



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Τομέας Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής & Συστημάτων Πληροφορικής

**Μέθοδος Αύξησης της Ακρίβειας Εντοπισμού
Θέσης Κινητών Τερματικών με την Αξιοποίηση
Παρελθοντικών Δεδομένων**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΤΟΥ

Χρήστου Δ. Δεσινιώτη

Ηλεκτρολόγου Μηχανικού & Μηχανικού Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2007



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Τομέας Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής & Συστημάτων Πληροφορικής

**Μέθοδος Αύξησης της Ακρίβειας Εντοπισμού
Θέσης Κινητών Τερματικών με την Αξιοποίηση
Παρελθοντικών Δεδομένων**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΤΟΥ

Χρήστου Δ. Δεσινιώτη

Ηλεκτρολόγου Μηχανικού & Μηχανικού Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2007

Χρήστος Δ. Δεσινιώτης
Διδάκτωρ Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Χρήστος Δ. Δεσινιώτης, 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.

Μέθοδος Αύξησης της Ακρίβειας Εντοπισμού Θέσης Κινητών Τερματικών με την Αξιοποίηση Παρελθοντικών Δεδομένων

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΤΟΥ

Χρήστου Δ. Δεσινιώτη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διδακτορική διατριβή επικεντρώνεται στο γενικότερο πρόβλημα του προσδιορισμού της θέσης ενός κινητού τερματικού. Πιο συγκεκριμένα προτείνεται και αναλύεται μια καινοτόμος μέθοδος με το όνομα STAMP (Statistical Terminal Assisted Mobile Positioning), η οποία στοχεύει στην αύξηση της ακρίβειας προσδιορισμού (με ταυτόχρονη μείωση της μεταβλητότητας του σφάλματος) που επιτυγχάνουν οι διαθέσιμες τεχνικές που εφαρμόζονται στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών καθώς και την εκτίμηση της τροχιάς κίνησης κινητών τερματικών. Η μέθοδος που προτείνεται αξιοποιεί την ικανότητα του τερματικού να συλλέγει τις κατάλληλες μετρήσεις δικτύου στο οποίο είναι συνδεδεμένο (τις οποίες λαμβάνει συνεχώς ως μέρος της τυπικής του λειτουργίας) όταν βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας. Στην περίπτωση έναρξης μιας Υπηρεσίας Θέσης, όταν δηλαδή ζητηθεί το στίγμα του τερματικού από μια εφαρμογή, τα δεδομένα (αλληλουχία μετρήσεων) που έχουν συλλεχθεί αποστέλλονται στον εξυπηρετητή προσδιορισμού θέσης, όπου και υφίστανται στατιστική επεξεργασία. Μέρος της έρευνας εστιάζεται στο μηχανισμό λειτουργίας και στον καθορισμό της αρχιτεκτονικής υλοποίησης της μεθόδου που υπαγορεύεται από παράγοντες όπως η εφαρμοσιμότητα της σε διαφορετικά δίκτυα, τερματικές συσκευές και σε πολλαπλές τεχνικές εντοπισμού, η ευκολία υλοποίησης και η επεκτασιμότητα της. Συγχρόνως, αναγνωρίζονται και αναλύονται οι σχεδιαστικές παράμετροι που επηρεάζουν την επίδοση της μεθόδου ενώ αναλύεται η επάρκειά της για τεχνικές που στηρίζονται στη λαμβανόμενη στάθμη σήματος. Όπως αποδεικνύεται με βάση εξομοιώσεις αλλά και πειραματικά δεδομένα από εμπορικό δίκτυο GSM, η προτεινόμενη μέθοδος οδηγεί σε πολύ αισιόδοξα αποτελέσματα, κυρίως ως προς την αύξηση της μέσης ακρίβειας προσδιορισμού της θέσης για τερματικά που βρίσκονται σε κίνηση. Στην περίπτωση ακίνητων τερματικών η μέθοδος STAMP βοηθάει κυρίως στην μείωση της μεταβλητότητας του σφάλματος. Το κόστος υλοποίησης της

μεθόδου είναι οριακό καθώς δεν απαιτεί επιπρόσθετο εξοπλισμό παρά μόνο λογισμικό στο τερματικό και στο δίκτυο ενώ δύναται να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε τεχνική εντοπισμού ή δίκτυο κινητών επικοινωνιών.

A Method to Improve Mobile Terminal Positioning Accuracy by Exploiting Historical Data

Ph.D. Thesis

by

Christos D. Desiniotis

ABSTRACT

Mobile terminal positioning and tracking has attracted the interest of mobile communications industry as it enables the provision of a wide variety of commercial applications and emergency services. This dissertation deals with the issue of improving the accuracy of existing terminal positioning techniques allowing at the same time the tracking of mobile terminals. The proposed innovative method called STAMP (Statistical Terminal Assisted Mobile Positioning) relies on the terminals' ability to measure, collect and store a set of location related network parameters while in idle mode operation. At the initiation phase of a Location Based Service (LBS) the whole set of stored data (that corresponds to the current and previous positions) is statistically processed so as to increase the accuracy of the terminal position estimation. Part of the research focuses on the functional operation of the method and the definition of the architecture that enables its implementation (at both the terminal and network side) based on various factors such as the applicability to existing networks, terminals and positioning techniques as well as its expandability. At the same time, the design parameters, which affect the performance of the method when applied to positioning techniques that are based on signal strength measurements, are identified and analysed. The performance of the suggested method is analysed through simulations while its efficiency is demonstrated through experiments in a commercial GSM network for the Enhanced Cell Global Identity technique. The proposed method provides significant improvement in the positioning accuracy (while at the same time reduces the positioning error variance) and allows the tracking of mobile terminals. The deployment costs of STAMP are considered reasonable as it requires only additional software at the terminal and the

network side, while it is applicable to every existing mobile positioning technique and every wireless access network.

Στη φίλη μου Ιωάννα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η ολοκλήρωση της εργασίας αυτής δεν θα ήταν δυνατή αν όλα αυτά τα χρόνια δεν είχα την αμέριστη συμπαράσταση και καθοδήγηση πολλών ανθρώπων. Θα ήθελα πρώτα να ευχαριστήσω τον Δρ. Γιάννη Μαρκουλιδάκη (διευθυντή του τμήματος Έρευνας-Ανάπτυξης και Στρατηγικού Σχεδιασμού της εταιρίας Vodafone-Panafon Ελλάδος Α.Ε.) για τη διαρκή καθοδήγηση, υποστήριξη και βοήθεια που μου παρείχε. Ο άψογος επαγγελματισμός και η επιμονή που τον χαρακτηρίζει, άλλα πάνω από όλα ο ζήλος του να μεταδώσει τις γνώσεις και την εμπειρία του στους νέους ανθρώπους συντέλεσαν στη δημιουργία ενός περιβάλλοντος όπου αισθάνεται κανείς προνομιούχος να είναι μέρος του. Επιπλέον, ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Θεολόγου Μιχάλη καθώς και τον καθηγητή κ. Ευστάθιο Συκά για την εμπιστοσύνη που έδειξαν στο πρόσωπο μου καθώς και την άριστη συνεργασία που είχαμε όλα αυτά τα χρόνια.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στην Ιωάννα Μεσογίτη και την Παρασκευή Φάφαλη καθώς μου παρείχαν πέραν από την επιστημονική καθοδήγηση και την ηθική υποστήριξη. Η συμβολή τους στην ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής ήταν καθοριστική.

Τέλος, θα ήθελα από καρδιάς να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που με στηρίζουν σε κάθε μου βήμα, την οικογένεια μου, τους συγγενείς και τους φίλους. Ευλικρινά πιστεύω ότι η εργασία αυτή είναι και δικό τους δημιούργημα.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 1 |
| 1.1 | ΤΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ | 2 |
| 1.2 | Η ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ | 4 |
| 2 | ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ | 7 |
| 2.1 | ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 7 |
| 2.2 | ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ | 8 |
| 2.3 | ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΘΕΣΗΣ | 13 |
| 2.3.1 | <i>Επίγεια Ασύρματα Δίκτυα</i> | <i>14</i> |
| 2.3.1.1 | Κυψελωτά Δίκτυα Κινητών Τηλεπικοινωνιών (GSM, UMTS) | 14 |
| 2.3.1.2 | Τοπικά Ασύρματα Δίκτυα WLAN | 14 |
| 2.3.1.3 | Bluetooth | 15 |
| 2.3.1.4 | RFID | 16 |
| 2.3.1.5 | Άλλες Τεχνολογίες | 16 |
| 2.3.2 | <i>Δορυφορικά Δίκτυα</i> | <i>17</i> |
| 2.3.2.1 | Παγκόσμιο Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης (Global Positioning System) | 18 |
| 2.3.2.2 | Διαφορικό GPS | 19 |
| 2.3.2.3 | A-GPS | 20 |
| 2.3.2.4 | Global Navigation Satellite System (GLONASS) | 21 |
| 2.3.2.5 | EGNOS | 21 |
| 2.3.2.6 | Galileo | 22 |
| 2.3.2.7 | Επιπρόσθετα Σήματα Πλοήγησης | 23 |
| 2.4 | ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ ΒΑΣΙΖΟΜΕΝΕΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ | 23 |
| 2.4.1 | <i>Ταυτότητα Κυψέλης - (Cell Global Identity - CGI)</i> | <i>23</i> |
| 2.4.2 | <i>Χρονική Προπορεία – Timing Advance και Round Trip Time</i> | <i>24</i> |
| 2.4.3 | <i>Ταυτότητα Κυψέλης και Στάθμη Λαμβανόμενου Σήματος (CGI++)</i> | <i>25</i> |
| 2.4.4 | <i>Γωνία Αφίξης - Angle of Arrival (AoA)</i> | <i>26</i> |
| 2.4.5 | <i>Χρόνος Αφίξης - Time of Arrival (ToA)</i> | <i>27</i> |
| 2.4.6 | <i>Παρατηρούμενες Χρονικές Διαφορές στη Ζεύξη Καθόδου (E-OTD, OTDOA)</i> | <i>28</i> |
| 2.4.6.1 | Βελτιωμένες Παρατηρούμενες Χρονικές Διαφορές (E-OTD) | 29 |
| 2.4.6.2 | Παρατηρούμενη Χρονική Διαφορά της Αφίξης (OTDOA) | 29 |
| 2.4.7 | <i>Μέθοδοι Αποτυπωμάτων – Fingerprint methods</i> | <i>30</i> |
| 2.4.8 | <i>Υβριδικές Τεχνικές</i> | <i>31</i> |
| 2.4.9 | <i>Μέθοδοι που Στηρίζονται στην Επεξεργασία των Εκτιμώμενων Θέσεων</i> | <i>34</i> |
| 2.4.10 | <i>Τεχνική Προσαρμογής Χάρτη</i> | <i>35</i> |
| 2.5 | ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ | 36 |
| 2.6 | ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΚΑΙ ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ | 37 |
| 2.7 | ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΘΕΣΗΣ | 39 |
| 2.7.1 | <i>Κατηγοριοποίηση των Υπηρεσιών Θέσης</i> | <i>39</i> |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 2.7.2 | <i>Τάσεις της Αγοράς Υπηρεσιών Θέσης</i> | 41 |
| 2.7.2.1 | Οι Προσδοκίες..... | 41 |
| 2.7.2.2 | Μελλοντικές Τάσεις..... | 43 |
| 2.8 | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ..... | 46 |
| 3 | ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΕ ΠΑΡΕΛΘΟΝΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ | 48 |
| 3.1 | ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 48 |
| 3.2 | ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ..... | 48 |
| 3.3 | ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΜΕΘΟΔΟΥ STAMP..... | 50 |
| 3.4 | ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ ΣΤΙΣ ΟΠΟΙΕΣ Η ΜΕΘΟΔΟΣ STAMP ΕΙΝΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΙΜΗ..... | 54 |
| 3.5 | ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΤΗΝ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ..... | 55 |
| 3.5.1 | <i>Απαιτήσεις για το Τερματικό</i> | 56 |
| 3.5.2 | <i>Απαιτήσεις για τον Εξυπηρετητή Θέσης</i> | 57 |
| 3.5.3 | <i>Απαιτήσεις για το Πρωτόκολλο Επικοινωνίας</i> | 58 |
| 4 | ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ | 60 |
| 4.1 | ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 60 |
| 4.2 | ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ..... | 61 |
| 4.2.1 | <i>Επίπεδο Συλλογής Μετρήσεων</i> | 62 |
| 4.2.1.1 | Μονάδα Παρακολούθησης Δικτύου GSM/GPRS..... | 63 |
| 4.2.1.2 | Μονάδα Παρακολούθησης Δικτύου UMTS..... | 64 |
| 4.2.1.3 | Μονάδα Παρακολούθησης Δικτύου WLAN..... | 64 |
| 4.2.1.4 | Μονάδα Παρακολούθησης άλλων Δικτύων..... | 65 |
| 4.2.2 | <i>Επίπεδο Επεξεργασίας των Μετρήσεων</i> | 65 |
| 4.2.2.1 | Επεξεργαστής GSM..... | 66 |
| 4.2.2.2 | Επεξεργαστής UMTS..... | 67 |
| 4.2.2.3 | Επεξεργαστής WLAN..... | 67 |
| 4.2.2.4 | Επεξεργαστές άλλων Δικτύων..... | 68 |
| 4.2.2.5 | Διαχείριση Λίστας STAMP..... | 68 |
| 4.2.3 | <i>Επίπεδο Αποστολής Μετρήσεων</i> | 68 |
| 4.2.4 | <i>Ροή της πληροφορίας</i> | 68 |
| 4.3 | ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΤΗ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ..... | 69 |
| 4.3.1 | <i>Προ-επεξεργαστής</i> | 71 |
| 4.3.2 | <i>Διαχειριστής Κλήσεων</i> | 71 |
| 4.3.3 | <i>Ελεγκτής</i> | 72 |
| 4.3.4 | <i>Τεχνικές Προσδιορισμού Θέσης</i> | 73 |
| 4.3.4.1 | Τεχνική Αποτυπωμάτων..... | 73 |
| 4.3.4.2 | Στάθμη Ισχύος Λαμβανόμενου Σήματος..... | 76 |
| 4.3.4.3 | Τεχνικές Προσδιορισμού Θέσης για Δίκτυα WLAN..... | 77 |
| 4.3.5 | <i>Στατιστική Επεξεργασία</i> | 78 |
| 4.3.6 | <i>Ροή Πληροφορίας</i> | 78 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5 | ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΘΕΣΗΣ..... | 80 |
| 5.1 | ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 80 |
| 5.2 | ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ: ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΕΠΙΠΕΔΟ ΧΡΗΣΤΗ..... | 80 |
| 5.2.1 | Αρχιτεκτονική Επιπέδου Ελέγχου (<i>Control Plane</i>) | 81 |
| 5.2.2 | Αρχιτεκτονική Επιπέδου Μεταφοράς Δεδομένων (<i>User Plane</i>) | 82 |
| 5.2.3 | Πλεονεκτήματα των Αρχιτεκτονικών <i>Control Plane</i> και <i>User Plane</i> | 84 |
| 5.3 | ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ–ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΤΗ ΘΕΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ <i>USER PLANE</i> | 86 |
| 5.3.1 | Έναρξη Συνόδου <i>ΥΘ</i> από το Τερματικό..... | 86 |
| 5.3.2 | Έναρξη Συνόδου <i>ΥΘ</i> από το Δίκτυο..... | 88 |
| 5.3.3 | Μηνύματα για την Υποστήριξη της Μεθόδου <i>STAMP</i> | 90 |
| 5.3.3.1 | SUPL START | 90 |
| 5.3.3.2 | SUPL_POS_INIT..... | 91 |
| 5.3.4 | Παράμετροι Μηνυμάτων | 92 |
| 5.3.4.1 | Αναφορά Μετρήσεων Δικτύου (<i>NMR</i>)..... | 92 |
| 5.3.4.2 | Θέση | 92 |
| 5.3.4.3 | Ταυτότητα Θέσης..... | 93 |
| 5.3.4.4 | Πολλαπλές Ταυτότητες Θέσης | 95 |
| 5.3.5 | Εξέλιξη της Αρχιτεκτονικής <i>SUPL</i> | 95 |
| 6 | ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ <i>STAMP</i> | 97 |
| 6.1 | ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 97 |
| 6.2 | ΜΕΤΡΙΚΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ | 97 |
| 6.3 | ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ..... | 99 |
| 6.3.1 | Μέγεθος της Λίστας <i>STAMP</i> | 99 |
| 6.3.2 | Απαιτούμενος Ρυθμός Μεταφοράς Δεδομένων..... | 101 |
| 6.3.3 | Καθυστέρηση Επεξεργασίας στον Εξυπηρετητή | 103 |
| 6.3.4 | Ρυθμός Δειγματοληψίας Μετρήσεων | 107 |
| 6.3.5 | Στατιστική Επεξεργασία των Μετρήσεων | 109 |
| 6.4 | ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΟΥ ΒΑΣΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΗ ΣΤΑΘΜΗ ΙΣΧΥΟΣ ΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ | 111 |
| 6.4.1 | Λειτουργία Συλλογής Μετρήσεων από το Τερματικό | 111 |
| 6.4.2 | Μοντέλα Διάδοσης Ηλεκτρομαγνητικού Σήματος..... | 112 |
| 6.4.3 | Αβεβαιότητα σε μία Συνάρτηση Πολλαπλών Μεταβλητών | 113 |
| 6.4.4 | Ευαισθησία ως προς τις Απώλειες Διάδοσης | 114 |
| 6.4.5 | Ευαισθησία ως προς τη Συχνότητα Εκπομπής..... | 115 |
| 6.4.6 | Ευαισθησία ως προς το Ύψος του Σταθμού Βάσης..... | 116 |
| 6.4.7 | Ευαισθησία ως προς το Ύψος της Τερματικής Συσκευής..... | 117 |
| 6.4.8 | Συνολική Ευαισθησία..... | 118 |
| 6.4.9 | Επίδραση της Κατευθυντικότητας των Κεραιών στον Υπολογισμό της Απόστασης..... | 119 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 6.4.10 | Σφάλμα στην Εκτίμηση της Απόστασης εξαιτίας της Διακριτικής Ικανότητας Συλλογής Μετρήσεων από την Τερματική Συσκευή..... | 124 |
| 6.5 | ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΟΥ ΒΑΣΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΊΣΧΥ ΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ | 126 |
| 6.5.1 | Επάρκεια της Μεθόδου για Ακίνητα Τερματικά..... | 126 |
| 6.5.2 | Επάρκεια της Μεθόδου για Κινούμενα Τερματικά..... | 130 |
| 7 | ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ | 132 |
| 7.1 | ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 132 |
| 7.2 | ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗΣ | 132 |
| 7.2.1 | Μοντέλο Εξομοίωσης..... | 133 |
| 7.2.2 | Αποτελέσματα | 133 |
| 7.2.2.1 | Μέγεθος λίστας STAMP..... | 133 |
| 7.2.2.2 | Αριθμός Σταθμών Βάσης..... | 136 |
| 7.2.2.3 | Περίοδος Δειγματοληψίας Μετρήσεων..... | 137 |
| 7.2.2.4 | Υπολογισμός Τροχιάς και Ταχύτητας Τερματικού..... | 139 |
| 7.3 | ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ..... | 141 |
| 7.3.1 | Προσδιορισμός Θέσης Ακίνητου Τερματικού..... | 141 |
| 7.3.2 | Προσδιορισμός Θέσης Κινούμενου Τερματικού..... | 143 |
| 7.4 | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ..... | 146 |
| 8 | ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ - ΘΕΜΑΤΑ ΠΡΟΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ | 148 |
| 9 | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ | 151 |
| 10 | ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ | 164 |
| 10.1 | ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ..... | 164 |
| 10.2 | ΦΙΛΤΡΟ KALMAN | 168 |
| 10.2.1 | Οι Υπολογιστικές Αρχές του Φίλτρου..... | 169 |
| 10.2.2 | Το Διακριτό Φίλτρο Kalman..... | 171 |
| 10.2.3 | Παράμετροι του Φίλτρου και Ρύθμιση..... | 172 |
| 10.2.4 | Εφαρμογή του Φίλτρου Kalman στη Μέθοδο STAMP..... | 173 |
| 11 | ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΤΕΥΧΘΕΙΣΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑ | 176 |
| 12 | ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΡΑΔΙΟΔΙΑΔΟΣΗΣ..... | 182 |
| 13 | ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ..... | 184 |
| 14 | ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ..... | 189 |

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

| | |
|---|-----|
| Σχήμα 1: Ακρίβεια προσδιορισμού θέσης σε συνάρτηση με το κόστος υλοποίησης | 12 |
| Σχήμα 2: Προσδιορισμός σφάλματος προσδιορισμού θέσης στην τεχνική ταυτότητας κυψέλης | 24 |
| Σχήμα 3: Τεχνική Ταυτότητας Κυψέλης και Στάθμη Λαμβανόμενου Σήματος (CGI++) | 25 |
| Σχήμα 4: Η Τεχνική της Γωνίας Αφίξης Σήματος (AOA) | 26 |
| Σχήμα 5: Μέθοδος ToA σε συγχρονισμένα δίκτυα | 27 |
| Σχήμα 6: Η θέση υπολογίζεται μέσω τριγωνοποίησης του χρόνου άφιξης (TOA) μεταξύ του τερματικού και τουλάχιστον τριών ΣΒ | 28 |
| Σχήμα 7: Παράδειγμα υβριδικής μεθόδου | 33 |
| Σχήμα 8: Η αρχή της τεχνικής προσαρμογής χάρτη (Map-Matching) | 35 |
| Σχήμα 9: Κατηγοριοποίηση των υπηρεσιών θέσης | 40 |
| Σχήμα 10: Έσοδα από ΥΘ για την ευρωπαϊκή αγορά | 43 |
| Σχήμα 11: Αναπαράσταση της ιδέας STAMP | 50 |
| Σχήμα 12: Ο αλγόριθμος αποδοχής μετρήσεων στο τερματικό για τη διαχείριση της λίστας STAMP | 53 |
| Σχήμα 13: Αρχιτεκτονική τερματικού για την υποστήριξη της μεθόδου STAMP | 62 |
| Σχήμα 14: Λίστα STAMP για δίκτυα GSM στην περίπτωση τεχνικής CGI++ | 67 |
| Σχήμα 15: Τυπική ροή πληροφορίας στην τερματική συσκευή κατά την έναρξη της μεθόδου STAMP | 69 |
| Σχήμα 16: Αρχιτεκτονική εξυπηρετητή προσδιορισμού θέσης | 70 |
| Σχήμα 17: Χάρτης ραδιοκάλυψης | 73 |
| Σχήμα 18: Παράδειγμα εφαρμογής της τεχνικής αποτυπωμάτων | 75 |
| Σχήμα 19: Μέθοδος τριγωνοποίησης | 76 |
| Σχήμα 20: Ροή πληροφορίας στον εξυπηρετητή θέσης στις περιπτώσεις έναρξης συνόδου προσδιορισμού θέσης από το τερματικό | 78 |
| Σχήμα 21: Επικοινωνία τερματικού – εξυπηρετητή θέσης στην περίπτωση έναρξης συνόδου προσδιορισμού θέσης από το τερματικό | 87 |
| Σχήμα 22: Επικοινωνία τερματικού – εξυπηρετητή θέσης στην περίπτωση έναρξης συνόδου προσδιορισμού θέσης από το δίκτυο | 89 |
| Σχήμα 23: Χρόνος εξυπηρέτησης της μεθόδου STAMP | 104 |
| Σχήμα 24: Καθυστέρηση στον εξυπηρετητή προσδιορισμού θέσης σε συνάρτηση με τον αριθμό των χρηστών (μοντέλο M/M/1) | 106 |
| Σχήμα 25: Καθυστέρηση στον εξυπηρετητή προσδιορισμού θέσης σε συνάρτηση με τον αριθμό των χρηστών (μοντέλο M/D/1) | 106 |
| Σχήμα 26: Καθυστέρηση στον εξυπηρετητή προσδιορισμού θέσης σε συνάρτηση με τον ρυθμό αιτημάτων ανά χρήστη (μοντέλο M/M/1) | 107 |
| Σχήμα 27: Καθυστέρηση στον εξυπηρετητή προσδιορισμού θέσης σε συνάρτηση με τον ρυθμό αιτημάτων ανά χρήστη (μοντέλο M/D/1) | 107 |
| Σχήμα 28: Ευαισθησία ως προς τη μεταβολή των απωλειών διάδοσης (L_p) | 115 |
| Σχήμα 29: Ευαισθησία ως προς τη μεταβολή της συχνότητας (f_c) | 116 |
| Σχήμα 30: Ευαισθησία ως προς τη μεταβολή του ύψους του Σταθμού Βάσης | 117 |

| | |
|--|-----|
| Σχήμα 31: Ευαισθησία ως προς τη μεταβολή του ύψους της τερματικής συσκευής (h_t) | 118 |
| Σχήμα 32: Ανάλυση της συνολικής ευαισθησίας (ο άξονας x είναι σε λογαριθμική κλίμακα) | 119 |
| Σχήμα 33: Διάγραμμα Ακτινοβολίας μιας Τυπικής Κεραίας Δικτύου GSM | 120 |
| Σχήμα 34: Πολυωνυμική προσέγγιση (4^{th} τάξης) του διαγράμματος ακτινοβολίας τυπικής κεραίας δικτύου GSM | 122 |
| Σχήμα 35: Μεταβολή της εκτιμώμενης απόστασης σε συνάρτηση με το αζιμούθιο θ | 123 |
| Σχήμα 36: Μεταβολή της εκτιμώμενης απόστασης σε συνάρτηση με το αζιμούθιο θ (για διαφορετικές τιμές της λαμβανόμενης στάθμης σήματος) | 124 |
| Σχήμα 37: Σφάλμα που οφείλεται στη διακριτική ικανότητα λήψης μετρήσεων 1dBm | 125 |
| Σχήμα 38: Παράδειγμα κατανομής της λαμβανόμενης στάθμης ισχύος σήματος σε σταθερό σημείο | 126 |
| Σχήμα 39: Ακίνητο τερματικό | 135 |
| Σχήμα 40: Κινούμενο τερματικό (4Km/h) | 135 |
| Σχήμα 41: Κινούμενο τερματικό (20Km/h) | 136 |
| Σχήμα 42: Κινούμενο τερματικό (40Km/h) | 136 |
| Σχήμα 43: Η ακρίβεια της μεθόδου STAMP ως συνάρτηση του αριθμού των ΣΒ | 137 |
| Σχήμα 44: Επίδοση της μεθόδου STAMP συναρτήσει της περιόδου T (κατάσταση αδρανείας) σε ποσοστό 67% των περιπτώσεων | 138 |
| Σχήμα 45: Επίδοση της μεθόδου STAMP συναρτήσει της περιόδου T (κατάσταση κλήσης) σε ποσοστό 67% των περιπτώσεων | 139 |
| Σχήμα 46: Εφαρμογή της μεθόδου STAMP για τον υπολογισμό της τροχιάς στην περίπτωση κινούμενου τερματικού | 140 |
| Σχήμα 47: Εφαρμογή της μεθόδου STAMP για τον υπολογισμό της τροχιάς στην περίπτωση μη ευθύγραμμης κίνησης τερματικού | 140 |
| Σχήμα 48: Μέση ακρίβεια της μεθόδου STAMP για ακίνητο τερματικό | 142 |
| Σχήμα 49: Παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου STAMP σε ακίνητο τερματικό | 142 |
| Σχήμα 50: Αθροιστική κατανομή της ακρίβειας προσδιορισμού θέσης για στατικό τερματικό που επιτυγχάνεται με τη μέθοδο STAMP | 143 |
| Σχήμα 51: Χάρτης της περιοχής όπου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις και η πορεία που ακολουθήθηκε (διακεκομμένη γραμμή) | 144 |
| Σχήμα 52: Μέση ακρίβεια της μεθόδου STAMP για κινούμενο τερματικό | 145 |
| Σχήμα 53: Παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου STAMP σε κινούμενο τερματικό | 145 |
| Σχήμα 54: Αθροιστική κατανομή της ακρίβειας προσδιορισμού θέσης του τερματικού που επιτυγχάνεται με τη μέθοδο STAMP | 146 |
| Σχήμα 55: Τυπικό σενάριο τριγωνοποίησης βάσει εκτιμήσεων από τρεις σταθμούς βάσης | 165 |
| Σχήμα 56: Τρισδιάστατη γραφική παράσταση της συνάρτησης F | 166 |
| Σχήμα 57: Διάγραμμα ισοϋψών καμπυλών και κλήσης F | 166 |
| Σχήμα 58: Απεικόνιση μιας εφαρμογής του αλγορίθμου Steepest Descent | 167 |
| Σχήμα 59: Αναπαράσταση της λειτουργίας του φίλτρου Kalman | 172 |
| Σχήμα 60: Βελτιστοποιημένο μοντέλο ραδιοδιάδοσης | 183 |

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

| | |
|---|-----|
| Πίνακας 1: Σύνοψη βασικών τεχνικών προσδιορισμού θέσης | 33 |
| Πίνακας 2: Εφαρμόσιμες τεχνικές προσδιορισμού θέσης όταν το τερματικό βρίσκεται σε κατάσταση αδράνειας..... | 55 |
| Πίνακας 3: Οι απαιτήσεις ανάπτυξης της μεθόδου STAMP για τερματικό και δίκτυο..... | 56 |
| Πίνακας 4: Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα των αρχιτεκτονικών User Plane και Control Plane..... | 85 |
| Πίνακας 5: Μήνυμα SUPL START..... | 91 |
| Πίνακας 6: Μήνυμα SUPL POS INIT..... | 91 |
| Πίνακας 7: Περιγραφή της παραμέτρου NMR | 92 |
| Πίνακας 8: Περιγραφή της παραμέτρου Θέση..... | 93 |
| Πίνακας 9: Περιγραφή της παραμέτρου Ταυτότητα θέσης | 93 |
| Πίνακας 10: Περιγραφή της παραμέτρου πληροφορία κυψέλης GSM..... | 94 |
| Πίνακας 11: Περιγραφή της παραμέτρου πληροφορία κελιού WCDMA..... | 94 |
| Πίνακας 12: Περιγραφή της παραμέτρου πολλαπλές ταυτότητες θέσεων..... | 95 |
| Πίνακας 13: Διαμόρφωση του μηνύματος SUPL POS INIT..... | 102 |
| Πίνακας 14: Κωδικοποίηση των μετρήσεων της λαμβανόμενης στάθμης ισχύος σήματος..... | 112 |
| Πίνακας 15: Παράμετροι του Μοντέλου Διάδοσης HATA (τυπικές τιμές και αβεβαιότητες) | 114 |
| Πίνακας 16: Τυπικές τιμές παραμέτρων μοντέλου διάδοσης | 123 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διάδοση των υπηρεσιών κινητών επικοινωνιών υπήρξε ραγδαία και μαζί με την ανάπτυξη του διαδικτύου σημάδεψε το τεχνολογικό τοπίο της δεκαετίας 1995-2005. Η καθολική αποδοχή των υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας από δίκτυα 2^{ης} γενιάς (τεχνολογία GSM στην Ευρώπη) δημιουργεί εύλογα προσδοκίες για τις νέες υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων τόσο σε δίκτυα GSM όσο και σε δίκτυα νέων τεχνολογιών πρόσβασης όπως τα δίκτυα 3^{ης} γενιάς UMTS και τα ασύρματα τοπικά δίκτυα WLAN. Με βάση τις προβλέψεις των περισσότερων αναλυτών η συνεχής ανάπτυξη των δικτύων και η εξέλιξη των δυνατοτήτων που προσφέρονται από τις τερματικές συσκευές πρόκειται να αποτελέσουν τους μοχλούς εμπορικής ανάπτυξης και σημαντικής αύξησης στη χρήση των υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας.

Οι Υπηρεσίες Θέσης¹ (ΥΘ) αποτελούν μία ομάδα υπηρεσιών οι οποίες δημιούργησαν σημαντικές προσδοκίες σχετικά με την καθιέρωσή τους στην αγορά και την ευρύτερη αποδοχή τους από τους τελικούς χρήστες καθώς καθιστούν ικανή την παροχή προσωποποιημένων υπηρεσιών δεδομένης της θέσης του τελικού χρήστη. Σε μία περίοδο έντονου ανταγωνισμού στο χώρο των τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών, οι ΥΘ ανοίγουν νέες ευκαιρίες για τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους και τους παρόχους υπηρεσιών και περιεχομένου για την προσφορά καινοτόμων υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας.

Η επιτυχία των ΥΘ βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε τεχνολογικά θέματα τα οποία σχετίζονται με την τεχνική/ές προσδιορισμού θέσης η οποία θα χρησιμοποιηθεί. Μέχρι στιγμής έχουν προταθεί και τυποποιηθεί διάφορες εναλλακτικές τεχνικές προσδιορισμού θέσης, κάθε μία από τις οποίες παρουσιάζει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Η επίδοση τους σχετίζεται άμεσα με το απαιτούμενο κόστος επένδυσης για την ανάπτυξή και την εμπορική τους εκμετάλλευση. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος η τεχνολογική και εμπορική πορεία που ακολουθείται (technology roadmap) ξεκινά με τεχνικές χαμηλού κόστους με αντίστοιχα

¹ Υπηρεσίες Θέσης: Οι υπηρεσίες που βασίζονται στην αξιοποίηση της θέσης των τερματικών

περιορισμένες επιδόσεις όπως χαμηλή ακρίβεια προσδιορισμού θέσης (π.χ. ταυτότητα κυψέλης), μεγάλη κατανάλωση ισχύος ή περιορισμένη διαθεσιμότητα, και εξελίσσεται στο βάθος χρόνου σε τεχνικές προσδιορισμού θέσης με βελτιωμένη επίδοση, όπως τα δορυφορικά συστήματα (π.χ. A-GPS), τα οποία αναγνωρίζονται ως η κορυφαία τεχνολογία προσδιορισμού θέσης σε ακρίβεια και αξιοπιστία. Σε αυτό το πλαίσιο αναφοράς και όπως προκύπτει από στοιχεία της αγοράς, η περιορισμένη ή μη διαθεσιμότητα τερματικών 2^{ης} και 3^{ης} γενιάς τα οποία είναι εξοπλισμένα με δέκτες GPS πρόκειται να συνεχιστεί για ένα σημαντικό χρονικό διάστημα. Συνεπώς, υπάρχει ακόμα χώρος για την ανάπτυξη και εφαρμογή τεχνικών προσδιορισμού θέσης οι οποίες να αξιοποιούν, για την εκτίμηση της θέσης, πληροφορίες από τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Συγχρόνως, εξαιτίας της περιορισμένης λειτουργίας των δορυφορικών συστημάτων σε κλειστούς χώρους, οι υβριδικές τεχνικές (συνδυασμός GPS με τεχνικές που βασίζονται σε δίκτυα κινητών επικοινωνιών) θεωρούνται εξαιρετικά υποσχόμενες. Η πιο σημαντική απαίτηση για τις τεχνικές προσδιορισμού θέσης αναφέρεται στη δυνατότητα άμεσης ανάπτυξης τους στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών, χωρίς την απαίτηση αντικατάστασης των υπάρχουσών τερματικών συσκευών σε συνδυασμό με τις χαμηλές απαιτήσεις για επένδυση σε δικτυακές υποδομές.

Η παρούσα διατριβή αναλύει μία καινοτόμο μέθοδο με το όνομα STAMP (Statistical Terminal Assisted Mobile Positioning) η οποία είναι εφαρμόσιμη τόσο στα υπάρχοντα δίκτυα όσο και σε ένα μελλοντικό περιβάλλον δικτύων στο οποίο θα συνυπάρχουν πολλαπλές τεχνολογίες πρόσβασης (π.χ., GSM/GPRS, UMTS, WLAN, WiMAX, κλπ.). Βασική αρχή της μεθόδου αποτελεί η εκμετάλλευση των μετρήσεων που πραγματοποιεί περιοδικά μια τερματική συσκευή συνδεδεμένη σε ένα δίκτυο ως μέρος της τυπικής της λειτουργίας. Οι μετρήσεις αυτές αξιοποιούνται μέσα από τις καθιερωμένες τεχνικές προσδιορισμού θέσης για την εκτίμηση των παρελθοντικών θέσεων του τερματικού και της τροχιάς του. Στη συνέχεια, μέσω της κατάλληλης στατιστικής επεξεργασίας και τα απαραίτητα μαθηματικά εργαλεία καθίσταται εφικτή η εκτίμηση της θέσης και τροχιάς του τερματικού με αυξημένη ακρίβεια.

1.1 Το Αντικείμενο της Διατριβής

Οι υπηρεσίες θέσης (ΥΘ) δεν έχουν επιτύχει μέχρι στιγμής την αναμενόμενη τεχνολογική ανάπτυξη και εμπορική εξάπλωση. Ένας από τους κύριους λόγους που οδήγησαν στην χαμηλή αποδοχή τους από την αγορά (κυρίως τους τελικούς χρήστες κινητών επικοινωνιών) αποτελεί η χαμηλή ακρίβεια προσδιορισμού θέσης η οποία επιτυγχάνεται από τις υπάρχουσες τεχνικές που βασίζονται στα κυψελωτά δίκτυα. Ωστόσο, οι ΥΘ εξακολουθούν να αποτελούν ένα γοργά αναπτυσσόμενο τομέα με μεγάλα προσδοκώμενα κέρδη καθώς προσφέρουν τη δυνατότητα παροχής καινοτόμων προσωποποιημένων υπηρεσιών σε μια περίοδο έντονου ανταγωνισμού στο χώρο των υπηρεσιών κινητών επικοινωνιών και τεχνολογιών δικτύου.

Με δεδομένες τις τάσεις αυτές στο χώρο των κινητών επικοινωνιών, η διατριβή αυτή επικεντρώνεται στο γενικό πρόβλημα του προσδιορισμού της θέσης ενός κινητού τερματικού. Πιο συγκεκριμένα προτείνεται και αναλύεται μια καινοτόμος μέθοδος με το όνομα STAMP (Statistical Terminal Assisted Mobile Positioning), η οποία στοχεύει στην αύξηση της ακρίβειας προσδιορισμού της θέσης και στη βελτίωση της συνολικής επίδοσης των διαθέσιμων λύσεων που εφαρμόζονται στα κυψελωτά δίκτυα. Η μέθοδος που προτείνεται αξιοποιεί την ικανότητα του κινητού τερματικού να λαμβάνει τις κατάλληλες ομάδες μετρήσεων δικτύου στο οποίο είναι συνδεδεμένο (τις οποίες λαμβάνει ως μέρος της τυπικής του λειτουργίας) όταν βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας (idle mode). Στην περίπτωση έναρξης μιας ΥΘ, όταν δηλαδή ζητηθεί το στίγμα του τερματικού από μια εφαρμογή, τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί αποστέλλονται σε έναν εξυπηρετητή (server), ονομαζόμενο «εξυπηρετητή προσδιορισμού θέσης», όπου υφίστανται συγκεκριμένη επεξεργασία με σκοπό την αύξηση της ακρίβειας εκτίμησης της θέσης.

Τα κίνητρα πραγματοποίησης της διδακτορικής διατριβής αναφέρονται στα ακόλουθα:

1. Οι υπάρχουσες τεχνικές προσδιορισμού θέσης που βασίζονται στο δίκτυο δεν παρέχουν ικανοποιητική ακρίβεια. Το γεγονός αυτό αποτελεί έναν από τους λόγους περιορισμένης ανάπτυξης των ΥΘ. Η αύξηση της ακρίβειας μπορεί να επιτευχθεί μόνο με τη χρήση μεθόδων που έχουν σημαντικές απαιτήσεις τόσο σε δικτυακές υποδομές όσο και σε κόστος ανάπτυξης. Απαιτείται συνεπώς οι ανάπτυξη φθηνότερων καθώς και πιο αποδοτικών μεθόδων τόσο για τους παρόχους όσο και για το σύνολο των τελικών συνδρομητών (τερματικά ευρείας χρήσης). Το ενδιαφέρον λοιπόν έγκειται στην αξιοποίηση φθηνών και πρόσφορων από πλευράς υλοποίησης τεχνικών προσδιορισμού θέσης.
2. Οι λειτουργίες των υπάρχοντων δικτύων δεν θα πρέπει να επηρεάζονται. Οι απαιτήσεις για τροποποιήσεις στο δικτυακό εξοπλισμό και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας θα πρέπει να είναι ελάχιστες.
3. Οι τεχνικές προσδιορισμού θέσης που βασίζονται σε δορυφορικά συστήματα (π.χ. GPS, A-GPS, Galileo), αν και θεωρείται δεδομένο ότι θα καθιερωθούν στην αγορά σαν οι επικρατέστερες τεχνικές, δεν είναι πάντα διαθέσιμες (π.χ. σε περιβάλλοντα κλειστού χώρου). Συνεπώς απαιτείται μία λύση η οποία θα λειτουργεί αποδοτικά και συμπληρωματικά.
4. Παρά το γεγονός ότι η ικανότητα των σύγχρονων τερματικών συσκευών για συλλογή και επεξεργασία δεδομένων έχουν αυξηθεί σημαντικά, δεν αξιοποιούνται πλήρως από τις υπάρχουσες τεχνικές προσδιορισμού θέσης. Με την προτεινόμενη μέθοδο παρέχεται η δυνατότητα εκμετάλλευσης των πόρων αυτών.

5. Ο συνδυασμός του συνόλου των μετρήσεων που συλλέγουν τα τερματικά από διαφορετικά διαθέσιμα δίκτυα βοηθά σημαντικά στο συνολικό όγκο των δεδομένων που μπορούν να αξιοποιηθούν στην προσπάθεια προσδιορισμού της θέσης.

Αντικείμενο της διατριβής αποτελεί η ανάλυση της μεθόδου STAMP όσον αφορά:

- Στο σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής τόσο στο τερματικό όσο και στον εξυπηρετητή θέσης που καθιστά δυνατή την υλοποίησή της.
- Στην προδιαγραφή των πρωτοκόλλων που απαιτούνται για τη μεταφορά στο δίκτυο των απαιτούμενων δεδομένων που σχετίζονται με τη μέθοδο, με ιδιαίτερη έμφαση στην επικοινωνία του τερματικού με τον εξυπηρετητή θέσης.
- Στη διερεύνηση θεμάτων που επηρεάζουν τη λειτουργία, τις απαιτήσεις και την επίδοση της μεθόδου.
- Στην ανάλυση της επάρκειας της μεθόδου με βάση θεωρητικά μοντέλα.
- Στην ανάλυση της επίδοσης της μεθόδου μέσω εξομοιώσεων και πειραμάτων σε πραγματικό δίκτυο με σκοπό να καλυφθούν όλες οι δυνατές περιπτώσεις.
- Στη διερεύνηση της εφικτότητας για εμπορική υλοποίηση της προτεινόμενης μεθόδου.

Όπως αποδεικνύεται, η προτεινόμενη μέθοδος οδηγεί σε πολύ αισιόδοξα αποτελέσματα κυρίως ως προς την αύξηση της ακρίβειας και τη μείωση της μεταβλητότητας του σφάλματος προσδιορισμού της θέσης κινούμενων τερματικών. Συγχρόνως, το κόστος υλοποίησης της μεθόδου είναι οριακό καθώς δεν απαιτεί επιπρόσθετο εξοπλισμό παρά μόνο λογισμικό στο τερματικό και στο δίκτυο.

1.2 Η Διάρθρωση της Διατριβής

Το υπόλοιπο της διατριβής είναι δομημένο σε 8 κεφάλαια-ενότητες των οποίων τα περιεχόμενα συνοψίζονται ακολούθως:

Το **Κεφάλαιο 2** αποτελεί μία εισαγωγή στις τεχνικές προσδιορισμού θέσης και στο τεχνολογικό υπόβαθρο στο οποίο στηρίζονται. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζονται συνοπτικά τα ασύρματα δίκτυα τα οποία δύνανται να υποστηρίξουν τον προσδιορισμό θέσης καθώς και τα γενικά χαρακτηριστικά των υπάρχουσών τεχνικών. Συγχρόνως περιγράφονται και κατηγοριοποιούνται οι πιο σημαντικές τεχνικές προσδιορισμού θέσης μαζί με τα πλεονεκτήματα (π.χ. ακρίβεια εκτίμησης θέσης) και μειονεκτήματα τους (π.χ. κόστος ανάπτυξης). Μάλιστα παρουσιάζονται οι πιο σύγχρονες εμπορικά διαθέσιμες λύσεις, καταγράφονται οι τάσεις της αγοράς και γίνεται αναφορά σε εμπορικά ζητήματα τα οποία αφορούν την αγορά, την εισαγωγή και την επιτυχία των υπηρεσιών που βασίζονται στον προσδιορισμό θέσης. Το κεφάλαιο αυτό αποτελεί το πλαίσιο μέσα στο οποίο προκύπτει η ανάγκη για περαιτέρω έρευνα στο χώρο αυτό, δικαιολογεί το

ενδιαφέρον για την εμπορική εφαρμοσιμότητα της μεθόδου και αποτελεί τη βάση για την αποτίμηση της προτεινόμενης μεθόδου.

Στο **Κεφάλαιο 3** παρουσιάζεται η βασική ιδέα της προτεινόμενης μεθόδου (Statistical Terminal Assisted Mobile Positioning –STAMP) και περιγράφεται ο μηχανισμός λειτουργίας της. Επιπλέον, αναλύεται η εφαρμοσιμότητά της σε διαφορετικά δίκτυα και σε πολλαπλές τεχνικές προσδιορισμού θέσης. Στο κεφάλαιο αυτό συγκεντρώνονται οι απαιτήσεις για την υλοποίηση της μεθόδου που αφορούν τις λειτουργίες του τερματικού, του εξυπηρετητή θέσης καθώς και του πρωτοκόλλου που υποστηρίζει τη μεταξύ τους επικοινωνίας.

Στο **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζεται η προτεινόμενη αρχιτεκτονική υλοποίησης της μεθόδου με ιδιαίτερη έμφαση στο τερματικό και στον εξυπηρετητή θέσης. Αποτυπώνονται λεπτομερώς οι επιμέρους μονάδες που υλοποιούν τις απαραίτητες λειτουργίες της μεθόδου (π.χ. συλλογή των μετρήσεων, στατιστική επεξεργασία κ.α.) καθώς και η ροή της πληροφορίας μεταξύ των οντοτήτων.

Το **Κεφάλαιο 5** αναφέρεται στα πρωτόκολλα επικοινωνίας που εξασφαλίζουν την επικοινωνία μεταξύ τερματικού και εξυπηρετητή θέσης. Με κριτήριο την καταλληλότητα όσον αφορά την υποστήριξη της μεθόδου STAMP αναλύονται και αξιολογούνται οι εναλλακτικές αρχιτεκτονικές (User Plane και Control Plane) με τις οποίες υλοποιούνται οι τεχνικές προσδιορισμού θέσης σε δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Η αρχιτεκτονική User Plane κρίνεται ως η καταλληλότερη και με βάση την τυποποίησή της (και τις επεκτάσεις που προτάθηκαν στον οργανισμό τυποποίησης) αναλύονται τα μηνύματα τα οποία ανταλλάσσονται (τερματικό-εξυπηρετητής θέσης).

Στο **Κεφάλαιο 6** αναπτύσσεται η μελέτη και η ανάλυση που έλαβε χώρα με στόχο τη βελτιστοποίηση της μεθοδολογίας που προτείνεται. Πιο συγκεκριμένα αναλύονται οι σχεδιαστικές παράμετροι που επηρεάζουν την επίδοση της μεθόδου ενώ γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στην ευαισθησία της μεθόδου για τεχνικές που βασίζονται στη στάθμη ισχύος του λαμβανόμενου σήματος. Επιπλέον, η επάρκεια της μεθόδου αξιολογείται με βάση τη στατιστική θεωρία για διαφορετικές καταστάσεις κίνησης του τερματικού.

Στο **Κεφάλαιο 7** παρατίθενται τα πειραματικά αποτελέσματα εφαρμογής της μεθόδου τα οποία προέκυψαν τόσο από εξομοιώσεις όσο και από δεδομένα πραγματικού δικτύου GSM. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν την αποτελεσματικότητα της μεθόδου καθώς και την επάρκεια της για διάφορες καταστάσεις κίνησης του τερματικού.

Στο **Κεφάλαιο 8** συνοψίζεται η συνεισφορά της διατριβής, τα καινοτομικά σημεία της και παρουσιάζονται ενδιαφέροντα θέματα για περαιτέρω διερεύνηση.

Τέλος, το **Παράρτημα** περιλαμβάνει το απαραίτητο μαθηματικό υπόβαθρο στο οποίο βασίστηκε η διατριβή, μία σύνοψη των ερευνητικών προσπαθειών και αποτελεσμάτων που σχετίζονται με τεχνικές προσδιορισμού θέσης (βιβλιογραφία) καθώς και τη διαδικασία που ακολουθήθηκε για

την προσαρμογή του μοντέλου ραδιοκάλυψης που χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή των πειραμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ

2.1 Εισαγωγή

Οι τεχνικές προσδιορισμού θέσης οι οποίες έχουν αναπτυχθεί έως σήμερα χαρακτηρίζονται από ένα συμβιβασμό μεταξύ της ακρίβειας εντοπισμού που μπορούν να επιτύχουν και του κόστους που απαιτείται για την εμπορική τους ανάπτυξη. Αυτός ο συμβιβασμός είναι στενά συνδεδεμένος με τα ζητήματα που ανακύπτουν σε κάθε εμπορική προσπάθεια υλοποίησης και παροχής υπηρεσιών θέσης (ΥΘ):

- Το ύψος της επένδυσης σε τεχνολογίες προσδιορισμού θέσης. Καθώς οι ΥΘ δεν αναμένεται να είναι οι πιο επιτυχημένες εφαρμογές (killer applications) και η εμπορική τους εκμετάλλευση πρόκειται να καθυστερήσει, το ύψος της επένδυσης θα πρέπει να προσαρμοστεί σύμφωνα με την πραγματική εμπορική ζήτηση και ανάπτυξη.
- Η ακρίβεια προσδιορισμού θέσης ως παράγοντας εμπορικής επιτυχίας των ΥΘ. Από την άλλη πλευρά, η χρήση τεχνικών προσδιορισμού θέσης οι οποίες απαιτούν χαμηλό ύψος επένδυσης οδηγεί σε χαμηλά επίπεδα ακρίβειας εντοπισμού και ως εκ τούτου περιορίζει σημαντικά το εύρος των υπηρεσιών που μπορούν να προσφερθούν καθώς και την αναμενόμενη ανάπτυξη της αγοράς.

Στα πλαίσια της παραπάνω λογικής, μέθοδοι οι οποίες αυξάνουν την ακρίβεια που επιτυγχάνουν οι τεχνικές χωρίς να απαιτούν σημαντικές επενδύσεις (π.χ. ειδικός εξοπλισμός), τόσο στο τερματικό όσο και στη δικτυακή υποδομή, είναι εξαιρετικά σημαντικές από εμπορικής άποψης.

Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται οι υπάρχουσες τεχνικές και οι τεχνολογικές τάσεις. Περιγράφονται και κατηγοριοποιούνται οι πιο ευρέως διαδεδομένες τεχνικές προσδιορισμού θέσης καθώς και τα δίκτυα που τις υποστηρίζουν. Επιπλέον, γίνεται μία σύντομη αναφορά στις υπηρεσίες που βασίζονται στη γνώση της θέσης και παρουσιάζονται οι τάσεις της αγοράς. Τέλος παρουσιάζονται συνοπτικά οι προσφερόμενες εμπορικές λύσεις οι οποίες στηρίζονται στις προαναφερόμενες τεχνικές προσδιορισμού θέσης. Σκοπός είναι να αναγνωριστεί το πεδίο στο

οποίο εντάσσεται η προτεινόμενη μέθοδος και να αναδειχθούν οι ανάγκες τις οποίες δύναται να εξυπηρετήσει.

2.2 Γενικά Χαρακτηριστικά Τεχνικών Προσδιορισμού Θέσης

Οι τεχνικές προσδιορισμού θέσης μπορούν να διακριθούν βάσει πολλών χαρακτηριστικών. Μεγάλο μέρος των χαρακτηριστικών αυτών σχετίζονται με τη λειτουργία και την εφαρμογή τους όπως:

- η τεχνολογία των δικτύων πρόσβασης στα οποία έχουν εφαρμογή,
- ο τρόπος και το είδος των μετρήσεων στις οποίες βασίζονται τη λειτουργία τους,
- οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούν.

Σε διαφορετικό επίπεδο, τα χαρακτηριστικά των τεχνικών προσδιορισμού θέσης αναφέρονται στην υλοποίηση και ολοκλήρωσή τους στα δίκτυα όπως: κατά πόσο η υλοποίηση είναι βασισμένη στο τερματικό ή/και στο δίκτυο και οι αντίστοιχες απαιτήσεις σε υλικό ή/και λογισμικό, και η αρχιτεκτονική η οποία ακολουθείται π.χ. Αρχιτεκτονική Επιπέδου Μεταφοράς Δεδομένων (User Plane) και Αρχιτεκτονική Επιπέδου Ελέγχου (Control Plane). Τα βασικότερα ωστόσο χαρακτηριστικά των τεχνικών προσδιορισμού θέσης σχετίζονται με την εφαρμοσιμότητα ανάλογα με τον τύπο της περιοχής και τον χώρο (εσωτερικός ή εξωτερικός) και την επίδοσή τους. Ακολουθώντας σε αυτή την παράγραφο αναλύονται τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά:

Τεχνολογία Δικτύου Πρόσβασης. Διαφορετικές τεχνολογίες δικτύου πρόσβασης προσφέρονται για διαφορετικές τεχνικές προσδιορισμού θέσης, ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, όπως η συχνότητα λειτουργίας, τα περιβάλλοντα στα οποία βρίσκουν εφαρμογή (απαίτηση οπτικής/μη οπτικής επαφής, περιοχές αστικές/ημιαστικές, εσωτερικοί/εξωτερικοί χώροι, κοκ), το εύρος της περιοχής κάλυψης, η αρχιτεκτονική και οι λειτουργίες του δικτύου κορμού στο οποίο συνδέονται, τα υποστηριζόμενα πρωτόκολλα ελέγχου, σηματοδοσίας και μεταφοράς δεδομένων και πολλά άλλα. Κάποιες από τις ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες δικτύου πρόσβασης είναι οι ακόλουθες: GSM/GPRS, UMTS, WLAN, WiMAX, Bluetooth, Infrared (IR), Acoustic.

Η δυνατότητα διασύνδεσης ενός κινητού τερματικού σε όσο το δυνατόν περισσότερα δίκτυα διαφορετικών τεχνολογιών πρόσβασης, σε συνδυασμό με την υποστήριξη τεχνικών αυτόματης επιλογής της βέλτιστης διασύνδεσης ή με την υποστήριξη παράλληλων συνδέσεων σε περισσότερα του ενός δίκτυα συμβάλλει στον ακριβέστερο προσδιορισμό της θέσης του σε περιβάλλοντα πολλαπλών δικτύων. Στην κατηγορία των τεχνικών οι οποίες κάνουν χρήση δεδομένων από περισσότερες της μιας τεχνολογίες δικτύου πρόσβασης ανήκουν οι υβριδικές τεχνικές προσδιορισμού θέσης.

Η καταλληλότητα κάθε τεχνολογίας δικτύου πρόσβασης για την παροχή εμπορικών ΥΘ, σε συγκεκριμένα χρονικά και χωρικά πλαίσια, εξαρτάται, εκτός των άλλων, τόσο από τη διάχυση στην αγορά τερματικών που υποστηρίζουν την εκάστοτε τεχνολογία, όσο και από το εύρος της περιοχής κάλυψης των αντίστοιχων εμπορικά διαθέσιμων δικτύων. Εν γένει, χαρακτηριστικά όπως οι δυνατότητες και οι εφαρμογές/ υπηρεσίες, η τιμή, οι διαστάσεις και η κατανάλωση ισχύος των διαθέσιμων τερματικών συσκευών -παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ευρεία εμπορική αποδοχή τους- εξαρτώνται κυρίως από την τεχνολογία του δικτύου πρόσβασης. Για παράδειγμα, η τεχνολογία Bluetooth υποστηρίζεται (στο χρόνο συγγραφής της παρούσας διατριβής) από μεγάλο αριθμό τερματικών κατά ένα μέρος λόγω του χαμηλού κόστους ολοκλήρωσής της στις τερματικές συσκευές. Ωστόσο, η υποστήριξή της μπορεί να θεωρηθεί υψηλού κόστους όταν απευθύνεται σε αγορά φτηνότερων τερματικών με μειωμένες δυνατότητες. Επιπρόσθετα, τεχνολογίες πρόσβασης όπως οι GSM/UMTS/WiMAX-e προσφέρονται για την ανάπτυξη δικτύων ευρείας κάλυψης –σε εθνικό επίπεδο- και κατά συνέπεια ΥΘ που απευθύνονται στην ευρεία αγορά, σε αντίθεση με τεχνολογίες WLAN, Bluetooth και Infrared (IR) οι οποίες λόγω της εφαρμογής τους στην υλοποίηση τοπικών συνδέσεων και δικτύων προτείνονται για την παροχή ΥΘ σε συγκεκριμένες ομάδες χρηστών.

Μετρήσεις. Οποιοδήποτε χαρακτηριστικό μέγεθος δικτύου του οποίου η μέτρηση μπορεί να συνδυαστεί ή εξαρτάται άμεσα από τη θέση του τερματικού μπορεί θεωρητικά να χρησιμοποιηθεί ως βάση για περαιτέρω επεξεργασία. Διαφορετικές τεχνικές προσδιορισμού θέσης αξιοποιούν μετρήσεις διαφορετικών μεγεθών ανάλογα με το υποκείμενο δίκτυο πρόσβασης, τη διαθεσιμότητα των μετρήσεων, τη δυνατότητα αξιοποίησής τους και την ακρίβεια που δύνανται να παρέχουν. Κάποια μεγέθη δικτύων των οποίων οι μετρήσεις χρησιμοποιούνται ευρέως –είτε μόνες τους είτε σε συνδυασμό με άλλες- είναι: η ταυτότητα του ΣΒ, η ισχύς λαμβανόμενου σήματος, ο χρόνος διάδοσης του σήματος και το αζιμούθιο.

Αλγόριθμός. Στο τρίτο στάδιο, κατόπιν της επιλογής του καταλληλότερου δικτύου πρόσβασης και των αντίστοιχων προς μέτρηση μεγεθών, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικοί αλγόριθμοι για την επεξεργασία των δεδομένων και την εξαγωγή της θέσης του κινητού τερματικού. Το πεδίο αυτό προσφέρεται ιδιαίτερα για έρευνα, καθώς δεδομένου ενός συνόλου μετρήσεων με την εφαρμογή διαφορετικών αλγορίθμων λαμβάνονται αποτελέσματα θέσης τα οποία διαφέρουν μεταξύ τους ως προς πλείστα μέτρα επίδοσης όπως η ακρίβεια, η ταχύτητα επεξεργασίας, η κατανάλωση ισχύος κ.ο.κ. Ως παραδείγματα διαφορετικών αλγορίθμων (ή κλάσεων αλγορίθμων), οι οποίοι αξιοποιούν μετρήσεις ισχύος σήματος δικτύων GSM, μπορούν να αναφερθούν ενδεικτικά η τριγωνοποίηση (trilateration) και οι μέθοδοι αποτυπωμάτων.

Για την επιλογή αλγορίθμων προσδιορισμού θέσης για εμπορική ανάπτυξη ΥΘ λαμβάνονται υπόψη εκτός της επίδοσής τους ως προς το αποτέλεσμα της επεξεργασίας και τα ακόλουθα:

- Η πολυπλοκότητα όσον αφορά τις απαιτήσεις υλοποίησης τους.
- Η κλιμάκωση σε περισσότερα τμήματα του ίδιου ή άλλων δικτύων, από ομάδες χρηστών σε πιο διευρυμένη αγορά, κοκ.
- Η χρήση εξωτερικών δεδομένων (π.χ. γεωγραφικών δεδομένων, χάρτες, μορφολογία εδάφους περιοχής) και οι αντίστοιχες απαιτήσεις συλλογής ή αγοράς τους.

Αρχιτεκτονική Επιπέδου Μεταφοράς Δεδομένων (User Plane) και Αρχιτεκτονική Επιπέδου Ελέγχου (Control Plane). Ο προσδιορισμός της θέσης του κινητού τερματικού μπορεί να υλοποιηθεί είτε στο επίπεδο μεταφοράς δεδομένων χρήστη (User Plane) είτε στο επίπεδο ελέγχου (Control plane). Και οι δύο υλοποιήσεις έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η επιλογή της υλοποίησης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, ενδεικτικά αναφέρονται οι ακόλουθοι: ο τύπος της εφαρμογής-ΥΘ, η οντότητα η οποία αιτείται τα στοιχεία της θέσης (εντοπισμός υποκινούμενος από το τερματικό –pull-, είτε από το δίκτυο –push-), η συχνότητα των ενημερώσεων και οι δυνατότητες και τα χαρακτηριστικά του υπό εντοπισμό κινητού τερματικού [1]. Θέματα τυποποίησης των τεχνικών προσδιορισμού θέσης μπορεί να ενθαρρύνουν, ακόμα και να επιβάλλουν, την υλοποίηση στο επίπεδο μεταφοράς δεδομένων χρήστη (User Plane) ή στο επίπεδο ελέγχου (Control Plane). Τα θέματα αυτά αναλύονται στο κεφάλαιο 5.

Υλοποίηση Βασισμένη στο Τερματικό ή/και στο Δίκτυο. Η διαδικασία προσδιορισμού της θέσης κινητών τερματικών μπορεί να εκτελεστεί είτε αποκλειστικά από το ίδιο το τερματικό, είτε αποκλειστικά από το δίκτυο, είτε με τη συμμετοχή τόσο του τερματικού όσο και του δικτύου. Ο προσδιορισμός της θέσης μέσω ενός GPS δέκτη εγκατεστημένου στο κινητό τερματικό είναι ένα παράδειγμα προσδιορισμού θέσης αποκλειστικά από το τερματικό. Στην περίπτωση αυτή, μπορεί να εξασφαλιστεί η ασφάλεια των προσωπικών δεδομένων του χρήστη, καθώς για τον υπολογισμό της θέσης δεν απαιτείται η μεταφορά δεδομένων. Παράδειγμα τεχνικής στην οποία η διαδικασία προσδιορισμού θέσης ολοκληρώνεται αποκλειστικά στο δίκτυο είναι η μέθοδος Ταυτότητας Κυψέλης (Cell ID). Η μέθοδος A-GPS ανήκει στην κατηγορία τεχνικών υποβοηθούμενων από το δίκτυο, καθώς επικουρικά δεδομένα για τον προσδιορισμό της θέσης μεταφέρονται από το δίκτυο κινητών επικοινωνιών στο τερματικό του χρήστη, στο οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί τελικά ο υπολογισμός της θέσης.

Ανάγκες σε Λογισμικό/Εξοπλισμό. Ένα πρόσθετο χαρακτηριστικό διαφοροποίησης των τεχνικών προσδιορισμού θέσης είναι οι απαιτούμενες προσθήκες ή τροποποιήσεις σε δικτυακό εξοπλισμό και λογισμικό. Παραδείγματα τέτοιων απαιτήσεων είναι οι LMUs [3] στη τεχνική OTDOA ή η εγκατάσταση ενός λογισμικού πελάτη στο κινητό τερματικό. Οι ανάγκες αυτές σχετίζονται άμεσα με την ευχρηστία και το κόστος υλοποίησης των αντίστοιχων συστημάτων. Επιπρόσθετα, στην περίπτωση τεχνικών που βασίζονται σε εκτενή επεξεργασία δεδομένων από το

κινητό τερματικό, οι αυξημένες απαιτήσεις σε μνήμη και επεξεργαστικές δυνατότητες καθίστανται αναπόφευκτες.

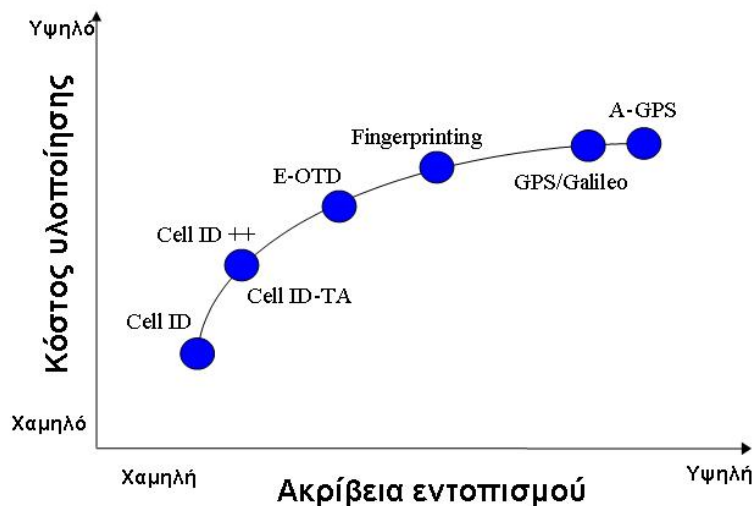
Δυνατότητα Εντοπισμού σε Εσωτερικούς ή Εξωτερικούς Χώρους. Οι τεχνικές προσδιορισμού θέσης διακρίνονται επίσης βάσει του χώρου στον οποίο βρίσκουν εφαρμογή. Στην περίπτωση αυτή μπορούν να διακριθούν δύο σενάρια: ο εντοπισμός σε εσωτερικό και ο εντοπισμός σε εξωτερικό χώρο. Αν γένει, το περιβάλλον διάδοσης ραδιοκυμάτων είναι πιο πολύπλοκο σε εσωτερικούς χώρους (λόγω για παράδειγμα πολλαπλών ανακλάσεων, διαφόρων τύπων εμποδίων και μη οπτικής επαφής) ενώ ταυτόχρονα, οι εφαρμογές έχουν συνήθως μεγαλύτερες απαιτήσεις σε ακρίβεια (π.χ. προσαρμογή της πληροφορίας ανάλογα με τη θέση μέσα σε ένα δωμάτιο π.χ. μουσείο, σε έναν όροφο π.χ. πολυκατάστημα κ.ο.κ.). Ωστόσο, η επίτευξη της απαιτούμενης ακρίβειας σε εσωτερικούς χώρους δυσχεραίνεται ακόμη περισσότερο καθώς πολλές τεχνικές, όπως το GPS, οι οποίες δίνουν σχετικά ακριβή αποτελέσματα σε εξωτερικούς χώρους δεν είναι εφαρμόσιμες στην περίπτωση εντοπισμού σε εσωτερικούς χώρους.

Πέραν της διάκρισης σε τεχνικές εντοπισμού για εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους, είναι δυνατός ο περαιτέρω διαχωρισμός των τεχνικών εντοπισμού εξωτερικών χώρων βάσει του οικιστικού τύπου των περιοχών στους οποίους βρίσκουν εφαρμογή, για παράδειγμα σε αστικές, ημιαστικές ή επαρχιακές περιοχές. Κάθε ένας από αυτούς τους τύπους έχει διαφορετικές απαιτήσεις σε διάφορες παραμέτρους επίδοσης οι οποίες καλύπτονται από τις δυνατότητες και τα χαρακτηριστικά των αντίστοιχων συστημάτων/ τεχνικών εντοπισμού. Για παράδειγμα, στις αστικές περιοχές η πυκνή δόμηση διαμορφώνει «φαράγγια δρόμων» (street canyons) προκαλώντας φαινόμενα διαλείψεων λόγω πολυδιαδρομικής διάδοσης. Αυτό επιδεινώνει την ακρίβεια των τεχνικών εντοπισμού οι οποίες βασίζονται στη λαμβανόμενη στάθμη ισχύος σήματος και στις μετρήσεις χρόνου διάδοσης του σήματος.

Τυπικά, οι τεχνικές οι οποίες υλοποιούνται βάσει μετρήσεων κυψελωτών δικτύων κινητών επικοινωνιών έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια στην περίπτωση εντοπισμού σε εξωτερικούς χώρους από ότι σε εσωτερικούς όπου τα δίκτυα WLAN λόγω της μικρής έκτασης κάλυψης προσφέρουν μεγαλύτερη επάρκεια. Ωστόσο υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες η χρήση του δικτύου GSM προσφέρεται για ακριβή εντοπισμό σε εσωτερικούς χώρους. Υψηλής ακρίβειας προσδιορισμός θέσης μπορεί να επιτευχθεί με τεχνικές βασιζόμενες σε στοιχεία αποτυπώματος κυψέλης. Σε αντίθεση με τις κλασικές τεχνικές αποτυπώματος κυψέλης, οι οποίες χρησιμοποιούν τα επίπεδα ισχύος σήματος έως και έξι γειτονικών κυψελών, καθίσταται δυνατή η χρήση μετρήσεων έως και 35 κυψελών όπως περιγράφεται στην αναφορά [2]. Στην αναφορά αυτή η εξαγωγή των μετρήσεων από το GSM δίκτυο έγινε με χρήση του Sony-Ericsson GM28 GSM modem.

Επίδοση. Το βασικότερο ίσως χαρακτηριστικό των διαφόρων τεχνικών προσδιορισμού θέσης είναι η επίδοσή τους με βάση διάφορα κριτήρια όπως η ακρίβεια, η καθυστέρηση, ο μεταφερόμενος όγκος δεδομένων σηματοδότησης, η κατανάλωση ισχύος, η διαθεσιμότητα, η ευκολία υλοποίησης και εφαρμογής τους, το χαμηλό κόστος ολοκλήρωσης και άλλα. Μερικά από αυτά παρουσιάζονται στις αναφορές [63],[68].

Από τα προαναφερόμενα κριτήρια επίδοσης ιδιαίτερη βαρύτητα έχει η ακρίβεια στον προσδιορισμό της θέσης, η οποία ορίζεται ως η απόκλιση ανάμεσα στην πραγματική και την προσδιοριζόμενη θέση του κινητού τερματικού σε ένα σύστημα αναφοράς. Οι περισσότερες μελέτες που έχουν παρουσιαστεί έως σήμερα εστιάζουν κυρίως στη βελτίωση της ακρίβειας και την ελαχιστοποίηση της μεταβλητότητας του σφάλματος χωρίς να λαμβάνουν υπόψη άλλες παραμέτρους. Ωστόσο, σε πολλές περιπτώσεις η επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας προϋποθέτει συμβιβασμούς σε άλλα μέτρα επίδοσης εξίσου σημαντικά, όπως για παράδειγμα την καθυστέρηση, το υψηλό κόστος ολοκλήρωσης, την υψηλή κατανάλωση ισχύος του τερματικού και άλλα. Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται η επίπτωση της αύξησης της ακρίβειας προσδιορισμού θέσης στο κόστος υλοποίησης του συστήματος.



Σχήμα 1: Ακρίβεια προσδιορισμού θέσης σε συνάρτηση με το κόστος υλοποίησης

Υπάρχουν διάφορα κόσθη τα οποία σχετίζονται με την υλοποίηση των τεχνικών προσδιορισμού θέσης, τα οποία είναι δύσκολο να προσδιοριστούν επακριβώς. Για παράδειγμα στην περίπτωση της τεχνικής GPS αυξάνει σημαντικά το κόστος του τερματικού καθόσον η μέθοδος αυτή δεν απαιτεί πρόσθετες επενδύσεις για το δίκτυο, σε αντίθεση με άλλες τεχνικές που απαιτούν την εγκατάσταση ειδικού υλικού στο δίκτυο (π.χ. τις Μονάδες Μέτρησης της Θέσης (LMUs) στην τεχνική E-OTD [3]). Κάποιες τεχνικές μπορεί να απαιτούν ρύθμιση κάποιου μοντέλου διάδοσης σήματος (π.χ. CGI++), το οποίο βέβαια στις περισσότερες περιπτώσεις είναι ήδη ρυθμισμένο

μέσω λογισμικών πακέτων σχεδιασμού δικτύου. Αντίστοιχα, οι τεχνικές αποτυπωμάτων δεν απαιτούν ειδικές δαπάνες σε εξοπλισμό αλλά απαιτούν δαπανηρές, εκτενείς και συχνές μελέτες/μετρήσεις πεδίου, καθώς υφίσταται ένας συμβιβασμός ανάμεσα στην ακρίβεια και στη συλλογή αποτυπωμάτων (κόστους-όγκου μετρήσεων): μειώνοντας τον όγκο της συλλογής δειγμάτων/μετρήσεων μειώνεται η ακρίβεια.

Η καθυστέρηση είναι ένα ακόμα μέτρο επίδοσης. Μπορεί να καθοριστεί ως η χρονική διαφορά ανάμεσα στην αίτηση για προσδιορισμό θέσης και στη λήψη του αποτελέσματος (θέση). Δεδομένου ότι συνήθως η συλλογή μεγαλύτερου αριθμού μετρήσεων διαφορετικών μεγεθών και η εντατικότερη επεξεργασία των δεδομένων προϋποθέτει μεγαλύτερο χρόνο επεξεργασίας, καθίσταται πρόδηλος ο συμβιβασμός που απαιτείται ανάμεσα στην ακρίβεια και την καθυστέρηση.

Διαφορετικά, στις υλοποιήσεις τεχνικών όπου οι μετρήσεις καταγράφονται στο κινητό τερματικό και μεταφέρονται από το τερματικό στο δίκτυο για την περαιτέρω επεξεργασία και τον υπολογισμό της θέσης, ο φόρτος του δικτύου λόγω της σηματοδοσίας είναι ακόμη ένα βασικό κριτήριο. Για παράδειγμα στην περίπτωση της CI+TA+NMR, ο όγκος των δεδομένων σηματοδοσίας είναι ανάλογος του αριθμού των ΣΒ, και στην περίπτωση του A-GPS, είναι ανάλογος του αριθμού των δορυφόρων που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία προσδιορισμού θέσης [63].

Συμπερασματικά, φαίνεται ότι υπάρχει μια πληθώρα χαρακτηριστικών των τεχνικών προσδιορισμού θέσης, τα οποία διαμορφώνουν αντίστοιχα κριτήρια στη βάση των οποίων μπορεί να προτιμηθεί η υλοποίηση κάποιας τεχνικής έναντι κάποιας άλλης. Στην πορεία θα αναδυθεί η σημασία των χαρακτηριστικών αυτών στη διαφοροποίηση των τεχνικών προσδιορισμού θέσης.

2.3 Δίκτυα και Τεχνολογίες για τον Προσδιορισμό Θέσης

Όπως προαναφέρθηκε, διαφορετικές τεχνολογίες δικτύου πρόσβασης προσφέρονται για διαφορετικές τεχνικές προσδιορισμού θέσης, ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους. Εν γένει δύο είναι οι μεγάλες κατηγορίες των δικτύων οι οποίες προσφέρονται για ανάπτυξη τεχνικών και υπηρεσιών προσδιορισμού θέσης: τα επίγεια ασύρματα δίκτυα (GSM/GPRS, UMTS, WLAN, WiMAX, Bluetooth, Infrared (IR)), και τα δορυφορικά. Στην ενότητα αυτή γίνεται μια επισκόπηση αυτών των δικτύων και των βασικών τεχνικών που προσφέρονται για ανάπτυξη σε κάθε τέτοιο τύπο δικτύου.

2.3.1 Επίγεια Ασύρματα Δίκτυα

2.3.1.1 Κυψελωτά Δίκτυα Κινητών Τηλεπικοινωνιών (GSM, UMTS)

Όπως προαναφέρθηκε, οι τεχνολογίες κυψελωτών συστημάτων κινητών τηλεπικοινωνιών (GSM/UMTS) προσφέρονται για την ανάπτυξη δικτύων ευρείας κάλυψης –σε εθνικό επίπεδο- και κατά συνέπεια δύναται να αποτελέσουν μια αξιόπιστη λύση για την ανάπτυξη ευρέως διαθέσιμων ΥΘ. Τυπικά, ο προσδιορισμός θέσης μέσω δικτύων GSM/UMTS αξιοποιείται σε περιπτώσεις εξωτερικών χώρων, ωστόσο για παράδειγμα στην αναφορά [2] παρουσιάζεται μια μελέτη, στην οποία επιτεύχθηκε υψηλή ακρίβεια εντοπισμού σε εσωτερικούς χώρους μέσω δικτύου GSM.

Οι τεχνικές προσδιορισμού θέσης για κυψελωτά συστήματα στηρίζονται συνήθως στη μέτρηση χαρακτηριστικών μεγεθών όπως η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος, ο χρόνος διάδοσης ή το αζιμούθιο. Για τα δίκτυα GSM έχουν τυποποιηθεί [5] οι τεχνικές: Cell ID, UL-TOA, E-OTD και η A-GPS, οι οποίες περιγράφονται στη συνέχεια. Στην UL-TOA η εκτιμώμενη θέση βασίζεται στη μέτρηση του χρόνου άφιξης (Time of Arrival (TOA)) του σήματος στην άνω ζεύξη: από το κινητό τερματικό σε τρία ή περισσότερα σημεία –Σταθμούς Βάσης (ΣΒ)- του δικτύου. Στα δίκτυα UMTS βρίσκουν εφαρμογή ακόμη τρεις τεχνικές, οι οποίες έχουν τυποποιηθεί από την 3GPP, οι: Cell-ID, OTDOA και A-GPS [6].

2.3.1.2 Τοπικά Ασύρματα Δίκτυα WLAN

Τα τοπικά ασύρματα δίκτυα παρουσιάζουν την τελευταία δεκαετία ιδιαίτερη διεύδυση στην αγορά ψηφιακών υπηρεσιών και επικοινωνιών, παρέχοντας κάλυψη τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους. Η συνδεσιμότητα σε τοπικά ασύρματα δίκτυα αποτελεί πλέον τυπικό χαρακτηριστικό των φορητών υπολογιστών, των PDAs καθώς και των κινητών τερματικών που απευθύνονται σε εταιρικούς πελάτες. Συνεπώς, τα τοπικά ασύρματα δίκτυα αποτελούν μια υπαρκτή και εφικτή λύση για προσδιορισμό της θέσης κινητών τερματικών σε ένα μεγάλο αριθμό περιοχών. Οι περισσότερες μελέτες που σχετίζονται με τον προσδιορισμό θέσης μέσω τοπικών ασύρματων δικτύων εστιάζουν στον εντοπισμό σε εσωτερικούς χώρους, ωστόσο ενθαρρυντικά είναι και τα αποτελέσματα εφαρμογής τους σε εξωτερικούς χώρους [4]. Στην περίπτωση αυτή ένα από τα ζητούμενα είναι και η παρουσία αρκετά πυκνού δικτύου WLAN, ώστε να παρέχεται επαρκής κάλυψη, και η δυνατότητα εξυπηρέτησης από αρκετά σημεία πρόσβασης στο WLAN.

Για τον προσδιορισμό της θέσης κινητών τερματικών μπορούν να αξιοποιηθούν μετρήσεις διαφόρων μεγεθών των τοπικών ασύρματων δικτύων [7]. Τυπικά, επιτυγχάνεται μέσω μετρήσεων στάθμης ισχύος λαμβανόμενου σήματος [8], [9], ωστόσο αρκετά καλά αποτελέσματα παρουσιάζουν και προσεγγίσεις με χρήση μετρήσεων χρονισμού (TDOA) [10].

Η έρευνα της αναφοράς [8] στηρίζεται σε τεχνικές βασισμένες στην ισχύ λαμβανόμενου σήματος. Όπως αναφέρεται, μέσω τοπικών ασύρματων δικτύων ο μέσος όρος της ακρίβειας που μπορεί να επιτευχθεί είναι περίπου 3m, και στο 97% των περιπτώσεων κάτω από 9m. Επιπρόσθετα, όπως επεξηγείται στην αναφορά, η ακρίβεια μιας τεχνικής στην περίπτωση εντοπισμού σε εσωτερικούς χώρους μπορεί να βασιστεί όχι μόνο στην απόσταση (σε μέτρα) αλλά και στην ακρίβεια δωματίου, δηλαδή η τεχνική προσδιορισμού θέσης να προσδιορίζει το σωστό δωμάτιο στο οποίο βρίσκεται το τερματικό. Στην αναφορά [69], τονίζεται ότι στην περίπτωση εντοπισμού σε εσωτερικό χώρο, ο αριθμός των ατόμων στο δωμάτιο μπορεί να επηρεάσει τις μεταβολές της στάθμης ισχύος σήματος οπότε και της ακρίβειας εντοπισμού. Ειδικότερα, όπως παρατηρήθηκε, η διακύμανση των μετρήσεων ισχύος σήματος μπορεί να είναι από 4dBm σε ένα άδειο δωμάτιο μέχρι 8dBm σε ένα δωμάτιο γεμάτο άτομα. Επίσης οι όροφοι ενός κτιρίου μπορούν να επηρεάσουν τα επίπεδα ισχύος σήματος προκαλώντας εξασθένηση της τάξης των 15dBm με 35dBm.

2.3.1.3 Bluetooth

Η διαθεσιμότητα της τεχνολογίας Bluetooth στα κινητά τερματικά έχει αυξηθεί αισθητά τα τελευταία χρόνια ίσως περισσότερο και από τη συνδεσιμότητά τους σε τοπικά ασύρματα δίκτυα. Σε αυτό συνέβαλαν τόσο το χαμηλό κόστος ολοκλήρωσής της όσο και η χαμηλή κατανάλωση ισχύος που απαιτεί η ενεργοποίησή της. Ωστόσο παρουσιάζει υστέρηση η ανάπτυξη αντίστοιχων δικτύων –σημείων πρόσβασης- τεχνολογίας Bluetooth. Σε ένα μελλοντικό δικτυακό περιβάλλον, φορητοί υπολογιστές και κινητά τερματικά εξοπλισμένα με Bluetooth θα μπορούσαν να αποτελέσουν σημεία πρόσβασης. Ωστόσο η θέση τους σπάνια είναι σταθερή οπότε δεν θα μπορούσαν να αποτελέσουν σημεία αναφοράς για προσδιορισμό θέσης.

Ένας μεγάλος αριθμός από μελέτες έχει ως αντικείμενο τον προσδιορισμό θέσης κινητού τερματικού μέσω τεχνολογίας Bluetooth. Στην αναφορά [11] καθίσταται σαφές ότι η κύρια αιτία της μικρής ακρίβειας προσδιορισμού θέσης είναι η αναξιопιστία των μετρήσεων του δείκτη λαμβανόμενης ισχύος σήματος (RSSI). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο δείκτης λαμβανόμενης ισχύος σήματος (RSSI) δεν αντιστοιχεί γραμμικά στη στάθμη της λαμβανόμενης ισχύος σήματος (η οποία χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της θέσης) και το εξαγόμενο εύρος μέτρησης του επιπέδου λαμβανόμενου σήματος είναι σχετικά μικρό. Μια λύση για την αντιμετώπιση του προβλήματος προτείνεται στην αναφορά [12]: ένας μεταβλητός εξασθενητής εγκαθίσταται σε κάθε σημείο πρόσβασης Bluetooth αυξάνοντας το αναγνωρίσιμο εύρος λαμβανόμενης ισχύος. Στην αναφορά [13], το σύστημα προσδιορισμού θέσης μέσω δικτύου Bluetooth καταφεύγει στη χρήση μόνο της ταυτότητας κυψέλης (Cell-ID), καθώς οι μετρήσεις του δείκτη λαμβανόμενης ισχύος σήματος (RSSI) δεν είναι διαθέσιμες στον εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη.

Στις αναφορές [14] και [15] παρουσιάζεται μια πρόσθετη αδυναμία που σχετίζεται με τον προσδιορισμό της θέσης τερματικού μέσω δικτύων Bluetooth: η καθυστέρηση. Η χρονική διάρκεια αναζήτησης του δικτύου από μια συσκευή Bluetooth μπορεί να είναι μεγάλη και απρόβλεπτη. Ωστόσο στην αναφορά [14], δίνεται μία πρόταση για την αντιμετώπιση της αυξημένης καθυστέρησης. Η ολοκλήρωση μιας σύνδεσης στο προτεινόμενο σύστημα γίνεται αντίστροφα: τα σημεία πρόσβασης (ή οι οδηγοί του συστήματος) συνδέονται στο κινητό τερματικό (πελάτης). Κατ' αυτόν τον τρόπο, το σύστημα ελέγχεται κεντρικά και όταν το κινητό τερματικό – πελάτης εγγραφεί στον κεντρικό εξυπηρετητή, οι οδηγοί μπορούν να αναλάβουν την ολοκλήρωση των συνδέσεων στον πελάτη. Στις μελέτες που εστιάζουν στον προσδιορισμό θέσης μέσω Bluetooth περιλαμβάνεται και η [16].

2.3.1.4 *RFID*

Η τεχνολογία Radio Frequency Identification (RFID) είναι μια παλιά αλλά πρόσφατα αναπτυσσόμενη τεχνολογία δικτύου πρόσβασης μικρής εμβέλειας, η οποία χρησιμοποιεί ραδιοκύματα για την μεταφορά δεδομένων ανάμεσα σε μία ετικέτα (tag) και ένα αναγνώστη (reader). Οι ετικέτες μπορεί να λειτουργούν είτε ενεργητικά είτε παθητικά. Οι παθητικές ετικέτες δεν στέλνουν το σήμα τους αλλά χρησιμοποιούν την ισχύ του λαμβανόμενου σήματος για να απαντήσουν στον αναγνώστη.

Μεταξύ άλλων δεδομένων, μπορούν να αποθηκευτούν στη μνήμη μίας ετικέτας οι χωρικές συντεταγμένες της. Με την ανάγνωση αυτής της χωρικής πληροφορίας, μπορεί το τερματικό που είναι εξοπλισμένο με έναν αναγνώστη να καθορίσει τη θέση του. Επειδή οι παθητικές ετικέτες είναι οικονομικές, ελαφριές στο βάρος, και δεν απαιτούν την ύπαρξη μπαταρίας, ένα πλέγμα από ετικέτες θα μπορούσε να είναι μόνιμα εγκατεστημένο σε μια υποδομή ώστε να διαμορφώσει ένα σύστημα αναφοράς θέσης χωρίς εξάρτηση από κάποια κεντρική βάση δεδομένων ή ασύρματη δικτυακή τηλεπικοινωνιακή υποδομή. Στην αναφορά [18] παρουσιάζεται ένα σύστημα πλέγματος πληροφορίας βασισμένο σε τεχνολογία RFID με έναν αναγνώστη ολοκληρωμένο στο παπούτσι ενός χρήστη. Το εγκατεστημένο σύστημα βοηθά τυφλά παιδιά και ενήλικες να κινούνται σε μια περιοχή εξοπλισμένη με ένα πλέγμα από ετικέτες. Η ίδια αρχή χρησιμοποιήθηκε και στον προσδιορισμό της θέσης κινητών robots [19] και κινούμενων οχημάτων [17]. Ένα άλλο παράδειγμα εφαρμογής της τεχνολογίας RFID αποτελεί και το σύστημα προσδιορισμού θέσης της Active Badge όπως περιγράφεται στην αναφορά [24].

2.3.1.5 *Άλλες Τεχνολογίες*

Εκτός από τις τυπικές τεχνικές βασισμένες σε κάποια από τις τεχνολογίες δικτύων πρόσβασης (GSM/UMTS/WLAN/Bluetooth/RFID) υπάρχουν και εναλλακτικές προτάσεις, όπως αυτές που αναφέρονται στην παρούσα παράγραφο.

Στην αναφορά [20], προτείνεται ένα υβριδικό σύστημα δικτύων DAB-GSM. Μελέτες προσομοίωσης με το εμπορικά διαθέσιμο λογισμικό OPNET, καταδεικνύουν ακρίβεια της τάξης των 40m. Ο προσδιορισμός της θέσης βασίζεται σε μετρήσεις χρόνου άφιξης (OTDOA) και φαίνεται ότι είναι ιδιαίτερα κατάλληλη σε ημιαστικές και επαρχιακές περιοχές.

Στην αναφορά [21], γίνεται λόγος για τον προσδιορισμό της θέσης του κινητού τερματικού σε ασύρματο σύστημα FM. Ο προσδιορισμός της θέσης βασίζεται σε τιμές ισχύος σήματος και στον κανόνα του Bayes. Ωστόσο, όπως φαίνεται στην δημοσίευση, διαφορετικές συσκευές (από διαφορετικούς προμηθευτές) επιστρέφουν τιμές μετρήσεων για την ίδια θέση οι οποίες δεν συμφωνούν πλήρως μεταξύ τους. Για την αντιμετώπιση αυτού του θέματος, οι συγγραφείς προτείνουν τη χρήση σχετικών τιμών στάθμης ισχύος λαμβανόμενου σήματος: το αποτύπωμα της ισχύος σήματος θα πρέπει να εμφανίζει μόνο π.χ. ότι η λαμβανόμενη ισχύς από την κεραία A είναι μεγαλύτερη από τη λαμβανόμενη ισχύ από την κεραία B σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία, αντί της καταγραφής των απολύτων τιμών των επιπέδων ισχύος σήματος.

Κατά μια άλλη προσέγγιση, χρησιμοποιούνται ακουστικά κύματα με τα οποία αξιοποιείται το γεγονός ότι ο ήχος διαδίδεται με ταχύτητα η οποία είναι πολύ μικρότερη από αυτή των ραδιοκυμάτων. Κατά συνέπεια η μέτρηση της χρονικής καθυστέρησης (για τον προσδιορισμό της θέσης) είναι ευκολότερη και εμφανίζει πιο ακριβή αποτελέσματα. Επιπρόσθετα η αλληλεπίδραση του ήχου με το περιβάλλον (τοιίχους, ταβάνια και εμπόδια) είναι διαφορετική από αυτή των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Συστήματα και μελέτες τα οποία χρησιμοποιούν τον ήχο σε συνδυασμό με τα ραδιοκύματα για τον προσδιορισμό της θέσης παρουσιάζονται και στις αναφορές [22] (Cricket) και [23].

2.3.2 Δορυφορικά Δίκτυα

Εκτός από τα επίγεια ασύρματα δίκτυα, μεγάλο μέρος από τις εμπορικά διαθέσιμες τεχνικές προσδιορισμού θέσης εκμεταλλεύονται δεδομένα που προέρχονται από δορυφορικά συστήματα. Αυτά βασίζονται στην ακόλουθη λογική:

Στα δορυφορικά συστήματα πλοήγησης, οι δορυφόροι που βρίσκονται σε τροχιά εκπέμπουν ένα σήμα το οποίο περιέχει πληροφορία της θέσης τους και της χρονικής στιγμής που εκπέμφθηκε το σήμα. Για το συγχρονισμό όλων των δορυφόρων στον αστερισμό χρησιμοποιείται ένα ατομικό ρολόι. Ο δέκτης μετρά τον χρόνο μετάδοσης «time-of-flight» του σήματος που εκπέμπεται, συγκρίνοντας το χρόνο ευρειακότητας με το μετρούμενο χρόνο λήψης με ένα εσωτερικό ρολόι στον δέκτη. Απαιτούνται τρεις τέτοιες μετρήσεις από διαφορετικούς δορυφόρους για να αποδώσουν την οριζόντια θέση του δέκτη, ενώ μια πρόσθετη τέταρτη μέτρηση απαιτείται για τον καθορισμό της κατακόρυφης θέσης του. Καθώς τα δορυφορικά σήματα δεν μπορούν να

διδεισδύσουν μέσα από συμπαγή εμπόδια, για την αξιοποίηση του συστήματος απαιτείται καθαρή οπτική επαφή του δέκτη με τους δορυφόρους.

Προς το παρόν το Global Positioning System (GPS) είναι το μοναδικό δορυφορικό σύστημα πλοήγησης με εφαρμογή σχεδόν σε όλη την γήινη επιφάνεια. Επίσης επίκειται η αποκατάσταση του Ρωσικού συστήματος GLONASS ενώ το ευρωπαϊκό σύστημα Galileo είναι υπό κατασκευή.

2.3.2.1 Παγκόσμιο Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης (Global Positioning System)

Το δορυφορικό σύστημα GPS παρέχει τα κατάλληλα μέσα για τον τρισδιάστατο καθορισμό της θέσης και της ταχύτητας ενός χρήστη αυτού του συστήματος. Η συστοιχία των 24 δορυφόρων που χρησιμοποιούνται σήμερα για το GPS αναπτύχθηκε, εγκαταστάθηκε και διατηρείται από το Υπουργείο Εθνικής Άμυνας των ΗΠΑ. Η λογική που ακολουθεί είναι αυτή που προαναφέρθηκε. Ο υπολογισμός του χρόνου μετάδοσης των σημάτων που λαμβάνονται από τέσσερις ξεχωριστούς δορυφόρους, ώστε τελικά να εξαχθούν ακριβή δεδομένα για το γεωγραφικό πλάτος, μήκος και ύψος, πραγματοποιείται από το δέκτη.

Το σύστημα GPS εμφανίζει άριστη επίδοση όσον αφορά την ακρίβεια προσδιορισμού της θέσης και παγκόσμια διαθεσιμότητα. Η ακρίβεια προσδιορισμού θέσης που επιτυγχάνεται είναι της τάξης των 10 με 100m, με δυνατότητα περαιτέρω μείωσης κάτω από τα 10m. Το σφάλμα στην ακρίβεια εξαρτάται από το περιβάλλον διάδοσης, την ευαισθησία του δέκτη και τις διαθλάσεις του GPS σήματος στην ιονόσφαιρα και την τροπόσφαιρα [25]. Στα πλεονεκτήματα του συστήματος πρέπει να συμπεριληφθεί και ο απεριόριστος αριθμός χρηστών που μπορούν να υποστηριχθούν ταυτόχρονα. Τέλος, αξίζει να τονιστεί το γεγονός ότι η ολοκλήρωσή του στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα απαιτεί ελάχιστες τροποποιήσεις στον δικτυακό εξοπλισμό διατηρώντας το κόστος εφαρμογής του σε ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα.

Ωστόσο, τα συστήματα GPS εμφανίζουν κάποιες αδυναμίες. Η προσθήκη ενός δέκτη GPS σε ένα κινητό τερματικό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του μεγέθους και του βάρους του, καθώς και της κατανάλωσης ισχύος. Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορούν να αποτελέσουν ανασταλτικούς παράγοντες στην ευρεία αποδοχή του συστήματος GPS από την αγορά ΥΘ, δεδομένου ότι για λόγους ευχρηστίας και πρακτικής είναι προτιμητέες μικρότερες και ελαφρύτερες τερματικές συσκευές οι οποίες έχουν αυξημένο χρόνο λειτουργίας.

Όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, σε ένα σύστημα GPS είναι απαραίτητη η οπτική επαφή με τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους, προκειμένου να υπολογιστεί η γεωγραφική θέση. Αυτός ο αριθμός δορυφόρων είναι συχνά μη διαθέσιμος σε σκιασμένα περιβάλλοντα, όπως για παράδειγμα οι δρόμοι σε αστικές περιοχές. Επιπρόσθετα, το σύστημα δεν δύναται να εντοπίσει τη θέση

τερματικού το οποίο βρίσκεται σε εσωτερικούς χώρους. Και στις δυο περιπτώσεις, το αποτέλεσμα είναι η ανεπαρκής και ημιτελής παροχή υπηρεσιών.

Ο χρόνος που απαιτείται ώστε ένας δέκτης GPS να ξεκινήσει τις αναγνώσεις της θέσης μετά την ενεργοποίηση του είναι συνήθως από μισό έως ενάμισι λεπτό -ή ακόμα και περισσότερος- ανάλογα με το σχεδιασμό του. Αυτό αποτελεί ένα πρόσθετο μειονέκτημα του συστήματος, καθώς ο απαιτούμενος αυτός χρόνος για την πρώτη αποτύπωση του στίγματος GPS έχει επιπτώσεις στην αποτελεσματικότητά του συστήματος σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.

Εξετάζοντας μερικά από τα ζητήματα επίδοσης, έχουν ολοκληρωθεί δύο προσπάθειες με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών που παρέχονται από την υπάρχουσα τεχνολογία GPS. Αυτές είναι το διαφορικό GPS (Differential-GPS) και το υποβοηθούμενο GPS (Assisted-GPS) που περιγράφονται στη συνέχεια [26].

2.3.2.2 Διαφορικό GPS

Κίνητρο για την εφαρμογή της τεχνολογίας του διαφορικού GPS (Differential GPS) αποτελεί, κυρίως, η επιδίωξη της μεγαλύτερης δυνατής ακρίβειας του τυποποιημένου συστήματος GPS. Πιο συγκεκριμένα, με το DGPS επιχειρείται μείωση των σφαλμάτων που οφείλονται στην ιονόσφαιρα και τροπόσφαιρα, των σφαλμάτων ρολογιών των δορυφόρων και των σφαλμάτων μέτρησης κώδικα. Η κύρια ιδέα στην οποία βασίζεται το σύστημα DGPS είναι η ύπαρξη ενός δέκτη αναφοράς, δηλαδή ενός σημείου με γνωστές συντεταγμένες και η παραδοχή ότι μεταξύ ενός σταθμού αναφοράς και ενός μακρινού δέκτη τα σφάλματα θα είναι τα ίδια σε κάθε θέση, με αποτέλεσμα να πραγματοποιείται πιο εύκολα ο εντοπισμός και η μείωσή τους. Με βάση αυτή τη λογική, η τεχνική απαιτεί δύο δέκτες GPS, το δέκτη αναφοράς και έναν κινητό δέκτη. Η διαδικασία πραγματοποιείται μέσω των συντεταγμένων του δέκτη αναφοράς, για την διόρθωση της ψευδό-εμβέλειας (pseudorange) του δορυφόρου και την αντικατάσταση της από την πραγματική εμβέλεια, υπολογίζοντας τη διαφορική διόρθωση και εξάγοντας με τον τρόπο αυτό την «ψευδό» από την πραγματική εμβέλεια.

Υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους αυτή η διαφορική διόρθωση εφαρμόζεται στα υπάρχοντα δίκτυα και αντιστοιχούν σε δύο παραλλαγές του DGPS. Στον πρώτο, γνωστός ως άμεσος τρόπος, η διαφορική διόρθωση διαβιβάζεται στον κινητό δέκτη, ο οποίος αναλαμβάνει όλες τις διαδικασίες διορθώσεων και υπολογισμού της θέσης. Εφαρμόζεται ευρέως από κυβερνητικούς τομείς για την παροχή ΥΘ που απαιτούν υψηλή ακρίβεια (π.χ. Αμερικανική ακτοφυλακή) καθώς και σε άλλους τομείς. Αντίθετα, κατά τη δεύτερη παραλλαγή, δηλαδή το αντίστροφο διαφορικό GPS (Inverse Differential GPS), ο σταθμός αναφοράς είναι υπεύθυνος για την αποτύπωση της θέσης και αρμόδιος για την επεξεργασία των «ακατέργαστων» μετρήσεων από τον κινητό δέκτη. Ο σταθμός αναφοράς εκμεταλλεύεται τις επεξεργαστικές του δυνατότητες και την ζώνη χαμηλών

συχνοτήτων, που απαιτείται για τη μετάδοση των δεδομένων. Η μέθοδος αυτή είναι ευρέως διαδεδομένη στον τομέα των εμπορικών υπηρεσιών.

Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης τεχνικής, συγκρινόμενα με τα αντίστοιχα του απλού GPS, αποδίδουν υψηλότερα ποσοστά ακρίβειας, τα οποία ποικίλουν, από 1m σε 7m, ανάλογα με την οπτική επαφή μεταξύ του σημείου αναφοράς και του κινητού δέκτη. Στην πράξη, το DGPS ενισχύει έναν τομέα, όπου ήδη το απλό GPS αποδίδει αρκετά καλά. Ωστόσο, το DGPS δεν παύει να φέρει όλα τα μειονεκτήματα των δορυφορικών συστημάτων προσδιορισμού θέσης.

2.3.2.3 A-GPS

Οι ανάγκες για αξιοπιστία και ταχύτητα στον προσδιορισμό της θέσης -να επιτυγχάνεται μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα- σε ένα μεγάλο εύρος περιοχών, συμπεριλαμβανομένων των «φαραγγίων δρόμων» σε αστικές περιοχές και των εσωτερικών χώρων, καθώς και η ευρεία διαθεσιμότητα σύνδεσης σε κυψελωτά συστήματα καθιστούν εφικτή την υλοποίηση συστημάτων υποβοηθούμενου GPS (A-GPS). Σε ένα σύστημα A-GPS το κυψελωτό τηλεπικοινωνιακό δίκτυο παρέχει επικουρικά στο δέκτη GPS για την εκτέλεση των διαφόρων λειτουργιών του. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να περιλαμβάνουν πληροφορίες κατάστασης/δυνατότητας λειτουργίας του δορυφόρου, συντελεστών σφάλματος ατμόσφαιρας, συντελεστών σφάλματος των χρονιστών των δορυφόρων κ.ο.κ. Πιο συγκεκριμένα, το κυψελωτό δίκτυο μπορεί να παρέχει πληροφορία χρονισμού ώστε να υποβοηθήσει το δέκτη GPS να ανακτήσει τα σήματα ταχύτερα, είτε πληροφορία διαθεσιμότητας συγκεκριμένων δορυφόρων κυρίως στην περίπτωση όπου τα λαμβανόμενα σήματα από τους δορυφόρους GPS είναι ιδιαίτερα ασθενή.

Η μεταφορά δεδομένων από το κυψελωτό δίκτυο στο δέκτη μπορεί να υλοποιηθεί είτε στο επίπεδο μεταφοράς δεδομένων χρήστη (User Plane) είτε στο επίπεδο ελέγχου (Control Plane) - μέσω καναλιών σηματοδότησης. Τα μηνύματα που απαιτούνται για την επικοινωνία του δέκτη και του εξυπηρετητή και μεταφέρονται μέσω του δικτύου έχουν τυποποιηθεί τόσο για τα UMTS όσο και για τα GSM δίκτυα. Στην τελευταία περίπτωση, τα δεδομένα παρέχονται μέσω τυποποιημένων τεχνολογιών όπως GPRS και SMS.

Η υλοποίηση του A-GPS μπορεί να είναι είτε υποβοηθούμενη από το τερματικό είτε βασισμένη σε αυτό. Στην υποβοηθούμενη από το τερματικό A-GPS, κάποιο μέρος της επεξεργασίας των δεδομένων μεταφέρεται στο δίκτυο οπότε απλοποιούνται οι λειτουργίες στο δέκτη. Το μειονέκτημα αυτής της λύσης είναι οι αυξημένες απαιτήσεις σηματοδότησης ανάμεσα στο δίκτυο και το δέκτη. Στην χρονική περίοδο συγγραφής της παρούσας διατριβής, λόγω των αυξημένων δυνατοτήτων των κινητών τερματικών τόσο σε χωρητικότητα επεξεργασίας, όσο και της ευρείας διαθεσιμότητας GPS chipsets, πλεονεκτεί η λύση βασισμένη στο κινητό τερματικό.

Από την άλλη, η ολοκλήρωση ενός δέκτη GPS σε κινητά τερματικά παρέχει τις δυνατότητες για νέες εφαρμογές αλλά θέτει και κάποιες σημαντικές προκλήσεις. Ο δέκτης GPS θα πρέπει να ολοκληρώνεται σε μικρές διαστάσεις με μικρό κόστος και σε μεγάλες ποσότητες.

Όσον αφορά στην ακρίβεια προσδιορισμού θέσης του συστήματος A-GPS είναι αντίστοιχη με αυτή του GPS. Μάλιστα πρέπει να αναφερθεί το γεγονός ότι με βάση πειραματικά αποτελέσματα, η απαιτούμενη ευαισθησία του δέκτη με βάση τις τυποποιήσεις της τεχνικής A-GPS είναι κατά πολύ μικρότερη της πραγματικά απαιτούμενης ώστε να παρέχεται εντοπισμός σε περιβάλλοντα εσωτερικών χώρων και σε περιβάλλοντα πυκνής δόμησης (φαράγγια δρόμων) [30]. Η αυξημένη ευαισθησία στο δέκτη μπορεί να επιτευχθεί μόνο με τεχνικές προηγμένης επεξεργασίας σήματος [31].

2.3.2.4 *Global Navigation Satellite System (GLONASS)*

Ανταγωνιστικό του συστήματος GPS είναι το ρωσικό δορυφορικό σύστημα GLONASS (GLObal NAvigational Satellite System), που όπως και το GPS στοχεύει στον απρόσκοπτο προσδιορισμό της τρισδιάστατης θέσης και ταχύτητας ενός κινητού δέκτη. Η λειτουργία του συστήματος GLONASS περιλαμβάνει τρία υποσυστήματα: το δορυφορικό, το επίγειο και το τερματικό του χρήστη. Συνοπτικά αναφέρουμε ότι, το δορυφορικό υποσύστημα, σε πλήρη λειτουργία, αποτελείται από 21+3 δορυφόρους: 21 δορυφόρους, και άλλους 3 σε πλεονασμό (σύνολο 24 σε τροχιά). Το επίγειο υποσύστημα αποκαλούμενο και “Check and Control Subsystem” αποτελείται από σταθμούς βάσης, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τον κατάλληλο και αδιάλειπτο έλεγχο του συστήματος.

Θεωρητικά, το GLONASS παρέχει υψηλή ακρίβεια προσδιορισμού θέσης και παγκόσμια διαθεσιμότητα αντίστοιχη του συστήματος GPS. Ωστόσο, προς το παρόν η λειτουργία λιγότερων δορυφόρων από τους 21+3, που απαιτούνται για την πλήρη λειτουργία του (μόνο 16 μέχρι το χρόνο συγγραφής της παρούσας διατριβής), έχει ως αποτέλεσμα μειωμένη ακρίβεια από την προσδοκώμενη [32]. Μέχρι το τέλος του 2007 αναμένεται η λειτουργία τουλάχιστον 18 δορυφόρων ενώ η περάτωση του συστήματος αναμένεται το 2009.

2.3.2.5 *EGNOS*

Το σύστημα EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) [33] είναι ένα σύστημα το οποίο βελτιώνει την επίδοση των δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης παρέχοντας διορθωτική πληροφορία για τον υπολογισμό της θέσης και του χρόνου μετάδοσης των σημάτων στον δορυφορικό δέκτη. Το EGNOS αποτελείται από τρεις γεωστατικούς δορυφόρους και ένα δίκτυο από επίγειους σταθμούς και δύναται να παρέχει βοηθητική πληροφορία για τα συστήματα GPS και GLONASS. Σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές, η ακρίβεια προσδιορισμού της

οριζόντιας θέσης θα είναι καλύτερη από 7m. Στην πράξη, η ακρίβεια αυτή είναι της τάξης των μέτρων. Η μόνιμη λειτουργία του EGNOS αναμένεται το 2007.

2.3.2.6 Galileo

Το σύστημα GALILEO είναι το πρώτο Ευρωπαϊκά ελεγχόμενο σύστημα το οποίο δημιουργήθηκε με στόχο την παροχή ενός μη στρατιωτικού συστήματος, με υψηλή ακρίβεια εντοπισμού θέσης και χρόνου [34]. Οι πρώτες δοκιμές δορυφόρων ξεκίνησαν το Δεκέμβριο του 2005 και όλο το σύστημα (30 δορυφόροι) αναμένεται να είναι σε πλήρη λειτουργία το 2008. Το σύστημα GALILEO αποτελείται εν συντομία από τα ακόλουθα υποσυστήματα:

- Το γενικό υποσύστημα (Global Component), που αποτελείται από μια συστοιχία 30 δορυφόρων και παρέχει την κάλυψη για την παροχή υπηρεσιών σε παγκόσμια βάση, και ένα επίγειο τμήμα υπεύθυνο για τη διαχείριση των δορυφόρων, τον έλεγχο των βασικών λειτουργιών αποστολής μηνυμάτων πλοήγησης και τον καθορισμό και τη διάδοση (μέσω των δορυφόρων) των πληροφοριών θέσης σε διεθνές επίπεδο.
- Τα περιφερειακά υποσυστήματα (Regional Components), συμπεριλαμβανομένου και του συστήματος EGNOS, που παρέχουν ευστάθεια και διαφορική διόρθωση για τα συστήματα GPS και GLONASS μέσω γεωστατικών δορυφόρων.
- Τα τοπικά υποσυστήματα (Local Components), που εξαρτώνται από τις τοπικές απαιτήσεις χρηστών. Τα συστήματα αυτά είναι δυνατόν να προσφέρουν διαφορετικά επίπεδα ακρίβειας, εμπορικές υπηρεσίες και επιπρόσθετα σήματα πλοήγησης (pseudolites), αλλά και να ενισχύσουν τα δεδομένα θέσης σε περιπτώσεις απουσίας ή χαμηλής ποιότητας δορυφορικών σημάτων (π.χ. υπόγεια γκαράζ αυτοκινήτων, κλπ.).
- Το τμήμα χρηστών (User segment), το οποίο περιλαμβάνει όλους τους διαφορετικούς τύπους και τις πιθανές παραλλαγές των χρηστών, σχετικά με τον εξοπλισμό τους, τις υπηρεσίες και τις εφαρμογές που απαιτούνται.
- Τα κέντρα υπηρεσιών (Service Centers), τα οποία διαμορφώνουν τη διεπαφή με τους χρήστες και τους φορείς παροχής υπηρεσιών.

Η ανάπτυξη του συστήματος GALILEO φαίνεται να αποτελεί την πιο προηγμένη τεχνολογική λύση για τον προσδιορισμό θέσης, δεδομένου ότι ενσωματώνει τα καλύτερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των προηγούμενων συστημάτων και αντιμετωπίζει τα προβλήματα επίδοσής τους.

2.3.2.7 Επιπρόσθετα Σήματα Πλοήγησης

Τα επιπρόσθετα σήματα πλοήγησης ή αλλιώς Pseudolites αναφέρονται σε επίγειους πομπούς οι οποίοι διαμορφώνουν και εκπέμπουν σήματα αντίστοιχης εμβέλειας με αυτά του GPS. Οι Pseudolites μπορούν να βελτιώσουν τη διαθεσιμότητα του GPS σε εξωτερικούς χώρους παρέχοντας πρόσθετα σήματα με σκοπό την επαύξηση των υπάρχοντων συστημάτων GPS. Σε ένα περιβάλλον υψηλής εξασθένησης των σημάτων GPS, μια ομάδα από pseudolites μπορεί να αντικαταστήσει εξ' ολοκλήρου τον στόλο των δορυφόρων του GPS. Το βασικότερο πλεονέκτημα των pseudolites είναι το γεγονός ότι δεν απαιτούνται τροποποιήσεις στους υπάρχοντες δέκτες GPS παρά ελάχιστες αλλαγές στο λογισμικό χαμηλού επιπέδου (firmware). Η τεχνολογία αυτή επιφέρει και κάποια μειονεκτήματα, όπως το γεγονός ότι τα εκπεμπόμενα από αυτούς σήματα στην L1 μπάντα μπορούν να προκαλέσουν παρεμβολή στα σήματα του GPS, με αποτέλεσμα την απόρριψη μερικές φορές της υπηρεσίας του GPS σε δέκτες που δεν χρειάζονται τα επιπρόσθετα σήματα [35].

2.4 Τεχνικές Προσδιορισμού Θέσης Βασιζόμενες στο Δίκτυο

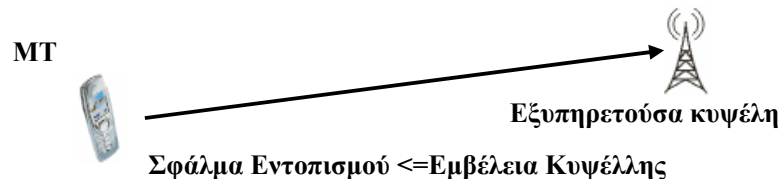
2.4.1 Ταυτότητα Κυψέλης - (Cell Global Identity - CGI)

Η ταυτότητα κυψέλης αποτελεί την απλούστερη τεχνική για τον προσδιορισμό της θέσης ενός κινητού τερματικού μέσω ενός κυψελωτού συστήματος. Συνίσταται στην αξιοποίηση ενός δεδομένου που είναι διαθέσιμο σε κάθε κυψελωτό δίκτυο: του κωδικού αριθμού της ταυτότητας (Cell-ID) της κυψέλης του ΣΒ ή του σημείου πρόσβασης για δίκτυα WLAN που εξυπηρετεί το κινητό τερματικό, και ο οποίος είναι μοναδικός για κάθε ΣΒ του δικτύου. Η εκτίμηση της θέσης δεν είναι ακριβής και στηρίζεται στον κατά προσέγγιση υπολογισμό της περιοχής κάλυψης της κυψέλης με τη συγκεκριμένη ταυτότητα, δεδομένων των γνωστών συντεταγμένων των ΣΒ του δικτύου.

Η τεχνική ταυτότητας κυψέλης και ο τρόπος εφαρμογής της εξαρτάται άμεσα από τον τύπο, το σχεδιασμό, και τη διαθεσιμότητα του δικτύου. Εν γένει, αποτελεί μια ικανοποιητική λύση για τα τοπικά ασύρματα δίκτυα και δίκτυα πυκνής διάταξης, καθώς τα σημεία πρόσβασης και οι ΣΒ είναι πυκνά τοποθετημένα στο χώρο καλύπτοντας μια σχετικά μικρή περιοχή, ωστόσο θεωρείται ανεπαρκής για εφαρμογές οι οποίες απαιτούν υψηλή ακρίβεια εκτίμησης θέσης. Το γεγονός ότι ο προσδιορισμός της θέσης δεν απαιτεί υπολογισμούς παρά στηρίζεται αποκλειστικά σε υπάρχοντα δεδομένα δικτύου -το Cell ID – καθιστά τη τεχνική αυτή γρήγορη, ευέλικτη, χωρίς την απαίτηση σημαντικών τροποποιήσεων στα υπάρχοντα συστήματα, διατηρώντας ταυτόχρονα χαμηλό το κόστος ολοκλήρωσής της σε οποιοδήποτε δίκτυο.

Το βασικότερο μειονέκτημα της τεχνικής ταυτότητας κυψέλης είναι η περιορισμένη ακρίβεια των αποτελεσμάτων της, γεγονός που εξαρτάται από την εκάστοτε διάταξη και τον τύπο του δικτύου,

καθώς για παράδειγμα, ειδικά στις αγροτικές περιοχές η εμβέλεια μιας κυψέλης δικτύου GSM μπορεί να είναι έως και 35km. Στις πυκνές αστικές περιοχές η μεγαλύτερη ακρίβεια θέσης οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στη μικρή εμβέλεια των micro και pico κυψελών. Μια αποτίμηση της ακρίβειας της μεθόδου παρουσιάζεται στην αναφορά [36]. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε δύο χώρες (Αμερική και Ιταλία) και σε τρία διαφορετικά περιβάλλοντα (αστικό, ημιαστικό και σε δρόμο ταχείας κυκλοφορίας). Όπως προέκυψε, η ακρίβεια εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το περιβάλλον και ποικίλει από 500m μέχρι 1Km. Επίσης, σύμφωνα με τα ίδια αποτελέσματα μόλις στο 57% των περιπτώσεων το τερματικό επιλέγει την πλησιέστερη κυψέλη (ως πρωτεύουσα η οποία αναφέρεται στην τεχνική προσδιορισμού θέσης). Συνεπώς, το μέγεθος της κυψέλης δεν είναι ο μοναδικός παράγοντας που επηρεάζει την ακρίβεια της μεθόδου, αλλά εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό και από τον γενικότερο σχεδιασμό του ραδιοδικτύου.



Σχήμα 2: Προσδιορισμός σφάλματος προσδιορισμού θέσης στην τεχνική ταυτότητας κυψέλης

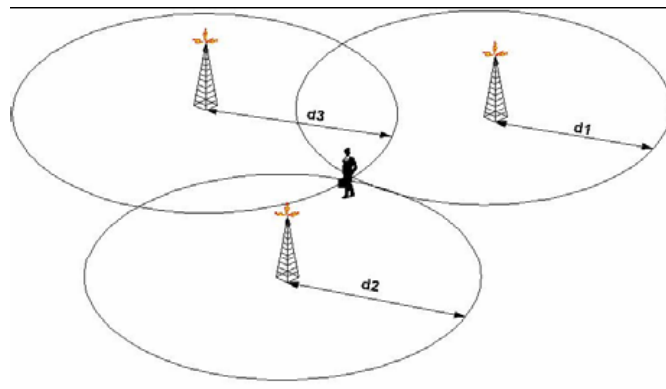
2.4.2 Χρονική Προπορεία – Timing Advance και Round Trip Time

Η χρήση της παραμέτρου χρονικής προπορείας (Timing Advance- TA) μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια της τεχνικής ταυτότητας κυψέλης. Η τεχνική προσδιορισμού θέσης από τη χρονική προπορεία (Timing Advance - TA) διαμορφώνεται βάσει της αντίστοιχης παραμέτρου, η οποία στην περίπτωση δικτύου GSM αποτελεί χαρακτηριστικό μέγεθος και υπολογίζεται για τον ΣΒ που εξυπηρετεί το κινητό τερματικό. Η χρονική προπορεία χρησιμοποιείται για να ευθυγραμμίσει το σήμα στην αφιερωμένη χρονοθυρίδα λόγω της καθυστέρησης διάδοσης των σημάτων και αποτελείται από 6-bit πληροφορίας για τη μέγιστη καθορισμένη εμβέλεια κάλυψης δικτύου GSM (περίπου 35km), οπότε το λιγότερο σημαντικό bit αντιστοιχεί σε περίπου 550m –διακριτική ικανότητα. Πρέπει να σημειωθεί ότι η τεχνική αυτή βρίσκει εφαρμογή μόνο στα δίκτυα GSM και επιφέρει θετικά αποτελέσματα μόνο στην περίπτωση που το μέγεθος της κυψέλης είναι μεγαλύτερο από 500m, όπως συμβαίνει στις κυψέλες που καλύπτουν αγροτικές και προαστιακές περιοχές.

Στα δίκτυα UMTS μπορεί να χρησιμοποιηθεί η παράμετρος Round Trip Time (RTT), αντίστοιχα με την χρονική πρόοδο, για να αυξήσει την ακρίβεια της τεχνικής ταυτότητας κυψέλης. Επειδή μάλιστα τα δίκτυα UMTS χρησιμοποιούν μεγαλύτερο εύρος ζώνης σε σχέση με τα δίκτυα GSM, η διακριτική ικανότητα της RTT είναι 80m -πολύ μεγαλύτερη της χρονικής προόδου.

2.4.3 Ταυτότητα Κυψέλης και Στάθμη Λαμβανόμενου Σήματος (CGI++)

Ένας τρόπος αύξησης της ακρίβειας προσδιορισμού θέσης της τεχνικής Ταυτότητας Κυψέλης είναι η αξιοποίηση πληροφορίας ισχύος λαμβανόμενου σήματος από το δέκτη, που αποτελεί και την τεχνική της Ταυτότητας Κυψέλης και Στάθμη Λαμβανόμενου Σήματος (CGI++) [178]. Η τεχνική είναι βασισμένη στις μετρήσεις ισχύος σήματος καναλιών γνωστής εκπεμπόμενης ισχύος - κανάλια αναφοράς- και γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται συνήθως τα κοινά κανάλια κατερχόμενης ζεύξης. Μια προσέγγιση αυτής της τεχνικής παρουσιάζεται με έναν απλουστευμένο τρόπο στο επόμενο σχήμα, όπου γίνεται η υπόθεση διδιάστατης γεωμετρίας, ομοιοκατευθυντικών κεραιών κυψελών, και συνθηκών διάδοσης ελευθέρου χώρου.



Σχήμα 3: Τεχνική Ταυτότητας Κυψέλης και Στάθμη Λαμβανόμενου Σήματος (CGI++)

Ο τύπος και η τοπολογία του δικτύου καθορίζουν τον αριθμό των κυψελών από τις οποίες το κινητό εξάγει μετρήσεις στάθμης λαμβανόμενου σήματος. Στα δίκτυα GSM για παράδειγμα, το τεματικό δύναται να μετράει συνεχώς τη λαμβανόμενη ισχύ από την εξυπηρετούσα κυψέλη και έως 6 γειτονικές. Με τη χρήση μοντέλων διάδοσης σήματος ο προσδιορισμός της θέσης μπορεί να πραγματοποιηθεί γεωμετρικά. Παρόλα αυτά, στην πράξη η τρισδιάστατη γεωμετρία και ο μεταβαλλόμενος αριθμός γειτονικών κυψελών οδηγούν σε εσφαλμένους υπολογισμούς θέσης.

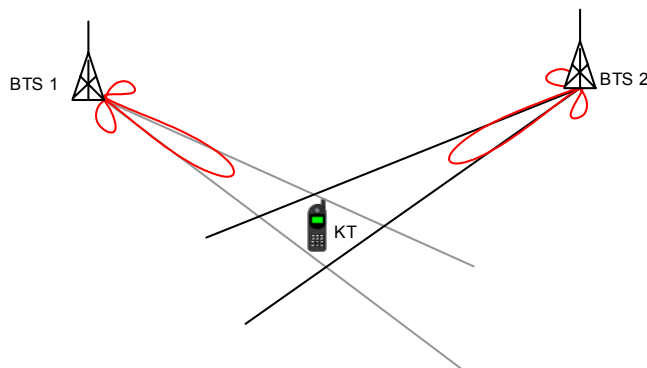
Η ακρίβεια της τεχνικής αυτής επηρεάζεται ιδιαίτερα από τα αστάθμητα φαινόμενα διάδοσης ραδιοσήματος, όπως οι διαλείψεις που προκαλούνται από το φαινόμενο της πολυόδευσης, τη σκίαση και τη σκέδαση [176]. Οι βραχυχρόνιες διαλείψεις είναι δυνατόν να προκαλέσουν μεγάλα σφάλματα στις εκτιμήσεις απόστασης. Εντούτοις, τα σφάλματα αυτά μπορούν να απορροφηθούν με τον υπολογισμό του τοπικού μέσου της ισχύος σήματος, κυρίως στο επίπεδο των συχνοτήτων και δευτερευόντως στο επίπεδο χρόνου. Σε αντίθεση με τα σφάλματα λόγω βραχυχρόνιων διαλείψεων, οι αποκλίσεις λόγω σκιάσεων δεν μπορούν να εξαλειφθούν, με αποτέλεσμα να οδηγούν σε εκτιμήσεις για τη θέση του τεματικού με μεγάλη μεταβλητότητα. Επίσης, η ακρίβεια εξαρτάται τόσο από το χρησιμοποιούμενο μοντέλο διάδοσης ραδιοσήματος, όσο και από τον

αριθμό των διαθέσιμων μετρήσεων. Η επίδραση των φαινομένων διάδοσης στην ακρίβεια του προσδιορισμού θέσης αναλύεται διεξοδικά στην ενότητα 6.4.

2.4.4 Γωνία Άφιξης - Angle of Arrival (AoA)

Η τεχνική της Γωνίας Άφιξης σήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό της κατεύθυνσης ενός λαμβανόμενου σήματος από μια στοιχειοκεραία. Η τεχνική βασίζεται στον προσδιορισμό της κατεύθυνσης βάσει μετρήσεων της χρονικής διαφοράς άφιξης του σήματος (και κατ' επέκταση της διαφοράς φάσης) σε δυο διαφορετικά στοιχεία της στοιχειοκεραίας. Βάσει της τεχνικής αυτής οι μετρήσεις της καθυστέρησης της άφιξης του σήματος στα στοιχεία της στοιχειοκεραίας μετατρέπονται αυτόματα σε μετρήσεις γωνίας άφιξης σήματος [37]. Υπό το πρίσμα δισδιάστατης γεωμετρίας, ο προσδιορισμός της θέσεως πραγματοποιείται με την καταγραφή της γωνίας άφιξης του σήματος στις στοιχειοκεραίες δύο τουλάχιστον ΣΒ, ως το σημείο της τομής των ευθειών που αντιστοιχούν στις δύο κατευθύνσεις και διέρχονται από τους σταθμούς βάσης.

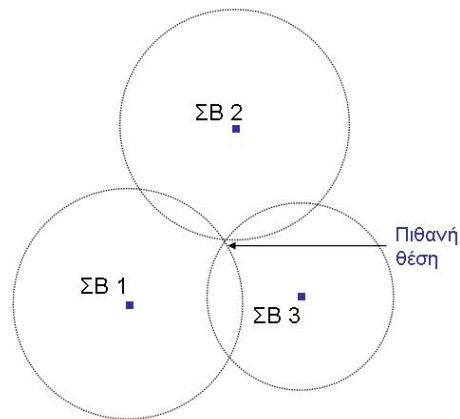
Όσον αφορά το ποσοστό ακρίβειας, η τεχνική αυτή απαιτεί οπτική επαφή μεταξύ του τερματικού και του ΣΒ, προκειμένου να επιτευχθούν όσον το δυνατόν ακριβέστερα αποτελέσματα, γεγονός που σε πρώτη φάση καθιστά την διαδικασία προσδιορισμού θέσης αρκετά απαιτητική και μη ευέλικτη. Επιπρόσθετα, η ακρίβεια αυξάνεται με τον αριθμό των ΣΒ από τους οποίους μπορούν να ληφθούν μετρήσεις. Αντίθετα, ο βασικότερος παράγοντας που επιδρά αρνητικά στην ακρίβεια προσδιορισμού της θέσης είναι το φαινόμενο της πολυόδευσης το οποίο εντείνεται σε αστικά περιβάλλοντα και εξαρτάται και από την απόσταση ανάμεσα στο τερματικό και στο ΣΒ. Εν γένει, η τεχνική αποτελεί μια αυξημένης αποδοτικότητας λύση στις αγροτικές και προαστιακές περιοχές, όπου επιτυγχάνεται η οπτική επαφή [38]. Πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι η μέθοδος βασίζεται πλήρως στο δίκτυο.



Σχήμα 4: Η Τεχνική της Γωνίας Άφιξης Σήματος (AoA)

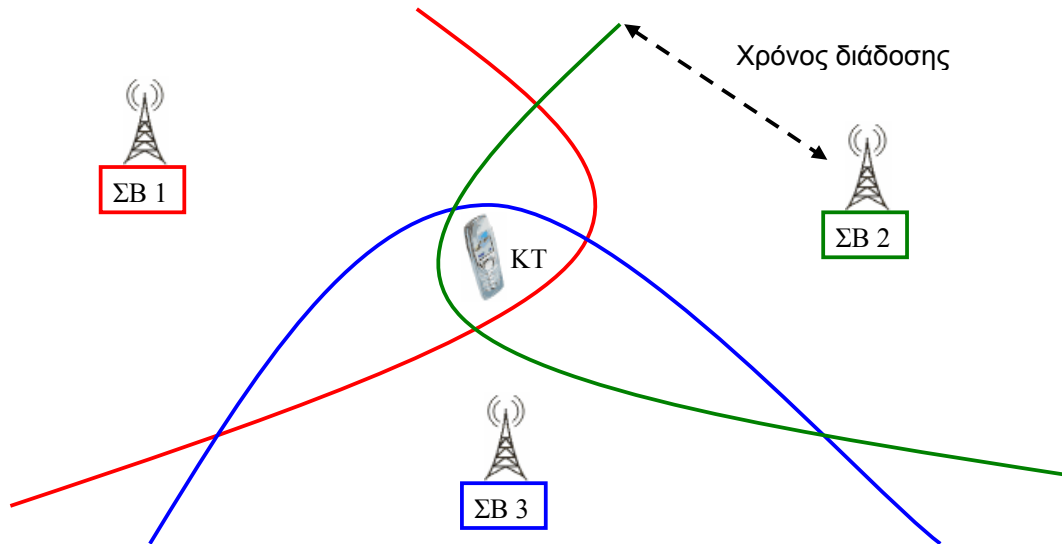
2.4.5 Χρόνος Άφιξης - Time of Arrival (ToA)

Η τεχνική αυτή αποτελεί μία από τις τυποποιημένες μεθόδους προσδιορισμού της θέσης κινητού τερματικού για τα δίκτυα GSM [5] και βασίζεται στο χρόνο άφιξης των σημάτων στη ζεύξη ανόδου (Uplink time (difference) of arrival - ToA / U-TDOA), υλοποιείται στους ΣΒ. Ο χρόνος άφιξης ToA είναι ο χρόνος που χρειάζεται ένα σήμα να μεταδοθεί από το τερματικό στον ΣΒ. Στην περίπτωση μέτρησης του χρόνου για ένα ΣΒ, η θέση του χρήστη μπορεί να εντοπιστεί σε ένα κύκλο με ακτίνα ίση με την απόσταση που αντιστοιχεί στον μετρούμενο χρόνο άφιξης. Πρόσθετες μετρήσεις και από άλλους ΣΒ έχουν σαν αποτέλεσμα τον προσδιορισμό και άλλων τέτοιων κύκλων. Σε αυτή την περίπτωση, όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των ΣΒ τόσο ακριβέστερος είναι ο δυσδιάστατος προσδιορισμός της θέσης του κινητού τερματικού.



Σχήμα 5: Μέθοδος ToA σε συγχρονισμένα δίκτυα

Στην περίπτωση των δικτύων GSM και UMTS FDD τα οποία δεν είναι συγχρονισμένα [39], οι μετρήσεις ToA μπορούν να χρησιμοποιηθούν, αλλά με διαφορετικό τρόπο. Σε αυτές τις περιπτώσεις, απαιτείται μια κοινή χρονική αναφορά σε κάθε ΣΒ, π.χ. ένας δέκτης GPS, και η εγκατάσταση μιας μονάδας μέτρησης θέσης (Location Measurement Units - LMUs). Η τεχνική υπολογίζει μέσω υπερβολικών συναρτήσεων τη θέση του τερματικού, χρησιμοποιώντας τις γνωστές εκ των προτέρων συντεταγμένες των LMUs (που είναι οι ίδιες με αυτές των ΣΒ). Δύο μετρήσεις ToA καθορίζουν μία υπερβολή, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, ενώ απαιτούνται τουλάχιστον τρεις μετρήσεις για τη εύρεση της θέσης σε χώρο δύο διαστάσεων.



Σχήμα 6: Η θέση υπολογίζεται μέσω τριγωνοποίησης του χρόνου άφιξης (TOA) μεταξύ του τερματικού και τουλάχιστον τριών ΣΒ

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι αυτή η τεχνική βασίζεται πλήρως στο δίκτυο και δεν απαιτεί κάποια μετατροπή στις τερματικές συσκευές. Πρέπει επιπλέον να σημειωθεί, ότι αυτή η τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί μόνο κατά τη διάρκεια κλήσης (active mode) και για αυτό το λόγο το σήμα που χρησιμοποιείται είναι κάποια ριπή (burst) η οποία δημιουργείται από το δίκτυο προκαλώντας το τερματικό να εκτελέσει διαδικασία διαπομπής [5].

Η ακρίβεια της τεχνικής εξαρτάται από την ύπαρξη οπτικής επαφής μεταξύ του τερματικού και των ΣΒ. Το ποσοστό ακρίβειας μπορεί να φθάσει μέχρι και τα 100m ή και λιγότερο (σε αστικό περιβάλλον), αλλά εξαρτάται ιδιαίτερα από το εύρος ζώνης σημάτων, το φαινόμενο της πολυόδευσης σήματος, τη γεωμετρία της απόστασης κινητού τερματικού-ΣΒ και τον αριθμό μετρήσεων που λαμβάνονται από τις μονάδες LMUs.

2.4.6 Παρατηρούμενες Χρονικές Διαφορές στη Ζεύξη Καθόδου (E-OTD, OTDOA)

Στην τεχνική των παρατηρούμενων χρονικών διαφορών στη ζεύξη καθόδου, το τερματικό «παρατηρεί» τα τυπικά κανάλια ελέγχου, προκειμένου να μετρηθούν οι χρονικές διαφορές των σημάτων από διάφορους ΣΒ, τόσο σε κατάσταση αδρανείας (idle mode) όσο και σε κατάσταση κλήσης (active). Η τεχνική αυτή απαιτεί μετρήσεις από τουλάχιστον τρεις ΣΒ. Η θέση καθορίζεται από την τομή των υπερβολών που προσδιορίζονται από τις μετρούμενες χρονικές διαφορές. Ο υπολογισμός της θέσης μπορεί να υλοποιηθεί είτε στο τερματικό είτε στο δίκτυο. Στην προτυποποίηση των τεχνολογιών GSM και UMTS, οι τεχνικές αυτές καλούνται Ενισχυμένες Παρατηρούμενες Χρονικές Διαφορές (Enhanced Observed Time Differences- E-OTD) και

Παρατηρούμενη Χρονική Διαφορά της Άφιξης (Observed Time Difference of Arrival - OTDOA), αντίστοιχα.

2.4.6.1 Βελτιωμένες Παρατηρούμενες Χρονικές Διαφορές (E-OTD)

Οι μετρήσεις χρονικής διαφοράς στα δίκτυα GSM καλούνται και παρατηρούμενες χρονικές διαφορές (Observed Time Differences - OTDs). Αν και δεν απαιτούν υποχρεωτικά την εκτέλεση διαδικασίας μεταπομπής, η οποία τις καθιστά μια ελκυστική λύση προσδιορισμού θέσης, οι OTDs παρέχουν χαμηλή ακρίβεια ενώ ο συγχρονισμός των ΣΒ δεν είναι εγγυημένος. Τα προβλήματα αυτά έχουν λυθεί στην τεχνική των Βελτιωμένων Παρατηρούμενων Χρονικών Διαφορών (Enhanced Observed Time Differences – E-OTD), στην οποία χρησιμοποιούνται τερματικά τροποποιημένου λογισμικού, που εξοπλίζονται με περίπλοκους αλγορίθμους επεξεργασίας σήματος, προκειμένου να εντοπίσουν το «ταχύτερο» σήμα άφιξης από τους περιφερειακούς ΣΒ. Η μεταφορά των μετρήσεων OTD πραγματοποιείται μέσω συγκεκριμένων πρωτοκόλλων και μηνυμάτων προς ένα MLC (Mobile Location Center, όπως ορίζεται από τον οργανισμό τυποποίησης 3GPP), στο οποίο πραγματοποιείται η εκτίμηση της θέσης του τερματικού. Επιπλέον, ο συγχρονισμός των ΣΒ επιτυγχάνεται με χρήση δεκτών αναφοράς.

Το βασικό μειονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι το υψηλό κόστος υλοποίησης, το οποίο οφείλεται κατά πρώτο λόγο στην υλοποίηση του δικτύου και πιο συγκεκριμένα στους πρόσθετους δέκτες που απαιτούνται για την εφαρμογή της, και κατά δεύτερο λόγο στις τροποποιήσεις λογισμικού στις ήδη υπάρχουσες τερματικές συσκευές.

2.4.6.2 Παρατηρούμενη Χρονική Διαφορά της Άφιξης (OTDOA)

Η τεχνική OTDOA, αντίστοιχη τεχνική της OTD, αναφέρεται σε δίκτυα UMTS και βασίζεται σε μετρήσεις χρονικής διαφοράς της άφιξης των σημάτων στη ζεύξη καθόδου. Μπορεί να εφαρμοστεί με δύο διαφορετικές μορφές: είτε υποβοηθούμενη από το κινητό τερματικό (UE-assisted), είτε βασισμένη εξ' ολοκλήρου στο κινητό τερματικό (UE-based).

Η μέθοδος προσδιορισμού θέσης OTDOA στο UTRAN [6] παρουσιάζει και αυτή μειονεκτήματα, όπως π.χ. το θέμα της δυνατότητας του κινητού να λαμβάνει σήματα από περισσότερους του ενός ΣΒ ή διαφορετικά της «ακουστικότητας» (Hearability), το θέμα του συγχρονισμού των ΣΒ κυρίως στην τεχνολογία δικτύου UMTS FDD (η οποία έχει επικρατήσει στην Ευρώπη), η γεωγραφική θέση των ΣΒ, και ο περιορισμός χωρητικότητας.

Το πρόβλημα της «ακουστικότητας» μπορεί να εμφανιστεί όταν ένα τερματικό είναι πολύ κοντά στον ΣΒ που το εξυπηρετεί, γεγονός το οποίο θα μπορούσε να εμποδίσει ή να μειώσει τη δυνατότητα αντίληψης των σημάτων από τους γειτονικούς ΣΒ που εκπέμπουν στην ίδια συχνότητα. Το κινητό θα πρέπει να είναι σε θέση να «ακούει» τουλάχιστον τρεις ΣΒ, έτσι ώστε να

είναι δυνατή η εφαρμογή της τεχνικής OTDOA. Προκειμένου να βελτιωθεί το πρόβλημα της «ακουστικότητας» των γειτονικών ΣΒ, μια τεχνική που χρησιμοποιείται είναι η Περίοδος Αδρανείας της Ζεύξης Καθόδου (idle period downlink - IPDL). Με την τεχνική αυτή, κάθε ΣΒ παύει τη μετάδοσή του για μικρές χρονικές περιόδους (περίοδοι αδρανείας). Κατά τη διάρκεια μιας τέτοιας περιόδου, το τερματικό μπορεί να λάβει τις μετρήσεις από τους γειτονικούς ΣΒ. Μέσω σηματοδότησης (πάνω από την τυποποιημένη διεπαφή Uu) το τερματικό ενημερώνεται για τις περιόδους IPDLs [40], έτσι ώστε αυτό να είναι σε θέση να προγραμματίσει τις ανάλογες μετρήσεις. Δεδομένου ότι η μέθοδος IPDL είναι προσανατολισμένη στη ζεύξη καθόδου, η ΥΘ μπορεί να παρασχεθεί αποτελεσματικά ταυτόχρονα σε έναν μεγάλο αριθμό τερματικών.

2.4.7 Μέθοδοι Αποτυπωμάτων – Fingerprint methods

Η βασική ιδέα αυτών των μεθόδων βασίζεται στη δημιουργία χαρτών ραδιοκάλυψης για τις περιοχές στις οποίες πρόκειται να υποστηρίξεται ο ακριβής εντοπισμός τερματικών συσκευών. Ένας χάρτης ραδιοκάλυψης είναι συνήθως μία βάση δεδομένων η οποία περιέχει για κάθε σημείο του χάρτη δεδομένα κάποιου χαρακτηριστικού μεγέθους ραδιοκάλυψης από τους ΣΒ που εξυπηρετούν την περιοχή. Τα δεδομένα αυτά για κάθε περιοχή των χαρτών μπορούν να δημιουργηθούν είτε με τη διεξαγωγή μετρήσεων πεδίου (δημιουργία εμπειρικών μοντέλων), είτε με τη χρήση μοντέλων ραδιοκάλυψης (μαθηματικά μοντέλα). Στην περίπτωση μοντέλων με βάση τη συλλογή μετρήσεων, τα αποτυπώματα αναφοράς (reference fingerprints) υφίστανται προ-επεξεργασία πριν χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό θέσης. Η προ-επεξεργασία αυτή μπορεί να εμπεριέχει την απόρριψη μετρήσεων με μεγάλη απόκλιση από την αναμενόμενη τιμή και τη μεσοστάθμιση τους [41]. Τα εμπειρικά μοντέλα έχουν το εξής μειονέκτημα: σε κάθε αλλαγή στο δίκτυο (π.χ. προσθήκη μιας κυψέλης), πρέπει να διεξαχθεί νέα μελέτη μετρήσεων πεδίου (site surveys) με σκοπό να ενημερωθεί η βάση δεδομένων. Ένας τρόπος για να περιοριστεί η διαδικασία συλλογής αποτυπωμάτων –που είναι μη αποδοτική σε κόστος και χρόνο– είναι η προσθήκη δεδομένων παράλληλα με τις υπάρχουσες μετρήσεις (interpolation) με την προσαρμογή νέου επιπέδου μετρήσεων (χρήση της τεχνικής surface fitting) [48]. Στην περίπτωση μαθηματικών μοντέλων, δεν απαιτείται η διεξαγωγή μετρήσεων πεδίου, παρά χρησιμοποιείται το αποτέλεσμα εργαλείων σχεδιασμού δικτύου (network planning tools) [43], [46] τα οποία παράγουν αποτυπώματα-σημεία αναφοράς με βάση μαθηματικά μοντέλα ραδιοδιάδοσης.

Η θέση του τερματικού προσδιορίζεται συγκρίνοντας τις τιμές ενός χαρακτηριστικού του σήματος που λαμβάνει το τερματικό με τις εγγραφές που υπάρχουν στη βάση δεδομένων (με τα αποτυπώματα). Τα χαρακτηριστικά του σήματος των οποίων οι τιμές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, μπορούν να είναι η λαμβανόμενη ισχύς από την εξυπηρετούσα και τις γειτονικές κυψέλες στο GSM, [42], οι τιμές RSCP [45] ή τα power delay profiles [44] από τις

κυψέλες που έχουν εντοπιστεί στην περίπτωση δικτύου UMTS. Είναι επίσης πιθανό να συνδυαστούν μετρήσεις από διαφορετικά δίκτυα [47].

Οι τεχνικές προσδιορισμού θέσης που βασίζονται στη χρήση αποτυπωμάτων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε ντετερμινιστικές και πιθανοτικές [51]. Οι ντετερμινιστικές τεχνικές βασίζονται στην άμεση σύγκριση των λαμβανόμενων μετρήσεων ενός χαρακτηριστικού του δικτύου σε κάποια θέση με τα αποτυπώματα τα οποία αντιστοιχούν στις επιμέρους θέσεις. Για παράδειγμα ο προσδιορισμός της θέσης μπορεί να υπολογιστεί με την ελαχιστοποίηση της ευκλείδειας απόστασης ενός διανύσματος μετρήσεων στάθμης ισχύος σήματος από ένα σύνολο ΣΒ ή σημεία πρόσβασης από τα αντίστοιχα αποτυπώματα μιας περιοχής. Το αποτύπωμα που ελαχιστοποιεί την απόσταση αυτή θεωρείται ως η θέση του τερματικού. Εναλλακτικά, η θέση μπορεί να προσδιοριστεί και ως η μέση τιμή των συντεταγμένων του συνόλου των θέσεων για τις οποίες η απόσταση είναι μικρότερη από κάποια τιμή [50]. Αντίθετα, οι πιθανοτικές τεχνικές, όπως αυτή που παρουσιάζεται στην αναφορά [49], κάνουν χρήση της κατανομής των τιμών ενός χαρακτηριστικού του δικτύου (π.χ. των επιπέδων ισχύος σήματος) σε κάθε θέση αντί μιας τιμής π.χ. της μέσης τιμής, και χρησιμοποιούν πιθανοτικές τεχνικές, για τον προσδιορισμό της θέσης η οποία θεωρείται η πιο πιθανή με βάση το διάνυσμα των μετρήσεων που λαμβάνει το τερματικό.

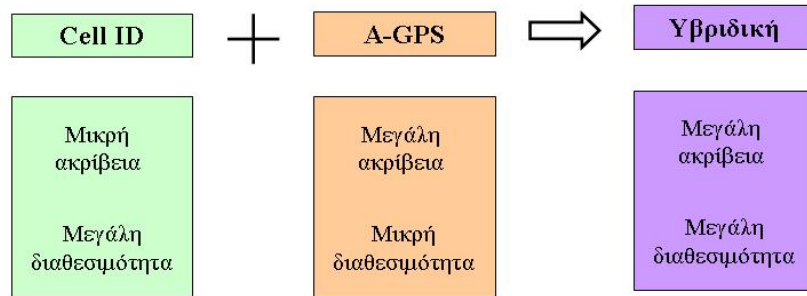
Η ακρίβεια των τεχνικών αποτυπωμάτων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Στις αναφορές [70] και [71] παρουσιάζεται μια ανάλυση της ακρίβειας σε ένα σύστημα προσδιορισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους με την τεχνική αποτυπωμάτων. Εντοπίζονται βασικές παράμετροι από τις οποίες εξαρτάται η ακρίβεια, όπως ο αριθμός των σημείων πρόσβασης που εξυπηρετούν κάθε σημείο του χώρου και οι διαστάσεις των στοιχείων του πλέγματος του χώρου για τα οποία λαμβάνονται τα αποτυπώματα, και αποτιμώνται οι πιθανότητες ακριβής εκτίμησης της θέσης για διαφορετικές τιμές αυτών των παραμέτρων. Μία προσέγγιση για τη βελτιστοποίηση της επίδοσης πιθανοτικών τεχνικών αποτυπωμάτων αποτελεί και η [41]. Τα αποτυπώματα ομαδοποιούνται βάσει των σημείων πρόσβασης τα οποία έχουν παρουσία στο αποτύπωμα. Η κεντρική ιδέα στοχεύει στη μείωση του χρόνου επεξεργασίας που απαιτείται για την ανεύρεση της βέλτιστης συσχέτισης μεταξύ μετρήσεων ενός τερματικού και ενός ή μιας ομάδας αποτυπωμάτων, και ταυτόχρονα την αύξηση της ακρίβειας εντοπισμού.

2.4.8 Υβριδικές Τεχνικές

Στις προηγούμενες ενότητες αναφέρθηκαν τεχνικές οι οποίες αξιοποιούν ένα συγκεκριμένο αλγόριθμο ή μία συγκεκριμένη τεχνολογία δικτύου. Συγχρόνως, είναι επίσης δυνατό να συνδυαστούν μετρήσεις από διαφορετικά δίκτυα ή τεχνικές προσδιορισμού θέσης με σκοπό την αύξηση της ακρίβειας. Τέτοιου είδους μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί και παρουσιαστεί κυρίως σε δημοσιεύσεις και ερευνητικά έργα [196].

Παράδειγμα υβριδικής τεχνικής παρουσιάζεται στην αναφορά [60]: ο αλγόριθμος Selective Fusion Location Estimation (SELFLOC). Η βασική αρχή του αλγορίθμου είναι η αξιοποίηση πολλαπλών τεχνολογιών δικτύου όπως τα WLAN και Bluetooth (αν και η αρχή λειτουργίας είναι εφαρμόσιμη σε κάθε είδος δικτύου). Η τελική εκτίμηση της θέσης παρέχεται ως ένας σταθμισμένος μέσος όρος των επιμέρους εκτιμώμενων θέσεων. Τα βάρη των επιμέρους θέσεων μπορεί να βαθμονομηθούν με σκοπό τη μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία στον τελικό εντοπισμό. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι πληροφορίες θέσης που προέρχονται από διαφορετικές τεχνολογίες θα πρέπει να είναι ασυσχέτιστες. Το γεγονός αυτό αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την αύξηση της ακρίβειας. Αντίστοιχοι αλγόριθμοι παρουσιάζονται στην αναφορά [61] και αφορούν τεχνολογίες WLAN και Bluetooth. Η τελική εκτίμηση θέσης είναι το κέντρο ενός πολυγώνου που δημιουργείται από τις επιμέρους εκτιμήσεις θέσης. Στη συγκεκριμένη τεχνική, για δύο εκτιμήσεις θέσης, ως προσέγγιση της τελικής θέσης λαμβάνεται η μέση του ευθύγραμμου τμήματος που ορίζεται από τις δύο εκτιμήσεις.

Στην αναφορά [47] συνδυάζονται για την τελική εκτίμηση της θέσης μετρήσεις από πολλαπλά δίκτυα. Οι μετρήσεις λαμβάνονται με βάση τις τεχνικές που υποστηρίζονται στα επιμέρους δίκτυα. Η μέθοδος που παρουσιάζεται βασίζεται στην τεχνική αποτυπωμάτων (fingerprinting) και τα διανύσματα αποτυπωμάτων αποτελούνται από μετρήσεις σήματος από πολλαπλά δίκτυα. Στην συγκεκριμένη περίπτωση πρόκειται για δίκτυα GSM και UMTS. Στην αναφορά [62] παρουσιάζεται συνδυασμός μετρήσεων από δίκτυα GSM και WLAN ενώ στην αναφορά [63] παρουσιάζεται συνδυασμός των τεχνικών E-OTD και A-GPS. Η συγκεκριμένη μελέτη προτείνει την επιλογή της εκάστοτε κατάλληλης τεχνικής προσδιορισμού θέσης με βάση την απαιτούμενη ακρίβεια εντοπισμού (Quality of Position). Η μελέτη που παρουσιάζεται στην αναφορά [64] προτείνει τη χρήση του GPS σε συνδυασμό με τεχνικές που βασίζονται σε δίκτυα WLAN με σκοπό την αύξηση της ακρίβειας. Η εκτιμώμενη θέση βασίζεται στο σταθμισμένο μέσο όρο των επιμέρους εκτιμήσεων θέσης. Ο παράγοντας της στάθμισης καθορίζεται από το περιβάλλον: εσωτερικά σε κτίρια, εξωτερικά ή σε σημεία σκίασης. Ο αριθμός των διαθέσιμων δορυφόρων (που καθορίζουν το QoP) λαμβάνεται επίσης υπόψη. Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει την προσέγγιση υβριδικών μεθόδων προσδιορισμού θέσης για την περίπτωση των τεχνικών ταυτότητας κυψέλης και A-GPS.



Σχήμα 7: Παράδειγμα υβριδικής μεθόδου

Τα μειονεκτήματα των υβριδικών συστημάτων συνίστανται, συνήθως, από τις μεγάλες απαιτήσεις σε ισχύ και ταχύτητα για την επεξεργασία των μετρήσεων και τον υπολογισμό των διαφόρων παραμέτρων, καθώς και από τις απαιτούμενες υψηλές δαπάνες ολοκλήρωσής τους στα δίκτυα. Στις περισσότερες περιπτώσεις μάλιστα, η εφαρμογή μιας υβριδικής μεθόδου, αποτελούμενης από δύο ή και περισσότερες τεχνικές απαιτεί κόστος υψηλότερο και από το άθροισμα του κόστους υλοποίησης κάθε μίας από τις επιμέρους τεχνικές.

Ο επόμενος πίνακας συνοψίζει τα βασικά χαρακτηριστικά των τεχνικών προσδιορισμού θέσης που περιγράφηκαν.

| Τεχνική | Ακρίβεια (m) | Τροποποιήσεις | | Κάλυψη |
|----------------------|--------------|---------------|---------|---|
| | | Τερματικό | Δίκτυο | |
| CGI+TA | 100-1100 | Όχι | SW | Έσω/Εξωτερικοί χώροι, κανένας περιορισμός |
| CGI++ | 250-1000 | Όχι | SW | Έσω/Εξωτερικοί χώροι, κανένας περιορισμός |
| Μέθοδοι αποτυπωμάτων | 150-500 | Όχι | SW | Έσω/Εξωτερικοί χώροι, κανένας περιορισμός |
| UL-TOA | 50-300 | Όχι | HW & SW | Έσω/Εξωτερικοί χώροι, κανένας περιορισμός |
| ΑοΑ | 300 | Όχι | HW & SW | Έσωτετικοί χώροι: δεν υπάρχει κάλυψη Εξωτερικοί χώροι: περιορισμός στην περίπτωση που δεν υπάρχει οπτική επαφή |
| E-OTD | 50-300 | SW | HW & SW | Έσω/Εξωτερικοί χώροι, κανένας περιορισμός |
| GPS | 5-50 | HW & SW | SW | Έσωτετικοί χώροι: δεν υπάρχει κάλυψη Εξωτερικοί χώροι: περιορισμός στην περίπτωση που δεν μπορεί να ληφθεί το σήμα από τους δορυφόρους |
| A-GPS | 5-50 | HW & SW | HW & SW | Έσωτετικοί χώροι: δεν υπάρχει κάλυψη Εξωτερικοί χώροι: περιορισμός στην περίπτωση που δεν μπορεί να ληφθεί το σήμα από τους δορυφόρους |

Πίνακας 1: Σύνοψη βασικών τεχνικών προσδιορισμού θέσης

2.4.9 Μέθοδοι που Στηρίζονται στην Επεξεργασία των Εκτιμώμενων Θέσεων

Η αύξηση της ακρίβειας προσδιορισμού θέσης μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση φίλτρων τα οποία συνήθως βοηθούν στη περαιτέρω επεξεργασία των μετρήσεων και αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις επιμέρους τεχνικές. Μάλιστα, διάφορα φίλτρα έχουν προταθεί για τον προσδιορισμό θέσης κινούμενων οχημάτων τα οποία βασίζονται στην απομάκρυνση εσφαλμένων δεδομένων τα οποία δεν αντιστοιχούν στη δυναμική κίνησης των οχημάτων. Τα φίλτρα Kalman [54] χρησιμοποιούνται ευρέως στον εντοπισμό θέσης μέσω δορυφόρων [55] αλλά έχουν χρησιμοποιηθεί και σε μεμονωμένες περιπτώσεις για τον προσδιορισμό κινητών τερματικών σε κυβελωτά δίκτυα. Στην αναφορά [52], το φιλτράρισμα πραγματοποιείται συνδυάζοντας την αρχική εκτίμηση θέσης (προερχόμενη από τη μέθοδο αποτυπωμάτων) με δεδομένα αναμενόμενης ταχύτητας και επιτάχυνσης. Η μέθοδος δοκιμάστηκε με δεδομένα που συλλέχθηκαν σε ημιαστική και αστική περιοχή στο Μόναχο Γερμανίας με πολύ ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Μάλιστα τα αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι το φιλτράρισμα μπορεί να μειώσει αποτελεσματικά τα ιδιαίτερα εσφαλμένα δεδομένα (π.χ. μετρήσεις).

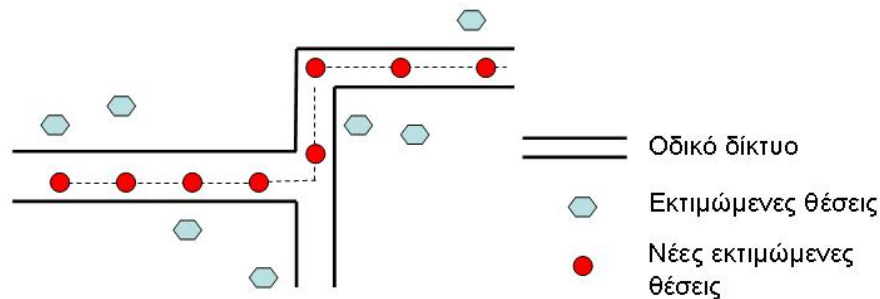
Στην αναφορά [56] παρουσιάζεται μία άλλη προσέγγιση εφαρμογής του φίλτρου Kalman σε μετρήσεις της διαφοράς χρόνου άφιξης για τον προσδιορισμό θέσης με χρήση της τεχνικής TDOA σε δίκτυα UMTS. Το φιλτράρισμα αφορά στη βελτίωση της εκτίμησης θέσης σε συνθήκες που δεν υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ του τερματικού και του ΣΒ. Το φίλτρο αποτιμήθηκε με εξομοιώσεις και τα αποτελέσματα απέδειξαν σημαντική αύξηση της ακρίβειας.

Στην αναφορά [53] η εφαρμογή του φίλτρου Kalman συγκρίνεται με τη μοντελοποίηση με Μαρκοβιανές αλυσίδες στην περίπτωση περαιτέρω επεξεργασίας των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τεχνικές προσδιορισμού θέσης που βασίζονται στη σύγκριση μετρήσεων χαρακτηριστικών δικτύου με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά καταχωρημένα σε βάσεις δεδομένων (αναφορά κυρίως στις τεχνικές αποτυπωμάτων κατά μήκος συγκεκριμένων γνωστών δρόμων). Οι Μαρκοβιανές αλυσίδες περιγράφουν ένα σύνολο από καταστάσεις με συγκεκριμένες πιθανότητες μετάβασης στις καταστάσεις αυτές. Η εκτίμηση της θέσης πραγματοποιείται βρίσκοντας τη βέλτιστη διαδοχή καταστάσεων σχετισμένη με μία δεδομένη αλληλουχία παρατηρήσεων. Οι μέθοδοι αξιολογήθηκαν με πραγματικές μετρήσεις. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στην περίπτωση περαιτέρω επεξεργασίας των αποτελεσμάτων των τεχνικών αυτών και για κίνηση των τερματικών κατά μήκος των δρόμων στους οποίους αναφέρονται τα αποτυπώματα στη βάση δεδομένων, η μοντελοποίηση με Μαρκοβιανές αλυσίδες είναι λιγότερο ευαίσθητη σε σφάλματα -ιδιαίτερα σφάλματα εκτίμησης της ταχύτητας των τερματικών- και περιλαμβάνει λιγότερες μεταβλητές από το φίλτρο Kalman. Παρόλα αυτά η εφαρμογή τους είναι περιορισμένη για κίνηση σε συγκεκριμένες διαδρομές.

Στην αναφορά [58], το φίλτρο Particle χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό θέσης σε εσωτερικούς χώρους σε δίκτυα WLAN. Σε αυτή την περίπτωση, το φίλτρο Particle αξιοποιεί πληροφορίες σχετικές με την κίνηση των ανθρώπων και τη χωροταξική διάταξη (π.χ. θέση τοίχων).

2.4.10 Τεχνική Προσαρμογής Χάρτη

Σε περιβάλλοντα εξωτερικού χώρου, η τεχνική προσαρμογής χάρτη (map matching) δύναται να βελτιώσει την ακρίβεια προσδιορισμού θέσης κινούμενων οχημάτων συγκρίνοντας την εκτιμώμενη πορεία του οχήματος (αλληλουχία θέσεων) με γεωγραφικά δεδομένα, όπως ψηφιακούς χάρτες δρόμων. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται στις αναφορές [57] και [58] όπου ο προσδιορισμός θέσης πραγματοποιείται με δορυφορικά συστήματα. Η ίδια προσέγγιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την εκτίμηση θέσης σε τεχνικές που βασίζονται στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας [47]. Η αρχή λειτουργίας της εικονίζεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 8: Η αρχή της τεχνικής προσαρμογής χάρτη (Map-Matching)

Η πιο απλή γεωμετρική προσέγγιση της τεχνικής είναι η αναζήτηση της ελάχιστης απόστασης μεταξύ της εκτιμώμενης θέσης και του οδικού δικτύου χρησιμοποιώντας αντιστοίχιση σημείου προς σημείο ή σημείου προς καμπύλη [59]. Πιο πολύπλοκες λύσεις περιλαμβάνουν αντιστοιχίσεις καμπύλης με καμπύλη όπου η επιφάνεια με το μικρότερο εμβαδόν μεταξύ της εκτιμώμενης κίνησης του τερματικού και του οδικού δικτύου (υπό εξέταση) ορίζει την πορεία που αντιστοιχεί στην πραγματική κίνηση του τερματικού [59].

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι η αποτελεσματικότητα της τεχνικής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πυκνότητα του οδικού δικτύου, τη λεπτομέρεια που παρέχουν οι χάρτες και την ακρίβεια της αρχικής εκτίμησης θέσης με βάση την τεχνική προσδιορισμού θέσης. Για παράδειγμα, σε αστικές πυκνοκατοικημένες περιοχές όπου τα τμήματα των δρόμων βρίσκονται σε αρκετά μικρή απόσταση, η μέθοδος δεν είναι εφαρμόσιμη για τεχνικές που δίνουν σφάλμα εκτίμησης θέσης μεγαλύτερο από το μέσο της απόστασης που απέχουν δύο δρόμοι. Από την άλλη, σε αγροτικές περιοχές και εθνικούς δρόμους, όπου το οδικό δίκτυο είναι ιδιαίτερα αραιό, η τεχνική αυτή δύναται να βελτιώσει σημαντικά την εκτίμηση της θέσης. Στην περίπτωση της

τεχνικής CGI++ (μέση ακρίβεια εκτίμησης θέσης ~250m) η εφαρμογή της υποβοήθησης χάρτη δεν είναι αποδοτική.

Η μέθοδος είναι αποτελεσματική κυρίως για τον προσδιορισμό της θέσης κινούμενων οχημάτων (κίνηση κατά μήκος του οδικού δικτύου). Συνεπώς για την εφαρμογή της θα πρέπει να είναι εκ των προτέρων γνωστό ότι πρόκειται να εκτιμηθεί η θέση ενός κινούμενου τερματικού. Με βάση αυτό το γεγονός, η εφαρμογή της μεθόδου υποβοήθησης περιορίζεται σε ένα σύνολο ΥΘ που σχετίζονται με κίνηση οχημάτων (π.χ. διαχείριση στόλου, πλοήγηση).

2.5 Εξέλιξη των Τεχνικών Προσδιορισμού Θέσης

Μια εκτενής αναφορά στη σημερινή κατάσταση της αγοράς και τις τεχνικές προσδιορισμού θέσης παρέχεται στην [109]. Όπως αναφέρεται, μια πληθώρα διαφορετικών τεχνολογιών δικτύων και συστημάτων χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θέσης κινητών τερματικών (GSM, WLAN, UMTS, satellites, RFID), ενώ διαρκώς παράγονται νέες προτάσεις και αλγόριθμοι.

Ενώ στα αρχικά στάδια οι μελέτες που σχετίζονταν με τον προσδιορισμό της θέσης επικεντρώνονταν στη χρήση ενός δικτύου πρόσβασης (π.χ. GSM ή UMTS), με την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών δικτύου πρόσβασης (π.χ. τοπικά ασύρματα δίκτυα), προτείνονται λύσεις με χρήση πολλαπλών δικτύων και τεχνικών (υβριδικές). Επιπρόσθετα, με δεδομένη τη σημασία της συνδεσιμότητας των κινητών τερματικών σε πολλά και διαφορετικά δίκτυα, μεγάλο ρόλο παίζει και η εμπορική διαθεσιμότητα κινητών τερματικών τα οποία υποστηρίζουν συνδεσιμότητα σε δίκτυα GSM/UMTS και WLAN.

Στατιστικές μέθοδοι επεξεργασίας (όπως τα φίλτρα Kalman) μπορούν να αξιοποιηθούν με στόχο τη μείωση του σφάλματος εκτίμησης της θέσης. Καθώς η επεξεργαστική ισχύς των τερματικών αυξάνει διαρκώς και το μέγεθος της μνήμης τους επεκτείνεται, είναι δυνατή η συλλογή μετρήσεων από το κινητό τερματικό, η προ-επεξεργασία τους και κατόπιν η μεταφορά τους σε ένα δικτυακό εξυπηρετητή [65]. Ταυτόχρονα, τηλεπικοινωνιακά πρωτόκολλα τα οποία διευκολύνουν την ανάπτυξη/υλοποίηση των ΥΘ, όπως το SUPL [66], είναι στη φάση ανάπτυξης. Το SUPL καθιστά εφικτή τη χρήση του επιπέδου δεδομένων χρήστη για τη μεταφορά των μετρήσεων από το τερματικό στο δίκτυο. Το πρωτόκολλο αυτό δεν απαιτεί ενημερώσεις εξοπλισμού σε υλικό ή τροποποιήσεις στο δίκτυο, ενώ ταυτόχρονα υποστηρίζεται και έχει υιοθετηθεί από πολλούς κατασκευαστές.

Σχετικά με τις δορυφορικές τεχνικές προσδιορισμού θέσης, παρέχουν υψηλή ακρίβεια εντοπισμού σε εξωτερικούς χώρους (τυπικά μικρότερη των 10m) αλλά η διαθεσιμότητά τους εξαρτάται από το αν υποστηρίζονται από το κινητό τερματικό (αν διαθέτουν δέκτη GPS) και δεν λειτουργούν σε εσωτερικούς χώρους. Ωστόσο, αναμένεται τελικά να εισέλθουν και στην Ευρωπαϊκή αγορά (στις ΗΠΑ οι λύσεις βασισμένες σε δορυφορικά συστήματα έχουν διεισδύσει αρκετά στην αγορά).

2.6 Προϊόντα και Εμπορικές Λύσεις

Στην ενότητα αυτή γίνεται αναφορά στα πιο διαδεδομένα προϊόντα και εμπορικές λύσεις προσδιορισμού θέσης και τις τεχνικές που χρησιμοποιούν. Πιο συγκεκριμένα, σε δίκτυα κυψελωτών δικτύων επικοινωνιών βρίσκουν εφαρμογή οι ακόλουθες λύσεις:

Η Cambridge Positioning Systems (www.cursor-system.com/) προσφέρει τις λύσεις Matrix, Matrix Solo και E-GPS για τον προσδιορισμό θέσης. Η αίτηση για προσδιορισμό θέσης και η αποστολή των μετρήσεων γίνεται μέσω SMS ή συνόδου δεδομένων GPRS. Ο προσδιορισμός της θέσης βασίζεται σε μετρήσεις χρονισμού και τριγωνοποίηση (ακρίβεια κάτω των 60m και χρόνος υπολογισμού μικρότερος των 3sec). Μάλιστα αξιοποιούνται παρελθοντικά δεδομένα τα οποία σχετίζονται με μετρήσεις χρονισμού από διαφορετικές κυψέλες. Η τεχνική E-GPS είναι ένας συνδυασμός τεχνικών Matrix και GPS: GPS σε περιοχές ανοικτών χώρων και Matrix σε αστικές περιοχές και σε περιβάλλοντα εσωτερικών χώρων.

Η Polaris Wireless (<http://www.polariswireless.com/>) διαθέτει μια τεχνική η οποία βασίζεται στη συσχέτιση μοτίβων (pattern-matching) η οποία αποκαλείται Wireless Location Signatures (WLS). Κάνει χρήση, για παράδειγμα, μετρήσεων στάθμης ισχύος σήματος γειτονικών κυψελών. Οι μετρήσεις κατόπιν συγκρίνονται με μια βάση δεδομένων αναφοράς η οποία μοντελοποιεί τη ραδιοκάλυψη στην περιοχή οπότε εκτιμάται με αυτόν τον τρόπο η θέση του χρήστη.

Η GlobalLocate (<http://www.globallocate.com/>) παρέχει λύσεις A-GPS (IndoorGPS) οι οποίες καθιστούν εφικτή την αξιοποίηση του GPS σε εσωτερικούς χώρους.

Η TruePosition (<http://www.trueposition.com/>) επίσης παρέχει λύσεις προσδιορισμού θέσης. Το TrueNorth Location System περιλαμβάνει έναν εξοπλισμό προσδιορισμού θέσης (Position Determining Equipment-PDE), ένα κέντρο εξυπηρέτησης (Serving Mobile Location Centre - SMLC) και μια πύλη πρόσβασης στο κέντρο εξυπηρέτησης (Gateway Mobile Location Centre - GMLC) τα οποία επιτρέπουν την αξιοποίηση διαφόρων τεχνικών προσδιορισμού θέσης όπως E-CID, A-GPS, U-TDOA και AOA.

Η SnapTrack (<http://www.snaptrack.com/>) παρέχει τη λύση gpsOne για δίκτυα CDMA και το gpsOne για δίκτυα WCDMA(UMTS)/GSM/GPRS. Η λύση για δίκτυα CDMA χρησιμοποιεί, για παράδειγμα, την τεχνική Advanced Forward Link Trilateration (AFLT) ή το σύστημα GPS. Η λύση για δίκτυα WCDMA(UMTS)/GSM/GPRS είναι μια πολλαπλών τρόπων λειτουργίας A-GPS λύση η οποία μπορεί να λειτουργήσει είτε εξ' ολοκλήρου στο δίκτυο, είτε υποβοηθούμενη από το κινητό τερματικό, είτε εξ' ολοκλήρου στο τερματικό.

Η Navizon (<http://www.navizon.com/>) παρέχει ένα σύστημα προσδιορισμού θέσης με χρήση τριγωνοποίησης σημάτων από σημεία πρόσβασης δικτύου Wi-Fi και ΣΒ κυψελωτού δικτύου.

Λειτουργεί σε υπολογιστές τσέπης (Pocket PC) ή κινητά τηλέφωνα που υποστηρίζουν λογισμικό Windows Mobile ή Symbian. Οι χρήστες που διαθέτουν GPS μπορούν να χρησιμοποιήσουν τη συσκευή ώστε να χαρτογραφήσουν την περιοχή τους και να συνεισφέρουν στη δημιουργία της βάσης δεδομένων της Navizon.

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι βασικότερες εμπορικά διαθέσιμες λύσεις προσδιορισμού θέσης που βρίσκουν εφαρμογή σε κυμαλωτά δίκτυα επικοινωνιών:

| Κατασκευάστρια Εταιρία | Ιστοσελίδα | Χώρα | Τεχνολογία |
|---|---|-------------|--|
| Cambridge Positioning Systems Limited | http://www.cursor-system.com | Αγγλία | Matrix, Matrix3G και E-GPS E-OTD, TDOA |
| Polaris Wireless | http://www.polariswireless.com | ΗΠΑ | Λύση βασισμένη σε τεχνικές αποτυπωμάτων |
| GlobalLocate | http://www.globallocate.com/ | ΗΠΑ | A-GPS (IndoorGPS) |
| TruePosition | www.trueposition.com | ΗΠΑ | U-TDOA, A-GPS, E-CID, AOA, υβριδικό |
| SnapTrack | http://www.snaptrack.com/ | ΗΠΑ | A-GPS για δίκτυα WCDMA(UMTS)/ GSM/GPRS |
| Navizon | http://www.navizon.com | ΗΠΑ | Τριγωνοποίηση σημάτων από σημεία πρόσβασης δικτύου Wi-Fi και ΣΒ κυμαλωτού δικτύου |
| MOBILOCO | www.mobilocode.de | Γερμανία | E-CID |
| Xora | www.xora.com | ΗΠΑ | A-GPS |
| MapQuest | www.mapquest.com | ΗΠΑ | E-CID, GPS |
| Webraska | www.webraska.com | Γαλλία | A-GPS |
| MSLocation | www.mslocation.com | Φινλανδία | Λύσεις βασισμένες στις τεχνικές GPS, A-GPS, Cell-ID, Enhanced Cell-ID, GPS + Enhanced Cell-ID υβριδικό |

Οι κυριότερες λύσεις προσδιορισμού θέσης για τοπικά ασύρματα δίκτυα είναι οι ακόλουθες:

Η Skyhook Wireless (<http://www.skyhookwireless.com/>) διαθέτει ένα σύστημα προσδιορισμού θέσης μέσω Wi-Fi Positioning System (WPS). Στηρίζεται στη χρήση μιας τεχνικής αποτυπωμάτων –χρήση μιας Βάσης Γεωγραφικών Δεδομένων και Δεδομένων Ραδιοκάλυψης μιας περιοχής- και υποστηρίζει δυο καταστάσεις λειτουργίας: τη βασισμένη στο τερματικό, και τη βασισμένη στο δίκτυο.

Η Ekahau (<http://www.ekahau.com/>) παρέχει τη μηχανή προσδιορισμού θέσης Ekahau Positioning Engine (EPE) η οποία δύναται να εντοπίζει για παράδειγμα Ekahau T201 Wi-Fi Tags, φορητούς υπολογιστές και PDAs. Η τεχνολογία βασίζεται στη ρύθμιση της ισχύος σήματος.

Η PanGo (<http://www.pangonetworks.com/>) παρέχει εξοπλισμό προσδιορισμού θέσης βασισμένη σε δίκτυο 802.11 και σε ενεργά RFID tags.

Συμπληρωματικά, υπάρχουν κι άλλες εμπορικά διαθέσιμες λύσεις προσδιορισμού θέσης, που κάνουν χρήση άλλων τεχνολογιών όπως:

Η BlueLon (<http://www.bluelon.com/>) παρέχει το BodyTag BT-002, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό θέσης προσώπων και ζώων. Κάνει χρήση των Bluetooth tags (BodyTag BT-002) (BlueTags, <http://www.bluetags.com/>).

Η Rosum (<http://www.rosun.com/>) αξιοποιεί τα σήματα τηλεόρασης για τον υπολογισμό της θέσης. Επιτρέπουν τον ακριβή εντοπισμό σε εσωτερικούς χώρους, εξ' αιτίας της υψηλότερης ισχύς σήματος σε σχέση με το GPS και είναι πιο ανθεκτικά σε φαινόμενα πολυδιαδρομικής μετάδοσης.

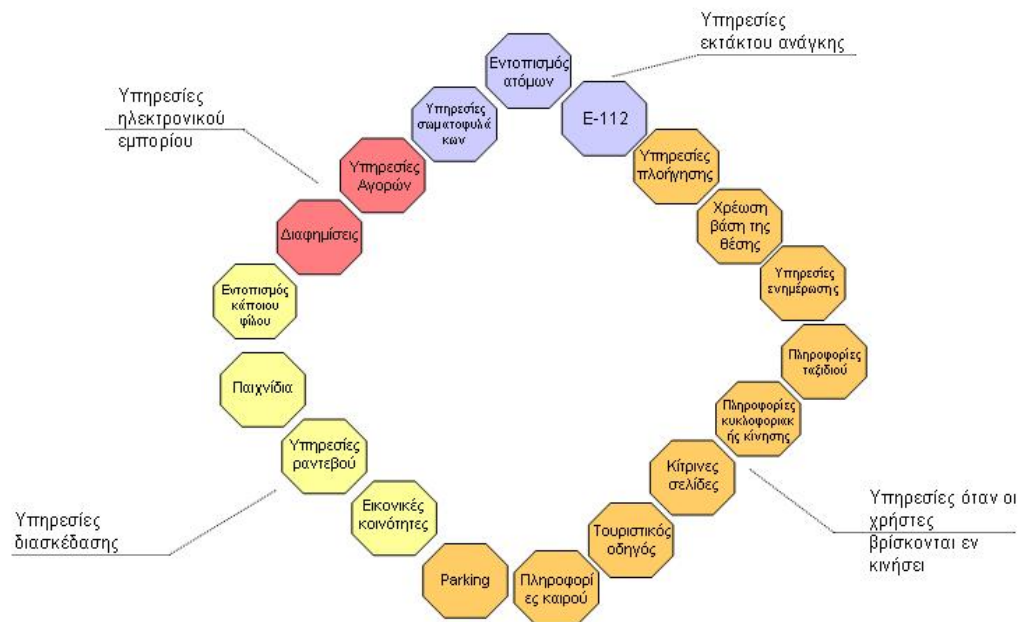
2.7 Υπηρεσίες Θέσης

2.7.1 Κατηγοριοποίηση των Υπηρεσιών Θέσης

Οι υπηρεσίες θέσης (ΥΘ) βρίσκουν εφαρμογή σχεδόν σε κάθε πτυχή της ανθρώπινης δραστηριότητας: πλοήγηση, υγεία, ασφάλεια, έκτακτη ανάγκη, διασκέδαση, ταξιδιωτική βοήθεια, διαχείριση στόλου, καθώς και σε τομείς που σχετίζονται με την αλληλεπίδραση ανθρώπου-μηχανής (π.χ., Τηλεματική), ακόμα και μηχανής-μηχανής (π.χ., αυτόματα κλήση βοήθειας σε περίπτωση βλάβης οχήματος, βλάβες βιοϊατρικών εμφυτευμάτων, κινητό πορτοφόλι). Επιπρόσθετα, οι ΥΘ καλύπτουν σχεδόν κάθε οικονομικά ελκυστική δημογραφική ομάδα/αγορά, συμπεριλαμβανομένων των γονέων, εφήβων, φοιτητών, διαδικτυακών κοινοτήτων, στελεχών επιχειρήσεων και επιχειρηματιών. Αυτό συμπεριλαμβάνει και εταιρίες οι οποίες βασίζονται σε σημαντικό βαθμό σε κινητές υπηρεσίες φωνής ή/και δεδομένων για τη λειτουργία τους, όπως οι εταιρίες με μεγάλο αριθμό υπαλλήλων που απασχολούνται σε εξωτερικές δουλειές, και εταιρίες οι

οποίες βασίζονται στη γνώση της θέσης του στόλου τους ή των εμπορευμάτων τους κάθε χρονική στιγμή, όπως π.χ. μεταφορικές εταιρίες.

Οι ΥΘ μπορούν να κατηγοριοποιηθούν βάσει πολλών κριτηρίων. Μία κατηγοριοποίηση μπορεί να γίνει βάσει του είδους των εφαρμογών που μπορούν να υποστηριχθούν. Πιο συγκεκριμένα οι βασικές κατηγορίες υπηρεσιών διακρίνονται σε υπηρεσίες εκτάκτου ανάγκης, υπηρεσίες που παρέχονται όταν οι χρήστες βρίσκονται σε κίνηση, υπηρεσίες διασκέδασης και υπηρεσίες ηλεκτρονικού εμπορίου. Όσον αφορά στις εφαρμογές το πρόγραμμα AGILE [73] αναγνώρισε 18 εφαρμογές που βρίσκουν απήχηση στην ευρεία αγορά. Αυτές οι εφαρμογές έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σχετικά με την ποιότητα υπηρεσίας (ακρίβεια, πιστότητα, κάλυψη σε εσωτερικούς χώρους κοκ.). Επίσης απευθύνονται σε διαφορετικές ομάδες χρηστών. Η κατηγοριοποίηση αυτή του προγράμματος AGILE παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 9: Κατηγοριοποίηση των υπηρεσιών θέσης

Κάποιες από αυτές τις εφαρμογές/υπηρεσίες βρίσκονται ήδη σε στάδιο ωριμότητας (π.χ. πλοήγηση, πληροφορίες συγκοινωνίας) και είναι εμπορικά διαθέσιμες. Οι πάροχοι τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών αναμένεται στο μέλλον να παρέχουν στους πελάτες τους όλο και περισσότερο τέτοιου είδους υπηρεσίες ως μέρος πακέτων υπηρεσιών.

Μία διαφορετική κατηγοριοποίηση είναι σε εφαρμογές οι οποίες ξεκινούν έπειτα από αιτήματα χρηστών και σε εφαρμογές οι οποίες παρέχονται αυτόματα όταν πληρείται μια συγκεκριμένη συνθήκη (π.χ. όταν ξεπερνιέται κάποιο όριο). Στη βιβλιογραφία η πρώτη ομάδα αναφέρεται ως υπηρεσίες “Pull” και η δεύτερη ως υπηρεσίες “Push” [72]:

Η ομάδα των υπηρεσιών “Pull” αναφέρεται στις ΥΘ οι οποίες κατόπιν ενός αιτήματος από το χρήστη εκτελούν τη διαδικασία προσδιορισμού θέσης της τερματικής συσκευής του ώστε να παρέχουν δεδομένα ανάλογα με τη θέση που βρίσκεται. Οι υπηρεσίες τύπου “Pull” περιλαμβάνουν υπηρεσίες παροχής ταξιδιωτικών πληροφοριών, εύρεσης ταξί, κίτρινες σελίδες π.χ. εύρεση στην περιοχή που βρίσκεται ο χρήστης συγκεκριμένου τύπου καταστημάτων, φαρμακείων, σημείων διασκέδασης κ.τ.λ., υπηρεσίες αγοράς π.χ. ενημέρωση για την τοποθεσία συγκεκριμένων προϊόντων, μαρκών, ή νούμερων ρούχων και άλλων προϊόντων σε μια αγορά ή εμπορικό κέντρο, ή και υπηρεσίες προώθησης πληροφοριών σχετικά με ένα αντικείμενο ή μηχανήμα σε μια θέση π.χ. πληροφορίες σχετικές με εκθέματα ενός μουσείου ή άλλου τουριστικού χώρου ή σχετικές με τη λειτουργία μηχανημάτων σε ένα εργασιακό χώρο.

Η ομάδα των υπηρεσιών τύπου “Push” αναφέρεται στις ΥΘ οι οποίες κάνουν χρήση της θέσης μιας τερματικής συσκευής για να εντοπίσουν το χρήστη της ως ένα πιθανό αποδέκτη της υπηρεσίας χωρίς να έχει προηγηθεί κάποιο αίτημα προσδιορισμού θέσης από τον ίδιο. Παραδείγματα αποτελούν υπηρεσίες όπως η αποστολή διαφημίσεων σε συγκεκριμένες ομάδες χρηστών, η ανεύρεση φίλων και η παροχή πληροφορίας σχετικά με την κίνηση δρόμων (π.χ. zone alerts).

Οι ΥΘ μπορούν να κατηγοριοποιηθούν και βάσει των ομάδων αγοράς από και προς τις οποίες παρέχονται. Ειδικότερα διακρίνονται οι ακόλουθες κατηγορίες ΥΘ:

- Παρεχόμενες από Επιχειρήσεις σε Επιχειρήσεις (B2B): όπως οι υπηρεσίες διαχείρισης στόλου.
- Παρεχόμενες από Επιχειρήσεις στον Καταναλωτή (B2C): όπως οι υπηρεσίες προώθησης διαφημίσεων, πληροφοριακού υλικού για συγκεκριμένες περιοχές/αντικείμενα κοκ.
- Παρεχόμενες από τον Καταναλωτή στις Επιχειρήσεις (C2B): όπως η διαφήμιση γεγονότων διασκέδασης σε κάποια περιοχή, η απόκριση για διαθεσιμότητα ταξί κοκ.
- Παρεχόμενες από τον Καταναλωτή σε άλλους Καταναλωτές (C2C): όπως οι υπηρεσίες ευρέσεως φίλων, και δημιουργίας εικονικών κοινοτήτων με βάση τη θέση.

2.7.2 Τάσεις της Αγοράς Υπηρεσιών Θέσης

2.7.2.1 Οι Προσδοκίες

Στην αρχή της τρέχουσας δεκαετίας, οι προβλέψεις έδειχναν ότι οι ΥΘ θα αποδεικνύονταν από τις πιο επιτυχημένες εφαρμογές στις ασύρματες τηλεπικοινωνίες. Σήμερα, οι περισσότεροι αναλυτές διαψεύδονται στις προβλέψεις τους λόγω τόσο της καθυστέρησης στην επέκταση των κινητών υπηρεσιών δεδομένων όσο και της χαμηλής διείσδυσης των ΥΘ. Και τα δύο αυτά φαινόμενα οφείλονται τόσο στην καθυστερημένη εισαγωγή στην αγορά ισχυρότερων επεξεργαστικά και ενεργειακά κινητών τερματικών όσο και στη διοχέτευση στην αγορά χαμηλής ποιότητας ΥΘ οι

οποίες είχαν ως αποτέλεσμα την απογοήτευση και απώλεια του ενδιαφέροντος των χρηστών για παρόμοιου είδους υπηρεσίες. Ειδικότερα, οι σημαντικότεροι παράγοντες που είναι υπεύθυνοι για αυτή την εξέλιξη της αγοράς των ΥΘ συνοψίζονται ακολούθως.

Χαμηλή επίδοση προσδιορισμού θέσης. Οι εμπορικά διαθέσιμες λύσεις προσδιορισμού θέσης σε δίκτυα κινητών επικοινωνιών επιτρέπουν ακρίβεια της τάξης των μερικών εκατοντάδων μέτρων. Από την άλλη όσον αφορά στα δορυφορικά συστήματα, υπάρχουν εμπορικά διαθέσιμα πολύ λίγα τερματικά με υψηλές δυνατότητες προσδιορισμού θέσης (π.χ. A-GPS), ενώ ακόμη κι αυτά προσφέρονται σε ιδιαίτερα υψηλές τιμές.

Δίκτυα κινητών επικοινωνιών με χαμηλούς ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων. Ένας άλλος ανασταλτικός παράγοντας της μη ευρείας υιοθέτησης των ΥΘ είναι η μη διαθεσιμότητα δικτύων υψηλών ρυθμών μετάδοσης (η οποία θα επέτρεπε την μετάδοση πολυμεσικού περιεχομένου). Τα δίκτυα τρίτης γενιάς και η εμπορική τους διαθεσιμότητα καθυστέρησε, ενώ μόλις πρόσφατα τα τοπικά ασύρματα δίκτυα έχουν αρχίσει να επεκτείνονται για την παροχή υπηρεσιών διαδικτύου σε πολυσύχναστα σημεία ενδιαφέροντος.

Θέματα εγγενών αντιλήψεων. Εν γένει υπάρχουν ανησυχίες όσον αφορά τη διαφύλαξη του απορρήτου των προσωπικών δεδομένων των συνδρομητών κινητής τηλεφωνίας, καθώς οι χρήστες αισθάνονται ότι παρακολουθούνται. Η επιφυλακτικότητα σχετικά με θέματα διαχείρισης προσωπικών δεδομένων (τόσο από μέρος των χρηστών όσο και των παρόχων) εμποδίζουν την υιοθέτηση των ΥΘ στις συνήθεις δραστηριότητες των ατόμων.

Μη φιλικές προς το χρήστη διεπαφές. Υπάρχουν εγγενείς δυσκολίες στις κινητές τερματικές συσκευές π.χ. στην εισαγωγή ερωτημάτων και στην εμφάνιση αποτελεσμάτων (εικόνων, τρισδιάστατων χαρτών κοκ.).

Αποτέλεσμα όλων αυτών είναι η απογοήτευση των χρηστών και η απώλεια του ενδιαφέροντος τους για τις αντίστοιχες υπηρεσίες. Ταυτόχρονα οι ακόλουθοι παράγοντες συνέβαλλαν στο περιορισμένο ενδιαφέρον ανάπτυξης των ΥΘ από μέρος των επιχειρήσεων.

Σημαντικές απαιτήσεις σε επένδυση. Η αρχική επένδυση και το κόστος υλοποίησης που επιβάλλεται να καταβληθεί από τους παρόχους τηλεπικοινωνιών είναι ιδιαίτερα υψηλά (όσον αφορά το δικτυακό εξοπλισμό και τις προωθητικές ενέργειες), ενώ η είσοδος παρόχων ΥΘ στην αγορά δεν δικαιολογούνται από την αναμενόμενη ανάπτυξη/εξάπλωση των ΥΘ, οπότε και τα αναμενόμενα έσοδα.

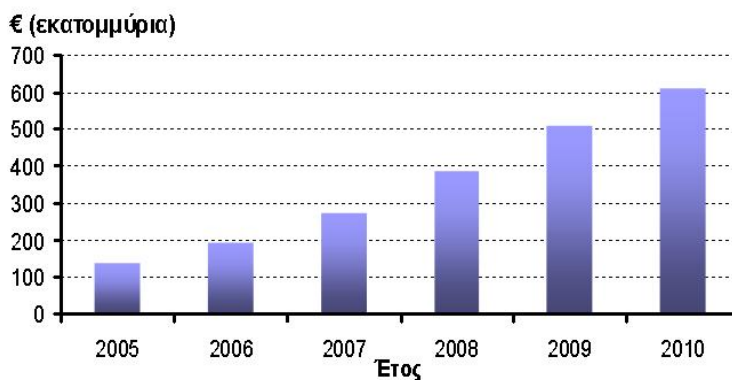
Ο χρόνος διείσδυσης στην αγορά. Δεδομένων παραδειγμάτων άλλων επιτυχημένων υπηρεσιών, φαίνεται ότι η αγορά θα πρέπει να είναι αρκετά «εκπαιδευμένη» ώστε να υιοθετήσει τις νέες υπηρεσίες. Γι' αυτό το λόγο είναι αναπόφευκτη η αρχική καθυστέρησή στη διείσδυσή τους στην αγορά.

Ανυπαρξία κατάλληλων επιχειρησιακών μοντέλων. Για τη διαμόρφωση και παροχή των αναδόμενων ΥΘ απαιτείται να αναμορφωθούν οι επιχειρησιακοί κανόνες, η αλληλουχία και οι ρόλοι των κρίκων στην αλυσίδα αξίας της αγοράς των μέχρι σήμερα παρεχόμενων υπηρεσιών. Επίσης οι ρόλοι θα πρέπει να είναι ξεκάθαρα ορισμένοι μεταξύ των συνεργαζόμενων επιχειρησιακών μονάδων. Προς το παρόν, η καθυστέρηση της διαμόρφωσης του κατάλληλου πλαισίου συνεργασίας και κανόνων μεταξύ των διαφόρων επιχειρησιακών μονάδων προκαλεί σύγχυση στις συμμετέχουσες ομάδες της αγοράς και αποθαρρύνει νέες προσπάθειες και πρωτοβουλίες.

Ως αποτέλεσμα όλων των προαναφερόμενων παραγόντων οι ΥΘ έχουν παραμείνει στα πλαίσια τοπικών εφαρμογών/αγορών με λίγες επιτυχημένες προσπάθειες (π.χ. διαχείριση στόλου) και σε συγκεκριμένες αγορές, ενώ ταυτόχρονα δεν έχουν αναδείξει εφαρμογές/υλοποιήσεις μεγάλης κλίμακας.

2.7.2.2 Μελλοντικές Τάσεις

Η αυξανόμενη διαθεσιμότητα δικτυακών υποδομών και λύσεων προσδιορισμού θέσης που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια σε πολλές χώρες για την παροχή λειτουργικά πλουσιότερων και πιο ελκυστικών υπηρεσιών, είναι σημάδια ότι οι ΥΘ θα αποδώσουν ένα μέρος από τα αναμενόμενα οφέλη τόσο στους παρόχους τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών όσο και στους τελικούς χρήστες. Βάσει μιας έρευνας της εταιρίας Juniper Research [72], η εκτιμώμενη διαθέσιμη αγορά για κινητές ΥΘ θα αναπτυχθεί από λιγότερο από 1 δισεκατομμύριο δολάρια στο τέλος του 2006 σε περισσότερο από 8,5 δισεκατομμύριο δολάρια στο τέλος του 2010. Η τελευταία γεωγραφικά αγορά θα είναι η Ασία στον Ειρηνικό, ενώ η Ευρώπη και η Αμερική βρίσκονται στην δεύτερη και τρίτη θέση αντιστοίχως. Με βάση εκτιμήσεις της εταιρίας Berg Insight, το έτος 2010 τα έσοδα από τις ΥΘ στην Ευρώπη θα φτάσουν τα 622 εκατομμύρια ευρώ (όπως φαίνεται και στο διάγραμμα παρακάτω) και θα αποτελούν σαν ποσοστό το 1,8% των υπηρεσιών δεδομένων.



Σχήμα 10: Έσοδα από ΥΘ για την ευρωπαϊκή αγορά

Σημαντική ώθηση στην ανάπτυξη της αγοράς παρέχει και η διαθεσιμότητα φορητών συσκευών πλοήγησης. Αυτός ο τομέας σημείωσε μια εκρηκτική άνοδο τα τελευταία δυο χρόνια (2005-2006) οδηγώντας σε εντυπωσιακό αριθμό πωλήσεων στην Ευρώπη -κυρίως σε πωλήσεις συσκευών πλοήγησης. Αυτή η τάση θα συνεχιστεί το 2007 και πιθανότατα και το 2008 σε επίπεδα ανάπτυξης κοντά στο 100% (source: Navteq). Αυτή η εξέλιξη οδηγεί σε συνεχώς μεγαλύτερη εξοικείωση των τελικών χρηστών και αυξημένο ενδιαφέρον για τις ΥΘ. Ακολούθως γίνεται αναφορά στους κυριότερους παράγοντες οι οποίοι δύνανται να προωθήσουν την ανάπτυξη σε αυτόν τον τομέα:

Διάθεση κινητών τερματικών υψηλών προδιαγραφών. Οι τερματικές συσκευές διαθέτουν πλέον περισσότερες δυνατότητες καθιστώντας εφικτή την παροχή ΥΘ. Σε αυτές περιλαμβάνονται: οι βελτιστοποιημένες δυνατότητες διασυνδεσιμότητας τόσο από την άποψη των αυξημένων ρυθμών μεταφοράς (τα τερματικά τρίτης γενιάς εξαπλώνονται διαρκώς στην αγορά) όσο και από την άποψη της σύνδεσης σε πολλά δίκτυα (π.χ. Multi-Homed Terminals που παρέχουν σύνδεση με GSM/UMTS/Wi-Fi/Bluetooth κλπ), οι αυξημένες δυνατότητες επεξεργασίας και αποθήκευσης δεδομένων, τα βελτιωμένα χαρακτηριστικά τους όπως η υψηλή ευκρίνεια οθόνης, το μεγαλύτερο μέγεθος των οθονών καθώς και η ευχρηστία μέσω των φιλικότερων προς το χρήστη διεπαφών. Επιπρόσθετα αυξάνεται και η βάση των λειτουργικών προγραμμάτων (Symbian, Linux και Microsoft) και πακέτων λογισμικού πάνω στις οποίες στηρίζεται η ανάπτυξη των εφαρμογών προσδιορισμού θέσης.

Στην Ευρώπη, ο αριθμός των τερματικών που διαθέτουν GPS και βρίσκονται διαθέσιμα στην αγορά εξακολουθεί να παραμένει μικρός. Ωστόσο, δεδομένων των ανοικτών διεπαφών των εφαρμογών και της ευκολότερης συνδεσιμότητας μεταξύ των συσκευών, είναι δυνατή η χρήση περισσότερων τερματικών και smart-phones σε συνδυασμό με δέκτες GPS. Κάποιες από τις πρώιμες λύσεις πλοήγησης βασισμένες σε κινητά τερματικά, βασίζονται απλώς σε ένα συνδυασμό smart-phone και μιας ξεχωριστής συσκευής GPS η οποίες συνδέονται μέσω Bluetooth. Νέοι τύποι κινητών συσκευών καθίστανται εμπορικά διαθέσιμοι, επιτρέποντας μια νέα κλάση συσκευών προσδιορισμού θέσης οι οποίες κάνουν χρήση ασύρματων δικτύων δεδομένων.

Προηγμένες διεπαφές χρηστών. Σε αυτές περιλαμβάνονται χαρακτηριστικά εφαρμογών όπως η δυνατότητα μετατροπής κειμένου σε ήχο και φωνής σε κείμενο, οι τρισδιάστατοι χάρτες και η πολυγλωσσική υποστήριξη.

Η ανάπτυξη του διαδικτύου και ο τρόπος περιγραφής της πληροφορίας. Το semantic web, η τυποποίηση των αντικειμένων και η αναπαράσταση και ταξινόμηση του περιεχομένου αναμένεται να επιφέρουν σημαντικά οφέλη και βελτιώσεις στην παροχή των ΥΘ.

Δίκτυα κινητών επικοινωνιών υψηλών ρυθμών μεταφοράς δεδομένων. Η ανάπτυξη και εξάπλωση προηγμένων ασύρματων τεχνολογιών δικτύου πρόσβασης (UMTS, WLAN, WiMAX, Bluetooth, UWB, Wireless Sensor Networks, κλπ.), οι οποίες παρέχουν υψηλότερους ρυθμούς

μετάδοσης και επιτρέπουν την ταχύτερη επεξεργασία δεδομένων και υποστήριξη πιο απαιτητικών εφαρμογών, θα καταστήσουν δυνατή τη βελτίωση της αντιλαμβανόμενης από τον τελικό χρήστη ποιότητας ΥΘ.

Βελτίωση της ακρίβειας προσδιορισμού θέσης. Τα τελευταία χρόνια λύσεις με υψηλή ακρίβεια προσδιορισμού θέσης καθίστανται ολοένα και περισσότερο αξιόπιστες και οικονομικές στην υλοποίησή τους. Συγχρόνως έχουν εισαχθεί στην αγορά υβριδικές τεχνικές ενώ οι συσκευές στις οποίες ολοκληρώνονται δέκτες GPS πληθαίνουν. Ιδιαίτερα ακριβείς τεχνολογίες προσδιορισμού θέσης έχουν υλοποιηθεί ιδιαίτερα στις Η.Π.Α., όπου η απαίτηση για κλήσεις εκτάκτου ανάγκης (FCC911 ή E-112 [67]) και οι απαιτήσεις σχετικά με την ακρίβεια των τεχνικών προσδιορισμού θέσης που επιβάλλει η ρυθμιστική αρχή FCC επηρεάζουν την υιοθέτηση συστημάτων προσδιορισμού θέσης μεγάλης ακρίβειας. Ακριβείς τεχνολογίες προσδιορισμού θέσης έχουν υλοποιηθεί και στην Ιαπωνία, όπου κάποιιοι πάροχοι – ειδικότερα η KDDI) προωθούν τη διεύθυνση τερματικών με δυνατότητες GPS.

Μείωση του κόστους υλοποίησης για τους παρόχους τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Η ωρίμανση των τεχνολογιών προσδιορισμού θέσης καθώς και η ανάδειξη νέων τυποποιήσεων σχετικά με τις διαπαφές των εφαρμογών καθιστούν οικονομικότερη την ανάπτυξη και εισαγωγή των ΥΘ στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα.

Ποιότητα του περιεχομένου. Η διαθεσιμότητα και η ποιότητά του περιεχομένου που σχετίζεται με τις ΥΘ (π.χ. χάρτες, σημεία ενδιαφέροντος, κ.α.) έχουν σημειώσει σημαντική βελτίωση τα τελευταία χρόνια.

Ανάπτυξη τυποποιήσεων. Η υλοποίηση ΥΘ στηρίζεται είτε στο επίπεδο δεδομένων χρήστη είτε στο επίπεδο ελέγχου/σηματοδοσίας. Οι αρχικές υλοποιήσεις ΥΘ ολοκληρώνονταν στο επίπεδο ελέγχου/σηματοδοσίας. Αυτός ο τρόπος παρά το γεγονός ότι εξασφαλίζει μεγαλύτερη αξιοπιστία και ασφάλεια (ιδιαίτερα κατάλληλος για υπηρεσίες εκτάκτου ανάγκης), είναι ιδιαίτερα δαπανηρός ιδίως όταν πρόκειται για εμπορικές εφαρμογές. Η εμφάνιση της αρχιτεκτονικής SUPL [66] παρέχει τη δυνατότητα για νέες προοπτικές στην υλοποίηση ΥΘ. Το πρωτόκολλο ULP, πάνω στο οποίο βασίζεται η αρχιτεκτονική SUPL, ολοκληρώθηκε στα τέλη του 2005 και υιοθετήθηκε για την υλοποίηση ΥΘ. Το ULP βασίζεται στο πρωτόκολλο IP και μπορεί να εφαρμοστεί σε δίκτυα μεταφοράς δεδομένων GPRS και UMTS. Με αυτό τον τρόπο διευκολύνεται η ανάπτυξη και παροχή των υπηρεσιών που βασίζονται στον προσδιορισμό θέσης χωρίς να απαιτείται δικτυακή αναβάθμιση (επένδυση σε νέο εξοπλισμό) ή τροποποιήσεις των υπαρχόντων δικτυακών στοιχείων. Η αρχιτεκτονική SUPL και η εφαρμογή της στην προτεινόμενη μέθοδο αναλύονται διεξοδικά στο κεφάλαιο 4.

Ωρίμανση της αγοράς. Όπως κάθε νέα τεχνολογία και υπηρεσία η οποία εμφανίζεται στην αγορά, έτσι και οι ΥΘ απαιτούν ένα χρονικό πλαίσιο μέσα στο οποίο το ευρύ κοινό (καταναλωτές)

ενημερώνεται και εξοικειώνεται με τη χρήση της. Η διαρκής αύξηση της χρήσης των κινητών τερματικών, η χρήση νέων υπηρεσιών καθώς και η διάχυση του διαδικτύου και των δικτυακών πύλων (web portals), έχουν κατά κάποιο τρόπο προετοιμάσει το έδαφος για την ευρεία αποδοχή των ΥΘ. Επιπλέον οι διαφημίσεις και η προβολή των δυνατοτήτων που παρέχουν οι νέες εφαρμογές αποτελούν σημαντικά σημεία πάνω στα οποία θα στηριχτεί η εμπορική επιτυχία των ΥΘ.

Ευρωπαϊκές οδηγίες (E112, FCC 911). Η ευρωπαϊκή νομοθεσία με βάση την οδηγία που παρουσιάζεται στην αναφορά [74], η οποία υποχρεώνει τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους να προσφέρουν τη δυνατότητα προσδιορισμού της θέσης των κινητών τερματικών, αναμένεται να δώσει ώθηση στην ανάπτυξη τεχνικών προσδιορισμού θέσης. Μάλιστα με βάση την Αμερικάνικη νομοθεσία οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι (στις ΗΠΑ) είναι υποχρεωμένοι να τηρούν αυστηρά όρια στην ακρίβεια που μπορούν να εντοπίσουν τα τερματικά στο δίκτυό τους (μέχρι 100m στο 67% των περιπτώσεων). Με τη σειρά τους οι πάροχοι τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών έχοντας προετοιμάσει το έδαφος για τον ακριβή εντοπισμό κινητών τερματικών (ανάπτυξη του απαραίτητου δικτυακού εξοπλισμού) θα επιδιώξουν την εκμετάλλευση μιας τέτοιας επένδυσης με την παροχή υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας.

Το σύστημα Galileo. Οι ΥΘ αναγνωρίζονται ήδη ως η πρωτεύουσα αγορά στην οποία μπορεί να βρει εφαρμογή το σύστημα Galileo όσον αφορά στον αριθμό των αναμενόμενων χρηστών και στο αναμενόμενο ύψος των εσόδων/κερδών. Το Galileo, χάριν των χαρακτηριστικών προστιθέμενης αξίας που προσφέρει όπως η βελτίωση της ακρίβειας προσδιορισμού θέσης, της ποιότητας υπηρεσίας καθώς και της πιστότητας, δύναται να συμβάλλει στην ολοκλήρωση προηγμένων λύσεων προσδιορισμού θέσης στα κινητά τερματικά και συνεπώς να επηρεάσει την υλοποίηση των ΥΘ. Ένα πρώτο βήμα προς την αξιοποίηση του συστήματος Galileo ολοκληρώθηκε με την διαθεσιμότητα του συστήματος EGNOS, το οποίο προσφέρει υψηλότερη ακρίβεια και ακεραιότητα στα δεδομένα σε σχέση με το απλό σύστημα GPS.

2.8 Συμπεράσματα

Όπως παρουσιάστηκε, μια πληθώρα τεχνολογιών και τεχνικών καθιστούν σήμερα εφικτό τον προσδιορισμό της θέσης κινητών τερματικών και την παροχή ΥΘ. Ωστόσο παρά τις υποσχόμενες επιδόσεις τους, επιδέχονται περαιτέρω βελτιώσεις σε κάποιους τομείς ώστε να καταστήσουν τις ΥΘ ένα επιτυχημένο προϊόν με ευρεία απήχηση στην αγορά. Ταυτόχρονα, λαμβάνοντας υπόψη πρόσφατες έρευνες αγοράς που αναφέρονται στις τάσεις και στην εξέλιξη της αγοράς ΥΘ, διαφαίνεται ότι υπάρχουν θετικές προοπτικές όσον αφορά στην ευρεία αποδοχή τους. Μολαταύτα, εξακολουθούν να υπάρχουν σημαντικές προκλήσεις και εμπόδια για την υπό ανάπτυξη αγορά, που συνοπτικά περιλαμβάνουν:

- Τις πολύπλοκες αλυσίδες αξίας για την παροχή των υπηρεσιών
- Την ενδυνάμωση των επιχειρησιακών πλάνων και τη μετατροπή των δυνατοτήτων ΥΘ σε ένα κερδοφόρο προϊόν
- Τη διαλειτουργικότητα μεταξύ των δικτύων που υποστηρίζουν τις υπηρεσίες και την παροχή διεθνούς περιαγωγής για αυτές τις υπηρεσίες
- Την αντιμετώπιση των κινδύνων διαχείρισης απορρήτων προσωπικών στοιχείων
- Τους ενδοιασμούς των τελικών χρηστών σχετικά με τη διαχείριση των προσωπικών τους δεδομένων
- Τη μείωση του κόστους για την ανάπτυξη και παροχή των υπηρεσιών
- Την κατάλληλη επιλογή μεταξύ των διαφόρων εναλλακτικών τεχνολογιών.

Η μέχρι σήμερα επικρατούσα υπερβολή και η χαμηλή αποδοχή του σύγχρονου μοντέλου ΥΘ (πρώιμες υλοποιήσεις υπηρεσιών) έχουν οδηγήσει την αγορά σε εξορθολογισμό και επαναπροσδιορισμό των προσδοκιών της. Το περιορισμένο ενδιαφέρον των χρηστών για τις μέχρι σήμερα προσφερόμενες ΥΘ είναι δεδομένο. Συνεπώς και οι προσδοκίες για την επόμενη γενιά ΥΘ θα πρέπει να είναι περισσότερο συντηρητικές αναφορικά με την ανάπτυξη της αγοράς.

Οι ΥΘ μπορούν να γίνουν ελκυστικές με την αύξηση της επίδοσής τους κυρίως ως προς την ακρίβεια προσδιορισμού της θέσης και της παρεχόμενης ποιότητας υπηρεσίας, καθώς και με την ανάμιξη των χρηστών στην ανάπτυξη των υπηρεσιών. Η προσωποποίηση των υπηρεσιών μπορεί να καταστήσει τις υπηρεσίες πιο εύχρηστες και ελκυστικές χωρίς ταυτόχρονα να απαιτεί σημαντική ανάμειξη του χρήστη στη διαμόρφωση του προφίλ των υπηρεσιών. Επιπρόσθετα, οι αρχικοί φόβοι σχετικά με τον εντοπισμό των χρηστών χωρίς τη συγκατάθεσή τους θα πρέπει να κατευναστούν έτσι ώστε οι υπηρεσίες να λάβουν μεγαλύτερη αποδοχή από την αγορά. Τέλος, απαιτείται σημαντική έρευνα στην περιοχή της διαλειτουργικότητας των ασύρματων συστημάτων και των υπηρεσιών που διαμεσολαβούν για τη διαχείριση του απορρήτου των δεδομένων και της ολοκληρωμένης παροχής των υπηρεσιών.

Εν κατακλείδι, φαίνεται ότι παρά τα βήματα που έχουν πραγματοποιηθεί στο χώρο των ΥΘ, απαιτείται ακόμα σημαντική προσπάθεια για την ευρεία αποδοχή τους από την αγορά ώστε να αποτελέσουν επιτυχημένη επένδυση από τους παρόχους κινητών τηλεπικοινωνιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΕ ΠΑΡΕΛΘΟΝΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται εκτενώς η προτεινόμενη μέθοδος προσδιορισμού θέσης. Πιο συγκεκριμένα, περιγράφεται και απεικονίζεται γραφικά η μέθοδος και παρουσιάζεται η βασική αρχή πάνω στην οποία στηρίζεται η διατριβή (η αξιοποίηση παρελθοντικών στοιχείων). Στη συνέχεια, αναλύονται οι παράμετροι που επηρεάζουν την επίδοση της προτεινόμενης μεθόδου και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εφαρμογής της τόσο σε ένα μελλοντικό περιβάλλον όπου συνυπάρχουν πολλαπλά δίκτυα πρόσβασης (π.χ. GSM, 3G, WLAN) όσο και σε διάφορες τεχνικές προσδιορισμού θέσης οι οποίες αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με τη συλλογή των απαιτήσεων για την υλοποίηση της μεθόδου τόσο στην τερματική συσκευή, όσο και στον εξυπηρετητή και στο πρωτόκολλο της μεταξύ τους επικοινωνίας. Οι απαιτήσεις αυτές διαμορφώνουν τις τελικές προδιαγραφές υλοποίησης της μεθόδου ενώ ταυτόχρονα επηρεάζουν και καθορίζουν το σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής.

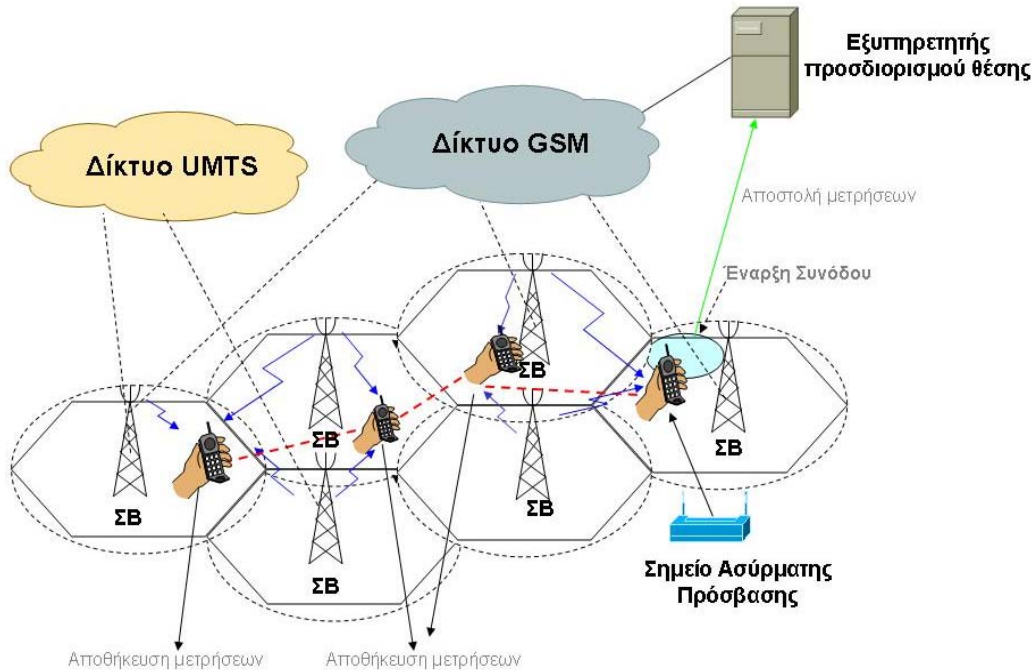
3.2 Περιγραφή της Μεθόδου

Η βασική ιδέα της μεθόδου είναι η αξιοποίηση παρελθοντικών δεδομένων-πληροφοριών σχετικών με την θέση του κινητού τερματικού. Το τερματικό δύναται να συλλέγει και να αποθηκεύει περιοδικά δεδομένα τα οποία σχετίζονται με τη θέση του (όπως για παράδειγμα τη λαμβανόμενη στάθμη ισχύος του σήματος). Οι αποθηκευμένες αυτές μετρήσεις (διαμορφώνουν μία λίστα τιμών) σχετίζονται με παρελθοντικές θέσεις του τερματικού οι οποίες μπορούν μετέπειτα να αξιοποιηθούν για τον ακριβέστερο προσδιορισμό της θέσης του. Η προτεινόμενη μέθοδος θα

αναφέρεται στη συνέχεια σαν μέθοδος **STAMP** από τα αρχικά του τίτλου **Statistical Terminal Assisted Mobile Positioning**.

Με βάση την τυποποιημένη λειτουργία των κινητών τερματικών συσκευών, όταν η συσκευή βρίσκεται σε κατάσταση αδράνειας (idle mode), ένα σύνολο από δικτυακές παραμέτρους παρακολουθούνται διαρκώς. Στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας (GSM και 3G) αυτές οι παράμετροι αφορούν στην επιλογή του δικτύου καθώς και στην επιλογή των καταλληλότερων κυψελών που θα εξυπηρετήσουν το τερματικό σε ενδεχόμενη κλήση. Συνεπώς, μέρος της λειτουργίας ενός τερματικού που υποστηρίζει σύνδεση σε δίκτυα GSM/GPRS/UMTS είναι η διαρκής μέτρηση, δικτυακών παραμέτρων (όπως είναι η ταυτότητα της κυψέλης, η λαμβανόμενη στάθμη ισχύος σήματος από την εξυπηρετούσα αλλά και τις γειτονικές κυψέλες κ.α.) με σκοπό: α) την επιλογή του καταλληλότερου δικτύου και β) την εξασφάλιση της βέλτιστης απόδοσης από πλευράς παροχής υπηρεσιών και χρήσης πόρων του δικτύου. Η λίστα αυτή των παραμέτρων που μετράει το τερματικό μπορεί να περιλαμβάνει μετρήσεις που σχετίζονται και με άλλα δίκτυα π.χ. WiMAX. Για παράδειγμα τερματικά με δυνατότητα σύνδεσης σε δίκτυα WLAN δύναται να μετρήσουν παραμέτρους όπως η ταυτότητα του σημείου πρόσβασης (Access Point) και η λαμβανόμενη στάθμη σήματος. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι η δυνατότητα ενός τερματικού να καταγράφει μετρήσεις από πολλαπλά δίκτυα ταυτόχρονα αποτελεί αντικείμενο εμπορικής υλοποίησης. Μάλιστα οι προδιαγραφές των σύγχρονων τερματικών επιτρέπουν την ταυτόχρονη πρόσβαση σε παραπάνω από ένα δίκτυα (multi-homed terminals). Τέλος, με βάση τις συνθήκες ραδιοκάλυψης ή της παρεχόμενης ποιότητας υπηρεσιών, ένα τερματικό είναι σε θέση να αποφασίζει να συνδεθεί και συνεπώς να πραγματοποιήσει μετρήσεις είτε με δίκτυο GSM, είτε με δίκτυο UMTS είτε και με τα δύο. Η δυνατότητα αυτή βρίσκει ευρεία εφαρμογή σε ένα περιβάλλον B3G στο οποίο τα τερματικά θα είναι σε θέση να παρακολουθούν μία η περισσότερες τεχνολογίες πρόσβασης.

Το μεγάλο πλεονέκτημα της προτεινόμενης μεθόδου είναι οι λιγιστές απαιτήσεις που αφορούν την εμπορική υλοποίηση της, δεδομένου ότι το τερματικό καλείται να αποθηκεύει τοπικά ένα σύνολο μετρήσεων τις οποίες ούτως ή άλλως πραγματοποιεί σαν μέρος της καθιερωμένης λειτουργίας του. Με αυτό τον τρόπο, η επιπλέον λειτουργικότητα που απαιτείται από την τερματική συσκευή είναι ελάχιστη. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι κάθε είδους μέτρηση η οποία σχετίζεται με πληροφορία θέσης (και εφαρμόζεται στις διάφορες τεχνικές προσδιορισμού θέσης που περιγράφηκαν στο Κεφάλαιο 2) είναι εφαρμόσιμη. Το σχήμα που ακολουθεί αναπαριστά την ιδέα STAMP σε ένα περιβάλλον που αποτελείται από δίκτυα GSM/GPRS, UMTS και WLAN.



Σχήμα 11: Αναπαράσταση της ιδέας STAMP

3.3 Μηχανισμός Μεθόδου STAMP

Για την εφαρμογή της μεθόδου θα πρέπει να υλοποιηθεί ο ακόλουθος μηχανισμός συλλογής μετρήσεων.

Διαμόρφωση της λίστας STAMP: Το τερματικό αποθηκεύει τοπικά έναν αριθμό (N) από τις πιο πρόσφατες μετρήσεις σχετικές με τη θέση του. Οι μετρήσεις αυτές αποτελούν τη λίστα STAMP.

Συνθήκη αποδοχής μίας μέτρησης: Το τερματικό εφαρμόζει μία συνθήκη σύμφωνα με την οποία μία μέτρηση γίνεται αποδεκτή στη λίστα STAMP ή απορρίπτεται (με αυτό τον τρόπο αντιμετωπίζονται αλλοιωμένες, ελλιπείς ή μετρήσεις χωρίς σημαντική αξία). Λαμβάνοντας υπόψη ότι η συμπεριφορά της μεθόδου STAMP βασίζεται στην κατάσταση της κινητικότητας του τερματικού, παρουσιάζεται η ανάγκη να οριστούν συνθήκες διαμόρφωσης της λίστας STAMP. Καθίσταται δηλαδή η ανάγκη να οριστεί ένας ενιαίος τρόπος αποδοχής ή απόρριψης των συνόλων μετρήσεων στη λίστα STAMP που ανταποκρίνονται στις διαφορετικές θέσεις του τερματικού.

Η ανάλυση που ακολουθεί αναφέρεται στην περίπτωση τεχνικών που βασίζονται στη λαμβανόμενη στάθμη ισχύος του σήματος. Όταν το τερματικό βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας (idle mode), μετρά τις στάθμες λαμβανόμενης ισχύος από τον πρωτεύων και τους γειτονικούς Σταθμούς Βάσης με μία σταθερή περίοδο T . Κάθε μέτρηση συγκρίνεται με την προηγούμενη και ακολουθείται ο εξής αλγόριθμος:

- Αν η διαφορά της στάθμης ισχύος που λαμβάνεται από το τερματικό για την ίδια κυψέλη, μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων είναι χαμηλότερη ενός καθορισμένου κατωφλίου, τότε μπορεί να θεωρηθεί ότι το τερματικό δεν κινείται και η τελευταία μέτρηση απορρίπτεται ή συνδυάζεται με την προηγούμενη παίρνοντας το μέσο όρο των στάθμεων ισχύος.
- **Διαφορετικά**, η νέα μέτρηση αποθηκεύεται σαν νέα εγγραφή στη λίστα STAMP.

Η συνθήκη που περιγράφηκε αποσκοπεί στην εξής βελτίωση:

- Αν το τερματικό δεν κινείται, οι μετρήσεις που συλλέγονται θα αυξήσουν την ακρίβεια για την εκτίμηση του μέσου όρου της στάθμης ισχύος Rx χωρίς να διαγράφονται μετρήσεις από προηγούμενες θέσεις.
- Η λίστα STAMP θα περιέχει N μετρήσεις οι οποίες ανταποκρίνονται σε συγκεκριμένη χωρική διασπορά (spatial diversity) (μετρήσεις από σήματα που ακολουθούν διαφορετικά μονοπάτια διάδοσης). Με αυτό τον τρόπο θα διατηρείται η ακρίβεια που επιτυγχάνεται για κινούμενα τερματικά (όπως αναλύεται στην ενότητα 7.3.2).

Στο Σχήμα 12 παρουσιάζεται ο αλγόριθμος που υλοποιείται κατά τη λειτουργία του τερματικού για τη διαχείριση της λίστας STAMP.

Ο τύπος του δικτύου πρόσβασης: Σε κάθε προσθήκη μέτρησης στη λίστα STAMP, ένα συγκεκριμένο πεδίο στη λίστα υποδεικνύει τον τύπο του δικτύου πρόσβασης στο οποίο αναφέρεται η μέτρηση. Ανάλογα με τον τύπο του δικτύου πρόσβασης η μορφή της μέτρησης μπορεί να διαφέρει. Θα πρέπει να υποστηρίζονται πολλοί τύποι μετρήσεων έτσι ώστε να επιτρέπεται η ευρεία εφαρμογή της μεθόδου.

Τύπος A: Μέτρηση που αναφέρεται σε δίκτυο GSM/GPRS.

Τύπος B: Μέτρηση που αναφέρεται σε δίκτυο UMTS.

Τύπος C: Μέτρηση που αναφέρεται σε δίκτυο WLAN.

Τύπος D: Μέτρηση που αναφέρεται σε δίκτυο WiMAX.

.

.

.

Τύπος N: Μέτρηση που αναφέρεται σε μελλοντικό δίκτυο.

Η περίοδος δειγματοληψίας STAMP: Η δειγματοληπτική περίοδος T αντιστοιχεί στη χρονική περίοδο μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων (σύνολο μετρήσεων). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε ένα μελλοντικό περιβάλλον B3G η περίοδος δειγματοληψίας STAMP μπορεί να είναι είτε κοινή είτε διαφορετική με βάση την εκάστοτε διαθέσιμη τεχνολογία πρόσβασης.

Η χρονική ένδειξη: Για την καλύτερη διαχείριση των λανθασμένων μετρήσεων και για να υπάρξει δυνατότητα για μεταβλητές περιόδους δειγματοληψίας, κάθε μέτρηση αποθηκευμένη στη λίστα STAMP συνοδεύεται από ένδειξη χρόνου.

Έναρξη συνόδου LBS: Κατά την έναρξη μιας ΥΘ (π.χ. εντοπισμός του κοντινότερου εστιατορίου) και κατά συνέπεια αναζήτηση της θέσης, λαμβάνουν χώρα οι επόμενες ενέργειες:

- **Υπολογισμός τρέχουσας θέσης:** Με βάση τη λίστα STAMP, αξιοποιείται μία τεχνική προσδιορισμού θέσης η οποία είναι εφαρμόσιμη για τις τρέχουσες μετρήσεις (π.χ., CGI++ για GSM), με σκοπό να εκτιμηθεί η τρέχουσα θέση.
- **Υπολογισμός προηγούμενων θέσεων:** Οι τεχνικές προσδιορισμού θέσης εφαρμόζονται επίσης για κάθε εγγραφή στη λίστα STAMP με σκοπό να υπολογιστούν οι παρελθοντικές θέσεις του τερματικού (π.χ., CGI++ για δίκτυα GSM, CGI+CPCSS για δίκτυα UMTS, Ekahau για μετρήσεις WLAN).

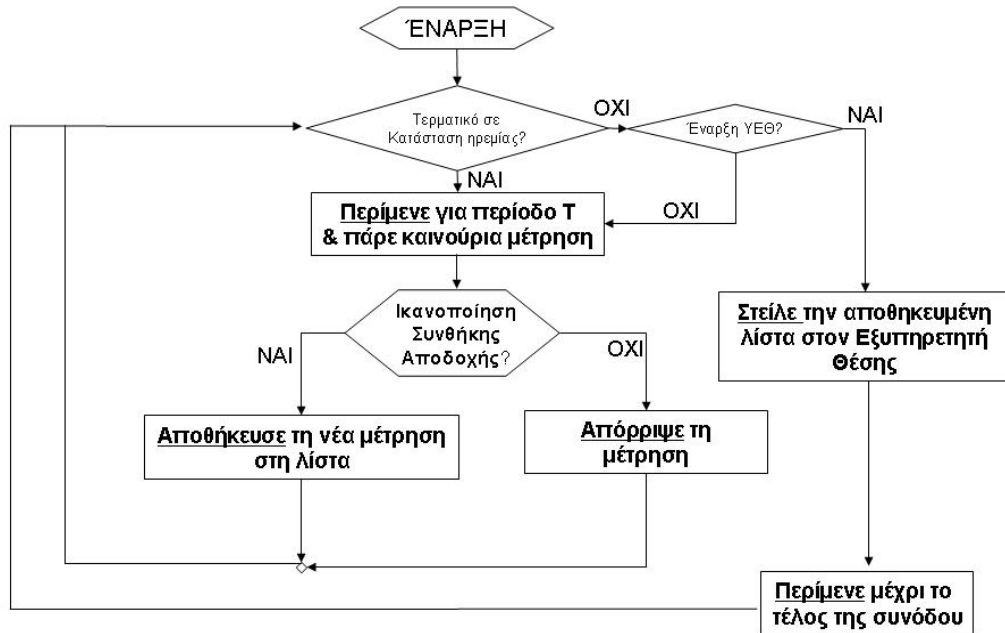
Στατιστική επεξεργασία μετρήσεων: Τα δύο προηγούμενα βήματα έχουν φέρει ως αποτέλεσμα τον προσδιορισμό N+1 θέσεων του τερματικού. Με βάση αυτές τις εκτιμώμενες θέσεις, μπορούν να εφαρμοστούν τυπικές στατιστικές μέθοδοι, (όπως περιγράφονται στο Παράρτημα Α: Μαθηματικό Υπόβαθρο), με σκοπό τη βελτίωση της ακρίβειας προσδιορισμού της τρέχουσας θέσης του τερματικού.

Υλοποίηση βασισμένη στο τερματικό και στο δίκτυο: Η στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων (με σκοπό τον υπολογισμό της τελικής θέσης) μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε στο τερματικό είτε στο δίκτυο. Στην τελευταία περίπτωση το τερματικό θα πρέπει να αποστείλει στο δίκτυο (εξυπηρετητή προσδιορισμού θέσης) τη λίστα STAMP τη στιγμή που μία υπηρεσία ΥΘ έχει ζητήσει τον προσδιορισμό θέσης.

Επιλογή μεταξύ των μετρήσεων του τερματικού για την αντιμετώπιση της περίπτωσης διαφορετικών δικτύων: Σε ένα περιβάλλον B3G η διαθεσιμότητα μετρήσεων από διαφορετικά δίκτυα εισάγει μία ακόμα παράμετρο στην διαδικασία STAMP: Ίσως είναι προτιμότερο να αξιοποιηθούν μετρήσεις μόνο από ένα δίκτυο (στο οποίο μπορεί να εφαρμοστεί μια τεχνική εντοπισμού με καλύτερη ακρίβεια π.χ. WLAN) παρά να αξιοποιηθούν μετρήσεις από κάποιο άλλο διαθέσιμο (π.χ. GSM). Για την αντιμετώπιση αυτής της περίπτωσης προτείνεται ο αλγόριθμος που παρουσιάζεται στο Σχήμα 12. Σε αυτό το διάγραμμα, η συνθήκη η οποία κρίνει την αποδοχή ή απόρριψη μιας μέτρησης είναι συνάρτηση των εξής παραμέτρων:

- της περιοχής στην οποία αναφέρεται η μέτρηση,
- της χρονικής στιγμής στην οποία λήφθηκε η μέτρηση,
- της συχνότητας με την οποία λαμβάνονται μετρήσεις,

- της ακρίβειας προσδιορισμού θέσης των επιμέρους τεχνικών που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για την αξιοποίηση των μετρήσεων.



Σχήμα 12: Ο αλγόριθμος αποδοχής μετρήσεων στο τερματικό για τη διαχείριση της λίστας STAMP

Σε αυτή την περίπτωση, ενδεικτικές τεχνικές προσδιορισμού θέσης που μπορούν να εφαρμοστούν για τα δίκτυα GSM/GPRS, UMTS και WLAN είναι: η CGI και λαμβανόμενη στάθμη ισχύος σήματος του BCCH [178], η CGI και λαμβανόμενη στάθμη ισχύος του CPICH [44] καθώς και η Ekahau [75] αντίστοιχα. Όταν το τερματικό βρίσκεται σε κατάσταση κλήσης (active mode), ο τύπος των μετρήσεων που μπορούν να υπολογιστούν και κατά συνέπεια να αποθηκευτούν (σύμφωνα πάντα με την τυποποιημένη λειτουργία του τερματικού) στην λίστα STAMP είναι μεγαλύτερος (π.χ. Χρονική Προπορεία). Συγχρόνως έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι σύμφωνα με τις οποίες επηρεάζεται η καθιερωμένη λειτουργία του τερματικού με σκοπό να πραγματοποιεί περισσότερες μετρήσεις όταν βρίσκεται σε αδράνεια (idle mode). Το γεγονός αυτό ενισχύει την εφαρμοσιμότητα της μεθόδου STAMP σε όλες σχεδόν τις υπάρχουσες τεχνικές προσδιορισμού θέσης.

Κλειδί για την εμπορική αξιοποίηση της μεθόδου αποτελεί η πρόσθετη λειτουργικότητα που απαιτείται τόσο στο τερματικό όσο και στο δίκτυο για την υλοποίησή της. Τα θέματα αυτά αναλύονται στο κεφάλαιο 6.

3.4 Τεχνικές Προσδιορισμού Θέσης στις οποίες η Μέθοδος STAMP είναι Εφαρμόσιμη

Με χρήση της μεθόδου STAMP, αξιοποιούνται παρελθοντικές μετρήσεις και συνεπώς προηγούμενες θέσεις του τερματικού με σκοπό την αύξηση της ακρίβειας προσδιορισμού θέσης. Ανάλογα με την κατάσταση λειτουργίας του τερματικού (active ή idle) κατά τη φάση δημιουργίας της λίστας STAMP μπορούν να αποθηκευτούν διαφορετικοί τύποι μετρήσεων. Το είδος των αποθηκευμένων και κατά επέκταση διαθέσιμων μετρήσεων καθορίζει τις τεχνικές προσδιορισμού θέσης που είναι εφαρμόσιμες.

- Λειτουργία σε κατάσταση αδρανείας (Idle mode operation):** Σε αυτήν την κατάσταση το τερματικό μετρά και αποθηκεύει ένα περιορισμένο σύνολο παραμέτρων. Αυτές αναφέρονται στη λαμβανόμενη στάθμη ισχύος σήματος από διάφορα σημεία πρόσβασης (π.χ. ισχύς λαμβανόμενου σήματος από κυψέλες GSM). Από τις τεχνικές προσδιορισμού θέσης που σχετίζονται με αυτές τις μετρήσεις, δύναται να εφαρμοστούν στη μέθοδο STAMP οι αναφερόμενες στον Πίνακα 2. Ο συμβολισμός IMLT (Idle Mode Location Technique) απευθύνεται στην τεχνική προσδιορισμού θέσης που είναι εφαρμόσιμη όταν το κινητό είναι σε κατάσταση αδράνειας.

| Δυνατές Τεχνικές Προσδιορισμού Θέσης όταν το Τερματικό Βρίσκεται σε Κατάσταση Αδρανείας | | |
|---|------|--|
| Τεχνική | IMLT | Σχόλιο |
| CGI (2G&3G) | Ναι | Το CGI παρακολουθείται από το τερματικό σε κατάσταση αδρανείας (μέρος της τυπικής λειτουργίας). |
| CGI+TA (2G) | Όχι | Η παράμετρος TA ορίζεται κατά τη διάρκεια κλήσης ή εγκατάστασης κλήσης. Δεν είναι διαθέσιμη όταν το τερματικό βρίσκεται σε κατάσταση αδρανείας. |
| CGI++ (2G) | Ναι | Οι αναφορές μετρήσεων δικτύου (Network Measurements Reports -NMRs) μετρούνται από το τερματικό σε κατάσταση αδρανείας (μέρος της τυπικής λειτουργίας). |
| UL-OTD | Όχι | Μόνο το δίκτυο μπορεί να μετρήσει τις παραμέτρους και αυτό λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια εγκατάστασης συνόδου για την εξυπηρέτηση ΥΘ. |
| AoA | Όχι | Το δίκτυο μετράει τις απαιτούμενες παραμέτρους. |

| | | |
|--------------------------------|-----|---|
| CGI+CPCSS (3G) | Ναι | Οι παράμετροι CGI και CPCSS παρακολουθούνται από το τερματικό σε κατάσταση αδρανείας (μέρος της τυπικής λειτουργίας). |
| E-OTD | Ναι | Σε αυτή την περίπτωση το δίκτυο θα πρέπει να αποθηκεύει παρελθοντικά δεδομένα συγχρονισμού των μονάδων LMUs (τα δεδομένα αυτά θα πρέπει στη συνέχεια να συνδυαστούν με τις παρελθοντικές μετρήσεις του τερματικού). |
| CGI+RTT (3G) | Όχι | Οι μετρήσεις RTT απαιτούν και τη συμμετοχή του δικτύου. |
| Τεχνικές αποτυπωμάτων π.χ. DCM | Ναι | Το τερματικό μπορεί να παρέχει ένα ευρύ σύνολο από μετρήσεις (αποτυπώματα) ώστε να συσχετισθούν με τη βάση δεδομένων. |
| WLAN | Ναι | Μέθοδοι όπως η EkaHau απευθύνονται σε παραμέτρους του δικτύου WLAN και παρακολουθούνται από το τερματικό σε κατάσταση αδρανείας. |
| GPS | Ναι | Σε αυτήν την περίπτωση η συνεχής λειτουργία του δέκτη GPS (ενώ το τερματικό βρίσκεται σε κατάσταση αδρανείας) θα αυξήσει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας. |
| A-GPS | Ναι | Βλ. σχόλια για GPS. |

Πίνακας 2: Εφαρμόσιμες τεχνικές προσδιορισμού θέσης όταν το τερματικό βρίσκεται σε κατάσταση αδράνειας

- **Λειτουργία σε κατάσταση κλήσης (active mode operation):** Σε αυτήν την κατάσταση, το τερματικό πραγματοποιεί όλα τα είδη των μετρήσεων που είναι αξιοποιήσιμες από τις υπάρχουσες τεχνικές προσδιορισμού θέσης.

3.5 Απαιτήσεις για τον σχεδιασμό και την υλοποίηση

Μετά την ανάλυση της μεθόδου STAMP, είναι πλέον εφικτό να διατυπωθούν οι απαιτήσεις για την υλοποίηση της, τόσο στην πλευρά του τερματικού όσο και στην πλευρά του δικτύου (εξυπηρετητής θέσης). Ο Πίνακας 3 περιλαμβάνει τις απαιτήσεις οι οποίες αναφέρονται κυρίως στην ανάπτυξη λογισμικού στο τερματικό και στον εξυπηρετητή. Το μόνο σημείο το οποίο απαιτεί επιπλέον λειτουργικότητα είναι ο εξυπηρετητής θέσης (απαιτείται επιπλέον επεξεργαστική ισχύς για τον υπολογισμό της θέσης).

| Απαιτήσεις της μεθόδου STAMP | | | | |
|---|--|------------|---|---|
| | Λογισμικό | Εξοπλισμός | Επεξεργαστική ικανότητα | Μνήμη |
| Τερματικό | Ναι | Όχι | (a) Υλοποίηση της μεθόδου στο δίκτυο: Όχι (b) Υλοποίηση της μεθόδου στο τερματικό: Ναι | Ελάχιστη Λίστα STAMP (~5kb) ² |
| Δίκτυο (υλοποίηση της μεθόδου στο δίκτυο) | Ναι (στον εξυπηρετητή θέσης) | Όχι | Ναι (στον εξυπηρετητή θέσης) | Όχι |

Πίνακας 3: Οι απαιτήσεις ανάπτυξης της μεθόδου STAMP για τερματικό και δίκτυο

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημανθεί το γεγονός ότι για την μεταφορά της λίστας STAMP στον εξυπηρετητή θέσης θα πρέπει να αξιοποιηθεί κάποιο κατάλληλο πρωτόκολλο επικοινωνίας. Η ανάλυση σχετικά με τις απαιτήσεις του πρωτοκόλλου, την καθυστέρηση στη μετάδοση αλλά και τις προδιαγραφές της επικοινωνίας πραγματοποιείται στο κεφάλαιο 6.

3.5.1 Απαιτήσεις για το Τερματικό

Η λειτουργικότητα που πρέπει να υποστηρίζεται από το τερματικό περιλαμβάνει τα εξής:

1. την ανάκτηση των πληροφοριών που σχετίζονται με τη θέση,
2. την επεξεργασία των μετρήσεων (π.χ. φιλτράρισμα, προσθήκη χρονικής ένδειξης, διαφοροποίησή τους με βάση το δίκτυο από το οποίο προέρχονται κλπ.),
3. την κωδικοποίησή των μετρήσεων με σκοπό να καταλαμβάνουν το ελάχιστο δυνατό όγκο,
4. την αποθήκευσή των μετρήσεων,
5. την ανανέωση των μετρήσεων που είναι αποθηκευμένες με τις πιο πρόσφατες, και
6. την αποστολή τους στο δίκτυο όταν απαιτηθεί.

Με βάση την περιγραφή της μεθόδου STAMP τα βήματα 1 έως και 6 πραγματοποιούνται όταν το τερματικό βρίσκεται σε κατάσταση αδρανείας. Επιπλέον, η εφαρμογή της μεθόδου STAMP έγκειται στην εκτίμηση της θέσης του τερματικού. Συνεπώς, παράγοντες που επηρεάζουν την αποθήκευση και επεξεργασία των μετρήσεων αποτελούν η κινητικότητα του τερματικού (ρυθμός

² Αναφέρεται σε 30 μετρήσεις δικτύου GSM (NMRs). Η απαιτούμενη μνήμη είναι συγκρινόμενη με το μέγεθος που καταλαμβάνει μία χαμηλής ευκρίνειας εικόνα σε ένα τερματικό εξοπλισμένο με φωτογραφική μηχανή. Το μέγεθος της λίστας STAMP αναλύεται διεξοδικά στο κεφάλαιο 6.

με τον οποίο αλλάζει θέση και συνεπώς ρυθμός αλλαγής των μετρήσεων που σχετίζονται με τη θέση), καθώς και η διαθεσιμότητα πόρων (κατάσταση που βρίσκεται το τερματικό). Για κάθε μία από αυτές τις μεταβαλλόμενες παραμέτρους το μέγεθος της επεξεργασίας των μετρήσεων καθώς και το μέγεθος (πλήθος) των μετρήσεων που αποθηκεύονται θα πρέπει να προσαρμόζεται.

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του το τερματικό μπορεί να βρεθεί σε διαφορετικά περιβάλλοντα λειτουργίας και κινητικότητας. Πιο συγκεκριμένα το τερματικό μπορεί να κινείται γρήγορα, αργά ή να είναι σε σταθερή θέση. Δεδομένου ότι η κινητικότητα επηρεάζει την τρέχουσα θέση του τερματικού, η συλλογή των μετρήσεων πρέπει να προσαρμόζεται κατάλληλα. Συνεπώς, σε μία ολοκληρωμένη υλοποίηση το τερματικό θα πρέπει να είναι σε θέση να συλλέγει δεδομένα με βάση την κινητικότητα του χρήστη.

Όταν το τερματικό έχει χαμηλούς πόρους (επεξεργαστική ικανότητα, διαθέσιμη μνήμη, επίπεδο μπαταρίας), η πραγματοποίηση σύνθετης επεξεργασίας ή η αποθήκευση μεγάλου αριθμού μετρήσεων δεν προσφέρεται δεδομένου ότι οδηγεί σε μείωση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών. Συνεπώς, το τερματικό θα πρέπει να προσαρμόζει την περίοδο συλλογής δεδομένων με βάση τους διαθέσιμους πόρους (επεξεργαστική ικανότητα, διαθέσιμη μπαταρία).

Θα πρέπει να σημειωθεί το γεγονός ότι οι παραπάνω απαιτήσεις για την τερματική συσκευή αποτελούν παράγοντες που καθορίζουν το σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής του τερματικού όπως αυτή παρουσιάζεται στο κεφάλαιο που ακολουθεί.

3.5.2 Απαιτήσεις για τον Εξυπηρετητή Θέσης

Ο εξυπηρετητής θέσης θα πρέπει να λαμβάνει τη λίστα STAMP και να μεταφράζει τις μετρήσεις του τερματικού σε θέση η οποία εν συνέχεια θα αξιοποιηθεί για την παροχή υπηρεσιών. Θα πρέπει να τονιστεί ότι στα πλαίσια της διατριβής αυτής δεν θα μελετηθούν τεχνικά θέματα παροχής υπηρεσιών από τον εξυπηρετητή θέσης (π.χ. διεπαφές με εξωτερικές εφαρμογές, θέματα απορρήτου όσον αφορά τη θέση των χρηστών). Συνεπώς, οι απαιτήσεις του εξυπηρετητή θα περιοριστούν σε θέματα που σχετίζονται με τον υπολογισμό της θέσης για την ανάλυση της λειτουργίας και επίδοσης της μεθόδου STAMP. Με βάση τα ανωτέρω οι γενικές απαιτήσεις που θα πρέπει να πληρούνται από τον εξυπηρετητή θέσης είναι:

- Να υποστηρίζει τυποποιημένα πρωτόκολλα για την επικοινωνία με τις τερματικές συσκευές.
- Να επιτρέπει διασυνδεσιμότητα με τις τερματικές συσκευές πάνω από κάθε δικτυακή τεχνολογία (π.χ. διασυνδεσιμότητα πάνω από πρωτόκολλο IP).
- Να αποκωδικοποιεί τις μετρήσεις που περιλαμβάνονται στη λίστα STAMP.
- Να υλοποιεί τις τεχνικές προσδιορισμού θέσης που σχετίζονται με τις μετρήσεις της λίστας STAMP.

- Να υποστηρίζει νέες τεχνικές προσδιορισμού θέσης που αξιοποιούν διαφορετικές μετρήσεις.
- Να υλοποιεί την στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων με βάση τη μέθοδο STAMP.
- Να υποστηρίζει διασυνδέσεις με εξωτερικές βάσεις δεδομένων οι οποίες διαθέτουν τις απαραίτητες δικτυακές πληροφορίες σχετικά με τις τεχνικές προσδιορισμού θέσης (π.χ. ακριβείς θέσεις των σταθμών βάσης για δίκτυο GSM, χάρτες ραδιοκάλυψης).
- Να υποστηρίζει την ταυτόχρονη επικοινωνία με πολλαπλές τερματικές συσκευές.
- Να υπολογίζει τη θέση πολλαπλών κινητών τερματικών ταυτόχρονα.
- Να υποστηρίζει δυνατότητες παράλληλης επεξεργασίας (multi-processing).
- Να υποστηρίζει διασύνδεση με συστήματα GIS ώστε να είναι δυνατή η γραφική απεικόνιση πάνω σε χάρτη της εκτιμώμενης θέσης των τερματικών συσκευών.

Θα πρέπει να σημειωθεί το γεγονός ότι οι παραπάνω απαιτήσεις για τον εξυπηρετητή προσδιορισμού θέσης αποτελούν παράγοντες που καθορίζουν το σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής του όπως αυτή παρουσιάζεται στο κεφάλαιο που ακολουθεί.

3.5.3 Απαιτήσεις για το Πρωτόκολλο Επικοινωνίας

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενες ενότητες, η μέθοδος STAMP εισάγει την ιδέα αξιοποίησης ιστορικών δεδομένων τα οποία αποθηκεύονται στην τερματική συσκευή. Τα δεδομένα αυτά υφίστανται επεξεργασία πριν αποσταλούν στο δίκτυο. Σε αυτή την ενότητα αναλύονται τα θέματα που σχετίζονται με τους τρόπους μεταφοράς των δεδομένων και τα εμπλεκόμενα πρωτόκολλα και τηλεπικοινωνιακά δίκτυα.

Οι προδιαγραφές που έχουν τυποποιηθεί (από τον οργανισμό 3GPP) για την υποστήριξη των τεχνικών και κατά επέκταση ΥΘ στηρίζονται στο επίπεδο ελέγχου (Control Plane) σύμφωνα με το οποίο χρησιμοποιείται το σύστημα σηματοδότησης SS7 (Signalling System No. 7), δηλαδή σε ένα κανάλι ελέγχου. Αυτές οι προδιαγραφές έχουν σχεδιαστεί από τους οργανισμούς που συμμετέχουν στο φορέα τυποποίησης 3GPP. Από την άλλη, η υλοποίηση του συστήματος σε επίπεδο ελέγχου απαιτεί σημαντικές μετατροπές στη δικτυακή υποδομή και κατά συνέπεια αυξημένο κόστος. Μάλιστα με βάση τα σημερινά δεδομένα, οι περισσότεροι πάροχοι διστάζουν να προχωρήσουν σε τέτοιου είδους επενδύσεις. Επιπλέον, η μεταφορά δεδομένων αποθηκευμένων στο τερματικό μέσω των καναλιών σηματοδότησης θα απαιτούσε σημαντικές αλλαγές και στη λειτουργία του δικτύου.

Με βάση τα παραπάνω, έχουν εμφανιστεί νέες προσεγγίσεις που επιτρέπουν τη μεταφορά της πληροφορίας που σχετίζεται με τη θέση. Αυτές στηρίζονται στη μεταφορά των μετρήσεων (στην περίπτωση μας της λίστας STAMP) πάνω από κανάλια μεταφοράς δεδομένων χρησιμοποιώντας τυποποιημένα πρωτόκολλα όπως τα TCP/IP. Με αυτό τον τρόπο οι αλλαγές που απαιτούνται στην

δικτυακή υποδομή είναι ελάχιστες κάτι που συνεπάγεται άμεση ανάπτυξη των τεχνικών με χαμηλό κόστος. Τα σχετικά πρωτόκολλα είναι τα Mobile Location Services (MLS) [76] και Secure User Plane Location (SUPL) [77] τα οποία τυποποιούνται από τον οργανισμό Open Mobile Alliance (OMA). Η ανάλυση και οι προδιαγραφές των πρωτοκόλλων αυτών πραγματοποιούνται στο κεφάλαιο 5.

Συνοψίζοντας οι απαιτήσεις που θα πρέπει να πληρούνται από το πρωτόκολλο μεταφοράς της λίστας STAMP είναι:

- Να βασίζεται σε υπάρχοντα πρότυπα.
- Να είναι απλό.
- Να είναι επεκτάσιμο (ώστε να μπορεί να συμπεριλάβει διαφορετικούς τύπους μετρήσεων/ λίστας STAMP).
- Να είναι ευέλικτο ώστε να μπορεί να υποστηρίξει διαφορετικές τεχνικές προσδιορισμού θέσης.
- Να απαιτεί τις ελάχιστες δυνατές τροποποιήσεις για την υλοποίησή του στις τερματικές συσκευές.
- Να λειτουργεί πάνω από διαφορετικούς τύπους δικτύων (π.χ. GPRS/UMTS) χωρίς να απαιτείται αλλαγή στην δικτυακή υποδομή.
- Να υποστηρίζει μηχανισμούς ασφαλείας κατά την μεταφορά των δεδομένων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

4.1 Εισαγωγή

Σε συνέχεια της περιγραφής της μεθόδου STAMP και των απαιτήσεων που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3, θα προχωρήσουμε στο σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής σε επίπεδο τερματικού και εξυπηρετητή προσδιορισμού θέσης οι οποίες επιτυγχάνουν την υλοποίηση της μεθόδου. Ειδικότερα, ορίζονται οι επιμέρους οντότητες (modules) που συνιστούν την αρχιτεκτονική καθώς και οι λειτουργίες που επιτελούν. Επίσης αποτυπώνεται ο τρόπος που αυτές αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Ο σχεδιασμός της αρχιτεκτονικής βασίστηκε στα κάτωθι κριτήρια:

- Αξιοποίηση υφιστάμενων αρχιτεκτονικών και προτύπων (τόσο για την τερματική συσκευή όσο και για τον εξυπηρετητή θέσης).
- Δυνατότητα ανάπτυξης της μεθόδου STAMP σε συνήθεις τερματικές συσκευές με εμπορικά διαθέσιμα λειτουργικά συστήματα.
- Συμμόρφωση στα πρότυπα λειτουργίας των τερματικών συσκευών.
- Υποστήριξη των τυποποιημένων πρωτοκόλλων επικοινωνίας για τη μεταφορά των μετρήσεων που είναι διαθέσιμα στα σύγχρονα δίκτυα.
- Απλοποιημένη υλοποίηση.
- Δυνατότητα επέκτασης του συστήματος προκειμένου να συμπεριληφθούν νέες τεχνολογίες δικτύων πρόσβασης.
- Δυνατότητα επέκτασης του συστήματος προκειμένου να συμπεριληφθούν πολλαπλές τεχνικές προσδιορισμού θέσης.
- Βέλτιστο έλεγχο της υλοποίησης, π.χ. εντοπισμός και διόρθωση σφαλμάτων, τροποποίηση λειτουργιών κλπ, οπότε και,

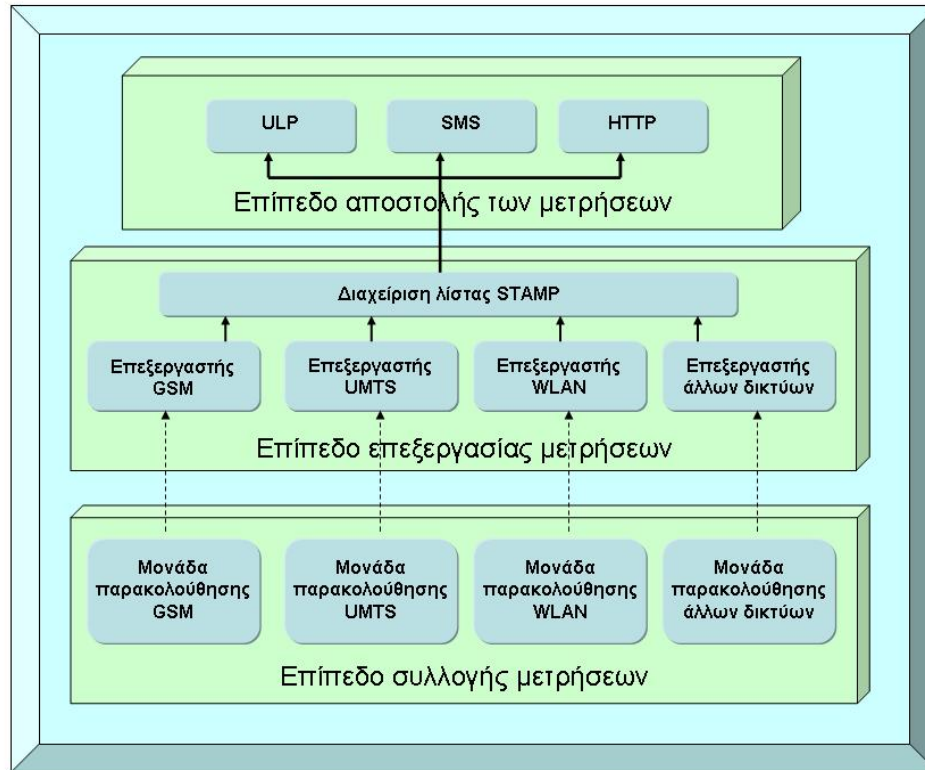
- Πλήρη διαχωρισμό των επιμέρους λειτουργιών και ανάθεση τους σε οντότητες.

4.2 Αρχιτεκτονική Τερματικού

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η προτεινόμενη αρχιτεκτονική του τερματικού στην οποία βασίζεται η υλοποίηση της μεθόδου STAMP. Θα πρέπει να τονιστεί το γεγονός ότι η αρχιτεκτονική σχεδιάστηκε με σκοπό την ικανοποίηση των απαιτήσεων όπως αυτές αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 3 καθώς και στην περιγραφή της μεθόδου. Συγχρόνως, λήφθηκε υπόψη η αρχιτεκτονική και ο τρόπος λειτουργίας των εμπορικά διαθέσιμων τερματικών συσκευών ώστε να διευκολύνεται η υιοθέτηση της μεθόδου από την πλειονότητα των τερματικών συσκευών.

Πιο συγκεκριμένα, η αρχιτεκτονική στηρίχθηκε στις τρεις υφιστάμενες βασικές δυνατότητες και τις αντίστοιχες λειτουργίες του τερματικού: τη λήψη μετρήσεων/δεδομένων, την επεξεργασία, και την αποστολή δεδομένων, οπότε διακρίνονται τα εξής τρία λειτουργικά επίπεδα:

- Το πρώτο επίπεδο αφορά στη συλλογή των μετρήσεων που σχετίζονται με τη θέση του τερματικού (Monitoring Layer) και οι οποίες πρόκειται να αξιοποιηθούν. Η συλλογή πραγματοποιείται μέσα από τις μονάδες παρακολούθησης των δικτύων πρόσβασης (που είναι ούτως ή άλλως διαθέσιμες στις τερματικές συσκευές).
- Το δεύτερο επίπεδο είναι υπεύθυνο για την επεξεργασία των μετρήσεων, τη δημιουργία και την τελική διαμόρφωση της λίστας STAMP. Το λειτουργικό σύστημα καθώς και η μνήμη της συσκευής δύναται να υποστηρίξουν την υλοποίηση των λειτουργιών αυτών.
- Το τρίτο επίπεδο αναφέρεται στην αποστολή των δεδομένων στο δίκτυο (εξυπηρετητή θέσης). Η αποστολή αυτή δύναται να πραγματοποιηθεί μέσα από τις εγγενείς δυνατότητες διαδικτύωσης της τερματικής συσκευής.



Σχήμα 13: Αρχιτεκτονική τερματικού για την υποστήριξη της μεθόδου STAMP

4.2.1 Επίπεδο Συλλογής Μετρήσεων

Στο επίπεδο συλλογής μετρήσεων λαμβάνει χώρα η συλλογή των δεδομένων στα οποία βασίζονται οι τεχνικές προσδιορισμού θέσης. Η συλλογή πραγματοποιείται μέσα από τις μονάδες παρακολούθησης των δικτύων πρόσβασης οι οποίες είναι ούτως ή άλλως διαθέσιμες στις τερματικές συσκευές, και οι μετρήσεις αναφέρονται σε παραμέτρους των δικτύων αυτών (π.χ. πληροφορίες για το ραδιοδίκτυο). Δεδομένου ότι στην υφιστάμενη αρχιτεκτονική των κινητών τερματικών διακρίνονται για κάθε δίκτυο πρόσβασης διαφορετικές οντότητες (λογισμικού, π.χ. διεπαφές εισόδου, στοίβες πρωτοκόλλων και υλικού, π.χ. χώρος στη μνήμη) για την εκτέλεση των αντίστοιχων λειτουργιών, κρίθηκε σκόπιμο στο επίπεδο συλλογής μετρήσεων να υπάρχουν οι αντίστοιχες διακριτές οντότητες/μονάδες. Η διάκριση αυτή κρίθηκε επίσης απαραίτητη και λόγω του γεγονότος ότι στη συνέχεια αυτές οι μετρήσεις προωθούνται στο επίπεδο επεξεργασίας, όπου η μέθοδος STAMP αξιοποιεί τεχνικές προσδιορισμού θέσης που βασίζονται σε δίκτυα διάφορων τεχνολογιών (περιβάλλον B3G) ανάλογα με το δίκτυο από το οποίο προέρχονται οι μετρήσεις. Η διάκριση των οντοτήτων ανά δίκτυο επιλέχθηκε, αφενός λόγω της υφιστάμενης αρχιτεκτονικής των τερματικών και της μεθόδου STAMP, και αφετέρου για να διευκολύνει την επεκτασιμότητα, και να επιτρέπει τον βέλτιστο έλεγχο των λειτουργιών της κάθε οντότητας, για παράδειγμα,

εντοπισμό και διόρθωση σφαλμάτων, τροποποίηση βάση των νεότερων εκδόσεων τυποποίησης για κάθε δίκτυο κοκ.. Με βάση αυτή τη λογική ορίζονται οι ακόλουθες μονάδες παρακολούθησης:

- Μονάδα παρακολούθησης δικτύου GSM/GPRS.
- Μονάδα παρακολούθησης δικτύου UMTS.
- Μονάδα παρακολούθησης δικτύου WLAN.
- Μονάδα που απευθύνεται σε άλλα δίκτυα.

Οι μετρήσεις αυτές (που σχετίζονται με την εκάστοτε τεχνική προσδιορισμού θέσης) περιγράφονται στις ακόλουθες παραγράφους.

4.2.1.1 Μονάδα Παρακολούθησης Δικτύου GSM/GPRS

Η μονάδα παρακολούθησης δικτύου GSM/GPRS είναι υπεύθυνη για την παρακολούθηση των εξής παραμέτρων:

- Αναγνωριστικό δικτύου (Mobile Country Code και Mobile Network Code).
- Κωδικός περιοχής (Location Area Code).
- Αναγνωριστικό της πρωτεύουσας κυψέλης (CI).
- Αναγνωριστικό των γειτονικών κυψελών (Cell IDs ή BCCH και BSIC).
- Λαμβανόμενη στάθμη σήματος (RxLEV) από την πρωτεύουσα και τις γειτονικές κυψέλες.
- Προπορεία χρονισμού (TA).

Η επιλογή των παραμέτρων αυτών έγινε με βάση την τυποποίηση GSM, καθώς οι μετρήσεις αυτές αφορούν τις πιο σημαντικές παραμέτρους που σχετίζονται με τη θέση.

Η μονάδα παρακολούθησης δικτύου GSM/GPRS θα πρέπει να είναι σε θέση να συλλέγει όλη την απαραίτητη πληροφορία είτε όταν το τερματικό βρίσκεται σε κατάσταση αδρανείας, είτε όταν βρίσκεται σε κατάσταση κλήσης. Όταν το τερματικό βρίσκεται σε κατάσταση κλήσης, όλες οι πληροφορίες που σχετίζονται με τη θέση μπορούν να μετρηθούν. Πιο συγκεκριμένα οι παράμετροι που αναφέρθηκαν παραπάνω αποστέλλονται στο δίκτυο μέσω των αναφορών μετρήσεων δικτύου (Network Measurement Reports-NMRs) τα οποία συλλέγονται και στέλνονται κάθε 480msec (τυπική διαδικασία του τερματικού για έλεγχο της μεταπομπής και της εκπεμπόμενης ισχύος).

Αντίθετα, όταν το τερματικό βρίσκεται σε κατάσταση αδρανείας (Idle-attached mode), υπάρχουν οι εξής διαφορές όσον αφορά τη διαθεσιμότητα των ανωτέρω μετρήσεων:

- Η προπορεία χρονισμού (TA) δεν είναι διαθέσιμη.

- Η συχνότητα παρακολούθησης των υπολοίπων μετρήσεων αλλάζει. Σύμφωνα με τα πρότυπα λειτουργίας των τερματικών συσκευών [84],[85],[122], οι μετρήσεις είναι πλέον διαθέσιμες κάθε 3sec με 5sec και εξυπηρετούν κυρίως θέματα επιλογής κυψελών. Η συχνότητα αυτή εξαρτάται από την εκάστοτε υλοποίηση που επιλέγει ο κατασκευαστής. Μάλιστα θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι μετρήσεις της στάθμης ισχύος σήματος αφορούν στην μέση τιμή κατά το ανωτέρω χρονικό διάστημα.

Κατά τη συλλογή των μετρήσεων η μονάδα παρακολούθησης δικτύου GSM/GPRS προσθέτει επίσης μία χρονική ένδειξη (time stamp) σε κάθε μέτρηση. Στη συνέχεια προωθεί τις μετρήσεις στο επίπεδο επεξεργασίας.

4.2.1.2 Μονάδα Παρακολούθησης Δικτύου UMTS

Η μονάδα παρακολούθησης δικτύου UMTS είναι υπεύθυνη για την παρακολούθηση των εξής παραμέτρων:

- Αναγνωριστικό δικτύου (Mobile Country Code και Mobile Network Code).
- Κωδικός περιοχής (Location Area Code).
- Αναγνωριστικό της πρωτεύουσας κυψέλης (CI).
- Αναγνωριστικό των γειτονικών κυψελών.
- CPICH Received Signal Strength Indicator (RSSI CPICH) για την πρωτεύουσα και τις γειτονικές κυψέλες.

Κατά τη συλλογή των μετρήσεων η μονάδα παρακολούθησης δικτύου UMTS προσθέτει επίσης μία χρονική ένδειξη (time stamp) σε κάθε μέτρηση. Στη συνέχεια προωθεί τις μετρήσεις στο επίπεδο επεξεργασίας.

4.2.1.3 Μονάδα Παρακολούθησης Δικτύου WLAN

Η μονάδα παρακολούθησης δικτύου WLAN είναι υπεύθυνη για την παρακολούθηση των εξής παραμέτρων σε δίκτυα IEEE 802.11:

- Της λαμβανόμενης στάθμης ισχύος σήματος ενός καναλιού που εκπέμπει σε σταθερή ισχύ.
- Του ονόματος του σημείου πρόσβασης (Access Point Name).

Είναι απαραίτητο να διευκρινιστεί ότι η λίστα των μετρούμενων παραμέτρων είναι ενδεικτική και αναφέρεται σε ένα υποσύνολο μετρήσεων οι οποίες αξιοποιούνται από τεχνικές οι οποίες εκτιμούν τη θέση με βάση τη λαμβανόμενη ισχύ σήματος. Συγχρόνως, η εξέλιξη των τεχνολογιών στα δίκτυα τοπικής πρόσβασης (π.χ. 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n, κ.α.) συνεπάγεται την

επέκταση των μετρήσεων (παραμέτρων) οι οποίες δύναται να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της θέσης.

Κατά τη συλλογή των μετρήσεων η μονάδα παρακολούθησης δικτύου WLAN προσθέτει επίσης μία χρονική ένδειξη (time stamp) σε κάθε μέτρηση. Στη συνέχεια προωθεί τις μετρήσεις στο επίπεδο επεξεργασίας.

4.2.1.4 Μονάδα Παρακολούθησης άλλων Δικτύων

Η μέθοδος STAMP απευθύνεται και είναι εφαρμόσιμη σε κάθε άλλο δίκτυο και τεχνική προσδιορισμού θέσης. Ως εκ τούτου, η μονάδα παρακολούθησης άλλων δικτύων παρακολουθεί και μετρά παραμέτρους άλλων δικτύων (π.χ. μελλοντικών) που σχετίζονται με τη θέση του τερματικού. Οι μετρήσεις αυτές μπορεί να ακολουθήσουν την ίδια διαδικασία (συλλογή, προεπεξεργασία, αποστολή) όπως και στην περίπτωση των μετρήσεων GSM.

Σε αυτή την κατηγορία μετρήσεων μπορούν να συμπεριληφθούν μετρήσεις από αισθητήρες (που πιθανώς είναι προσαρμοσμένοι στο τερματικό) οι οποίοι σε ορισμένες περιπτώσεις παρέχουν εξαιρετικά χρήσιμες πληροφορίες σχετικές με τη θέση (π.χ. infrared, bluetooth).

4.2.2 Επίπεδο Επεξεργασίας των Μετρήσεων

Το επίπεδο αυτό είναι υπεύθυνο για τη λήψη των μετρήσεων που συλλέχθηκαν από το επίπεδο συλλογής μετρήσεων, την επεξεργασία τους (σε περίπτωση που απαιτείται) και τη διαμόρφωση της τελικής λίστας STAMP πριν την αποστολή της στον εξυπηρετητή θέσης.

Η επεξεργασία των μετρήσεων αφορά στα ακόλουθα:

- Ομαδοποίηση των μετρήσεων.
- Φιλτράρισμα των μετρήσεων σε περίπτωση που υπάρχουν ακραίες τιμές ή για την απομάκρυνση του θορύβου με βάση κάποια πολιτική.
- Συμπλήρωση των μετρήσεων που απουσιάζουν. Η συμπλήρωση μπορεί να πραγματοποιηθεί με βάση προηγούμενες ή εκτιμώμενες τιμές (π.χ. με χρήση γραμμικής παρεμβολής).
- Υπολογισμός μέσης τιμής παραμέτρων.
- Φιλτράρισμα των μετρήσεων με βάση την περίοδο δειγματοληψίας STAMP (σε περιπτώσεις που οι μετρήσεις είναι διαθέσιμες σε μικρότερα χρονικά διαστήματα από το διάστημα δειγματοληψίας).

Οι μετρήσεις που προέρχονται από διαφορετικά δίκτυα πρόσβασης δύναται να επεξεργαστούν με διαφορετικό τρόπο. Για παράδειγμα η περίοδος δειγματοληψίας μπορεί να είναι διαφορετική για κάθε τεχνική προσδιορισμού θέσης ή για κάθε δίκτυο πρόσβασης. Οπότε κρίθηκε σκόπιμο να διακριθούν διαφορετικές μονάδες επεξεργασίας-επεξεργαστές για τις μετρήσεις από διαφορετικά

δίκτυα πρόσβασης. Η διάκριση αυτή εξυπηρετεί και στην επεκτασιμότητα της αρχιτεκτονικής σε μετρήσεις από άλλα δίκτυα, ενώ σε συνδυασμό με την αντίστοιχη διάκριση των οντοτήτων στο επίπεδο συλλογής των μετρήσεων επιτρέπει τον βέλτιστο έλεγχο των λειτουργιών της κάθε οντότητας, π.χ. εντοπισμό και διόρθωση σφαλμάτων, τροποποίηση βάση των νεότερων εκδόσεων τυποποίησης για κάθε δίκτυο κοκ.

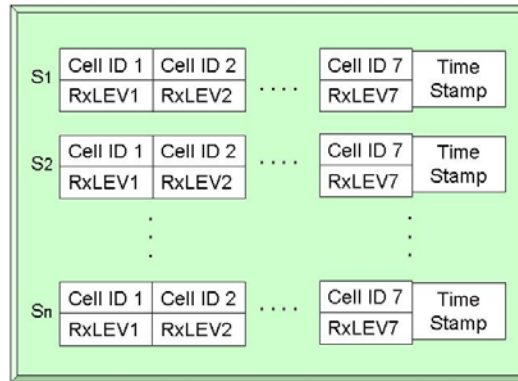
Επιπρόσθετα, οι μετρήσεις που προέρχονται από τους επιμέρους επεξεργαστές πρέπει να διαχειρίζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να ενσωματώνονται σε μία ενιαία λίστα πριν την τελική αποστολή τους. Η διαχείριση αναφέρεται στο τελικό φιλτράρισμα των μετρήσεων, όπως για παράδειγμα απόρριψη των μετρήσεων που σχετίζονται με δίκτυο ή τεχνική προσδιορισμού θέσης χαμηλής ακρίβειας (π.χ. ένα σύνολο από μετρήσεις δικτύου GSM) σε περίπτωση που υπάρχουν διαθέσιμες τιμές που σχετίζονται με άλλες τεχνικές μεγαλύτερης ακρίβειας (π.χ. ένα σύνολο από μετρήσεις οι οποίες προέρχονται από ένα δίκτυο WLAN). Για την εκτέλεση τέτοιων λειτουργιών εισάγεται στην αρχιτεκτονική η μονάδα διαχείρισης της λίστας STAMP.

Θα πρέπει να τονιστεί το γεγονός ότι η διαδικασία επεξεργασίας των μετρήσεων μπορεί να λάβει χώρα και στον εξυπηρετητή θέσης. Το κύριο πλεονέκτημα πραγματοποίησης της προ-επεξεργασίας των μετρήσεων στο τερματικό αποτελεί η ελαχιστοποίηση του όγκου των δεδομένων που πρόκειται να αποσταλούν στο δίκτυο. Από την άλλη πλευρά, η προ-επεξεργασία συνεπάγεται και αύξηση της χρήσης των διαθέσιμων πόρων του τερματικού.

Στο Σχήμα 13 παρουσιάστηκε το επίπεδο επεξεργασίας των μετρήσεων καθώς και η επικοινωνία του με τα άλλα επίπεδα του τερματικού.

4.2.2.1 Επεξεργαστής GSM

Η μονάδα επεξεργασίας των μετρήσεων GSM έχει είσοδο όλες τις παραμέτρους που συλλέχθηκαν από την μονάδα παρακολούθησης δικτύου GSM και με βάση την κατάλληλη δειγματοληπτική περίοδο διαμορφώνει την είσοδο στη λίστα STAMP. Κάθε εγγραφή στη λίστα είναι ένα διάνυσμα S το οποίο αποτελείται από τις παραμέτρους της τεχνικής που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Για παράδειγμα στην τεχνική CGI++ το διάνυσμα S αποτελείται από τις τιμές RxLEV και το αναγνωριστικό (Cell ID) των αντίστοιχων κυψελών (πρωτεύων και έξι γειτονικά) σε κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Παράδειγμα της λίστας STAMP για δίκτυα GSM φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 14: Λίστα STAMP για δίκτυα GSM στην περίπτωση τεχνικής CGI++

Με σκοπό την αύξηση της επάρκειας της μεθόδου STAMP, υπάρχει η δυνατότητα επεξεργασίας των τιμών RxLEV (υπολογίζοντας το μέσο όρο σε ένα μικρό χρονικό διάστημα). Με τον τρόπο αυτό μπορεί να μειωθεί ο θόρυβος που προκαλείται από την πολυδιαδρομική διάδοση και σκέδαση του σήματος όπως θα εξηγηθεί αναλυτικά στο κεφάλαιο 6. Για να επιτευχθεί αυτό μπορεί να εφαρμοστεί στα διανύσματα ένα ορθογώνιο κυλιόμενο παράθυρο:

$$\tilde{S}_n = \frac{1}{W} \sum_{i=n-W+1}^n S_i$$

Όπου W είναι το μήκος του παραθύρου και το S_i εκφράζει τη μετρούμενη στάθμη ισχύος σήματος.

4.2.2.2 Επεξεργαστής UMTS

Η μονάδα επεξεργασίας των UMTS μετρήσεων έχει είσοδο όλες τις μετρήσεις-παραμέτρους που συλλέχθηκαν από την μονάδα παρακολούθησης δικτύου UMTS. Η λίστα STAMP διαμορφώνεται ακολουθώντας κατάλληλη δειγματοληπτική περίοδο για τις επιμέρους μετρήσεις. Η δειγματοληπτική περίοδος είναι ορισμένη με σκοπό τη βελτιστοποίηση της επίδοσης της σχετιζόμενης τεχνικής. Στην περίπτωση της τεχνικής CPICH η λίστα STAMP διαμορφώνεται αντίστοιχα με τη λίστα που παρουσιάστηκε στο Σχήμα 14.

4.2.2.3 Επεξεργαστής WLAN

Ο ρόλος του επεξεργαστή WLAN είναι η επεξεργασία πολλαπλών μετρήσεων που συλλέγονται από τη μονάδα παρακολούθησης δικτύου WLAN. Η επεξεργασία των μετρήσεων αναφέρεται στην ομαδοποίησή τους, στη μεσοστάθμισή τους αν απαιτείται ή ακόμα και στην απόρριψη κάποιων από αυτές. Παράδειγμα μετρήσεων αποτελούν η λαμβανόμενη στάθμη ισχύος σήματος και το αντίστοιχο σημείο πρόσβασης.

4.2.2.4 Επεξεργαστές άλλων Δικτύων

Ο ρόλος των άλλων επεξεργαστών σχετίζεται με τη διαθεσιμότητα και την αξιοποίηση άλλων τεχνολογιών δικτύου πρόσβασης και συμπεριλαμβάνεται για λόγους πληρότητας. Όπως και στην περίπτωση των άλλων επεξεργαστών έχει ως είσοδο τις μετρήσεις από τις μονάδες παρακολούθησης άλλων δικτύων και παρέχει/προωθεί τη διαμορφωμένη λίστα STAMP στο επίπεδο αποστολής των μετρήσεων.

4.2.2.5 Διαχείριση Λίστας STAMP

Όπως προαναφέρθηκε η διαχείριση της λίστας STAMP απαιτείται για τη συγκέντρωση των μετρήσεων από τους επιμέρους επεξεργαστές σε μία ενιαία λίστα πριν την τελική αποστολή τους. Η λίστα STAMP που προκύπτει και κατόπιν αποστέλλεται στον εξυπηρετητή θέσης μπορεί να αποτελείται από μία ή πολλαπλές μετρήσεις με βάση πάντα τη διαθεσιμότητα τους (π.χ. κάλυψη δικτύου). Ανάλογα με τις προδιαγραφές της διαχείρισης της λίστας STAMP, οι μετρήσεις που σε επόμενο στάδιο αποστέλλονται στο δίκτυο μπορεί να διαγραφούν με σκοπό την απελευθέρωση μνήμης στην τερματική συσκευή.

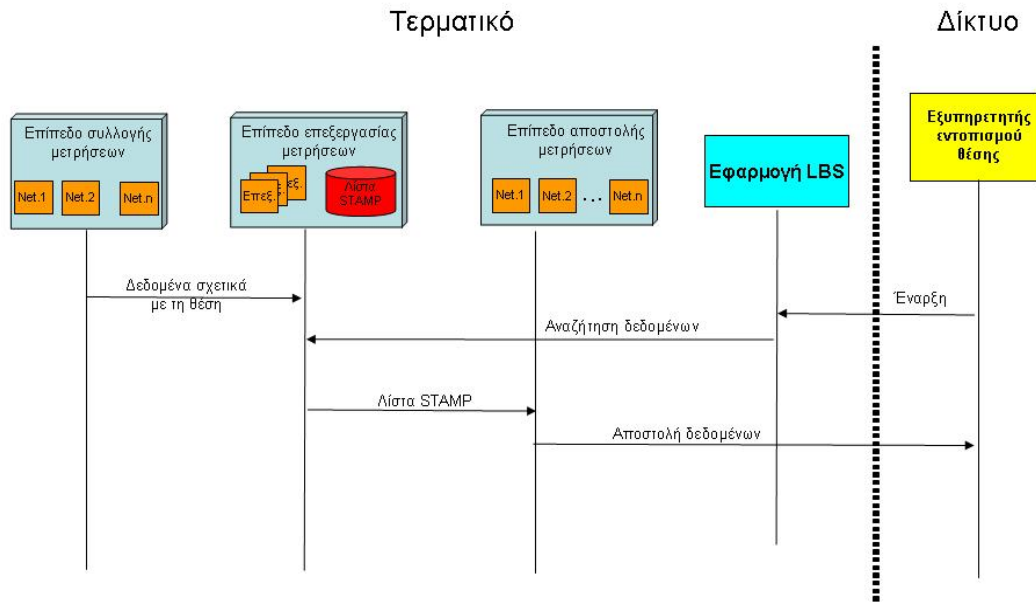
4.2.3 Επίπεδο Αποστολής Μετρήσεων

Η κύρια λειτουργία του επιπέδου αποστολής των μετρήσεων αφορά στην ανάκτηση της λίστας STAMP και στην αποστολή της στον εξυπηρετητή θέσης. Η αποστολή των μετρήσεων μπορεί να διαφέρει σε διάφορα σημεία από υλοποίηση σε υλοποίηση. Έτσι, ανάλογα με τον τύπο της ΥΘ, η αποστολή της λίστας μπορεί να προκληθεί είτε από την ίδια την τερματική συσκευή είτε έπειτα από αίτηση του εξυπηρετητή θέσης.

Η μονάδα αποστολής μετρήσεων μπορεί να χρησιμοποιεί τυποποιημένους τρόπους μετάδοσης όπως SMS, MMS ή πρωτόκολλα μεταφοράς δεδομένων όπως HTTP, ULP, κλπ. Στο επίπεδο αυτό κρίθηκε βέλτιστο να διακριθούν διαφορετικές μονάδες αποστολής των δεδομένων βάση των πρωτοκόλλων μεταφοράς δεδομένων.

4.2.4 Ροή της πληροφορίας

Έχοντας αναλύσει τις επιμέρους οντότητες που συνιστούν την προτεινόμενη αρχιτεκτονική της μεθόδου STAMP, το σχήμα που ακολουθεί περιγράφει τη ροή της πληροφορίας μεταξύ των οντοτήτων (στην τερματική συσκευή). Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η αποστολή των μετρήσεων στον εξυπηρετητή θέσης ακολουθεί την έναρξη μιας συνόδου για την παροχή ΥΘ. Η έναρξη της υπηρεσίας μπορεί να προκληθεί είτε από την τερματική συσκευή είτε από το δίκτυο (εφαρμογές τύπου “pull” και “push”).



Σχήμα 15: Τυπική ροή πληροφορίας στην τερματική συσκευή κατά την έναρξη της μεθόδου STAMP

4.3 Αρχιτεκτονική Εξυπηρετητή Προσδιορισμού Θέσης

Ο εξυπηρετητής προσδιορισμού θέσης αποτελεί εκείνη την οντότητα στην πλευρά του δικτύου στην οποία πραγματοποιείται ο υπολογισμός της θέσης του τερματικού. Η τελική εκτίμηση της θέσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε από εφαρμογές που βρίσκονται στην πλευρά του δικτύου είτε από το ίδιο το τερματικό (εφαρμογές που είναι εγκατεστημένες στο τερματικό). Συνεπώς ως πελάτες (clients) του εξυπηρετητή μπορεί να θεωρηθούν:

1. Τερματικά τα οποία επιθυμούν την πληροφορία της θέσης στην οποία βρίσκονται (π.χ. περίπτωση στην οποία η εφαρμογή της ΥΘ εκτελείται στο τερματικό).
2. Εξυπηρετητές οι οποίοι χρειάζονται τη θέση του τερματικού με σκοπό την παροχή υπηρεσιών.
3. Άλλα τερματικά (π.χ. υπηρεσία εντοπισμού κάποιου φίλου).

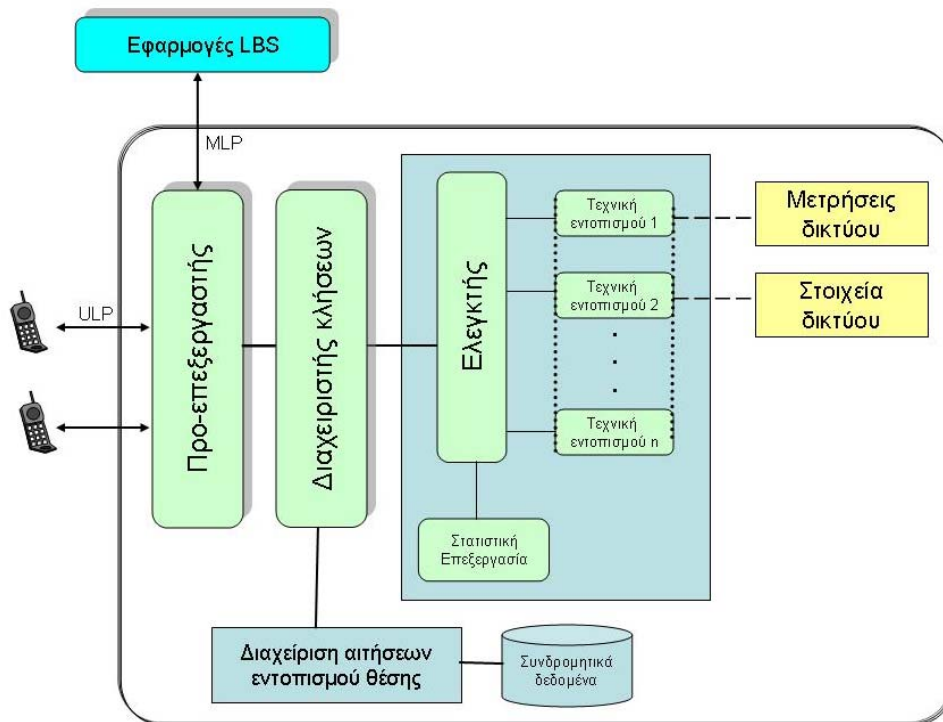
Η αρχιτεκτονική που παρουσιάζεται ακολούθως είναι ενδεικτική ενός τυπικού εξυπηρετητή ο οποίος δύναται να υποστηρίξει τις βασικές λειτουργίες της μεθόδου STAMP με τρόπο αποδοτικό και απλό. Η αρχιτεκτονική σχεδιάστηκε με σκοπό την ικανοποίηση των απαιτήσεων όπως αυτές αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 3.

Η αρχιτεκτονική στηρίχθηκε σε καθιερωμένες αρχές επικοινωνίας μεταξύ ενός εξυπηρετητή και ενός πελάτη. Απαραίτητα στοιχεία της επικοινωνίας αυτής είναι η διεπαφή λήψης των δεδομένων του πελάτη από τον εξυπηρετητή και κατόπιν η αναγνώριση και η εξουσιοδότησή του ώστε να του παρασχεθεί κάποια υπηρεσία από τον εξυπηρετητή. Οπότε και στην περίπτωση της

αρχιτεκτονικής του εξυπηρετητή θέσης κρίθηκε αναγκαία η ύπαρξη ενός προ-επεξεργαστή και μιας μονάδας διαχείρισης κλήσεων για τις λειτουργίες αυτές. Για τη λειτουργία της μονάδας διαχείρισης κλήσεων κρίθηκε αναγκαία η επικοινωνία της με υφιστάμενες βάσεις συνδρομητικών δεδομένων. Μετά την αποδοχή της αίτησης του πελάτη, ακολουθεί η εξυπηρέτησή του που αποτελεί ουσιαστικά την υλοποίηση της υπηρεσίας που παρέχει ο εξυπηρετητής. Το τμήμα αυτό του εξυπηρετητή που υλοποιεί ουσιαστικά τη μέθοδο STAMP στηρίχθηκε στην αλληλουχία των βημάτων της μεθόδου και περιγράφεται στη συνέχεια του κεφαλαίου.

Δεδομένου του αριθμού και της διαφορετικής φύσης των λειτουργιών του εξυπηρετητή θέσης, καθώς και δεδομένου ότι κάθε λειτουργία δύναται να υλοποιηθεί βάσει διαφορετικών πρωτοκόλλων και τεχνικών, κρίθηκε απαραίτητο και σκόπιμο ο σχεδιασμός να οδηγήσει σε διακριτές οντότητες με ξεχωριστές λειτουργίες. Ο ορισμός των διακριτών οντοτήτων επιλέχθηκε εκτός των άλλων και για να διευκολύνει την επεκτασιμότητα, και να επιτρέπει τον βέλτιστο έλεγχο των λειτουργιών της κάθε οντότητας, για παράδειγμα, εντοπισμό και διόρθωση σφαλμάτων, τροποποίηση κάποιας λειτουργίας ή διεπαφής βάση των νεότερων εκδόσεων τυποποίησης χωρίς την απαίτηση αναθεώρησης όλης της αρχιτεκτονικής και υλοποίησης κοκ.

Οι κύριες οντότητες που απαρτίζουν τον εξυπηρετητή όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 16 περιγράφονται στις ενότητες που ακολουθούν.



Σχήμα 16: Αρχιτεκτονική εξυπηρετητή προσδιορισμού θέσης

Η αρχιτεκτονική αυτή βρίσκεται σε πλήρη συμφωνία με τις προδιαγραφές της αρχιτεκτονικής SUPL όπως προδιαγράφεται από τον οργανισμό τυποποίησης OMA [80].

Θα πρέπει να τονιστεί το γεγονός ότι η προτεινόμενη αρχιτεκτονική αποτελεί τη βάση για τη λειτουργία και την επίδειξη της μεθόδου STAMP. Περαιτέρω ανάπτυξη των προσφερόμενων υπηρεσιών και λειτουργιών του εξυπηρετητή είναι δυνατή με τη δημιουργία επιπλέον οντοτήτων ή και την επέκταση των υπαρχουσών. Σε περίπτωση για παράδειγμα εμπορικής ανάπτυξης της μεθόδου οι λειτουργίες που αφορούν στη διαχείριση των προσωπικών δεδομένων (απόρρητο ευαίσθητων πληροφοριών) θα σχεδιάζονται με ιδιαίτερα σχολαστικό τρόπο και μάλιστα με βάση τις προδιαγραφές του οργανισμού τυποποίησης OMA. Ενδεικτικά, για το σκοπό αυτό θα μπορούσε να λειτουργήσει ξεχωριστός εξυπηρετητής. Επιπλέον, οι οντότητες που αφορούν στις μετρήσεις και στα δεδομένα του δικτύου βρίσκουν εφαρμογή στην υλοποίηση συγκεκριμένων μόνο τεχνικών εντοπισμού (δεν καλύπτουν το σύνολο των περιπτώσεων-τεχνικών και δικτύων). Η υλοποίηση των συγκεκριμένων οντοτήτων μπορεί να εξαρτηθεί και από άλλους παράγοντες (και μη τεχνικούς) όπως το ακολουθούμενο επιχειρηματικό μοντέλο ΥΘ. Για παράδειγμα, οι οντότητες που αφορούν στις μετρήσεις και στα δεδομένα του δικτύου μπορεί να αποτελούν τμήμα του εξυπηρετητή (ο οποίος είναι υπό τη διαχείριση ενός τηλεπικοινωνιακού παρόχου) ή εξωτερικές οντότητες πάνω στις οποίες θα υπάρχει ελεγχόμενη πρόσβαση.

4.3.1 Προ-επεξεργαστής

Η οντότητα αυτή του εξυπηρετητή θέσης ικανοποιεί τις ανάγκες επικοινωνίας. Πιο συγκεκριμένα είναι υπεύθυνη για την εγκατάσταση και τον τερματισμό των κλήσεων στον εξυπηρετητή οι οποίες μπορεί να προέρχονται είτε από τερματικές συσκευές είτε από εξυπηρετητές που παρέχουν ΥΘ. Τα πρωτόκολλα μεταφοράς των μηνυμάτων που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό (τυποποιημένα από τον οργανισμό OMA) είναι τα ULP και MLP [78], [79]. Επιπλέον, η οντότητα αυτή είναι υπεύθυνη για την ανάλυση των εισερχόμενων μηνυμάτων (message parsing) και την πιστοποίησή τους με βάση τις προδιαγραφές του πρωτοκόλλου. Η προ-επεξεργασία που επιτελεί η μονάδα αναφέρεται στο μήνυμα το οποίο μεταφέρει την πληροφορία που σχετίζεται με τη θέση και η οποία πρόκειται να αξιοποιηθεί στη συνέχεια. Στις περιπτώσεις που τα εισερχόμενα μηνύματα είναι έγκυρα, μετατρέπονται στην κατάλληλη μορφή ώστε να μεταφερθούν και να επεξεργαστούν περαιτέρω από τη μονάδα που ασχολείται με τη διαχείριση των κλήσεων.

4.3.2 Διαχειριστής Κλήσεων

Η μονάδα αυτή είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση των κλήσεων όσον αφορά τη ροή της πληροφορίας στον εξυπηρετητή θέσης και την πιστοποίηση των εφαρμογών οι οποίες αιτούνται τον προσδιορισμό θέσης των τερματικών. Οι οντότητες που αιτούνται τον προσδιορισμό θέσης των τερματικών μπορεί να είναι είτε τα ίδια τα τερματικά είτε εξυπηρετητές που παρέχουν ΥΘ. Η

μονάδα διαχείρισης των αιτημάτων εξασφαλίζει τη διαχείριση των χρηστών με βάση τα προφίλ τους τόσο για αιτήματα προσδιορισμού θέσης που ξεκινάνε από τα τερματικά (terminal initiated) όσο και από το δίκτυο (network initiated). Επιπλέον, ο ρόλος αυτής της οντότητας είναι η πιστοποίηση και ταυτοποίηση των αιτημάτων για προσδιορισμό θέσης με σκοπό την εξασφάλιση του απορρήτου. Οι συνδρομητικές αυτές πληροφορίες βρίσκονται συνήθως καταχωρημένες σε κεντρικές βάσεις δεδομένων που περιλαμβάνουν τα συνδρομητικά προφίλ όπως οι HLR. Όσον αφορά τα θέματα πιστοποίησης και εμπιστευτικότητας, το πρωτόκολλο ULP (όπως θα αναφερθεί και στο επόμενο κεφάλαιο), μεταφέρει πληροφορίες οι οποίες βοηθούν στην εξασφάλιση της εμπιστευτικότητας και του απορρήτου ευαίσθητων πληροφοριών των χρηστών και της ασφαλούς διαχείρισης των δεδομένων [79]. Θέματα που αφορούν την εξασφάλιση της εμπιστευτικότητας και τη διαφύλαξη των προσωπικών δεδομένων (όπως τυποποιήσεις και πρότυπα) δεν αποτελούν μέρος της παρούσας διατριβής.

4.3.3 Ελεγκτής

Η μονάδα αυτή αποτελεί την καρδιά του εξυπηρετητή όσον αφορά τη διαχείριση των τεχνικών προσδιορισμού θέσης και την επεξεργασία των μετρήσεων που σχετίζονται με τη θέση. Ο ελεγκτής είναι υπεύθυνος για την επιλογή των τεχνικών που πρόκειται να εφαρμοστούν με βάση τα ακόλουθα κριτήρια:

- τη διαθεσιμότητα των τεχνικών (και κατά συνέπεια των δεδομένων που σχετίζονται με το δίκτυο π.χ. διάταξη ΣΒ) στον εξυπηρετητή θέσης,
- την επιθυμητή ακρίβεια προσδιορισμού και ποιότητα θέσης (Quality of Position) (με βάση τις απαιτήσεις της εφαρμογής),
- τη διαθεσιμότητα και το είδος των μετρήσεων που έχουν συλλεχθεί από το τερματικό,
- το φόρτο εργασίας του εξυπηρετητή θέσης.

Κατά την εκτίμηση της θέσης με την προτεινόμενη μέθοδο STAMP δύναται να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα πολλαπλές τεχνικές προσδιορισμού θέσης (hybridization) με σκοπό την αύξηση της αξιοπιστίας και της ακρίβειας εκτίμησης της θέσης. Ο ελεγκτής συνεπώς φροντίζει για τη διαχείριση και εκμετάλλευση των διαθέσιμων δεδομένων τροφοδοτώντας τους αλγόριθμους με μετρήσεις.

Ο ελεγκτής δύναται επίσης να διατηρεί τις πρόσφατες θέσεις των τερματικών που έχουν υπολογιστεί με σκοπό την επαναχρησιμοποίησή τους σε περίπτωση που υπάρξει νέο αίτημα με αντίστοιχες απαιτήσεις όσον αφορά την επιθυμητή ακρίβεια.

Συγχρόνως, ο ελεγκτής είναι υπεύθυνος για τη στατιστική επεξεργασία των θέσεων που παράγονται από τις τεχνικές. Η στατιστική επεξεργασία και οι τεχνικές προσδιορισμού θέσης περιγράφονται στην ενότητα που ακολουθεί.

4.3.4 Τεχνικές Προσδιορισμού Θέσης

Όπως έχει προαναφερθεί, η μέθοδος STAMP (και κατά συνέπεια ο εξυπηρετητής θέσης που την υλοποιεί) υποστηρίζει πολλαπλές τεχνικές προσδιορισμού θέσης. Οι πιθανές τεχνικές που δύνανται να εφαρμοστούν ποικίλουν και περιγράφονται στην ενότητα 3.4. Σε αυτή την ενότητα περιγράφονται οι τεχνικές οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της διατριβής για τη διεξαγωγή πειραμάτων με σκοπό την τελική αποτίμηση της μεθόδου. Συνοπτικά οι τεχνικές αυτές είναι:

- Τεχνική αποτυπωμάτων (Database Correlation Method).
- Στάθμη ισχύος λαμβανόμενου σήματος.
- Τεχνικές προσδιορισμού θέσης για δίκτυα WLAN.

4.3.4.1 Τεχνική Αποτυπωμάτων

Η τεχνική αυτή είναι εφαρμόσιμη σε δίκτυα στα οποία υπάρχει ένα κανάλι το οποίο εκπέμπει σε σταθερή ισχύ (beacon channel), το σήμα του οποίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αναφορά. Σύμφωνα με την τεχνική αυτή στα πλαίσια της διατριβής δημιουργήθηκε ένας χάρτης ραδιοκάλυψης της περιοχής στην οποία πραγματοποιήθηκαν κάποιες δοκιμές προσδιορισμού θέσης. Σε κάθε σημείο του χάρτη αυτού παρουσιάζονται τα αποτυπώματα της λαμβανόμενης ισχύος από τους διάφορους σταθμούς βάσης. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η λαμβανόμενη στάθμη ισχύος του σήματος που προέρχεται από το εξυπηρετών κελί (οι αποχρώσεις του πράσινου αντιστοιχούν σε διαφορετικά επίπεδα ισχύος).



Σχήμα 17: Χάρτης ραδιοκάλυψης

Για τη δημιουργία του χάρτη μπορούν να αξιοποιηθούν είτε μοντέλα διάδοσης του σήματος (propagation models), είτε μετρήσεις πεδίου που προκύπτουν από επισκόπηση της περιοχής (network surveys). Στην περίπτωση μας, ο χάρτης δημιουργήθηκε έπειτα από επισκόπηση της περιοχής των δοκιμών και η συλλογή των μετρήσεων πεδίου πραγματοποιήθηκε με τη χρήση ειδικού εξοπλισμού (τερματικό Sony Ericsson, TEMS Investigation WCDMA 3.0 [81]). Η συλλογή των μετρήσεων μπορεί να πραγματοποιηθεί και με άλλα εμπορικά προϊόντα όπως είναι τα Nemo Outdoor [82], SwissQual- Qualipoc [83], κλπ.. Συγχρόνως, δεδομένου ότι ήταν αδύνατο να πραγματοποιηθούν μετρήσεις σε κάθε σημείο του χάρτη, χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της γραμμικής παρεμβολής. Σύμφωνα με την τεχνική αυτή, ο χάρτης της περιοχής χωρίστηκε σε ίσα τμήματα (τετράγωνα με πλευρά μήκους 20 μέτρων), σε κάθε ένα από τα οποία αντιστοιχούσε μία τιμή λαμβανόμενης στάθμης ισχύος σήματος. Σε περιοχές (τετράγωνα) στις οποίες ήταν αδύνατη η μέτρηση της στάθμης του σήματος (π.χ. μέσα σε κτίρια) η τιμή της ισχύος θεωρήθηκε ίση με το μέσο όρο των μετρούμενων τιμών των γειτονικών περιοχών.

Οι αποθηκευμένες μετρήσεις περιλαμβάνουν τις ακόλουθες πληροφορίες:

- Πληροφορία λαμβανόμενης ισχύος από δίκτυα
 - a. Περίπτωση δικτύου GSM
 - i. Αναγνωριστικό δικτύου (MCC + MNC)
 - ii. RXLev πρωτεύουσας και γειτονικών κυψελών
 - iii. Αναγνωριστικό πρωτεύουσας κυψέλης (CI)
 - iv. Αναγνωριστικό γειτονικών κυψελών (CI ή BCCH + BSIC)
 - b. Περίπτωση δικτύου UMTS
 - i. Αναγνωριστικό δικτύου (MCC + MNC)
 - ii. RCSP από τις κυψέλες που ανήκουν στο ενεργό σύνολο (Active Set)
 - iii. Αναγνωριστικό των κυψελών που ανιχνεύθηκαν (CI)
 - c. Περίπτωση δικτύου WLAN
 - i. Επίπεδο σήματος από τα σημεία πρόσβασης (APs) που ανιχνεύθηκαν
 - ii. Αναγνωριστικό των σημείων πρόσβασης (π.χ. MAC διεύθυνση)
- Θέση αναφοράς (θέση GPS).

Οι μετρήσεις που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της θέσης θα πρέπει να περιέχουν αντίστοιχες πληροφορίες με τα δεδομένα που υπάρχουν στα αποθηκευμένα αποτυπώματα όπως περιγράφονται ανωτέρω. Στην τεχνική αυτή ο προσδιορισμός της θέσης πραγματοποιείται συγκρίνοντας την πληροφορία του σήματος που μετρείται από το τερματικό

προς εντοπισμό με τη την πληροφορία των αποτυπώματων που έχει συλλεχθεί. Η σύγκριση μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους είτε με χρήση πιθανοτήτων είτε ντετερμινιστικά [51].

Για την έρευνά μας χρησιμοποιήθηκε η ντετερμινιστική προσέγγιση της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων (εφαρμόστηκε και στην αναφορά [42]) και περιγράφεται εκτενώς στην ενότητα 10.1. Στην περίπτωση αυτή, το αποτέλεσμα για κάθε αποτύπωμα δίνεται από τον τύπο:

$$d(k) = \sum_i (f_i - g_i(k))^2 + p(k),$$

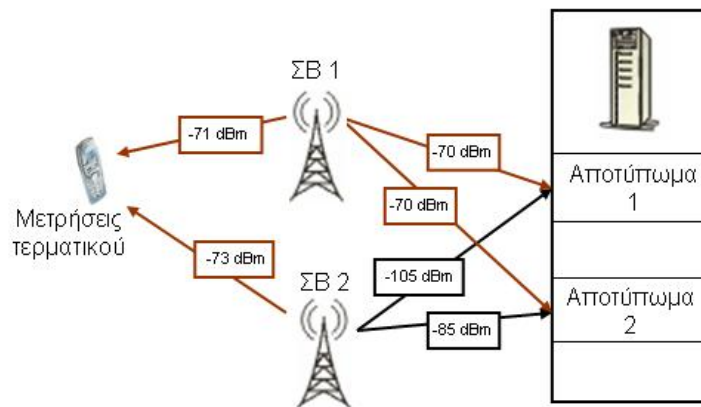
όπου το f_i αντικατοπτρίζει τη λαμβανόμενη στάθμη ισχύος του τερματικού από τον i -οστό ΣΒ και το $g_i(k)$ αναπαριστά την ισχύ του k αποτυπώματος (στη βάση δεδομένων) για τον ίδιο ΣΒ. Η άθροιση πραγματοποιείται για όλο το σύνολο των ΣΒ που έχουν ανιχνευτεί από το τερματικό και τους ΣΒ που περιέχονται στο εκάστοτε αποτύπωμα. Ο όρος $p(k)$ εισάγεται σαν ένα πρόστιμο στο τελικό αποτέλεσμα στην περίπτωση που κάποιος ΣΒ ανιχνεύεται από το τερματικό και δεν υπάρχει στο αποτύπωμα ή υπάρχει στο αποτύπωμα και δεν έχει ανιχνευτεί από το τερματικό. Τελικά, η θέση του αποτυπώματος με τη χαμηλότερη τιμή $d(k)$ εκτιμάται ότι αντιστοιχεί στην πιο πιθανή θέση του τερματικού. Διαφορετικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας σταθμισμένος μέσος όρος των n αποτυπώματων που αντιστοιχούν καλύτερα στις μετρήσεις του τερματικού. Ένα παράδειγμα εφαρμογής της τεχνικής παρουσιάζεται στο Σχήμα 18. Το τερματικό έχει μετρήσεις που αφορούν τη στάθμη ισχύος σήματος από δύο ΣΒ και έστω ότι τα αποτυπώματα τα οποία πρόκειται να συγκριθούν είναι δύο. Εφαρμόζοντας τον ανωτέρω τύπο, το $d(k)$ για το πρώτο αποτύπωμα είναι:

$$d_1(k) = (-1)^2 + (-15)^2 = 226,$$

και για το δεύτερο αποτύπωμα είναι:

$$d_2(k) = (-3)^2 + (-5)^2 = 34$$

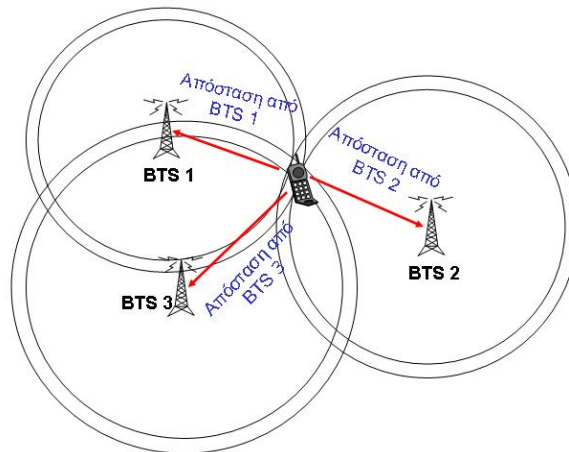
Συνεπώς, το δεύτερο αποτύπωμα κρίνεται ως η πιθανότερη θέση του τερματικού.



Σχήμα 18: Παράδειγμα εφαρμογής της τεχνικής αποτυπώματων

4.3.4.2 Στάθμη Ισχύος Λαμβανόμενου Σήματος

Η τεχνική αυτή, θεωρητική περιγραφή της οποίας περιέχεται στην ενότητα 2.4.3, βασίζεται στην εκμετάλλευση της στάθμης της λαμβανόμενης ισχύος του τερματικού από τους ΣΒ και είναι εφαρμόσιμη τόσο για δίκτυα GSM, UMTS όσο και WLAN. Με βάση αυτή την τεχνική, η απόσταση του τερματικού από τους ΣΒ εκτιμάται με τη χρήση ενός μοντέλου ραδιοδιάδοσης (π.χ. μοντέλο Hata). Με γνωστές αυτές τις αποστάσεις είναι δυνατό να εκτιμηθεί η πιο πιθανή θέση με χρήση της τριγωνοποίησης (trilateration) όπως παρουσιάζεται και στο Σχήμα 19 (περίπτωση εφαρμογής της μεθόδου με τρεις κυψέλες).



Σχήμα 19: Μέθοδος τριγωνοποίησης

Ο υπολογισμός της θέσης πραγματοποιείται ως εξής: Έστω ότι (x_i, y_i) είναι οι συντεταγμένες του Σταθμού Βάσης I (κέντρο του κύκλου), τότε η εξίσωση που ορίζει τον κύκλο ο οποίος αναπαριστά τις πιθανές θέσεις του τερματικού δίνεται από την εξίσωση:

$$Dist_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \quad (1)$$

όπου (x, y) είναι τα σημεία του κύκλου και $Dist_i$ η ακτίνα του. Η θέση του τερματικού μπορεί να υπολογιστεί από την τομή των τριών κύκλων. Στην πράξη παρατηρείται ότι είναι αρκετά σπάνιο οι κύκλοι να τέμνονται σε ένα μοναδικό σημείο. Για να ξεπεραστεί αυτό το εμπόδιο υπολογισμού του σημείου τομής, χρησιμοποιείται η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων, όπως περιγράφεται στο Παράρτημα Α. Για κάθε τυχαίο σημείο (x_n, y_n) στην περιοχή ενδιαφέροντος υπολογίζονται οι αποστάσεις του τυχαίου αυτού σημείου από κάθε κύκλο:

$$F_i = Dist_i - \sqrt{(x_n - x_i)^2 + (y_n - y_i)^2} \quad (2)$$

Στη συνέχεια υπολογίζεται το άθροισμα των τετραγώνων των αποστάσεων αυτών F_i και το σημείο στο οποίο ελαχιστοποιείται το άθροισμα αυτό θεωρείται ότι αντιστοιχεί στην πιο πιθανή θέση του τερματικού.

$$[x, y]_{opt} = \min_{(x, y)} \sum_{i=1}^N F_i^2 \quad (3)$$

Η ιδέα υπολογισμού του αθροίσματος βασίζεται στο γεγονός ότι βέλτιστο σημείο είναι το σημείο στο οποίο η απόσταση του από την πιθανή του θέση με βάση την ισχύ σήματος ελαχιστοποιείται για όλες τις μετρήσεις στάθμης σήματος. Μάλιστα λαμβάνοντας το τετράγωνο των διαφορών στην εξίσωση (3) το πρόσημο δεν λαμβάνεται υπόψη. Για την αύξηση της ακρίβειας της τεχνικής αυτής μπορούν να εφαρμοστούν διαφορετικά βάρη όσον αφορά την απόσταση του σημείου προς εκτίμηση και της απόστασης του από τους κύκλους που ορίζονται με βάση τη λαμβανόμενη ισχύ. Για παράδειγμα όσο πιο ισχυρό είναι το σήμα τόσο πιο σημαντική είναι η πληροφορία για τη στάθμη του.

Σε δίκτυα GSM η πληροφορία για τη λαμβανόμενη στάθμη ισχύος προέρχεται από το κανάλι BCCH (Broadcast Common Channel) ενώ σε δίκτυα UMTS το κανάλι το οποίο χρησιμοποιείται ως αναφορά (beacon) είναι το CPICH (Common Pilot Channel) [44],[45]. Ομοίως, σε δίκτυα WLAN το κανάλι ελέγχου εκπέμπει σε σταθερή ισχύ και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αναφορά.

Η τεχνική αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε περιπτώσεις όπου ο αριθμός των διαθέσιμων Σταθμών Βάσης δεν είναι σταθερός. Επιπλέον, για την αύξηση της ακρίβειας προσδιορισμού θέσης τα μοντέλα ραδιοδιάδοσης που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν δύναται να βελτιστοποιηθούν. Κατά τις δοκιμές της μεθόδου STAMP χρησιμοποιήθηκε ένα βελτιστοποιημένο μοντέλο ραδιοκάλυψης με βάση μετρήσεις της στάθμης ισχύος σήματος που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια προετοιμασίας της τεχνικής.

4.3.4.3 Τεχνικές Προσδιορισμού Θέσης για Δίκτυα WLAN

Στα δίκτυα WLAN δύναται να χρησιμοποιηθούν οι τεχνικές προσδιορισμού θέσης οι οποίες περιγράφηκαν συνοπτικά στην ενότητα 2.4. Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής οι μέθοδοι οι οποίες αναπτύχθηκαν ήταν οι εξής:

Η μέθοδος του σημείου πρόσβασης. Κατά τη μέθοδο αυτή η θέση του τερματικού θεωρείται ότι είναι η θέση του σημείου πρόσβασης (Access Point) από το οποίο το τερματικό λαμβάνει την ισχυρότερη ισχύ. Η μέθοδος αυτή είναι παρεμφερής με την ταυτότητα κυψέλης στα κυψελωτά δίκτυα με τη μόνη διαφορά ότι η ακρίβεια προσδιορισμού θέσης είναι πολύ μεγαλύτερη δεδομένης της μικρής εμβέλειας των σημείων πρόσβασης στα δίκτυα WLAN. Η ταυτότητα του

σημείου πρόσβασης βασίζεται είτε στη διεύθυνση IP είτε στη διεύθυνση MAC του σημείου πρόσβασης.

Η μέθοδος των αποτυπωμάτων. Η μέθοδος αυτή ακολουθεί την ίδια ακριβώς λογική με τη μέθοδο που προαναφέρθηκε στην ενότητα 4.3.4.1.

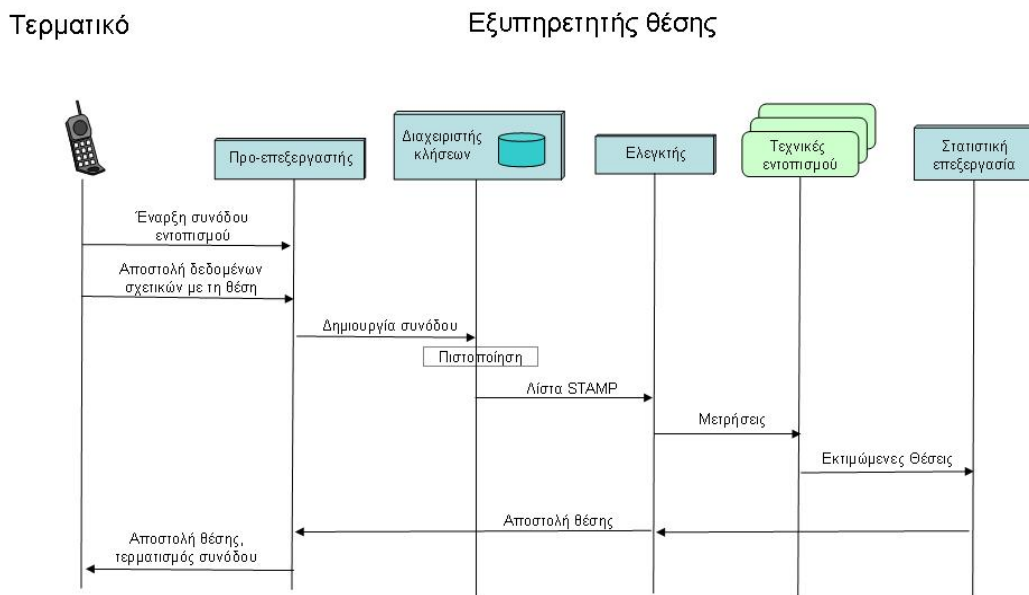
Η μέθοδος της λαμβανόμενης στάθμης ισχύος. Η μέθοδος αυτή ακολουθεί την ίδια ακριβώς λογική με τη μέθοδο που προαναφέρθηκε στην ενότητα 4.3.4.2.

4.3.5 Στατιστική Επεξεργασία

Η οντότητα στατιστικής επεξεργασίας, επικοινωνεί με τον ελεγκτή και μέσω αυτού λαμβάνει τις εκτιμώμενες θέσεις του κινητού τερματικού από τις επιμέρους τεχνικές. Στη συνέχεια αξιοποιεί το σύνολο των θέσεων που έχουν προκύψει (οι οποίες αναφέρονται και στο ιστορικό κίνησης του τερματικού) χρησιμοποιώντας μεθόδους στατιστικής επεξεργασίας. Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής χρησιμοποιήθηκε το φίλτρο Kalman το οποίο αποτελεί ένα από τα καταλληλότερα εργαλεία στατιστικής επεξεργασίας για τον προσδιορισμό της θέσης. Η επεξεργασία αυτή και η εφαρμογή του φίλτρου στη μέθοδο STAMP αναλύεται διεξοδικά στο Παράρτημα Α.

4.3.6 Ροή Πληροφορίας

Κατά τη λειτουργία του εξυπηρετητή θέσης, η ροή της πληροφορίας παρουσιάζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί.



Σχήμα 20: Ροή πληροφορίας στον εξυπηρετητή θέσης στις περιπτώσεις έναρξης συνόδου προσδιορισμού θέσης από το τερματικό

Στην περίπτωση έναρξης συνόδου προσδιορισμού θέσης από το δίκτυο, η εγκατάσταση της συνόδου πραγματοποιείται από το δίκτυο με τους εξής πιθανούς τρόπους:

- Είτε με την αποστολή SMS στο τερματικό
- Είτε με την αποστολή μηνύματος WAP Push [135]
- Είτε με την αποστολή πακέτων IP, δεδομένου ότι το τερματικό βρίσκεται συνδεδεμένο στο δίκτυο (υπάρχει ενεργή σύνδεση μεταφοράς δεδομένων και έχει αποδοθεί στο τερματικό διεύθυνση IP).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΘΕΣΗΣ

5.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό πραγματεύεται θέματα που σχετίζονται με την αρχιτεκτονική και τα πρωτόκολλα μεταφοράς των μετρήσεων (λίστα STAMP) από το τερματικό του χρήστη στον εξυπηρετητή θέσης. Η επιλογή του βέλτιστου τρόπου μεταφοράς βασίζεται σε κριτήρια όπως το μέγεθος της λίστας, η απαιτούμενη κωδικοποίηση της πληροφορίας και η διαλειτουργικότητα ώστε να είναι εφικτή η μεταφορά των μετρήσεων μέσω δικτύων διαφορετικής τεχνολογίας. Συγχρόνως, σε κάθε περίπτωση στόχος μας είναι η αξιοποίηση των υπάρχοντων τυποποιημένων πρωτοκόλλων και αρχιτεκτονικών (3GPP και OMA) ώστε να διευκολύνεται και να απλοποιείται η υλοποίηση της μεθόδου STAMP ελαχιστοποιώντας έτσι τις απαιτούμενες αλλαγές στο δίκτυο. Στη συνέχεια του κεφαλαίου αναλύονται οι μέθοδοι μεταφοράς της πληροφορίας θέσης που εφαρμόζονται σήμερα και καταγράφονται οι τάσεις της αγοράς. Επιπλέον, επισημαίνονται οι προδιαγραφές που πρέπει να πληρούνται για τη μεταφορά της πληροφορίας με τρόπο ασφαλή και αποδοτικό (π.χ. μικρές απαιτήσεις σε διαθέσιμους πόρους, εξασφάλιση του απορρήτου των προσωπικών δεδομένων). Τέλος, περιγράφεται λεπτομερώς η αλληλουχία των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται (καθώς και τα αντίστοιχα πεδία τους) μεταξύ του τερματικού και του εξυπηρετητή θέσης προκειμένου να πραγματοποιηθεί επιτυχώς η επικοινωνία τους.

5.2 Εναλλακτικές Αρχιτεκτονικές: Επίπεδο Ελέγχου και Επίπεδο Χρήστη

Κατά την αρχική φάση σχεδιασμού των υπηρεσιών θέσης οι σημαντικότερες απαιτήσεις που είχαν τεθεί όσον αφορά στον τρόπο μεταφοράς δεδομένων ήταν:

- Υψηλή αξιοπιστία με σκοπό να υποστηριχθούν υπηρεσίες εκτάκτου ανάγκης μέσω τηλεφωνικής κλήσης (π.χ. επείγουσα κλήση στο 112)

- Δυνατότητα υποστήριξης υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας.

Οι απαιτήσεις αυτές οδήγησαν στη δημιουργία δύο εναλλακτικών αρχιτεκτονικών: την Αρχιτεκτονική Επιπέδου Ελέγχου (Control Plane) και την Αρχιτεκτονική Επιπέδου Μεταφοράς Δεδομένων Χρήστη (User Plane). Οι δύο αυτές αρχιτεκτονικές υποστηρίζουν τη μεταφορά πληροφορίας σχετικής με τη θέση του τερματικού στον εξυπηρετητή θέσης, η κάθε μία με διαφορετικό τρόπο [86]. Πιο συγκεκριμένα, η μεταφορά των μετρήσεων μπορεί να υλοποιηθεί είτε αξιοποιώντας τα υπάρχοντα κανάλια σηματοδότησης των δικτύων [87], είτε αξιοποιώντας τα κανάλια τα οποία εγκαθίστανται για τη μεταφορά δεδομένων (IP data bearers).

5.2.1 Αρχιτεκτονική Επιπέδου Ελέγχου (Control Plane)

Η αρχιτεκτονική Control Plane σχεδιάστηκε με σκοπό την υποστήριξη υπηρεσιών εκτάκτου ανάγκης (E-911 στην Αμερική και E-112 στην Ευρώπη). Η υπηρεσία E-911 [88] ήταν η πρώτη ΥΘ και αναπτύχθηκε το 1996. Οι βασικές προδιαγραφές που έπρεπε να πληρεί το πρωτόκολλο επικοινωνίας αφορούσαν στη διαθεσιμότητα και στην αξιοπιστία. Η αρχιτεκτονική Control Plane βασίζεται σε υλοποίηση στο επίπεδο ελέγχου των δικτύων (υπάρχοντα κανάλια σηματοδότησης) και υποστηρίζεται από συγκεκριμένο δικτυακό εξοπλισμό. Κρίνεται σκόπιμο να τονιστεί ότι κατά τη διάρκεια σχεδιασμού της αρχιτεκτονικής Control Plane δεν υπήρχε η σημερινή προοπτική για ανάπτυξη δικτύων βασισμένων εξολοκλήρου στη μεταγωγή και μεταφορά πακέτων (π.χ. IP δίκτυα). Η αντίστοιχη τυποποίηση αναπτύχθηκε από τον οργανισμό 3GPP [89].

Τα κύρια στοιχεία δικτύου τα οποία απαιτούνται για την υλοποίηση της αρχιτεκτονικής είναι τα εξής: Position Determination Entity (PDE)/Serving Mobile Location Center (SMLC) και Gateway Mobile Positioning Center (MPC)/Mobile Location Centre (GMLC) όπως περιγράφονται στην αναφορά [90]. Σε αυτή την αρχιτεκτονική ο κόμβος MPC/GMLC λειτουργεί ως διαμεσολαβητής μεταξύ του δικτύου κινητών επικοινωνιών και των εξυπηρετητών που προσφέρουν τις ΥΘ, ενώ ο κόμβος PDE/SMLC εξυπηρετεί την επικοινωνία μεταξύ του τερματικού και του δικτύου (ανταλλαγή μηνυμάτων με την πληροφορία που σχετίζεται με τη θέση). Όπως προαναφέρθηκε, η πληροφορία αυτή μεταφέρεται πάνω από τα κανάλια της σηματοδότησης. Ο κόμβος MPC/GMLC εξυπηρετεί επίσης τη διαχείριση λειτουργιών όπως είναι η πιστοποίηση του χρήστη, η ασφάλεια στην επικοινωνία, η χρέωση κ.α. δεδομένου ότι η λύση αυτή βασίζεται σε διαύλους σηματοδότησης οι οποίοι αναπτύχθηκαν για την υποστήριξη λειτουργιών όπως η εγκατάσταση, ο έλεγχος και η διαχείριση κλήσεων. Συνεπώς, η ανάπτυξη μιας τέτοιας λύσης απαιτεί την ύπαρξη των κατάλληλων διεπαφών και πρωτοκόλλων σε όλη την έκταση του δικτύου (τόσο στο δίκτυο πρόσβασης όσο και στο δίκτυο κορμού).

Η αρχιτεκτονική αυτή προσφέρει τους μηχανισμούς που απαιτούνται για την έναρξη συνόδου προσδιορισμού θέσης από το δίκτυο (network-initiated). Έτσι, είναι δυνατή η παροχή υπηρεσιών

χωρίς να απαιτείται η διαμεσολάβηση του τελικού χρήστη (π.χ. η διαχείριση στόλου ή ο προσδιορισμός θέσης ενός τερματικού).

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες τυποποιήσεις (από τη 3GPP) οι οποίες αφορούν στην υποστήριξη της αρχιτεκτονικής από δίκτυα GSM και WCDMA, οι οποίες περιλαμβάνουν:

- Τυποποίηση για τον δικτυακό εξοπλισμό: αλλαγές και προσθήκες στους κόμβους BSC, MSC, HLR κ.α.
- Τυποποιήσεις για τις τεχνικές προσδιορισμού θέσης.
- Τυποποιήσεις για τον πρόσθετο απαραίτητο δικτυακό εξοπλισμό SMLC, GMLC.

Εν γένει, η αρχιτεκτονική αυτή παρέχει αξιοπιστία, άμεση απόκριση και ασφάλεια στη μεταφορά των δεδομένων. Ωστόσο, το κόστος ανάπτυξης εμπορικών εφαρμογών με χρήση της αρχιτεκτονικής αυτής θεωρείται εξαιρετικά υψηλό και σε πολλές περιπτώσεις αποτρεπτικό.

5.2.2 Αρχιτεκτονική Επιπέδου Μεταφοράς Δεδομένων (User Plane)

Η αρχιτεκτονική User Plane σχεδιάστηκε με σκοπό την απλουστευμένη ανάπτυξη και εφαρμογή των ΥΘ σε δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Ο όρος «User Plane» υιοθετήθηκε λόγω του ότι η σηματοδότηση που σχετίζεται με την παροχή των ΥΘ (τόσο στο επίπεδο παροχής της υπηρεσίας όσο και στο επίπεδο μεταφοράς της πληροφορίας που σχετίζεται με τον προσδιορισμό θέσης) μεταφέρεται μέσα από τα κανάλια μεταφοράς δεδομένων.

Η αρχιτεκτονική User Plane επιτρέπει την άμεση επικοινωνία μεταξύ της τερματικής συσκευής και του πάροχου ΥΘ μέσω του πρωτοκόλλου μεταφοράς δεδομένων TCP/IP. Ο πάροχος των υπηρεσιών μπορεί να είναι είτε ο τηλεπικοινωνιακός πάροχος, είτε εξωτερικοί φορείς παροχής υπηρεσιών. Με αυτόν τον τρόπο απλοποιείται ο τρόπος επικοινωνίας (μεταφοράς των μετρήσεων που σχετίζονται με την τεχνική προσδιορισμού θέσης) δεδομένου ότι αποφεύγεται η χρήση μηνυμάτων σηματοδότησης τα οποία εξυπηρετούν αποκλειστικά την επικοινωνία ανάμεσα σε συγκεκριμένους κόμβους του δικτύου [86].

Η τυποποίηση της αρχιτεκτονικής User Plane αποτελεί έργο της αντίστοιχης ομάδας εργασίας της OMA (Location Working Group). Σύμφωνα με την τυποποίηση έχει προδιαγραφεί η αρχιτεκτονική Secure User Plane Location (SUPL) [77]. Την τρέχουσα χρονική στιγμή είναι διαθέσιμη η πλήρης έκδοση v1.0 της αρχιτεκτονικής SUPL ενώ στα μέσα του 2007 αναμένεται να εκδοθεί η έκδοση v2.0 η οποία θα υποστηρίζει προηγμένες δυνατότητες όπως διαχείριση επείγουσας κλήσης, VoIP και εφαρμογή σε δίκτυα WLAN.

Σύμφωνα με το πρότυπο αυτό, δεν υπάρχει περιορισμός στις τεχνικές προσδιορισμού θέσης οι οποίες δύναται να υποστηριχθούν. Πιο συγκεκριμένα, με βάση την τελευταία έκδοση (v2.0) του SUPL οι τεχνικές για τις οποίες έχουν οριστεί τα κατάλληλα πεδία για τη μεταφορά πληροφορίας θέσης είναι οι:

- Ταυτότητα κυψέλης.
- Ταυτότητα κυψέλης με πληροφορίες δικτύου.
- E-OTD.
- GPS.
- A-GPS.

Θα πρέπει να αναφερθεί, ότι οι μέχρι σήμερα προτεινόμενες αρχιτεκτονικές που βασίζονται στο επίπεδο μεταφοράς δεδομένων αφορούν μη τυποποιημένες λύσεις και αξιοποιούν τη στοιβία πρωτοκόλλων TCP/IP με σκοπό να υποστηρίξουν όλους τους τύπους των ΥΘ.

Η αρχιτεκτονική αυτή εστιάζεται κυρίως σε υπηρεσίες που προέρχονται από αίτημα του χρήστη (υπηρεσίες τύπου “pull”). Συγχρόνως, υπηρεσίες οι οποίες προέρχονται από αίτημα που δημιουργείται από το δίκτυο (τύπου “push”) είναι επίσης εφικτές και υποστηρίζονται από τη λειτουργικότητα του κόμβου MPC/GMLC [91].

Σε αυτή την αρχιτεκτονική, μέρος της διαδικασίας προσδιορισμού θέσης πραγματοποιείται από το ίδιο το τερματικό με αποτέλεσμα τη μείωση του φόρτου λειτουργίας στο δίκτυο. Τα κύρια πλεονεκτήματα αφορούν:

- Στην ικανότητα άμεσης ενημέρωσης του τερματικού για τη θέση με ελάχιστο κόστος για το δίκτυο.
- Στην ικανότητα αξιοποίησης της πληροφορίας της θέσης από εφαρμογές που βρίσκονται εγκατεστημένες στο τερματικό.
- Στην εύκολη μεταφορά της πληροφορίας της θέσης σε εξυπηρετητές για την παροχή υπηρεσιών.

Συνολικά, τα πλεονεκτήματα της αρχιτεκτονικής User Plane αναφέρονται κυρίως στα ακόλουθα:

- σχετικά χαμηλό κόστος υλοποίησης
- ταχύτητα ανάπτυξης και εμπορικής διάθεσης μιας υπηρεσίας προσδιορισμού θέσης
- δυνατότητα υποστήριξης υβριδικών τεχνικών με την αξιοποίηση διαφορετικού τύπου μετρήσεων.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι τα ανωτέρω πλεονεκτήματα αποτελούν βασικές απαιτήσεις για τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους.

Επιπλέον, η λύση αυτή προσφέρει ευελιξία στο σχεδιασμό των υπηρεσιών καθώς επιτρέπει την υποστήριξη εφαρμογών οι οποίες μπορούν να λειτουργούν είτε στην τερματική συσκευή, είτε στο δίκτυο. Με αυτό τον τρόπο ελαχιστοποιούνται οι απαιτούμενες τροποποιήσεις στο δίκτυο.

5.2.3 Πλεονεκτήματα των Αρχιτεκτονικών Control Plane και Use Plane

Καθίσταται εμφανές από τις προηγούμενες παραγράφους ότι κάθε μία από τις αρχιτεκτονικές παρουσιάζει διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τα οποία συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα [91].

| Κριτήρια σύγκρισης (ταξινομημένα με σειρά προτεραιότητας) | Πλεονεκτήματα της αρχιτεκτονικής User-Plane | Πλεονεκτήματα της αρχιτεκτονικής Control-Plane |
|--|---|---|
| Αρχιτεκτονική και υλοποίηση | <ul style="list-style-type: none"> • Μικρότερη πολυπλοκότητα (λιγότερα δικτυακά στοιχεία) • Χαμηλότερο κόστος ανάπτυξης • Μικρότερη επέμβαση στο υπάρχον δίκτυο | |
| Ανάπτυξη | <ul style="list-style-type: none"> • Χαμηλότερο κόστος ανάπτυξης • Τα κόστη ανάπτυξης δύναται να επωμιστούν και τρίτοι φορείς και όχι αποκλειστικά ο τηλεπικοινωνιακός πάροχος, ενώ ταυτόχρονα ο πάροχος των ΥΘ διατηρεί τον έλεγχο παροχής των υπηρεσιών | Αξιοποιεί το αξιόπιστο δίκτυο σηματοδοσίας SS7 |
| Παροχή υπηρεσιών | | <ul style="list-style-type: none"> • Πιο σύνθετος σχεδιασμός οδηγεί σε περισσότερες επιλογές υπηρεσιών • Εύκολη υλοποίηση υπηρεσιών προσδιορισμού θέσης που ελέγχονται με τη φωνή |

| | | |
|-------------------------------------|--|---|
| Διαχείριση / Αναβάθμιση | <ul style="list-style-type: none"> • Τα λιγότερα δικτυακά στοιχεία οδηγούν σε χαμηλότερα λειτουργικά έξοδα • Οι αναβαθμίσεις επηρεάζουν λιγότερα δικτυακά στοιχεία | |
| Επεκτασιμότητα | Επιτρέπεται σε τρίτους φορείς η ανάπτυξη και παροχή υπηρεσιών με ελάχιστη επίδραση στο υπάρχον δίκτυο | |
| Δυνατότητα παροχής υπηρεσιών | | Επιτρέπεται στους παρόχους τηλεπικοινωνιακών δικτύων η ανάπτυξη και παροχή υπηρεσιών σε συνδρομητές/τερματικά που υποστηρίζουν μόνο υπηρεσίες φωνής |
| Εφαρμοσιμότητα σε μελλοντικά δίκτυα | Ο εξοπλισμός μπορεί να αξιοποιηθεί από οποιαδήποτε τεχνολογία δικτύου πρόσβασης μεταφοράς δεδομένων | |
| Κατανάλωση ενέργειας | | Ελάχιστες απαιτήσεις σε κατανάλωση ενέργειας στο τερματικό |

Πίνακας 4: Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα των αρχιτεκτονικών User Plane και Control Plane

Με βάση την ανάλυση που προηγήθηκε και τις απαιτήσεις της προτεινόμενης μεθόδου STAMP (μεταφορά πολλαπλών μετρήσεων που αναφέρονται σε κατάσταση ηρεμίας του τερματικού, υποστήριξη πολλαπλών τεχνικών εντοπισμού σε υβριδικά σχήματα, χαμηλό κόστος ανάπτυξης) η αρχιτεκτονική User Plane κρίνεται η καταλληλότερη για την υλοποίηση της μεθόδου. Μάλιστα όπως παρουσιάζεται και στη συνέχεια, τα μηνύματα επικοινωνίας που υποστηρίζονται από το πρωτόκολλο ULP διευκολύνουν σημαντικά την ανάπτυξη της μεθόδου.

5.3 Επικοινωνία Τερματικού–Εξυπηρετητή Θέσης με βάση την Αρχιτεκτονική User Plane

Στην ενότητα αυτή περιγράφονται με λεπτομέρεια τα μηνύματα τα οποία ανταλλάσσονται κατά την επικοινωνία του τερματικού με τον εξυπηρετητή θέσης με σκοπό την υλοποίηση της μεθόδου STAMP (έναρξη συνόδου, μεταφορά των μετρήσεων, κ.α.). Τα μηνύματα βασίζονται στο πρωτόκολλο UserPlane Location Protocol (ULP) V2.0 το οποίο και τυποποιείται από την OMA [79]. Για λόγους απλότητας θα αναφερθούν μόνο τα πιο βασικά μηνύματα, τα σημαντικότερα πεδία τους καθώς και η ροή των ανταλλασσόμενων μηνυμάτων που σχετίζονται με την υλοποίηση της μεθόδου STAMP. Επίσης δεν θα γίνει αναφορά σε περιπτώσεις όπου το κινητό βρίσκεται σε περιαγωγή, ενώ συγχρόνως θα θεωρηθεί ότι οι οντότητες SLP και SPC όπως ορίζονται στις προδιαγραφές τις OMA αποτελούν μία οντότητα.

Για την καλύτερη κατανόηση των διαγραμμάτων επικοινωνίας καθώς και των μηνυμάτων, εξηγούνται οι βασικοί όροι που χρησιμοποιούνται από το πρωτόκολλο ULP:

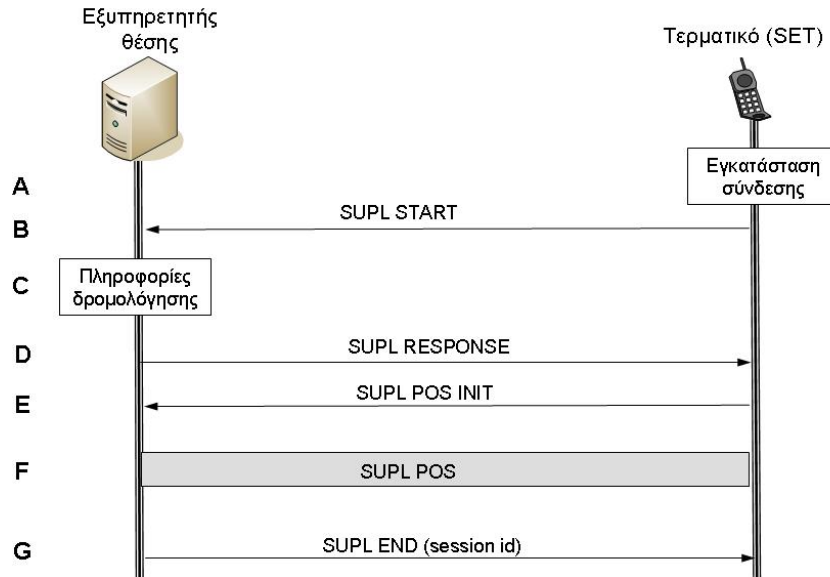
- **SET:** Ορίζεται το τερματικό το οποίο υποστηρίζει την αρχιτεκτονική SUPL και έχει τη δυνατότητα να επικοινωνεί με τον εξυπηρετητή θέσης μέσω του πρωτοκόλλου ULP.
- **SUPL Agent:** Ορίζεται κάποια εξωτερική εφαρμογή η οποία ζητά τη θέση ενός συγκεκριμένου τερματικού από τον εξυπηρετητή θέσης.

Το πρωτόκολλο επικοινωνίας το οποίο χρησιμοποιείται για τη μεταφορά των δεδομένων είναι το TCP/IP. Με βάση το πρότυπο [79] η πόρτα (port number) που έχει δεσμευθεί από τον αρμόδιο οργανισμό διαχείρισης διευθύνσεων στο διαδίκτυο (IANA) για την επικοινωνία είναι η 59910. Ωστόσο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε άλλη πόρτα.

Οι περιπτώσεις ανταλλαγής μηνυμάτων που θα αναλυθούν αφορούν την έναρξη της ΥΘ είτε από το τερματικό (SET Initiated), είτε από το δίκτυο (Network Initiated).

5.3.1 Έναρξη Συνόδου ΥΘ από το Τερματικό

Η ροή των μηνυμάτων στην περίπτωση έναρξης της συνόδου προσδιορισμού θέσης από το τερματικό περιγράφεται αναλυτικά στις προδιαγραφές του πρωτοκόλλου ULP [79]. Για λόγους πληρότητας της διατριβής αναφέρονται στη συνέχεια τα βήματα που ακολουθούνται για την επικοινωνία του τερματικού με τον εξυπηρετητή θέσης ώστε να αναδειχθεί η καταλληλότητα του πρωτοκόλλου ULP για την υποστήριξη της μεθόδου STAMP.



Σχήμα 21: Επικοινωνία τερματικού – εξυπηρετητή θέσης στην περίπτωση έναρξης συνόδου προσδιορισμού θέσης από το τερματικό

- A. Το τερματικό (SET) (ή κάποιος agent που είναι εγκαταστημένος σε αυτό) ξεκινά τη σύνοδο προσδιορισμού θέσης. Το τερματικό συνδέεται στο δίκτυο μεταφοράς δεδομένων (GPRS attach), σε περίπτωση που δεν είναι ήδη συνδεδεμένο.
- B. Το τερματικό χρησιμοποιεί τη γνωστή διεύθυνση του εξυπηρετητή θέσης για να εγκαταστήσει μία ασφαλή σύνδεση (secure IP) με αυτόν. Το τερματικό αποστέλλει ένα μήνυμα SUPL START για να ξεκινήσει η σύνοδος προσδιορισμού θέσης. Το μήνυμα αυτό περιλαμβάνει τις εξής πληροφορίες:
 - I. Την ταυτότητα της συνόδου (session-id),
 - II. Τις δυνατότητες του τερματικού (τεχνικές προσδιορισμού θέσης που υποστηρίζονται αν είναι διαθέσιμες),
 - III. Το αναγνωριστικό της θέσης, και προαιρετικά
 - IV. Την επιθυμητή ποιότητα θέσης (QoP).

Στην περίπτωση που μια παρελθοντικά (στο κοντινό παρελθόν) εκτιμώμενη θέση η οποία ικανοποιεί τα κριτήρια QoP είναι διαθέσιμη στον εξυπηρετητή, τότε η διαδικασία ολοκληρώνεται στο βήμα G. Επίσης, αν κατά τη διάρκεια της συνόδου ο εξυπηρετητής θέσης λάβει ένα SUPL START μήνυμα το οποίο δεν μπορεί να επεξεργαστεί εξαιτίας σφάλματος στο πρωτόκολλο, τότε η διαδικασία τερματίζεται (μήνυμα SUPL END).

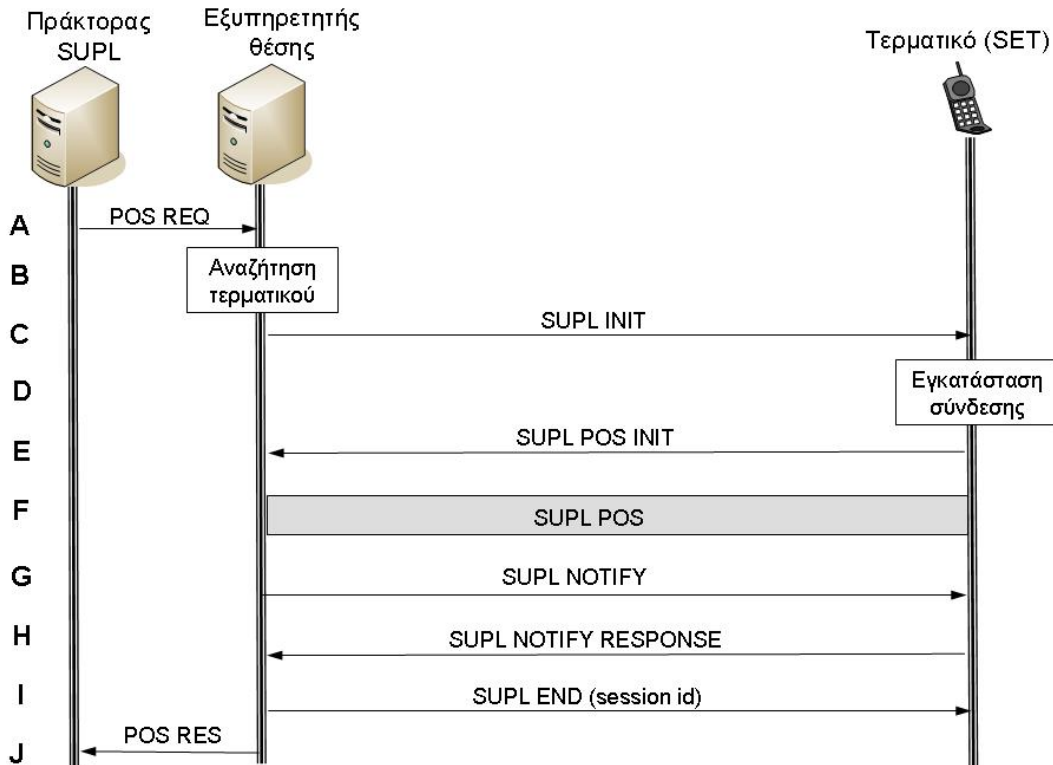
Στην περίπτωση που το τερματικό πρόκειται να χρησιμοποιήσει μία τεχνική προσδιορισμού θέσης στην οποία η μέθοδος STAMP είναι εφαρμόσιμη (π.χ. CGI++), τότε η λίστα STAMP θα πρέπει να συμπεριλαμβάνεται στο αρχικό μήνυμα SUPL START³.

- C. Το βήμα αυτό αναφέρεται σε περιπτώσεις περιαγωγής οι οποίες δεν εξετάζονται στα πλαίσια της παρούσας διατριβής.
- D. Το βήμα αυτό δεν έχει εφαρμογή στην περίπτωση της μεθόδου STAMP και συνεπώς δεν κρίνεται σκόπιμη η περιγραφή του.
- E. Το βήμα αυτό δεν έχει εφαρμογή στην περίπτωση της μεθόδου STAMP και συνεπώς δεν κρίνεται σκόπιμη η περιγραφή του.
- F. Το βήμα αυτό δεν έχει εφαρμογή στην περίπτωση της μεθόδου STAMP και συνεπώς δεν κρίνεται σκόπιμη η περιγραφή του.
- G. Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία υπολογισμού της θέσης (ή προκληθεί κάποια εξαίρεση), ο εξυπηρετητής θέσης αποστέλλει το μήνυμα SUPL END στο τερματικό ενημερώνοντας το ότι η διαδικασία προσδιορισμού θέσης ολοκληρώθηκε. Ανάλογα μάλιστα με την τεχνική προσδιορισμού θέσης που χρησιμοποιήθηκε ο εξυπηρετητής θέσης μπορεί να προσθέσει την τελικά εκτιμώμενη θέση στο τερματικό. Το μήνυμα SUPL END περιλαμβάνει επίσης την ταυτότητα της συνόδου. Το τερματικό με τη σειρά του τερματίζει τη σύνδεση μεταφοράς δεδομένων και αποδεσμεύει τους πόρους του δικτύου.

5.3.2 Έναρξη Συνόδου ΥΘ από το Δίκτυο

Η ροή των μηνυμάτων σε αυτή την περίπτωση περιγράφεται αναλυτικά στις προδιαγραφές του πρωτοκόλλου ULP [79]. Θεωρείται ότι η έναρξη της συνόδου γίνεται από κάποια εφαρμογή η οποία στην ορολογία του οργανισμού τυποποίησης αναφέρεται σαν πράκτορας SUPL. Στο διάγραμμα που ακολουθεί περιγράφονται τα πιο βασικά βήματα αυτής της επικοινωνίας.

³ Με σκοπό την υποστήριξη της μεθόδου STAMP από το πρωτόκολλο ULP, προτάθηκε στον οργανισμό τυποποίησης OMA η επέκταση του πρωτοκόλλου η οποία και έγινε δεκτή [166].



Σχήμα 22: Επικοινωνία τερματικού – εξυπηρετητή θέσης στην περίπτωση έναρξης συνόδου προσδιορισμού θέσης από το δίκτυο

- A. Ο πράκτορας SUPL ξεκινά τη διαδικασία αποστέλλοντας στον εξυπηρετητή θέσης ένα αίτημα που αφορά τη θέση κάποιου τερματικού (POS_REQUEST). Η επικοινωνία αυτή πραγματοποιείται με βάση το πρωτόκολλο MLP [169].
- B. Ο εξυπηρετητής θέσης ελέγχει αν το τερματικό το οποίο πρόκειται να εντοπιστεί υποστηρίζει την αρχιτεκτονική SUPL.
- C. Για την έναρξη της επικοινωνίας (εγκατάσταση συνόδου μεταφοράς δεδομένων) αποστέλλεται ένα μήνυμα SMS στο τερματικό (εναλλακτικά το βήμα αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί και με την αποστολή μηνύματος WAP Push). Αυτό το μέρος της διαδικασίας υλοποιείται μέσω του μηνύματος SUPL_INIT.
- D. Εγκαθίσταται η σύνδοδος πάνω από την οποία θα μεταφερθούν τα δεδομένα (αντίστοιχα και με την περίπτωση έναρξης από το τερματικό).
- E. Το βήμα E είναι αντίστοιχο με την περίπτωση έναρξης συνόδου από το τερματικό με τη μόνη διαφορά ότι χρησιμοποιείται το μήνυμα SUPL_POS_INIT αντί του μηνύματος SUPL_START.
- F. Το βήμα αυτό είναι αντίστοιχο με την περίπτωση έναρξης συνόδου από το τερματικό.

- G. Το βήμα αυτό δεν έχει εφαρμογή στην περίπτωση της μεθόδου STAMP και συνεπώς δεν κρίνεται σκόπιμη η περιγραφή του.
- H. Το βήμα αυτό δεν έχει εφαρμογή στην περίπτωση της μεθόδου STAMP και συνεπώς δεν κρίνεται σκόπιμη η περιγραφή του.
- I. Το βήμα αυτό είναι αντίστοιχο με την περίπτωση έναρξης συνόδου από το τερματικό.
- J. Τέλος, σε περίπτωση επιτυχούς αναζήτησης, ο πράκτορας SUPL ενημερώνεται για τη θέση του τερματικού μέσω του μηνύματος POS RESPONSE.

5.3.3 Μηνύματα για την Υποστήριξη της Μεθόδου STAMP

Όπως προαναφέρθηκε, το πρωτόκολλο ULP δύναται να υποστηρίξει τη μέθοδο STAMP χωρίς την απαίτηση τροποποιήσεων. Για το σκοπό αυτό, κατά τη διάρκεια τυποποίησης του πρωτοκόλλου προτάθηκαν στον οργανισμό τυποποίησης OMA επεκτάσεις στα μηνύματα που ανταλλάσσονται μεταξύ του τερματικού και του εξυπηρετητή θέσης (με σκοπό να συμπεριλαμβάνονται και τα ιστορικά δεδομένα με βάση την αρχή της μεθόδου STAMP). Οι προτάσεις αυτές έγιναν δεκτές και παρουσιάζονται στην αναφορά [166]. Σε αυτή την ενότητα περιγράφεται το περιεχόμενο των μηνυμάτων τα οποία είναι απαραίτητα για την υποστήριξη της μεθόδου STAMP. Πρόκειται για τα SUPL_START και SUPL_POS_INIT. Τα υπόλοιπα μηνύματα τα οποία ανταλλάσσονται κατά την επικοινωνία τερματικού-εξυπηρετητή θέσης αναλύονται στην αναφορά [79]. Επιπρόσθετα, αναλύονται και τα επιμέρους πεδία των μηνυμάτων τα οποία εμπεριέχουν τη χρήσιμη πληροφορία που σχετίζεται με τη θέση.

5.3.3.1 SUPL START

Το μήνυμα SUPL START είναι το αρχικό μήνυμα το οποίο αποστέλλεται από το τερματικό στον εξυπηρετητή θέσης (στην περίπτωση έναρξης συνόδου από το τερματικό). Οι επιμέρους παράμετροι χαρακτηρίζονται είτε σαν υποχρεωτικές (Y) είτε σαν προαιρετικές (Π). Τονίζεται ότι για λόγους απλότητας αναφέρονται μόνο οι παράμετροι εκείνοι που σχετίζονται με την υποστήριξη της μεθόδου STAMP.

| Παράμετρος | Ύπαρξη | Περιγραφή |
|------------------------|--------|--|
| Δυνατότητες τερματικού | Y | Ορίζει τις δυνατότητες του τερματικού. |
| Ταυτότητα θέσης | Y | Ορίζει τις πληροφορίες που σχετίζονται με την εξυπηρετούσα κυψέλη στην περίπτωση κυψελωτών δικτύων ή πληροφορία που σχετίζεται με το σημείο πρόσβασης στην περίπτωση δικτύου WLAN. |
| QoS | Π | Επιθυμητή ποιότητα θέσης. |

| | | |
|-----------------------------------|---|--|
| Πολλαπλές ταυτότητες θέσης | Π | Η παράμετρος αυτή περιλαμβάνει πληροφορίες για τις γειτονικές κυψέλες ή τα γειτονικά σημεία πρόσβασης καθώς και ιστορικά δεδομένα (τόσο για την εξυπηρετούσα όσο και για τις γειτονικές κυψέλες). Οι αποθηκευμένες μετρήσεις που αφορούν τις θέσεις του τερματικού (μέχρι το μέγιστο μέγεθος της λίστας) θα πρέπει να αποσταλούν σαν ένα σύνολο (πίνακας) περιλαμβάνοντας τη χρονική ένδειξη που αντιστοιχεί σε κάθε θέση. |
| Θέση | Π | Ορίζει τη θέση του τερματικού. |

Πίνακας 5: Μήνυμα SUPL START

5.3.3.2 SUPL_POS_INIT

Το μήνυμα SUPL POS INIT είναι αντίστοιχο με το μήνυμα SUPL INIT στις περιπτώσεις όπου η σύνοδος προσδιορισμού θέσης ξεκινά από το δίκτυο.

| Παράμετρος | Ύπαρξη | Περιγραφή |
|-----------------------------------|---------------|--|
| Δυνατότητες τερματικού | Υ | Ορίζει τις δυνατότητες του τερματικού. |
| Βοηθητικά δεδομένα | Π | Ορίζει τα δεδομένα που χρειάζεται το τερματικό από το δίκτυο για την υποβοήθηση του GPS (GPS assistance data). |
| Ταυτότητα θέσης | Υ | Ορίζει τις πληροφορίες που σχετίζονται με την εξυπηρετούσα κυψέλη στην περίπτωση κυψελωτών δικτύων, ή πληροφορία που σχετίζεται με το σημείο πρόσβασης στην περίπτωση δικτύου WLAN. |
| Θέση | Π | Ορίζει τη θέση του τερματικού. |
| Πολλαπλές ταυτότητες θέσης | Π | Η παράμετρος αυτή περιλαμβάνει πληροφορίες για τις γειτονικές κυψέλες ή τα γειτονικά σημεία πρόσβασης καθώς και ιστορικά δεδομένα (τόσο για την εξυπηρετούσα όσο και για τις γειτονικές κυψέλες). Οι αποθηκευμένες μετρήσεις που αφορούν τις θέσεις του τερματικού (μέχρι το μέγιστο μέγεθος της λίστας) θα πρέπει να αποσταλούν σαν ένα σύνολο (πίνακας) περιλαμβάνοντας τη χρονική ένδειξη που αντιστοιχεί σε κάθε θέση. |

Πίνακας 6: Μήνυμα SUPL POS INIT

5.3.4 Παράμετροι Μηνυμάτων

Στην ενότητα αυτή περιγράφονται οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται στα ULP μηνύματα που αναφέρθηκαν ανωτέρω.

5.3.4.1 Αναφορά Μετρήσεων Δικτύου (NMR)

| Παράμετρος | Ύπαρξη | Περιγραφή |
|----------------|--------|--|
| NMR | | Περιγράφει τα περιεχόμενα της τρέχουσας αναφοράς μετρήσεων δικτύου (NMR). Μπορεί να περιλάβει μέχρι 15 στοιχεία. |
| > Στοιχείο NMR | | Τα επόμενα πεδία επαναλαμβάνονται για κάθε κανάλι για το οποίο υπάρχουν διαθέσιμες μετρήσεις. |
| >> ARFCN | Y | Ο αριθμός ARFCN του καναλιού. |
| >> BSIC | Y | Ο αριθμός BSIC του καναλιού. |
| >> RxLEV | Y | Η πραγματικά μετρούμενη ισχύς του καναλιού (σε dBm). Προκύπτει από την τιμή N με την φόρμουλα $X = N - 110$ |

Πίνακας 7: Περιγραφή της παραμέτρου NMR

5.3.4.2 Θέση

| Παράμετρος | Ύπαρξη | Περιγραφή |
|---------------------|--------|--|
| Θέση | | Η παράμετρος αυτή περιγράφει τη θέση του τερματικού. Περιέχει επίσης τη χρονική ένδειξη και προαιρετικά την ταχύτητα του τερματικού. |
| >Χρονική ένδειξη | Y | Η χρονική στιγμή κατά την οποία η θέση υπολογίστηκε. |
| >Εκτίμηση της θέσης | Y | |
| >>Πρόσημο latitude | Y | Υποδεικνύει Βορρά ή Νότο. |
| >>Latitude | Y | Ακέραιος με εύρος τιμών $(0 \dots 2^{23} - 1)$. |
| >>Longitude | Y | Ακέραιος με εύρος τιμών $(-2^{23} \dots 2^{23} - 1)$. |
| >>Βεβαιότητα | Π | Αναπαριστά τη βεβαιότητα με την οποία εκτιμάται η θέση του τερματικού. |

| | | |
|----------------------|---|--|
| >>Πληροφορία ύψους | Π | Σε περίπτωση τρισδιάστατης πληροφορίας για τη θέση. |
| >>>Υψος | Υ | Παρέχει το ύψος σε μέτρα. |
| >>>Αβεβαιότητα ύψους | Υ | Περιέχει την αβεβαιότητα στην εκτίμηση του ύψους. |
| >Ταχύτητα | Π | Περιέχει την εκτιμώμενη ταχύτητα με την οποία κινείται το τερματικό. |

Πίνακας 8: Περιγραφή της παραμέτρου Θέση

5.3.4.3 Ταυτότητα Θέσης

| Παράμετρος | Ύπαρξη | Περιγραφή |
|--------------------|--------|--|
| Ταυτότητα θέσης | - | Περιγράφει την πληροφορία που σχετίζεται με τις κυψέλες (σε κυψελωτά δίκτυα) ή με τα σημεία πρόσβασης (σε δίκτυα WLAN). |
| >Πληροφορία κελιού | Υ | Υποστηρίζονται οι ακόλουθοι τύποι κυψελών: <ul style="list-style-type: none"> • Πληροφορία κυψέλης GSM • Πληροφορία κυψέλης WCDMA • Πληροφορία σημείου πρόσβασης WLAN |
| >Κατάσταση | Υ | Περιγράφει αν η πληροφορία που σχετίζεται με την κυψέλη ή το σημείο πρόσβασης είναι: <ul style="list-style-type: none"> • Μη τρέχουσα • Τρέχουσα • Άγνωστη |

Πίνακας 9: Περιγραφή της παραμέτρου Ταυτότητα θέσης

5.3.4.3.1 Πληροφορία Κυψέλης GSM

Η παράμετρος αυτή περιλαμβάνει πληροφορία που σχετίζεται με μια κυψέλη GSM.

| Παράμετρος | Ύπαρξη | Περιγραφή |
|-----------------------|--------|---------------------------------------|
| Πληροφορία κελιού GSM | - | Ταυτότητα κυψέλης GSM |
| >MCC | Υ | Κώδικας χώρας (Mobile Country Code) |
| >MNC | Υ | Κώδικας δικτύου (Mobile Network Code) |
| >LAC | Υ | Κώδικας περιοχής (Location Area Code) |

| | | |
|---------|---|--|
| >CI | Y | Ταυτότητα κυψέλης |
| >NMR | Π | Αναφορά μετρήσεων δικτύου Network Measurement Report –μέχρι 15 κυψέλες |
| >>ARFCN | Y | Τιμή ARFCN |
| >>BSIC | Y | Τιμή BSIC |
| >>RXLev | M | Τιμή RXLEV, εύρος τιμών: (0..63) |
| >TA | Π | Τιμή προπορείας χρονοισμού |

Πίνακας 10: Περιγραφή της παραμέτρου πληροφορία κυψέλης GSM

5.3.4.3.2 Πληροφορία Κυψέλης WCDMA

Η παράμετρος αυτή περιλαμβάνει πληροφορία που σχετίζεται με μια κυψέλη WCDMA.

| Παράμετρος | Ύπαρξη | Περιγραφή |
|---------------------------|--------|---|
| Πληροφορία κελιού WCDMA | - | Ταυτότητα κυψέλης WCDMA |
| >MCC | Y | Κώδικας χώρας (Mobile Country Code) |
| >MNC | Y | Κώδικας δικτύου (Mobile Network Code) |
| >UC-ID | Y | Ταυτότητα κυψέλης. Αποτελείται από την ταυτότητα RNC και την ταυτότητα κυψέλης. |
| >Πληροφορία συχνότητας | Π | Αναφέρεται στην πληροφορία σχετικά με τη συχνότητα εκπομπής και λήψης. |
| > Primary Scrambling Code | Π | Primary Scrambling Code |
| >Λίστα μετρούμενων τιμών | Π | Αναφορά μετρήσεων δικτύου WCDMA (NMR) ([164]). |

Πίνακας 11: Περιγραφή της παραμέτρου πληροφορία κελιού WCDMA

5.3.4.4 Πολλαπλές Ταυτότητες Θέσης

| Παράμετρος | Ύπαρξη | Περιγραφή |
|----------------------------|--------|---|
| Πολλαπλές ταυτότητες θέσης | - | Η παράμετρος αυτή περιλαμβάνει ταυτότητες θέσης (όπως ορίζονται στη σχετική παράμετρο) και τη σχετική χρονική τους ένδειξη. Αν υπάρχει η παράμετρος Σχετική Χρονική Ένδειξη, τότε οι ταυτότητες θέσης αναφέρονται σε ιστορικές θέσεις. Αν η παράμετρος Σχετική Χρονική Ένδειξη είναι απύσασ, τότε η ταυτότητα θέσης αντιστοιχεί σε τρέχοντα δεδομένα. |
| > Ταυτότητα θέσης | Υ | Η παράμετρος αυτή περιγράφηκε ανωτέρω |
| >Σχετική Χρονική Ένδειξη | Υ | Χρονική ένδειξη της ταυτότητας θέσης σχετική με την τρέχουσα ταυτότητα θέσης. Μετρίεται σε βήματα του 0,01sec. Αν υπάρχει η παράμετρος Σχετική Χρονική Ένδειξη, τότε οι ταυτότητες θέσης αναφέρονται σε ιστορικές θέσεις. Αν η παράμετρος Σχετική Χρονική Ένδειξη είναι απύσασ, τότε η ταυτότητα θέσης αντιστοιχεί σε τρέχοντα δεδομένα. |

Πίνακας 12: Περιγραφή της παραμέτρον πολλαπλές ταυτότητες θέσεων

5.3.5 Εξέλιξη της Αρχιτεκτονικής SUPL

Η αρχιτεκτονική SUPL (και τα επιμέρους πρωτόκολλα που υποστηρίζονται όπως για παράδειγμα το πρωτόκολλο ULP) είναι εφαρμόσιμη σε ασύρματα δίκτυα μεταγωγής πακέτου διαφόρων τεχνολογιών. Λαμβάνοντας υπόψη τις τεχνολογικές εξελίξεις και τη μετάβαση των υπηρεσιών που επιτελούνται στο χώρο των τηλεπικοινωνιών σε αρχιτεκτονικές δικτύων που βασίζονται στο πρωτόκολλο IP, καθίσταται σαφές ότι η τυποποίηση και εξέλιξη της αρχιτεκτονικής βρίσκεται σε μία ιδιαίτερα ενεργή φάση. Η τυποποίηση όπως προαναφέρθηκε πραγματοποιείται από τον οργανισμό OMA και ξεκίνησε τα τέλη του 2003. Τα μέλη που συμμετέχουν στον οργανισμό είναι κυρίως κατασκευαστές τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού, τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι και πάροχοι υπηρεσιών. Μερικές από τις μεγαλύτερες εταιρίες οι οποίες συμμετέχουν είναι οι: Vodafone group, NOKIA, Cambridge Positioning Systems, Sirf, Motorola, Qualcomm, Ericsson κ.α..

Η πρώτη έκδοση της αρχιτεκτονικής SUPL v1.0 ολοκληρώθηκε τον Ιούλιο του 2005. Η δεύτερη έκδοση αναμένεται να ολοκληρωθεί το Μάρτιο του 2007. Στη δεύτερη έκδοση έχουν συμπεριληφθεί και οι προτεινόμενες τροποποιήσεις σύμφωνα με τις οποίες δύναται να

αξιοποιηθούν παρελθοντικά δεδομένα για την αύξηση της ακρίβειας προσδιορισμού θέσης. Μερικοί από τους στόχους προς επίτευξη (μέχρι την ολοκλήρωση της έκδοσης) αποτελούν:

- Υποστήριξη παραμέτρων για τον προσδιορισμό θέσης σε δίκτυα WLAN,
- Λειτουργία πάνω από οποιοδήποτε τεχνολογία δικτύου (GSM, CDMA, WLAN, TCP/IP, SMS,...),
- Έναρξη συνόδου προσδιορισμού θέσης ενός τερματικού από άλλο τερματικό,
- Συμμόρφωση με τα υπάρχοντα πρότυπα 3GPP και IEEE,
- Υποστήριξη και προτεραιοποίηση αιτήσεων προσδιορισμού θέσης εκτάκτου ανάγκης,
- Υποστήριξη αιτημάτων προσδιορισμού θέσης με βάση κάποιο συμβάν (event-triggered location request).

Οι πρόσφατες επεκτάσεις του προτύπου παρουσιάζονται στις αναφορές [137] και [138].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ STAMP

6.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται θεωρητικά οι παράμετροι που επηρεάζουν την επίδοση της μεθόδου. Πιο συγκεκριμένα, περιγράφονται οι σχεδιαστικές παράμετροι οι οποίες αναφέρονται σε θέματα όπως οι απαιτήσεις σε ρυθμούς μετάδοσης για τη μεταφορά των μετρήσεων, το μέγεθος της λίστας STAMP, το ρυθμό δειγματοληψίας των μετρήσεων, τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για τη στατιστική επεξεργασία κ.α. Επιπρόσθετα, η ανάλυση αυτή έχει ως στόχο την εκτίμηση της ευαισθησίας, για τεχνικές που βασίζονται στη λαμβανόμενη στάθμη ισχύος σήματος, ως προς επιμέρους παραμέτρους που σχετίζονται με την εκτίμησης της θέσης.

Αρχικά, παρουσιάζονται οι μετρικές εκτίμησης της επίδοσης της μεθόδου (Key Performance Indicators) ενώ στη συνέχεια αναλύονται οι σχεδιαστικές παράμετροι της μεθόδου. Στη συνέχεια αναλύεται η ευαισθησία και η επάρκεια της μεθόδου σε μία μεγάλη κατηγορία τεχνικών προσδιορισμού θέσης που βασίζονται σε μετρήσεις της στάθμης της λαμβανόμενης ισχύος. Τέλος, αναλύεται το θεωρητικό υπόβαθρο το οποίο στηρίζει την αποτελεσματικότητα της μεθόδου.

6.2 Μετρικές Εκτίμησης της Επίδοσης

Οι πιο σημαντικές μετρικές εκτίμησης της επίδοσης βάσει των οποίων αναλύεται η επάρκεια καθώς και η εφαρμοσιμότητα της μεθόδου είναι οι παρακάτω:

- Συνολικός χρόνος απόκρισης (εκτίμησης θέσης)
- Απαιτήσεις μνήμης τερματικής συσκευής
- Απαιτήσεις μνήμης εξυπηρετητή θέσης
- Όγκος δεδομένων που ανταλλάσσονται μεταξύ της τερματικής συσκευής και του εξυπηρετητή θέσης (απαιτούμενοι ρυθμοί μετάδοσης)
- Απαιτήσεις επεξεργαστικής ικανότητας τερματικής συσκευής

- Απαιτήσεις επεξεργαστικής ικανότητας εξυπηρετητή θέσης
- Ακρίβεια και πιθανότητα ακρίβειας προσδιορισμού θέσης:
 - Διάφοροι μετρητές: π.χ. μέσο τετραγωνικό σφάλμα, αθροιστική κατανομή πιθανότητας
- Αξιοπιστία
 - Ποσοστό επιτυχημένων προσπαθειών προσδιορισμού θέσης
- Καθυστέρηση
 - Υπολογισμένη από τη στιγμή που πραγματοποιείται ένα αίτημα προσδιορισμού θέσης μέχρι την απόκριση της εκτιμώμενης θέσης
- Κόστος
 - Κόστος εμπορικής ανάπτυξης
 - Λειτουργικά κόστη
- Συμμόρφωση με τα πρότυπα και τις τυποποιήσεις:
 - Υποστήριξη από τα υπάρχοντα πρότυπα
 - Δυνατότητα επέκτασής τους.

Μερικές από τις μετρικές αυτές οι οποίες αναφέρονται στο τερματικό, στον εξυπηρετητή θέσης και στο δίκτυο αναλύονται στη συνέχεια.

Τερματική συσκευή:

- Μέγεθος εφαρμογής (απαιτήσεις σε μνήμη της εφαρμογής που θα εκτελείται στο τερματικό)
- Όγκος δεδομένων που θα αποθηκεύονται στο τερματικό – αριθμός μετρήσεων που σχετίζονται με τη θέση (απαιτήσεις μνήμης)
- Επεξεργαστικό φορτίο (απαιτούμενη επεξεργαστική ικανότητα)
- Κατανάλωση ισχύος κατά τη λειτουργία της εφαρμογής (ανά μονάδα χρόνου)
- Τροποποιήσεις του εξοπλισμού (hardware)
- Τροποποιήσεις του λογισμικού (ή εγκαταστάσεις εφαρμογών)
- Πλατφόρμες που μπορούν να υποστηρίξουν την εφαρμογή (π.χ. λειτουργικό σύστημα Symbian Series 6.0 - επηρεάζει την ευκολία αποδοχής από την αγορά.)

Εξυπηρετητής θέσης:

- Επεξεργαστικό φορτίο (απαιτούμενη επεξεργαστική ισχύς)

- Κλιμάκωση (σαν συνάρτηση του αριθμού των αιτημάτων προσδιορισμού θέσης που μπορούν να υποστηριχτούν ταυτόχρονα)

Δίκτυο:

- Όγκος δεδομένων που ανταλλάσσονται μεταξύ τερματικού και εξυπηρετητή θέσης (ανά αίτηση προσδιορισμού θέσης)
- Αριθμός μηνυμάτων που ανταλλάσσονται μεταξύ τερματικού και εξυπηρετητή θέσης.
- Τροποποιήσεις εξοπλισμού - hardware (αν απαιτούνται)
- Τροποποιήσεις λογισμικού - software (αν απαιτούνται)

6.3 Σχεδιαστικές Παράμετροι

6.3.1 Μέγεθος της Λίστας STAMP

Όπως προαναφέρθηκε, ο όγκος των δεδομένων που ανταλλάσσονται μεταξύ του τερματικού και του εξυπηρετητή θέσης κατά τη διάρκεια μιας συνόδου προσδιορισμού θέσης αποτελεί μία σημαντική σχεδιαστική παράμετρο της μεθόδου. Σε αυτή την ενότητα επιτυγχάνεται μια εκτίμηση του όγκου των δεδομένων που μεταφέρονται βασισμένη κυρίως στο μέγεθος της λίστας STAMP. Θα πρέπει να τονιστεί ότι η σύνοδος προσδιορισμού θέσης μπορεί να προκληθεί είτε από το δίκτυο είτε από το τερματικό.

Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η μέθοδος STAMP είναι εφαρμόσιμη σε πολλές τεχνικές προσδιορισμού θέσης, το μέγεθος της λίστας STAMP ποικίλει ανάλογα με το είδος των μετρήσεων που συλλέγονται και οι οποίες σχετίζονται με τη θέση (π.χ. στάθμη ισχύος, χρονικές διαφορές). Με σκοπό την απλοποίηση της ανάλυσής, θεωρούμε ένα ενδεικτικό σενάριο στο οποίο η τεχνική προσδιορισμού θέσης που εφαρμόζεται είναι η CGI++.

Ο αριθμός των bytes (N_{bytes}) που απαιτούνται για μία απλή καταχώρηση (διάνυσμα μετρήσεων) στη λίστα STAMP μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση:

$$N_{bytes} = N_{BTS} \times (B_{CID} + B_{RxLEV}) + B_{timestamp} \quad (1)$$

όπου N_{BTS} είναι ο αριθμός των ΣΒ που είναι στη λίστα των γειτονικών κυψελών, B_{CID} είναι ο αριθμός των bytes που περιγράφουν την ταυτότητα της κυψέλης (Cell ID), B_{RxLEV} είναι ο αριθμός των bytes που καταδεικνύουν τη λαμβανόμενη στάθμη σήματος από κάθε ΣΒ και $B_{timestamp}$ είναι ο αριθμός των bytes που περιγράφουν τη χρονική ένδειξη (στιγμή διεξαγωγής της μέτρησης).

Έστω ότι για την εκτίμηση της θέσης λαμβάνονται υπόψη μετρήσεις από επτά ΣΒ (περίπτωση μέγιστου αριθμού ΣΒ καθώς η τεχνική CGI++ δουλεύει και με πληροφορία από δύο μόνο ΣΒ). Η ταυτότητα της κυψέλης και η στάθμη του λαμβανόμενου σήματος αντιστοιχούν σε δύο και

τέσσερα bytes αντίστοιχα και η χρονική ένδειξη αντιστοιχεί σε επτά bytes. Η λίστα STAMP που περιέχει N μετρήσεις (που αντιστοιχούν σε παρελθοντικές στιγμές) έχει μέγεθος:

$$S = 49 \times N \text{ bytes} \quad (2)$$

Η περίπτωση αυτή αποτελεί το σενάριο μεγίστου μεγέθους της λίστας STAMP. Θα ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθούν λιγότεροι ΣΒ και ως εκ τούτου κάθε μέτρηση να περιγράφεται με μικρότερο αριθμό bytes. Επιπλέον, ένας άλλος τρόπος μείωσης του αριθμού των bytes που μπορεί να χρησιμοποιηθεί αφορά την κωδικοποίηση της χρονικής ένδειξης. Σε αυτή την περίπτωση οι διαδοχικές χρονικές μετρήσεις θα μπορούσαν να αντιστοιχούν σε ένα μετρητή (δεδομένου ότι οι μετρήσεις λαμβάνονται σε χρονικές στιγμές που είναι πολλαπλάσιες μιας σταθερής περιόδου).

Λαμβάνοντας υπόψη την ύπαρξη πολλαπλών δικτύων πρόσβασης όπως GSM, UMTS και WLAN, μπορούν να εφαρμοστούν οι ακόλουθες επιλογές με σκοπό τον περιορισμό του μεγέθους της λίστας STAMP.

Διαφορετικές λίστες μετρήσεων: Οι μετρήσεις είναι δυνατό να αποθηκεύονται σε διαφορετικές λίστες ανάλογα με το δίκτυο πρόσβασης στο οποίο αναφέρονται. Το μέγεθος κάθε λίστας μπορεί να είναι της ίδιας τάξης S , χωρίς να υπάρχουν πρόσθετες απαιτήσεις αποθηκευτικού χώρου. Αυτή η επιλογή επιτρέπει την αποστολή των μετρήσεων που σχετίζονται με ένα μόνο δίκτυο πρόσβασης ή μία μόνο τεχνική προσδιορισμού θέσης, ιδίως στην περίπτωση όπου ο εξυπηρετητής θέσης υποστηρίζει περιορισμένο αριθμό τεχνικών προσδιορισμού θέσης και δικτύων.

Απλή λίστα μετρήσεων: Στην περίπτωση όπου όλες οι μετρήσεις αποθηκεύονται στην ίδια λίστα, πρέπει να διευκολύνεται με κάποιο τρόπο ο διαχωρισμός των μετρήσεων που προέρχονται από διαφορετικά δίκτυα. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι ο εξυπηρετητής θέσης πρέπει να γνωρίζει το δίκτυο στο οποίο αναφέρεται η κάθε μέτρηση έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί η κατάλληλη τεχνική προσδιορισμού θέσης. Απαραίτητη είναι επομένως η χρήση ενός δείκτη σε κάθε μέτρηση ο οποίος να υποδεικνύει το δίκτυο πρόσβασης από το οποίο προήλθε η μέτρηση.

Η τελική προσέγγιση του μεγέθους της λίστας όπως φαίνεται από την εξίσωση (2) βασίζεται επίσης στον αριθμό των απαιτούμενων μετρήσεων N (για την βελτίωση της ακρίβειας του προσδιορισμού θέσης) που αποτελούν τη λίστα STAMP. Ο αριθμός αυτός αναλύεται στην ενότητα 7.2.2.1 όπου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα προσομοιώσεων. Με βάση τα αποτελέσματα αυτά φαίνεται ότι ο αριθμός των μετρήσεων μπορεί να παραμείνει σε χαμηλά επίπεδα της τάξης των 30-40 μετρήσεων.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί το γεγονός ότι με βάση τα συμπεράσματα της ενότητας που ακολουθεί (απαιτούμενοι ρυθμοί μετάδοσης για τη μεταφορά των δεδομένων), το μέγεθος της λίστας STAMP δε θεωρείται ότι εισάγει σημαντικές απαιτήσεις όσον αφορά το ρυθμό μετάδοσης που πρέπει να υποστηρίζει το δίκτυο ή του αποθηκευτικού χώρου στο τερματικό.

6.3.2 Απαιτούμενος Ρυθμός Μεταφοράς Δεδομένων

Όπως έχει ήδη προδιαγραφεί, η μεταφορά των μετρήσεων (λίστα STAMP) πραγματοποιείται στο επίπεδο μεταφοράς δεδομένων (user plane) και βασίζεται στην αρχιτεκτονική SUPL. Με αυτό τον τρόπο, η πληροφορία που σχετίζεται με τη θέση μεταφέρεται στον εξυπηρετητή θέσης πάνω από το δίκτυο πρόσβασης (π.χ., GPRS, UMTS), μέσω κυκλώματος μεταγωγής πακέτων IP (data bearer) ενώ το πρωτόκολλο μεταφοράς μεταξύ τερματικού (SET) και εξυπηρετητή είναι το TCP/IP. Γι αυτό το λόγο η ακόλουθη ανάλυση αναφέρεται σε αυτή τη διαστρωμάτωση.

Ο διαθέσιμος ρυθμός μεταφοράς δεδομένων μιας σύνδεσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το ασύρματο δίκτυο πρόσβασης καθώς και την κατάσταση του (π.χ. συμφόρηση, παρεμβολές). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης που υποστηρίζεται από την πλειονότητα των εμπορικά διαθέσιμων δικτύων πρόσβασης GPRS, UMTS και WLAN είναι 56Kbps, 384Kbps και 5Mbps αντίστοιχα στη ζεύξη καθόδου (downlink) ενώ ενδεικτικές τιμές για τη ζεύξη ανόδου (uplink) είναι 28Kbps, 128Kbps και 2Mbps.

Τα δεδομένα που μεταφέρονται απαρτίζονται τόσο από τα δεδομένα της εφαρμογής, όσο και από τα πρόσθετα πεδία (overheads) τα οποία εισάγονται από τα επιμέρους επίπεδα της διαστρωμάτωσης του δικτύου. Για παράδειγμα, η ακόλουθη στοίβα πρωτοκόλλων εφαρμόζεται στο δίκτυο πρόσβασης GPRS [179]:

ULP (Application) → TCP → IP → SNDCP → LLC → RLC/MAC → GSM RF

Για να υπολογιστεί η επίδραση των επικεφαλίδων (headers) που εισάγουν αυτά τα πρωτόκολλα στον όγκο των δεδομένων που τελικά μεταφέρονται, λαμβάνονται ενδεικτικά τα ακόλουθα μεγέθη:

- *Επικεφαλίδα TCP:* 20 bytes
- *Επικεφαλίδα IP:* 20 bytes
- *Επικεφαλίδα SNDCP:* 4 bytes
- *Επικεφαλίδα LLC:* 7 bytes

Ο ρυθμός μετάδοσης υπολογίζεται στο επίπεδο RLC/MAC (ζεύξης δεδομένων και πρόσβασης στο μέσο). Συνεπώς στο φορτίο δεδομένων που μεταφέρονται στο επίπεδο αυτό, χρειάζεται να συνυπολογιστεί το επιπλέον φορτίο (overhead) το οποίο αντιστοιχεί στις επιμέρους επικεφαλίδες που εισάγονται από τα πρωτόκολλα των άλλων επιπέδων. Για λόγους απλοποίησης, θεωρείται ότι το μέσο μέγεθος ενός πακέτου IP είναι 300bytes συμπεριλαμβανομένων και των επικεφαλίδων TCP και IP. Στην πράξη το μέγεθος των πακέτων IP και TCP εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως το είδος της εφαρμογής.

Με βάση τα ανωτέρω, το μέσο επιπλέον φορτίο (overhead) που εισάγεται, ως ποσοστό των δεδομένων προς μεταφορά είναι:

$$OH = 1 + \frac{OH_{TCP} + OH_{IP} + OH_{SNDP} + OH_{LLC}}{L_{IP} - OH_{TCP} - OH_{IP}} \quad (3)$$

Αντικαθιστώντας τα παραπάνω μεγέθη και υποθέτοντας $L_{IP}=300$ προκύπτει:

$$OH = 1 + \frac{20 + 20 + 4 + 7}{300 - 20 - 20} = 1.19 \quad (4)$$

η οποία είναι η τιμή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς της παρούσας ανάλυσης. Φαίνεται ότι το ποσοστό του επιπλέον φορτίου που εισάγεται είναι 19%.

Η ανάλυση που ακολουθεί είναι ενδεικτική με σκοπό τον υπολογισμό του όγκου των δεδομένων που μεταφέρονται κατά τη διάρκεια μιας συνόδου προσδιορισμού θέσης βασισμένη στο πρωτόκολλο ULP. Τα μηνύματα που ανταλλάσσονται περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 5 και βασίζονται στις προδιαγραφές του οργανισμού τυποποίησης OMA [180]. Συγκεκριμένα, αναλύεται μόνο το μήνυμα SUPL POS INIT [79] το οποίο και μεταφέρει όλη τη χρήσιμη πληροφορία που σχετίζεται με τον προσδιορισμό θέσης. Στον ακόλουθο πίνακα περιλαμβάνονται μόνο τα πεδία του μηνύματος που σχετίζονται με τη μέθοδο STAMP.

| Παράμετρος | Υπαρξη | Περιγραφή | Ανάλυση | |
|----------------------------|--------|---|--|--------------------------|
| Δυνατότητες SET | Υ | Ορίζει τις δυνατότητες του τερματικού | Ορίζει την τεχνική προσδιορισμού θέσης | |
| | | | Ορίζει μία από τις προτιμώμενες τεχνικές | |
| Ταυτότητα Θέσης | Υ | Περιγράφει την ταυτότητα της κυψέλης που εξυπηρετεί το τερματικό | Πληροφορία κυψέλης | Πληροφορία κυψέλης GSM |
| | | | | Πληροφορία κυψέλης WCDMA |
| Πολλαπλές Ταυτότητες Θέσης | Π | Η παράμετρος αυτή περιλαμβάνει πληροφορίες για τα γειτονικά κελιά ή γειτονικά σημεία πρόσβασης καθώς και ιστορικά δεδομένα (τόσο για το εξυπηρετών όσο και για τα γειτονικά κελιά). Οι αποθηκευμένες μετρήσεις που αφορούν τις θέσεις του τερματικού (μέχρι το μέγιστο μέγεθος της λίστας) θα πρέπει να αποσταλούν σαν ένα σύνολο (πίνακας) περιλαμβάνοντας τη χρονική ένδειξη που αντιστοιχεί σε κάθε θέση | Ταυτότητα θέσης | |
| | | | Χρονική ένδειξη | |

Πίνακας 13: Διαμόρφωση του μηνύματος SUPL POS INIT

Τα πρόσθετα δεδομένα τα οποία απαιτούνται από τη μέθοδο STAMP εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το μέγεθος της λίστας. Υποθέτοντας ότι η πληροφορία σχετική με τη θέση προέρχεται

από επτά κυψέλες (την εξυπηρετούσα και έξι γειτονικές) και ότι ο αριθμός των μετρήσεων που περιλαμβάνονται στη λίστα STAMP είναι $N=40$, η απαιτούμενη μνήμη για την αποθήκευση της λίστας στο τερματικό είναι $S = 49 \times 40 = 1960 \text{ bytes}$. Επομένως, ο συνολικός όγκος δεδομένων που μεταφέρονται με το πρωτόκολλο ULP είναι $1960 \times 1,19 = 2332 \text{ bytes}$.

Στο χειρότερο σενάριο (μέγιστος όγκος δεδομένων με την αργότερη σύνδεση π.χ. GPRS), ο απαιτούμενος χρόνος για τη μεταφορά των δεδομένων ισούται με 0,37sec. Στην περίπτωση δικτύου με ρυθμό μετάδοσης άνω ζεύξης 128Kbps, ο χρόνος αυτός εκτιμάται μικρότερος από 0,1sec, ο οποίος μπορεί να θεωρηθεί αρκετά μικρός και συνεπώς αμελητέος κατά την ανάπτυξη και το σχεδιασμό της μεθόδου STAMP.

Άλλοι σημαντικοί παράγοντες οι οποίοι πρέπει να ληφθούν υπόψη όσον αφορά τη συνολική καθυστέρηση που υπεισέρχεται στη διαδικασία μεταφοράς δεδομένων και εκτίμησης της θέσης είναι:

- Ο χρόνος που απαιτείται για την εγκατάσταση της σύνδεσης (GPRS attach, πιστοποίηση χρήστη από το δίκτυο και PDP context activation) ο οποίος ποικίλει σε εμπορικά GPRS/UMTS δίκτυα μεταξύ 1 και 3sec [179], και
- Ο χρόνος που απαιτείται για την εκτίμηση της θέσης από τον εξυπηρετητή θέσης.

6.3.3 Καθυστέρηση Επεξεργασίας στον Εξυπηρετητή

Στην παρούσα παράγραφο, αναλύεται η καθυστέρηση που υπεισέρχεται στην εξυπηρέτηση ενός αιτήματος προσδιορισμού θέσης από τον εξυπηρετητή θέσης. Η ανάλυση λαμβάνει υπόψη την καθυστέρηση σε συνάρτηση με την αύξηση του αριθμού των αιτημάτων ενώ δεν λαμβάνεται υπόψη ο πρόσθετος χρόνος που απαιτείται για τη μεταφορά του αποτελέσματος σε τυχόν εφαρμογές. Με αυτό τον τρόπο αναλύεται η αποδοτικότητα και η επάρκεια της μεθόδου σε περίπτωση εμπορικής λειτουργίας (μεγάλο πλήθος αιτημάτων). Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στη συνέχεια είναι απόρροια εξομοιώσεων και για την απλούστευση της ανάλυσης θεωρήθηκε ότι χρησιμοποιείται μόνο ένας εξυπηρετητής θέσης για την εξυπηρέτηση αιτημάτων.

Έστω ότι ο αριθμός των χρηστών που πραγματοποιούν αιτήματα προσδιορισμού θέσης είναι U και ότι κάθε ένας πραγματοποιεί κατά μέσο όρο ρ αιτήματα/ώρα, τότε ο ρυθμός άφιξης των αιτημάτων ανά ώρα είναι:

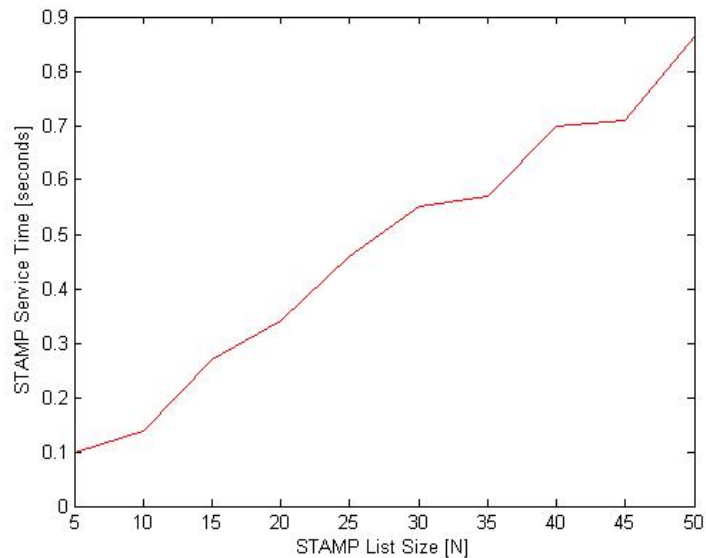
$$\lambda = U \times \rho$$

Επιπρόσθετα, για λόγους απλοποίησης γίνεται η υπόθεση ότι τα αιτήματα προσδιορισμού θέσης εισέρχονται σε μια ουρά με άπειρο μήκος και ότι πρόκειται να εξυπηρετηθούν όλα. Έστω επίσης

ότι Z είναι ο μέσος χρόνος εξυπηρέτησης των αιτημάτων. Ο μέσος ρυθμός εξυπηρέτησης ισούται με μ αιτήματα την ώρα και δίνεται από τη σχέση:

$$\mu = \frac{1}{Z}$$

Για την ενδεικτική αποτίμηση της μέσης καθυστέρησης στον εξυπηρετητή θέσης αξιοποιήθηκε η μέθοδος STAMP με χρήση της τεχνικής CGI++ και υλοποιήθηκε σε υπολογιστή χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα MATLAB. Ο χρόνος που απαιτείται από έναν υπολογιστή με επεξεργαστή Intel Pentium 1,74GHz και μνήμη 1GB RAM για να εξάγει μια εκτίμηση θέσης μέσω του αλγορίθμου της μεθόδου STAMP με αυξανόμενο μέγεθος της λίστα STAMP παρουσιάζεται στο Σχήμα 23. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο χρόνος αυτός θα είναι αρκετά μικρότερος στην περίπτωση υλοποίησης της μεθόδου σε έναν εξυπηρετητή ο οποίος δεν θα εξυπηρετεί άλλες εφαρμογές ή/και έχει σημαντικά μεγαλύτερη επεξεργαστική ισχύ. Φαίνεται ότι για μέγεθος λίστας $N=40$ ο μέσος χρόνος εξυπηρέτησης ενός αιτήματος είναι 0,7sec, τιμή η οποία θα χρησιμοποιηθεί για την ακόλουθη ανάλυση.



Σχήμα 23: Χρόνος εξυπηρέτησης της μεθόδου STAMP

Αν θεωρηθεί ότι οι αφίξεις των αιτημάτων στον εξυπηρετητή ακολουθούν την κατανομή Poisson με ρυθμό αφίξεων λ , και ότι οι χρόνοι εξυπηρέτησης των αιτημάτων ακολουθούν την εκθετική κατανομή με μέση τιμή $\frac{1}{\mu}$, τότε το σύστημα, δηλαδή αιτήματα-εξυπηρετητής προσδιορισμού θέσης STAMP, μπορεί να μοντελοποιηθεί ως μια ουρά M/M/1. Με βάση τη θεωρία συστημάτων αναμονής μπορεί να υπολογιστεί ο μέσος όρος παραμονής στο σύστημα δηλαδή η μέση

καθυστέρηση που υφίσταται κάθε αίτημα από τη στιγμή που φτάνει στον εξυπηρετητή μέχρι τη στιγμή που διεκπεραιώνεται [92]. Η μέση καθυστέρηση $E[D]$ δίνεται από τη σχέση:

$$E[D] = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

όπου ισχύει η υπόθεση $\frac{\lambda}{\mu} < 1$.

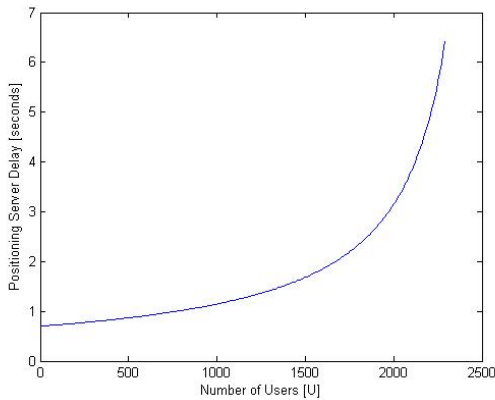
Ωστόσο οι χρόνοι εξυπηρέτησης του εξυπηρετητή STAMP επηρεάζονται άμεσα από το μέγεθος της λίστας STAMP. Δεδομένης μιας σταθερής τιμής της λίστας STAMP N (π.χ. 40 διανύσματα μετρήσεων) ο χρόνος εξυπηρέτησης είναι γνωστός. Συνεπώς το σύστημα αιτημάτων-εξυπηρετητή STAMP μπορεί να μοντελοποιηθεί ως μια ουρά M/D/1 με μέση καθυστέρηση κάθε αίτησης [92] ίση με:

$$E[D] = \left(\frac{1}{\mu - \lambda} \right) \left(1 - \frac{\lambda}{2\mu} \right)$$

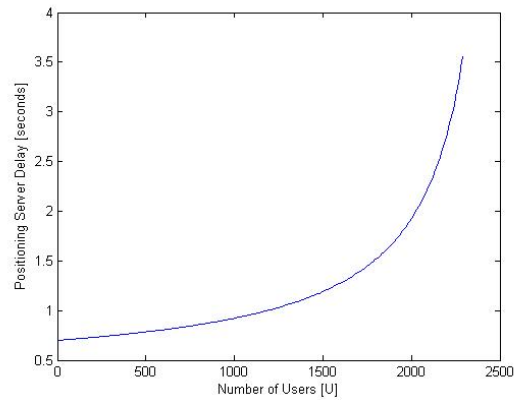
Με τη μοντελοποίηση του συστήματος ως ουρά M/D/1 προκύπτει μέση καθυστέρηση εξυπηρέτησης μικρότερη σε σχέση με αυτή του μοντέλου M/M/1.

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι αν και ο χρόνος εξυπηρέτησης σχετίζεται άμεσα με το μέγεθος της λίστας STAMP, ο αλγόριθμός ελαχίστων τετραγώνων που υλοποιείται στην τεχνική CGI++ έχει μεταβλητό αριθμό βημάτων μέχρι τη σύγκλιση σε ένα βέλτιστο σημείο, το οποίο είναι και η εκτίμηση της θέσης. Αυτό συντελεί ώστε ο χρόνος εξυπηρέτησης να μην μπορεί να θεωρηθεί απόλυτα ντετερμινιστικός, παρά την άμεση σχέση με το μέγεθος της λίστας STAMP. Συνεπώς τα αποτελέσματα της καθυστέρησης στον εξυπηρετητή που εξάγονται από τα δυο αυτά μοντέλα μπορούν να θεωρηθούν ως το μέγιστο και το ελάχιστο όριο της αναμενόμενης καθυστέρησης σε πραγματικές συνθήκες.

Στο Σχήμα 24 και στο Σχήμα 25 παρουσιάζεται η μέση καθυστέρηση στον εξυπηρετητή θέσης ως συνάρτηση του αριθμού των χρηστών που προκύπτει με χρήση των μοντέλων M/M/1 και M/D/1 αντίστοιχα. Κάθε χρήστης θεωρείται ότι στέλνει 2 αιτήματα/ώρα.



Σχήμα 24: Καθυστέρηση στον εξυπηρετητή προσδιορισμού θέσης σε συνάρτηση με τον αριθμό των χρηστών (μοντέλο M/M/1)

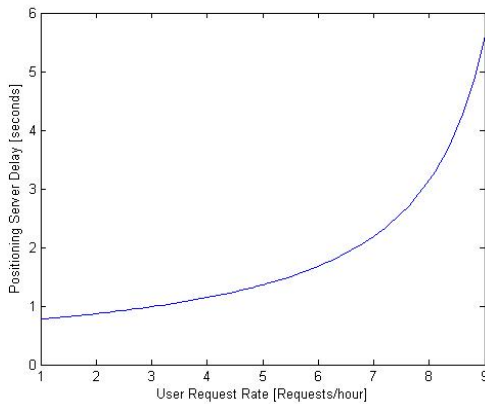


Σχήμα 25: Καθυστέρηση στον εξυπηρετητή προσδιορισμού θέσης σε συνάρτηση με τον αριθμό των χρηστών (μοντέλο M/D/1)

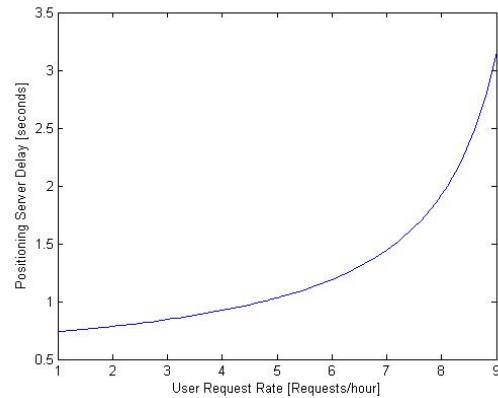
Το βασικό συμπέρασμα είναι ότι βάσει του μοντέλου M/M/1 η μέση καθυστέρηση είναι κάτω των 2sec ακόμη και για αριθμό χρηστών 1600. Ωστόσο όταν ο αριθμός των χρηστών ξεπεράσει τους 1700, η αύξηση της καθυστέρησης αναμένεται να είναι σημαντική. Σε πιθανή εμπορική εφαρμογή, ο εξυπηρετητής θέσης αναμένεται να έχει μεγαλύτερη επεξεργαστική ισχύ, ώστε ο χρόνος εξυπηρέτησης να μειωθεί ακόμη περισσότερο. Κατόπιν των ανωτέρω φαίνεται ότι η καθυστέρηση υπολογισμού της θέσης στον εξυπηρετητή δεν εμφανίζει εμπόδιο στην επάρκεια και υλοποίηση της μεθόδου.

Ανάλογα συμπεράσματα ισχύουν και στην περίπτωση της μοντελοποίησης του συστήματος ως M/D/1, με τη διαφορά ότι η μέση καθυστέρηση μειώνεται ακόμη περισσότερο. Κάτι τέτοιο φαίνεται ιδιαίτερα σε συνθήκες υψηλού φόρτου, όπου ο ολικός ρυθμός άφιξης των αιτημάτων τείνει στο ρυθμό εξυπηρέτησής τους. Συγκεκριμένα, όταν ο αριθμός των χρηστών κυμαίνεται στους 1700, η καθυστέρηση διατηρείται στα 1,5sec (στην προηγούμενη περίπτωση παρατηρήθηκε απότομη αύξηση της καθυστέρησης). Στην περίπτωση αυτή, ο εξυπηρετητής θέσης διατηρεί τη σταθερότητά του και τα αιτήματα εξυπηρετούνται χωρίς αύξηση στην καθυστέρηση. Το σύστημα γίνεται μη αποδοτικό όσον αναφορά τις μεγάλες καθυστερήσεις εξυπηρέτησης μόνο όταν ο αριθμός των αιτημάτων ξεπερνά τα 1800.

Στο Σχήμα 26 και Σχήμα 27 παρουσιάζεται η μέση καθυστέρηση στον εξυπηρετητή θέσης που προκύπτει από τη μοντελοποίηση M/M/1 και M/D/1 αντίστοιχα σε συνάρτηση με την αύξηση του ρυθμού άφιξης των αιτημάτων. Ο αριθμός των χρηστών θεωρείται ότι είναι 500.



Σχήμα 26: Καθυστέρηση στον εξυπηρετητή προσδιορισμού θέσης σε συνάρτηση με τον ρυθμό αιτημάτων ανά χρήστη (μοντέλο M/M/1)



Σχήμα 27: Καθυστέρηση στον εξυπηρετητή προσδιορισμού θέσης σε συνάρτηση με τον ρυθμό αιτημάτων ανά χρήστη (μοντέλο M/D/1)

Όταν χρησιμοποιείται το μοντέλο M/M/1, δεν υπάρχει απότομη αύξηση της καθυστέρησης όταν ο ρυθμός άφιξης των αιτημάτων διατηρείται κάτω από τα 6 αιτήματα/ώρα. Στην περίπτωση αυτή η καθυστέρηση είναι μικρότερη από 2sec. Όταν ο ρυθμός άφιξης των αιτημάτων ξεπερνά το όριο των 6 αιτημάτων/ώρα, τότε μία πρόσθετη μικρή αύξηση στον αριθμό των αφίξεων προκαλεί μια μεγάλη αύξηση στην αντίστοιχη καθυστέρηση.

Όταν χρησιμοποιείται το μοντέλο M/D/1, δεν υπάρχει απότομη αύξηση της καθυστέρησης όταν ο ρυθμός άφιξης των αιτημάτων διατηρείται κάτω από τα 7 αιτήματα/ώρα. Στην περίπτωση αυτή η καθυστέρηση είναι μικρότερη από 1,5sec. Όταν ο ρυθμός άφιξης των αιτημάτων ξεπερνά το όριο των 7 αιτημάτων/ώρα τότε μια πρόσθετη μικρή αύξηση στον αριθμό των αφίξεων προκαλεί μια μεγάλη αύξηση στην αντίστοιχη καθυστέρηση, η οποία ωστόσο διατηρείται σε χαμηλότερα επίπεδα από αυτή του μοντέλου M/M/1.

Όπως προκύπτει από την παρούσα ανάλυση ο ρυθμός των αφίξεων των αιτημάτων για προσδιορισμό θέσης επιδρά στην καθυστέρηση της εξυπηρέτησής τους. Σε πιθανή εμπορική υλοποίηση της μεθόδου η αύξηση του αριθμού των αιτημάτων για την παροχή των ΥΘ μπορεί να αντιμετωπιστεί μέσω προγραμματιστικών τεχνικών παράλληλης επεξεργασίας δεδομένων (π.χ. threading) και τη χρήση περισσότερων του ενός εξυπηρετητών θέσης.

6.3.4 Ρυθμός Δειγματοληψίας Μετρήσεων

Ο ρυθμός δειγματοληψίας $1/T$ -όπου T η περίοδος δειγματοληψίας- των μετρήσεων που σχετίζονται με τη θέση είναι μία παράμετρος η οποία δύναται να επηρεάσει σημαντικά την επάρκεια και απόδοση της μεθόδου STAMP. Η ενότητα αυτή περιγράφει το ρυθμό που πρέπει να χρησιμοποιείται με βάση πειραματικά αποτελέσματα και μετρήσεις.

Είναι προφανές ότι ο ρυθμός δειγματοληψίας των μετρήσεων πρέπει να συνδυαστεί με τις πιθανές ταχύτητες κίνησης του τερματικού. Για παράδειγμα, η περίοδος δειγματοληψίας $T=5\text{sec}$ μπορεί να αποδειχθεί επαρκής για ένα τερματικό που κινείται με ταχύτητα 5Km/h (καθώς καλύπτει $\sim 7\text{m}$ σε 5sec), ενώ, η ίδια τιμή περιόδου μπορεί να αποδειχθεί ανεπαρκής για ένα τερματικό που κινείται με ταχύτητα 100Km/h (καθώς καλύπτει $\sim 140\text{m}$ σε 5sec). Με βάση αυτή τη λογική, προκύπτει ότι ο ρυθμός δειγματοληψίας πρέπει να είναι ο μέγιστος δυνατός, και αντίστοιχα η περίοδος δειγματοληψίας η ελάχιστη δυνατή, έτσι ώστε να αποτυπώνεται πλήρως η πληροφορία που σχετίζεται με την πιο πρόσφατη θέση του τερματικού. Για το σκοπό αυτό οι ακόλουθες λύσεις μπορούν να εφαρμοστούν:

- Δυναμική επιλογή της περιόδου δειγματοληψίας με βάση την εκτιμώμενη θέση και ταχύτητα του τερματικού που προκύπτει από τη μέθοδο STAMP (εκτίμηση ταχύτητας όπως υπολογίζεται στο φίλτρο Kalman).
- Επιλογή ενός κατάλληλου ρυθμού δειγματοληψίας ο οποίος να εξασφαλίζει επαρκή αποτελέσματα (της μεθόδου STAMP) για ένα μεγάλο εύρος τιμών της ταχύτητας του κινητού τερματικού.

Στο σημείο αυτό, πρέπει να ληφθεί υπόψη και ο ρυθμός με τον οποίο δύναται το τερματικό να πραγματοποιεί μετρήσεις. Οι δειγματοληπτικές ικανότητες του τερματικού περιορίζονται από το ρολόι του και βασίζονται στις τεχνικές υλοποιήσεις που ακολουθούν οι επιμέρους κατασκευαστές. Επιπλέον, περιορισμοί που σχετίζονται με την κατανάλωση ισχύος αποτρέπουν τη συλλογή μετρήσεων σε πολύ στενά χρονικά διαστήματα. Για παράδειγμα, δεν έχει νόημα να γίνεται αναφορά σε ρυθμό δειγματοληψίας 100msec τη στιγμή που δεν είναι δυνατή η λήψη μετρήσεων με αυτό το ρυθμό.

Στη συνέχεια αναλύεται η δυνατότητα συλλογής μετρήσεων που σχετίζονται με τη λαμβανόμενη στάθμη σήματος από τερματικά τόσο σε δίκτυα GSM όσο και σε δίκτυα UMTS. Με βάση τις προδιαγραφές της τεχνολογίας GSM [84], όταν το τερματικό βρίσκεται σε κατάσταση κλήσης πραγματοποιεί μετρήσεις που σχετίζονται με το ραδιοδιάλογο επικοινωνίας και οι οποίες χρησιμεύουν για την τυπική λειτουργία του τερματικού (διαχείριση μεταπομπών (handovers), έλεγχος εκπεμπόμενης ισχύος, κ.α.). Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιούνται κάθε πολυπλαίσιο (multiframe), SACCH, το οποίο ισοδυναμεί με 104 πλαίσια (frames) TDMA, η χρονική διάρκεια του οποίου είναι 480msec . Η τιμή αυτή αποτελεί και τη χαμηλότερη δυνατή τιμή της περιόδου δειγματοληψίας και επιτυγχάνεται όταν το τερματικό βρίσκεται σε κατάσταση κλήσης.

Όταν το τερματικό βρίσκεται συνδεδεμένο στο δίκτυο αλλά σε κατάσταση αδρανείας (idle mode), λαμβάνει και πάλι μετρήσεις που σχετίζονται με τα κανάλια ευρυεκπομπής/κοινά κανάλια (broadcast channels) με σκοπό την εξυπηρέτηση της διαδικασίας επιλογής κυψέλης (δημιουργία λίστας γειτονικών κυψελών) σύμφωνα με τις προδιαγραφές GSM [84]. Το τερματικό λοιπόν καλείται να διατηρεί μία λίστα τιμών η οποία ουσιαστικά περιλαμβάνει τις «μέσες τιμές» του

επιπέδου σήματος (Rx level) για όλες τις συχνότητες εκπομπής (γειτονικά κελιά) που λαμβάνονται. Οι τιμές αυτές αντιπροσωπεύουν τη μέση λαμβανόμενη στάθμη ισχύος (Received Level Averages, RLA_C) και αντιστοιχούν σε dBm. Η ακρίβεια με την οποία λαμβάνονται οι μετρήσεις είναι ίση με αυτή των μετρήσεων σε κατάσταση κλήσης. Σχετικά με τον υπολογισμό των «μέσων τιμών» της στάθμης λαμβανόμενης ισχύος, όπως προαναφέρθηκε, το τερματικό μετρά διαρκώς τις τιμές αυτές ανά κυψέλη και μεσοσταθμίζει τις μετρήσεις σε ένα χρονικό διάστημα το οποίο μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 3 και 5sec. Πρέπει να τονιστεί ότι το διάστημα αυτό εξαρτάται από τις προδιαγραφές του τερματικού και την εταιρία κατασκευής. Με βάση τις δομικές που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διατριβής με εμπορικά διαθέσιμα τερματικά Sony-Ericsson, ο ρυθμός αυτός ανήλθε στα 3sec. Η μεσοστάθμιση βασίζεται σε λαμβανόμενες τιμές και ο ελάχιστος αριθμός μετρήσεων για να προκύψει μία τιμή είναι ίσος με πέντε.

Στην περίπτωση δικτύου UMTS, ακολουθείται η ίδια λογική. Με βάση τις προδιαγραφές του οργανισμού τυποποίησης 3GPP [85] όταν το τερματικό βρίσκεται σε κατάσταση αδράνειας (idle mode) οι τιμές για τη λαμβανόμενη στάθμη σήματος (CPICH RSCP) υπολογίζονται κάθε DRX cycle ο οποίος μπορεί να λάβει τιμές από 640msec μέχρι 5,12sec. Η τιμή αυτή εξαρτάται από τον κατασκευαστή της τερματικής συσκευής και ορίζεται από τον τηλεπικοινωνιακό πάροχο στη λειτουργία του κόμβου RNC. Στην περίπτωση που το τερματικό βρίσκεται σε κατάσταση κλήσης ο ρυθμός λήψης των μετρήσεων είναι εξαιρετικά μεγάλος (1/480msec) και επιτρέπει την πλήρη αντιστοίχιση των μετρήσεων με τις θέσεις του τερματικού.

6.3.5 Στατιστική Επεξεργασία των Μετρήσεων

Στην ενότητα αυτή αναλύονται οι παράμετροι που επηρεάζουν τη στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων. Το φίλτρο Kalman, η εφαρμογή του στη μέθοδο STAMP και οι εξισώσεις που ορίζουν τον αλγόριθμο βέλτιστης εκτίμησης της θέσης περιγράφονται λεπτομερώς στο Παράρτημα Β και για λόγους συντομίας δεν αναφέρονται εδώ. Οι πιο σημαντικές παράμετροι οι

οποίοι επηρεάζουν την απόδοση του αλγόριθμου είναι οι σ_Q^2 και σ_R^2 .

Η παράμετρος σ_Q^2 αντικατοπτρίζει την κινητικότητα του τερματικού (mobility pattern) και χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση της δυναμικής της κίνησης του τερματικού. Αν επιλεγεί μία μέση επιτάχυνση 1m/sec^2 , (η τιμή αυτή κρίνεται κατάλληλη δεδομένου ότι προσεγγίζει ικανοποιητικά την κινητικότητα ενός οχήματος σε αστικό περιβάλλον) τότε με βάση την αναφορά [154] η τιμή της σ_Q^2 είναι $2/\pi$. Η τιμή αυτή, με βάση πειραματικά αποτελέσματα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση του αλγορίθμου ανεξάρτητα από την τεχνική προσδιορισμού θέσης που εφαρμόζεται κάθε φορά για την εκτίμηση της θέσης.

Η παράμετρος σ_R^2 αντικατοπτρίζει το σφάλμα προσδιορισμού θέσης που εισάγεται στις αρχικές εκτιμήσεις της θέσης κατά την εφαρμογή των διαφόρων τεχνικών προσδιορισμού θέσης. Με αυτή τη λογική, η τυπική απόκλιση σ_R μπορεί να υπολογιστεί με τη διεξαγωγή μετρήσεων και πειραμάτων στην περιοχή ενδιαφέροντος και κατ' επέκταση εκτίμηση του μέσου σφάλματος όταν χρησιμοποιείται κάποια τεχνική προσδιορισμού θέσης. Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να αναφερθεί ότι η εκτίμηση του μέσου σφάλματος που εισάγεται από τις διάφορες τεχνικές παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 2. Με βάση τα ανωτέρω, η κατάλληλη επιλογή της σ_R για κάθε τεχνική προσδιορισμού θέσης είναι σημαντική για την επαρκή βελτιστοποίηση της τεχνικής. Στα πλαίσια των πειραμάτων μας που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 7 (και αφορούν στην τεχνική CGI++), η τιμή για την παράμετρο σ_R θεωρήθηκε ίση με 350.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι η επίδοση της τεχνικής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την κινητικότητα του τερματικού (π.χ. σταθερό, κινούμενο με μικρή ταχύτητα, κινούμενο μέσα σε αυτοκίνητο). Διαφαίνονται συνεπώς δύο λύσεις για την επιλογή της παραμέτρου σ_O :

- Χρήση δυναμικής επιλογής με βάση την εκτίμηση της ταχύτητας του τερματικού (που πραγματοποιείται από τη μέθοδο STAMP). Η εκτίμηση της ταχύτητας παρέχει μαζί και με άλλα μεγέθη τα δεδομένα ανάδρασης στη μέθοδο και στην επιλογή της τιμής σ_O καθώς αυτή αλλάζει δυναμικά με τρόπο προσαρμοστικό κατά την εφαρμογή του φίλτρου. Ένα σύνολο από τιμές του σ_O που αντιστοιχούν σε διαφορετικά σενάρια κίνησης με βάση πραγματικές μετρήσεις έχουν ήδη υπολογιστεί. Οι τιμές αυτές χρησιμοποιούνται δυναμικά κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου της μεθόδου με βάση την τρέχουσα εκτίμηση θέσης.
- Επιλογή μίας κατάλληλης τιμής για την παράμετρο σ_O , με βάση πάλι πραγματικές μετρήσεις. Η τιμή αυτή πρέπει να επιλεγεί με τέτοιο τρόπο ώστε να λαμβάνονται υπόψη όλα τα σενάρια κίνησης του τερματικού και να παρέχεται αποδεκτή ακρίβεια για την κάθε περίπτωση.

Με βάση τα ανωτέρω αλλά και την αναφορά [154], οι αρχικές τιμές των διανυσμάτων X και P (Παράρτημα Β) που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία στο φίλτρο Kalman στην περίπτωση της μεθόδου STAMP εκτιμώνται ως εξής:

$$X_0 = \begin{bmatrix} X_1(t_0) \\ X_2(t_0) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, P_0 = \begin{bmatrix} \sigma_R^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_R^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 8^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 8^2 \end{bmatrix}$$

Όπου $\begin{bmatrix} X_1(t_0) \\ X_2(t_0) \end{bmatrix}$ είναι η αρχική εκτίμηση θέσης, π.χ. η εκτίμηση θέσης χρησιμοποιώντας την τεχνική CGI++ για το πρώτο διάνυσμα μετρήσεων που εμφανίζονται στη λίστα STAMP. Η αρχική ταχύτητα σε αυτή τη θέση θεωρείται ίση με μηδέν. Η τιμή 8^2 (m/sec)^2 αποτελεί μία αντιπροσωπευτική τιμή όσον αφορά το άνω όριο της μεταβλητότητας της ταχύτητας του τερματικού, (δεδομένου ότι τα 8m/sec ισοδυναμούν με $\sim 30\text{km/h}$). Όπως προαναφέρθηκε η παράμετρος σ_R^2 πρέπει να αποτιμηθεί (ή να εκτιμηθεί) για κάθε τεχνική προσδιορισμού θέσης και να εφαρμοστεί ανάλογα στον αλγόριθμο.

6.4 Ανάλυση της Ευαισθησίας της Μεθόδου για Τεχνικές που Βασίζονται στη Στάθμη Ισχύος Λαμβανόμενου Σήματος

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται μία θεωρητική ανάλυση που στοχεύει στον εντοπισμό των μεταβλητών στις οποίες οφείλεται η εισαγωγή σφάλματος κατά τον προσδιορισμό της θέσης. Η αναφορά γίνεται σε τεχνικές που βασίζονται στην αξιοποίηση της στάθμης ισχύος λαμβανόμενου σήματος. Μέσω της ανάλυσης αυτής εκτιμάται η επίδοση των διαφόρων τεχνικών προσδιορισμού θέσης, αποκαλύπτονται οι αδυναμίες τους και κατ' επέκταση εντοπίζονται τα σημεία που προσφέρονται για βελτίωση της ακρίβειάς τους.

6.4.1 Λειτουργία Συλλογής Μετρήσεων από το Τερματικό

Σε αυτή την παράγραφο περιγράφεται η λειτουργία του τερματικού κατά την οποία συλλέγονται οι απαραίτητες μετρήσεις που σχετίζονται με τη θέση. Η ανάλυση γίνεται με βάση τις τυποποιημένες προδιαγραφές λειτουργίας των εμπορικά διαθέσιμων τερματικών συσκευών. Στην περίπτωση των τερματικών συσκευών των δικτύων GSM η λήψη των μετρήσεων περιγράφεται στην τυποποίηση του οργανισμού 3GPP TS05.08 [84]. Στην περίπτωση δικτύου UMTS, η λειτουργία συλλογής των μετρήσεων περιγράφεται στην τυποποίηση 3GPP TS 25.133 [39].

Η στάθμη ισχύος του σήματος στην είσοδο του δέκτη της τερματικής συσκευής μπορεί να μετρηθεί στο εύρος των τιμών από -110dBm μέχρι -48dBm. Πιο συγκεκριμένα, η ακρίβεια των μετρήσεων είναι της τάξεως των $\pm 4\text{dBm}$ για το εύρος των τιμών από -110dBm έως -70dBm υπό κανονικές συνθήκες και $\pm 6\text{dBm}$ σε όλο το εύρος τιμών κάτω από κανονικές ή ακραίες συνθήκες. Τέλος, η τιμή της λαμβανόμενης στάθμης ισχύος σήματος μετριέται στο εύρος των τιμών από -48dBm έως -38dBm με ακρίβεια της τάξεως των $\pm 9\text{dBm}$ τόσο υπό κανονικές όσο και σε ακραίες συνθήκες.

Στην περίπτωση που η στάθμη ισχύος του σήματος πέσει κάτω από τα όρια ευαισθησίας της τερματικής συσκευής τότε η τιμή της θεωρείται ότι είναι ίση με την ελάχιστη δυνατή που μπορεί

να μετρηθεί, δηλαδή -110dBm. Αντίστροφα, στην περίπτωση που η λαμβανόμενη στάθμη ισχύος είναι μεγαλύτερη από το άνω όριο μέτρησης, τότε η τιμή της θεωρείται ότι είναι ίση με τη μέγιστη δυνατή τιμή που μπορεί να μετρηθεί, δηλαδή -48dBm.

Με βάση τα ανωτέρω, η μετρούμενη στάθμη σήματος στο εύρος από -48dBm έως -110dBm μπορεί να λάβει 63 διαφορετικές τιμές κάθε μία από τις οποίες αντιστοιχεί στο εύρος μεταξύ δύο διαδοχικών ακέραιων τιμών ισχύος, όπως περιγράφεται στον πίνακα που ακολουθεί.

| Κωδικοποιημένη Στάθμη Ισχύος Σήματος | Λαμβανόμενη Στάθμη Ισχύος Σήματος (dBm) |
|---|--|
| 0 | $x < -110$ |
| 1 | $-110 < x < -109$ |
| 2 | $-109 < x < -108$ |
| ... | ... |
| ... | ... |
| 62 | $-49 < x < -48$ |
| 63 | $-48 < x$ |

Πίνακας 14: Κωδικοποίηση των μετρήσεων της λαμβανόμενης στάθμης ισχύος σήματος

Ουσιαστικά η αντιστοίχιση αυτή παρέχει μια ακέραια στρογγυλοποίηση των τιμών μετρούμενης λαμβανόμενης στάθμης ισχύος σήματος.

6.4.2 Μοντέλα Διάδοσης Ηλεκτρομαγνητικού Σήματος

Για την παρούσα ανάλυση ευαισθησίας θα χρησιμοποιηθεί το μοντέλο ραδιοδιάδοσης σήματος Okumura-Hata [102]. Η μαθηματική έκφραση του μοντέλου ακολουθεί τη φόρμουλα:

$$L(db) = 69.55 + 26.16 \log f_{MHz} - 13.82 \log h_{BTS} - a(h_{MS}) + (44.9 - 6.55 \log h_{BTS}) \cdot \log d_{km} - K \quad (1)$$

Όπου h_{BTS} εκφράζει το ύψος στο οποίο βρίσκεται ο Σταθμός Βάσης σε m, h_{MS} το ύψος στο οποίο βρίσκεται η τερματική συσκευή σε m, d_{km} την απόσταση μεταξύ του τερματικού και του Σταθμού Βάσης σε km και f_{MHz} τη συχνότητα εκπομπής του Σταθμού Βάσης σε MHz. Ο όρος $a(h_{MS})$ αποτελεί έναν παράγοντα διόρθωσης του κέρδους της κεραίας (antenna height-gain correction factor) που εξαρτάται από το περιβάλλον. Ο παράγοντας K χρησιμοποιείται για τη διόρθωση της φόρμουλας στην περίπτωση ημιαστικών και ανοικτών περιοχών. Ο τύποι που περιγράφουν τους παράγοντες $a(h_{MS})$ και K για τις διάφορες περιπτώσεις (διαφορετικά περιβάλλοντα) έχουν ως ακολούθως:

Ανοικτή περιοχή

$$a(h_{MS}) = (1.1 \log f_{MHz} - 0.7) \cdot h_{MS} - (1.56 \log f_{MHz} - 0.8) \quad (2)$$

$$K = 4.78 \cdot (\log f_{MHz})^2 - 18.33 \log f_{MHz} + 40.94 \quad (3)$$

Ημιαστική περιοχή

$$a(h_{MS}) = (1.1 \log f_{MHz} - 0.7) \cdot h_{MS} - (1.56 \log f_{MHz} - 0.8) \quad (4)$$

$$K = 2 \left[\log \left(\frac{f_{MHz}}{28} \right) \right]^2 + 5.4 \quad (5)$$

Αστική περιοχή

$$a(h_{MS}) = 3.2 \cdot (\log 11.75 h_{MS})^2 - 4.97 \quad (6)$$

$$K = 0. \quad (7)$$

Οι παραπάνω εξισώσεις εφαρμόζονται για συχνότητες μικρότερες των 1500MHz.

Για τιμές συχνοτήτων $1500\text{MHz} < f < 2000\text{MHz}$, χρησιμοποιείται η παρακάτω φόρμουλα του εκτεταμένου του μοντέλου Hata [104].

$$L_{XHata} = 46.33 + (44.9 - 6.55 \log h_{BTS}) \cdot \log d_{km} + 33.9 \log f_{MHz} - a(h_{MS}) - 13.82 \log h_{BTS} + C$$

όπου:

C=0, για μικρές πόλεις/ημιαστικές περιοχές

C=3, για μεγάλες πόλεις/αστικές περιοχές.

Ο παράγοντας $a(h_{MS})$ υπολογίζεται με βάση τις εξισώσεις (2), (4) και (6).

6.4.3 Αβεβαιότητα σε μία Συνάρτηση Πολλαπλών Μεταβλητών

Έστω ότι υπάρχει μια συνάρτηση $q(x, \dots, z)$ με μετρούμενες μεταβλητές x, \dots, z και με αβεβαιότητες $\delta x, \dots, \delta z$ αντίστοιχα. Αν οι αβεβαιότητες μέτρησης των τιμών των μεταβλητών x, \dots, z είναι ανεξάρτητες και τυχαίες, τότε η αβεβαιότητα της τιμής της συνάρτησης q δίνεται από τον τύπο [103]:

$$\delta q = \sqrt{\left(\left(\frac{\partial q}{\partial x} \right) \cdot \delta x \right)^2 + \dots + \left(\left(\frac{\partial q}{\partial z} \right) \cdot \delta z \right)^2} \quad (8)$$

Σκοπός της ακόλουθης ανάλυσης είναι η αξιολόγηση του σφάλματος της εκτιμώμενης απόστασης τερματικού-ΣΒ, υπολογισμένης βάσει του μοντέλου διάδοσης Hata, που οφείλεται στα επιμέρους σφάλματα εκτίμησης των μεταβλητών παραμέτρων του μοντέλου. Για την απλοποίηση της ανάλυσης θεωρείται η περίπτωση ημιαστικού περιβάλλοντος. Η εξίσωση του μοντέλου Hata ως προς την απόσταση τερματικού-ΣΒ είναι:

$$d(Lp, fc, ht, hr) = 1000 \cdot e^{-0.2 \cdot \frac{(530.189 \cdot Lp - 39509.744 - 6023.562 \cdot \ln(fc) + 3189.08 \cdot \ln(ht) + 320 \cdot \ln(11.75 \cdot hr))^2}{-2067.721 + 131 \cdot \ln(ht)}} \quad (9)$$

Στον πίνακα που ακολουθεί αναλύονται οι παράμετροι της παραπάνω φόρμουλας και δίνονται οι τυπικές τιμές τους και η αντίστοιχη αβεβαιότητα.

| Παράμετρος | Ορισμός | Τυπικές τιμές | Αβεβαιότητα | Σχόλια |
|------------|---|---------------|-------------|--|
| f_c | Συχνότητα φέροντος σε MHz | 900 | ± 10 | Η τιμή αυτή μπορεί να υπολογιστεί χωρίς σφάλμα |
| h_r | Ύψος δέκτη σε μέτρα | 1,5 | ± 1 | Επίπεδο θάλασσας |
| h_t | Ύψος Σταθμού Βάσης σε μέτρα | 30 | ± 10 | Ύψος του κτιρίου + ύψος του ιστού της κεραίας |
| L_p | Απώλειες διάδοσης σε dB | 100 | ± 7 | Μα μετρούμενη τιμή για κάποια απόσταση |
| d | Εκτιμώμενη απόσταση μεταξύ τερματικού και ΣΒ σε μέτρα | | | Προς εκτίμηση |

Πίνακας 15: Παράμετροι του Μοντέλου Διάδοσης HATA (τυπικές τιμές και αβεβαιότητες)

6.4.4 Ευαισθησία ως προς τις Απώλειες Διάδοσης

Η μερική παράγωγος της συνάρτησης (9) ως προς τις απώλειες διάδοσης είναι:

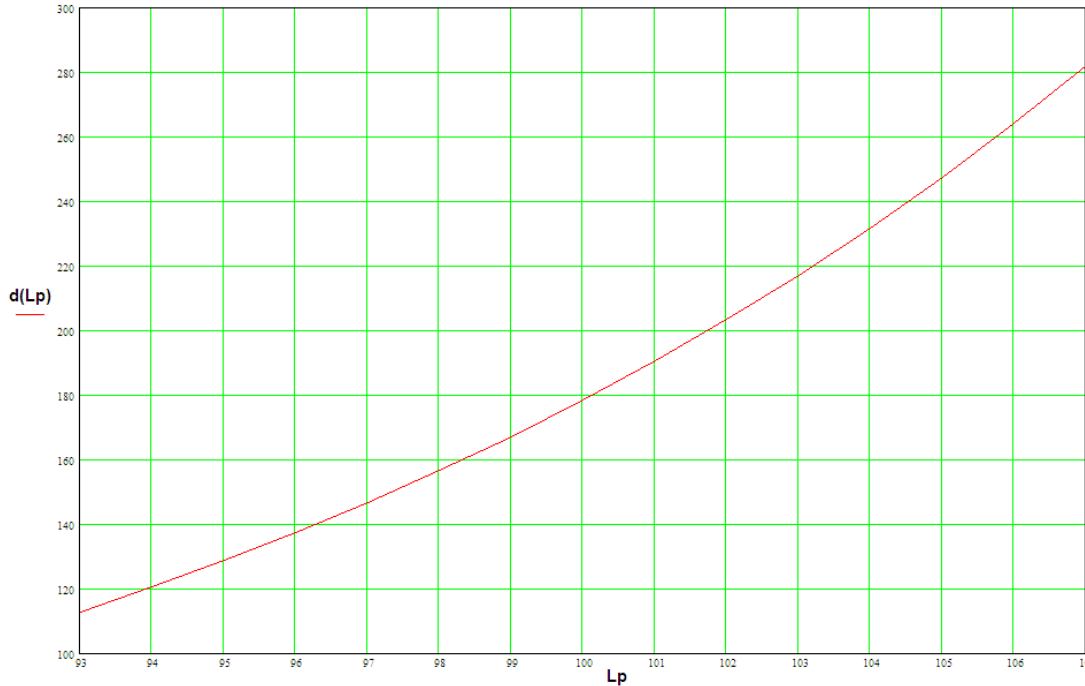
$$\frac{\partial d}{\partial L_p} = \frac{-106037.800}{-2067.721 + 131 \cdot \ln(ht)} \cdot e^{-0.2 \cdot \frac{530.189 \cdot L_p - 39509.744 - 6023.562 \cdot \ln(f_c) + 3189.08 \cdot \ln(ht) + 320 \cdot \ln(11.750 \cdot ht)^2}{-2067.721 + 131 \cdot \ln(ht)}}$$

$$\frac{\partial d}{\partial L_p} = \frac{-106037.962}{-2067.721 + 131 \cdot \ln(200)} \cdot e^{-0.2 \cdot \frac{16143.792 - 6023.562 \cdot \ln(900) + 3189.08 \cdot \ln(200)}{-2067.721 + 131 \cdot \ln(200)}}$$

Με αντικατάσταση των τυπικών τιμών και κατόπιν υπολογισμών, η αβεβαιότητα εκτίμησης της απόστασης εξαιτίας της αβεβαιότητας στις μετρούμενες απώλειες διάδοσης δL_p είναι ίση με:

$$\frac{\partial d}{dLp} \cdot \delta Lp = \pm 81.5 \text{ m} \quad (10)$$

ενώ η αντίστοιχη ευαισθησία απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 28: Ευαισθησία ως προς τη μεταβολή των απωλειών διάδοσης (Lp)

6.4.5 Ευαισθησία ως προς τη Συχνότητα Εκπομπής

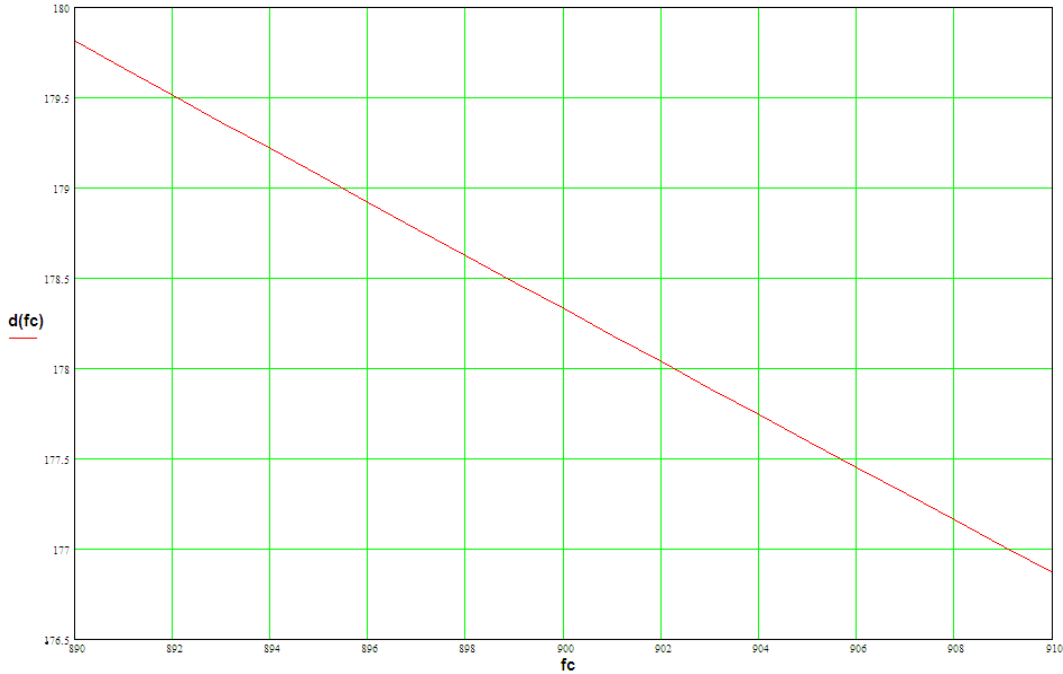
Η μερική παράγωγος της συνάρτησης (9) ως προς τη συχνότητα f_c είναι:

$$\frac{\partial d}{dfc} = \frac{1204712.40}{fc \cdot (-2067.721 + 131 \cdot \ln(ht))} \cdot e^{\frac{-0.2 \cdot (530.189 \cdot Lp - 39509.744 - 6023.562 \cdot \ln(fc) + 3189.080 \cdot \ln(ht) + 320 \cdot \ln(11.750 \cdot hr)^2)}{-2067.721 + 131 \cdot \ln(ht)}}$$

$$\frac{\partial d}{dfc} = \frac{1338.569}{-2067.721 + 131 \cdot \ln(200)} \cdot e^{\frac{-0.2 \cdot (16143.792 - 6023.562 \cdot \ln(900) + 3189.08 \cdot \ln(200))}{-2067.721 + 131 \cdot \ln(200)}}$$

Με αντικατάσταση των τυπικών τιμών και κατόπιν υπολογισμών, η αβεβαιότητα στην εκτίμηση της απόστασης εξαιτίας της αβεβαιότητας στη συχνότητα εκπομπής δf_c είναι ίση με:

$$\frac{\partial d}{dfc} \cdot \delta f_c = \pm 1,5 \text{ m} \quad (11)$$



Σχήμα 29: Ευσαιθησία ως προς τη μεταβολή της συχνότητας (fc)

6.4.6 Ευσαιθησία ως προς το Ύψος του Σταθμού Βάσης

Η μερική παράγωγος της συνάρτησης (9) ως προς το ύψος του Σταθμού Βάσης h_t δίνεται από τον τύπο:

$$\frac{\partial d}{\partial h_t} = 1000 \cdot \left(\frac{-637.816}{h_t \cdot (-2067.721 + 131 \cdot \ln(ht))} + 26.2 \cdot \frac{530.189 \cdot Lp - 39509.744 - 6023.562 \cdot \ln(fc) + 3189.08 \cdot \ln(ht) + 320 \cdot \ln(11.75 \cdot hr)^2}{(-2067.721 + 131 \cdot \ln(ht))^2 \cdot ht} \right) \cdot e^A$$

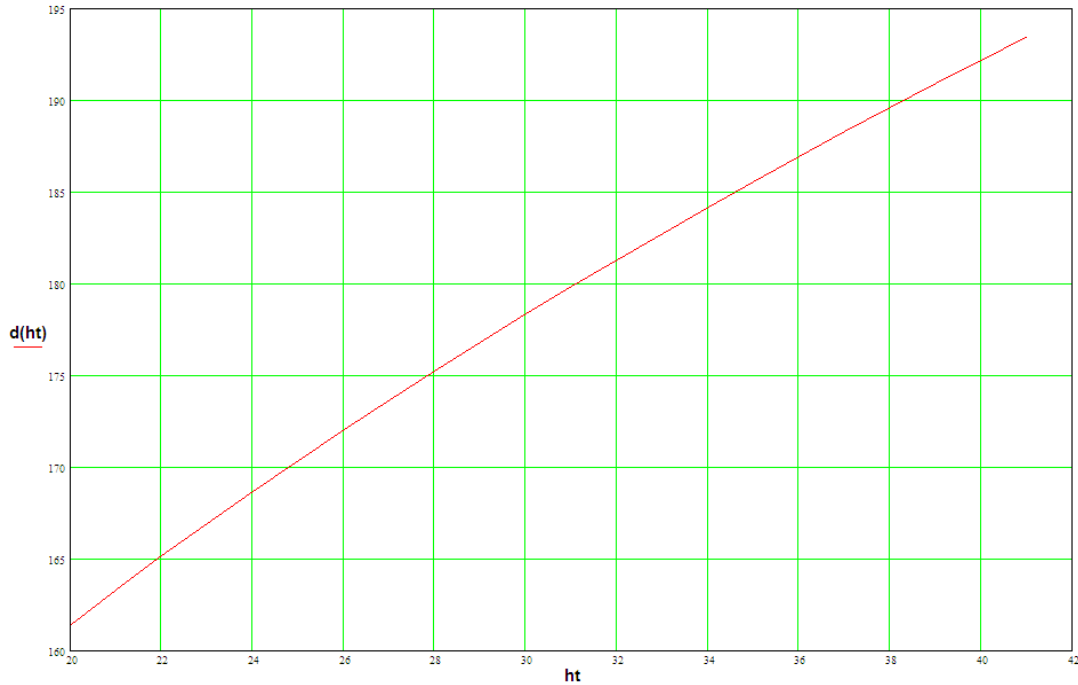
Όπου

$$A = -0.2 \cdot \frac{530.189 \cdot Lp - 39509.744 - 6023.562 \cdot \ln(fc) + 3189.08 \cdot \ln(ht) + 320 \cdot \ln(11.75 \cdot hr)^2}{-2067.721 + 131 \cdot \ln(ht)}$$

$$\frac{\partial d}{\partial h_t} = \left(\frac{-3.189}{-2067.721 + 131 \cdot \ln(200)} + 0.131 \cdot \frac{16143.792 - 6023.562 \cdot \ln(900) + 3189.08 \cdot \ln(200)}{(-2067.721 + 131 \cdot \ln(200))^2} \right) \cdot e^{-0.2 \cdot \frac{16143.792 - 6023.562 \cdot \ln(900) + 3189.08 \cdot \ln(200)}{-2067.721 + 131 \cdot \ln(200)}}$$

Με αντικατάσταση των τυπικών τιμών και έπειτα από υπολογισμούς, η αβεβαιότητα στην εκτίμηση της απόστασης εξαιτίας της αβεβαιότητας στο ύψος του ΣΒ δh_t είναι:

$$\frac{\partial d}{\partial h_t} \cdot \delta h_t = \pm 15 \text{ m} \quad (12)$$



Σχήμα 30: Ευαισθησία ως προς τη μεταβολή του ύψους του Σταθμού Βάσης

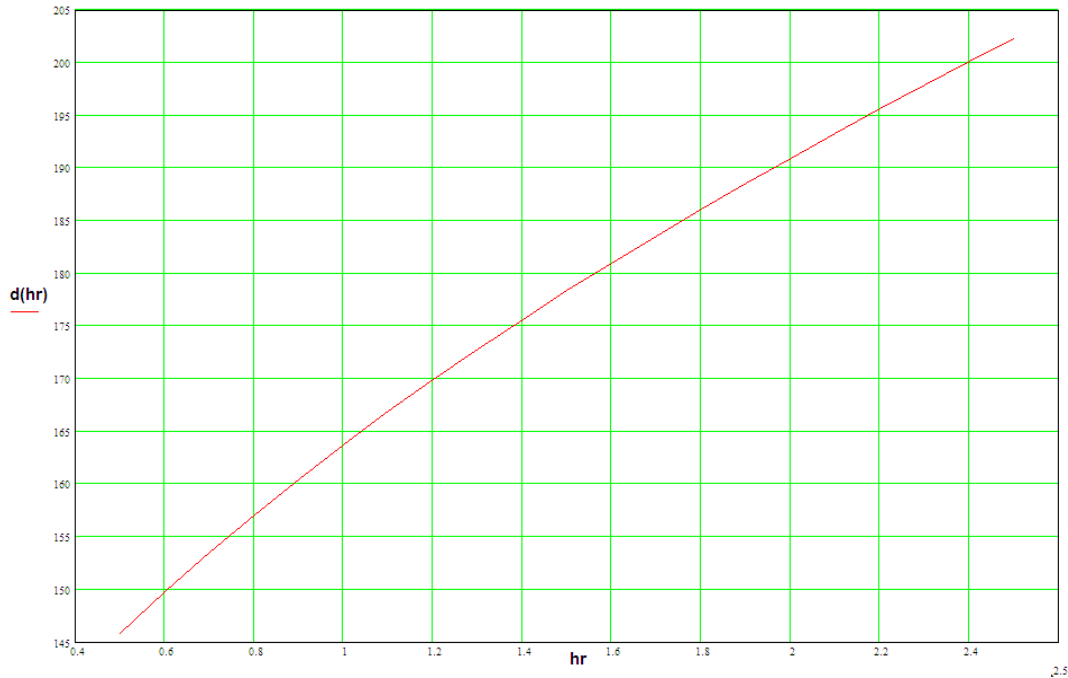
6.4.7 Ευαισθησία ως προς το Ύψος της Τερματικής Συσκευής

Η μερική παράγωγος της συνάρτησης (9) ως προς το ύψος της τερματικής συσκευής h_r δίνεται από τον τύπο:

$$\frac{\partial d}{\partial h_r} = \frac{\ln(17.625)}{-2067.721 + 131 \cdot \ln(200)} \cdot e^{-0.2 \cdot \frac{13509.236 - 6023.562 \cdot \ln(900) + 3189.08 \cdot \ln(200) + 320 \cdot \ln(17.625)^2}{-2067.721 + 131 \cdot \ln(200)}}$$

Με αντικατάσταση των τυπικών τιμών και έπειτα από υπολογισμούς, η αβεβαιότητα στην εκτίμηση της απόστασης εξαιτίας της αβεβαιότητας στο ύψος της τερματικής συσκευής δh_r είναι:

$$\frac{\partial d}{\partial h_r} \cdot \delta h_r = \pm 27 \text{ m} \quad (13)$$



Σχήμα 31: Ευαισθησία ως προς τη μεταβολή του ύψους της τερματικής συσκευής (h_r)

6.4.8 Συνολική Ευαισθησία

Η συνολική ευαισθησία της απόστασης $d(L_p, fc, ht, hr)$ όπως αυτή υπολογίζεται από τη σχέση (9) λαμβάνοντας υπόψη τις αβεβαιότητες οι οποίες οφείλονται στις επιμέρους παραμέτρους και με βάση τη σχέση (8) δίνεται από τη σχέση:

$$\delta d = \sqrt{\left(\frac{\partial d}{\partial L_p} \cdot \delta L_p\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial fc} \cdot \delta fc\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial ht} \cdot \delta ht\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial hr} \cdot \delta hr\right)^2} \quad (14)$$

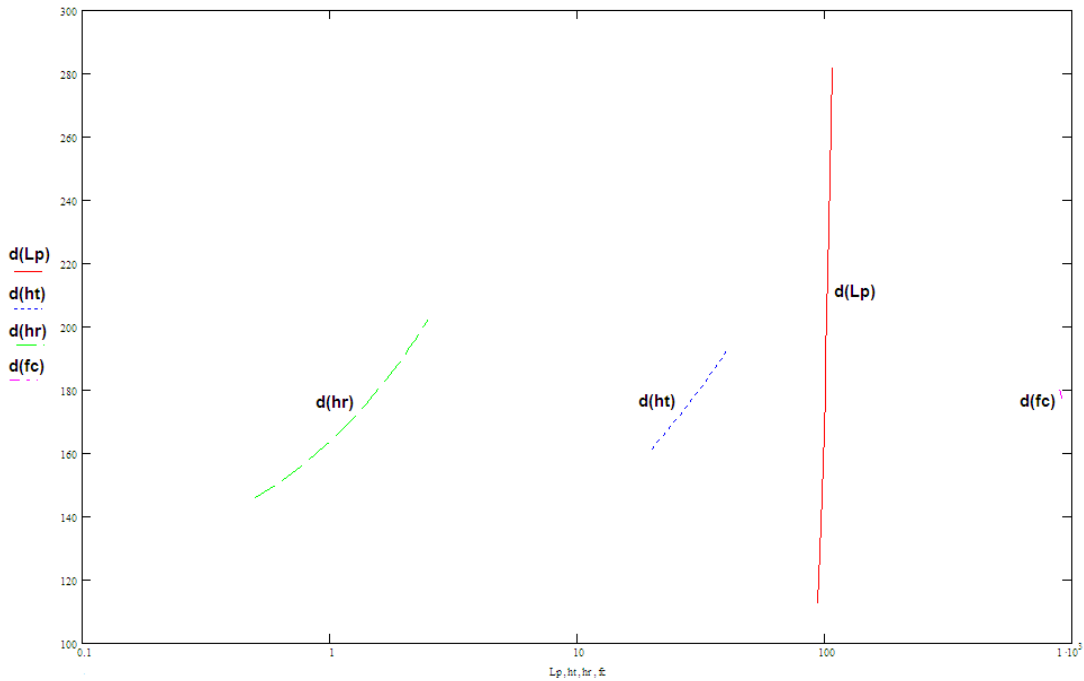
Με αντικατάσταση των τιμών των επιμέρους μερικών παραγώγων που υπολογίστηκαν στις (10), (11), (12) και (13) η συνολική ευαισθησία που προκύπτει είναι $\delta d = 87\text{m}$.

Η εκτιμώμενη απόσταση για τις τυπικές τιμές των παραμέτρων του Πίνακα 15 που προκύπτει από το μοντέλο Hata είναι ίση με:

$$d(L_p, fc, ht, hr) = 178 \pm 87\text{m} \quad (15)$$

Με βάση την ανωτέρω ανάλυση και τα αριθμητικά αποτελέσματα που προέκυψαν σχετικά με τα σφάλματα που εισάγονται στον υπολογισμό της απόστασης από την αβεβαιότητα εκτίμησης των μεταβλητών παραμέτρων του μοντέλου διάδοσης, αποδεικνύεται ότι η παράμετρος της οποίας η αβεβαιότητα επηρεάζει σε μέγιστο βαθμό την εκτίμηση της απόστασης d είναι οι απώλειες διάδοσης L_p , για τις τυπικές τιμές των μεγεθών. Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται ότι η

παράμετρος με την μικρότερη επίδραση στην ακρίβεια εκτίμησης της απόστασης είναι η συχνότητα f_c .



Σχήμα 32: Ανάλυση της συνολικής ευαισθησίας (ο άξονας x είναι σε λογαριθμική κλίμακα)

6.4.9 Επίδραση της Κατευθυντικότητας των Κεραιών στον Υπολογισμό της Απόστασης

Σε αυτή την ενότητα αναλύεται η επίδραση στον υπολογισμό της απόστασης τερματικού-ΣΒ της κατευθυντικότητας των κεραιών των Σταθμών Βάσης που τυπικά χρησιμοποιούνται στα εμπορικά διαθέσιμα δίκτυα. Όπως προαναφέρθηκε στην ενότητα 6.4.2, ο υπολογισμός της απόστασης προκύπτει από τις μετρήσεις των απωλειών διάδοσης μέσω μοντέλων ραδιοδιάδοσης (π.χ. Okumura Hata). Οι απώλειες διάδοσης προκύπτουν με την αφαίρεση της λαμβανόμενης ισχύος σήματος (μετρούμενη στο τερματικό) από την εκπεμπόμενη ισχύ (υπολογισμένη στο Σταθμό Βάσης). Πιο συγκεκριμένα οι απώλειες διάδοσης (Path Loss) υπολογίζονται με βάση την παρακάτω εξίσωση:

$$L = TX_{BTS} + G_{MS} - RX_{MS} \quad (16)$$

όπου:

L εκφράζει τις απώλειες διάδοσης σε dB,

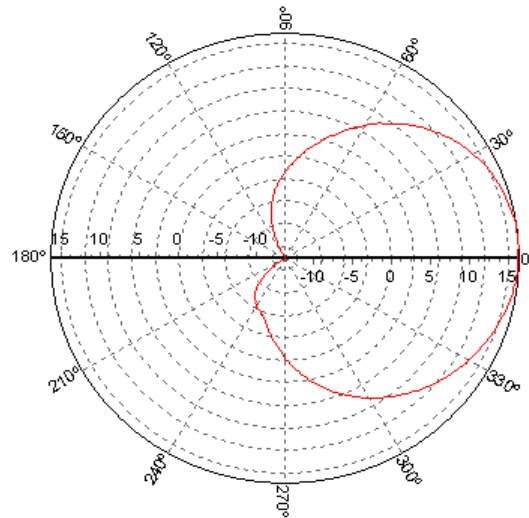
TX_{BTS} εκφράζει την εκπεμπόμενη ισχύ του Σταθμού Βάσης σε dB_m,

G_{MS} είναι το κέρδος της κεραίας της τερματικής συσκευής σε dB_i και

RX_{MS} είναι η λαμβανόμενη ισχύς στο τερματικό σε dB_m.

Το Tx_{BTS} στην εξίσωση (16) θεωρείται ότι αναπαριστά για λόγους απλοποίησης της έκφρασης, την ισοδύναμη ιστροπικά ακτινοβολούμενη ισχύς από τον πομπό - EIRP (Effective Isotropic Radiated Power). Στην πράξη ωστόσο, οι κεραιές οι οποίες χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα εμπορικά δίκτυα δεν είναι ομοιοκατευθυντικές αλλά κατευθυντικές. Το γεγονός αυτό εισάγει ένα σφάλμα στον υπολογισμό της απόστασης με χρήση της EIRP το οποίο και διερευνάται στις παραγράφους που ακολουθούν.

Συνήθως στα εμπορικά δίκτυα GSM και UMTS κάθε Σταθμός Βάσης υλοποιείται με τρεις κυψέλες-τομείς (sectors) με τη χρήση κατευθυντικών κεραιών με εύρος εκπομπής 120° ($360^\circ/3=120^\circ$). Και στην περίπτωση αυτή το κέρδος της κεραιάς δεν είναι σταθερό, παρά μεταβάλλεται ανάλογα με το αζιμούθιο στο εύρος των 120° . Κάθε κεραιά περιγράφεται από ένα διάγραμμα ακτινοβολίας, το οποίο απεικονίζει το κέρδος της κεραιάς σε κάθε κατεύθυνση/αζιμούθιο. Το επόμενο σχήμα παρουσιάζει το διάγραμμα ακτινοβολίας μίας τυπικής κεραιάς δικτύου GSM.



Σχήμα 33: Διάγραμμα Ακτινοβολίας μιας Τυπικής Κεραιάς Δικτύου GSM

Η εκπεμπόμενη ισχύς της κεραιάς μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το αζιμούθιο (αντίστοιχα με το κέρδος της). Αντικαθιστώντας στην εξίσωση (16) την τιμή της ισοδύναμης ιστροπικά ακτινοβολούμενη ισχύς από τον πομπό - EIRP, με την έκφραση της εκπεμπόμενης ισχύς σε συνάρτηση με το αζιμούθιο, προκύπτει:

$$L = Tx_{BTS} + G_{BTS} - L_C + G_{MS} - Rx_{MS} \quad (17)$$

όπου:

Tx_{BTS} (dB_m) εκφράζει την ισχύ στην είσοδο της κεραιάς,

G_{BTS} εκφράζει το κέρδος της κεραιάς του Σταθμού Βάσης σε dB_i,

L_C αντιστοιχεί στις απώλειες των καλωδίων του Σταθμού Βάσης σε dB,

G_{MS} και $R_{X_{MS}}$ όπως ορίστηκαν παραπάνω.

Όπως αναλύθηκε, ο παράγοντας G_{BTS} είναι συνάρτηση του αζιμούθιου θ , $G_{BTS}(\theta)$.

Το τελικό αποτέλεσμα της ανάλυσής θα είναι ο υπολογισμός της απόστασης τερματικού-ΣΒ ως συνάρτηση του αζιμούθιου θ . Το μοντέλο ραδιοδιάδοσης που θα χρησιμοποιηθεί του Okumura Hata που περιγράφηκε στην εξίσωση (1):

Λύνοντας την εξίσωση αυτή ως προς την απόσταση d προκύπτει:

$$d = 10^{\frac{L}{44.9 - 6.55 \log h_{BTS}}} \cdot 10^{\frac{-69.55 - 26.16 \log f + 13.82 \log h_{BTS} + a(h_{MS}) + K}{44.9 - 6.55 \log h_{BTS}}} \quad (18)$$

Αντικαθιστώντας τις απώλειες διάδοσης L από τη σχέση (17) και λαμβάνοντας υπόψη τη συνάρτηση ακτινοβολίας της κεραίας βάσει του αζιμούθιου προκύπτει:

$$d = 10^{\frac{G_{BTS}(\theta)}{44.9 - 6.55 \log h_{BTS}}} \cdot 10^{\frac{T_{X_{BTS}} - L_C + G_{MS} - R_{X_{MS}}}{44.9 - 6.55 \log h_{BTS}}} \cdot 10^{\frac{-69.55 - 26.16 \log f + 13.82 \log h_{BTS} + a(h_{MS}) + K}{44.9 - 6.55 \log h_{BTS}}} \quad (19)$$

Με σκοπό την απλοποίηση της ανωτέρω εξίσωσης ορίζουμε τις σταθερές w και z ίσες με

$$w = 10^{\frac{T_{X_{BTS}} - L_C + G_{MS} - R_{X_{MS}}}{44.9 - 6.55 \log h_{BTS}}} \cdot 10^{\frac{-69.55 - 26.16 \log f + 13.82 \log h_{BTS} + a(h_{MS}) + K}{44.9 - 6.55 \log h_{BTS}}} \quad (20)$$

$$z = \frac{1}{44.9 - 6.55 \log h_{BTS}} \quad (21)$$

Με αυτές τις αντικαταστάσεις η έκφραση της απόστασης d έχει ως εξής:

$$d = w \cdot 10^{z \cdot G_{BTS}(\theta)} \quad (22)$$

Για τον τελικό υπολογισμό της ακρίβειας της απόστασης τερματικού-ΣΒ σε συνάρτηση με το αζιμούθιο, θα πρέπει να είναι γνωστή η συνάρτηση του κέρδους της κεραίας του ΣΒ $G_{BTS}(\theta)$. Στην πράξη, η συνάρτηση αυτή παρέχεται από τους κατασκευαστές στις τεχνικές προδιαγραφές των κεραίων. Το διάγραμμα ακτινοβολίας μίας τυπικής εμπορικά διαθέσιμης κεραίας το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την παρούσα ανάλυση παρουσιάστηκε στο Σχήμα 33 [174]. Προσεγγίζοντας το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας με μία πολυωνμική συνάρτηση⁴ προέκυψε η παρακάτω συνάρτηση με βάση την οποία μοντελοποιείται το κέρδος συναρτήσει του αζιμούθιου θ . Για την

⁴ Χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση polynomial fit του Microsoft Excel

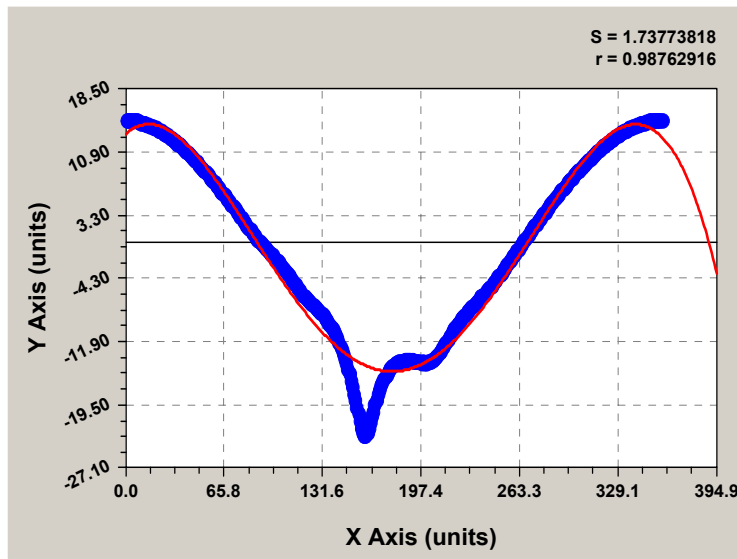
προσέγγιση χρησιμοποιήθηκε ένα πολυωνμικό μοντέλο 4^{ης} τάξης το οποίο ήταν το απλούστερο αλλά και ακριβέστερο από τα μοντέλα ανώτερης τάξης που διερευνήθηκαν.

$$G_{BTS}(\theta) = 13.155089 + 0.1560104 \cdot \theta - 5.8094 \cdot 10^{-3} \cdot \theta^2 + 3.0186 \cdot 10^{-5} \cdot \theta^3 - 4.2414 \cdot 10^{-8} \cdot \theta^4 \quad (23)$$

Η μεταβλητή θ λαμβάνει τιμές στο εύρος μεταξύ 0° και 360° .

$$0^\circ \leq \theta < 360^\circ$$

Στο Σχήμα 34 παρουσιάζεται το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας (με χρώμα μπλε) και η 4^{ης} τάξης πολυωνμική προσέγγιση (με χρώμα κόκκινο).



Σχήμα 34: Πολυωνμική προσέγγιση (4^{ης} τάξης) του διαγράμματος ακτινοβολίας τυπικής κεραίας δικτύου GSM

Η προσέγγιση αυτή είναι ακριβής για όλο το φάσμα τιμών της γωνίας θ εκτός από ένα εύρος $\pm 10^\circ$ στην κατεύθυνση (αζιμούθιο) των 180° . Η ακρίβεια μειώνεται στην προσέγγιση του πίσω λοβού της κεραίας. Ωστόσο, το σφάλμα αυτό θεωρείται αμελητέο καθώς η ισχύς εκπομπής του πίσω λοβού είναι ελάχιστη και πρακτικά σε αυτή την κατεύθυνση δεν μπορεί να εξυπηρετηθεί κάποιο τερματικό.

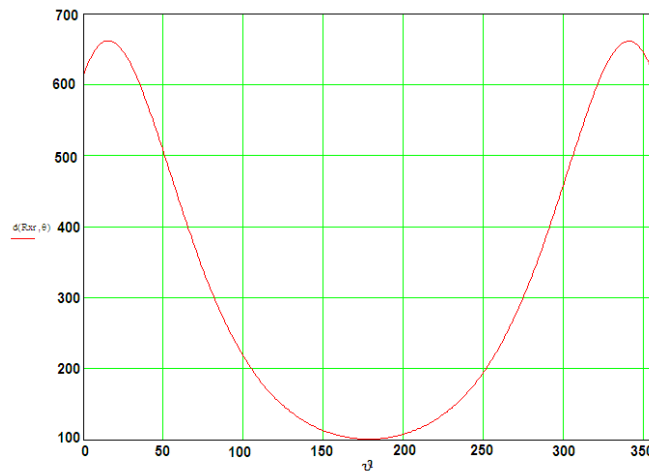
Εν συνεχεία, μπορεί να σχεδιαστεί το διάγραμμα της συνάρτησης (22) (απόσταση τερματικού-ΣΒ για διάφορες τιμές του αζιμούθιου θ) για ένα σύνολο τυπικών τιμών όπως αυτές που αναγράφονται στον Πίνακας 16.

| Παράμετρος | Τυπική Τιμή |
|------------|-------------------|
| T_{XBTS} | 36dB _m |

| | |
|--------------|--------------------|
| L_C | 6dB |
| G_{MS} | 3dB _i |
| $R_{X_{MS}}$ | -75dB _m |
| F | 900MHz |
| h_{MS} | 1.5m |
| h_{BTS} | 20m |

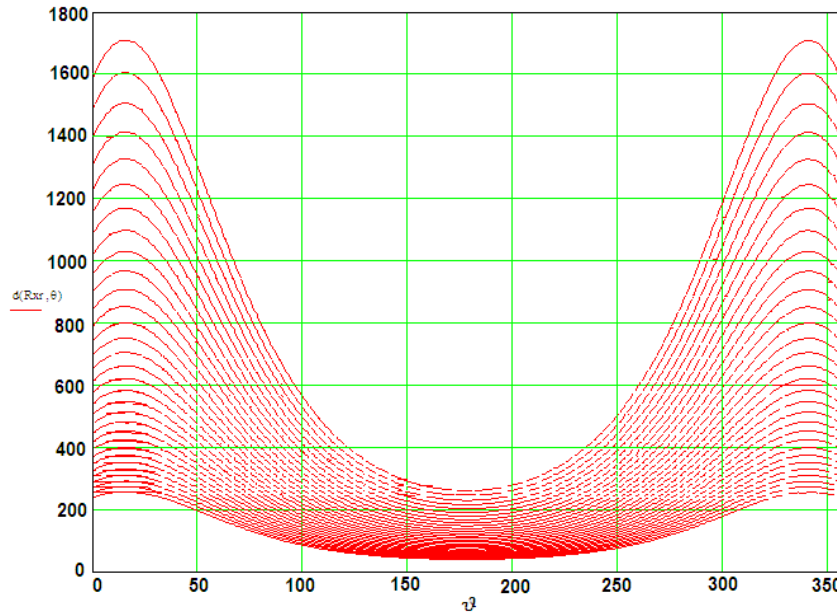
Πίνακας 16: Τυπικές τιμές παραμέτρων μοντέλου διάδοσης

Χρησιμοποιώντας τις τιμές αυτές, το ακόλουθο Σχήμα 35 αναπαριστά τη μεταβολή της εκτιμώμενης απόστασης τερματικού-ΣΒ σε συνάρτηση με το αζιμούθιο θ . Παρατηρείται ότι η διαφορά στην εκτιμώμενη απόσταση για δύο διαφορετικές τιμές του αζιμούθιου μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 550m στην χειρότερη περίπτωση. Στην πράξη ωστόσο το εύρος τιμών του αζιμούθιου στο οποίο εξυπηρετούνται οι τερματικές συσκευές είναι $-60^\circ < \theta < 60^\circ$. Σε αυτό το ρεαλιστικό εύρος τιμών, η διαφορά αυτή περιορίζεται στα 180m.



Σχήμα 35: Μεταβολή της εκτιμώμενης απόστασης σε συνάρτηση με το αζιμούθιο θ

Το επόμενο σχήμα επεκτείνει την ανωτέρω ανάλυση παρουσιάζοντας τη μεταβολή της εκτιμώμενης απόστασης συναρτήσει του αζιμούθιου θ για διαφορετικές τιμές της λαμβανόμενης στάθμης σήματος (και κατ' επέκταση των απωλειών διάδοσης). Η τιμή της λαμβανόμενης στάθμης σήματος κυμαίνεται μεταξύ -60 και -90 dB_m με διαδοχικά βήματα μεταβολής 1dB_m.



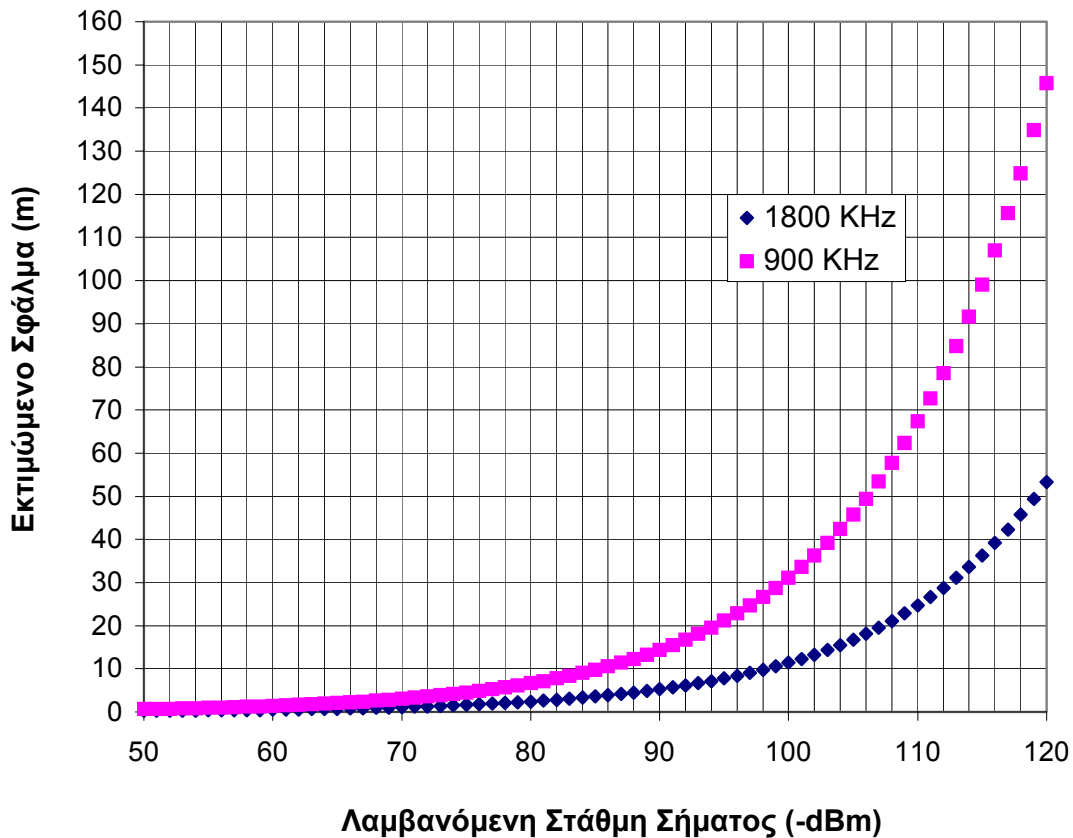
Σχήμα 36: Μεταβολή της εκτιμώμενης απόστασης σε συνάρτηση με το αζιμούθιο θ (για διαφορετικές τιμές της λαμβανόμενης στάθμης σήματος)

Συμπερασματικά από την ανωτέρω ανάλυση προκύπτουν τα εξής:

- Οι κατευθυντικές κεραιές οι οποίες χρησιμοποιούνται στα εμπορικά διαθέσιμα δίκτυα επηρεάζουν σημαντικά την εκτίμηση της απόστασης τερματικού-ΣΒ με τη χρήση μοντέλων ραδιοδιάδοσης.
- Στην περίπτωση που η κατευθυντικότητα των κεραιών δεν λαμβάνεται υπόψη στην τιμή της εκπεμπόμενης ισχύος, η απόκλιση στην εκτίμηση της θέσης (για τις τυπικές τιμές της ανάλυσής μας) μπορεί να φτάσει τα 180m.
- Η απόκλιση στην εκτίμηση της απόστασης επηρεάζεται από τη λαμβανόμενη στάθμη σήματος στο τερματικό. Όσο πιο ασθενές είναι το λαμβανόμενο σήμα τόσο μεγαλύτερη η απόκλιση που υπεισέρχεται με την υπόθεση ομοιοκατευθυντικής εκπομπής.

6.4.10 Σφάλμα στην Εκτίμηση της Απόστασης εξαιτίας της Διακριτικής Ικανότητας Συλλογής Μετρήσεων από την Τερματική Συσκευή

Το επόμενο διάγραμμα αναπαριστά το σφάλμα στην εκτίμηση της απόστασης (σε μέτρα) μεταξύ του τερματικού και του ΣΒ, το οποίο υπεισέρχεται εξαιτίας της χαμηλής ανάλυσης των λαμβανόμενων μετρήσεων από τις τερματικές συσκευές -διακριτική ικανότητα $\pm 1\text{dBm}$. Οι τυπικές τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό τιμών αναγράφονται στον Πίνακα 16.



Σχήμα 37: Σφάλμα που οφείλεται στη διακριτική ικανότητα λήψης μετρήσεων 1dBm

Με βάση το ανωτέρω διάγραμμα προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Το σφάλμα στην εκτίμηση της θέσης (με τη χρήση κάποιου εμπειρικού μοντέλου π.χ. Hata) που εισάγεται εξαιτίας της μειωμένης διακριτικής ικανότητας στη λήψη μετρήσεων λαμβανόμενης στάθμης ισχύος σήματος από τις τερματικές συσκευές είναι υψηλότερο στη ζώνη συχνοτήτων 900MHz από ότι στη ζώνη συχνοτήτων 1800MHz.
- Η επίδραση της διακριτικής ικανότητας των τερματικών συσκευών στην ακρίβεια προσδιορισμού της θέσης είναι μεγαλύτερη στις περιπτώσεις στις οποίες η λαμβανόμενη στάθμη ισχύος σήματος είναι χαμηλή, κυρίως όταν είναι μικρότερη από -90dBm.
- Η επίδραση της διακριτικής ικανότητας μετρήσεων στάθμης ισχύος σήματος των τερματικών συσκευών στην ακρίβεια προσδιορισμού της θέσης δεν είναι σημαντική όταν η λαμβανόμενη στάθμη ισχύος σήματος είναι μεγαλύτερη από -90dBm. Σε αυτές τις περιπτώσεις δεν υπάρχει ανάγκη για ακρίβεια μεγαλύτερη του 1dBm στη λαμβανόμενη ισχύ.

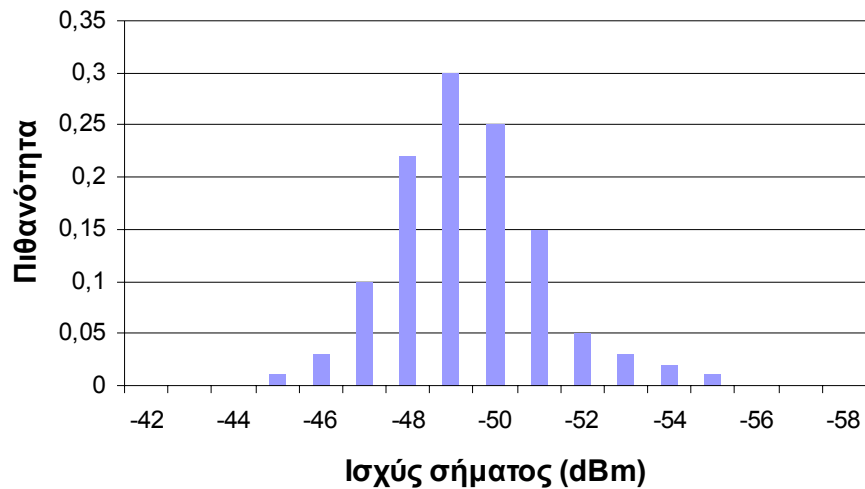
6.5 Ανάλυση της Επάρκειας της Μεθόδου για Τεχνικές που βασίζονται στην Ισχύ Λαμβανόμενου Σήματος

Στην ενότητα αυτή αναλύεται η επάρκεια της μεθόδου STAMP για τεχνικές προσδιορισμού θέσης που βασίζονται στη λαμβανόμενη στάθμη σήματος όπως είναι η CGI++ για δίκτυα GSM και η CPICH για δίκτυα UMTS. Όπως έχει προαναφερθεί στο κεφάλαιο 2, οι τεχνικές αυτές δύνανται να αξιοποιήσουν τις μετρήσεις που συλλέγει το τερματικό όταν βρίσκεται σε κατάσταση αδρανείας (idle mode).

Η μελέτη στηρίζεται στη θεωρία διάδοσης του ραδιοσήματος, τη διαδικασία λήψης μετρήσεων από τις τερματικές συσκευές καθώς και τη θεωρία που σχετίζεται με τη στατιστική επεξεργασία σημάτων. Για την πληρέστερη διερεύνηση όλων των σεναρίων, η επάρκεια της μεθόδου STAMP πραγματοποιείται τόσο για ακίνητα τερματικά όσο και για τερματικά που βρίσκονται σε κίνηση.

6.5.1 Επάρκεια της Μεθόδου για Ακίνητα Τερματικά

Όπως είναι γνωστό στις κινητές επικοινωνίες, η στάθμη σήματος από ένα Σταθμό Βάσης που λαμβάνει ένα τερματικό, σε μία συγκεκριμένη θέση Y_0 μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το χρόνο. Το διάγραμμα που ακολουθεί το οποίο βασίζεται σε πειραματικές τιμές, επιβεβαιώνει τη μεταβολή της λαμβανόμενης στάθμης ισχύος σήματος σε κάποιο συγκεκριμένο σημείο.



Σχήμα 38: Παράδειγμα κατανομής της λαμβανόμενης στάθμης ισχύος σήματος σε σταθερό σημείο

Η μεταβαλλόμενη στάθμη σήματος αποτελείται από δύο κυρίως παράγοντες: (α) τον παράγοντα μακροχρόνιων διαλείψεων ή αλλιώς τον τοπικό μέσο (slow fading ή local mean) ο οποίος σχετίζεται με τις απώλειες διάδοσης και τη φύση του περιβάλλοντος και (β) τον παράγοντα βραχυχρόνιων διαλείψεων (short-term ή fast fading) ο οποίος προκαλείται από τα φαινόμενα πολυδύεσης [175],[176]. Ο παράγοντας μακροχρόνιων διαλείψεων ακολουθεί την λογαριθμοκανονική (LogNormal) κατανομή [175],[176]. Από την άλλη, η συνάρτηση πυκνότητας

πιθανότητας που ακολουθεί ο παράγοντας βραχυχρόνιων διαλείψεων είναι τύπου Rayleigh ή Rician αναλόγως με το αν υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ του τερματικού με το ΣΒ [175].

Με βάση την τυπική λειτουργία του, το τερματικό εκτιμά τη λαμβανόμενη στάθμη ισχύος του σήματος μεσοσταθμίζοντας τις μετρούμενες τιμές κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου. Η χρονική αυτή περίοδος ισούται με 480msec όταν το τερματικό βρίσκεται σε κατάσταση κλήσης ή 3 με 6sec (ανάλογα με τις κατασκευαστικές προδιαγραφές) όταν βρίσκεται σε κατάσταση αδρανείας [84]. Σύμφωνα με την αναφορά [175] ο παράγοντας της βραχυχρόνιων διαλείψεων μπορεί να εξομαλυνθεί μεσοσταθμίζοντας τις μετρούμενες τιμές της στάθμης σε ένα διάστημα 40-80 περιόδων εξασθένησης. Το γεγονός αυτό (εξομάλυνση της ταχείας εξασθένησης), σε συνδυασμό με την τυπική λειτουργία του τερματικού βρίσκει εφαρμογή στην τεχνική CGI++ (ή CPICH για δίκτυα UMTS). Με βάση αυτή την παρατήρηση είναι δυνατή η αξιοποίηση των μοντέλων διάδοσης ραδιοσήματος (π.χ. Hata [178]) για την εκτίμηση της απόστασης τερματικού-ΣΒ δεδομένου ότι η στάθμη του λαμβανόμενου σήματος (που μετράται από το τερματικό) αντιστοιχεί στον παράγοντα μακροχρόνιων διαλείψεων (τοπικό μέσο) του σήματος.

Έστω ότι ο τοπικός μέσος του σήματος το οποίο εκπέμπεται από ένα ΣΒ j και λαμβάνεται από ένα τερματικό σε μία θέση \mathbf{Y}_o εκτιμάται βάσει της ανωτέρω λογικής ότι είναι ίσος με \bar{m}_{oj} . Το σφάλμα e_{kj} στην εκτίμηση της απόστασης τερματικού-ΣΒ j βάσει των μετρήσεων τη χρονική στιγμή t_k μπορεί να εκφραστεί ως ακολούθως:

$$e_{kj} = d_{oj} - \hat{d}(m_{kj}, \bar{\mathbf{p}}) = \hat{d}(\bar{m}_{oj}, \bar{\mathbf{p}}_{oj}) - \hat{d}(m_{kj}, \bar{\mathbf{p}}) \quad (1)$$

όπου d_{oj} είναι η πραγματική απόσταση ανάμεσα στο τερματικό και τον ΣΒ j . Το $\hat{d}(m_{kj}, \bar{\mathbf{p}})$ εκφράζει την εκτίμηση της απόστασης τερματικού-ΣΒ j , η οποία υπολογίζεται με βάση το μοντέλο ραδιοδιάδοσης (π.χ. Hata). Το m_{kj} εκφράζει την προσέγγιση του παράγοντα μακροχρόνιων διαλείψεων της στάθμης του λαμβανόμενου σήματος στη θέση που βρίσκεται το τερματικό τη χρονική στιγμή t_k . Το $\bar{\mathbf{p}}$ εκφράζει το διάνυσμα των σταθερών του μοντέλου ραδιοδιάδοσης, οι οποίες εκτιμώνται εμπειρικά με βάση μετρήσεις σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή ώστε να περιοριστεί το σφάλμα το οποίο οφείλεται στην απόκλιση του μοντέλου από το πραγματικό περιβάλλον διάδοσης. Όπως αναφέρεται εκτενώς στη βιβλιογραφία, η βέλτιστη επιλογή του $\bar{\mathbf{p}}$ στα εμπειρικά μοντέλα ραδιοδιάδοσης οδηγεί σε μια τυπική απόκλιση στην εκτίμηση της λαμβανόμενης ισχύος σήματος της τάξης των 8dB-12dB [175],[176]. Αναμένεται συνεπώς ότι στην γενική περίπτωση θα υπάρχει διαφορά ανάμεσα στις εκτιμώμενες παραμέτρους $\bar{\mathbf{p}}$ οι οποίες έχουν βελτιστοποιηθεί για μια περιοχή και τις ιδιαίτερες παραμέτρους $\bar{\mathbf{p}}_{oj}$ οι οποίες ισχύουν για έναν συγκεκριμένο ΣΒ j και μια συγκεκριμένη θέση τερματικού \mathbf{Y}_o . Στο

πλαίσιο αυτό, το $\hat{d}(\bar{m}_{oj}, \bar{\mathbf{p}}_{oj})$ ισούται με την πραγματική απόσταση τερματικού-ΣΒ j καθώς αντιστοιχεί στο βελτιστοποιημένο μοντέλο ραδιοδιάδοσης για μια συγκεκριμένη στατική θέση του τερματικού \mathbf{Y}_o , ενώ, το \bar{m}_{oj} είναι ο τοπικός μέσος του λαμβανόμενου σήματος από τον ΣΒ j στη θέση αυτή.

Το σφάλμα e_{kj} μπορεί να εκφραστεί ως το άθροισμα δύο παραγόντων σφάλματος: (α) $e_{mj}(k)$ του παράγοντα σφάλματος εκτίμησης του τοπικού μέσου, και (β) $e_{pj}(\bar{\mathbf{p}}_{oj}, \bar{\mathbf{p}})$, του παράγοντα σφάλματος εκτίμησης του μοντέλου διάδοσης ραδιοσήματος.

$$e_{kj} = e_{pj}(\bar{\mathbf{p}}_{oj}, \bar{\mathbf{p}}) + e_{mj}(k) \quad (2)$$

$$e_{pj}(\bar{\mathbf{p}}_{oj}, \bar{\mathbf{p}}) = \hat{d}(\bar{m}_{oj}, \bar{\mathbf{p}}_{oj}) - \hat{d}(\bar{m}_{oj}, \bar{\mathbf{p}}) \quad (3)$$

$$e_{mj}(k) = e_{kj} - e_{pj}(\bar{\mathbf{p}}_{oj}, \bar{\mathbf{p}}) = \hat{d}(\bar{m}_{oj}, \bar{\mathbf{p}}) - \hat{d}(m_{kj}, \bar{\mathbf{p}}) \quad (4)$$

Από την εξίσωση (3) συμπεραίνεται ότι εάν ισχύει $\bar{\mathbf{p}}_{oj} \neq \bar{\mathbf{p}}$ (το οποίο είναι αναμενόμενη συνθήκη στη γενική περίπτωση), τότε $e_{pj}(\bar{\mathbf{p}}_{oj}, \bar{\mathbf{p}}) \neq 0$ το οποίο οδηγεί σε ένα συστηματικό σφάλμα στην εκτίμηση της απόστασης τερματικού-ΣΒ.

Επιπρόσθετα, από την εξίσωση (4) συμπεραίνεται ότι το $e_{mj}(k)$ είναι μια μεταβλητή με μηδενική μέση τιμή, καθώς η διαφορά των \bar{m}_{oj} και m_{kj} αντιστοιχεί στην ακρίβεια της εκτίμησης του τοπικού μέσου (ή στο βαθμό περιορισμού του παράγοντα ταχείας εξασθένισης) και ανάλογα με τη φύση του λαμβανόμενου σήματος είναι:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N m_{kj} \right] = \bar{m}_{oj} \quad (5)$$

Στις τεχνικές που βασίζονται στη στάθμη ισχύος του λαμβανόμενου σήματος (CGI++ ή CPICH), η θέση του τερματικού καθορίζεται μέσω τριγωνοποίησης στην οποία λαμβάνονται υπόψη οι εκτιμώμενες αποστάσεις ανάμεσα στη θέση του τερματικού και τριών ή περισσότερων διαφορετικών ΣΒ. Το σφάλμα που προκύπτει στην τελικά εκτιμώμενη θέση του τερματικού $\mathbf{E}(\mathbf{Y}_k)$ κατόπιν τριγωνοποίησης αναμένεται να συμβιβαστεί τα ακόλουθα δυο στοιχεία::

$$\mathbf{E}(\mathbf{Y}_k) = \mathbf{E}_p(\mathbf{Y}_o) + \mathbf{E}_m(\mathbf{k}) \quad (6)$$

Όπου το $\mathbf{E}_p(\mathbf{Y}_o)$ αντιστοιχεί στον παράγοντα συστηματικού σφάλματος και το $\mathbf{E}_m(\mathbf{k})$ στο διάνυσμα παραμέτρων μηδενικής μέσης τιμής εκφράζοντας τον παράγοντα σφάλματος ο οποίος συνδέεται

με την προσέγγιση του παράγοντα του τοπικού μέσου της στάθμης λαμβανόμενου σήματος τη χρονική στιγμή t_k .

Η εφαρμογή της μεθόδου STAMP σε αυτή την περίπτωση, (δηλαδή το στατιστικό φιλτράρισμα μέσω του φίλτρου Kalman όπως παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 3) περιορίζεται στο συστηματικό σφάλμα στην εκτίμηση της θέσης του τερματικού. Υποθέτοντας ότι το φίλτρο Kalman προσεγγίζει την πραγματική θέση του τερματικού, το διάνυσμα των παραμέτρων \mathbf{U}_k (βλ. Εξίσωση του φίλτρου Kalman Παράρτημα 10.2) εκφράζει το σφάλμα στην εκτίμηση της θέσης $\mathbf{E}(\mathbf{Y}_k)$:

$$\mathbf{U}_k = \mathbf{Y}_k - \mathbf{M} \cdot \mathbf{X}_k = \mathbf{E}(\mathbf{Y}_k) - \mathbf{E}_p(\mathbf{Y}_0) + \mathbf{E}_m(\mathbf{k}) \quad (7)$$

Το διάνυσμα παραμέτρων \mathbf{U}_k παρά την απαίτηση του μοντέλου του φίλτρου Kalman δεν ακολουθεί την κατανομή Λευκού Θορύβου (White Noise Distribution) καθώς έχει ένα μη μηδενικό μέσο όρο το $\mathbf{E}_p(\mathbf{Y}_0)$:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \mathbf{U}_k \right] = \mathbf{E}_p(\mathbf{Y}_0) = \begin{bmatrix} e_{p1} \\ e_{p2} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Το μοντέλο του φίλτρου Kalman σε αυτή την περίπτωση αντιστοιχεί στο ακόλουθο μοντέλο, το οποίο είναι συμβατό με τις απαιτούμενες υποθέσεις.

$$\mathbf{X}'_k = \Phi \cdot \mathbf{X}'_{k-1} + \Gamma \cdot \mathbf{W}_k \quad (9)$$

$$\mathbf{Y}_k = \mathbf{M} \cdot \mathbf{X}'_k + \mathbf{U}'_k \quad (10)$$

Όπου: $\mathbf{U}'_k = \mathbf{E}_m(k)$ είναι ένα διάνυσμα παραμέτρων μηδενικής μέσης τιμής το οποίο μπορεί να προσεγγιστεί από ένα διάνυσμα παραμέτρων Λευκού Θορύβου, και

$$\mathbf{X}'_k = \begin{bmatrix} x_1(t_k) + e_{p1} \\ x_2(t_k) + e_{p2} \\ v_1(t_k) \\ v_2(t_k) \end{bmatrix} \quad (11)$$

Συνεπώς το μοντέλο του φίλτρου Kalman στην περίπτωση ακίνητου τερματικού παρέχει μια εκτίμηση της θέσης του τερματικού μετατοπισμένη κατά το μη γνωστό συστηματικό σφάλμα:

$$[x_1(t_k), x_2(t_k)] + [e_{p1}, e_{p2}].$$

6.5.2 Επάρκεια της Μεθόδου για Κινούμενα Τερματικά

Στην περίπτωση κινούμενου τερματικού, οι μετρήσεις της στάθμης ισχύος του λαμβανόμενου σήματος οι οποίες αποθηκεύονται στη λίστα STAMP αντιστοιχούν σε διαφορετικές θέσεις του τερματικού. Αυτό οδηγεί σε μία διαφορετική στατιστική συμπεριφορά των τιμών ισχύος του σήματος σε σύγκριση με την περίπτωση ακίνητου τερματικού. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι μετρήσεις της λαμβανόμενης στάθμης ισχύος σήματος αντιστοιχούν σε σήματα τα οποία ακολουθούν διαφορετική διάδοση μέσα στο χώρο (προέρχονται από διαφορετικές οδεύσεις).

Η μεσοστάθμιση των τιμών της στάθμης ισχύος σήματος (όπως υλοποιείται με βάση την τυπική λειτουργία των τερματικών και εξηγήθηκε ανωτέρω με βάση την αναφορά [175]) σε ένα διάστημα 40-80 περιόδων διαλείψεων, οδηγεί σε εξομάλυνση του παράγοντα βραχυχρόνιων διαλείψεων. Σύμφωνα με την εξίσωση (1) το σφάλμα e_{kj} της εκτίμησης κάθε ξεχωριστής θέσης του τερματικού \mathbf{Y}_k θα είναι:

$$e_{kj} = \hat{d}(\bar{m}_{kj}, \bar{\mathbf{p}}_{kj}) - \hat{d}(m_{kj}, \bar{\mathbf{p}}) \quad (12)$$

Θεωρώντας m_{kj} την προσέγγιση του διανύσματος του τοπικού μέσου \bar{m}_{kj} της στάθμης ισχύος σήματος από τον ΣΒ j σε κάθε θέση του τερματικού \mathbf{Y}_k μπορεί να υποτεθεί ότι:

$$m_{kj} = \bar{m}_{kj} + \delta_{kj} \quad (13)$$

Όπου δ_{kj} είναι μία τυχαία παράμετρος με μηδενική μέση τιμή.

Όπως προαναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, το διάνυσμα $\bar{\mathbf{p}}$ μπορεί να εκτιμηθεί με βάση μετρήσεις πεδίου του δικτύου (π.χ. συλλογή δειγμάτων στάθμης ισχύος σήματος για μία συγκεκριμένη περιοχή) και στατιστική επεξεργασία αυτών με σκοπό την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων (στην απόσταση τερματικού-ΣΒ) που προέρχονται από το μοντέλο ραδιοδιάδοσης⁵. Στο πλαίσιο αυτό, για ένα ικανοποιητικό αριθμό διαδοχικών θέσεων του τερματικού $\mathbf{Y}_1, \mathbf{Y}_2, \dots, \mathbf{Y}_k$ (που αντιστοιχούν σε μετρήσεις της λίστας STAMP) μπορεί να θεωρηθεί ότι:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \bar{\mathbf{p}}_{kj} \right] \approx \bar{\mathbf{p}} \quad (14)$$

Βάσει των εξισώσεων (13) και (14) και το γεγονός ότι οι μεταβλητές $\bar{\mathbf{p}}_{kj}$ και m_{kj} είναι ανεξάρτητες και τυχαίες, μπορεί να υποτεθεί ότι το σφάλμα e_{kj} είναι μία τυχαία παράμετρος

⁵ Ουσιαστικά αναφερόμαστε σε κατάλληλη ρύθμιση του μοντέλου διάδοσης

μηδενικής μέσης τιμής. Η ίδια υπόθεση έχει εφαρμογή και στο προκύπτον σφάλμα της τεχνικής CGI++ (ή της τεχνικής CPICH):

$$\mathbf{E}(\mathbf{Y}_k) = \mathbf{E}_p(\mathbf{k}) + \mathbf{E}_m(\mathbf{k}) \quad (15)$$

Στην περίπτωση κινούμενου τερματικού μπορεί να θεωρηθεί ότι για έναν επαρκή αριθμό δειγμάτων και οι δύο παράγοντες ($\mathbf{E}_p(\mathbf{k})$ και $\mathbf{E}_m(\mathbf{k})$) έχουν μηδενική μέση τιμή, και θεωρώντας ότι το φίλτρο Kalman προσεγγίζει την πραγματική θέση του τερματικού, τότε το διάνυσμα \mathbf{U}_k εκφράζει το σφάλμα $\mathbf{E}(\mathbf{Y}_k)$. Συνεπώς το \mathbf{U}_k είναι ένα διάνυσμα παραμέτρων μηδενικής μέσης τιμής και η κατανομή του μπορεί να προσεγγιστεί με την Κανονική κατανομή. Αυτό σημαίνει ότι η εφαρμογή της μεθόδου STAMP για έναν επαρκή αριθμό δειγμάτων είναι δυνατό να εξαλείψει το συστηματικό σφάλμα στην εκτίμηση κάθε θέσης του τερματικού και να αυξήσει την ακρίβεια του αποτελέσματος εκτίμησης θέσης του τερματικού μέσω του χρησιμοποιούμενου φίλτρου Kalman.

Λαμβάνοντας υπόψη τη συμπεριφορά της μεθόδου STAMP σε σχέση με την κινητική κατάσταση του τερματικού, καθίσταται προφανής η ανάγκη ορισμού μιας κατάλληλης συνθήκης με βάση την οποία οι μετρήσεις των τεχνικών προσδιορισμού θέσης αποθηκεύονται ή απορρίπτονται. Στην ιδανική περίπτωση οι μετρήσεις που συλλέγονται και αναφέρονται στην ίδια θέση θα πρέπει είτε να απορρίπτονται είτε να μεσοσταθμίζονται με το προηγούμενο αποθηκευμένο δείγμα. Στην περίπτωση των τεχνικών CGI++ ή CPICH για να εξασφαλιστεί ότι τα δείγματα που αποθηκεύονται στη λίστα STAMP αντιστοιχούν σε διαφορετικές θέσεις του τερματικού, θα πρέπει να εφαρμοστεί μια συνθήκη η οποία να αναφέρεται στην ελάχιστη αποδεκτή διαφορά στις μετρήσεις στάθμης ισχύος λαμβανόμενου σήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

7.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εφαρμογής της μεθόδου STAMP τα οποία προέκυψαν από μοντέλα εξομοίωσης που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια εκπόνησης της παρούσης διατριβής αλλά και από μετρήσεις που διενεργήθηκαν στο δίκτυο GSM της εταιρίας παροχής κινητών επικοινωνιών Vodafone –Panafon Ελληνική Εταιρία Τηλεπικοινωνιών [193].

Στο πρώτο στάδιο αξιολόγησης της μεθόδου αναπτύχθηκαν μοντέλα εξομοίωσης στα οποία εκτελέστηκαν διάφορα σενάρια. Συγχρόνως δοκιμάστηκαν διαφορετικές τιμές για τις παραμέτρους που επηρεάζουν την επίδοση της μεθόδου (π.χ. μέγεθος λίστας STAMP, κινητικότητα τερματικού, περίοδος δειγματοληψίας). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις εξομοιώσεις μας έδωσαν μία πρώτη εικόνα της αποτελεσματικότητας της μεθόδου η οποία στη συνέχεια επιβεβαιώθηκε με τη χρήση μετρήσεων που λήφθηκαν από πραγματικό δίκτυο.

Για τη διεξαγωγή των πειραμάτων σε πραγματικό δίκτυο χρησιμοποιήθηκαν εμπιστευτικά δεδομένα της εταιρίας Vodafone –Panafon A.E. τα οποία σχετίζονται με την τοπολογία και τις παραμέτρους του εμπορικού δικτύου GSM (π.χ. τοποθεσίες ΣΒ, ισχύς και συχνότητα εκπομπής, κ.α.).

7.2 Αποτελέσματα Εξομοίωσης

Στην παρούσα παράγραφο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εξομοίωσης σεναρίων εφαρμογής της μεθόδου STAMP. Το μοντέλο εξομοίωσης δικτύου (το οποίο αναπτύχθηκε) με βάση το οποίο εξήχθησαν τα αποτελέσματα προσεγγίζει ένα εμπορικό δίκτυο GSM και περιγράφεται στη συνέχεια. Τα αποτελέσματα των εξομοιώσεων παρείχαν τη δυνατότητα αξιολόγησης της επίδοσης της προτεινόμενης μεθόδου καθώς και της εκτίμησης των καταλληλότερων τιμών των

παραμέτρων όπως είναι το μέγεθος της λίστας STAMP, η περίοδος δειγματοληψίας των μετρήσεων και ο απαιτούμενος αριθμός των ΣΒ.

7.2.1 Μοντέλο Εξομοίωσης

Για την εκτίμηση/απόδειξη της ακρίβειας της μεθόδου STAMP, διαμορφώθηκε ένα μοντέλο με βάση το οποίο εξομοιώθηκαν πολλαπλά σενάρια (ώστε να καλυφθεί το σύνολο των πιθανών περιπτώσεων κίνησης του τερματικού αλλά και παραμέτρων της μεθόδου). Η περιοχή που εξομοιώθηκε αποτελείται από 37 κυψέλες GSM οι θέσεις των οποίων διαμορφώνουν ένα μοτίβο κανονικών εξαγώνων. Η ακτίνα των κυψελών θεωρήθηκε ότι είναι 500m και οι ΣΒ είναι τοποθετημένοι στο κέντρο των κυψελών και φέρουν κάθε ένας μια ομοιοκατευθυντική κεραία. Τα τερματικά έχουν τυχαίες θέσεις μέσα στην περιοχή κάλυψης, και ο αριθμός αυτών που εξομοιώνεται είναι 500. Οι χρήστες θεωρείται ότι ακολουθούν ένα από τα ακόλουθα μοτίβα κίνησης: είτε είναι στατικοί, είτε περπατούν, είτε οδηγούν μέσα στην πόλη, είτε οδηγούν ταχύτερα μέσα στην πόλη έχοντας μέση ταχύτητα 0, 4, 20 και 40km/h, αντίστοιχα. Για λόγους απλοποίησης και χωρίς απώλεια της γενικότητας θεωρείται ότι η ταχύτητά τους παραμένει καθ' όλη τη διάρκεια της εξομοίωσης σταθερή, ενώ η κατεύθυνση για τα τρία μοτίβα κίνησης θεωρήθηκε είτε σταθερή είτε μεταβαλλόμενη. Το μοντέλο διάδοσης Hata [181] χρησιμοποιείται για να εκφράσει τις απώλειες διάδοσης σήματος ως συνάρτηση της απόστασης ανάμεσα στο κινητό τερματικό και τον ΣΒ, και εφαρμόζεται με τυπικές τιμές $f = 900MHz$, $h_{MS} = 1.5m$ και $h_{BTS} = 20m$. Οι απώλειες διάδοσης υπολογίζονται ως η διαφορά ανάμεσα στη λαμβανόμενη από το τερματικό και την εκπεμπόμενη από κάθε ΣΒ στάθμη ισχύος σήματος.

Κάθε αναφορά μετρήσεων δικτύου (NMR) του τερματικού είναι διαθέσιμη κάθε 5sec όταν το τερματικό βρίσκεται σε κατάσταση αδρανείας, χρονικό διάστημα το οποίο είναι επαρκές για την εξάλειψη του παράγοντα της βραχυχρόνιων διαλείψεων [181] (δεδομένου ότι το τερματικό μεσοσταθμίζει τις λαμβανόμενες τιμές στο χρονικό αυτό διάστημα). Στις μετρήσεις στάθμης ισχύος λαμβανόμενου σήματος (RSS) προστίθεται Λευκός Θόρυβος μηδενικής μέσης τιμής ο οποίος ακολουθεί την κανονική κατανομή με τυπική απόκλιση $\sigma = 8dB$ για να εκφραστούν οι διαλείψεις λόγω σκίασης [182]. Το κινητό τερματικό είναι δυνατό να αποθηκεύει κατά μέγιστο 50 διανύσματα με μετρήσεις στάθμης ισχύος λαμβανόμενου σήματος (RSS) στη λίστα STAMP τα οποία αντιστοιχούν στην εξυπηρετούσα και τις έξι γειτονικές κυψέλες.

7.2.2 Αποτελέσματα

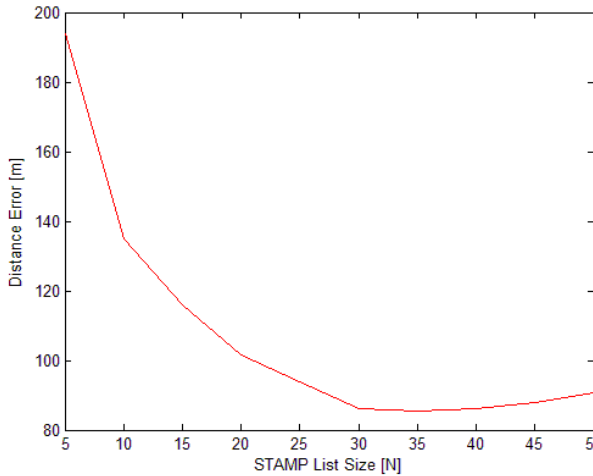
7.2.2.1 Μέγεθος λίστας STAMP

Στην παρούσα παράγραφο, διερευνάται η επίδραση του μεγέθους της λίστας STAMP N στην ακρίβεια προσδιορισμού της θέσης του τερματικού. Η λίστα STAMP θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να είναι δυνατόν να αποθηκεύονται όλα τα διανύσματα, τα οποία αντιστοιχούν στις

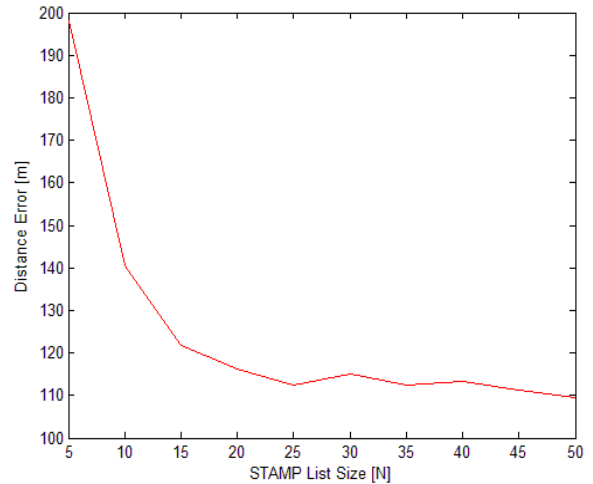
πιο πρόσφατες θέσεις του τερματικού. Από την άλλη μεριά, το μέγεθος της λίστας N θα πρέπει να είναι το μικρότερο δυνατό ώστε να αποφευχθεί η απαίτηση για μεγάλη χωρητικότητα αποθήκευσης στο τερματικό και να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος αποστολής τους στον εξυπηρετητή θέσης. Με αυτό τον τρόπο η μέθοδος STAMP είναι δυνατόν να βρίσκει εφαρμογή όχι μόνο σε προηγμένα κινητά τερματικά αλλά και σε συμβατικά με χαμηλές δυνατότητες αποθήκευσης. Για την ακόλουθη ανάλυση θεωρήθηκε ότι η λίστα STAMP εμπεριέχει δεδομένα από τρεις ΣΒ.

Για την περίπτωση στατικών τερματικών, στο Σχήμα 39 παρουσιάζεται η επίδοση της μεθόδου STAMP για μεταβλητό μέγεθος λίστας N , αναφορικά με την ακρίβεια που επιτυγχάνεται στο 67% των περιπτώσεων. Στην περίπτωση αυτή η ακρίβεια της μεθόδου STAMP αυξάνει με την αύξηση του αριθμού των δειγμάτων μέχρι την τιμή $N = 30$. Ωστόσο, κατόπιν αυτής της τιμής το πρόσθετο κέρδος στην ακρίβεια που επιτυγχάνεται με την περαιτέρω αύξηση του αριθμού των δειγμάτων (π.χ. $N = 40$) είναι οριακό. Περαιτέρω αύξηση του μεγέθους της λίστας, για παράδειγμα μέχρι 50 δείγματα, απλώς προσθέτει πρόσθετο φόρτο αποθήκευσης και επεξεργασίας χωρίς να αυξάνει την ακρίβεια. Για $N = 40$, τα αποτελέσματα της εξομοίωσης εμφανίζουν ακρίβεια μικρότερη των 86m και 141m σε ποσοστό 67% και 95% αντίστοιχα της αθροιστικής κατανομής, ενώ το μέσο σφάλμα προσδιορισμού της θέσης είναι 72m και η τυπική απόκλιση (σ_p) είναι 39m.

Η περίπτωση τερματικού σε κίνηση (περίπτωση που ο χρήστης περπατάει) παρουσιάζεται στο Σχήμα 40, όπου ισχύουν τα ίδια συμπεράσματα. Για $N = 40$, τα αποτελέσματα της εξομοίωσης παρουσιάζουν απόκλιση από την πραγματική θέση μικρότερη των 113m σε ποσοστό 67% της αθροιστικής κατανομής και 196m σε ποσοστό 95%, ενώ το μέσο σφάλμα προσδιορισμού της θέσης είναι 95m (με τυπική απόκλιση $\sigma_p = 53m$).



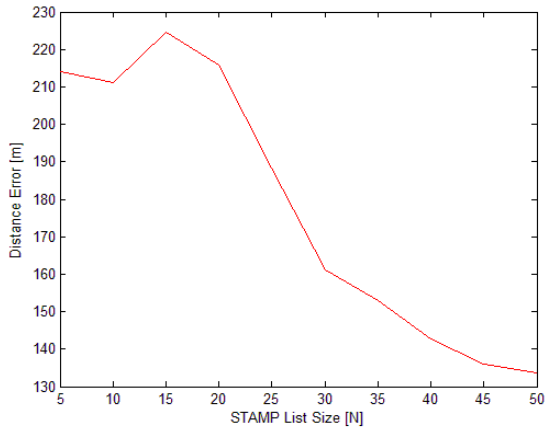
Σχήμα 39: Ακίνητο τερματικό

Σχήμα 40: Κινούμενο τερματικό
(4Km/h)

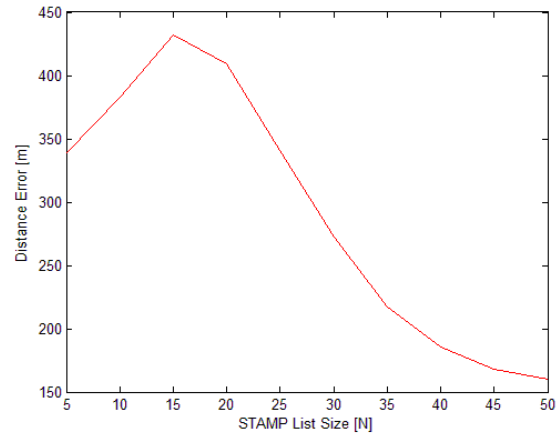
Ωστόσο στην περίπτωση ενός τερματικού σε κίνηση (ο χρήστης βρίσκεται σε κινούμενο όχημα) Σχήμα 41, επιτυγχάνεται βελτίωση της ακρίβειας κατά 12% με την αύξηση του μεγέθους της λίστας STAMP από 30 σε 40. Για $N = 40$, τα αποτελέσματα της εξομοίωσης παρουσιάζουν απόκλιση από την πραγματική θέση μικρότερη των 143m σε ποσοστό 67% και 236m σε ποσοστό 95%, ενώ το μέσο σφάλμα εκτίμησης της θέσης είναι 119m (με τυπική απόκλιση $\sigma_p = 63m$).

Με την αύξηση της ταχύτητας κίνησης του τερματικού στα 40km/h για τον ίδιο αριθμό δειγμάτων λίστας ($N = 40$), επιτυγχάνεται ακρίβεια μεγαλύτερη των 185m σε ποσοστό 67% των περιπτώσεων και 346m σε ποσοστό 95%, με μέσο σφάλμα εντοπισμού 161m ($\sigma_p = 100m$) (Σχήμα 42). Αυτό αντιστοιχεί σε μια αύξηση της ακρίβειας κατά 30% σε σύγκριση με την περίπτωση μεγέθους λίστας $N = 30$.

Συνεπώς, η προτιμητέα τιμή της παραμέτρου N και για τα τρία σενάρια είναι $N = 40$, ώστε να διατηρούνται οι απαιτήσεις μνήμης αποθήκευσης όσο το δυνατόν χαμηλότερα και ταυτόχρονα να επιτυγχάνεται ικανοποιητική ακρίβεια. Η τιμή της λίστας N θεωρείται σταθερή στα ακόλουθα σενάρια εξομοίωσης.



Σχήμα 41: Κινούμενο τερματικό (20Km/h)

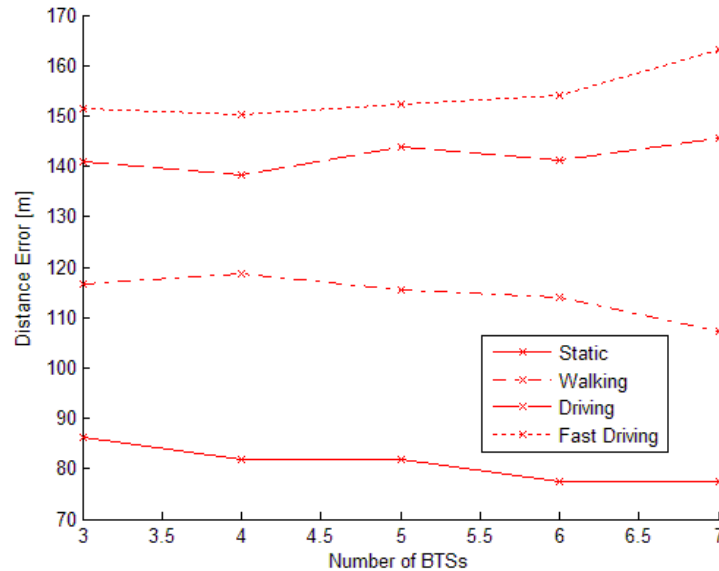


Σχήμα 42: Κινούμενο τερματικό (40Km/h)

7.2.2.2 Αριθμός Σταθμών Βάσης

Η αξιοποίηση μετρήσεων από περισσότερους από τρεις Σταθμούς Βάσης, για παράδειγμα από επτά (τον εξυπηρετών και τους άλλους έξι με τις μεγαλύτερες στάθμες σήματος) μπορεί να μειώσει το σφάλμα εκτίμησης της θέσης. Το βασικό πρόβλημα ωστόσο είναι η ποσοτικοποίηση και η αντιστοίχιση των μετρήσεων σε τιμές σύμφωνα με τις τυποποιήσεις του GSM [84]. Οι μετρήσεις ισχύος στο εύρος τιμών από -110dBm έως -48dBm αντιστοιχίζονται σε μια τιμή της παραμέτρου RxLEV μεταξύ 0 και 63 όπως προαναφέρθηκε στην ενότητα 6.4.1, ενώ οι τιμές που ξεπερνούν τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές του εύρους αυτού αντιστοιχίζονται στις δύο αντίστοιχες ακραίες ακέραιες τιμές, 63 και 0. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένο υπολογισμό της απόστασης τερματικού-ΣΒ με βάση το μοντέλο ραδιοδιάδοσης, με αποτέλεσμα τη μείωση της ακρίβειας της μεθόδου STAMP. Στο Σχήμα 43 απεικονίζεται η μεταβολή της ακρίβειας που επιτυγχάνεται σε ποσοστό 67% των περιπτώσεων σε συνάρτηση με τον αριθμό των ΣΒ από τους οποίους αξιοποιούνται μετρήσεις. Παρατηρείται ότι η ακρίβεια βελτιώνεται με την αύξηση των ΣΒ μόνο στις περιπτώσεις στατικού τερματικού και τερματικού που κινείται με μικρή ταχύτητα.

Σε περίπτωση εμπορικής εφαρμογής της μεθόδου STAMP, θα πρέπει να τεθεί κάποιο ελάχιστο όριο για τη λαμβανόμενη ισχύ (π.χ. -90dBm) έτσι ώστε να διασφαλιστεί ότι η θέση προσδιορίζεται βάσει μετρήσεων μόνο από ΣΒ με μεγαλύτερη από αυτό το όριο στάθμη σήματος. Κάτι τέτοιο κρίνεται αναγκαίο ιδίως σε σενάρια τερματικών υψηλής κινητικότητας – ταχύτητας, όπου παρατηρείται ότι η επίδοση της μεθόδου μειώνεται αντί να αυξάνεται για αύξηση των ΣΒ από τους οποίους αξιοποιούνται οι μετρήσεις. Πρέπει να τονιστεί το γεγονός ότι σε ένα αστικό περιβάλλον η αξιοποίηση μετρήσεων λαμβανόμενης στάθμης ισχύος μικρότερης των -90dBm οφείλεται κυρίως σε εμπόδια που παρεμβάλλονται μεταξύ του τερματικού και του ΣΒ και δεν θα πρέπει να μεταφράζεται σε πραγματική απόσταση με βάση το μοντέλο διάδοσης.

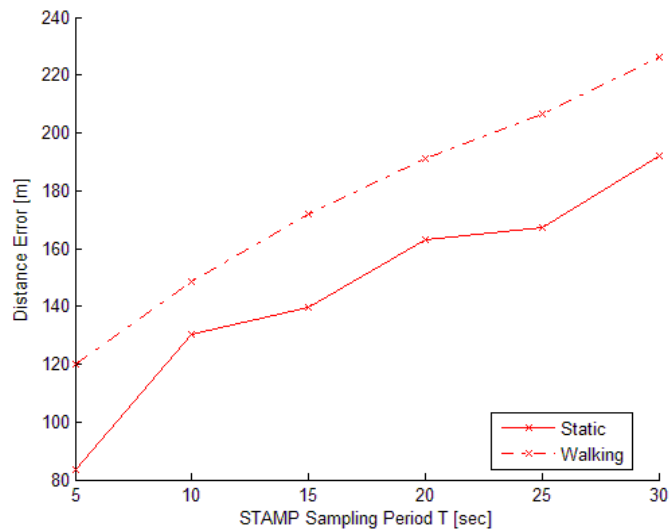


Σχήμα 43: Η ακρίβεια της μεθόδου STAMP ως συνάρτηση του αριθμού των ΣΒ

7.2.2.3 Περίοδος Δειγματοληψίας Μετρήσεων

Στην παρούσα ανάλυση αποτιμάται η επίδραση (στην επίδοση της μεθόδου STAMP) της περιόδου δειγματοληψίας T . Σε ένα GSM δίκτυο ένα κινητό τερματικό θεωρείται ότι βρίσκεται σε κατάσταση κλήσης όταν επικοινωνεί με ένα εξυπηρετούντα ΣΒ μέσω ενός αποκλειστικού καναλιού (dedicated channel). Αντίθετα βρίσκεται σε κατάσταση αδρανείας, όταν δεν υπάρχει εγκατεστημένος αμφίδρομος διάυλος επικοινωνίας με κάποιο ΣΒ. Στη δεύτερη περίπτωση, ως εξυπηρετών ΣΒ θεωρείται ο ΣΒ μέσω του οποίου θα συνδεόταν το τερματικό στο δίκτυο αν ξεκινούσε μια διαδικασία μετάβασης στην κατάσταση κλήσης.

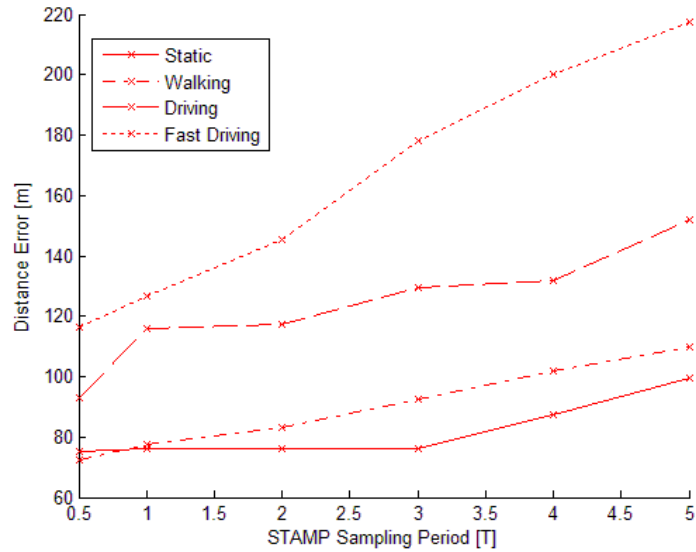
Η βασική περίοδος δειγματοληψίας, T_0 σε κατάσταση αδρανείας, θεωρείται 5sec και $T = k \times T_0$, όπου $k = 1, 2, \dots$. Μικρές τιμές της περιόδου δειγματοληψίας T είναι επιθυμητές ώστε να επιτρέπεται μεγαλύτερη ακρίβεια για τις πρόσφατες παρελθοντικές θέσεις του τερματικού, ιδίως όταν το τερματικό είναι κινούμενο με ταχύτητα ενός χρήστη που περπατά ή οδηγεί στην πόλη, ενώ μεγαλύτερες τιμές της T είναι επιθυμητές για μικρότερη κατανάλωση ισχύος. Στο Σχήμα 44 απεικονίζεται η μείωση της ακρίβειας όταν αυξάνει το T για στατικό και κινούμενο τερματικό με ταχύτητα πεζού χρήστη. Στην περίπτωση τερματικού που κινείται με ταχύτητα οχήματος μέσα στην πόλη καθίσταται προφανές ότι επιβάλλεται η χρήση της ελάχιστης δυνατής τιμής της περιόδου δειγματοληψίας.



Σχήμα 44: Επίδοση της μεθόδου STAMP συναρτήσει της περιόδου T (κατάσταση αδρανείας) σε ποσοστό 67% των περιπτώσεων

Όπως φαίνεται, το σφάλμα εκτίμησης της θέσης αυξάνεται με την αύξηση της περιόδου T για κάθε σενάριο κίνησης τερματικού. Οι διαφορετικές τιμές της παραμέτρου δεν αποτελούν εναλλακτική επιλογή στις περιπτώσεις όπου απαιτείται μεγάλη ακρίβεια.

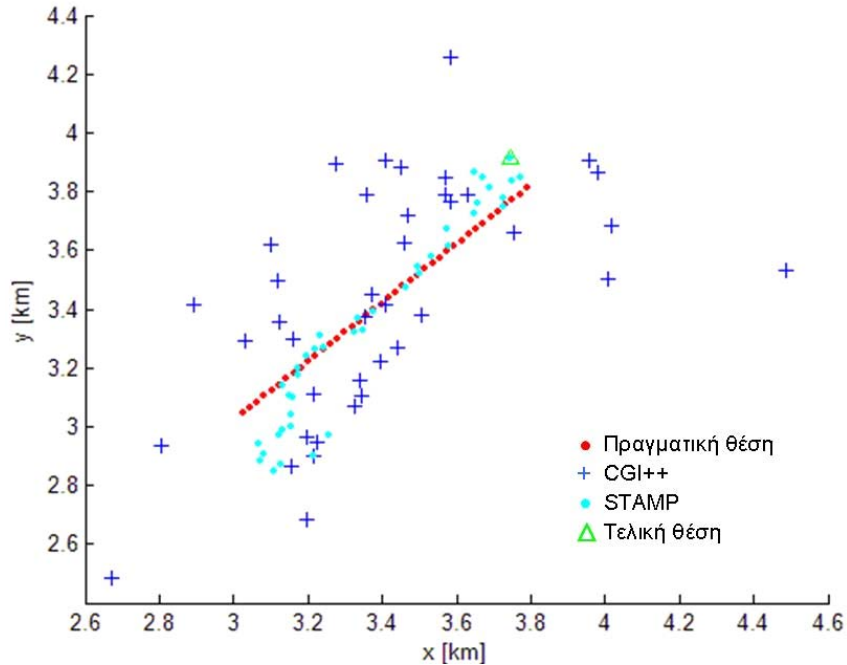
Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η επίδραση της τιμής της περιόδου T στην περίπτωση που το κινητό τερματικό βρίσκεται σε κατάσταση κλήσης. Στην περίπτωση αυτή, οι αναφορές μετρήσεων δικτύου (NMRs) είναι διαθέσιμες κάθε 480msec οπότε και η βασική περίοδος δειγματοληψίας T_0 μπορεί να λάβει αυτή την τιμή. Στο Σχήμα 45 απεικονίζεται η μεταβολή της ακρίβειας της μεθόδου STAMP με την αύξηση της περιόδου T , για κινητό σε κατάσταση κλήσης και για κάθε σενάριο κίνησης. Από τα αποτελέσματα της εξομοίωσης φαίνεται ότι μικρότερες τιμές της περιόδου T , οι οποίες είναι διαθέσιμες μόνο όταν το κινητό βρίσκεται σε κατάσταση κλήσης, παρέχουν μεγαλύτερη ακρίβεια ιδίως στις περιπτώσεις τερματικού που κινείται με μεγάλη ταχύτητα. Ωστόσο, κάτι τέτοιο απαιτεί μεγαλύτερη επεξεργασία με αποτέλεσμα την αύξηση της κατανάλωσης ισχύος στο τερματικό.



Σχήμα 45: Επίδοση της μεθόδου STAMP συναρτήσει της περιόδου T (κατάσταση κλήσης) σε ποσοστό 67% των περιπτώσεων

7.2.2.4 Υπολογισμός Τροχιάς και Ταχύτητας Τερματικού

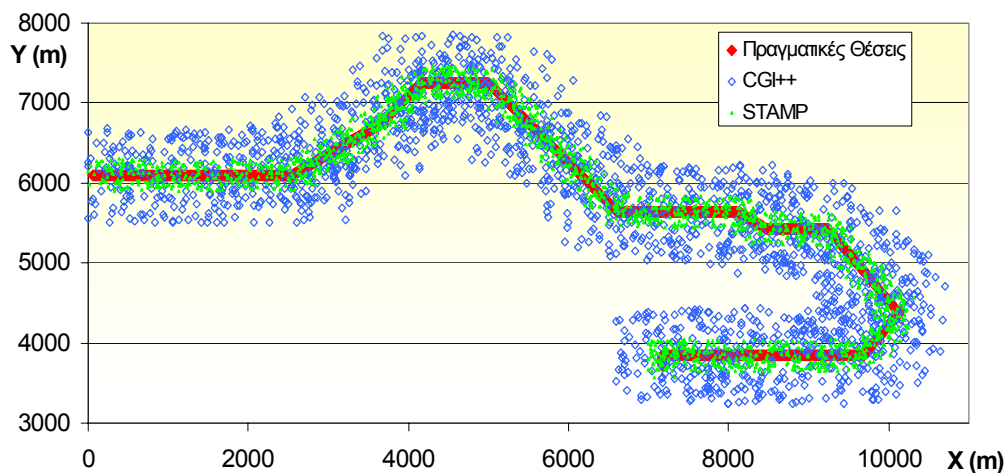
Στο Σχήμα 46 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της μεθόδου STAMP για τον προσδιορισμό της τροχιάς ενός κινούμενου τερματικού με ταχύτητα 20km/h με εφαρμογή της στην τεχνική CGI++. Η λίστα STAMP θεωρείται ότι περιέχει 40 διανύσματα μετρήσεων τα οποία αντιστοιχούν στις τελευταίες θέσεις του τερματικού, ενώ η περίοδος δειγματοληψίας STAMP είναι 5sec. Το σφάλμα εκτίμησης της θέσης (Distance Error) που ορίζεται ως η γεωμετρική απόσταση ανάμεσα στην πραγματική και στην εκτιμώμενη με τη μέθοδο STAMP τελική θέση του κινητού, είναι 113m. Επιπλέον, η εκτιμώμενη ταχύτητα στην τελική θέση είναι 22km/h. Με βάση τα αποτελέσματα, τα σφάλματα στις εκτιμήσεις που λαμβάνονται με την εφαρμογή της τεχνικής CGI++ εξομαλύνονται αποτελεσματικά μέσω του φίλτρου Kalman με αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση της ακρίβειας προσδιορισμού θέσης.



Σχήμα 46: Εφαρμογή της μεθόδου STAMP για τον υπολογισμό της τροχιάς στην περίπτωση κινούμενου τερματικού

Το επόμενο σχήμα αναφέρεται σε μη ευθύγραμμη τροχιά κίνησης τερματικού και παρουσιάζει την αύξηση της ακρίβειας που επιτυγχάνεται. Πιο συγκεκριμένα σε αυτή την περίπτωση το σφάλμα εντοπισμού της τεχνικής CGI++ είναι ίσο με 500m με τυπική απόκλιση 250m ενώ η μέθοδος STAMP παρουσιάζει μέση ακρίβεια της τάξης των 200m με τυπική απόκλιση 150m.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η εκτίμηση της κατεύθυνσης κίνησης σε περιπτώσεις μη ευθύγραμμης κίνησης τερματικού (π.χ. κίνηση σε πόλη) είναι δυνατή μόνο στην περίπτωση λήψης μετρήσεων για μεγάλα χρονικά διαστήματα και προϋποθέτει την αύξηση του μεγέθους της λίστας STAMP.



Σχήμα 47: Εφαρμογή της μεθόδου STAMP για τον υπολογισμό της τροχιάς στην περίπτωση μη ευθύγραμμης κίνησης τερματικού

7.3 Αποτελέσματα Πειραμάτων σε Πραγματικό Περιβάλλον

Για τη μελέτη της επίδοσης της μεθόδου STAMP πέραν από τις εξομοιώσεις και τη θεωρητική προσέγγιση, χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις πραγματικού δικτύου (δίκτυο GSM της Vodafone-Panafon Ελλάδος Α.Ε.). Οι μετρήσεις αυτές συλλέχθηκαν από διάφορες περιοχές της Αθήνας έτσι ώστε η μέθοδος να αξιολογηθεί υπό διαφορετικά περιβάλλοντα αλλά και με διαφορετικά μοντέλα κίνησης του τερματικού. Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν ειδικά εργαλεία όπως το TEMS Ericsson [81], τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως για μελέτες πεδίου και εκτίμησης της ποιότητας του δικτύου από τους παρόχους κινητών επικοινωνιών.

Τα πειράματα αφορούσαν στις εξής περιπτώσεις:

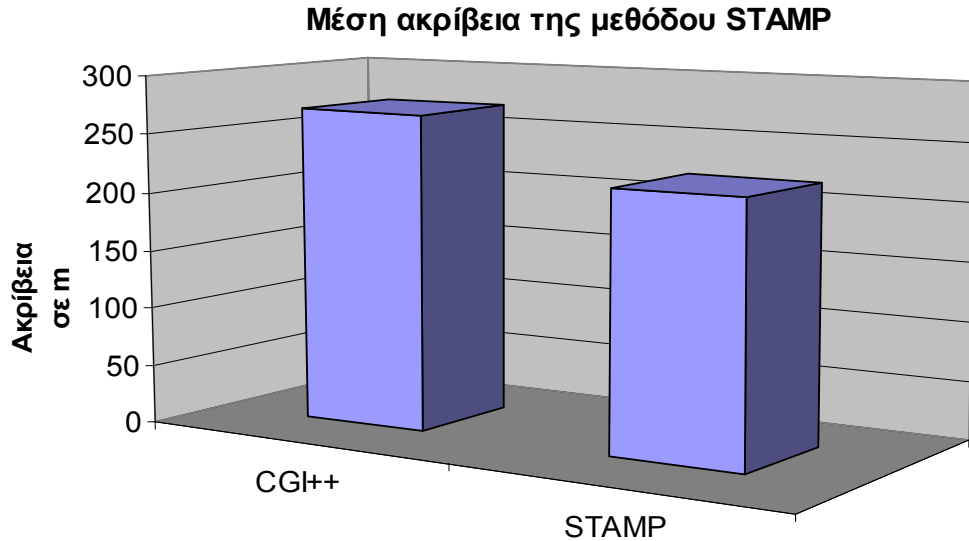
- Τερματικό που δεν βρίσκεται σε κίνηση.
- Τερματικό σε εξωτερικό χώρο κινούμενο με ταχύτητα κινούμενου οχήματος μέσα στην πόλη.

7.3.1 Προσδιορισμός Θέσης Ακίνητου Τερματικού

Είναι γνωστό ότι τα επίπεδα λαμβανόμενης ισχύος σήματος από τους ΣΒ σε μια συγκεκριμένη θέση μεταβάλλονται με το χρόνο (όπως φαίνεται και στο Σχήμα 38) και συνεπώς η χρήση της μεθόδου STAMP στην περίπτωση στατικού τερματικού θα μπορούσε να βελτιώσει την ακρίβεια που παρέχει η τεχνική CGI++ (με την υπόθεση πάντα ότι το μοντέλο ραδιοδιάδοσης που χρησιμοποιείται είναι ρυθμισμένο και βελτιστοποιημένο για τη συγκεκριμένη περιοχή). Αυτό εξηγείται αν αναλογιστεί κανείς το γεγονός ότι η λήψη πολλαπλών μετρήσεων μπορεί να εξομαλύνει το πρόβλημα της διακύμανσης της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος. Παρόλα αυτά, το φαινόμενο των διαλείψεων λόγω πολλαπλών διαδρομών (πολυ-όδευση) διαδραματίζει σημαντικό ρόλο σε αυτή την περίπτωση εισάγοντας ένα συστηματικό σφάλμα.

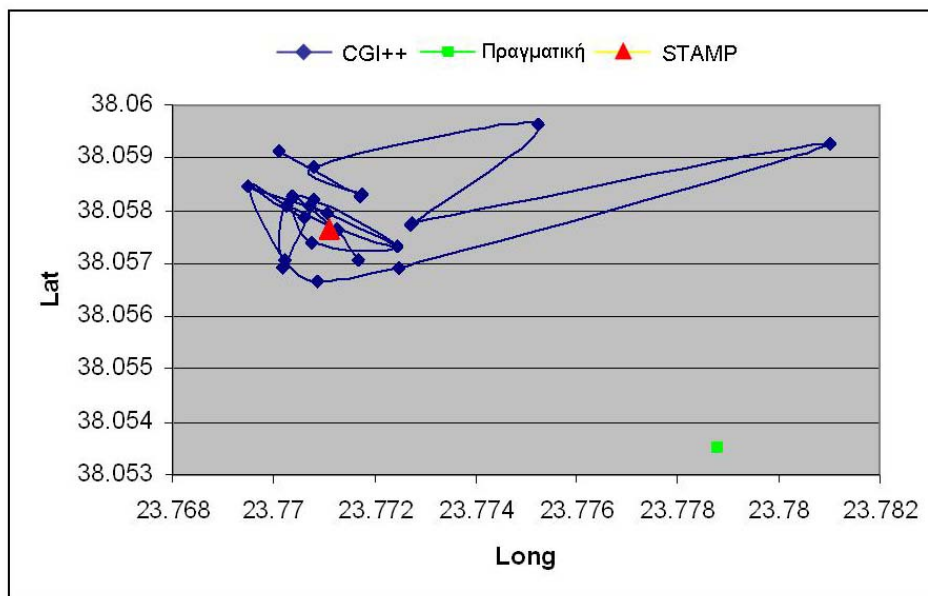
Στα πλαίσια της αξιολόγησης της μεθόδου διεξήχθησαν μετρήσεις πεδίου σε τρεις διαφορετικές περιοχές: Μεταμόρφωση, Χαλάνδρι και Λυκόβρυση. Το μέγεθος της λίστας STAMP ήταν ίσο με $N=30$ και η περίοδος δειγματοληψίας ίση με $T=1\text{sec}$. Πρέπει να αναφερθεί το γεγονός ότι στην περίπτωση στατικού τερματικού η περίοδος δειγματοληψίας δεν επηρεάζει την επίδοση της μεθόδου καθώς όλες οι μετρήσεις αναφέρονται στην ίδια θέση.

Τα συνολικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί:



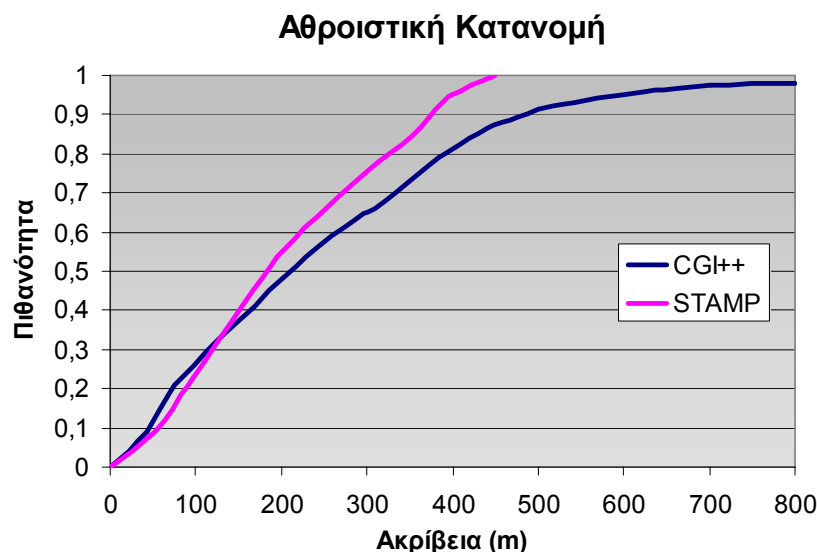
Σχήμα 48: Μέση ακρίβεια της μεθόδου STAMP για ακίνητο τερματικό

Ένα δείγμα από τα αποτελέσματα (με βάση πραγματικές μετρήσεις) για στατικό τερματικό παρουσιάζεται στο Σχήμα 49. Όπως φαίνεται, η εφαρμογή της μεθόδου CGI++ σε πολλαπλές μετρήσεις οδηγεί σε ένα σύνολο εκτιμώμενων θέσεων, οι οποίες αποκλίνουν σημαντικά από την πραγματική θέση του τερματικού. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το σήμα, καθώς μεταδίδεται από το ΣΒ στο στατικό τερματικό, ακολουθεί ουσιαστικά την ίδια διαδρομή δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο ένα συστηματικό σφάλμα στον υπολογισμό της απόστασης (ΣΒ-τερματικό) με βάση το μοντέλο διάδοσης. Κατά συνέπεια, το σφάλμα αυτό υπεισέρχεται και στον υπολογισμό της θέσης με βάση τη μέθοδο STAMP.



Σχήμα 49: Παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου STAMP σε ακίνητο τερματικό

Σε αυτή την περίπτωση η τεχνική STAMP αδυνατεί να μετριάσει το συστηματικό λάθος. Εν τούτοις οδηγεί στην αύξηση της ακρίβειας προσδιορισμού θέσης δεδομένου ότι εξαφανίζεται η επίδραση που έχουν οι μετρήσεις με υψηλό σφάλμα (π.χ. αυτές που προκύπτουν από βραχυχρόνιες διαλείψεις). Το επόμενο διάγραμμα παρουσιάζει την αθροιστική κατανομή πιθανότητας του λάθους στην περίπτωση ακίνητου τερματικού.

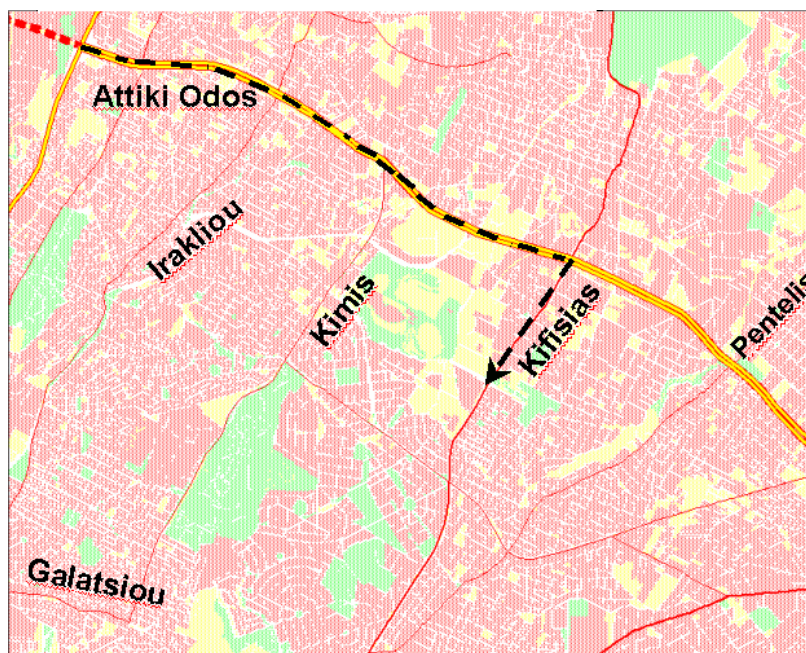


Σχήμα 50: Αθροιστική κατανομή της ακρίβειας προσδιορισμού θέσης για στατικό τερματικό που επιτυγχάνεται με τη μέθοδο STAMP

Με βάση το σύνολο των μετρήσεων που είχαμε στη διάθεση μας, παρατηρήθηκε αύξηση της μέσης ακρίβειας κατά 24%.

7.3.2 Προσδιορισμός Θέσης Κινούμενου Τερματικού

Ένα αρχείο με περίπου 2500 δείγματα χρησιμοποιήθηκε για την παρούσα ανάλυση. Οι μετρήσεις αναφέρονται σε εξωτερικό χώρο (outdoor) αστικής/ημιαστικής περιοχής και ένα ποσοστό αυτών ~10% αναφέρονται σε στατική θέση του τερματικού (π.χ. διότι το αυτοκίνητο των μετρήσεων σταματούσε για κάποιο χρονικό διάστημα σε ένα φανάρι). Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των μετρήσεων παρουσιάζουν σημαντικό ενδιαφέρον ειδικά στην περίπτωση που μελετήθηκε η κατάσταση κίνησης του τερματικού (στατικό τερματικό έναντι κινούμενου τερματικού).



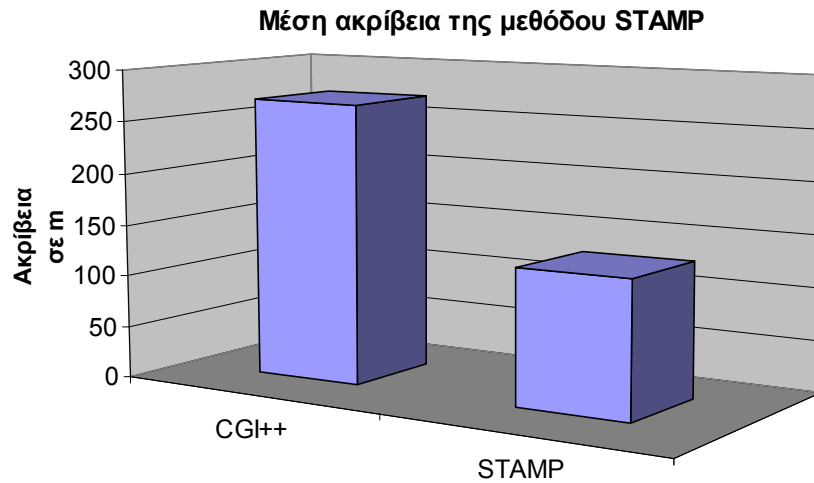
Σχήμα 51: Χάρτης της περιοχής όπου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις και η πορεία που ακολουθήθηκε (διακεκομμένη γραμμή)

Στην περίπτωση τερματικού που βρίσκεται σε κίνηση, οι μετρήσεις της στάθμης ισχύος του σήματος λαμβάνονται από διαφορετικές θέσεις. Έτσι, η στατιστική συμπεριφορά της τεχνικής CGI++, η οποία επηρεάζεται από τη πολύ-διαδρομική διάδοση (multi-path effect), είναι διαφορετική (σε σχέση με την περίπτωση ακίνητου τερματικού). Η εκτίμηση της θέσης του τερματικού για κάθε ξεχωριστό σύνολο μετρήσεων επιπέδου ισχύος (NMRs) με βάση την τεχνική CGI++ (τριγωνοποίηση), οδηγεί σε θέσεις οι οποίες «περικυκλώνουν» την πραγματική θέση του τερματικού. Οι εκτιμώμενες αυτές θέσεις παρουσιάζουν μεταβαλλόμενη ακρίβεια (ως προς την πραγματική θέση) εξαιτίας της μεταβλητότητας της πολύ-διαδρομικής διάδοσης η οποία εμφανίζεται στις διαφορετικές θέσεις του τερματικού.

Οι μετρήσεις του πειράματος απευθύνονται σε ένα κινούμενο αυτοκίνητο με μέση περίπου ταχύτητα 40km/hr σε αστική περιοχή στην Αθήνα όπου υπάρχουν κτίρια με ποικίλα ύψη στις πλευρές του δρόμου (όπως φαίνεται στο Σχήμα 51).

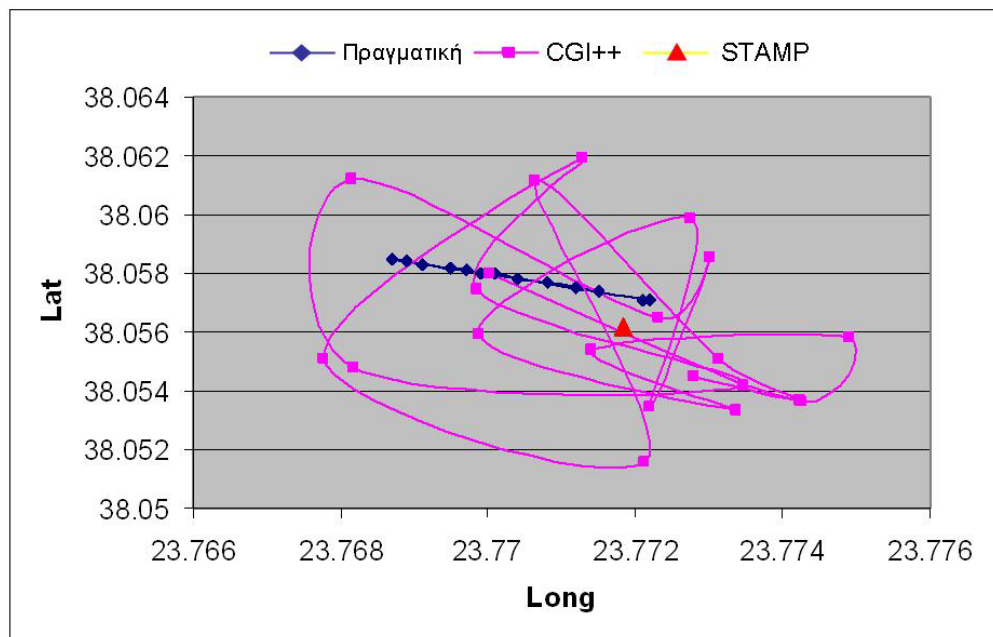
Τα αποτελέσματα των πειραμάτων που εκτελέστηκαν παρουσιάζονται στο Σχήμα 52 που ακολουθεί και αναλύονται περαιτέρω στο Σχήμα 54. Η εφαρμογή της μεθόδου σε αυτή την περίπτωση είναι αρκετά ικανοποιητική και η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι εξαιρετική. Πιο συγκεκριμένα η μέση ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι 110m έναντι 270m της τεχνικής CGI++. Όπως παρατηρείται, η επάρκεια της μεθόδου STAMP είναι πολλά υποσχόμενη για την τεχνική CGI++ καθώς οδηγεί σε κέρδος της τάξης του 60%.

Το αποτέλεσμα που επιτυγχάνεται είναι εξαιρετικά σημαντικό: ακρίβεια αρκετά κοντά στα 100m που θεωρείται ως το όριο για την παροχή εμπορικών εφαρμογών.



Σχήμα 52: Μέση ακρίβεια της μεθόδου STAMP για κινούμενο τερματικό

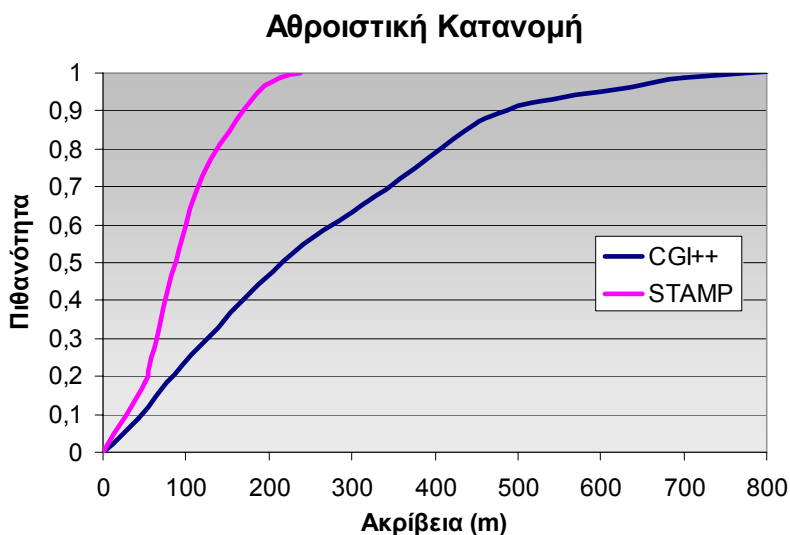
Το παράδειγμα που ακολουθεί (Σχήμα 53) αναφέρεται σε 25 διαδοχικές μετρήσεις (μέγεθος λίστας STAMP από την ανωτέρω διαδρομή και είναι ενδεικτικό της επιτευχθείσας ακρίβειας και του μηχανισμού λειτουργίας της μεθόδου.



Σχήμα 53: Παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου STAMP σε κινούμενο τερματικό

Από τη συνολική επεξεργασία των 2500 μετρήσεων (αλλά και επιπλέον μετρήσεων που ελήφθησαν σε διαφορετικές περιοχές της Αθήνας) προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί. Πιο συγκεκριμένα, το Σχήμα 54 αναπαριστά τη

στατιστική συνολικά κατανομή στην ακρίβεια που επιτυγχάνει η τεχνική CGI++ και η προτεινόμενη μέθοδος STAMP. Όπως παρατηρείται, η μέθοδος STAMP όχι μόνο επιτυγχάνει αισθητή βελτίωση στη μέση τιμή της ακρίβειας προσδιορισμού θέσης αλλά ταυτόχρονα παρουσιάζει καλή επίδοση στο 90% των περιπτώσεων. Αυτή η παρατήρηση υποδεικνύει μία αρκετά σταθερή συμπεριφορά, η οποία μπορεί να ερμηνευτεί και σαν απόδειξη της επάρκειας της ιδέας STAMP.



Σχήμα 54: Αθροιστική κατανομή της ακρίβειας προσδιορισμού θέσης του τερματικού που επιτυγχάνεται με τη μέθοδο STAMP

Τα αποτελέσματα του Σχήμα 54 προέκυψαν με χρήση του φίλτρου Kalman με σταθερό μέγεθος λίστας STAMP $N=25$.

7.4 Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από εξομοιώσεις και πειραματικά δεδομένα πραγματικού δικτύου GSM διαμορφώνουν μία εικόνα της αποτελεσματικότητας της μεθόδου. Συνοπτικά τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι τα ακόλουθα:

- Η βελτίωση της επίδοσης της τεχνικής CGI++ με χρήση της μεθόδου STAMP αποδείχθηκε τόσο με εξομοιώσεις όσο και με πειραματικά δεδομένα.
- Με τη μέθοδο STAMP επιτυγχάνεται σημαντική βελτίωση στην ακρίβεια προσδιορισμού θέσης στην περίπτωση κινούμενου τερματικού (βελτίωση της τάξης του 60%). Στην περίπτωση ακίνητου τερματικού η μέθοδος STAMP βοηθάει κυρίως στην απομάκρυνση των μεγάλων τιμών σφάλματος (μείωση της μεταβλητότητας του σφάλματος).

- Η μέθοδος STAMP παρέχει τη δυνατότητα εκτίμησης της κινητικής κατάστασης στην οποία βρίσκεται το τερματικό και μάλιστα τον υπολογισμό της ταχύτητας και κατεύθυνσης κίνησης του.
- Η επιτυχής εφαρμογή της μεθόδου STAMP στην τεχνική CGI++ προϋποθέτει την ύπαρξη ενός μοντέλου ραδιοδιάδοσης προσαρμοσμένου στην περιοχή εντοπισμού.
- Η μέθοδος παρέχει επαρκή αποτελέσματα (τόσο για ακίνητο όσο και για κινούμενο τερματικό) με μέγεθος λίστας STAMP $N=30$.
- Η συχνότητα λήψης αναφορών μετρήσεων δικτύου στην περίπτωση κινούμενου τερματικού θα πρέπει να είναι η μεγαλύτερη δυνατή (480msec όταν το τερματικό βρίσκεται σε κατάσταση κλήσης και 2-5sec όταν το τερματικό βρίσκεται σε κατάσταση αδρανείας).
- Η μέθοδος STAMP δύναται να εφαρμοστεί με τον ίδιο τρόπο και να παρέχει αντίστοιχα αποτελέσματα (με την τεχνική CGI++ σε δίκτυο GSM) στην περίπτωση τεχνικών αποτυπωμάτων και στην περίπτωση δικτύων UMTS και WLAN όταν η τεχνική προσδιορισμού θέσης βασίζεται στη λαμβανόμενη στάθμη ισχύος σήματος.
- Η ανάπτυξη της μεθόδου STAMP στα πλαίσια ενός υβριδικού σχήματος, δηλαδή στα πλαίσια χρήσης διαφορετικών τεχνικών προσδιορισμού θέσης όταν το κινητό βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας και κατά τη διάρκεια της συνόδου υπηρεσίας θέσης, παρέχει αυξημένη ευελιξία όσον αφορά την ικανοποίηση των απαιτήσεων των υπηρεσιών θέσης.
- Η μέθοδος STAMP απευθύνεται κυρίως σε τεχνικές που παρουσιάζουν μέτρια προς χαμηλή ακρίβεια εντοπισμού καθώς σε αυτές τις περιπτώσεις το περιθώριο κέρδους-ακρίβειας είναι μεγαλύτερο. Αυτό οδηγεί σε τεχνικές που είναι ήδη εφαρμόσιμες σε δίκτυα GSM και σε τεχνικές που αρχίζουν να αναπτύσσονται σε δίκτυα UMTS.
- Η εφαρμογή της μεθόδου στην τεχνική CGI++, με βάση πειραματικά δεδομένα, επιτυγχάνει ακρίβεια της τάξης των 100m σε αστικές περιοχές. Η ακρίβεια αυτή μπορεί να δικαιολογήσει την επένδυση για εμπορική ανάπτυξη της προτεινόμενης μεθόδου.
- Η μέθοδος STAMP δύναται να αξιοποιήσει παρελθοντικές εκτιμήσεις θέσης που προέρχονται από τεχνικές εντοπισμού θέσης υψηλής ακρίβειας (π.χ. RFID) διαδίδοντας την υψηλή ακρίβεια εκτίμησης της θέσης και στις επόμενες χρονικές στιγμές.
- Η μέθοδος STAMP μπορεί να αποτελέσει τη βάση για τη βελτίωση υπαρχουσών υπηρεσιών (π.χ. υπηρεσίες εκτάκτου ανάγκης, διαχείρισης στόλου) αξιοποιώντας τη γνώση των ιστορικών θέσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ - ΘΕΜΑΤΑ ΠΡΟΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

Στα πλαίσια της διατριβής αυτής προτάθηκε και αναλύθηκε μια καινοτόμος μέθοδος με το όνομα STAMP (Statistical Terminal Assisted Mobile Positioning), η οποία στοχεύει στην αύξηση της ακρίβειας προσδιορισμού της θέσης και στη βελτίωση της συνολικής επίδοσης των διαθέσιμων λύσεων οι οποίες βασίζονται σε ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών. Πιο, συγκεκριμένα τα θέματα τα οποία μελετήθηκαν αφορούν:

- Το σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής που καθιστά δυνατή την υλοποίησή της μεθόδου STAMP.
- Την προδιαγραφή των πρωτοκόλλων που απαιτούνται για τη μεταφορά στο δίκτυο των δεδομένων που σχετίζονται με τη μέθοδο STAMP, με ιδιαίτερη έμφαση στην επικοινωνία του τερματικού με τον εξυπηρετητή θέσης.
- Τη διερεύνηση θεμάτων και παραμέτρων που επηρεάζουν τη λειτουργία και την επίδοση της μεθόδου.
- Την εφαρμοσιμότητα της μεθόδου σε διαφορετικές τεχνικές εντοπισμού.
- Την ανάλυση της επάρκειας της μεθόδου με βάση θεωρητικά μοντέλα για τεχνικές που στηρίζονται στη λαμβανόμενη στάθμη σήματος.
- Την ανάλυση της επίδοσης της μεθόδου μέσω εξομοιώσεων και πειραμάτων σε πραγματικό δίκτυο GSM.
- Την ανάλυση της αγοράς ΥΘ και τη δυνατότητα εμπορικής υλοποίησης της προτεινόμενης μεθόδου.

Οι καινοτομίες της μεθόδου που προτάθηκε στα πλαίσια της διατριβής εντοπίζονται στα ακόλουθα σημεία:

- Η αξιοποίηση ιστορικών δεδομένων τα οποία είναι διαθέσιμα στις τερματικές συσκευές. Η λήψη και αποθήκευση των μετρήσεων που σχετίζονται με τη θέση, όταν το τερματικό δε βρίσκεται σε κατάσταση κλήσης, αποτελεί πρωτοπορία η οποία δεν είχε μελετηθεί έως σήμερα.
- Με βάση την ιδέα της μεθόδου STAMP καθώς και την αρχιτεκτονική που την υλοποιεί η μέθοδος καθίσταται εφαρμόσιμη στις περισσότερες υπάρχουσες τεχνικές προσδιορισμού θέσης.
- Με βάση την ιδέα της μεθόδου STAMP καθώς και την αρχιτεκτονική που την υλοποιεί η μέθοδος καθίσταται εύκολα εφαρμόσιμη σε διαφορετικές τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης.
- Με βάση τα αποτελέσματα δοκιμών της μεθόδου παρατηρείται σημαντική αύξηση της ακρίβειας εντοπισμού των υπάρχουσών τεχνικών προσδιορισμού θέσης με ταυτόχρονη μείωση της μεταβλητότητας του σφάλματος εκτίμησης της θέσης.
- Η μέθοδος παρέχει ένα τρόπο εκτίμησης της τροχιάς και της ταχύτητας του κινούμενου τερματικού (μέχρι τώρα ήταν εφικτή μόνο μέσω τεχνολογίας GPS).
- Το κόστος και οι απαιτήσεις ανάπτυξης της μεθόδου είναι ελάχιστες καθώς δεν απαιτείται η προσθήκη επιπλέον εξοπλισμού. Συνεπώς το κόστος επένδυσης για την εμπορική ανάπτυξη είναι χαμηλό δεδομένου ότι οι απαιτήσεις περιορίζονται σε πρόσθετο λογισμικό στο τερματικό και στον εξυπηρετητή θέσης.
- Η μέθοδος STAMP δύναται να διευκολύνει τη δημιουργία υβριδικών λύσεων (συνδυασμός διαφορετικών τεχνικών εντοπισμού ανάλογα με τη διαθεσιμότητά τους) καθώς επίσης και να αξιοποιήσει παρελθοντικές εκτιμήσεις θέσης που προέρχονται από τεχνικές εντοπισμού θέσης υψηλής ακρίβειας (π.χ. RFID) διαδίδοντας την υψηλή ακρίβεια εκτίμησης της θέσης και στις επόμενες χρονικές στιγμές.
- Η μέθοδος κρίθηκε καινοτόμος και από τον οργανισμό τυποποίησης OMA. Μάλιστα η πρόταση που υποβλήθηκε για τυποποίηση της μεθόδου στην ομάδα εργασίας Location Working Group του οργανισμού τυποποίησης Open Mobile Alliance έγινε δεκτή.
- Η ιδέα η οποία σχετίζεται με τη λήψη, αποθήκευση και αξιοποίηση ιστορικών δεδομένων που συλλέγονται από τερματικές συσκευές αναλύθηκε εκτενώς στα πλαίσια της διατριβής. Η εφαρμογή της ιδέας μπορεί να εξυπηρετήσει και άλλες περιοχές όπως:
 - a. Ανάπτυξη υπηρεσιών μέσω της δημιουργίας περιεχομένου από τους τελικούς χρήστες [194].
 - b. Συλλογή πληροφορίας από τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους σχετικά με την ποιότητα κάλυψης του ραδιοδικτύου [195].

Επιπρόσθετα, θα πρέπει να τονιστεί στο σημείο αυτό ότι η ιδέα της μεθόδου STAMP στα πλαίσια της διατριβής κατοχυρώθηκε ως πατέντα με τίτλο “System and Method for Tracing the Whereabouts of Mobile Terminals in Mobile Communications Systems” και αριθμό αναφοράς No. 0416218.6 στο UK patent office.

Τα θέματα τα οποία χρίζουν μελλοντικής διερεύνησης και αποτελούν αντικείμενο μελλοντικής έρευνας αναφέρονται στα εξής:

- Διεξαγωγή πειραμάτων και ανάλυση της επίδοσης της μεθόδου σε αγροτικές περιοχές.
- Επέκταση της μεθόδου STAMP ώστε να συμπεριλάβει πολλαπλές τεχνικές οι οποίες μάλιστα παρέχουν διαφορετική ακρίβεια προσδιορισμού θέσης (υβριδική λύση, αξιοποίηση δεδομένων που προέρχονται από αισθητήρες ή δίκτυα μικρής εμβέλειας).
- Διεξαγωγή πειραμάτων της υβριδικής λύσης σε ένα περιβάλλον δικτύου όπου συνυπάρχουν πολλαπλά δίκτυα ασύρματης πρόσβασης (περιβάλλον B3G).
- Ανάλυση των τιμών των αποθηκευμένων μετρήσεων που σχετίζονται με τη λαμβανόμενη στάθμη ισχύος σήματος και επεξεργασία τους με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την κινητική κατάσταση του τερματικού.
- Στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων πριν την αξιοποίησή τους από τις τεχνικές προσδιορισμού θέσης (π.χ. εφαρμογή φίλτρου Kalman στις μετρούμενες τιμές της στάθμης ισχύος).

Περαιτέρω έρευνα που σχετίζεται με τη μέθοδο STAMP πραγματοποιείται στα πλαίσια του ευρωπαϊκού ερευνητικού έργου MOTIVE [123].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Jonathan Spinney, “Wireless Location Uses in the User Plane and Control Plane”, ESRI, 2005.
- [2] V. Otsason, A. Varshavsky, A. LaMarca, E. de Lara, “Accurate GSM Indoor Localization” in Beigl, M., Intille, S.S., Rekimoto, J., Tokuda, H., eds.: Ubicomp. Volume 3660 of Lecture Notes in Computer Science, Springer, 2005, pp. 141–158.
- [3] C. Drane, P. J. Duffett-Smith, S. Hern and J. Brice. “Mobile Positioning using E-OTD without LMUs”, proceedings of AeroSense 2003, SPIE's 17th Annual International Symposium on Aerospace/Defense Sensing, Simulation, and Controls, (2003).
- [4] Y.-C. Cheng, Y. Chawathe, A. LaMarca, J. Krumm, “Accuracy Characterization for Metropolitan-scale Wi-Fi Localization” in Proc Third International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys 2005), 2005.
- [5] ETSI TS 101 724 v8.1.0, “Location Services (LCS)”, April 2001.
- [6] 3GPP TS 25.305, “UMTS; UE positioning in Universal Terrestrial Radio Access Network (UTRAN); Stage 2”. ver. 6.1.0, Rel. 6.
- [7] P. Bahl, V. N. Padmanabhan, and A. Balachandran, “A Software System for Locating Mobile Users: Design, Evaluation, and Lessons”, Technical Report MSR-TR-2002-12, Microsoft Research, February 2000.
- [8] E. Elnahrawy, X. Li, R. P. Martin, “The Limits of Localization Using Signal Strength: A Comparative Study” in Proc First IEEE International Conference on Sensor and Ad hoc Communications and Networks (SECON), 2004.
- [9] A. Hatami, K. Pahlavan, “A comparative performance evaluation of RSS-based positioning algorithms used in WLAN networks” in Proc Wireless Communications and Networking Conference, 2005, vol. 4, pp.2331-2337.
- [10] R. Yamasaki, A. Ogino, T. Tamaki, T. Uta, N. Matsuzawa, T. Kato, “TDOA location system for IEEE 802.11b WLAN ” in Proc Wireless Communications and Networking Conference, 2005, vol. 4, pp. 2338-2343.

- [11] A. Kotanen, M. Hannikainen, H. Leppakoski, T. D. Hamalainen, “Experiments on local positioning with Bluetooth” in Proc ITCC2003, 2003, pp. 297-303.
- [12] U. Bandara, M. Hasegawa, M. Inoue, H. Morikawa, T. Aoyama, “Design and implementation of a Bluetooth signal strength based location sensing system” in Proc Radio and Wireless Conference, 2004, pp. 319-322.
- [13] L. Aalto, N. Göthlin, J. Korhonen, T. Ojala, “Bluetooth and WAP Push-Based Location-Aware Mobile Advertising System” in Proc 2nd Int’l Conf. Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys04), ACM Press, 2004, pp. 49–58.
- [14] R. Koponen, P. Jäppinen, J. Porras, “Utilization of Predictive Bluetooth Network for Implementation of Location-Aware Guidance System” in Proc WAWC'04, 2004.
- [15] J. Hallberg, M. Nilsson, K. Synnes, “Positioning with Bluetooth” in Proc 10th International Conference on Telecommunications, 2003, vol. 2, pp. 954–958.
- [16] S. Feldmann, K. Kyamakya, A. Zapater, Z. Lue, ”An indoor Bluetooth-based positioning system: concept, implementation and experimental evaluation” in Proc ICWN'03, 2003.
- [17] H. D. Chon, S. Jun, H. Jung, S.W. An, “Using RFID for Accurate Positioning” in Proc. GNSS2004, 2004.
- [18] S. Willis, S. Helal, “A Passive RFID Information Grid for Location and Proximity Sensing for the Blind User”, Technical Report number TR04-009, University of Florida, http://www.cise.ufl.edu/tech_reports/tr04/tr04-009.pdf (link checked 30.12.2005).
- [19] D. Hähnel, W. Burgard, D. Fox, K. Fishkin, M. Philipose, “Mapping and Localization with RFID Technology”, Intel Corporation, 2003.
- [20] S. Rooney, P. Chippendale, R. Choony, C. Le Roux, B. Honary, “Accurate Vehicular Positioning Using a DAB-GSM Hybrid System,” in Proc IEEE VTC2000, 2000, vol. 1, pp. 97-101.
- [21] J. Krumm, G. Cermak, E. Horvitz, “RightSPOT: A Novel Sense of Location for a Smart Personal Object,” UbiComp, 2003.
- [22] N. B. Priyantha, A. Chakraborty, H. Balakrishnan, “The cricket location-support system” in Proc MOBICOM 2000, 2000, pp. 32-43.
- [23] P. Hii, A. Zaslavsky, “Improving Location Accuracy by Combining WLAN Positioning and Sensor Technology” in Proc REALWSN'05, 2005.
- [24] R. Want, A. Hopper, V. Falcao, J. Gibbons, “The active badge location system” in Proc ACM T. on Information Systems, 1992, vol. 10, no. 1, pp. 91-102.
- [25] E. Kaplan, (ed), “Understanding GPS Principles and Applications”, Artech House, 1996, ISBN 0-89006-793-7, 554 s.

- [26] Y. Zhao, “Vehicle Location and Navigation Systems”, Norwood, MA: Artech House, 1997, translated and published in Chinese by Publishing House of Electronic Industry, Beijing, 1999.
- [27] GPS Modernization, <http://www.navcen.uscg.gov/gps/modernization/default.htm>, (link checked 21.02.2006).
- [28] First Modernized GPS Satellite Launched Successfully by USAF, http://www.defencetalk.com/news/publish/printer_3534.php, (link checked 21.02.2006).
- [29] D. Cho, C. Park, S. Lee, “An Assisted GPS Acquisition Method using L2 Civil Signal in Weak Signal Environment,” in Proc GNSS2004, 2004.
- [30] R. Bryant, “Assisted GPS - Using Cellular Telephone Networks for GPS Anywhere” in Journal of GPS World, May 2005, pp. 40-46.
- [31] R. Bryant, “Lessons Learnt in Assisted GPS” in Proc GNSS2004, 2004.
- [32] GLONASS Homepage, <http://www.glonass-center.ru>, (link checked 23.02.2006).
- [33] EGNOS for Professionals, http://esamultimedia.esa.int/docs/egnos/estb/egnos_pro.htm (link checked 23.02.2006).
- [34] The future - Galileo, <http://www.esa.int/esaNA/galileo.html> (link checked 23.02.2006).
- [35] O. Mustafa, “Limitations of Pseudolite Systems Using Off-The-Shelf GPS Receivers,” in Journal of Global Positioning Systems, 2004, vol. 3, no. 1-2, pp. 154-166.
- [36] E. Trevisani, A. Vitaletti, “Cell-ID location technique, limits and benefits: an experimental study” in Proc Mobile Computing Systems and Applications, 2004, pp. 51-60.
- [37] Joseph Liberty, Theodore Rappaport, “Smart Antennas for Wireless Communications: IS-95 & 3rd Generation CDMA Applications”, Prentice Hall Communication, Engineering and Emerging Technologies Series.
- [38] J. Caffery, G. Stuber, “Overview of radiolocation in CDMA cellular systems” in Journal of IEEE Communications Magazine, 1998, vol. 36, no. 4, pp.38-45.
- [39] 3GPP TS 25.133, Requirements for Support of Radio Resource Management (FDD), Mar. 2002.
- [40] Ludden, B., Lopes, L., “Cellular Based Location Technologies for UMTS: A comparison between IPDL and TA-IPDL”, IEEE VTC2000, 2000.
- [41] M. Youssef, A. Agrawala, A. U. Shankar, “WLAN Location Determination via Clustering and Probability Distributions” in Proc IEEE PerCom2003, 2003.
- [42] H. Laitinen, J. Lähteenmäki and T. Nordström, “Database Correlation Method for GSM location”, in Proc. IEEE 51st VTC, 2001, vol. 4, pp. 2504-2508.

- [43] D. Zimmermann, J. Baumann, M. Layh, F. Landstorfer, R. Hoppe and G. Wölfle, “Database Correlation for Positioning of Mobile Terminals in Cellular Network using Wave Propagation Models”, in Proc. IEEE 60th VTC, 2004, vol. 7, pp. 4682-4686.
- [44] S. Ahonen and H. Laitinen, “Database Correlation Method for UMTS location”, in Proc. IEEE 57th VTC, 2003, vol. 4, pp. 2696-2700.
- [45] J. Borkowski and J. Lempiäinen, “Pilot correlation positioning method for urban UMTS networks”, in Proc. European Wireless Conference, 2005, vol. 2, pp. 465-469.
- [46] P. Wertz, G. Wölfe, R. Hoppe, D. Zimmermann, F. M. Landstorfer, “Enhanced Localization Technique within Urban and Indoor Environments based on Accurate and Fast Propagation Models” in Proc. European Wireless Conference, 2002.
- [47] P. Kemppi and S. Nousiainen, “Database Correlation Method for Multi-System Positioning” presented at IEEE 63rd VTC, Melbourne, Australia, 7-10 May, 2006.
- [48] S. Juurakko, W. Backman, “Database Correlation Method with Error Correction for Emergency Location” in Journal of Wireless personal communications, 2004, vol. 30, no. 2-4, pp. 183-194.
- [49] M. Youssef, A. Agrawala, , A. U. Shankar, “A Probabilistic Clustering-Based Indoor Location Determination System”, Technical Report UMIACS-TR 2002-30 and CS-TR 4350, University of Maryland, College Park, 2002.
- [50] P. Bahl, V. Padmanabhan, A. Balachandran, “A Software System for Locating Mobile Users: Design, Evaluation, and Lessons”, Microsoft Research Technical Report, April 2000.
- [51] M. Youssef, A. Agrawala, “On the Optimality of WLAN Location Determination Systems”, Tech. Rep. UMIACS-TR 2003-29, and CS-TR 4459, University of Maryland. College Park, 2003.
- [52] T. Nypan, K. Gade, O. Hallingstad, “Vehicle positioning by database comparison using the Box-Cox metric and Kalman filtering” in Proc. IEEE 55th VTC, 2002, vol. 4, pp. 1650-1654.
- [53] T. Nypan, O. Hallingstad, “A cellular positioning system based on database comparison – The hidden Markov model based estimator versus the Kalman filter”, in Proc. NORISIG, 2002.
- [54] R. G. Brown, P. Y. C. Hwang, “Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering”, 3rd ed., John Wiley & Sons, 1997.
- [55] S. Ali-Löytty, N. Sirola, and R. Piché, “Consistency of three Kalman filter extensions in hybrid navigation” in Proc. GNSS2005, 2005.
- [56] M. Nájjar, J. Vidal, “Kalman Tracking for Mobile Location in NLOS Situations” in Proc. IEEE PIMRC2003, 2003.

- [57] D. Yang, B. Cai, Y. Yuan, “An Improved Map-Matching Algorithm Used in Vehicle Navigation System,” in Proc. IEEE 6th ITSC, 2003, vol. 2, pp. 1246-1250.
- [58] F. Evennou, F. Marx, E. Novakov, “Map-aided indoor mobile positioning system using particle filter” in Proc Wireless Communications and Networking Conference, 2005, vol. 4, pp. 2490-2494.
- [59] David Bernstein, Alain Kornhauser, “An Introduction to Map Matching for Personal Navigation Assistants”, TIDE Center, New Jersey, 1996.
- [60] Y. Gwon, R. Jain, T. Kawahara, “Robust indoor location estimation of stationary and mobile users”, IEEE Infocom, 2004.
- [61] D. Pandya, R. Jain, E. Lupu, “Indoor location estimation using multiple wireless technologies”, The 14th IEEE 2003 International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication, 2003.
- [62] A. Lattunen, J. Pajunen, P. Kemppe, Y. Li, “Measurement Tool for Multi-Network Fingerprint based Positioning”, submitted to IST Summit, 2006.
- [63] I. Martin-Escalona, F. Barcelo, “Optimization of the cost of providing location services in mobile cellular networks”, Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2004.
- [64] R. Singh, M. Guainazzo, C.S. Regazzoni, “Location determination using WLAN in conjunction with GPS network (Global Positioning System)”, IEEE 59th Vehicular Technology Conference (Spring), 2004.
- [65] J. Markoulidakis, C.Desiniotis, K.Kypris, “Method for improving the CGI mobile location technique by exploiting past measurements”, IST Mobile Summit 2005, Dresden, Germany.
- [66] Open Mobile Alliance, OMA-TS-ULP-V1_0-20060127-C, User Plane Location Protocol, Candidate Version 1.0 –27 Jan 2006.
- [67] State of Implementation of the Single European Emergency call number 112, version 2.0,2001,European Commission, Directorate-General Environment, <http://www.eena.org>.
- [68] K. I. Adusei, K. Kyamakya, K. Jobmann, “Mobile Positioning Technologies in Cellular Networks: An Evaluation of their Performance Metrics”, MILCOM 2002, California, USA, 2002.
- [69] C. Komar, C. Ersoy, T. Istanbul, “Location Tracking and Location Based Service Using IEEE 802.11 WLAN Infrastructure”, European Wireless, 2004.
- [70] Kamol Kaemarungsi, Prashant Krishnamurthy, “Modeling of Indoor Positioning Systems Based on Location Fingerprinting”, IEEE Infocom, 2004.
- [71] K. Kaemarungsi, “Design of indoor positioning systems based on location fingerprinting technique”, Doctoral Dissertation, University of Pittsburgh, 2005.

- [72] Juniper Research, June 2005, Mobile Location Based Services: Information Services, Tracking, Navigation, Community & Entertainment.
- [73] Agile project, Galileo Joint Undertaking, Application of Galileo in the LBS environment - Application grouping. Version 3.0, May 2006.
- [74] State of Implementation of the Single European Emergency call number 112, version 2.0,2001,European Commission, Directorate-General Environment, <http://www.eena.org>.
- [75] Ekahau (2002), “Ekahau Positioning Engine 2.0: 802.11-based Wireless LAN positioning system”, An Ekahau Technology Document (<http://www.ekahau.com>), Nov 2002.
- [76] Mobile Location Service v1.0, Open Mobile Alliance, http://www.openmobilealliance.org/release_program/mls_v1_0.html, (link checked 27.02.2006).
- [77] Secure User Plane Location v1.0, Open Mobile Alliance, http://www.openmobilealliance.org/release_program/supl_v1_0.html, (link checked 27.02.2006).
- [78] MLS/Mobile Location Protocol v3.2 (OMA-TS-MLP-V3_2-20050607-C), Open Mobile Alliance.
- [79] User Plane Location Protocol, Draft Version 2.0 – 22 Jun 2006, Open Mobile Alliance, OMA-TS-ULP-V2_0-20060622-D.
- [80] Secure User Plane Location Architecture, Draft Version 2.0 – 07 Mar 2006, Open Mobile Alliance, OMA-AD-SUPL-V2_0-20060307-D.
- [81] <http://www.ericsson.com/products/tems>
- [82] <http://www.nemotechnologies.com>
- [83] <http://www.swissqual.com>
- [84] 3GPP TS 05.08, 3rd Generation Partnership Project, Radio Subsystem Link Control (Release 1999).
- [85] 3GPP TS 25.133, 3rd Generation Partnership Project, Requirements for Support of Radio Resource Management (FDD), Release 4, 2006-03.
- [86] Jonathan Spinney, Wireless Location Uses in the User Plane and Control Plane, Location Based Services ESRI, 31 October 2006.
- [87] GSM ASSOCIATION, GSME POSITION, Options for eCall MSD signalling, 21 April 2006.
- [88] FCC (2003) Enhanced 911. Federal Communications Commission, accessed June 1, 2003, <http://www.fcc.gov/911/enhanced>.

- [89] Technical Specification Group Services and System Aspects, Third Generation Partnership Project, Functional stage 2 description of Location Services (LCS), Release 7, 2006.
- [90] Technical Specification Group Services and System Aspects, Third Generation Partnership Project, Functional stage 2 description of Location Services (LCS), Release 7, 2006.
- [91] Dyoub J. & Collins B. , “Dueling Architectures: Control Plane vs User Plane, which is right for you?”, 2004, <http://www.hp.com/go/lbs>
- [92] L. Kleinrock, "Queueing Systems", Wiley-Interscience, 1975.
- [93] Open Mobile Alliance, "Secure User Plane Location Architecture", Candidate Version 1.0, OMA-AD-SUPL-V1_0-20060127-C, 27 Jan. 2006.
- [94] [http://www.nttdocomo.com/presscenter/pressreleases/press/pressrelease.html?param\[no\]=470](http://www.nttdocomo.com/presscenter/pressreleases/press/pressrelease.html?param[no]=470)
- [95] 3GPP TR 22.934 V6.2.0 (2003-09), “Feasibility Study on 3GPP System to WLAN Interworking”.
- [96] 3GPP TS 23.234 V6.1.0 (2004-06), “3GPP System to WLAN Interworking; System Description”.
- [97] <http://www.palmsource.com/palms/garnet.html>
- [98] <http://www.microsoft.com/windowsmobile/pocketpc/ppc/default.mspx>
- [99] <http://www.ericsson.com/services/tems/gsm/pocket-gsm.shtml>
- [100] <http://www.garmin.com/products/etrexsummit/>
- [101] Spectrum Planning Report Investigation of Modified Hata Propagation Models Spectrum Planning Team Radio frequency Planning Group Document: SP 2/01 Australian Communications Authority.
- [102] M. Hata, “Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. VT-29, no. 3, August 1980.
- [103] An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements by John R. Taylor, 2nd edition, (ISBN 093570275X).
- [104] J. S. Lee and L.E. Miller, “CDMA Systems Engineering Handbook”, Boston, Artech House, 1998.
- [105] Peter Maybeck, “Stochastic models, estimation and control”, volume 1, Department of Electrical Engineering, Air force institute of technology, Ohio.
- [106] “System and Method for Tracing the Whereabouts of Mobile Terminals in Mobile Communications Systems” (U.K. Application No. 0416218.6).
- [107] Yilin Zhao, “Standardization of mobile phone positioning for 3G systems”, IEEE Communications Magazine, July 2002.

- [108] Trond Nypan, Kenneth Gade, Torleiv Maseng, “Location using estimated impulse responses in a mobile communication system”, Norsig Symposium 2001.
- [109] Location Based Services, Sharad Chandra Agrawal, Sandeep Agrawal, September 2003, TATA consultancy services.
- [110] M.A.Spirito, A.G.Mattioli, “Preliminary experimental results of a GSM mobile phones positioning system based on timing advance,” in Proc. of 13th ION GPS Technical Meeting of the Sattelite Division of the Institute of Navigation, pp. 955-966, September 2000.
- [111] J.Borkowski, J.Niemela, J.Lempiainen, “Performance of Cell ID+RTT Hybrid Positioning Method for UMTS Radio Networks”,in Proc. of European Wireless Conf., pp. 487-492, February 2004.
- [112] J. S. Lee and L.E. Miller, CDMA Systems Engineering Handbook, Boston, Artech House, 1998.
- [113] Ekahau (2002), “Ekahau Positioning Engine 2.0: 802.11-based Wireless LAN positioning system”, An Ekahau Technology Document (<http://www.ekahau.com>), Nov 2002.
- [114] Teemu Roos, Petri Myllymaki, Henry Tirri, “A statistical Modeling Approach to Location Estimation”, IEEE Transactions on mobile computing, Vol. 1, January-March 2002.
- [115] Martin Hellebrandt, Rudolf Mathar, “Location Tracking of Mobiles in Cellular Radio Networks”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 48, September 1999.
- [116] IST LoVEUS project, Deliverable 2: LoVEUS service and application scenarios, Sep.2002.
- [117] W. C. Lee, Mobile Communications Engineering, New York, McGraw-Hill, 1982.
- [118] M. Hellebrandt, R.Mathar, “Location Tracking of Mobiles in Cellular Radio Networks”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 48, No. 5, Sep.1999, pp. 1558-1562.
- [119] R. Kalman, “A new approach to linear filtering and prediction problems”, Transactions of the ASME Journal of Basic Engineering, March 1960, pp. 35-45.
- [120] J. G. Markoulidakis, C. Dessiniotis, “Statistical Terminal Assisted Mobile Positioning Technique”, accepted for publication at IET Communications.
- [121] J.G.Markoulidakis, et.al., “Mobility Modelling in Third-Generation Mobile Telecommunications Systems”, IEEE Personal Communications Mag., Aug. 1997, pp. 41-56.
- [122] 3GPP TS 25.304 v.6.8.0, User Equipment procedures in idle mode and procedures for cell reselection in connected mode.
- [123] FP6-IST4, Contract No: IST-27659 (MOTIVE) - STP.
- [124] GSM Association, <<http://www.gsmworld.com>>

- [125] UMTS Forum, <<http://www.umts-forum.org>>
- [126] Device Management Specification Version 1.2, Open Mobile Alliance, July 2005.
- [127] <http://www.telecom.ece.ntua.gr/cello>
- [128] <http://www.ericsson.com/products/tems>
- [129] NMEA 0183 Interface Standard – Version 3.01, National Marine Electronics Association, January 2002.
- [130] MLS/Mobile Location Protocol v3.2 (OMA-TS-MLP-V3_2-20050607-C), Open Mobile Alliance, http://www.openmobilealliance.org/release_program/mls_v1_0.html, (link checked 27.02.2006).
- [131] OpenGIS® Geography Markup Language (GML) Encoding Specification (GML), OpenGIS® Consortium, <http://www.opengeospatial.org/specs/?page=specs>
- [132] EPSG Geodetic Parameter Dataset, International Association of Oil & Gas Producers, <http://www.epsg.org/>, (link checked 27.02.2006).
- [133] RFC2246, Internet Engineering Task Force, <http://www.ietf.org/rfc/rfc2246.txt>, (link checked 27.02.2006).
- [134] Functional stage 2 description of Location Services (LCS) Release 6.0, 3GPP, <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/23271.htm>, (link checked 27.02.2006).
- [135] WAP Push, Open Mobile Alliance, <http://www.wapforum.org/what/technical.htm>, (link checked 27.02.2006).
- [136] Abstract Syntax Notation One (ASN.1) and ASN.1 Encoding Rules, ITU-T, <http://asn1.elibel.tm.fr/en/standards/index.htm>, (link checked 27.02.2006).
- [137] Recent work of OMA location workgroup (LOC), year 2005, http://member.openmobilealliance.org/ftp/Public_documents/LOC/2005/, (link checked 27.02.2006).
- [138] Recent work of OMA location workgroup (LOC), year 2006, http://member.openmobilealliance.org/ftp/Public_documents/LOC/2006/, (link checked 27.02.2006).
- [139] The TLS Protocol Version 1.0, <http://www.ietf.org/rfc/rfc2246.txt>, (link checked 27.02.2006).
- [140] D. Lin, R. Juang, H. Lin, “Robust mobile location estimation based on signals attenuation for cellular communication systems,” in Proc IEEE 61st VTC, 2005.
- [141] J. Zhu, G.D. Durgin, “Indoor/outdoor location of cellular handsets based on received signal strength”, Electronics letters, 2005.

- [142] 3GPP TS 23.271 V7.3.0 (2005-12): 3rd Generation Partnership Project, Technical Specification Group Services and System Aspects, “Functional stage 2 description of Location Services (LCS)”, Release 7, December 2005.
- [143] 3GPP TR 23.871 V5.0.0 (2002-07): 3rd Generation Partnership Project, Technical Specification Group Services and System Aspects System Aspects, Technical Report, “Enhanced support for User Privacy in location services”, Release 5, July 2002.
- [144] ETSI TS 133 102 V7.0.0 (2005-12): Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), 3G Security, “Security architecture”, 3GPP TS 33.102, version 7.0.0, Release 7, December 2005.
- [145] ETSI TS 133 103 V4.2.0 (2001-09): Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), 3G Security, “Integration Guidelines”, 3GPP TS 33.103, version 4.2.0, Release 4, September 2001.
- [146] ETSI TS 133 120 V4.0.0 (2001-03): Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), 3G Security, “Security Principles and Objectives”, 3GPP TS 33.120, version 4.0.0, Release 4, March 2001.
- [147] P.W Zehna, “Invariance of Maximum Likelihood Estimators”, *Annals of Mathematical Statistics*, 37, 744.
- [148] Papageorgiou I.G., Charalambous C.D., Panaviotou C., “An Enhanced Received Signal Level Cellular Location Determination Method via Maximum Likelihood and Kalman Filtering”, *Wireless Communications and Networking Conference*, 2005 Page(s):2524 - 2529 Vol. 4
- [149] R. Kalman, “A new approach to linear filtering and prediction problems”, *Transactions of the ASME Journal of Basic Engineering*, March 1960, pp. 35-45.
- [150] G.Bishop, G.Welch, “An Introduction to the Kalman Filter”, University of North Carolina, 2001.
- [151] Maybeck, Peter S. 1979. *Stochastic Models, Estimation, and Control*, Volume 1, Academic Press, Inc.
- [152] Jacobs, O. L. R. 1993. *Introduction to Control Theory*, 2nd Edition. Oxford University Press.
- [153] Grewal, Mohinder S., and Angus P. Andrews (1993). *Kalman Filtering Theory and Practice*. Upper Saddle River, NJ USA, Prentice Hall.
- [154] M. Hellebrandt, R.Mathar, “Location Tracking of Mobiles in Cellular Radio Networks”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 48, No. 5, Sep.1999, pp. 1558-1562.

- [155] M. Pettersen, R. Eckhoff, P. H. Lehne, T. A. Worren, E. Melby, “An experimental evaluation of network-based methods for mobile station positioning,” in Proc. 13th IEEE Int. Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2002, vol. 5, pp. 2287-2291.
- [156] E. D. Murray, “Performance Of Network Based Mobile Location Techniques Within The 3GPP UTRA TDD Standards,” in Proc 3G Mobile Communication Technologies, 2002.
- [157] D. Porcino, “Performance of a OTDOA-IPDL positioning receiver for 3G-FDD mode,” in Proc. Int. Conf. 3G Mobile Commun. Technol., 2001, pp. 221–225.
- [158] H. Kunczier, H. Anegg, “Enhanced cell ID based terminal location for urban area location based applications,” in Proc Consumer Communications and Networking Conference, 2004, pp. 595-599.
- [159] A. Kotanen, M. Hannikainen, H. Leppäkoski, T.D. Hämäläinen, “Positioning with IEEE 802.11b wireless LAN,” in Proc PIMRC 2003, vol. 3, pp. 2218 - 2222.
- [160] Robert Grimm, Janet Davis, Eric Lemar, Adam MacBeth, Steven Swanson, Steven Gribble, Tom Anderson, Brian Bershad, Gaetano Borriello, David Wetherall, “Programming for Pervasive Computing Environments”. Technical report UW-CSE-01-06-01, University of Washington, Department of Computer Science and Engineering, June 2001.
- [161] Paul Castro, Benjamin Greenstein, Parviz Kermani, Richard Muntz, Maria Papadopouli, Chatschik Bisdikian, ”Locating Application Data Across Service Discovery Domains”. Proceeding of the International Conference on Mobile Networking and Computing, July, 2001.
- [162] UCLA Multimedia Systems Laboratory: <http://mmsl.cs.ucla.edu/publications.shtml>
- [163] 3GPP, TS 04.31 Radio Resource LCS Protocol (RRLP) V8.17.0, <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/0431.htm>
- [164] 3GPP, TS 25.331 Radio Resource Control (RRC) V7.0.0, <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/25331.htm>
- [165] C.Bettstetter, H.J.Vogel, and J. Eberspacher, ”GSM Phase 2+, General Packet Radio Service GPRS: architecture, Protocols and Air Interface,” IEEE.
- [166] Change Request, Open Mobile Alliance, OMA-LOC-2006-0125R03-CR-SUPL-2_0-TS-Multiple-Location-Ids.
- [167] Jakub Marek Borkowski, “Performance of Cell ID+RTT hybrid positioning methods for UMTS”, Master of Science Thesis, Tampere University of Technology, department of Information Technology.
- [168] 3GPP TS 25.215, “UMTS; Physical layer; Measurements (FDD)”. ver. 6.0.0, Rel. 6.

- [169] Open Mobile Alliance, Mobile Location Protocol, Candidate version 3.2, OMA-TS-MLP-V3_2-20051124-C
- [170] 3GPP TS 05.08, 3rd Generation Partnership Project, Radio Subsystem Link Control (Release 1999).
- [171] Spectrum Planning Report Investigation of Modified Hata Propagation Models Spectrum Planning Team Radio frequency Planning Group Document: SP 2/01 Australian Communications Authority.
- [172] J. S. Lee and L.E. Miller, CDMA Systems Engineering Handbook, Boston, Artech House, 1998.
- [173] An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements by John R. Taylor, 2nd edition, (ISBN 093570275X).
- [174] KATHREIN, Antennen-Electronic, Base Station Antennas for Mobile Communication, <http://www.kathrein.de>.
- [175] William C. Y. Lee, "Mobile Cellular Telecommunications Systems", McGraw-Hill Book Company, 1989.
- [176] Henry L. Bertoni, "Radio Propagation for Modern Wireless Systems", pages 16-23, Prentice Hall Professional Technical Reference, 1999.
- [177] ETSI TS 100 911 V8.17.0 (2003-06), Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Radio Subsystem Link Control.
- [178] M. Hata and T. Nagatsu, "Mobile location using signal strength measurements in a cellular system", IEEE Transactions on vehicular technology, Vol. VT-29, May 1980.
- [179] 3GPP TS 23.060 V4.2.0: Technical Specification Group Services and System Aspects; General Packet Radio Service (GPRS); Service description; Stage 2.
- [180] UserPlane Location Protocol, Draft Version 2.0 – 07 Sep 2006, Open Mobile Alliance, OMA-TS-ULP-V2_0-20060907-D.
- [181] M. Hata, "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services." IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-29, no. 3, pp. 317–325, August 1980.
- [182] TS 05.08: Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Radio Subsystem Link Control (version 8.17.0), Section 6.2, 3GPP Technical Specification, June 1999.
- [183] W. Enck, P. Traynor, P. McDaniel, and T. La Porta, "Exploiting Open Functionality in SMS Capable Cellular Networks", 12th ACM Conf. on Computer and Comm. Security (CCS'05), Alexandria, Virginia, USA, Nov. 2005.
- [184] National Communications System, "SMS over SS7", Technical Report - Technical Information Bulletin 03-2 (NCS TIB 03-2), Dec. 2003.

- [185] Open Mobile Alliance, "UserPlane Location Protocol", Candidate Version 1.0, OMA-TS-ULP-V1_0-20060127-C, 27 Jan. 2006.
- [186] Open Mobile Alliance, "Secure User Plane Location Architecture", Candidate Version 1.0, OMA-AD-SUPL-V1_0-20060127-C, 27 Jan. 2006.
- [187] Open Mobile Alliance, "UserPlane Location Protocol", Candidate Version 1.0, OMA-TS-ULP-V1_0-20060127-C, 27 Jan. 2006.
- [188] UserPlane Location Protocol, Draft Version 2.0 – 07 Sep 2006, Open Mobile Alliance, OMA-TS-ULP-V2_0-20060907-D.
- [189] 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Terminals; Technical realization of Cell Broadcast Service (CBS), 3GPP TS 23.041 V7.0.0, Technical Specifications, March 2006.
- [190] Standardization of mobile phone positioning for 3G systems, Yilin Zhao, IEEE Communications Magazine, July 2002.
- [191] Open Mobile Alliance, OMA-TS-ULP-V1_0-20060127-C, User Plane Location Protocol, Candidate Version 1.0 –27 Jan 2006.
- [192] CC Docket No.96-264, "Revision of the Commission Rule to ensure compatibility with Enhanced 911 emergency calling system", FCC Reports and Orders, 1996.
- [193] www.vodafone.gr.
- [194] J. G. Markoulidakis, C. Desiniotis, M. Theologou, C. Eliopoulos, D. Liapis, "Anonymous Real-Time Mobile Community Services", Wireless World Research Forum Meeting 17, 15-17 November 2006, Heidelberg, Germany.
- [195] C. Desiniotis, Y. Markoulidakis, D. Axiotis et. al., "MOTIVE: Mobile Terminal Information Value Added Functionality", 15th IST Mobile and Wireless Communications Summit, Myconos, 4-8 June 2006, Greece.
- [196] A. Clarkson, S. Velentzas, C. Dessiniotis, K. Kypris, "Hybridised Location Techniques for Increased Position Accuracy at the Lowest Cost", Mobile Location Workshop 04, May 2004, Athens Greece.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

10.1 Μέθοδος Ελαχίστων Τετραγώνων

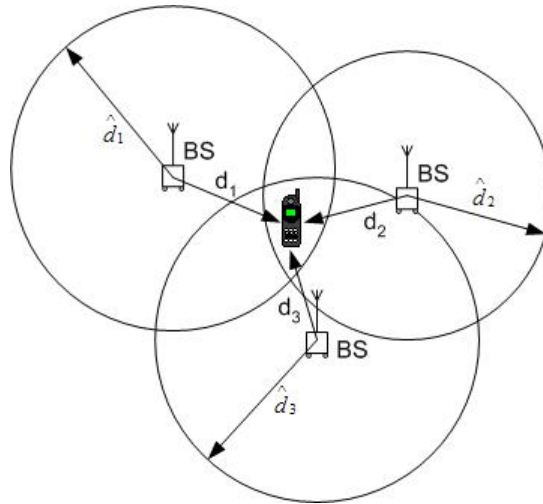
Η μέθοδος Ελαχίστων Τετραγώνων [42] μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της θέσης (x, y) ενός τερματικού συνδυάζοντας ένα σύνολο μετρήσεων (π.χ. δεδομένα στάθμης ισχύος λαμβανόμενου σήματος από πολλούς ΣΒ) που αντιστοιχούν σε πιθανές θέσεις του κινητού τερματικού. Η μέθοδος Ελαχίστων Τετραγώνων στην περίπτωση αυτή αποτυπώνεται στην ακόλουθη εξίσωση:

$$(x, y)_{opt} = \min_{x, y} \left\{ \sum_{n=1}^N (d_n - \hat{d}_n)^2 \right\} \quad (1)$$

Η λύση της εξίσωσης (1) ορίζει ένα ή περισσότερα σημεία για τα οποία ελαχιστοποιείται το άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων ως προς τα σύνολα των εκτιμώμενων θέσεων (ή αλλιώς της γεωμετρικής τους απόστασης) που προκύπτουν για κάθε ΣΒ με χρήση κάποιας τεχνικής (π.χ. CGI++). Για πρακτικούς λόγους, η επίλυση της εξίσωσης (1) μπορεί να επιτευχθεί ικανοποιητικά με χρήση της μεθόδου των πλεγμάτων (grids) [47]. Σύμφωνα με τη μέθοδο των πλεγμάτων η περιοχή στην οποία πρόκειται να αναζητηθεί η θέση του τερματικού χωρίζεται σε επιμέρους τετράγωνα (στοιχεία). Η αναζήτηση πραγματοποιείται υπολογίζοντας για κάθε στοιχείο του πλέγματος το άθροισμα των τετραγώνων των αποστάσεων του σημείου, που αντιστοιχεί στο κέντρο κάθε τετραγώνου, από τα επιμέρους σύνολα των εκτιμήσεων θέσης. Το στοιχείο (τετράγωνο) του πλέγματος για το οποίο ελαχιστοποιείται το ανωτέρω άθροισμα επιλέγεται ως η πιθανότερη εκτίμηση της θέσης του τερματικού. Το μέγεθος του πλέγματος μπορεί να ποικίλει ανάλογα με την απαιτούμενη ανάλυση. Για παράδειγμα, στην περίπτωση όπου το πλέγμα

αποτελείται από τετράγωνα πλευράς μήκους 10m, το μέγιστο σφάλμα της μεθόδου είναι της τάξης των 5m.

Στο Σχήμα 55 απεικονίζει η εφαρμογή της μεθόδου Ελαχίστων Τετραγώνων όταν υπάρχουν δεδομένα από τρεις ΣΒ (στην περίπτωση αυτή ονομάζεται τριγωνοποίηση).



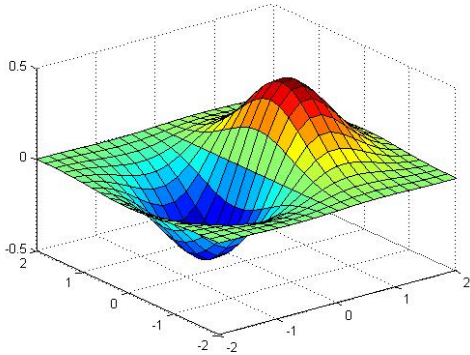
Σχήμα 55: Τυπικό σενάριο τριγωνοποίησης βάσει εκτιμήσεων από τρεις σταθμούς βάσης

Έχοντας υπολογίσει βάσει κάποιας τεχνικής την απόσταση του τερματικού από κάθε έναν από τους τρεις ΣΒ \hat{d}_i , εκτιμάται ότι τα σύνολα των πιθανών θέσεων του τερματικού είναι κύκλοι ακτίνας \hat{d}_i με κέντρο κάθε έναν από τους ΣΒ. Κατόπιν για όλα τα τετράγωνα του πλέγματος σε μία τοπική περιοχή A, η οποία δεδομένου ότι οι κύκλοι τέμνονται για λόγους ευκολίας και ταχύτητας υπολογισμού, ορίζεται από την κοινή τομή των κύκλων (ο κάθε ένας με ακτίνα \hat{d}_i), υπολογίζονται τα αθροίσματα των τετραγώνων της απόστασης των κέντρων τους από τους τρεις κύκλους. Το στοιχείο (τετράγωνο) του πλέγματος του οποίου το κέντρο ελαχιστοποιεί το ανωτέρω άθροισμα εκτιμάται ως η πιθανότερη εκτίμηση της θέσης του τερματικού. Με αυτό τον τρόπο, το πρόβλημα προσδιορισμού της θέσης έχει μετατραπεί σε ένα διακριτό πρόβλημα βελτιστοποίησης. Στην περίπτωση στην οποία οι τρεις κύκλοι δεν τέμνονται η περιοχή A μπορεί να οριστεί με άλλο τρόπο, όπως για παράδειγμα ως ένα πολύγωνο το οποίο ορίζεται από τα όρια των κύκλων. Παρά την προφανή ευκολία υλοποίησης της μεθόδου, η προσέγγιση αυτή μπορεί να αποβεί χρονοβόρα δεδομένου ότι πρέπει να ελεγχθούν διεξοδικά όλα τα αποτελέσματα του πλέγματος με σκοπό να βρεθεί η βέλτιστη λύση. Σε περίπτωση μάλιστα που η απαιτούμενη ακρίβεια είναι μεγάλη και κατά συνέπεια το πλέγμα πυκνότερο (τα τετράγωνα έχουν μικρότερες διαστάσεις), ο χρόνος επεξεργασίας αποτελεί εμπόδιο για την εμπορική υλοποίηση της μεθόδου. Καθίσταται

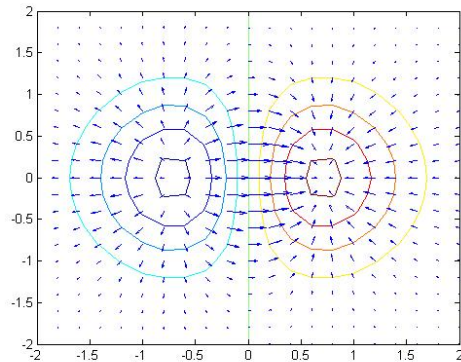
επίσης προφανές ότι ο υπολογισμός δυσχεραίνεται ανάλογα με την το εύρος της περιοχής αναζήτησης.

Με σκοπό τη βέλτιστη εκτίμηση θέσης, αντί της μεθόδου των πλεγμάτων –όπου υπολογίζονται οι τιμές όλων των τετραγώνων του πλέγματος στην περιοχή Α- μπορεί να χρησιμοποιηθούν αριθμητικές μέθοδοι. Η μέθοδος Gradient Descent ή Steepest Descent αποτελεί μία αναδρομική (recursive) μέθοδο η οποία χρησιμοποιείται για την εύρεση ενός σημείου –διανύσματος συντεταγμένων- στο οποίο ελαχιστοποιείται κάποια τυχαία συνάρτηση $F(x, y)$.

Έστω για παράδειγμα η συνάρτηση $F(x, y) = x \cdot e^{-(x^2+y^2)}$. Στο Σχήμα 56 παριστάνεται σε τρισδιάστατα (3D) γραφικά η συνάρτηση στο διάστημα τιμών $\{-2, 2\}$. Το Σχήμα 57 παριστάνει τις ισοϋψείς καμπύλες της F μαζί με την κατεύθυνση της κλίσης σε ορισμένα σημεία. Η κατεύθυνση της κλίσης δείχνει προς τα σημεία στα οποία η F μεγιστοποιείται.



Σχήμα 56: Τρισδιάστατη γραφική παράσταση της συνάρτησης F

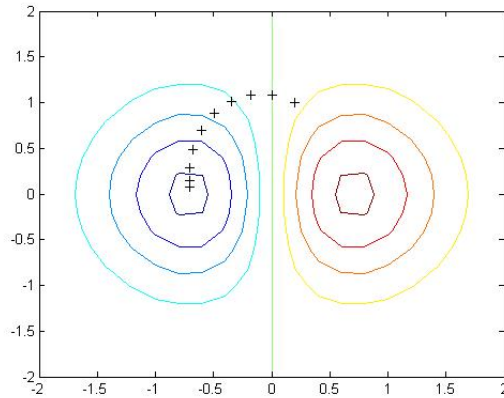


Σχήμα 57: Διάγραμμα ισοϋψών καμπυλών και κλίσης F

Η μέθοδος Gradient Descent υπολογίζει το σημείο στο οποίο η συνάρτηση F ελαχιστοποιείται ξεκινώντας από ένα αρχικό σημείο $X_0(x_0, y_0)$ και ακολουθώντας βήματα προς την αντίθετη κατεύθυνση της κλίσης (gradient). Η επαναληπτική αυτή μέθοδος περιγράφεται από τον τύπο:

$$X_{k+1} = X_k - \gamma \cdot \nabla F(X_k) \quad (2)$$

Όπου το $\gamma > 0$ είναι μία μικρή τιμή. Το Σχήμα 58 αναπαριστά την πρόοδο του αλγόριθμου για 10 επαναλήψεις, $\gamma = 0.6$ και $X_0 = (0.2, 1)$. Μετά από έναν αριθμό επαναλήψεων τα αποτελέσματα συγκλίνουν στο σημείο εκείνο στο οποίο η F παρουσιάζει ελάχιστο.



Σχήμα 58: Απεικόνιση μιας εφαρμογής του αλγορίθμου *Steepest Descent*

Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται εξαρτάται από τον αριθμό των επαναλήψεων, την τιμή του γ και κυρίως από την αρχική τιμή του X_0 . Με τη σωστή επιλογή των γ και X_0 ο αριθμός των επαναλήψεων που απαιτούνται για την εύρεση της βέλτιστης λύσης είναι πολύ μικρός. Σε αυτή την περίπτωση, η μέθοδος είναι χρονικά ταχύτερη από τη μέθοδο πλέγματος. Ωστόσο, στην περίπτωση που η συνάρτηση F έχει αρκετά τοπικά ελάχιστα, αυτή η μέθοδος μπορεί να «εγκλωβιστεί» σε ένα τοπικό ελάχιστο, αποτυγχάνοντας να συγκλίνει στο ολικό ελάχιστο. Μία λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι η εκτέλεση του αλγορίθμου με διαφορετικές (τυχαίες) αρχικές τιμές X_0 . Το σημείο στο οποίο ο αλγόριθμος συγκλίνει τις περισσότερες φορές είναι συνήθως το επιθυμητό σημείο (ολικό ελάχιστο).

10.2 Φίλτρο Kalman

Το φίλτρο Kalman αποτελεί μια επαναληπτική μέθοδο η οποία δίνει λύση στο πρόβλημα του γραμμικού φιλτραρίσματος διακριτών δεδομένων. Ήδη από την πρώτη δημοσίευσή του το (1960), το φίλτρο Kalman [149] έχει αποτελέσει αντικείμενο εκτενούς έρευνας και εφαρμογών κυρίως εξαιτίας της διαρκής εξέλιξης και ανάπτυξης των υπολογιστικών συστημάτων. Οι κύριοι τομείς στους οποίους έχει αξιοποιηθεί αφορούν στον εντοπισμό θέσης οχημάτων και στα συστήματα πλοήγησης.

Το φίλτρο Kalman αποτελεί ένα σύνολο από αναδρομικές μαθηματικές εξισώσεις, οι οποίες παρέχουν έναν επαρκή υπολογιστικό τρόπο εκτίμησης της κατάστασης μίας διαδικασίας με τέτοιο τρόπο που να ελαχιστοποιείται το μέσο τετραγωνικό σφάλμα της εκτιμώμενης σε σχέση με την πραγματική κατάσταση. Το φίλτρο λαμβάνει υπόψη εκτιμήσεις που αναφέρονται σε παρελθοντικές, τωρινές και μελλοντικές καταστάσεις ακόμα και σε περιπτώσεις που η ακριβής φύση του μοντελοποιημένου συστήματος είναι άγνωστη. Θεωρείται αξιόπιστο σε θέματα εκτίμησης της κατάστασης και εξάλειψης του θορύβου.

Το φίλτρο Kalman [150] απευθύνεται στο γενικό πρόβλημα εκτίμησης της κατάστασης $x \in \mathcal{R}^n$ μίας ελεγχόμενης, διακριτού χρόνου διαδικασίας η οποία ορίζεται από τη γραμμική στοχαστική εξίσωση:

$$x_k = Ax_{k-1} + Bu_{k-1} + w_{k-1} \quad (3)$$

Με μία μέτρηση $z \in \mathcal{R}^m$ η οποία είναι :

$$z_k = Hx_k + v_k \quad (4)$$

Οι τυχαίες μεταβλητές w_k και v_k αναπαριστούν το θόρυβο της διαδικασίας (process noise) και το θόρυβο των μετρήσεων (measurement noise) αντίστοιχα. Θεωρείται ότι είναι ανεξάρτητες, τυχαίες μεταβλητές και ότι ακολουθούν την κανονική κατανομή:

$$p(w) \sim N(0, Q) \quad (5)$$

$$p(v) \sim N(0, R) \quad (6)$$

Στην πράξη, οι πίνακες συμμεταβλητότητας του θορύβου διαδικασίας και του θορύβου μετρήσεων μπορεί να αλλάζουν σε κάθε χρονικό βήμα ή σε κάθε μέτρηση, ωστόσο, για λόγους απλοποίησης υποτίθεται ότι είναι σταθεροί.

Ο πίνακας $A(n \times n)$ στην εξίσωση κατάστασης (3), σχετίζει την κατάσταση της προηγούμενης χρονικής στιγμής (βήμα $k-1$) με την κατάσταση της τρέχουσας χρονικής στιγμής (βήμα k),

όταν δεν υπάρχουν η είσοδος ελέγχου (συνάρτηση u) και ο θόρυβος της διαδικασίας w_k . Ο πίνακας $B(n \times l)$ σχετίζει την προαιρετική είσοδο ελέγχου $u \in \mathfrak{R}^l$ με την κατάσταση x . Ο πίνακας $H(m \times n)$ στην εξίσωση μέτρησης (4) σχετίζει την κατάσταση x με τη μέτρηση z_k . Στην πράξη οι πίνακες A και H μπορεί να αλλάζουν σε κάθε βήμα ή μέτρηση, αλλά στην παρούσα ανάλυση θεωρούνται σταθεροί.

10.2.1 Οι Υπολογιστικές Αρχές του Φίλτρου

Έστω ότι η μεταβλητή $\hat{x}_k^- \in \mathfrak{R}^n$ είναι η εκ των προτέρων εκτίμηση της κατάστασης στο βήμα k δεδομένου ότι είναι γνωστή η διαδικασία πριν από το βήμα k , και η μεταβλητή $\hat{x}_k \in \mathfrak{R}^n$ είναι η εκ των υστέρων εκτίμηση της κατάστασης στο βήμα k δεδομένης της μέτρησης z_k . Τα εκ των προτέρων και τα εκ των υστέρων σφάλματα εκτίμησης της κατάστασης ορίζονται ως ακολούθως:

$$e_k^- \equiv x_k - \hat{x}_k^-$$

$$e_k \equiv x_k - \hat{x}_k$$

Με βάση τα ανωτέρω, η συμμεταβλητότητα του εκ των προτέρων σφάλματος είναι:

$$P_k^- = E[e_k^- e_k^{-T}] \quad (7)$$

και η συμμεταβλητότητα του εκ των υστέρων σφάλματος είναι:

$$P_k = E[e_k e_k^T] \quad (8)$$

Για τον ορισμό του κατάλληλου φίλτρου Kalman, πρέπει να βρεθεί μία εξίσωση η οποία να εκτιμά την εκ των υστέρων κατάσταση \hat{x}_k ως ένα γραμμικό συνδυασμό της εκ των προτέρων εκτίμησης \hat{x}_k^- και μίας σταθμισμένης διαφοράς μεταξύ της πραγματικής μέτρησης z_k και μίας πρόβλεψης της μέτρησης $H \hat{x}_k^-$ της κατάστασης, όπως παρουσιάζεται στην εξίσωση (9).

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K \left(z_k - H \hat{x}_k^- \right) \quad (9)$$

Η διαφορά $\left(z_k - H \hat{x}_k^- \right)$ στην (9) καλείται καινοτομία μέτρησης (measurement innovation) ή υπολειπόμενη (residual) μέτρηση. Η υπολειπόμενη μέτρηση αντικατοπτρίζει την ασυμφωνία μεταξύ της προβλεπόμενης μέτρησης $H \hat{x}_k^-$ και της πραγματικής μέτρησης z_k της κατάστασης.

Η τιμή μηδέν για την υπολειπόμενη μέτρηση υποδηλώνει απόλυτη συμφωνία μεταξύ της πρόβλεψης και της πραγματικής μέτρησης.

Ο πίνακας $K(n \times m)$ στην εξίσωση (9) επιλέγεται ώστε να είναι το **κέρδος ή ο παράγοντας που ελαχιστοποιεί τη συμμεταβλητότητα του εκ των υστέρων σφάλματος**. Η ελαχιστοποίηση αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί τοποθετώντας την (9) στον ορισμό του εκ των υστέρων σφάλματος e_k , και αντικαθιστώντας το αποτέλεσμα στην εξίσωση (8). Στη συνέχεια, πραγματοποιώντας τους υπολογισμούς και ελαχιστοποιώντας τη συμμεταβλητότητα του σφάλματος ως προς το κέρδος, υπολογίζεται το κέρδος K . Περισσότερες λεπτομέρειες για τη διαδικασία αυτή υπάρχουν στις αναφορές [151], [152], [153]. Το προκύπτον K το οποίο ελαχιστοποιεί την (8) δίνεται από την εξίσωση:

$$K_k = P_k^- H^T (H P_k^- H^T + R)^{-1} = \frac{P_k^- H^T}{H P_k^- H^T + R} \quad (10)$$

Όλες οι παραπάνω εξισώσεις, αναπαριστούν το φίλτρο Kalman και μπορούν να επιλυθούν αλγεβρικά με διάφορους τρόπους. Η εξίσωση (10) αναπαριστά το κέρδος Kalman σε μία πολύ γνωστή μορφή. Παρατηρείται από την εξίσωση (10) ότι καθώς η συμμεταβλητότητα του σφάλματος μέτρησης R πλησιάζει στο μηδέν, το κέρδος K αυξάνει δίνοντας μεγαλύτερη βαρύτητα στην υπολειπόμενη μέτρηση. Πιο συγκεκριμένα,

$$\lim_{R_k \rightarrow 0} K_k = H^{-1}$$

Από την άλλη πλευρά, καθώς η εκ των προτέρων συμμεταβλητότητα του σφάλματος P_k^- τείνει στο μηδέν, το κέρδος K μειώνεται και κατά συνέπεια δίνεται μικρότερο βάρος στην υπολειπόμενη μέτρηση. Συγκεκριμένα,

$$\lim_{P_k^- \rightarrow 0} K_k = 0$$

Ένας άλλος τρόπος ερμηνείας του κέρδους K , είναι ο εξής: καθώς η συμμεταβλητότητα σφάλματος της μέτρησης R τείνει στο μηδέν, η πραγματική μέτρηση z_k γίνεται περισσότερο «έγκυρη» ενώ η εκτιμώμενη μέτρηση \hat{x}_k^- γίνεται όλο και λιγότερο «έγκυρη». Από την άλλη, καθώς η εκ των προτέρων εκτιμώμενη συμμεταβλητότητα του σφάλματος P_k^- τείνει στο μηδέν, η πραγματική μέτρηση γίνεται λιγότερο «έγκυρη» ενώ η προβλεπόμενη μέτρηση \hat{x}_k^- γίνεται περισσότερο «έγκυρη».

10.2.2 Το Διακριτό Φίλτρο Kalman

Το φίλτρο Kalman εκτιμάει μία διαδικασία χρησιμοποιώντας έλεγχο ανάδρασης. Το φίλτρο εκτιμά την κατάσταση της διαδικασίας κάποια στιγμή και στη συνέχεια δέχεται ανάδραση με τη μορφή μετρήσεων οι οποίες περιέχουν θόρυβο. Ως εκ τούτου, οι εξισώσεις του φίλτρου κατηγοριοποιούνται σε δύο ομάδες: στις εξισώσεις που ανανεώνονται με το χρόνο και στις εξισώσεις που ανανεώνονται με τις μετρήσεις. Μέσω των εξισώσεων που ανανεώνονται με το χρόνο επιτελείται η χρονική μετάβαση της τρέχουσας κατάστασης και η εκτίμηση της συμεταβλητότητας του σφάλματος με σκοπό να υπολογιστούν οι εκ των προτέρων εκτιμήσεις της κατάστασης για την επόμενη χρονική στιγμή. Οι εξισώσεις που ανανεώνονται με τις μετρήσεις είναι υπεύθυνες για την ανάδραση, για την ενσωμάτωση μίας νέας μέτρησης σε μία εκ των προτέρων εκτίμηση με σκοπό να προκύψει μία βελτιωμένη εκ των υστέρων εκτίμηση της κατάστασης. Οι εξισώσεις ανανέωσης χρόνου μπορούν επίσης να θεωρηθούν εξισώσεις πρόβλεψης, ενώ οι εξισώσεις ανανέωσης μετρήσεων μπορούν να θεωρηθούν εξισώσεις διόρθωσης. Ο αλγόριθμος εκτίμησης της τελικής κατάστασης είναι όμοιος με έναν αλγόριθμο πρόβλεψης-διόρθωσης για την επίλυση αριθμητικών προβλημάτων.

Οι συγκεκριμένες εξισώσεις που περιλαμβάνουν την ανανέωση του χρόνου και των μετρήσεων και που διαμορφώνουν το φίλτρο Kalman παρουσιάζονται παρακάτω.

Εξισώσεις ανανέωσης χρόνου φίλτρου Kalman

$$\hat{x}_k^- = A\hat{x}_{k-1} + Bu_{k-1} \quad (11)$$

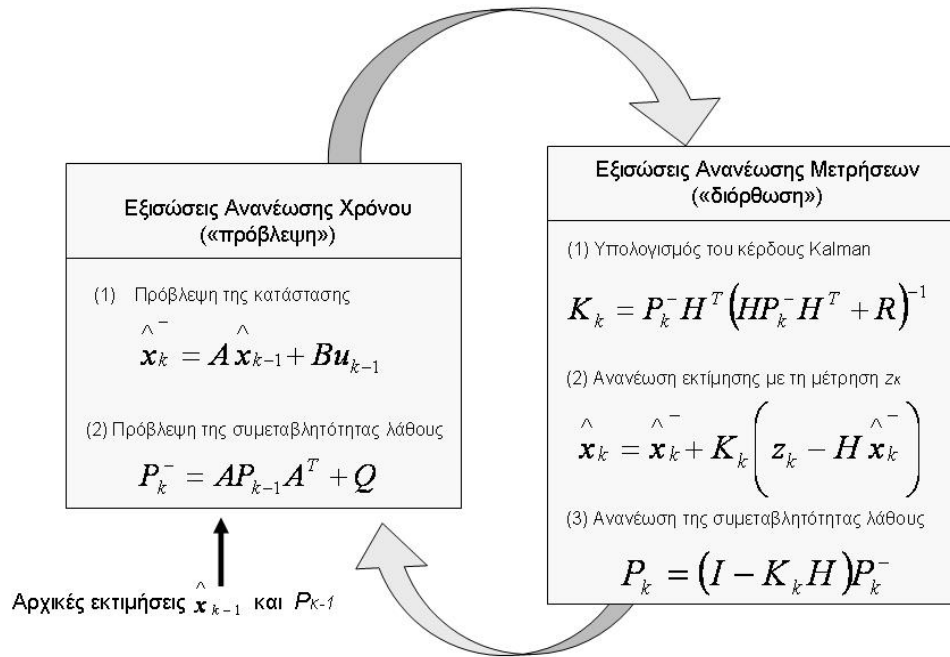
$$P_k^- = AP_{k-1}A^T + Q \quad (12)$$

Εξισώσεις ανανέωσης μετρήσεων φίλτρου Kalman

$$K_k = P_k^- H^T (HP_k^- H^T + R)^{-1} \quad (13)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k \left(z_k - H \hat{x}_k^- \right) \quad (14)$$

$$P_k = (I - K_k H) P_k^- \quad (15)$$



Σχήμα 59: Αναπαράσταση της λειτουργίας του φίλτρου Kalman

Το πρώτο βήμα κατά τη διάρκεια ανανέωσης των μετρήσεων είναι ο υπολογισμός του κέρδους Kalman, K_k . Το επόμενο βήμα είναι η απόκτηση της μέτρησης της κατάστασης της διαδικασίας z_k , και στη συνέχεια η δημιουργία μίας εκ των υστέρων εκτίμησης της κατάστασης λαμβάνοντας υπόψη τη μέτρηση, όπως στην εξίσωση (14). Οι εξισώσεις (13) και (14) είναι απλά οι εξισώσεις που προαναφέρθηκαν (10) και (9) αντίστοιχα, και παρατίθενται για λόγους πληρότητας. Το τελικό βήμα είναι η εκτίμηση της εκ των υστέρων συμεταβλητότητας του σφάλματος μέσω της εξίσωσης (15).

Μετά από την ανανέωση του χρόνου και της μέτρησης, η διαδικασία επαναλαμβάνεται με τις προηγούμενες εκ των υστέρων εκτιμήσεις να χρησιμοποιούνται για τη μετάβαση (πρόβλεψη) στις νέες εκ των προτέρων εκτιμήσεις κατάστασης. Αυτή η αναδρομική φύση του φίλτρου αποτελεί το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό του και το καθιστά κατάλληλο και εφαρμόσιμο για την υλοποίηση της μεθόδου STAMP.

10.2.3 Παράμετροι του Φίλτρου και Ρύθμιση

Σε μία πραγματική υλοποίηση, η συμεταβλητότητα του θορύβου των μετρήσεων R υπολογίζεται συνήθως πριν την εφαρμογή του φίλτρου. Ο υπολογισμός της συμεταβλητότητας του σφάλματος των μετρήσεων R είναι εφικτός δεδομένου ότι το σφάλμα εκτίμησης της θέσης που εισάγουν οι τεχνικές προσδιορισμού θέσης είναι γνωστό εκ των προτέρων και συνεπώς είναι δυνατό να συγκεντρωθούν μερικές μετρήσεις κατάστασης (εκτιμήσεις θέσης με τη χρήση των τεχνικών

προσδιορισμού θέσης πριν την εφαρμογή του φίλτρου) με σκοπό τον καθορισμό της μεταβλητότητας του θορύβου των μετρήσεων.

Ο υπολογισμός της συμμεταβλητότητας του θορύβου διαδικασίας Q είναι γενικά πιο δύσκολο να εκτιμηθεί καθώς τυπικά δεν υπάρχει η δυνατότητα απευθείας παρατήρησης της διαδικασίας (κίνηση του τερματικού). Μερικές φορές ένα σχετικά απλό μοντέλο διαδικασίας είναι σε θέση να παράγει αποδεκτά αποτελέσματα ακόμη και αν εισαχθεί αρκετή αβεβαιότητα στη διαδικασία μέσω του θορύβου Q . Βέβαια, σε αυτή την περίπτωση σημαντικό ρόλο παίζει και η αξιοπιστία των μετρήσεων της διαδικασίας.

Σε κάθε περίπτωση, ακόμα και αν υπάρχει μία συνιστώμενη βάση για την επιλογή των παραμέτρων Q και R , η απόδοση του φίλτρου μπορεί να αυξηθεί σημαντικά ρυθμίζοντας τις παραμέτρους αυτές με βάση μετρήσεις. Η ρύθμιση πραγματοποιείται συνήθως εκτός της διαδικασίας, και συχνά με τη βοήθεια ενός άλλου διακριτού φίλτρου Kalman μέσω μίας διαδικασίας που καλείται αναγνώριση συστήματος. Κάτω από συνθήκες στις οποίες οι παράμετροι Q και R είναι σταθεροί, η συμμεταβλητότητα της εκτίμησης σφάλματος P_k και το κέρδος Kalman K_k θα σταθεροποιηθούν γρήγορα και θα παραμείνουν σταθερά, όπως φαίνεται από τις εξισώσεις του φίλτρου. Σε αυτή την περίπτωση, αυτές οι παράμετροι μπορεί να προ-υπολογιστούν είτε εφαρμόζοντας ένα φίλτρο εκτός της διαδικασίας, είτε για παράδειγμα καθορίζοντας την τιμή σταθερής κατάστασης του P_k όπως περιγράφεται στην αναφορά [153].

Εν τούτοις, μερικές φορές το σφάλμα της μέτρησης δεν παραμένει σταθερό. Επιπλέον, ο θόρυβος διαδικασίας Q μερικές φορές αλλάζει δυναμικά κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του φίλτρου, μετατρέπεται δηλαδή σε Q_k , με σκοπό να προσαρμοστεί στη δυναμική του συστήματος. Σε αυτές τις περιπτώσεις το Q_k μπορεί να επιλεγεί ώστε να εκφράζει και την αβεβαιότητα για τη δυναμική της εκτιμώμενης διαδικασίας (π.χ. το τερματικό κινείται με μεταβλητή ταχύτητα) και την αβεβαιότητα του μοντέλου.

10.2.4 Εφαρμογή του Φίλτρου Kalman στη Μέθοδο STAMP

Στην περίπτωση της μεθόδου STAMP, η εφαρμογή του φίλτρου Kalman ακολουθεί την αρχική εκτίμηση θέσης του τερματικού με βάση τις τεχνικές προσδιορισμού θέσης. Μάλιστα, σαν είσοδο στο φίλτρο πρόκειται να χρησιμοποιηθεί μία λίστα από εκτιμώμενες θέσεις οι οποίες αντιστοιχούν σε παρελθοντικές θέσεις του τερματικού. Με βάση αυτή τη λίστα εκτιμώμενων θέσεων, το φίλτρο Kalman χρησιμοποιείται για την αύξηση της ακρίβειας στην εκτίμηση της τρέχουσας θέσης του τερματικού.

Ένα στοχαστικό μοντέλο χρησιμοποιείται για να περιγράψει την τυχαιότητα των μετρήσεων $Y(t_k) = (Y_1(t_k), Y_2(t_k))$ στη λίστα, που αντιστοιχούν στις εκτιμώμενες συντεταγμένες θέσης. Σε αυτή την περίπτωση το φίλτρο Kalman έχει την ακόλουθη μορφή:

$$X_k = \Phi \cdot X_{k-1} + \Gamma W_{k-1} \quad (16)$$

$$Y_k = M \cdot X_k + U_k \quad (17)$$

όπου το k αντιστοιχεί στη χρονική στιγμή t_k και

$$X_k = \begin{bmatrix} X_1(t_k) \\ X_2(t_k) \\ V_1(t_k) \\ V_2(t_k) \end{bmatrix}, Y_k = \begin{bmatrix} Y_1(t_k) \\ Y_2(t_k) \end{bmatrix}, \Phi = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$\Gamma = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \Delta t & 0 \\ 0 & \Delta t \end{bmatrix}, M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Οι μεταβλητές $X_1(t_k)$, $X_2(t_k)$ αναπαριστούν τις συντεταγμένες (x,y) της τυχαίας θέσης του τερματικού και οι $V_1(t_k)$, $V_2(t_k)$ τις συντεταγμένες (x,y) του διανύσματος ταχύτητας τη χρονική στιγμή t_k . Οι αρχικές εκτιμήσεις της θέσης στη λίστα αντιστοιχούν σε διακριτά χρονικά σημεία $t_k = t_0 + \Delta t \cdot k$.

Το W_k είναι το διάνυσμα σφάλματος και ακολουθεί κανονική κατανομή (Gaussian) με μηδενική μέση τιμή και πίνακα συμμεταβλητότητας:

$$Q = \begin{bmatrix} \sigma_Q^2 & 0 \\ 0 & \sigma_Q^2 \end{bmatrix}.$$

Η εξήγηση της εξίσωσης (34) έχει ως εξής. Αν το τερματικό βρίσκεται στη θέση $X_k = \begin{bmatrix} X_1(t_k) \\ X_2(t_k) \end{bmatrix}$,

με διάνυσμα ταχύτητας $V_k = \begin{bmatrix} V_1(t_k) \\ V_2(t_k) \end{bmatrix}$ τη χρονική στιγμή t_k , τότε μετά από χρόνο Δt έχει

μετακινηθεί στη θέση $X_{k+1} = \begin{bmatrix} X_1(t_k) \\ X_2(t_k) \end{bmatrix} + \Delta t \cdot \begin{bmatrix} V_1(t_k) \\ V_2(t_k) \end{bmatrix}$.

Τα στοιχεία της πραγματικής ταχύτητας έχουν τώρα αλλάξει κατά ένα τυχαίο ποσό $\Delta t \cdot \begin{bmatrix} W_1(t_k) \\ W_2(t_k) \end{bmatrix}$.

Αυτό επιτρέπει να εκτιμηθεί η μεταβλητή σ_Q^2 από την τυχαία επιτάχυνση με βάση τη προσέγγιση της αναφοράς [154]. Εναλλακτικά, η μεταβλητή σ_Q^2 μπορεί να υπολογιστεί με βάση τη γενικότερη εκτίμηση της κινητικότητας (κατάστασης) στην περιοχή που βρίσκεται το τερματικό.

Το διάνυσμα $X(t_k)$ δεν είναι δυνατό να παρατηρηθεί απευθείας εξαιτίας των τυχαίων μεταβολών στη διάδοση του σήματος (φαινόμενα σκίασης και πολυδιαδρομικής διάδοσης). Για να ληφθούν αυτά τα φαινόμενα υπόψη, οι εκτιμώμενες θέσεις (μετρήσεις για το φίλτρο) $Y(t_k)$ μοντελοποιούνται από ένα προσθετικό τυχαίο σφάλμα όπως στην εξίσωση (17).

Το διάνυσμα U_k ακολουθεί την κανονική κατανομή με μηδενική μέση τιμή και πίνακα συμμεταβλητότητας $R = \begin{bmatrix} \sigma_R^2 & 0 \\ 0 & \sigma_R^2 \end{bmatrix}$. Η μεταβλητή σ_R^2 μπορεί να εκτιμηθεί από μετρήσεις πεδίου πριν την εφαρμογή του φίλτρου.

Ο αναδρομικός αλγόριθμος ο οποίος οδηγεί σε μία τελική εκτίμηση της θέσης (με αυξημένη ακρίβεια) παρουσιάζεται παρακάτω. Ο δείκτης k παραλείπεται για λόγους απλότητας. Το P είναι η συμμεταβλητότητα του σφάλματος και οι ανανεωμένες (νέες) τιμές συμβολίζονται με το σύμβολο $^+$. Οι αρχικές τιμές για τα X και P λαμβάνονται από την αναφορά [154].

$$\bar{P} = \Phi P \Phi^T + \Gamma Q \Gamma^T$$

$$K = \bar{P} M^T \left(M \bar{P} M^T + R \right)^{-1}$$

$$P^+ = \bar{P} - K M \bar{P}$$

$$X^+ = \Phi X + K (Y - M \Phi X)$$

$$X = X^+$$

$$P = P^+$$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΤΕΥΧΘΕΙΣΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑ

Ακρίβεια Προσδιορισμού Θέσης σε Εξωτερικούς Χώρους

| Αναφορά | Τεχνική | Τεχνολογία δικτύου | Δοκιμές-Περιοχή | Ακρίβεια |
|-----------------------------|--|--------------------|---|--|
| Trevisani et al, 2004 [36] | Cell ID | GSM, CDPD | NY/ΗΠΑ 2075, 2114 θέσεις σε αστική και ημιαστική περιοχή αντίστοιχα. Ρώμη/Ιταλία 2237, 665 θέσεις σε αστική και ημιαστική περιοχή αντίστοιχα | Νέα Υόρκη: 490m, 790m, (αστική, ημιαστική) Ρώμη: 480m, 820m, (αστική, ημιαστική) |
| Pettersen et al, 2002 [155] | Cell ID + TA | GSM | Εξωτερικοί χώροι σε αστική, ημιαστική και αγροτική περιοχή. Σύνολο μετρήσεων 5.000-10.000, 30 διαφορετικές κυψέλες | Αστική: 450m/50 %; Ημιαστική: 670m/50%; Αγροτική: 2.625m/50%; |
| Murray et al, 2002 [156] | Cell ID, Cell ID + TA, Cell ID + TA + RXLEV | GSM | Ταλίν/Εσθονία Αστική και ημιαστική περιοχή | 67% Cell ID: Αστική: 320m Ημιαστική: 640m Cell ID+TA: Αστική: 290m Ημιαστική: 400m Cell ID + TA + RXLEV: |

| | | | | |
|-----------------------------|--|------|--|---|
| | | | | Αστική: 200m Ημιαστική: 430m |
| Lin et al, 2005 [140] | Cell ID, Διαφορά απωλειών διάδοσης μεταξύ διαφορετικών ΣΒ (centroid) | GSM | Ταίρει, Έκταση διεξαγωγής πειραμάτων 2.1km × 1.6km, Σύνολο μετρήσεων 2254 | Cell ID: 197m/67%, 353m/95% Centroid: 140m/67%, 251m/95% |
| Cheng et al, 2005 [4] | centroid (basic, weighted), μέθοδος αποτυπωμάτων | WLAN | Σιάτλ/ΗΠΑ, Πυκνότητα σημείων πρόσβασης ανά km ² : 1030,1000, 130 | 13-60m |
| Kunczier et al, 2004 [158] | Μέθοδος αποτυπωμάτων (Bayesian) | GSM | Βιέννη/Αυστρία, Βάση δεδομένων με 282 αποτυπώματα, απόσταση αποτυπωμάτων 5m | 20m/67%, 50m/90% |
| Laitinen et al, 2001 [42] | Μέθοδος αποτυπωμάτων (RXLEV) | GSM | Δοκιμές σε τρεις διαφορετικές αστικές περιοχές και μία ημιαστική περιοχή. Αριθμός αποτυπωμάτων ίσος με 389, 3604, 1240, 766 αντίστοιχα. | Αστική: 44m/67%, 90m/90 % Ημιαστική: 74m/67%, 190m/90% |
| Zimmermann et al, 2004 [43] | Μέθοδος αποτυπωμάτων (μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων) | GSM | Στουτγκάρδη/Γερμανία Αστική περιοχή: Έκταση διεξαγωγής πειραμάτων 10km ² , 109 κυψέλες. Ημιαστική περιοχή: Έκταση διεξαγωγής πειραμάτων 50km ² , 43 κυψέλες. | Αστική: 98m/67%, 282m/95%; Ημιαστική: 602m/67%, 1023m/95 % |
| Wertz et al, 2002 [46] | Μέθοδος αποτυπωμάτων (δημιουργία | GSM | Στουτγκάρδη/Γερμανία -Αστική περιοχή | Hata-Okumura: 115m/67%, |

| | | | | |
|-----------------------------|---|--------------|---|--|
| | αποτυπωμάτων με χρήση των μοντέλων διάδοσης: Hata, COST 231, Ray Tracing) | | Έκταση διεξαγωγής πειραμάτων 6km ² | 530m/95 %; COST 231: 65m/67%, 150m/95 %; Ray Tracing: 65m/67%, 250m/95 % |
| Borkowski et al, 2005 [45] | Μέθοδος αποτυπωμάτων | UMTS | Περιοχή Τάμπερε -Αστική Έκταση 2 km ² | 90m/67%, 180m/90 % |
| Kemppi et al, 2006 [47] | Μέθοδος αποτυπωμάτων (RXLEV, RSCP, AP SS), Kalman filtering) | GSM, UMTS | Ελσίνκι/Φινλανδία - Αστική περιοχή Ημιαστική περιοχή Έσποου (Φιλανδία) | GSM+UMTS: Αστική: 60m /67%, 162m/95% Ημιαστική: 65m/67%, 196m/95% |
| Komar et al, 2004 [69] | Μέθοδος αποτυπωμάτων | WLAN | 60 τοποθεσίες, 10 δείγματα ανά τοποθεσία, Απόσταση αποτυπωμάτων 2m, συνολική έκταση πειραμάτων 240m ² | Μέση ακρίβεια 6,537m |
| Lattunen et al, 2006 [62] | Μέθοδος αποτυπωμάτων (RXLEV, AP SS) | GSM, WLAN | Ημιαστική περιοχή Οτανιέμι | GSM+WLAN: 37m/67%, 131m/95 %; 52m/67%, 234m/95%; |
| Borkowski et al, 2004 [111] | Cell ID + RTT | UMTS | Εξομοιώσεις | 16-440m |
| Porcino et al, 2001 [157] | OTDOA-IPDL | UMTS | Εξομοιώσεις σε αγροτικές, ημιαστικές και αστικές περιοχές | Αγροτική: 17m/67%, 27m/95%; |

| | | | | |
|----------------------------|-------------------------|----------|---|---|
| | | | | Ημιαστική: 18m/67%, 36m/95 %; Αστική: 86m/67%, 193m/95 % |
| Ahonen et al, 2003 [44] | Μέθοδος αποτυπωμάτων | UMTS | Εξομοιώσεις Έκταση διεξαγωγής πειραμάτων 1km ² , σύνολο ΣΒ: 50 | 25m/67%, 140m/95 % |
| Rooney et al, 2000 [20] | TDOA | DAB, GSM | Εξομοιώσεις με το εργαλείο OPNET | DAB: 5-80m GSM αστική <120m, GSM αγροτική <1.100m |

Ακρίβεια Προσδιορισμού Θέσης σε Εσωτερικούς Χώρους

| Αναφορά | Τεχνική | Τεχνολογία δικτύου | Δοκιμές-Περιοχή | Ακρίβεια |
|------------------------------|---|--------------------|---|---|
| Kotanen et al, 2003 [159] | Λαμβανόμενη στάθμη ισχύος σήματος (μοντέλο ραδιοδιάδοσης) | WLAN | 32 διαφορετικές τοποθεσίες, 120 δείγματα ανά τοποθεσία Απόσταση δειγμάτων: 3m 4 WLAN APs | Μέση ακρίβεια 2,6m |
| Komar et al, 2004 [69] | Μέθοδος αποτυπωμάτων | WLAN | 30 διαφορετικές τοποθεσίες, 100 δείγματα ανά τοποθεσία Απόσταση δειγμάτων: 1,2m | Μέση ακρίβεια: 1 AP: 8,144m 2 APs: 4,767m, 3 APs: 2,244m |
| Youssef et al, 2003 [41] | Μέθοδος αποτυπωμάτων | WLAN | Έκταση διεξαγωγής πειραμάτων: 68m×26m, 110 διαφορετικές τοποθεσίες, | 2.13m/90% |

| | | | | |
|---------------------------|---|------------------|---|--|
| | | | Απόσταση δειγμάτων: 1,5m, 300 δείγματα ανά τοποθεσία 4 APs ανά τοποθεσία | |
| Elnahrawy et al, 2004 [8] | Λαμβανόμενη στάθμη ισχύος σήματος | WLAN | Πειράματα σε 2 κτίρια Έκταση διεξαγωγής πειραμάτων: 70×250m, 286 μετρήσεις, 253 διαφορετικές τοποθεσίες | 3m/50%, 9m/97% |
| Yamasaki et al, 2005 [10] | TDOA | WLAN | Έκταση διεξαγωγής πειραμάτων: 40×70m, 28 διαφορετικές τοποθεσίες Σύνολο APs: 11 | 2,4m/67% |
| Feldmann et al, 2003 [16] | Λαμβανόμενη στάθμη ισχύος σήματος (μοντέλο ραδιοδιάδοσης) | Bluetooth | Έκταση διεξαγωγής πειραμάτων: 46m ² Σύνολο APs: 3 | Μέση ακρίβεια 2,06m |
| Kotanen et al, 2003 [11] | Λαμβανόμενη στάθμη ισχύος σήματος (μοντέλο ραδιοδιάδοσης) φίλτρο Kalman | Bluetooth | Έκταση διεξαγωγής πειραμάτων: 8×12m, Σύνολο μετρήσεων: 50 | Μέση ακρίβεια 3,76m |
| Hähnel et al, 2003 [19] | Ετικέτες, Bayesian | RFID | Έκταση διεξαγωγής πειραμάτων: 784m ² Πορεία που διανύθηκε: 791m 100 ετικέτες | Μέση ακρίβεια 2,6m |
| Gwon et al, 2004 [60] | Τριγωνοποίηση Κ-κοντινοί γείτονες | WLAN & Bluetooth | Έκταση διεξαγωγής πειραμάτων: 40m×26m, 4 WLAN APs, 207 διαφορετικές τοποθεσίες, 40 δείγματα ανά τοποθεσία, 3 Bluetooth APs 71 διαφορετικές τοποθεσίες, | 1,5-9m Ανάλογα με την κινητικότητα του τερματικού |

| | | | | |
|-------------------------|-----------------------------|------------------------------|---|---|
| | | | 25 δείγματα ανά τοποθεσία | |
| Pandya et al, 2003 [61] | Τριγωνοποίηση | WLAN & Bluetooth | Έκταση διεξαγωγής πειραμάτων: 32m× 26m, 49 διαφορετικές τοποθεσίες, 50 δείγματα ανά τοποθεσία 3 WLAN APs, 3 Bluetooth APs | 2-18m |
| Hii et al, 2005 [23] | Μέθοδος αποτυπωμάτων & TDOA | WLAN & ακουστικές συχνότητες | Εσωτερικός χώρος | Μέση ακρίβεια Ακουστικές Συχνότητες: 1,23m. WLAN Ekahau: 2,88m |
| Otsason et al, 2005 [2] | Μέθοδος αποτυπωμάτων | GSM, WLAN | Τοποθεσία διεξαγωγής πειραμάτων: 2 κτίρια και ένα σπίτι Απόσταση μεταξύ των μετρήσεων: 1-1,5m, 2 αποτυπώματα ανά θέση Σύνολο αποτυπωμάτων: 284, 234, 111 αντίστοιχα στις τρεις τοποθεσίες | WLAN(50, 90%): 4.40m, 10.27m; 2.49m, 4.94m; 3.11m, 5.80m; GSM (50, 90%): 4.98m, 18.74m; 4.41m, 9.43m; 3.66m, 7.02m |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΡΑΔΙΟΔΙΑΔΟΣΗΣ

Η τεχνική CGI++, που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια εκπόνησης των πειραμάτων, απαιτεί τη χρήση κάποιου μοντέλου ραδιοκάλυψης το οποίο ουσιαστικά μετατρέπει την πληροφορία της λαμβανόμενης στάθμης ισχύος σήματος σε απόσταση μεταξύ του τερματικού και των ΣΒ. Για τη βελτιστοποίηση της επίδοσης της μεθόδου STAMP χρησιμοποιήθηκε ένα (βελτιστοποιημένο) μοντέλο το οποίο είχε ρυθμιστεί εκ των προτέρων με τη χρήση πραγματικών μετρήσεων για την περιοχή που πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές. Η ρύθμιση είχε ως στόχο την προσαρμογή του μοντέλου ώστε να περιγράφει όσο το δυνατόν ακριβέστερα τη διάδοση των ραδιοσημάτων του δικτύου στο τοπικό περιβάλλον.

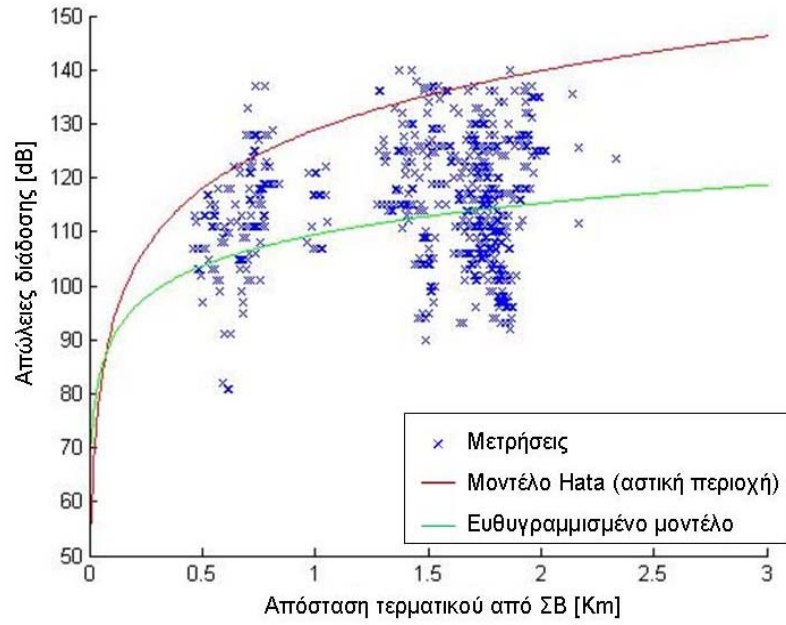
Η φόρμουλα που χρησιμοποιήθηκε για την προσαρμογή του μοντέλου είναι η εξής:

$$PL[db] = c_0 + c_1 \log f_{MHz} + c_2 \log h_{BTS} + c_3 (\log 11.75 h_{MS})^2 + (c_4 + c_5 \log h_{BTS}) \cdot \log d_{km}$$

Οι συντελεστές c_0 , c_1 , c_2 , c_3 , c_4 και c_5 εκτιμήθηκαν αξιοποιώντας τις μετρήσεις που συλλέχθηκαν για ένα σύνολο σημείων της περιοχής. Οι μετρήσεις περιλάμβαναν την πραγματική θέση του τερματικού και τη λαμβανόμενη ισχύ. Συγχρόνως αξιοποιήθηκαν και τα γνωστά δεδομένα σχετικά με την τοπολογία του δικτύου όπως το ύψος των ΣΒ, η συχνότητα εκπομπής των ΣΒ και η ισχύς εκπομπής των ΣΒ. Το ύψος στο οποίο βρίσκεται το τερματικό θεωρήθηκε σταθερό και ίσο με 1,5m. Ουσιαστικά, με βάση τα δεδομένα αυτά, διαμορφώθηκε ένα σύστημα n γραμμικών εξισώσεων (ίσες με τον αριθμό των μετρήσεων) με άγνωστες μεταβλητές τους συντελεστές του μοντέλου. Κατόπιν, η διαδικασία προσαρμογής των συντελεστών αυτών βασίστηκε στη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Οπότε, επιλέχθηκαν οι συντελεστές αυτοί για τους οποίους ελαχιστοποιείται το μέσο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της εκτιμώμενης απόστασης (που προκύπτει από το μοντέλο) και της πραγματικής (όπως μετρήθηκε).

Το σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζει τις απώλειες διάδοσης που προκύπτουν σε συνάρτηση με την απόσταση τερματικού-ΣΒ όπως αναμένονται από το μοντέλο διάδοσης Hata καθώς και από το ρυθμισμένο μοντέλο το οποίο υπολογίστηκε με βάση τις μετρήσεις.

Όπως προκύπτει η τυπική απόκλιση των εκτιμήσεων του μοντέλου Hata για τις απώλειες διάδοσης από τις πραγματικές μετρήσεις είναι ίση με 22,15dB, ενώ για το ρυθμισμένο μοντέλο είναι ίση με 11,73dB.



Σχήμα 60: Βελτιστοποιημένο μοντέλο ραδιοδιάδοσης

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

| Ακρωνόμιο | Ξένο Όρος |
|--------------|---|
| 16QAM | 16 Quadrature Amplitude Modulation |
| 2G | Second Generation (network) |
| 3G | Third Generation (network) |
| 3GPP | 3rd Generation Partnership Project |
| 8PSK | 8 Phase Shift Keying |
| AAA | Authentication, Authorization and Accounting |
| A-GPS | Assisted GPS |
| AN | Access Network |
| ANSI | American National Standards Institute |
| AoA | Angle of Arrival |
| AP | Access Point |
| API | Application Interface |
| APN | Access Point Name |
| ARFCN | Absolute Radio Frequency Channel Number |
| AS | Application Server |
| ASP | Application Service Provider |
| BCCH | Broadcast Control CHannel |
| BSIC | Base Station Identification Code |
| BSS | Base Station Subsystem |
| BTS | Base Transceiver Station |
| CDF | Cumulative Distribution Function |
| CDMA | Code Division Multiple Access |
| CGI | Cell Global Identity |
| CID | Cell IDentity |
| CPCSS | Common Pilot Channel Signal Strength |
| CPICH | Common PIlot CHannel |

| | |
|----------------|--|
| CS | Circuit Switched |
| DBCM | Data Base Correlation Method |
| DCM | Database Correlation Method |
| DGPS | Differential GPS |
| DM | Device Management |
| DVB-H | Digital Video Broadcasting – Handheld |
| EDGE | Enhanced Data rates for GSM Evolution |
| EGNOS | European Geostationary Navigation Overlay Service |
| EIRP | Effectuated Isotropic Radiated Power |
| E-OTD | Enhanced Observed Time Difference |
| ESA | European Space Agency |
| ETSI | European Telecommunications Standards Institute |
| GAN | Generic Access Network |
| GIS | Geographic Information System |
| GLONASS | Global Navigation Satellite System |
| GMLC | Gateway Mobile Location Centre |
| GPRS | General Packet Radio Access |
| GPS | Global Positioning System |
| GSM | Global System for Mobile communication |
| HLR | Home Location Register |
| HLR | Home Location Register |
| HSDPA | High Speed Downlink Packet Access |
| HSS | Home Subscriber Server |
| HTTP | Hyper Text Transfer Protocol |
| HW | Hardware |
| IANA | Internet Assigned Numbers Authority |
| IMLT | Idle Mode Location Technique |
| IMS | IP Multimedia Subsystem |
| IMSI | International Mobile Subscriber Identity |
| IP | Internet Protocol |

| | |
|---------------|--|
| KPI | Key Performance Indicator |
| LAC | Location Area Code |
| LBS | Location Based Services |
| LCS | LoCation Services |
| LLC | Logical Link Control |
| LMU | Location Measurement Unit |
| MA | Monitoring Agent |
| MAC | Medium Access Control |
| MCC | Mobile Country Code |
| ME | Mobile Equipment |
| MLE | Maximum Likelihood Estimation |
| MLP | Mobile Location Protocol |
| MLS | Mobile Location Services |
| MNC | Mobile Network Code |
| MNO | Mobile Network Operator |
| MS | Mobile Station |
| MSC | Mobile Switching Centre |
| MSE | Mean Square Error |
| MSISDN | Mobile Station International ISDN Number |
| MVNO | Mobile Virtual Network Operator |
| NMEA | National Maritime Electronics Association |
| NMR | Network Measurement Report |
| NMS | Network Management System |
| OH | OverHead |
| OMA | Open Mobile Alliance |
| OS | Operating System |
| OTA | Over The Air |
| OTDOA | Observed Time Difference Of Arrival |
| PCP | Privacy Checking Protocol |
| PDP | Packet Data Protocol |

| | |
|--------------|---|
| PLMN | Public Land Mobile Network |
| PPR | Privacy Profile Register |
| PS | Packet Switched |
| QoP | Quality of Position |
| QoS | Quality of Service |
| RFC | Request For Comments |
| RLC | Radio Link Control |
| RLP | Roaming Location Protocol |
| RMS | Root Mean Square |
| RSCP | Received Signal Code Power |
| RSS | Received Signal Strength |
| RSSI | Received Signal Strength Indicator |
| RTT | Round Trip Time |
| Rx | Receiver |
| SAT | SIM Application Toolkit |
| SET | SUPL Enabled Terminal |
| SGML | Standard Generalized Markup Language |
| SGSN | Serving GPRS Support Node |
| SIM | Subscriber Identity Module |
| SINR | Signal to Interference and Noise Ratio |
| SIP | Session Initiation Protocol |
| SLP | SUPL Location Platform |
| SMS | Short Messaging Service |
| SNDCP | Subnetwork Dependent Convergence Protocol |
| SOAP | Simple Object Access Protocol |
| STAMP | Statistical Terminal Assisted Mobile Positioning |
| SUPL | Secure User Plane Location Protocol |
| SW | Software |
| TA | Timing Advance |
| TCP | Transport Control Protocol |

| | |
|---------------|---|
| ToA | Time of Arrival |
| TRX | Transceiver |
| UE | User Equipment |
| UL | Up Link |
| ULP | User Plane Location Protocol |
| ULP | User Plane Location Protocol |
| UL-TOA | Up Link Time Of Arrival |
| UMTS | Universal Mobile Telecommunications System |
| UPL | User Plane Location Protocol |
| USIM | Universal Subscriber Identity Module |
| UTAP | Ubiquitous Terminal Assisted Positioning |
| WCDMA | Wideband CDMA |
| WLAN | Wireless Local Area Network |
| XHTML | eXtensible HyperText Markup Language |
| XML | eXtensible Markup Language |
| ΣΒ | Σταθμός Βάσης |
| ΥΘ | Υπηρεσίες Θέσης |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

Δημοσιεύσεις σε Διεθνή Περιοδικά

- I. J.G. Markoulidakis, C. Dessiniotis, “Statistical Terminal Assisted Mobile Positioning Technique”, IET Communications Journal, ISSN: 1751-8628, June 2007, Volume 1, Issue 3, p. 325-332.
- II. C. Desiniotis, K. Kypris, C. Antoniou, “Network Functionality for Supporting Adaptive Applications over Varying Radio Conditions”, Kluwer Academic Publishers, Wireless Personal Communications: An International Journal, Volume 42 , Issue 3 Pages: 355 – 366, ISSN: 0929-6212.
- III. J.G. Markoulidakis, C. Desiniotis, D. Nikolaidis, “Kalman Filtering Options for STAMP Terminal Positioning Error Minimization”, submitted for publication to Computer Communications journal, special issue on Advanced Location Based Services.
- IV. C. Laouidiadis, C. Panayiotou, C. Desiniotis, “STAMP: A Positioning Methodology and Architecture” submitted for publication to Computer Communications journal, special issue on Advanced Location Based Services.

Δημοσιεύσεις σε Επιστημονικά Συνέδρια

- V. J.G. Markoulidakis, C. Desiniotis, D. Nikolaidis, “STAMP Accuracy Enhancement through Received Signal Strength Adaptive Kalman Filtering”, PIMRC 07, 18th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Sept. 2007, Athens, Greece.
- VI. J.G. Markoulidakis, C. Desiniotis, K. Kypris, “Statistical approach for improving the accuracy of the CGI++ mobile location technique”, 14th IST Mobile and Wireless Communications Summit, Dresden, 19-23 June 2005, Germany.
- VII. J.G. Markoulidakis, C. Dessiniotis, “Statistical Terminal Assisted Mobile Positioning in a Beyond 3G Environment”, 15th IST Mobile and Wireless Communications Summit, Myconos, 4-8 June 2006, Greece.
- VIII. C. Desiniotis, K. Kypris, Y. Markoulidakis, “Performance Evaluation of GPRS MCAST Multicast over GPRS Solution”, 14th IST Mobile and Wireless Communications Summit, Dresden, 19-23 June 2005, Germany.

- IX. C. Desiniotis, Y. Markoulidakis, D. Axiotis et. al., “MOTIVE: Mobile Terminal Information Value Added Functionality”, 15th IST Mobile and Wireless Communications Summit, Myconos, 4-8 June 2006, Greece.
- X. A. Clarkson, S. Velentzas, C. Dessiniotis, K. Kypris, “Hybridised Location Techniques for Increased Position Accuracy at the Lowest Cost”, Mobile Location Workshop 04, May 2004, Athens Greece.
- XI. Y. Markoulidakis, C. Desiniotis, K. Kypris, G. Kouvas et. al., “A Method to Capture the End User Experience in Location Based Services”, Mobile eConference 2004, 30 August 2004.
- XII. J. G. Markoulidakis, C. Desiniotis, M. Theologou, C. Eliopoulos, D. Liapis, “Anonymous Real-Time Mobile Community Services”, Wireless World Research Forum Meeting 17, 15-17 November 2006, Heidelberg, Germany.
- XIII. R. Lopez-Aladros, C. Kavadias, S. Tombros, C. Desiniotis et. al., “FlexiNET: Flexible Network Architecture for Enhanced Access Network Services and Applications”, 14th IST Mobile and Wireless Communications Summit, Dresden, 19-23 June 2005, Germany.
- XIV. M. Masikos, K. Demestichas, E. Adamopoulou, C. Desiniotis, “The MOTIVE concept: Enabling Mobile Terminals to Act as Sensors”, WINSYS 2006, International Conference on Wireless Information Networks and Systems, 7-10 August 2006, Portugal.
- XV. S. Thomopoulos, P. Philippopoulos, N. Argyreas, C. Desiniotis et. al., "LIAISON IP Location Based Services: Taxi on Demand". 15th IST Mobile and Wireless Communications Summit, Myconos, 4-8 June 2006, Greece.
- XVI. J. G. Markoulidakis, C. Desiniotis, K. Kypris, “Statistical approach for improving the accuracy of the CGI++ mobile location technique”, Mobile Location Workshop 04, May 2004, Athens Greece.
- XVII. E. Burmakin, C. Desiniotis, K. Lambropoulou, I. Talvitie et. al., “Advanced Mobile Streaming: Multimedia Streaming of Interactive Content Across Mobile networks”, IASTED Conference on Software Engineering 2005, February 15-17, 2005 Innsbruck, Austria.
- XVIII. K. Kypris, C. Desiniotis, C. Antoniou, “Network Functionality for Supporting Adaptive Applications over Varying Radio Conditions”, Mobile eConference 2004, 30 August 2004.
- XIX. J. Soler, A. Diehl, C. Kavadias, C. Dessiniotis, S. Tombros, “A practical implementation of GUP architecture and its migration path to IMS”, 12th European Wireless Conference - Enabling Technologies for Wireless Multimedia Communications, April 2-5, 2006, Athens, Greece.

- XX. C. Laoudias, C. Panayiotou, J. G. Markoulidakis, C. Desiniotis, "Simulation Analysis on the Efficiency of STAMP Method", LIAISON-ISHTAR workshop, Athens, Greece, 28-29 September, 2006.
- XXI. C. Desiniotis, J. G. Markoulidakis, J-Fr Gaillet, "Mobile LBS Market", LIAISON-ISHTAR workshop, Athens, Greece, 28-29 September, 2006.
- XXII. E. Adamopoulou, C. Demestichas, C. Desiniotis, J. G. Markoulidakis, "Introducing Anonymoys Real-Time Mobile Community Services", 16th IST Mobile and Wireless Communications Summit, Budapest, 1-5 July 2007, Hungary.
- XXIII. D. I. Axiotis, C. Desiniotis, M. E. Theologou, "Cellular Network Performance Aspects of Monitoring End User Experience", 16th IST Mobile and Wireless Communications Summit, Budapest, 1-5 July 2007, Hungary.
- XXIV. J. G. Markoulidakis, C. Desiniotis, K. Demestichas, E. Adamopoulou, "Towards Ambient Community Services", 11th IEEE/ACM International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications, Chania, Greece, 2007.
- XXV. M. Masikos, C. Desiniotis, D. Axiotis, "Service Enablers in a B3G Environment", PIMRC 2007, 18th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Sept. 2007, Athens, Greece.