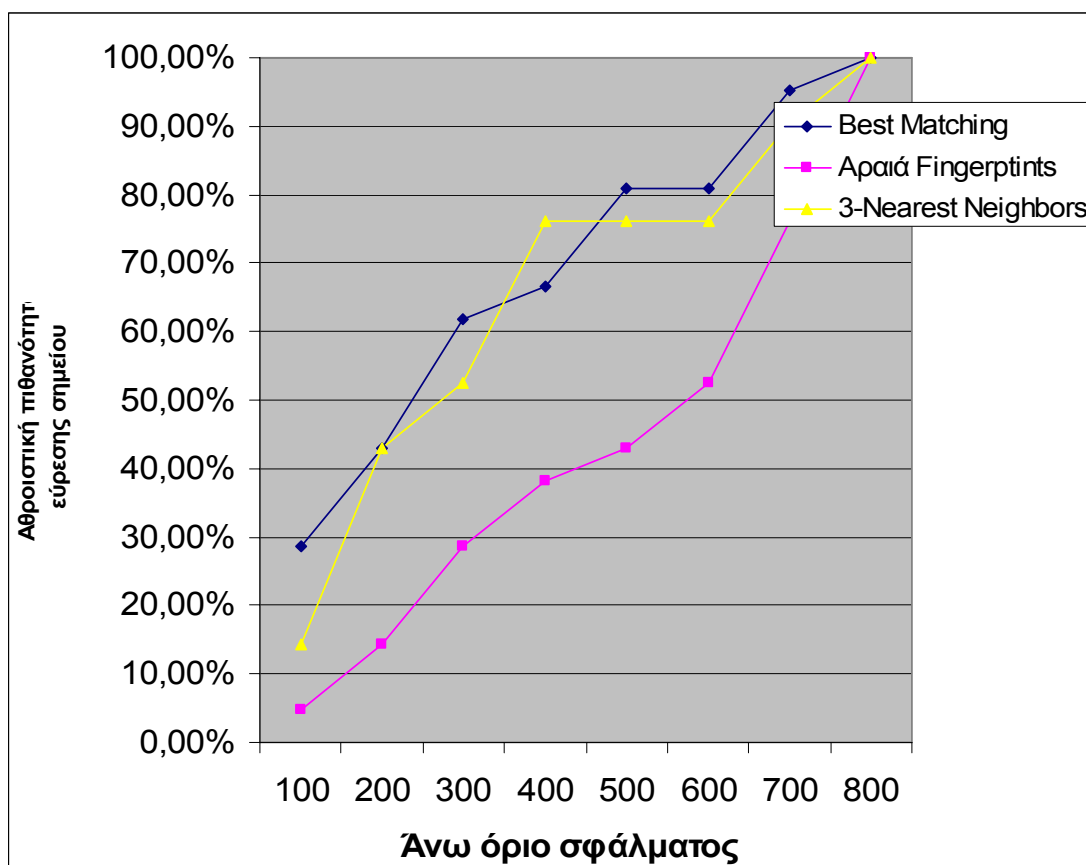


Εικόνα 39: Σφάλμα στον εντοπισμό θέσης.

Στην συνέχεια ακολουθεί η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων για την εξαγωγή του άνω ορίου σφάλματος για τις τρεις μεθόδους.

«Best Matching»								
Άνω όριο σφάλματος	100	200	300	400	500	600	700	800
Αριθμός σημείων	6	3	4	1	3	0	3	1
Αθροιστική πιθανότητα	28,60%	42,90%	61,90%	66,70%	81,00%	81,00%	95,30%	100,00%
«Αραιά Fingerprints»								
Άνω όριο σφάλματος	100	200	300	400	500	600	700	800
Αριθμός σημείων	1	2	3	2	1	2	5	5
Αθροιστική πιθανότητα	4,80%	14,30%	28,60%	38,10%	42,90%	52,40%	76,20%	100,00%
«3-Nearest Neighbors»								
Άνω όριο σφάλματος	100	200	300	400	500	600	700	800
Αριθμός σημείων	3	6	2	5	0	0	3	2
Αθροιστική πιθανότητα	14,30%	42,90%	52,40%	76,20%	76,20%	76,20%	90,50%	100,00%

**Πίνακας 8: Άνω όριο σφάλματος**



Εικόνα 40: Άνω όριο σφάλματος.

## 7.5 Ακρίβεια θέσης και μεθόδου

Αρχικά παρατηρούμε στα στατιστικά στοιχεία που παρουσιάζονται στους πίνακες ότι το άνω όριο σφάλματος και για τις τρεις μεθόδους είναι 800 μέτρα. Σύμφωνα με το διάγραμμα της εικόνας 39, παρατηρούμε ότι η μέθοδος «Best Matching» εμφανίζει τη μεγαλύτερη ακρίβεια στο μεγαλύτερο ποσοστό σημείων, δηλαδή για ακρίβεια θέσης 0-99 μέτρα το ποσοστό σημείων της μεθόδου «Best Matching» (ακρίβεια της μεθόδου) είναι 28,6%, έναντι μόλις 4,8% της μεθόδου «Αραιά Fingerprints» και 14,3% της μεθόδου «3-Nearest Neighbors». Επιπλέον, η καμπύλη της αθροιστικής πιθανότητας του διαγράμματος της εικόνας 40 για τη μέθοδο «Best Matching» παρουσιάζει μεγαλύτερη κλίση σε σύγκριση με τις μεθόδους «Αραιά Fingerprints» και «3-Nearest Neighbors». Η μέθοδος «Best Matching» τείνει στο 100% των σημείων γρηγορότερα από τις άλλες δύο. Με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις,



συμπεραίνουμε ότι η μέθοδος «Best Matching» επιτυγχάνει τη μεγαλύτερη ακρίβεια στον εντοπισμό χρηστών σε κυψελωτά δίκτυα.



# 8

## *Επίλογος*

### *8.1 Σύνοψη και συμπεράσματα*

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η εξαγωγή συμπερασμάτων για την αποτελεσματικότητα της μεθόδου Fingerprinting στον εντοπισμό χρηστών καθώς επίσης και ο καθορισμός για το αν η μέθοδος Fingerprinting μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά σε Βασιζόμενες στη Θέση Υπηρεσίες.

Στο κεφάλαιο 7 είδαμε τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την δοκιμή της μεθόδου Fingerprinting και το σφάλμα το οποίο προκύπτει. Αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος ο οποίος έχει τη δυνατότητα να υπολογίζει την πιθανή θέση του χρήστη με τρεις διαφορετικούς τρόπους (Best Matching, Αραιά Fingerprints, 3 Nearest Neighbors) και έτσι με την στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων από πραγματικές μετρήσεις και δοκιμές που έγιναν, εξήχθησαν συμπεράσματα σχετικά με την ακρίβεια κάθε μίας από τις μεθόδους που υλοποιήθηκαν.

Συνδυάζοντας λοιπόν όλα τα παραπάνω και λαμβάνοντας υπόψιν μας την ακρίβεια των τεχνικών εντοπισμού χρήστη που είναι ευρέως διαδεδομένες και χρησιμοποιούμενες και οι οποίες φαίνονται στον **Error! Reference source not**

**found.)** καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως η μέθοδος Fingerprinting μπορεί να πετύχει αρκετά καλά αποτελέσματα ως προς την ακρίβεια του εντοπισμού του χρήστη. Με την μέθοδο «3-Nearest Neighbors» επιτυγχάνεται ακρίβεια 200-400 μέτρα για το 72% των περιπτώσεων. Μία τέτοια ακρίβεια για εφαρμογή σε Βασισόμενες στη Θέση Υπηρεσίες είναι αρκετά ικανοποιητική. Φυσικά η μέθοδος Fingerprinting δεν μπορεί να ανταγωνιστεί το GPS ή το Assisted GPS αλλά δεν θα πρέπει να αγνοείται το γεγονός πως για την εφαρμογή της μεθόδου δεν απαιτείται σχεδόν καμία μεταβολή στο κινητό τερματικό ή στο δίκτυο. Αντίθετα είναι μία τεχνική με ελάχιστο κόστος υλοποίησης που όπως αποδείχθηκε στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία καταφέρνει να αποδώσει σημαντικής ακρίβειας αποτελέσματα. Παράλληλα θα πρέπει να αναφερθεί πως υπάρχουν δυνατότητες να επιτευχθεί ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια για την μέθοδο λαμβάνοντας υπόψιν επιπλέον παραμέτρους όπως παραδείγματος χάριν την γωνία άφιξης του σήματος πράγμα που βέβαια θα απαιτούσε επιπλέον εξοπλισμό αλλά θα ήταν μία υβριδική τεχνολογία που θα συνδύαζε το Fingerprinting και την τεχνική του Angle of Arrival που ίσως απέδιδε ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια.

## **8.2 Μελλοντικές επεκτάσεις**

Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία επιχειρήσαμε μία πρώτη προσέγγιση στο θέμα του γεωγραφικού εντοπισμού κάποιου χρήστη μέσω του κινητού τερματικού το οποίο χρησιμοποιεί με κύριο στόχο την ανάπτυξη των βασισόμενων στην θέση εφαρμογών (LBS). Είναι μάλλον προφανές ότι με το πέρας της εν λόγω διπλωματικής το θέμα του εντοπισμού κάποιου κινητού τερματικού δεν έχει κλείσει. Καταρχήν η παρούσα εργασία εκπονήθηκε για τον μικρό χώρο της Πολυτεχνειούπολης οπότε αν τα αποτελέσματα κριθούν ικανοποιητικά και εφόσον αποφασισθεί να χρησιμοποιηθεί η τεχνική του Fingerprinting θα πρέπει να επεκταθεί ο χάρτης κάλυψης ο οποίος δημιουργήθηκε για την Πολυτεχνειούπολη σε μια ευρύτερη περιοχή. Επίσης θα πρέπει να γίνουν μετρήσεις για όλες τις εταιρίες κινητής τηλεφωνίας. Όπως γίνεται κατανοητό για μια περιοχή σαν την Αθήνα αυτή είναι μία εξαιρετικά δύσκολα εργασία με αμφίβολα αποτελέσματα όσον αφορά την ισορροπία μεταξύ ανάπτυξης, υλοποίησης και εφαρμογής της συγκεκριμένης μεθόδου για μία τόσο τεράστια γεωγραφική περιοχή. Επίσης στην παρούσα διπλωματική εργασία δεν

επεξεργαστήκαμε τον τρόπο με τον οποίο θα στέλνονται τα δεδομένα τα οποία συλλέγονται την εκάστοτε χρονική στιγμή (διανύσματα [signal strength , broadcast channel]) από το κινητό τερματικό σε κάποιον κεντρικό Server ο οποίος θα τα επεξεργάζεται και θα στέλνει ως απάντηση στο κινητό τερματικό την θέση στην οποία βρίσκεται. Αυτό δηλαδή το οποίο πρέπει να γίνει είναι να φτιαχτεί κάποιο πρόγραμμα για το κινητό τερματικό το οποίο όταν ο χρήστης επιθυμεί να μάθει την θέση στην οποία βρίσκεται θα αναλαμβάνει να αποθηκεύει τα διανύσματα [signal strength] και [broadcast channel] σε κάποιο αρχείο και μέσω ίσως κάποιου σύντομου γραπτού μηνύματος ή μέσω GPRS να στέλνει το αρχείο αυτό σε κάποιον κεντρικό Server ο οποίος εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο που αναπτύχθηκε στην εργασία μας θα εντοπίζει την θέση του χρήστη και στην συνέχεια θα την στέλνει με την σειρά του στον χρήστη.



# 9

## Βιβλιογραφία

- [1] Federal Communication Commission, “Enhanced 911 - Wireless Services.” <http://www.fcc.gov/911/enhanced/>, 2007
- [2] Single European Emergency Call Number 112, [http://www.europa.eu.int/comm/environment/civil/prote/112/112\\_en.htm](http://www.europa.eu.int/comm/environment/civil/prote/112/112_en.htm), 2007
- [3] Οδηγία 2002/22/EK του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του συμβουλίου της 7<sup>ης</sup> Μαρτίου 2002, [http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/el/oj/2002/l\\_108/l\\_10820020424e100510077.pdf](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/el/oj/2002/l_108/l_10820020424e100510077.pdf)
- [4] J. Hightower, G. Borriello, “Location Sensing Techniques”, UW-CDE-01-07-01 University of Washington, Department of Computer Science and Engineering, Seattle, WA, 8 pages, July 2001.
- [5] Hightower, J. Borriello, G., “Location Systems for Ubiquitous Computing”, IEEE Computer, Vol. 34, Issue 8, pp. 57-66, Aug. 2001.
- [6] R. Want et al., “The Active Badge Location System,” *ACM Trans. Information Systems*, Jan. 1992, pp. 91-102.
- [7] Priyantha N., Chakraborty A., and Balakrishnan H., “The Cricket Location-Support system”, in ACM International Conference on Mobile Computing and Networking, Boston, MA, Aug. 2000.
- [8] Hightower J., Want R., and Boriello G., “SpotON: An indoor 3D location sensing technology based on RF signal strength”, University of Washington, Feb. 2000.
- [9] Ekahau Inc, <http://www.ekahau.com>, 22/05/2007.
- [10] Ubisense Limited, <http://www.ubisense.net>, 22/05/2007.
- [11] Ni L., Liu Y., Lau Y., and Patil A., “LANDMARC: indoor location sensing using active RFID”, *Wireless Networks*, Vol. 10, Issue 6, Nov 2004.
- [12] Versus Technology Inc, <http://www.versustech.com>, 22/05/2007.
- [13] F. Raab et al., “Magnetic Position and Orientation Tracking System,” *IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems*, Sept. 1979, pp. 709-717.

- [14] *Technical Description of DC Magnetic Trackers*, Ascension Technology Corp., Burlington, Vt., 2001.
- [15] P. Bahl and V. Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System," *Proc. IEEE Infocom 2000*, IEEE CS Press, Los Alamitos, Calif., 2000, pp. 775-784.
- [16] R.J. Orr and G.D. Abowd, "The Smart Floor: A Mechanism for Natural User Identification and Tracking," *Proc. 2000 Conf. Human Factors in Computing Systems (CHI 2000)*, ACM Press, New York, 2000.
- [17] Zhu, J.; Durgin, G.D., "Indoor/outdoor location of cellular handsets based on received signal strength", Vehicular Technology Conference, 2005. VTC 2005-Spring. 2005 IEEE 61<sup>st</sup> Volume 1, 30 May-1 June 2005 Page(s):92 - 96 Vol. 1
- [18] Childlocate, <http://www.childlocate.co.uk/>, 2007
- [19] [http://en.wikipedia.org/wiki/Location\\_Based\\_Services](http://en.wikipedia.org/wiki/Location_Based_Services), 2007
- [20] Τσέτσος, Β., Σέκκας, Ο., «Το Μοντέλο Αυτόματης Προώθησης στις Εξαρτώμενες από τη Θέση Υπηρεσίες», Πτυχιακή εργασία στο Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών
- [21] [http://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_mobile\\_phones](http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_mobile_phones), 2007
- [22] <http://en.wikipedia.org/wiki/1G>, 2007
- [23] <http://en.wikipedia.org/wiki/2G>, 2007
- [24] <http://en.wikipedia.org/wiki/3G>, 2007
- [25] <http://en.wikipedia.org/wiki/4G>, 2007
- [26] [http://en.wikipedia.org/wiki/Integrated\\_Digital\\_Enhanced\\_Network](http://en.wikipedia.org/wiki/Integrated_Digital_Enhanced_Network), 2007
- [27] [http://en.wikipedia.org/wiki/Personal\\_Digital\\_Cellular](http://en.wikipedia.org/wiki/Personal_Digital_Cellular), 2007
- [28] [http://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_System\\_for\\_Mobile\\_Communications](http://en.wikipedia.org/wiki/Global_System_for_Mobile_Communications), 2007
- [29] <http://en.wikipedia.org/wiki/IS-95>, 2007
- [30] Κωνσταντίνου, Φ., Κανάτας, Α., «Συστήματα Κινητών Ραδιοεπικοινωνιών», Εργαστήριο Κινητών Ραδιοεπικοινωνιών, Μάρτιος 2001
- [31] [http://en.wikipedia.org/wiki/Angle\\_of\\_arrival](http://en.wikipedia.org/wiki/Angle_of_arrival)
- [32] James, J., Caffery, Jr., «A New Approach to the Geometry of TOA Location», University of Cincinnati, Department of ECECS
- [33] Trevisani, E., Vitaletti, A., «Cell-ID Location Technique, Limits and Benefits:an Experimental Study.», Dipartimento di Informatica e Sistemistica, Università di Roma "La Sapienza"
- [34] Feng, S., Look Law, C., «Assisted GPS and Its Impact on Navigation in Intelligent Transportation Systems», The IEEE 5<sup>th</sup> International Conference on Intelligent Transportation Systems, Singapore, 3-6 September 2002
- [35] Klukas, R., Fatouche, M., «Line-of-Sight Angle of Arrival Estimation in the Outdoor Multipath Environment», IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGIE, VOL. 47, NO. 1, February 1998
- [36] <http://en.wikipedia.org/wiki/Gps>
- [37] Frasco, B., Head of Radio Planning Aerial Communications, «Enhanced Observed Time Difference (E-OTD)», 2007
- [38] <http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Trilateration.svg>, 2007