



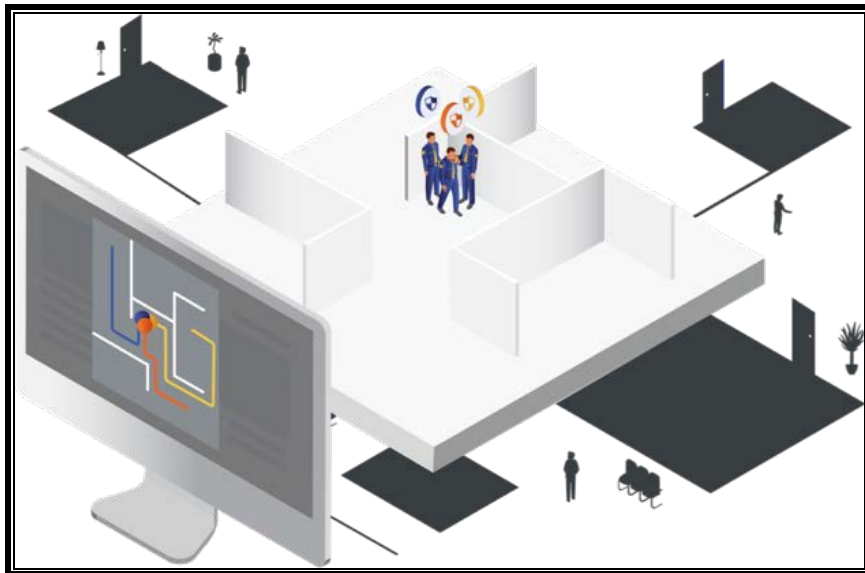
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Πτυχιακή Εργασία

**Συστήματα Εντοπισμού Θέσης σε Εσωτερικό Χώρο
με χρήση Wi-Fi RTT**



**Φοιτητής: Βλαχάκης Γεώργιος
ΑΜ: 40675**

Επιβλέπων Καθηγητής

**Δημήτριος Πυρομάλης
Αναπληρωτής Καθηγητής**

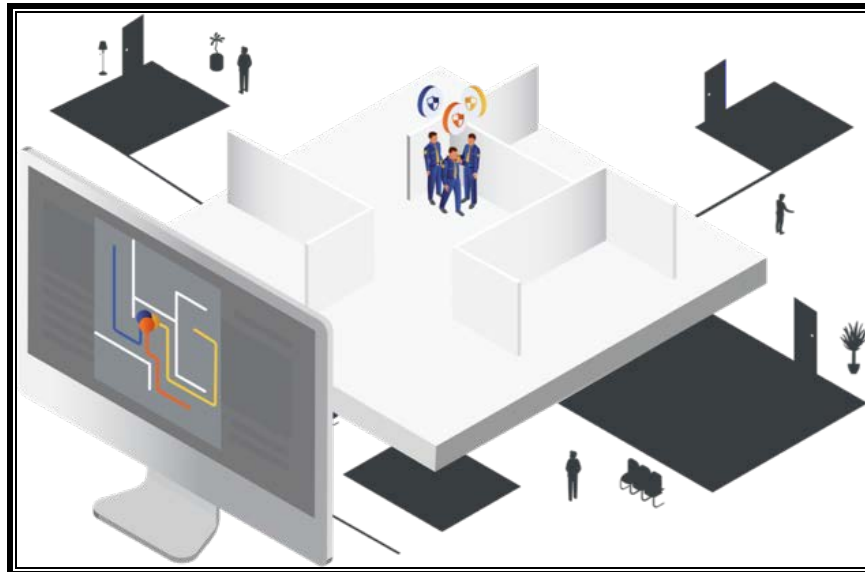
ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2024



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING

Thesis

Indoor Positioning Systems using Wi-Fi RTT



Student: Vlachakis Georgios
Registration Number: 40675

Supervisor

Dimitrios Piromalis
Associate Professor

ATHENS-EGALEO, FEBRUARY 2024

Η Πτυχιακή Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Δημήτριος Πυρομάλης, Αναπληρωτής Καθηγητής	Παναγιώτης Παπαγέωργας, Καθηγητής	Σταύρος Καμινάρης, Καθηγητής
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Γεώργιος Βλαχάκης,
Φεβρουάριος, 2024**

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 τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος
του....., με αριθμό μητρώου φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι και έπειτα από αίτησή μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντος καθηγητή.»

Ο Δηλών

Γεώργιος Βλαχάκης



Η προσπάθειά μου για την υλοποίηση της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας αφιερώνεται στην γυναίκα μου Μαριγώ, στην μητέρα μου Σπυριδούλα, στην θεία μου Κατερίνα, όπως επίσης στους καθηγητές μου Φάνη Κυπριώτη και Παναγιώτη Παπαγέωργα.

Περίληψη

Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία αποσκοπεί σε μία εκτενή παρουσίαση και εκτίμηση των συστημάτων εντοπισμού σε εσωτερικό χώρο (IPS) δίνοντας περισσότερη βαρύτητα στη μέθοδο του Wi-Fi RTT.

Θα αναφερθούμε σε τεχνικές και τεχνολογίες των συστημάτων εντοπισμού θέσης, όπως και σε μετρητικά στοιχεία ώστε να μπορέσουμε να τα αξιολογήσουμε με τα σωστά κριτήρια.

Επίσης, θα υλοποιήσουμε ένα πείραμα στο πρόγραμμα Matlab ώστε να δούμε τα αποτελέσματα που θα προκύψουν στον εντοπισμό θέσης με χρήση του Wi-Fi RTT και τη διαφορά ακρίβειας στο αποτέλεσμα με χρήση διαφορετικών SNR.

Επιπρόσθετα, θα παρουσιαστούν ολοκληρωμένα συστήματα εντοπισμού θέσης εσωτερικού χώρου (IPS), που βρίσκονται διαθέσιμα στο εμπόριο, τόσο στο κομμάτι του hardware όπως access points όσο και στο κομμάτι του software με εφαρμογές για ένα smartphone.

Τέλος, θα αναδείξουμε την χρήση του δικτύου 5G και την αναβάθμιση που μπορεί να προσφέρει στα συστήματα εντοπισμού θέσης.

Λέξεις – κλειδιά

Συστήματα Εντοπισμού Θέσης σε Εσωτερικό Χώρο, Wi-Fi RTT, Τεχνολογίες & Τεχνικές Εντοπισμού Θέσης, 5G και Συστήματα Εντοπισμού Θέσης.

Abstract

This thesis aims to provide an extensive presentation and evaluation of indoor positioning systems (IPS), with a particular focus on the Wi-Fi RTT method. We will discuss positioning system techniques and technologies, as well as measurement parameters, in order to evaluate them appropriately.

Additionally, we will conduct an experiment using Matlab to observe the results obtained from using Wi-Fi RTT and the difference in accuracy if the experiment is conducted with different SNRs.

Furthermore, we will showcase some integrated indoor positioning systems (IPS), both in terms of hardware, such as access points, and software such as applications for smartphones that are available on the market.

Lastly, we will highlight the use of 5G networks and the advancements they can bring to indoor positioning systems.

Keywords

Indoor Positioning Systems, Wi-Fi RTT, Technologies & Techniques of IPS, 5G & IPS.

Περιεχόμενα

Κατάλογος Εικόνων και Σχημάτων	10
Αλφαβητικό Ευρετήριο.....	13
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	15
Αντικείμενο της πτυχιακής εργασίας.....	16
Σκοπός και στόχοι	16
Μεθοδολογία.....	16
Καινοτομία.....	16
Δομή.....	16
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Τεχνικές Εντοπισμού Θέσης.....	18
1.1 Υπολογισμός εμβέλειας (Ranging).....	18
1.1.1 Received Signal Strength (RSS).....	18
1.1.2 Time of Arrival (TOA)	19
1.1.3 Time Difference of Arrival (TDOA).....	20
1.1.4 Phase of Arrival (PoA)	22
1.1.5 Angle of Arrival (AoA)	22
1.1.6 Round Trip Time (RTT)	24
1.2 Τριγωνισμός (Triangulation)	25
1.2.1 Χρήση Τριγωνισμού (triangulation)	255
1.2.2 Χρήση Τριπλευρισμού (trilateration)	266
1.3 Fingerprinting	277
1.4 Εγγύτητα.....	29
1.5 Συμπεράσματα 1 ^{ου} Κεφαλαίου.....	30
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Τεχνολογίες εντοπισμού θέσης.....	311
2.1 RFID	311
2.2 Κυψελοειδές Δίκτυο Επικοινωνίας (Cellular based)	322
2.3 Ασύρματα Δίκτυα WiFi.....	333
2.4 Bluetooth.....	344
2.5 Ultra Wide Band (UWB)	355
2.6 Υπέρηχος (Ultrasound).....	355
2.7 Οπτικά Συστήματα	366
2.8 Συμπεράσματα 2 ^{ου} Κεφαλαίου.....	37
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Μετρητικά Στοιχεία / Αξιολόγηση Συστημάτων IPS.....	38
3.1 Μέση ακρίβεια (accuracy)	38
3.2 Κατανομή ακρίβειας (precision).....	38
3.3 Πολυπλοκότητα (complexity)	39
3.4 Κλίμακά (scale)	40
3.5 Ευρωστία (robustness)	40
3.6 Κόστος (cost)	41
3.7 Περιορισμοί Συστημάτων Εντοπισμού Θέσης	41
3.8 Συμπεράσματα 3 ^{ου} Κεφαλαίου.....	42
4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : Μέθοδος Wi-Fi RTT	43
4.1 Χρήση Wi-Fi RTT	43
4.2 Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα Wi-Fi RTT.....	45
4.3 Συμπεράσματα 4 ^{ου} Κεφαλαίου.....	46

5	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : Πείραμα Matlab “802.11az Positioning Using Super-Resolution Time of Arrival Estimation”	47
5.1	Πρωτόκολλο 802.11	47
5.2	Αποστολή και λήψη πακέτων	48
5.3	Υπολογισμός Εμβέλειας (Distance Ranging)	49
5.4	Ορισμός Παραμέτρων	51
5.5	Μέτρηση Εμβέλειας (Ranging Measurement)	54
5.6	Τριγωνοποίηση (Trilateration).....	60
5.7	Συμπεράσματα 5 ^{ου} Κεφαλαίου.....	62
6	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : Ολοκληρωμένο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (διαθέσιμο στο εμπόριο) - Aruba meridian	63
6.1	Aruba Meridian	63
6.2	Εξοπλισμός (Hardware) και Λογισμικό (Software) Aruba Meridian.....	66
6.2.1	Aruba Beacons (BLE- enabled Access Points)	66
6.2.2	Aruba Access Points (Wi-Fi and BLE).....	66
6.2.3	Κινητές (smart) συσκευές	67
6.2.4	Server Infrastructure (Υποδομή διακομιστή).....	68
6.3	Aruba Meridian Editor	69
6.4	Συμπεράσματα 6 ^{ου} Κεφαλαίου.....	70
7	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο : 5G σε Συστήματα Εντοπισμού Θέσης	71
7.1	Χαρακτηριστικά 5G	71
7.2	Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα του 5G στα IPS	73
7.3	Συμπεράσματα 7 ^{ου} Κεφαλαίου.....	74
8	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	75
9	Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές	76

Κατάλογος Εικόνων και Σχημάτων

Εικόνα Εξώφυλλου: <https://www.orient.me/contact-tracing-inside-buildings-via-smartphones>

Σχήμα 1.1 Εύρεση περιοχής που βρίσκεται ο δέκτης με χρήση ToA (Μεταπτυχιακή Διατριβή – “Συστήματα προσδιορισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους”, Απόστολος Πασσιάς, Πανεπιστήμιο Πειραιά, Τμήμα Πληροφορικής, 2015)[17]

Σχήμα 1.2 Δύο ταυτόχρονα εκπεμπόμενα σήματα φθάνουν με διαφορά χρόνου (Μεταπτυχιακή Διατριβή – “Συστήματα προσδιορισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους”, Απόστολος Πασσιάς, Πανεπιστήμιο Πειραιά, Τμήμα Πληροφορικής, 2015)[18]

Σχήμα 1.3 Γραφική παράσταση υπερβολής (Μεταπτυχιακή Διατριβή – “Συστήματα προσδιορισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους”, Απόστολος Πασσιάς, Πανεπιστήμιο Πειραιά, Τμήμα Πληροφορικής, 2015)[19]

Σχήμα 1.4 Μέθοδος AoA για δυο σταθμούς βάσης (Master Thesis “Global Positioning in harsh environments” Romirer – Maierhofer, Halmstad University 2005).....[21]

Σχήμα 1.5 Μέτρηση απόστασης Roundtrip Time - RTT (Μεταπτυχιακή Διατριβή – “Συστήματα προσδιορισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους”, Απόστολος Πασσιάς, Πανεπιστήμιο Πειραιά, Τμήμα Πληροφορικής, 2015)[22]

Σχήμα 1.6 Τριγωνισμός (Μεταπτυχιακή Διατριβή – “Συστήματα προσδιορισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους”, Απόστολος Πασσιάς, Πανεπιστήμιο Πειραιά, Τμήμα Πληροφορικής, 2015)[23]

Σχήμα 1.7 Τριπλευρισμός (Μεταπτυχιακή Διατριβή – “Συστήματα προσδιορισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους”, Απόστολος Πασσιάς, Πανεπιστήμιο Πειραιά, Τμήμα Πληροφορικής, 2015)[24]

Σχήμα 1.8 Μπλοκ διάγραμμα του αλγορίθμου εντοπισμού θέσης fingerprinting (Μεταπτυχιακή Διατριβή – “Συστήματα προσδιορισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους”, Απόστολος Πασσιάς, Πανεπιστήμιο Πειραιά, Τμήμα Πληροφορικής, 2015)[25]

Σχήμα 1.9 Οι δύο φάσεις του fingerprinting: online και offline (Μεταπτυχιακή Διατριβή – “Συστήματα προσδιορισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους”, Απόστολος Πασσιάς, Πανεπιστήμιο Πειραιά, Τμήμα Πληροφορικής, 2015)[26]

Εικόνα 1.10 Δίκτυο τηλεφωνίας, Τεχνική Εγγύτητας (Μεταπτυχιακή Εργασία , “Πειραματική αξιολόγηση GNSS RTK και Wi-Fi RTT εντοπισμού με χρήση έξυπνων κινητών τηλεφώνων”, Π. Σωτηρίου, 2019)[26]

Σχήμα 1.11 Ζώνη Εγγύτητας (Survey and Comparative Study “Wireless Indoor Localization Systems and Techniques”, Ahmed Azeez Khudhair, Saba Qasim Jabbar, Mohammed Qasim Sulttan, Desheng Wang, Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 2016)[27]

Συστήματα Εντοπισμού Θέσης σε Εσωτερικό Χώρο με χρήση Wi-Fi RTT

Σχήμα 2.1 Λειτουργία RFID (Μεταπτυχιακή Εργασία `` Μελέτη Συστημάτων Εντοπισμού Θέσης Εσωτερικών και Εξωτερικών Χώρων για Εφαρμογές Κινητού Υπολογισμού `` Λιβάνιος Λουκάς, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών & Επικοινωνιακών Συστημάτων, 2018)[28]

Εικόνα 2.2 Κυψελοειδές Δίκτυο (Cellular based) (Μεταπτυχιακή Εργασία Π. Σωτηρίου, “Πειραματική αξιολόγηση GNSS RTK και Wi-Fi RTT εντοπισμού με χρήση έξυπνων κινητών τηλεφώνων”, 2019)[29]

Σχήμα 2.3 Αρχιτεκτονική Wi-Fi (Μεταπτυχιακή Εργασία `` Μελέτη Συστημάτων Εντοπισμού Θέσης Εσωτερικών και Εξωτερικών Χώρων για Εφαρμογές Κινητού Υπολογισμού `` Λιβάνιος Λουκάς, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών & Επικοινωνιακών Συστημάτων, 2018)[30]

Εικόνα 2.4 Direction finding with multiple anchors , <https://www.u-blox.com/en/technologies/bluetooth-indoor-positioning>.....[31]

Σχήμα 2.5 Ultra Wide Band, Thesis Indoor Localization System Using Ultra Wide Band Device , Zwe Yint Aung , Asian Institute of Technology, 2018.....[32]

Σχήμα 2.6 Ultrasound, Indoor positioning for moving objects using a hardware device with spread spectrum ultrasonic waves, Y. Itagaki, Akimasa Suzuki, T. Iyota , International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, 2012.....[33]

Σχήμα 3.1 Μέση ακρίβεια και κατανομή ακρίβειας (Μεταπτυχιακή Εργασία `` Μελέτη Συστημάτων Εντοπισμού Θέσης Εσωτερικών και Εξωτερικών Χώρων για Εφαρμογές Κινητού Υπολογισμού `` Λιβάνιος Λουκάς, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών & Επικοινωνιακών Συστημάτων, 2018)[36]

Σχήμα 4.1 Βασική αρχή λειτουργίας, F. van Diggelen, R. Want, W. Wang, “How to achieve 1-meter accuracy in Android”, GPS World, 2018.....[40]

Σχήμα 4.2 Η διάρκεια διάδοσης σήματος (RTT) στην πράξη, F. van Diggelen, R. Want, W. Wang, “How to achieve 1-meter accuracy in Android”, GPS World, 2018.....[42]

Σχήμα 5.1 Παράδειγμα εκτίμησης θέσης με χρήση τριών Aps www.mathworks.com/help/wlan/ug/802-11az-indoor-positioning-using-super-resolution-time-of-arrival-estimation.html.....[44]

Σχήμα 5.2 Επεξεργασία (Processing) για κάθε σύνδεση STA-AP, www.mathworks.com/help/wlan/ug/802-11az-indoor-positioning-using-super-resolution-time-of-arrival-estimation.html.....[45]

Σχήμα 5.3 Μέτρηση φάσης μεταξύ ενός STA και ενός AP , www.mathworks.com/help/wlan/ug/802-11az-indoor-positioning-using-super-resolution-time-of-arrival-estimation.html.....[46]

Σχήμα 5.4 Αλγόριθμος MUSIC , www.mathworks.com/help/wlan/ug/802-11az-indoor-positioning-using-super-resolution-time-of-arrival-estimation.html.....[47]

Εικόνα 5.5 Προφίλ Delay, www.mathworks.com/help/wlan/ug/802-11az-indoor-positioning-using-super-resolution-time-of-arrival-estimation.html.....[48]

Εικόνα 5.6 Σφάλμα εμβέλειας CDF , www.mathworks.com/help/wlan/ug/802-11az-indoor-positioning-using-super-resolution-time-of-arrival-estimation.html.....[57]

Εικόνα 5.7 Σφάλμα θέσης CDF , www.mathworks.com/help/wlan/ug/802-11az-indoor-positioning-using-super-resolution-time-of-arrival-estimation.html.....[58]

Εικόνα 5.8 Θέσεις Node, www.mathworks.com/help/wlan/ug/802-11az-indoor-positioning-using-super-resolution-time-of-arrival-estimation.html.....[59]

Εικόνα 6.1 Blue dot wayfinding, https://www.arubanetworks.com/assets/ds/DS_MeridianPlatform.pdf[61]

Εικόνα 6.2 Asset Tracking, https://www.arubanetworks.com/assets/ds/DS_MeridianPlatform.pdf.....[62]

Εικόνα 6.3 Proximity triggers, https://www.arubanetworks.com/assets/ds/DS_MeridianPlatform.pdf.....[62]

Εικόνα 7.1 Κεραίες 4G, «The impact of 5G on location technology: what’s real and what’s hype?», Eva Cheng, 2023 (<https://www.pointr.tech/blog/5g-indoor-positioning>)[69]

Εικόνα 7.2 Κεραίες 5G, «The impact of 5G on location technology: what’s real and what’s hype?», Eva Cheng, 2023 (<https://www.pointr.tech/blog/5g-indoor-positioning>)[70]

Εικόνα 7.3 Εύρος ζώνης mmWave, «The impact of 5G on location technology: what’s real and what’s hype?», Eva Cheng, 2023 (<https://www.pointr.tech/blog/5g-indoor-positioning>)[70]

Εικόνα 7.4 Κατάλληλη συχνότητα ανάλογα με το κάθε περιβάλλον, «The impact of 5G on location technology: what’s real and what’s hype?», Eva Cheng, 2023 (<https://www.pointr.tech/blog/5g-indoor-positioning>)[71]

Εικόνα 6.4 Aruba beacons , <https://www.arubanetworks.com/products/location-services/beacons-tags/>

Εικόνα 6.5 Access Point της Aruba (300 series), <https://www.arubanetworks.com/resource/300-series-data-sheet/>

Εικόνα 6.6 Επικοινωνία μεταξύ smart συσκευής και beacon <https://blogs.arubanetworks.com/solutions/how-do-developers-include-meridian-location-services-in-their-own-mobile-app/>

Εικόνα 6.7 Στοιχεία που αποτελούν το software και hardware του Aruba Meridian, <https://www.slideshare.net/ArubaNetworks/enhancing-mobile-apps-in-the-public-facing-enterprise-with-the-aruba-meridian-sdk>

Εικόνα 6.8 Aruba Meridian Editor, <https://docs.meridianapps.com/hc/en-us/articles/360039668554-The-Meridian-Editor>

.....

Αλφαβητικό Ευρετήριο

IPS : Indoor Positioning Systems - Συστήματα Εντοπισμού Θέσης σε Εσωτερικό Χώρο

Wi-Fi : Wireless Fidelity - Ασύρματη Τεχνολογία Επικοινωνίας με βάση το πρότυπο IEEE 802.11

WLAN: Wireless Local Area Network - Ασύρματο Τοπικό Δίκτυο

GPS: Global Positioning System - Σύστημα πλοήγησης με χρήση δορυφόρου

STA: Station - Σταθμός πχ κινητό, tablet , laptop κ.α.

AP: Access Point - Συσκευή που παρέχει ασύρματη σύνδεση σε άλλες συσκευές

RSS: Received Signal Strength - Η ισχύς του σήματος που λαμβάνεται από ένα ασύρματο σύστημα

TOA: Time of Arrival - Χρόνος άφιξης σήματος

TDOA: Time Difference of Arrival - Διαφορά Χρόνου Άφιξης σήματος

PoA: Phase of Arrival - Φάση άφιξης σήματος

AoA: Angle of Arrival - Γωνία άφιξης σήματος

RTT: Round Trip Time - Χρόνος μετάδοσης ενός σήματος από μια συσκευή στον προορισμό της και αντίστροφα

RFID: Radio Frequency Identification - Τεχνολογία που χρησιμοποιεί ασύρματες ραδιοσυχνότητες για τον εντοπισμό και την αναγνώριση αντικειμένων ή πληροφοριών

RF: Radio Frequency - Ραδιοσυχνότητα

SIFT: Scale Invariant Feature Transform - Αλγόριθμος υπολογιστικής όρασης

SLAM: Simultaneous Localization and Mapping - Τεχνική στον χώρο της ρομποτικής και της υπολογιστικής όρασης

LoS: Line Of Sight - Οπτική επαφή (μεταξύ δύο σημείων)

NLOS: No Line of Sight - Μη οπτική επαφή (μεταξύ δύο σημείων)

ToF: Time of Flight - Χρόνος μετάδοσης σήματος

FTM: Fine timing measurement - Τεχνική για μέτρηση χρόνου μετάδοσης ενός ασύρματου σήματος μεταξύ δύο συσκευών

HE: High-efficiency - Υψηλή απόδοση

PHY: Ranging physical layer - Διαδικασία μέτρησης της απόστασης μεταξύ δύο ασύρματων συσκευών σε φυσικό επίπεδο (physical layer) στο πλαίσιο ενός ασύρματου δικτύου

PPDU: Physical Layer Protocol Data Unit - Βάση δεδομένων αποτελούμενη από τα φυσικά δεδομένα από μια αποστολή και λήψη δεδομένων μεταξύ δύο συσκευών

NDP: Null data packet - Πακέτο δεδομένων που χρησιμοποιείται για μετρήσεις ποιότητας του σήματος και της απόδοσης του δικτύου

LTF: Long training field - Πεδίο το οποίο χρησιμεύει στην εκπαίδευση-προετοιμασία του δέκτη ώστε να λάβει δεδομένα από τον πομπό

AWGN: Additive White Gaussian Noise - Τύπος θορύβου που προστίθεται στο σήμα και η κατανομή πιθανοτήτων του ακολουθεί τη Γκαουσιανή (Gaussian) κατανομή.

Συστήματα Εντοπισμού Θέσης σε Εσωτερικό Χώρο με χρήση Wi-Fi RTT

DLOS: Direct-line-of-sight - Απευθείας οπτική επαφή μεταξύ δύο σημείων

MUSIC: Multiple Signal Classification – Αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση σημάτων και τον εντοπισμό κατευθύνσεων των πηγών σήματος σε περιβάλλοντα με πολλαπλές πηγές σήματος

RMSE: Root mean square error - Μετρητικό στοιχείο σχετικά με τη ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος μεταξύ των πραγματικών και προβλεπόμενων τιμών

SNR: Signal to Noise Ratio - Σχέση Σήματος προς Θόρυβο

MIMO: Multi user - Multiple input - Multiple output : Τεχνολογία που χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραίες για τη μετάδοση και λήψη δεδομένων

BLE : Bluetooth Low Energy : Bluetooth χαμηλής ενέργειας

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα συστήματα εντοπισμού σε εσωτερικό χώρο έχουν κερδίσει μια σημαντική αναγνώριση τα τελευταία χρόνια κυρίως λόγω της δυνατότητάς τους να παρέχουν εντοπισμό της ακριβούς θέσης, καθώς και την πορεία ενός κινητού στοιχείου, σε εσωτερικούς χώρους, όπου το "παραδοσιακό" GPS (Global Positioning System) έχει πολλούς περιορισμούς λόγω των φυσικών εμποδίων (τοίχοι, υπόγειοι όροφοι κ.α.).

Τα IPS έχουν εφαρμογή σε πολλούς χώρους που βρίσκονται στην καθημερινότητά μας όπως εργοστάσια, γραφεία, εμπορικά κέντρα, αεροδρόμια, νοσοκομεία, σουπερμάρκετ και άλλοι χώροι, και οι βασικές εφαρμογές και χρήσεις τους είναι:

- **Πλοήγηση σε εσωτερικό χώρο :** Τα IPS παρέχουν την δυνατότητα στους χρήστες να πλοηγηθούν μέσα σε πολύπλοκα κτίρια. Μπορούν να δώσουν οδηγίες σχετικά με τη διαδρομή που θα πρέπει να ακολουθήσει ο χρήστης ώστε να πάει στο επιθυμητό σημείο.

- **Υπηρεσίες με βάση την τοποθεσία:** Τα IPS μπορούν να υποστηρίξουν υπηρεσίες όπως διαφημίσεις και προσφορές ανάλογα με τη θέση του χρήστη στο χώρο, ώστε να υπάρξει μια εξατομικευμένη εμπειρία σε μέρη όπως τα καταστήματα εμπορίου, μουσεία, εκθεσιακοί χώροι κ.α.

- **Παρακολούθηση και διαχείριση εξοπλισμού:** Τα IPS μπορούν να εντοπίσουν και να παρακολουθήσουν την θέση ή και την πορεία του εξοπλισμού μιας εταιρίας ή οργανισμού όπως εργαλεία, αυτοκίνητα και άλλα πολύτιμα αντικείμενα.

- **Ασφάλεια:** Τα IPS μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο στην ασφάλεια όπως στον εντοπισμό ενός ασθενή σε ένα νοσοκομείο καθώς και σε καταστάσεις όπως πυρκαγιές ή άλλες φυσικές καταστροφές όπου αν μπορούσαμε να εντοπίσουμε τη θέση του ανθρώπου σε ανάγκη και να τον οδηγήσουν σε ασφαλή σημείο.

- **Ανάλυση πληροφοριών:** Τα IPS προσφέρουν πολύτιμα δεδομένα που αντλούνται από τη συμπεριφορά-διαδρομή του χρήστη σε μια επιχείρηση, ώστε να μπορέσουν χρησιμοποιηθούν για καλύτερη αξιοποίηση του χώρου όπως και την θέση των προϊόντων για καλύτερη απόδοση στον εκάστοτε στόχο της επιχείρησης ή οργανισμού.

Αντικείμενο της πτυχιακής εργασίας

Αντικείμενο της πτυχιακής εργασίας αποτελεί η ανασκόπηση (review) των στοιχείων που συνθέτουν ένα σύστημα εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο, όπως είναι οι τεχνικές, οι τεχνολογίες και τα μετρητικά στοιχεία που αξιολογούν την ποιότητά του. Παράλληλα αντλούμε χρήσιμα συμπεράσματα από το πείραμα που παρουσιάζεται στο Matlab το οποίο εστιάζει στην μέθοδο WiFi RTT, στον τριγωνισμό και στη χρήση του αλγόριθμου MUSIC. Επίσης ερχόμαστε σε επαφή με ένα ολοκληρωμένο σύστημα IPS (Aruba Meridian) που χρησιμοποιείται ήδη στην αγορά και έχουμε πρόσβαση στο datasheet και τις λειτουργίες του. Τέλος, υπάρχει μια αναφορά στην προσεχή είσοδο του 5G δικτύου στα συστήματα εντοπισμού θέσης.

Σκοπός και στόχοι

Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία έχει ως σκοπό τη συγκέντρωση και αποτύπωση, με απλό και κατανοητό τρόπο, των βασικών πληροφοριών γύρω από τις τεχνολογίες, τις τεχνικές, τις μεθόδους και τις τρέχουσες τάσεις στον τομέα των συστημάτων εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο. Στόχος να απαντηθούν ερωτήματα όπως :

Γιατί είναι χρήσιμο να γνωρίζουμε τη θέση ενός στοιχείου σε εσωτερικό χώρο;

Από τι αποτελείται ένα σύστημα εντοπισμού θέσης;

Ποια τεχνολογία θα χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό θέσης; Wi-Fi, Bluetooth, RFID ; Και γιατί;

Τι θα επιλέξουμε για μεγαλύτερη ακρίβεια ;

Πως προστατεύονται τα προσωπικά δεδομένα του χρήστη;

Τι κόστος υπάρχει για την υλοποίηση και συντήρηση κάθε συστήματος εντοπισμού θέσης;

Μεθοδολογία

Ακολουθήθηκε μια συνδυασμένη μεθοδολογία ώστε να υπάρχει αντικειμενικότητα καθώς και πολυδιάστατη προσέγγιση του θέματος.

Καινοτομία

Στην πτυχιακή εργασία παρουσιάζονται έννοιες όπως το mmWave που πρόκειται να δούμε με την έλευση του 5G στα συστήματα εντοπισμού σε εσωτερικό χώρο. Επίσης θέλαμε η προσέγγιση να αφορά αποκλειστικά τα συστήματα που λειτουργούν σε εσωτερικό χώρο, και εκεί δόθηκε παραπάνω έμφαση, με την παρουσίαση ενός ολοκληρωμένου συστήματος που υπάρχει στην αγορά, και παράλληλα με ένα παράδειγμα προσομοίωσης σε Matlab ώστε να καταλάβουμε παραπάνω τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να λειτουργήσει ένα τέτοιο σύστημα και να μας δώσει μια εκτίμηση θέσης του κινητού σημείου.

Δομή

Η πτυχιακή εργασία αρχίζει να αναπτύσσεται από ένα θεωρητικό μέρος όπου αναλύονται κάποια βασικά στοιχεία, ώστε στην συνέχεια να δούμε με ένα παράδειγμα προσομοίωσης στο Matlab κάποια αποτελέσματα και συμπεράσματα, και κλείνει με την πορεία στην οποία εικάζουμε ότι θα εξελιχθεί η τεχνολογία των συστημάτων εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο.

Πιο συγκεκριμένα στο 1^ο Κεφάλαιο υπάρχει μια αναφορά στις βασικότερες τεχνικές εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο όπως είναι ο Υπολογισμός εμβέλειας (ranging), ο Τριγωνισμός, το Fingerprinting, και η Εγγύτητα.

Συστήματα Εντοπισμού Θέσης σε Εσωτερικό Χώρο με χρήση Wi-Fi RTT

Στο 2^ο Κεφάλαιο υπάρχει μια εκτενής αναφορά στις τεχνολογίες IPS συστημάτων, και παρουσιάζονται οι τεχνολογίες RFID, Κυψελοειδές Δικτύου Τηλεφωνίας, WiFi, Bluetooth, Ultra Wide Band, Ultrasound και Οπτικών Συστημάτων.

Στο 3^ο Κεφάλαιο αναλύονται τα μετρητικά στοιχεία που μας βοηθούν να αξιολογήσουμε ένα IPS. Τα μετρητικά στοιχεία που θα δούμε είναι η μέση ακρίβεια, η κατανομή ακρίβειας, η πολυπλοκότητα, η κλίμακα, η ευρωστία και το κόστος. Επιπλέον εξετάζονται οι περιορισμοί των συστημάτων εντοπισμού θέσης.

Στο 4^ο Κεφάλαιο επικεντρωνόμαστε παραπάνω στην τεχνολογία του Wi-Fi και στη χρήση του με την τεχνική RTT (round trip time).

Στο 5^ο Κεφάλαιο υπάρχει το πείραμα του Matlab στο οποίο παρουσιάζεται η διαδικασία με την αποστολή πακέτων μεταξύ STA και AP, ο αλγόριθμος MUSIC, η μέτρηση της εμβέλειας και αποτυπώνονται σε γραφικές παραστάσεις τα σφάλματα εμβέλειας, θέσης και με τον τριγωνισμό στο τέλος βρίσκουμε και την εκτίμηση της θέσης του κινητού σημείου.

Στο 6^ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται ένα ολοκληρωμένο σύστημα εντοπισμού θέσης που είναι διαθέσιμο στην αγορά, το Meridian της Aruba. Θα δούμε το software και το hardware που απαιτείται ώστε να έχουμε το σωστό αποτέλεσμα, και μπορούμε να ρίξουμε ματιά στο datasheet του AP και στη λειτουργία της εφαρμογής για το κινητό.

Στο 7^ο Κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στο πιθανό μέλλον των συστημάτων εντοπισμού θέσης, αυτό που περιλαμβάνει τη χρήση δικτύου 5G. Αναφέρονται αρκετές πληροφορίες σχετικά με τη χρήση του 5G, όπως επίσης στα πλεονεκτήματα και τις αδυναμίες του.

Στο 8^ο Κεφάλαιο ολοκληρώνεται η πτυχιακή εργασία μαζί με τα συμπεράσματα που αποκομίσαμε από αυτή.

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Τεχνικές Εντοπισμού Θέσης

Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξερευνήσουμε τις βασικές τεχνικές με τις οποίες είμαστε σε θέση να .

1.1 Υπολογισμός Εμβέλειας (Ranging)

Στον υπολογισμό εμβέλειας αυτό που θέλουμε να προσδιοριστεί είναι η απόσταση μεταξύ δύο συσκευών, του πομπού και του δέκτη, του σταθμού βάσης και του κινητού στοιχείου, όπου στην πραγματικότητα μπορεί να αναφέρεται πχ σε ένα smartphone και ένα ή παραπάνω AP. Για τον συγκεκριμένο σκοπό υπάρχουν διάφοροι τρόποι ανάλογα με την κάθε εφαρμογή, όπως περιγράφονται παρακάτω.

1.1.1 Received Signal Strength (RSS)

Στην επικοινωνία μεταξύ ενός πομπού και ενός δέκτη, η σχετικά μειωμένη ισχύ του σήματος που φτάνει στον δέκτη σε σχέση με την εκπεμπόμενη ισχύ του σήματος από τον πομπό μπορεί να μας δώσει κάποιες πληροφορίες σχετικά με τον εντοπισμό θέσης.

Η μείωση στην ισχύ του λαμβανομένου σήματος (pathloss) στον ελεύθερο χώρο δίνεται από τον τύπο του Friis :

$$L_p = \frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left[\frac{\lambda}{4\pi d} \right]^2, \quad \lambda = \frac{f}{c}$$

L_p : η απώλεια σε απόσταση d από τον πομπό

P_t : η ισχύς εκπομπής του πομπού , P_r : η ισχύς λήψης του δέκτη

G_t : η απολαβή του πομπού , G_r : η απολαβή του δέκτη

λ : το μήκος κύματος , f : η συχνότητα εκπομπής , c : η ταχύτητα του φωτός

Αν η απόσταση από τον πομπό είναι 1m τότε :

$$\frac{P_0}{P_t} = G_t G_r \left[\frac{\lambda}{4\pi} \right]^2$$

Συστήματα Εντοπισμού Θέσης σε Εσωτερικό Χώρο με χρήση Wi-Fi RTT και σε συνδυασμό με την προηγούμενη εξίσωση:

$$P_r = \frac{P_0}{d^2}$$

Για να περιγραφεί η σχέση απόστασης και ισχύος του σήματος που φτάνει στο δέκτη, θεωρούμε την ισχύ που λαμβάνει ο δέκτης P_r αντιστρόφως ανάλογη με την απόσταση από τον πομπό με εκθέτη ένα συντελεστή a (σταθερά διάδοσης), ο οποίος διαφέρει ανάλογα το περιβάλλον.

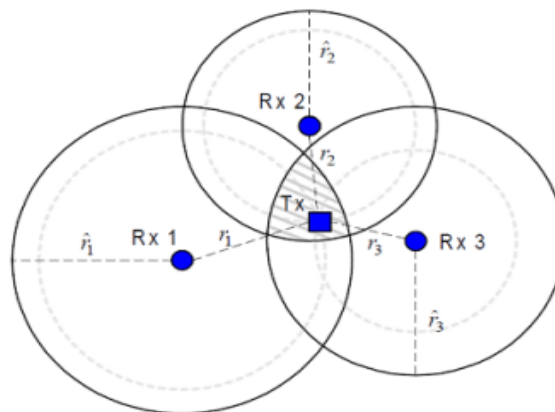
$$P_r = P_0 d^{-a}$$

Σε εξωτερικό (ανοιχτό) χώρο ο συντελεστής a είναι ίσος με 2 ενώ σε εσωτερικό χώρο κινείται μεταξύ 4 και 6 ανάλογα με τα μεταλλικά στοιχεία που εμπεριέχονται ως δομικά ή μη στοιχεία στο χώρο. Επομένως κάνοντας κάποιες μετρήσεις απώλειας σήματος με τον εκάστοτε αριθμό στον συντελεστή μπορούμε να υπολογίσουμε την απόσταση του δέκτη από τον πομπό.

1.1.2 Time of Arrival (TOA)

Με βάση το χρονικό διάστημα που χρειάζεται ένα σήμα να διαδοθεί από τον πομπό σε παραπάνω από ένα δέκτες (propagation time), μπορούμε να βρούμε μια περιοχή στην οποία βρίσκεται το κινητό στοιχείο.

Υπολογίζοντας με βάση τη γνωστή ταχύτητα διάδοσης ενός ηλεκτρομαγνητικού σήματος, που είναι κατά συνθήκη περίπου ίση με την ταχύτητα του φωτός c , και τον χρόνο άφιξης του σήματος (ToA), μπορούμε να βρούμε την απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη.



Σχήμα 1.1 Εύρεση περιοχής που βρίσκεται ο δέκτης με χρήση ToA (Μεταπτυχιακή Διατριβή – ‘Συστήματα προσδιορισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους’, Απόστολος Πασσιάς, Πανεπιστήμιο Πειραιά, Τμήμα Πληροφορικής, 2015)

Αν έχουμε τρεις πομπούς άρα και τρεις ToA μετρήσεις μπορούμε όπως φαίνεται παρακάτω να υπολογίσουμε μια περιοχή στην οποία βρίσκεται ο δέκτης.

Καθώς υπάρχει ενδεχόμενο να μην υπάρχει οπτική επαφή πομπού - δέκτη (No Line of Site – NLOS) οι μετρήσεις r_1, r_2, r_3 ενδέχεται να έχουν αποκλίσεις.

Με τη μέθοδο των μη γραμμικών ελάχιστων τετραγώνων (Nonlinear Least Square ή NL-LS), μπορούμε να έχουμε την καλύτερη πρόβλεψη ελαχιστοποιώντας τα λάθη :

$$e_i(x, y) = \hat{r}_i - \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} \quad i = 1, 2, \dots, N$$

(X_i, Y_i) : συντεταγμένες του δέκτη , (x, y) : συντεταγμένες του πομπού

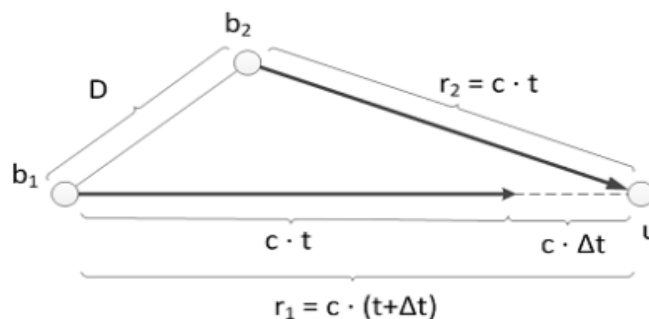
Ο χρόνος εκπομπής του σήματος t_0 υπολογίζεται ως μεταβλητή και αν θεωρήσουμε ως t_i το χρόνο λήψης του σήματος από το δέκτη, ο τύπος που δίνει το λάθος στον υπολογισμό της απόστασης γίνεται :

$$e_i(x, y, t_0) = c \cdot (t_i - t_0) - \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2}$$

Για μεγαλύτερη ακρίβεια στον υπολογισμό της απόστασης χρειάζονται περισσότερες από τρεις μετρήσεις TOA από τον ίδιο πομπό.

1.1.3 Time Difference of Arrival (TDOA)

Η τεχνική TDOA βασίζεται στην εκτίμηση των χρόνων άφιξης (TOA) των σημάτων του δύο πομπών από τον ίδιο δέκτη. Ας υποθέσουμε ότι δύο beacons b_1, b_2 εκπέμπουν συγχρονισμένα και με γνωστή περίοδο δύο σήματα σε διαφορετική συχνότητα. Έστω, ότι το σήμα του b_2 ανιχνεύεται στον άγνωστο u τη χρονική στιγμή t και το σήμα του b_1 ανιχνεύεται μετά από χρόνο Δt .



Σχήμα 1.2 Δύο ταυτόχρονα εκπεμπόμενα σήματα φθάνουν με διαφορά χρόνου (Μεταπτυχιακή Διατριβή – ‘Συστήματα προσδιορισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους’, Απόστολος Πασσιάς, Πανεπιστήμιο Πειραιά, Τμήμα Πληροφορικής, 2015)

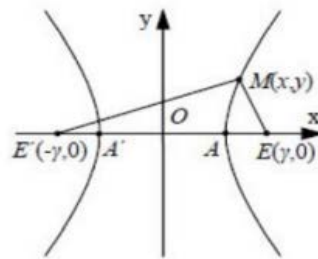
Η απόσταση D των beacons b_1 , b_2 είναι γνωστή, η διαφορά των δύο αποστάσεων b_1 , b_2 επίσης γνωστή, επομένως οι πιθανές θέσεις του u στις δύο διαστάσεις είναι η υπερβολή :

$$|r_1 - r_2| = c \cdot \Delta t$$

Ο γενικός τύπος της υπερβολής :

$$|ME' - ME| = 2\alpha$$

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, \text{ με } b = \sqrt{c^2 - a^2} \text{ και } E'E = 2c$$



Σχήμα 1.3 Γραφική παράσταση υπερβολής
(Μεταπτυχιακή Διατριβή – ‘Συστήματα προσδιορισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους’,
Απόστολος Πασσιάς, Πανεπιστήμιο Πειραιά, Τμήμα Πληροφορικής, 2015)

Για $2\alpha = c \cdot \Delta t$ και $2\gamma = D$ έχουμε:

$$\frac{4x^2}{(c \cdot \Delta t)^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, \text{ με } b = \frac{1}{2} \sqrt{D^2 - (c \cdot \Delta t)^2}$$

και τελικά:

$$\frac{4x^2}{(c \cdot \Delta t)^2} + \frac{4y^2}{D^2 - (c \cdot \Delta t)^2} = 1$$

Όπου x, y οι συντεταγμένες του αγνώστου u . Άρα με την συγχρονισμένη εκπομπή σήματος από δύο beacons, μπορούμε να εκτιμήσουμε την υπερβολή πάνω στην οποία βρίσκεται ο άγνωστος u .

1.1.4 Phase of Arrival (PoA)

Για την εύρεση της απόστασης με χρήση της μεθόδου λαμβανόμενης φάσης (PoA) χρησιμοποιούμε τη διαφορά φάσης ή τη φάση του φέροντος σήματος (carrier phase) για να υπολογίσουμε απόσταση ανάμεσα στο κινητό τερματικό και τους σταθμούς βάσης (AP) του δικτύου.

Αρχικά το κινητό τερματικό ανιχνεύει τη λαμβανόμενη φάση από τα AP του δικτύου και μπορεί να υπολογίσει πόσο απέχει από αυτά, με την παρακάτω εξίσωση :

$$\phi_i = k * D_i$$

όπου ϕ_i : η φάση του σήματος από τον i -οστό βαθμό βάσης

k : $(2 \cdot \pi) / \lambda$

D_i : η απόσταση που απέχει το κινητό τερματικό από τους αντίστοιχους σταθμούς εκπομπής

i : είναι οι σταθμοί εκπομπής

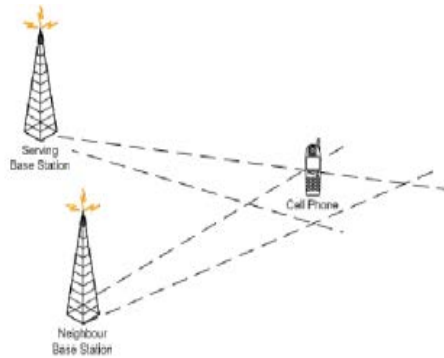
Έπειτα για τον εντοπισμό της θέσης του τερματικού:

- είτε σχεδιάζουμε κύκλους με κέντρο τους σταθμούς βάσης και ακτίνα την απόστασή τους από το κινητό τερματικό με σκοπό να εντοπιστεί η συσκευή στο σημείο που τέμνονται οι κύκλοι,
- είτε μετατρέπουμε τη διαφορά φάσης που μετρά το κινητό τερματικό ανάμεσα σε δυο σήματα που εκπέμπονται από ένα ζεύγος σταθμών εκπομπής σε διαφορά αποστάσεων. Στην περίπτωση αυτή η θέση του κινητού τερματικού προκύπτει από την τομή των υπερβολών.

1.1.5 Angle of Arrival (AoA)

Στη μέθοδο γωνίας άφιξης του σήματος (AoA) χρειάζεται να γνωρίζουμε πρωτίστως τη γωνία με την οποία φθάνει το κύμα στους σταθμούς βάσης του δικτύου.

Για να την βρούμε χρειαζόμαστε τη διαφορά φάσης η οποία εντοπίζεται από τον σταθμό μέσω των στοιχειοκεραιών που έχουν εγκατασταθεί.



Εικόνα 1.4 Μέθοδος AoA για δυο σταθμούς βάσης
(Master Thesis “Global Positioning in harsh environments”,
Romirer – Maierhofer, Halmstad University 2005)

Η διαφορά φάσης αυτή ισούται με :

$$\Delta\Phi = k * d * \sin\theta$$

όπου $k = (2 \cdot \pi) / \lambda$

d είναι η απόσταση μεταξύ των στοιχείων της στοιχειοκεραία

Εφόσον βρούμε την γωνία του κύματος η οποία είναι ως μόνος άγνωστος στην εξίσωση, μένει να προσδιοριστεί το εύρος της γωνίας ημίσειας ισχύος (half-power beamwidth) που ορίζεται ως η γωνία που περιλαμβάνει την κατεύθυνση μεγίστου και η οποία οριοθετείται από τις κατευθύνσεις στις οποίες η ένταση ακτινοβολίας έχει την μισή τιμή της μέγιστης.

Η εξίσωση του εύρους της γωνίας ημίσειας ισχύος :

$$\Delta_{3dB} = \cos^{-1} \left[\frac{\lambda}{2 * \pi * d} * \left(-\beta \pm \frac{2.782}{N} \right) \right]$$

Όπου d = απόσταση μεταξύ των στοιχείων της στοιχειοκεραίας

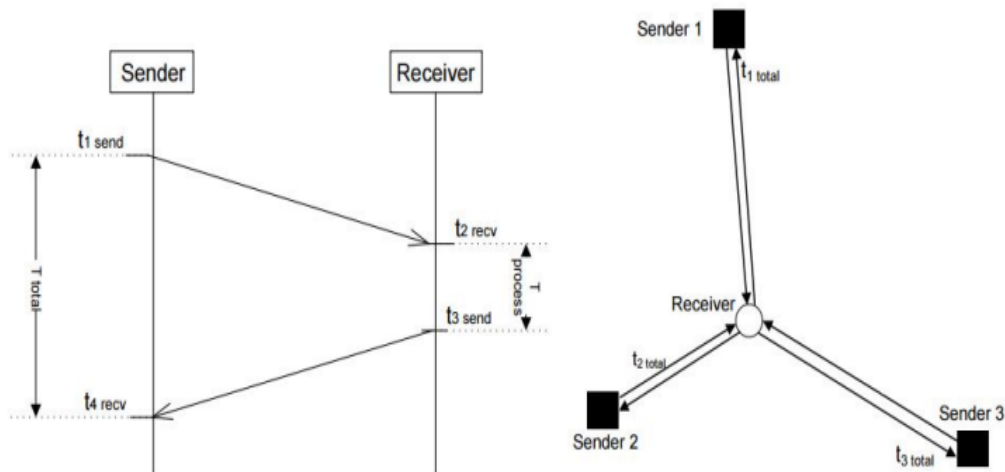
β = η διαφορά φάσης διέγερσης των στοιχείων

N = το πλήθος των στοιχείων της στοιχειοκεραίας

Το κινητό τερματικό εντοπίζεται ανάμεσα στην περιοχή που τέμνονται οι νοητές γραμμές των γωνιών ημίσειας ισχύος. Η ακρίβεια της μεθόδου εξαρτάται από τον αριθμό των σταθμών βάσης με βασική απαίτηση αυτή των δύο σταθμών βάσης για εκτίμηση θέσης σε επίπεδο 2 διαστάσεων.

1.1.6 Round Trip Time (RTT)

Η μέθοδος αυτή είναι επίσης γνωστή και ως Two-Way-Ranging (TWR). Στηρίζεται στην εκτίμηση της απόστασης πομπού – δέκτη μετρώντας το χρόνο διάδοσης ενός σήματος μεταξύ πομπού και δέκτη. Δεν απαιτείται συγχρονισμός μεταξύ πομπού και δέκτη καθώς η πληροφορία υπάρχει ενσωματωμένη στο πακέτο που στέλνει ο πομπός και γενικότερα αυτή η μέθοδος χαρακτηρίζεται από το χαμηλό κόστος της και την απλότητάς της.



Σχήμα 1.5 Μέτρηση απόστασης Roundtrip Time – RTT
(Μεταπτυχιακή Διατριβή – ‘Συστήματα προσδιορισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους’,
Απόστολος Πασσιάς, Πανεπιστήμιο Πειραιά, Τμήμα Πληροφορικής, 2015)

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται πως ο πομπός στέλνει ένα πακέτο σε κάθε δέκτη ο οποίος με τη σειρά του το επιστρέφει στον πομπό. Έστω ότι ο πομπός 1 (sender1), τη χρονική στιγμή t_1 στέλνει ένα πακέτο στον δέκτη. Το πακέτο περιέχει εκτός των άλλων και την τιμή t_1 . Ο δέκτης λαμβάνει το πακέτο τη χρονική στιγμή t_2 , μεσολαβεί ένας χρόνος $t_{process}$ επεξεργασίας κατά την οποία συμπεριλαμβάνεται η τιμή $t_{process}$ στο πακέτο και το αποστέλλει πίσω στον πομπό τη χρονική στιγμή t_3 . Το πακέτο φθάνει στον πομπό τη χρονική στιγμή t_4 .

Τώρα ο πομπός μπορεί να υπολογίσει την απόσταση του από το δέκτη σύμφωνα με τον τύπο :

$$d = \frac{(t_4 - t_1 - t_{process}) \cdot c}{2}$$

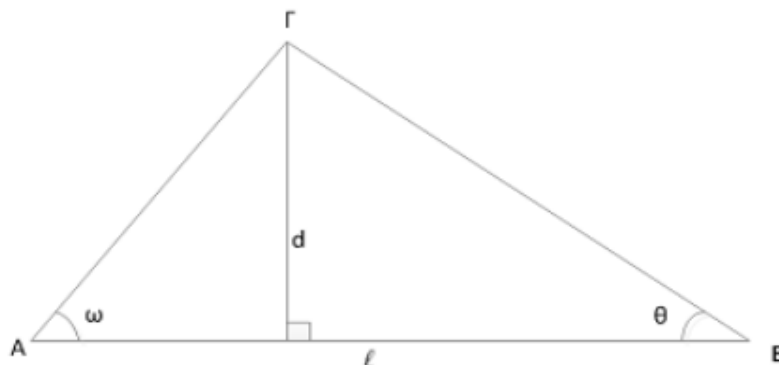
Γενικότερα, ο υπολογισμός εμβέλειας (Ranging) είναι μια τεχνική η οποία μέσα από διάφορους τρόπους καταφέρνει να μας δώσει μια πολύ καλή ακρίβεια θέσης, κυρίως σε συνθήκες line of sight μεταξύ του σταθερού (ή σταθερών) και του κινητού σημείου. Καθώς σε πολλές περιπτώσεις απαιτούνται περισσότερα από ένα σημεία αναφοράς (reference points) υπάρχει ένα σχετικά αυξημένο κόστος για τον εξοπλισμό, ο οποίος ενδέχεται να χρειαστεί να μετακινηθεί ανάλογα αν τυχόν διαμορφωθεί διαφορετικά ο χώρος στον οποίο βρίσκεται.

1.2 Τριγωνισμός (Triangulation)

Η τριγωνοποίηση βασίζεται στον υπολογισμό της απόστασης βάση της γωνίας με την οποία το σήμα ενός πομπού από μια άγνωστη θέση πομπού εισέρχεται σε τουλάχιστον δύο δέκτες με γνωστές θέσεις.

1.2.1 Χρήση Τριγωνισμού (triangulation)

Για τον εντοπισμό ενός αντικειμένου με την μέθοδο της μέτρησης των γωνιών (angulation) απαιτούνται 2 μετρήσεις γωνιών και μία μέτρηση της απόστασης των σημείων αναφοράς. Στη συνέχεια, έχοντας τις πληροφορίες που χρειαζόμαστε, η θέση του αντικειμένου μπορεί να γίνει γνωστή με την χρήση απλών γεωμετρικών τύπων.



Σχήμα 1.6 Τριγωνισμός

(Μεταπτυχιακή Διατριβή – ‘Συστήματα προσδιορισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους’, Απόστολος Πασσιάς, Πανεπιστήμιο Πειραιά, Τμήμα Πληροφορικής, 2015)

Παραδείγματος χάρη έστω ότι υπάρχουν δύο παρατηρητές στα σημεία A και B τα οποία βρίσκονται σε απόσταση l . Ένας παρατηρητής στο σημείο A βλέπει το Γ υπό γωνία παρατήρησης ω , ενώ ένας άλλος παρατηρητής στο σημείο B βλέπει το Γ υπό γωνία παρατήρησης θ .

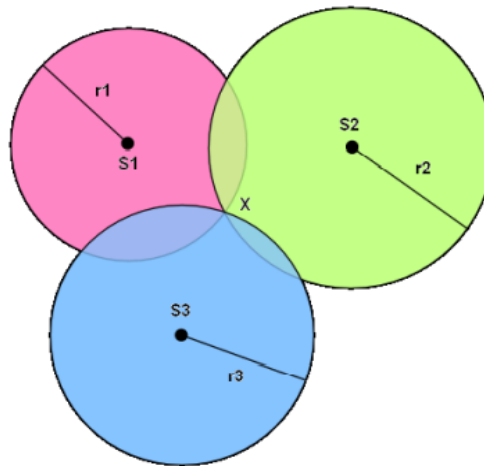
Έχοντας στη διάθεσή μας τις τιμές των l , ω , θ μπορούμε με απλούς τύπους της τριγωνομετρίας να υπολογίσουμε την απόσταση d ως εξής:

$$l = \frac{d}{\tan(\omega)} + \frac{d}{\tan(\theta)} = d \left(\frac{\cos(\omega)}{\sin(\omega)} + \frac{\cos(\theta)}{\sin(\theta)} \right) = d \frac{\sin(\omega + \theta)}{\sin(\omega) \sin(\theta)} \Leftrightarrow$$

$$d = l \frac{\sin(\omega) \sin(\theta)}{\sin(\omega + \theta)}$$

1.2.2 Χρήση Τριπλευρισμού (trilateration)

Ο (τρι)πλευρισμός αποτελεί μια τεχνική εντοπισμού που βασίζεται στην εκτίμηση της θέσης του αντικειμένου μέσω του υπολογισμού της απόστασής του από τουλάχιστον τρία σημεία γνωστών συντεταγμένων. Ο πλευρισμός χωρικά αντιστοιχεί στο σημείο τομής διαφόρων σφαιρών (ή κύκλων εάν αναφερόμαστε σε 2D εντοπισμό) που έχουν ως κέντρο των πομπό και ακτίνα την απόσταση προς το ζητούμενο σημείο.



Σχήμα 1.7 Τριπλευρισμός
(Μεταπτυχιακή Διατριβή – ‘Συστήματα προσδιορισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους’,
Απόστολος Πασσιάς, Πανεπιστήμιο Πειραιά, Τμήμα Πληροφορικής, 2015)

Πχ έστω ότι έχουμε στο χώρο τρία σημεία αναφοράς: το $s_1(x_1, y_1, z_1)$, το $s_2(x_2, y_2, z_2)$ και το $s_3(x_3, y_3, z_3)$, και ένα σημείο $X(x, y, z)$ που βρίσκεται σε απόσταση r_1, r_2, r_3 από τα σημεία αναφοράς.

Από τον τύπο της ευκλείδειας απόστασης έχουμε:

$$r_1^2 = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2$$

$$r_2^2 = (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2$$

$$r_3^2 = (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2$$

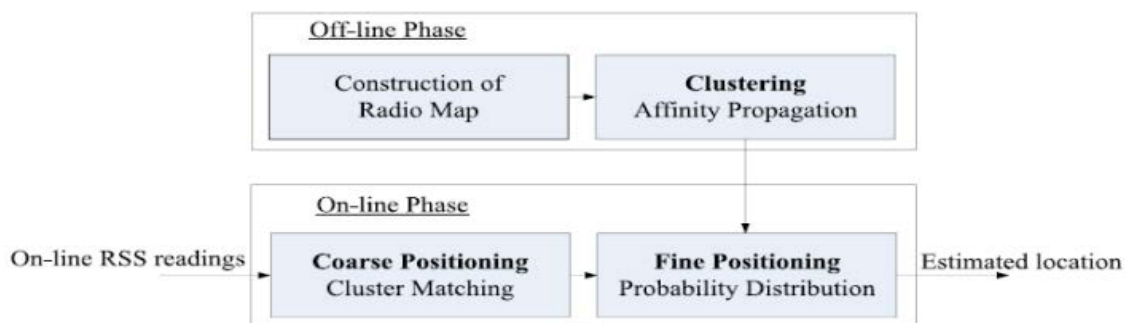
Η ακριβής θέση του X στο χώρο μπορεί τώρα να υπολογιστεί, με την επίλυση του παραπάνω συστήματος εξισώσεων, από την οποία θα προκύψουν οι συντεταγμένες (x, y, z) . Το παραπάνω σύστημα επιλύεται με διάφορους τρόπους μιας από τις οποίες είναι η μέθοδος των ελάχιστων τετραγώνων.

Γενικότερα, ο τριγωνισμός (triangulation) είναι μια τεχνική η οποία χρειάζεται, εξίσου όπως και ο υπολογισμός εμβέλειας, πολλαπλά σημεία αναφοράς. Καταφέρνει να δίνει μια μεγάλη ακρίβεια θέσης ακόμη και σε χώρους με εμπόδια. Ως κόστος κυμαίνεται περίπου στα επίπεδα του υπολογισμού εμβέλειας (καθώς όπως αναφέραμε χρειάζεται πολλά σημεία αναφοράς, και κατά συνέπεια τον κατάλληλο εξοπλισμό ώστε να μας δώσει ένα ικανοποιητικό και ακριβές αποτέλεσμα).

1.3 Fingerprinting

Τεχνική fingerprinting εφαρμόζεται κυρίως σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN) που επικοινωνούν μέσω WiFi. Η τεχνική Fingerprinting έχει δύο στάδια, το online και το offline.

Το offline στάδιο αφορά όλες τις μετρήσεις των σημάτων με σκοπό την αποθήκευσή τους σε μία βάση δεδομένων. Το online αποτελεί το στάδιο κατά το οποίο γίνεται η αντιστοίχιση των σημάτων των τερματικών με αυτά στην βάση και επομένως ο εντοπισμός της θέσης της συσκευής. (Weinberger, Blitzer, & Saul, 2008; Επιστημών, Επιστήμης, & Τηλεπικοινωνιών, 2017)



Σχήμα 1.8 Μπλοκ διάγραμμα του αλγορίθμου εντοπισμού θέσης fingerprinting (Μεταπτυχιακή Διατριβή – ‘Συστήματα προσδιορισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους’, Απόστολος Πασιιάς, Πανεπιστήμιο Πειραιά, Τμήμα Πληροφορικής, 2015)

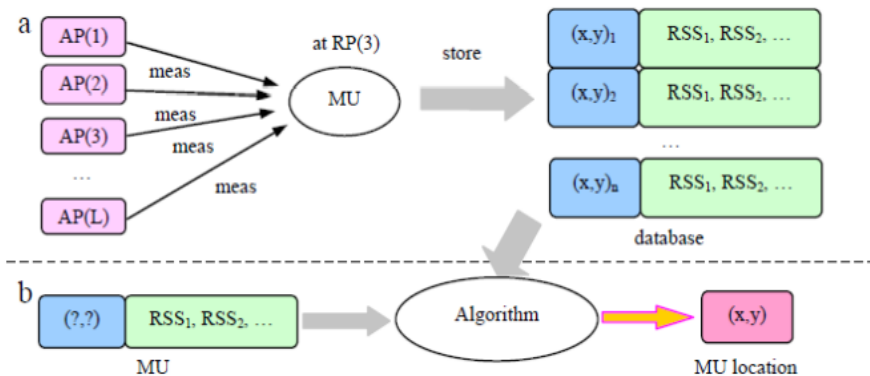
Στην πρώτη φάση (off-line phase) :

Συλλέγονται RSS δεδομένα από όλα τα access points (APs). Ολόκληρος ο χώρος κάλυψης είναι χωρισμένος σε ένα ορθογώνιο πλέγμα (rectangular grid). Για κάθε ένα από τα σημεία συμβολής του πλέγματος, συλλέγονται RSS δεδομένα (δηλαδή πόσο εξασθενημένα φθάνουν σε αυτό το σημείο τα

σήματα πολλαπλών access points. Από τις τιμές των RSS σχηματίζεται ένα διάνυσμα (vector) το οποίο αποτελεί το αποτύπωμα (fingerprint) αυτού του σημείου του πλέγματος. Όλα αυτά τα αποτυπώματα – διανύσματα αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων του συστήματος IPS.

Στην δεύτερη φάση (on-line phase)

Ένας φορητός σταθμός (συνήθως ένα smartphone με WiFi επικοινωνία), συλλέγει δεδομένα RSS από διάφορα APs τα οποία και αποστέλλει σε έναν κεντρικό server. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα APs συλλέγουν δεδομένα από το σήμα τα RSS του φορητού σταθμού και τα στέλνουν στον κεντρικό server. Ο server με βάση τα RSS που λαμβάνει από τον φορητό σταθμό υπολογίζει τη θέση του και την πληροφορία αυτή τη στέλνει πίσω σε αυτόν είτε αυτόματα είτε εφόσον αυτό ζητηθεί.



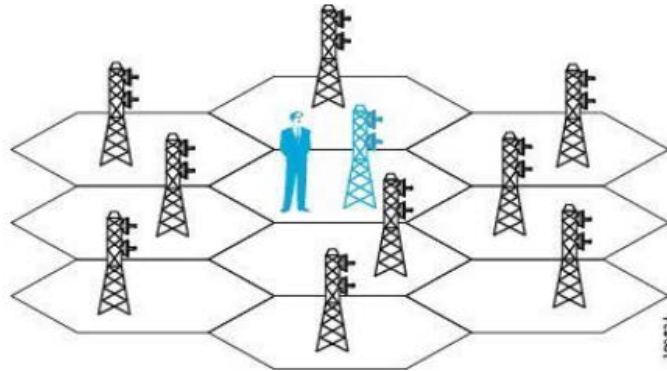
Σχήμα 1.9 Οι δύο φάσεις του fingerprinting: online και offline (Μεταπτυχιακή Διατριβή – “Συστήματα προσδιορισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους”, Απόστολος Πασσιάς, Πανεπιστήμιο Πειραιά, Τμήμα Πληροφορικής, 2015)

Ο πιο συνήθης αλγόριθμος προσδιορισμού της θέσης, σχηματίζει το διάνυσμα των RSS τιμών που λήφθηκαν από τον φορητό σταθμό και υπολογίζει την ευκλείδεια απόσταση του τα αποτυπώματα που υπάρχουν στη βάση. Οι συντεταγμένες του σημείου του πλέγματος που το αποτύπωμα του έχει την μικρότερη απόσταση από το τρέχον διάνυσμα RSS, επιστρέφονται ως η θέση του φορητού σταθμού.

Γενικότερα, το fingerprinting χαρακτηρίζεται ως μια τεχνική που παρέχει μια καλή ακρίβεια στον χρήστη ακόμη και σε non line of sight περιπτώσεις. Μπορεί να προσαρμοστεί εύκολα σε τυχόν αλλαγές που μπορεί να συμβούν σε ένα εσωτερικό χώρο (με το κατάλληλο calibration ώστε να δημιουργηθεί μια νέα βάση δεδομένων) και θεωρείται μια οικονομική λύση κυρίως σε χώρους που δεν πρόκειται να αλλάζουν συχνά ώστε να χρειάζεται συνεχώς calibration με ότι κόστος αυτό προϋποθέτει.

1.4 Εγγύτητα (Proximity)

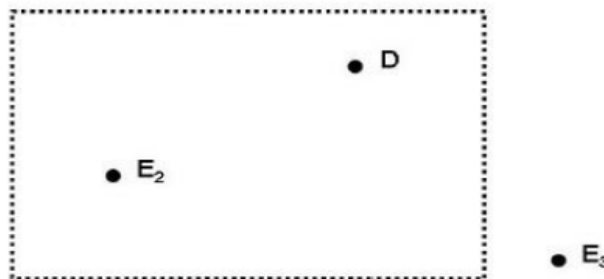
Η τεχνική της εγγύτητας (Proximity ή Cell of Origin – CoO) αποτελεί τον απλούστερο τρόπο προσδιορισμού θέσης. Η τεχνική βασίζεται στην γνώση της περιοχής κάλυψης ενός πομπού με γνωστή θέση (για παράδειγμα τα δίκτυα τηλεφωνίας) και μπορεί να προσδιορίσει τον κοντινότερο πομπό στον δέκτη (ισχυρότερη ισχύς σήματος).



Εικόνα 1.10 Δίκτυο τηλεφωνίας, Τεχνική Εγγύτητας

Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, η διακεκομμένη γραμμή προσδιορίζει την ζώνη εγγύτητας του πομπού D και σύμφωνα με την τεχνική της εγγύτητας καθορίζεται το κατά πόσο οι δέκτες E2 και E3 περιέχονται στην ζώνη αυτή.

Σχήμα 1.11 Ζώνη Εγγύτητας



(Survey and Comparative Study “Wireless Indoor Localization Systems and Techniques”, Ahmed Azeez Khudhair, Saba Qasim Jabbar, Mohammed Qasim Sulttan, Desheng Wang, Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 2016)

Βλέπουμε πως το E2 ανήκει εντός της περιοχής εγγύτητας του D ενώ το E3 όχι. Το E3 θα ανήκει σε περιοχή εγγύτητας γειτονικού πομπού. Συνεπώς η ακρίβεια της τεχνικής προκύπτει από την εμβέλεια του πομπού, δηλαδή το μέγεθος της περιοχής που αντιστοιχεί σε κάθε πομπό (cell).

Γενικότερα, η εγγύτητα (proximity) είναι μια τεχνική που η ακρίβεια της προσδιορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τον εξοπλισμό που διαθέτει, όπως πχ beacons, αισθητήρες, Aps. Βέβαια ενώ δεν δύναται να φτάσει τα επίπεδα ακρίβειας των προηγούμενων τεχνικών, η απλότητά της την καθιστά χρήσιμη κυρίως για βασικές, μη σύνθετες, εφαρμογές.

1.5 Συμπεράσματα 1^ο Κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάσαμε τις βασικές τεχνικές εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο, οι οποίες είναι οι εξής:

Ο Υπολογισμό εμβέλειας (Ranging), ο Τριγωνισμός (Triangulation), το Fingerprinting (Ανάγνωση Αποτυπώματος) και η Εγγύτητα (Proximity).

Συγκριτικά ως προς την **ακρίβεια**, ο Υπολογισμός εμβέλειας και ο Τριγωνισμός παρουσιάζουν πολύ υψηλή ακρίβεια λόγω των πολλών σημείων αναφοράς, βέβαια σε χώρους με πολλά εμπόδια ή σε χώρους με πολλές αντανάκλασεις ενδέχεται να μειωθεί. Ακολουθεί το Fingerprinting, το οποίο με μια πολύ καλά ενημερωμένη βάση δεδομένων και calibration ενδεχομένως να βρεθεί στα επίπεδα ακρίβειας των προηγούμενων τεχνικών. Τελευταία βρίσκεται η Εγγύτητα, η οποία μπορεί κυρίως να χρησιμοποιηθεί για να προσδιορίσει τη θέση σε ένα πιο ευρύ πεδίο, και χρησιμοποιείται σε απλές εφαρμογές.

Ως προς την **προσαρμοστικότητα** σε χώρους και συνθήκες, το Fingerprinting διακρίνεται ως το πιο φιλικό στις αλλαγές σε ένα χώρο, με την προϋπόθεση να γίνει calibration και να δημιουργηθεί η νέα βάση δεδομένων. Οι άλλες τεχνικές χρειάζονται μετατόπιση πολλών στοιχείων του εξοπλισμού και calibration, γι' αυτό και καθίστανται ως πιο δυσκίνητες.

Ως προς το **κόστος**, η Εγγύτητα λόγω της απλότητας και της περιορισμένης ακρίβειας που περιμένουμε από αυτή έχει ένα μικρό κόστος σε σχέση με τις υπόλοιπες τεχνικές. Έπειτα το πιο αυξημένο εν δυνάμει κόστος βρίσκεται στον Υπολογισμό εμβέλειας και στον Τριγωνισμό καθώς ο εξοπλισμός τους χρειάζεται να καλύπτει τα σημεία αναφοράς. Το Fingerprinting μπορεί να χαρακτηριστεί ως μεσαίου κόστους με την προϋπόθεση να μην αλλάζει συχνά ο χώρος και κατά συνέπεια να χρειάζεται calibration και βάση δεδομένων από την αρχή.

Με βάση τα όσα γράψαμε παραπάνω πιστεύω ότι μπορεί κανείς να αντλήσει στοιχεία και να επιλέξει ποια τεχνική ταιριάζει περισσότερο στην επιθυμητή εφαρμογή, και όπως θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο η κάθε τεχνολογία συνοδεύεται και με μια τεχνική.

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Τεχνολογίες εντοπισμού θέσης

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε στα συστήματα εντοπισμού τα οποία είναι κατασκευασμένα για εσωτερικό χώρο, όπου κρίνεται δύσκολος έως ανέφικτος ο εντοπισμός από τεχνολογίες όπως αυτή του Gps (μέσω δορυφόρων). Λόγω της αδυναμίας να διαπεράσει τα κτίρια η τεχνολογία αυτή χρειάστηκε να βρει αντικαταστάτη, καθώς υπάρχει αυξανόμενη ζήτηση για εντοπισμό σε εσωτερικό χώρο. Θα περιγράψουμε τις βασικές τεχνολογίες, τεχνικές, παραμέτρους καθώς και τις προκλήσεις που καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε στην υλοποίηση ενός συστήματος.

2.1 RFID

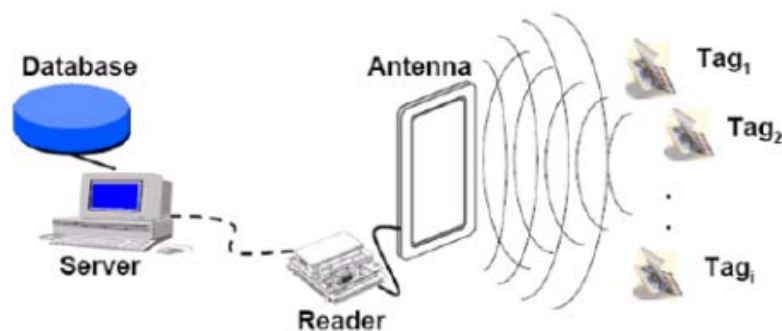
Η ταυτοποίηση ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency Identification) αποτελεί σύστημα με ένα αναγνώστη (RFID reader ή scanner) και ένα αντικείμενο που φέρει μια ετικέτα (rfid tag).

Ο αναγνώστης με χρήση μίας κεραίας μπορεί να ανιχνεύσει και να συνδεθεί με την rfid ετικέτα ένα κοντινού αντικειμένου και να λάβει από αυτό δεδομένα μέσω ραδιοκυμάτων τα οποία θα αποστείλει με τη σειρά του σε ένα υπολογιστή για επεξεργασία.

Η κεραία είναι απαραίτητο στοιχείο τόσο για την ετικέτα όσο και για τον αναγνώστη καθώς με αυτή επιτυγχάνεται η μεταφορά δεδομένων μεταξύ τους.

Επιπλέον, οι ετικέτες χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- Τις *ενεργητικές*, οι οποίες περιλαμβάνουν μπαταρία για την τροφοδοσία του κυκλώματος και για τη μετάδοση της πληροφορίας. Βασικό τους πλεονέκτημα είναι η μεγάλη εμβέλεια, αλλά υστερούν στο αυξημένο κόστος κατασκευής, συντήρησης καθώς και όγκου.
- Τις *παθητικές* ετικέτες, οι οποίες χρησιμοποιούν την ενέργεια από τα ραδιοκύματα του αναγνώστη ώστε να μεταδώσουν πίσω σε αυτόν την πληροφορία. Η εμβέλεια είναι αισθητά μικρότερη όπως και το κόστος και ο όγκος της ετικέτας.
- Τις *ημιπαθητικές* οι οποίες περιλαμβάνουν μπαταρία αλλά αυτή περιορίζεται μόνο στην τροφοδοσία του κυκλώματος και όχι στην μετάδοση της πληροφορίας. Είναι μια μέση λύση καθώς γεφυρώνει σε ένα βαθμό τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των προηγούμενων δύο.



Σχήμα 2.1 Λειτουργία RFID

(Μεταπτυχιακή Εργασία "Μελέτη Συστημάτων Εντοπισμού Θέσης Εσωτερικών και Εξωτερικών Χώρων για Εφαρμογές Κινητού Υπολογισμού" Λιβάνιος Λουκάς, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών & Επικοινωνιακών Συστημάτων, 2018)

Συστήματα Εντοπισμού Θέσης σε Εσωτερικό Χώρο με χρήση Wi-Fi RTT

Η συγκεκριμένη τεχνολογία έχει το πλεονέκτημα ότι δεν χρειάζεται απαραίτητα την οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη (Line-of-Sight) για να λειτουργήσει αφού τα ραδιοκύματα μπορούν ως ένα βαθμό να διαπεράσουν συμπαγή υλικά, δίνοντας την δυνατότητα τοποθέτησης των ετικετών σε διάφορες θέσεις. Γενικά, η ύπαρξη εμποδίων επηρεάζει την ισχύ του σήματος και κατά συνέπεια ελαττώνεται και η ακρίβεια της εκτίμησης του προσδιορισμού της θέσης.

Τα παθητικά συστήματα χρησιμοποιούνται για εντοπισμό μικρής εμβέλειας (έως 2m) ενώ τα ενεργητικά έχουν πολύ μεγαλύτερη εμβέλεια (έως 500m).

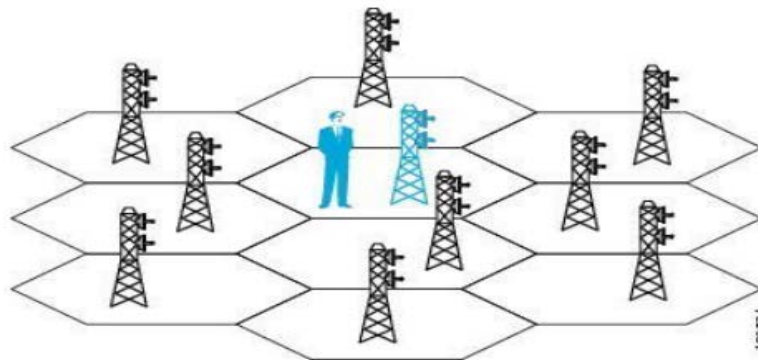
2.2 Κυψελοειδές Δίκτυο Επικοινωνίας (Cellular based)

Ένα κυψελοειδές δίκτυο επικοινωνίας βοηθά στην σύνδεση των κινητών τηλεφώνων μεταξύ τους. Για να επιτευχθεί αυτό αποστέλλονται και λαμβάνονται ασύρματα σήματα μέσω κυψελοειδών πύργων, οι οποίοι είναι διανεμημένοι σε συγκεκριμένες θέσεις ώστε ο κάθε ένας να είναι υπεύθυνος για την κάλυψη μίας συγκεκριμένης περιοχής.

Για τον εντοπισμό θέσης του κινητού τηλεφώνου χρησιμοποιείται η τεχνική Cell-Id ή αλλιώς κυψέλη προέλευσης (Cell Of Origin) στην οποία εντοπίζεται ο πύργος είχε επικοινωνία το κινητό κάποια δεδομένη χρονική στιγμή.

Ένας κυψελοειδής πύργος μπορεί να παρέχει κάλυψη 35 χιλιομέτρων χωρίς να μεσολαβεί κάποιο εμπόδιο όπως ένα μεγάλο κτήριο κλπ, όμως σε αστικό ιστό, με τη χρήση της τεχνική Cell-Id, παρόλο που είναι πιο πυκνά κατανεμημένοι οι πύργοι καλύπτουν μεγάλες περιοχές και δυσκολεύονται να μας δώσουν μεγάλη ακρίβεια (η ακρίβειά τους κυμαίνεται από 50 έως 200m).

Θετικό στοιχείο παρόλα αυτά αποτελούν η εύκολη εφαρμογή, η ευρεία και πάντα διαθέσιμη κάλυψη, καθώς και το γεγονός ότι υποστηρίζεται από όλα τα κινητά τηλέφωνα (Zandbergen, 2009).



Εικόνα 2.2 Κυψελοειδές Δίκτυο (Cellular based)

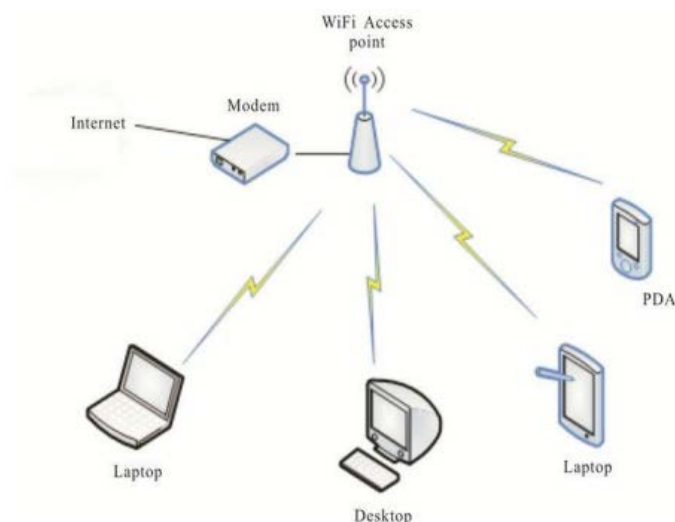
Ένα θετικό στοιχείο στην συγκεκριμένη τεχνολογία αποτελεί η συνεχής συνδεσιμότητα του χρήστη, όπου μπορεί να μας δώσει πληροφορίες θέσης σε πραγματικό χρόνο (για μια περιοχή που καλύπτει ένας πύργος) καθώς επίσης η κάλυψη που υπάρχει στον αστικό και μη αστικό ιστό εκ των προτέρων από τις εταιρίες επικοινωνιών.

2.3 Ασύρματο Δίκτυο (WiFi)

Η τεχνολογία Wi-fi βασίζεται στην διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων μέσω της ατμόσφαιρας από ειδικά σημεία πρόσβασης (Access Points – AP), αντικαθιστώντας σε πολλές περιπτώσεις τις ενσύρματες εναλλακτικές μετάδοσης πληροφορίας εντός ενός τυπικού δικτύου.

Χρησιμοποιείται κυρίως για μεταφορά δεδομένων και τηλεπικοινωνιακούς σκοπούς και ως όνομα καθιερώθηκε με την εμφάνιση του προτύπου 802.11b, IEEE.

Το δίκτυο Wi-Fi (WLAN) τα τελευταία χρόνια γίνεται όλο και πιο διαδεδομένο και προσιτό καθώς υπάρχουν πλέον σε πολλούς εσωτερικούς χώρους διαθέσιμα σημεία πρόσβασης (AP), τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν από φορητές συσκευές, όπως smartphones, tablets κ.α. Τα AP αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της τοποθεσίας μιας κινητής συσκευής εντός του δικτύου και το κάθε σημείο πρόσβασης έχει εμβέλεια 50-100m. Το WLAN είναι αρκετά ευαίσθητο στο φαινόμενο της πολυανάκλασης (multipath) και παρόλο που δεν είναι απαραίτητη η οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη, βελτιώνει αισθητά το αποτέλεσμα. Αυτό συμβαίνει λόγω της εξασθένησης του σήματος όταν διέρχεται μέσα από εμπόδια αλλά και εξαιτίας του ανακλώμενου σήματος. Για τον εντοπισμού θέσης του κινητού χρησιμοποιούνται συνήθως η τεχνική τριπλευρισμού και η τεχνική ταυτοποίησης θέσης (fingerprint) μέσω χαρτογράφησης της τιμής RSS.



Σχήμα 2.3 Αρχιτεκτονική Wi-Fi

(Μεταπτυχιακή Εργασία "Μελέτη Συστημάτων Εντοπισμού Θέσης Εσωτερικών και Εξωτερικών Χώρων για Εφαρμογές Κινητού Υπολογισμού" Λιβάνιος Λουκάς, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών & Επικοινωνιακών Συστημάτων, 2018)

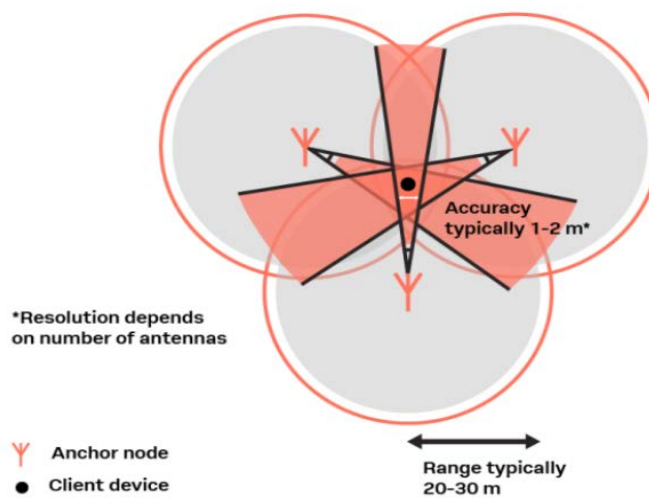
Όλα τα ασύρματα δίκτυα υπάγονται στα πρότυπα που έχουν καθοριστεί ως IEEE 802.11. Κάθε ασύρματο δίκτυο περιλαμβάνει ένα AP μέσω του οποίου στέλνονται και λαμβάνονται τα διάφορα πακέτα από τα κινητά τερματικά. Το AP αποστέλλει ένα πακέτο ανά κάποια δευτερόλεπτα σε όλες τις συσκευές του δικτύου με σκοπό να τις ενημερώσει για την παρουσία του και την λειτουργία του.

Στα πακέτα περιλαμβάνονται εκτός των άλλων πληροφορίες όπως η ισχύς του σήματος, το όνομα του AP και ο τύπος του ασύρματου δικτύου. Το AP μπορεί να επικοινωνήσει σε βεληγεκές γύρω στα 100m το οποίο αποτελεί ένα όριο όπου αν απομακρυνθούμε παραπάνω η ισχύς του σήματος, και κατά συνέπεια η ακρίβεια, εξασθενεί. Επομένως εάν γνωρίζουμε την ισχύ του σήματος που φτάνει στο τερματικό μπορούμε να υπολογίσουμε και την θέση του σε σχέση με το σταθερό AP.

Γενικότερα τα ασύρματα δίκτυα μας επιτρέπουν τον εντοπισμό θέσης σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους με υψηλή ακρίβεια, η χρήση της τεχνολογίας είναι οικονομική διότι δεν απαιτούνται προσθήκες στο υλικό και επιπλέον δεν απειλούν την ιδιωτικότητα του χρήστη καθώς για τον εντοπισμό της θέσης του ο χρήστης πρέπει να έχει συναινέσει να αλληλεπιδράσει με το δίκτυο. (Zandbergen, 2009)

2.4 Bluetooth

Το Bluetooth είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται για ανταλλαγή δεδομένων σε μικρές αποστάσεις χρησιμοποιώντας UHF ραδιοκύματα. Με την ανάπτυξη των Bluetooth Low Energy (BLE) αισθητήρων και του μικρού κόστους τους οι εφαρμογές που αναπτύχθηκαν με αυτούς είναι πολλαπλές. Τα BLEs, αν και έχουν μικρό εύρος εκπομπής (έως 10-15 μέτρα περίπου), είναι ιδανικά για κλειστούς χώρους όπου μπορούμε να τα τοποθετήσουμε όπου θέλουμε. Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η πολύ μεγάλη αυτονομία τους, το μικρό μέγεθος και η συνδεσιμότητα με PDA, H/Y, smartphones κ.α. Εξαιτίας του γεγονότος αυτού, υπάρχουν αρκετές εμπορικές εφαρμογές που χρησιμοποιούν τέτοιους αισθητήρες για να επιτύχουν indoor localization. Οι εφαρμογές αυτές χρησιμοποιούν την λαμβανόμενη ισχύ από τα BLEs για να προσδιορίσουν τη θέση του χρήστη κι έχουν την ευκολία σύνδεσης

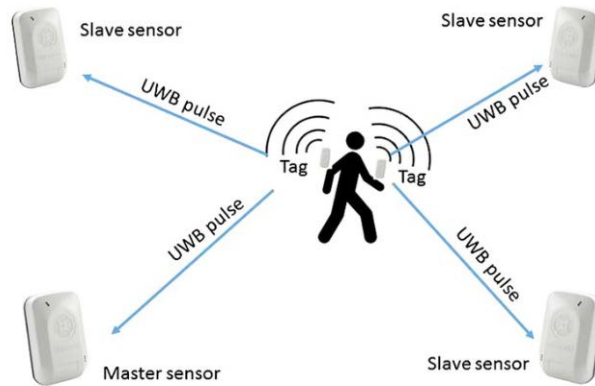


Εικόνα 2.4 Direction finding with multiple anchors

2.5 Ultra Wide Band (UWB)

Το UWB αποτελεί ένα δίαυλο επικοινωνίας που απλώνει πληροφορίες σε ένα μεγάλο μέρος του φάσματος συχνοτήτων. Αυτό επιτρέπει στους πομπούς UWB να μεταδίδουν μεγάλες ποσότητες δεδομένων ενώ καταναλώνουν μικρή ενέργεια εκπομπής.

Ορίζεται από την Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών ως σήμα RF (Radio Frequency) που καταλαμβάνει ένα τμήμα του φάσματος συχνοτήτων μεγαλύτερο από το 20% της κεντρικής συχνότητας φορέα ή έχει εύρος ζώνης μεγαλύτερο από 500 MHz.



Σχήμα 2.5 Ultra Wide Band

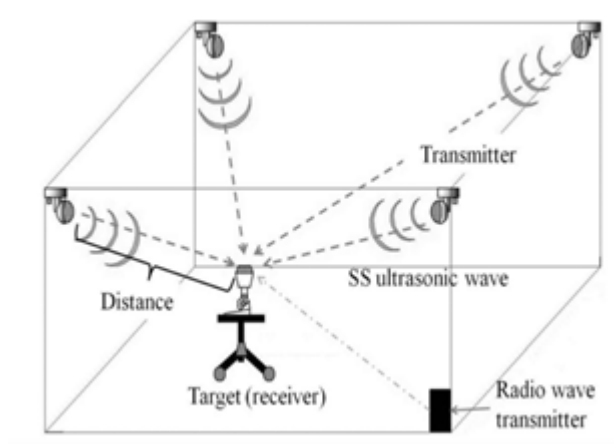
Thesis Indoor Localization System Using Ultra Wide Band Device , Zwe Yint Aung , Asian Institute of Technology, 2018

Το UWB μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις υπηρεσίες εντοπισμού θέσης χρησιμοποιώντας τη χρονική διαφορά άφιξης (TDOA) των σημάτων RF για να ληφθεί η απόσταση μεταξύ του σημείου αναφοράς και του στόχου (Al-hadhrami, Al-ammam, & Al-khalifa, 2014, Anagnostopoulos & Tsounis, 2007, Sahinoglu, 2008)

2.6 Υπέρηχος (Ultrasound)

Υπέρηχος (Ultrasound) ονομάζεται το μηχανικό κύμα με συχνότητα μεγαλύτερη από αυτήν που μπορεί να ακούσει ο άνθρωπος. Η ενέργεια του ηλεκτρικού σήματος μετατρέπεται σε μηχανική ταλάντωση υψηλής συχνότητας με τη βοήθεια ενός ηλεκτροακουστικού μορφοτροπέα (electroacoustic transducer) και μεταδίδεται στο μέσο, με τη χρήση κατάλληλου στοιχείου προσαρμογής.

Τα συστήματα προσδιορισμού θέσης υπερήχων αξιοποιούν το δομικό υλικό και τον αέρα ως μέσο διάδοσης.



Σχήμα 2.6 Ultrasound,

(« Indoor positioning for moving objects using a hardware device with spread spectrum ultrasonic waves»,
Y. Itagaki, Akimasa Suzuki, T. Iyota , International Conference on Indoor Positioning and Indoor
Navigation, 2012)

Η σχετική απόσταση μεταξύ των διαφόρων συσκευών μπορεί να εκτιμηθεί χρησιμοποιώντας μετρήσεις χρόνου άφιξης (ToA) των παλμών υπερήχων που ταξιδεύουν από τους πομπούς στους δέκτες. Οι συντεταγμένες του πομπού μπορούν να εκτιμηθούν με πολλαπλασιασμό από τρία (ή περισσότερα) εύρη σε ορισμένους σταθερούς δέκτες (που αναπτύσσονται σε γνωστές θέσεις). Για τον εντοπισμό ενός αντικειμένου δεν απαιτείται οπτική επαφή (LOS) ενώ η ακρίβεια που μας παρέχει ένα σύστημα εντοπισμού Ultrasound είναι μικρή. (Koyuncu & Yang, 2010)

2.7 Οπτικά Συστήματα

Μια άλλη τεχνολογία που εφαρμόζεται στα εσωτερικά συστήματα εντοπισμού θέσης είναι με τη χρήση κάμερας. Ο εντοπισμός θέσης με τη χρήση κάμερας χωρίζεται σε δυο προσεγγίσεις. Στην πρώτη προσέγγιση (“camera egomotion”), οι κάμερες είναι ενσωματωμένες σε κινούμενο αντικείμενο σε άγνωστη τοποθεσία, το οποίο πρέπει να εντοπιστεί.

Η άλλη προσέγγιση βασίζεται σε στατικές κάμερες με γνωστή θέση, που χρησιμοποιούνται για να εκτιμηθεί η θέση στόχων που κινούνται μπροστά από αυτές. Στην πρώτη προσέγγιση υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για τον καθορισμό της θέσης. Η μια μέθοδος βασίζεται στην Ανάλυση Σκηνής (Scene Analysis), όπου διακριτά αντικείμενα αφαιρούνται από τη κάμερα.

Στην περίπτωση φυσικών χαρακτηριστικών, συγκρίνονται με μια βάση δεδομένων από παλαιότερες καταχωρημένες εικόνες, όπου η θέση καταγραφής είναι γνωστή. Ανάλογα με το μέγεθος της βάσης δεδομένων και την ανάλυση των εικόνων, η αντιστοίχιση μπορεί να πάρει αρκετή ώρα, αλλά οι μετρήσεις είναι αξιόπιστες και ακριβείς. Προβλήματα προκύπτουν λόγω των διαφορετικών οπτικών γωνιών που μπορεί να λαμβάνονται οι εικόνες. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος SIFT (Scale Invariant Feature Transform), ώστε οι λαμβανόμενες πληροφορίες να είναι ανεπηρέαστες από τη γωνία της εικόνας και την κλίμακα. Εκτός από φυσικά χαρακτηριστικά, τεχνητά χαρακτηριστικά, όπως barcodes μπορούν να διανεμηθούν στο περιβάλλον εργασίας, οπότε είναι πιο εύκολο να γίνει η επεξεργασία των στοιχείων.

Μια άλλη μέθοδος που ανήκει στην “camera egomotion” είναι η χρήση πληροφοριών time-domain που λαμβάνονται από συνεχόμενες εικόνες (οπτική ροή). Στις τεχνολογίες SLAM για παράδειγμα, υπολογίζεται η κίνηση μεταξύ δυο «καρέ» της κάμερας μέσω της επίλυσης προβλήματος “point-set configuration”, στη διάρκεια της οποίας γίνεται χωρική σύγκριση του στοιχείου που μελετάμε.

Στην εν λόγω μέθοδο υπεισέρχονται πολλά λάθη μετρήσεων στη διάρκεια του χρόνου, καθώς η μέτρηση της επόμενης θέσης βασίζεται στις προηγούμενες. Για βαθμονόμηση εφαρμόζεται η τεχνική “loop closure”. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος είναι όμως αρκετά πολύπλοκος και έχει μεγάλη αβεβαιότητα. Οι στατικές κάμερες ανιχνεύουν στόχους που κινούνται μπροστά από το πεδίο τους. Ο υπολογισμός της θέσης του στόχου είναι ευκολότερος. Το πρόβλημα είναι ότι αν υπάρχουν πολλοί στόχοι, ίσως δεν ανατεθεί η σωστή τοποθεσία στο σωστό στόχο. Επίσης, ίσως είναι ακριβή η παροχή πλήρους κάλυψης για μια μεγάλη περιοχή και ανακύπτουν θέματα ιδιωτικότητας. (Rainer Mautz & Tilch, 2011; Pupilli & Calway, 2006; Werner, Kessel, & Marouane, 2011)

2.8 Συμπεράσματα 2^{ου} Κεφαλαίου

Παραπάνω είδαμε τις βασικές τεχνολογίες εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο, οι οποίες είναι :

Η RFID, το Κυψελοειδές Δίκτυο Επικοινωνίας (cellular based), το Ασύρματο Δίκτυο WiFi, το Bluetooth, η Ultra Wide Band, ο Υπέρηχος (UltraSound) καθώς και τα Οπτικά Συστήματα.

Αρχικά για την επιλογή της εκάστοτε τεχνολογίας απαιτούνται πολλοί παράμετροι καθώς καθεμιά έχει διαφορετικά οφέλη και μειονεκτήματα.

Όσων αφορά την ακρίβεια, τεχνολογίες όπως WiFi, Ultra Wide Band, Bluetooth (για μικρούς χώρους) καθώς και τα Οπτικά συστήματα παίρνουν τα ηνία, με ακρίβεια κάτω από ένα μέτρο και έως μερικά εκατοστά.

Επίσης, σε σενάρια όπου δεν υπάρχει οπτική επαφή (non line of sight) δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε Οπτικά συστήματα όπως και Ultrasound, καθώς υπάρχει πολύ μεγάλη απώλεια σήματος λόγω των εμποδίων και των αντανακλάσεων. Στις υπόλοιπες τεχνολογίες δεν είναι απαραίτητο, βέβαια σε κάποιες όπως το WiFi, σίγουρα βοηθάει στην απόδοση του συστήματος.

Τέλος, αναφορικά με το κόστος θεωρείτε λιγότερο ζημιόγones οι τεχνολογίες των RFID, Bluetooth και Ultrasound, ο εξοπλισμός των οποίων περιλαμβάνει tags, κεραίες και software που δεν θεωρούνται κοστοβόρα, καθώς επίσης οι τεχνολογίες WiFi και Cellular based που χρησιμοποιούν κατά βάση την προ υπάρχουσα εγκατάσταση. Ακριβότερες θεωρούνται οι τεχνολογίες Ultra Wide band και Οπτικών συστημάτων όπου απαιτείται αγορά εξοπλισμού όπως UWB πομποδέκτες, nodes σημείων αναφοράς, και αντίστοιχα κάμερες, εξοπλισμός και software επεξεργασίας εικόνας κ.α.

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Μετρικά Στοιχεία / Αξιολόγηση Συστημάτων IPS

Η αποδοτικότητα ενός συστήματος εντοπισμού μπορεί να αξιολογηθεί μέσω κάποιων χαρακτηριστικών που παρουσιάζει. Παρακάτω παραθέτουμε κάποιες κατηγορίες στις οποίες υπόκειται κάθε σύστημα εντοπισμού πριν την χρήση ή τη διάθεσή του στην αγορά.

3.1 Μέση ακρίβεια (accuracy)

Η μέση ακρίβεια αναφέρεται στην πιθανή απόκλιση της ένδειξης του συστήματος από τον πραγματικό στόχο, κάτι που μεταβάλλεται κυρίως από τα σφάλματα που υπεισέρχονται στο σύστημα, επηρεάζουν τις μετρήσεις, και δεν μπορούν να εξαλειφθούν, γνωστά και ως πειραματικά σφάλματα. Έπειτα υπάρχουν τα συστηματικά σφάλματα, τα οποία επηρεάζουν συστηματικά και με τον ίδιο τρόπο όλες τις μετρήσεις και οφείλονται στη λάθος βαθμονόμηση της μετρητικής συσκευής και η αντιμετώπισή τους είναι διαχειρίσιμη σε αντίθεση με τα τυχαία σφάλματα, που επηρεάζουν όλες τις μετρήσεις αλλά με τυχαίο τρόπο και επομένως δεν μπορούν να αφαιρεθούν κατά την επεξεργασία τους.

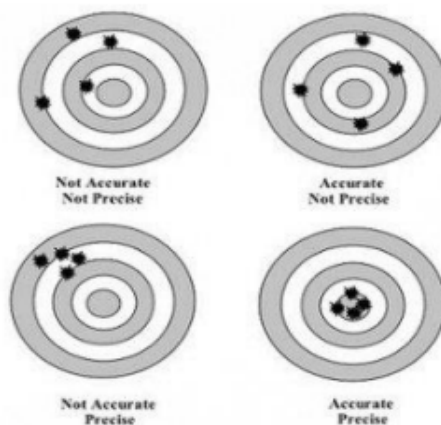
Τα σφάλματα των μεταβλητών ή οργάνων εκφράζονται με τρεις τρόπους:

- απόλυτο σφάλμα: η περισσότερη συνηθισμένη περίπτωση εμφάνισης των σφαλμάτων, πχ 1cm.
- συνάρτηση μιας μεταβλητής: εκφράζονται ως αναλογικά σφάλματα, ποσοστά της τιμής της μεταβλητής. Εδώ το απόλυτο σφάλμα ισούται με τη μετρημένη τιμή της μεταβλητής πολλαπλασιασμένη με την τιμή του σφάλματος.
- σύνθετο τρόπο: με σύνθεση δύο διαφορετικών σφαλμάτων. Στην περίπτωση αυτή, για τον υπολογισμό απόλυτης τιμής του σφάλματος, οι δύο συνιστώσες του σφάλματος πρώτα μετατρέπονται σε ομογενή ως προς τις μονάδες μεγέθη και μετά υπολογίζονται και αθροίζονται οι επί μέρους μεταβλητότητες. (Χ.Τρικαλινός, 2014)

3.2 Κατανομή ακρίβειας (precision)

Ως κατανομή ακρίβειας ορίζεται η πιθανότητα να επιτευχθεί ακρίβεια συγκεκριμένης τιμής, καθώς η ακρίβεια του απόλυτου σφάλματος δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται με μια ορισμένη κατανομή. Με την κατανομή ακρίβειας υπολογίζεται η κατανομή της απόστασης σφάλματος με χρήση της συνάρτησης κατανομής πιθανότητας (Cumulative Distribution Function – CDF).

Στη θεωρία πιθανοτήτων και τη στατιστική, η συνάρτηση κατανομής πιθανότητας (CDF) μιας πραγματικής μεταβλητής X , εκτιμώμενη σε σημείο x , αναφέρεται στην πιθανότητα η εν λόγω συνάρτηση να λάβει τιμή μικρότερη ή ίση με x . Μια βασική ιδιότητα της συνάρτησης αυτής είναι ότι το άθροισμα των πιθανοτήτων όλων των δυνατών τιμών της μεταβλητής είναι ίσο με τη μονάδα. Ακόμη, η αντιστοίχιση των πιθανοτήτων από τη συνάρτηση, πρέπει να λαμβάνει υπόψη της την ήδη υπάρχουσα εμπειρία από ανάλογες καταστάσεις. Από τον ορισμό είναι σαφές ότι μπορεί να επιτευχθεί η επιθυμητή ακρίβεια, χωρίς όμως η κατανομή ακρίβειας να είναι καλή, και το αντίστροφο, όπως φαίνεται στην εικόνα 2. (Μπερτσεκάς, Δ., 2013)



Σχήμα 3.1 Μέση ακρίβεια και κατανομή ακρίβειας
(Μεταπτυχιακή Εργασία ' ' Μελέτη Συστημάτων Εντοπισμού Θέσης Εσωτερικών και Εξωτερικών Χώρων για Εφαρμογές Κινητού Υπολογισμού' ' Λιβάνιος Λουκάς, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών & Επικοινωνιακών Συστημάτων, 2018)

3.3 Πολυπλοκότητα (complexity)

Η πολυπλοκότητα ενός συστήματος εκτιμάται από πολλούς παράγοντες.

Οι βασικοί από αυτούς είναι:

- Ο χρόνος που έχει παρέλθει από την τελευταία ενημέρωση σημαντικών αρχείων και περιγραφών ορίων συστήματος, ο οποίος αντιστοιχεί στο πόσο ενημερωμένα είναι τα αρχεία του συστήματος. Σε ένα μη ενημερωμένο σύστημα πιθανόν να υπάρχουν παραλείψεις ή σφάλματα σχετικά με τις απαιτήσεις ασφαλείας ή τους ελέγχους ασφαλείας
- Ο εκτιμώμενος αριθμός ρόλων / τύπων λογαριασμού, ο οποίος αντιστοιχεί στον αριθμό ρόλων ή τύπων λογαριασμών που χρησιμοποιούνται στο σύστημα, είτε θεωρούνται απλοί είτε προνομιούχοι λογαριασμοί. Οι έλεγχοι ασφαλείας που υπόκειται κάθε ρόλος / τύπος λογαριασμού πρέπει να αξιολογούνται ως μέρος της προσπάθειας πιστοποίησης. Το συνολικό επίπεδο προσπάθειας που απαιτείται για την πιστοποίηση αυξάνεται αναλογικά με τον αριθμό ρόλων / τύπων λογαριασμών.
- Οι ειδικές συνιστώσες ασφαλείας που υπάρχουν, δηλ. ο αριθμός των συσκευών ασφαλείας του συστήματος. Τα στοιχεία ασφαλείας του συστήματος λαμβάνουν μεγαλύτερη προσοχή κατά τη διάρκεια της πιστοποίησης επομένως περισσότερες συσκευές θα αυξήσουν το απαιτούμενο επίπεδο προσπάθειας.

- Τα καθορισμένα πεδία / ζώνες συστήματος που υπάρχουν (π.χ. εικονικά, λογικά ή φυσικά διαμερίσματα συστήματος). Ο αριθμός των φυσικών ή λογικών τομέων ή ζωνών που υπάρχουν στο σύστημα. Οι έλεγχοι ασφαλείας που επιβάλλουν τον διαχωρισμό μεταξύ τομέων / ζωνών αξιολογούνται ως μέρος της προσπάθειας πιστοποίησης. Η αύξηση του αριθμού των τομέων / ζωνών αυξάνει την πολυπλοκότητα του συστήματος και την προσπάθεια πιστοποίησης.
- Το σύνολο των διαφορετικών τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται στην υποδομή και τις εφαρμογές (π.χ. Windows, Linux, Citrix, Apache, Java κ.α.). Όσο μεγαλύτερος ο αριθμός των διαφορετικών τεχνολογιών (π.χ. λειτουργικά συστήματα, περιβάλλοντα ανάπτυξης εφαρμογών, βάσεις δεδομένων, κατάλογοι, διακομιστές ιστού, συσκευές δικτύου) που χρησιμοποιούνται στο σύστημα τόσο αυξάνεται η ομάδα πιστοποίησης ώστε να παράσχει εμπειρογνομοσύνη με όλες τις εμπλεκόμενες τεχνολογίες.
- Ο αριθμός των ορίων ασφαλείας που διαχωρίζουν τα υποσυστήματα με διαφορετικούς ελέγχους πρόσβασης μέσα στο υποκείμενο σύστημα. Οι έλεγχοι ασφαλείας που επιβάλλει κάθε όριο αξιολογούνται από την ομάδα πιστοποίησης.
- Ο αριθμός των διασυνδέσεων (σε συστήματα εξωτερικά του υποκείμενου συστήματος). Οι έλεγχοι ασφαλείας που ρυθμίζουν κάθε διασύνδεση αξιολογούνται από την ομάδα πιστοποίησης.
- Οι τρόποι σύνδεσης των χρηστών (συμπεριλαμβανομένων των ευρυζωνικών και ασύρματων) και των διαχειριστών για να συνδεθούν στο σύστημα. Οι διαφορετικές μέθοδοι πρόσβασης ενδέχεται να αυξήσουν την πολυπλοκότητα της προσπάθειας πιστοποίησης λόγω της πολυπλοκότητας των απαιτούμενων ελέγχων.
- Το είδος της διασύνδεσης. Από μία ενιαία διεπαφή (είτε είναι δημόσια είτε ιδιωτική) έως πολλαπλές διεπαφές που χωρίζονται σε διαφορετικούς θύλακες (π.χ. έναν δημόσιο ιστότοπο και ένα ιδιωτικό δίκτυο για διοίκηση) ή πολλαπλές διεπαφές μέσω ενός μόνο θύλακα (π.χ. χρησιμοποιήστε την ίδια διεπαφή) η κάθε διεπαφή απαιτεί αξιολόγηση ως μέρος της πιστοποίησης.

3.4 Κλίμακά (scale)

Ένα σύστημα εντοπισμού θέσης δύναται να εντοπίσει αντικείμενα σε παγκόσμια εμβέλεια, εντός ορισμένης περιοχής ή ακόμα και εντός ορισμένου δωματίου. Ακόμη, ο αριθμός των εντοπιζόμενων αντικειμένων παρουσιάζει διακύμανση. Για να προσδιοριστεί η κλίμακα ενός συστήματος ανίχνευσης θέσης, υπολογίζεται η περιοχή κάλυψής της ανά μονάδα υποδομής και ο αριθμός των αντικειμένων που μπορεί να εντοπίσει ανά μονάδα υποδομής σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. (Yamasaki, Ogino, Tamaki, Uta, Matsuzawa, & Kato, 2005)

3.5 Ευρωστία (robustness)

Η ευρωστία ενός συστήματος εντοπισμού θέσης αποτυπώνει την δυνατότητα ενός συστήματος να αντιμετωπίσει σφάλματα κατά την λειτουργία του και να ανταποκριθεί σε τυχόν λάθος εισόδους,

δηλ στην περίπτωση που ένα σύστημα μετρά μια νέα τιμή ή όταν μερικά αναμενόμενα σήματα παύουν να είναι διαθέσιμα, και το σύστημα πρέπει να λειτουργήσει με ελλείψεις πληροφορίες.

Η εκτίμηση της ευρωστίας ενός συστήματος απαιτεί τον υπολογισμό διάφορων παραμέτρων εκ των οποίων οι βασικές είναι οι εξής:

- Ανταπόκριση : η ικανότητα ενός συστήματος να ολοκληρώσει τις προκαθορισμένες εργασίες εντός ενός δεδομένου χρόνου.
- Αξιοπιστία : η μέτρηση που αντιστοιχεί στο πόσο καλά οι εσωτερικές καταστάσεις ενός συστήματος μπορούν να συναχθούν από τη γνώση των εξωτερικών εξόδων του.
- Δυνατότητα ανάκτησης : η ικανότητα επαναφοράς του συστήματος στο σημείο κατά το οποίο παρουσιάστηκε μια αποτυχία.
- Συμφωνία εργασίας : Αντιπροσωπεύει τον βαθμό στον οποίο το σύστημα υποστηρίζει τις εργασίες του χρήστη.(Burgin, 2009)

3.6 Κόστος (cost)

Ένα από τα πιο βασικά στοιχεία που επηρεάζουν την επιλογή ή τη σύνθεση ενός συστήματος εντοπισμού θέσης είναι το κόστος.

Υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες για να αναλυθεί το πιθανό κόστος:

- Το κόστος χρόνου που περιλαμβάνει τη διάρκεια εγκατάστασης και τις διοικητικές ανάγκες.
- Το κόστος χώρου που περιλαμβάνει τον αριθμό των υποδομών και το μέγεθος του hardware.
- Το κόστος κεφαλαίου περιλαμβάνει παράγοντες όπως την τιμή ανά κινητή μονάδα ή υποδομή και εκμίσθωση του προσωπικού.
- Το ενεργειακό κόστος που αντιστοιχεί στο σύνολο της ενέργειας που θα καταναλωθεί για την δημιουργία και λειτουργία του συστήματος εντοπισμού.

3.7 Περιορισμοί Συστημάτων Εντοπισμού Θέσης

Στο σημείο αυτό θα αναφερθούμε στους περιορισμούς που συναντάμε σε διάφορες περιπτώσεις των συστημάτων εντοπισμού, οι οποίοι συμβάλουν αρνητικά στην αποδοτικότητά τους.

Οι βασικοί περιορισμοί είναι οι εξής:

- LoS (Line Of Sight)

Αρκετά συστήματα απαιτούν οπτική επαφή με τη συσκευή του χρήστη ώστε να επιτευχθεί ο εντοπισμός, άρα χρειάζεται τα κύματα να διαδοθούν σε μια απευθείας διαδρομή από την πηγή στον δέκτη, πράγμα που δεν μπορεί να επιτευχθεί πάντα καθώς τα κύματα μπορεί να διαθλώνται, να ανακλώνται, να απορροφώνται από την ατμόσφαιρα ή ακόμη να εμποδίζονται από κτήρια και άλλα τεχνητά ή φυσικά εμπόδια. Το σύστημα GPS για παράδειγμα δεν μπορεί να εντοπίσει συσκευές σε εσωτερικούς χώρους καθώς απαιτείται LOS. (Hightower, Hightower, Borriello, & Borriello, 2001)

- Σήματα RF

Με την ολοένα αύξηση του αριθμού των τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών οι οποίες καλύπτουν μεγάλο μέρος του φάσματος, τα κύματα των ραδιοσυχνοτήτων μπορούν συχνά να διαταράξουν άλλους δέκτες, για αυτό και τα συστήματα RFID δε χρησιμοποιούνται σε περιοχές με ευαίσθητες συσκευές κοντά όπως πχ σε ένα νοσοκομείο.(Hightower et al., 2001)

- Υπέρβαση ορίου εξυπηρέτησης αιτημάτων

Ένα συχνό πρόβλημα που συναντάμε στα συστήματα εντοπισμού θέσης είναι η υπέρβαση του ορίου εξυπηρέτησης αιτημάτων. Υπάρχουν συστήματα τα οποία μπορούν να διαχειριστούν ταυτόχρονα πολλά αιτήματα (όπως το GPS) υπάρχουν όμως και συστήματα τα οποία δεν είναι σε θέση να εξυπηρετήσουν πολλές συσκευές (όπως τα συστήματα ανάγνωσης ετικετών).

(Hightower et al., 2001)

- Ιδιωτικότητα

Το απόρρητο των δεδομένων τοποθεσίας είναι το δικαίωμα να μην υποβάλλονται σε αχρησιμοποίητη συλλογή, τη συγκέντρωση, τη διανομή ή την πώληση ενός προφίλ τοποθεσίας είτε τοποθεσίας ενός ατόμου ή ενός οργανισμού που προέρχονται από δεδομένα θέσης. Σε περιπτώσεις στις οποίες η πληροφορία θέσης κριθεί ως κρίσιμη πληροφορία και δεν είναι επιθυμητή η διάδοση της πρέπει να επιλεγθούν συστήματα εντοπισμού θέσης τα οποία παρέχουν την δυνατότητα για τοπικό υπολογισμό θέσης δίχως την μεσολάβηση κάποιου κεντρικού εξυπηρετητή.(Ashur et al., n.d.; Wang & Loui, 2009)

3.8 Συμπεράσματα 3^{ου} Κεφαλαίου

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάστηκαν τα στοιχεία που μπορούν να μας βοηθήσουν να αξιολογήσουμε ένα σύστημα εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο.

Τα βασικά είναι : Μέση ακρίβεια (accuracy), Κατανομή ακρίβειας (precision), Πολυπλοκότητα (complexity) , Κλίμακα (scale), Ευρωστία (robustness) and Κόστος (cost).

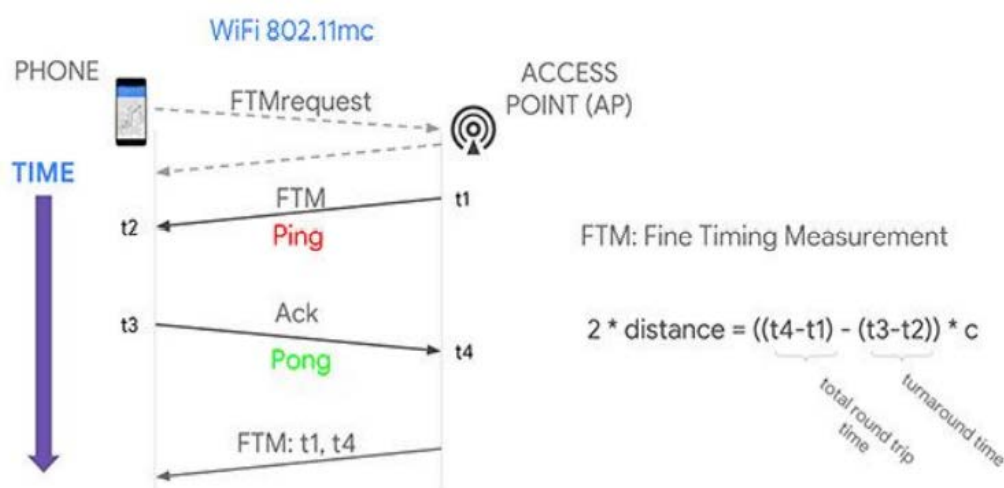
Για να μπορέσουμε να αντλήσουμε συμπεράσματα για την απόδοση ενός οποιουδήποτε συστήματος εντοπισμού θέσης αρχικά λαμβάνουμε υπόψη τη *μέση ακρίβεια* για να υλοποιήσουμε μετρήσεις στο περιβάλλον και να συγκρίνουμε την ακρίβεια με βάση προδιαγραφές που έχουμε θέσει. Με την ομοιομορφία της *κατανομής ακρίβειας* σε ένα χώρο ενισχύεται η αξιοπιστία του σε κάθε σημείο. Η *πολυπλοκότητα* του συστήματος είναι επιθυμητό να είναι μικρή ώστε να υπάρχει ευκολότερη προσαρμογή μεταξύ χρήστη και εξοπλισμού-εγκατάστασης. Η *κλίμακα* είναι κάτι που θα καθορίσει το μέγεθος του συστήματος καθώς υπολογίζει την περιοχή κάλυψης και τα αντικείμενα που μπορούν να εντοπιστούν στο επιθυμητό χρονικό διάστημα. Για την *ευρωστία* θα δοκιμαστεί το σύστημα σε εμπόδια και παρεμβολές ώστε να εξασφαλιστεί η συνεχή λειτουργία του. Τέλος, το *κόστος* χρόνου, χώρου, κεφαλαίου και ενέργειας διαμορφώνεται από τις τεχνολογίες και τις τεχνικές που θα χρησιμοποιηθούν, τις οποίες είδαμε νωρίτερα, ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ακρίβεια και η ευελιξία του συστήματος που απορρέει από το σχεδιασμό και τις επιθυμητές προδιαγραφές.

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : Μέθοδος Wi-Fi RTT

Η μέθοδος Wi-fi RTT αποτελεί την πιο σύγχρονη μέθοδο και βασίζεται στο πρωτόκολλο IEEE 802.11mc του 2016. Προσφέρει πολλές δυνατότητες και από το 2018 με την βοήθεια της Google η οποία παρείχε όσα χρειάζεται ένα smartphone όπως κατάλληλο λειτουργικό σύστημα (OS) και διεπαφές προγραμματισμού εφαρμογών (APIs) κατάφερε το smartphone να συμβαδίζει με το WiFi RTT με αποτέλεσμα η μέθοδος να αναδειχθεί σε μια μέθοδο υψηλών επιδόσεων και χαμηλού κόστους. Κάτω από κατάλληλες συνθήκες μπορούμε να προσεγγίσουμε ακρίβεια ακόμα και 1-2 m, γεγονός που ανάλογα την εφαρμογή μπορεί να κάνει την μέθοδο πολύ χρήσιμη, κυρίως στην πλοήγηση σε εσωτερικό χώρο.

4.1 Χρήση Wi-Fi RTT

Αναλυτικότερα, το FTM Wi-Fi RTT αποτελεί πρωτόκολλο επικοινωνίας και ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ πομπού/κινητού και δέκτη/AP (ping pong protocol). Το κινητό στέλνει το αρχικό σήμα για να ξεκινήσει η επικοινωνία με το AP και στην συνέχεια το AP αποστέλλει μαζί με την επιβεβαίωση επιτυχίας της σύνδεσης και την πληροφορία των χρόνων λήψης και εκπομπής του. Το κινητό το οποίο έχει καταγράψει τους δικούς του χρόνους εκπομπής και λήψης, επεξεργάζεται όλη την πληροφορία και καθορίζει το χρόνο που έκανε το σήμα να μεταβεί και να επιστρέψει μεταξύ κινητού και AP (χρόνος ταξιδιού – ToF). Γνωρίζοντας την ταχύτητα μετάδοσής του μπορεί να υπολογιστεί η απόσταση που διάνυσε το σήμα ως το μισό του γινομένου της χρονικής διαφοράς με την ταχύτητα διάδοσης.



Σχήμα 4.1 Βασική αρχή λειτουργίας,
(F. van Diggelen, R. Want, W. Wang, “How to achieve 1-meter accuracy in Android”, GPS World, 2018)

Για τον υπολογισμό της απόστασης αρχικά υπολογίζεται ο χρόνος ταξιδιού του σήματος:

$$RTT = (t_4 - t_1) - (t_3 - t_2)$$

όπου RTT: ο καθαρός χρόνος διάδοσης του σήματος,

t1: η χρονική στιγμή μετάδοσης του σήματος από το AP,

t2: η χρονική στιγμή λήψης του σήματος από την συσκευή,

t3: η χρονική στιγμή μετάδοσης του επιστρεφόμενου σήματος από την συσκευή και

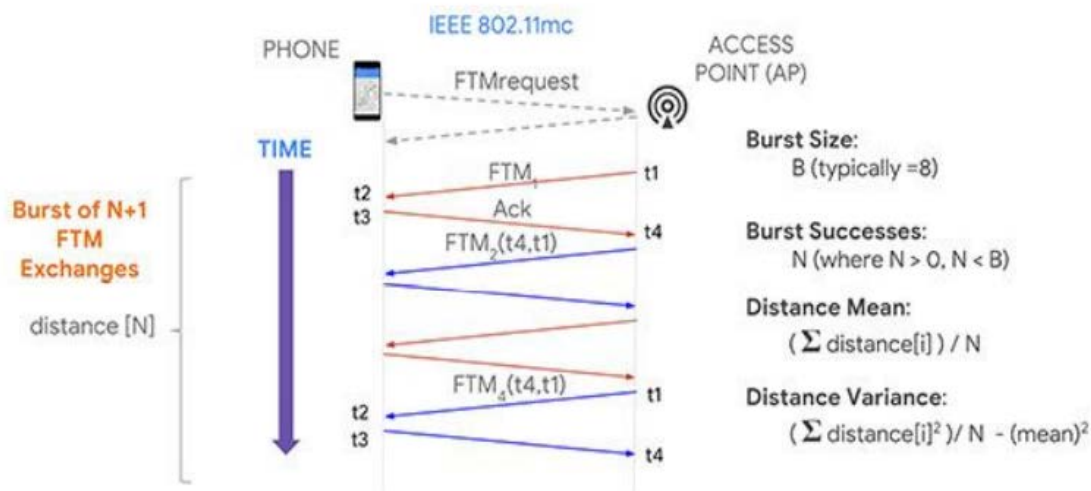
t4: η χρονική στιγμή λήψης του σήματος από το AP.

Με την αφαίρεση των αντίστοιχων χρόνων για αποστολή και λήψη του σήματος, αίρεται η ανάγκη συγχρονισμού των ρολογιών καθώς υπολογίζονται οι χρονικές διαφορές που μεσολαβούν από την αποστολή και την λήψη του σήματος. Για τον προσδιορισμό της ζητούμενης απόστασης, πολλαπλασιάζεται ο χρόνος ταξιδιού με την γνωστή ταχύτητα διάδοσης c και το γινόμενο που προκύπτει διαιρείται με το 2. Δηλαδή:

$$Range = c \times \frac{RTT}{2}$$

Για να αυξηθεί η ακρίβεια υπολογισμού των χρονικών διαφορών αλλά και έπειτα της απόστασης, κάθε στιγμή αποστέλλεται δέσμη σημάτων (εξ' ορισμού αποστέλλονται 8 σήματα αλλά αυτό μπορεί να τροποποιηθεί) και προκύπτει η μέση τιμή. Παράλληλα γίνεται γνωστό και το πλήθος των επιτυχημένων συναλλαγών, πληροφορία που μπορεί να αξιοποιηθεί στατιστικά για την εκτίμηση των συνθηκών περιβάλλοντος (μη ευνοϊκές όταν προκύπτει υψηλό πλήθος αποτυχημένων συναλλαγών).

Η μέθοδος στην πράξη, με την εκπομπή δέσμης σημάτων (burst) και τον υπολογισμό της μέσης απόστασης που προκύπτει παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 4.2 Η διάρκεια διάδοσης σήματος (RTT) στην πράξη
(F. van Diggelen, R. Want, W. Wang, “How to achieve 1-meter accuracy in Android”, GPS World, 2018)

4.2 Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα Wi-Fi RTT

Όπως κάθε μέθοδος, έτσι και η μέθοδος Wi-Fi RTT χαρακτηρίζεται από πλεονεκτήματα αλλά και αδυναμίες.

Σημαντικά πλεονεκτήματα είναι:

- Η δυνατότητα χρήσης χαμηλού κόστους (low-cost) εξοπλισμού, κάνοντας την μέθοδο προσιτή στο ευρύ κοινό (χρήση έξυπνου κινητού που υποστηρίζει FTM). Παράλληλα, το πρωτόκολλο Wi-Fi RTT (802.11mc standard) το οποίο έφερε αλλαγή στα chipsets ώστε να βελτιωθεί η χρονική ανάλυση, οδήγησε σε αυξημένες επιδόσεις ειδικότερα σε συνθήκες οπτικής (Line-of-Sight, LoS)
- Η προστασία προσωπικών δεδομένων και της θέσης του χρήστη, αφού δεν απαιτείται εκ των προτέρων σύνδεση της συσκευής με το AP και οι πληροφορίες που χρειάζονται για τον εντοπισμό θέσης βρίσκονται μόνο στην φορητή συσκευή.

Βέβαια, υπάρχουν και μειονεκτήματα στην μέθοδο, τα οποία είναι :

- Η μη πλήρης συμβατότητα με περιβάλλοντα σε συνθήκες μη οπτικής επαφής μεταξύ πομπού και δέκτη (Non-Line-of-Sight, NLoS), γεγονός που μειώνει την ακρίβεια σε τέτοιες δυσμενείς καταστάσεις.
- Το γεγονός ότι οι δέκτες είναι πιθανό να παρουσιάζουν συστηματικό σφάλμα (bias-offset) και απαιτείται διόρθωσή τους μέσω διαδικασίας βαθμονόμησης (calibration).
- Η επίδραση του φαινομένου της πολυανάκλασης του σήματος (multipath) το οποίο επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις μετρήσεις, και ειδικότερα σε δυσμενείς συνθήκες περιβάλλοντος.
- Η αναγκαιότητα να είναι γνωστή εκ των προτέρων η θέση των AP ώστε να είναι δυνατή η μετατροπή της μετρημένης απόστασης σε πληροφορία για την θέση του αντικειμένου (συντεταγμένες).

4.3 Συμπεράσματα 4^ο Κεφαλαίου

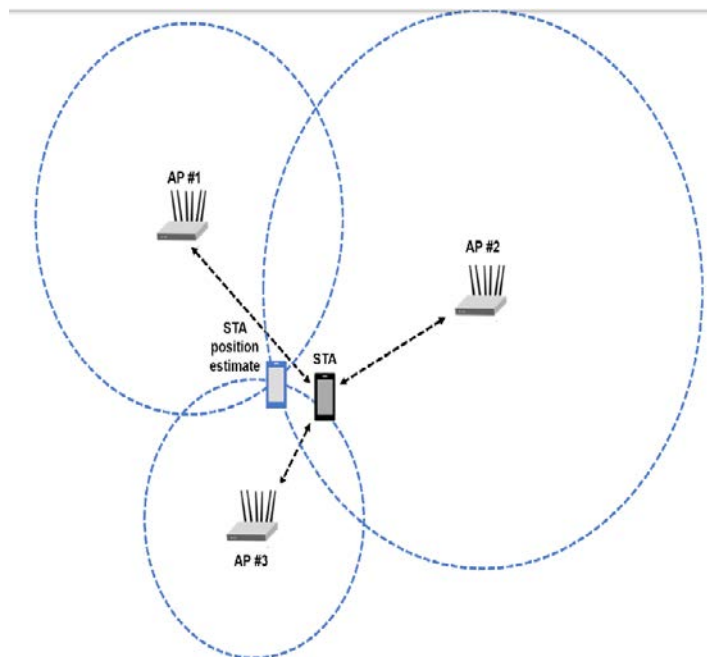
Η τεχνολογία WiFi με χρήση RTT (Round trip time) έχει τη δυνατότητα να παρέχει υψηλή ακρίβεια εντοπισμού της θέσης του σημείου, με χαμηλή καθυστέρηση απόκρισης (latency) χάρης στις Round trip time μετρήσεις, καθιστώντας την τεχνολογία κατάλληλη για εντοπισμό και παρακολούθηση θέσης σε πραγματικό (real time tracking). Επίσης, σε σχέση με άλλες μεθόδους αυτή παρουσιάζει μεγαλύτερη αξιοπιστία και κρίνεται ως σκληρότερη απέναντι σε ανακλάσεις και απώλειες σήματος. Το γεγονός ότι πλέον κάθε smartphone είναι συμβατό με το WiFi προσφέρει μεγάλη ευκολία στο χρήστη καθώς επιτρέπει μεγαλύτερη ευελιξία σε κάθε εφαρμογή ώστε να μπορεί να λειτουργήσει σε κάθε είδος χώρου, από μια μικρή αποθήκη έως ένα αεροδρόμιο (με χρήση κατάλληλου εξοπλισμού πάντα). Ως σημεία βελτίωσης κρίνονται η κατανάλωση ενέργειας του χρήστη όπου φαίνεται να μειώνεται γρηγορότερα όταν βρίσκεται σε διαρκή επικοινωνία καθώς και η ασφάλεια των προσωπικών δεδομένων του χρήστη όπου χρειάζεται ολοένα να γίνεται πιο ισχυρή, με κρυπτογράφηση και άλλα πρωτόκολλα ασφάλειας. Γενικότερα, η WiFi Rtt είναι μια αξιόπιστη και ακριβής λύση για την υλοποίηση ενός ισορροπημένου συστήματος εντοπισμού θέσης, με βασικούς άξονες τα όσα αναφέρθηκαν νωρίτερα σε συνδυασμό με ένα σχεδιασμό κατάλληλο για το εκάστοτε περιβάλλον όπου θα λειτουργήσει.

5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : Πείραμα Matlab “802.11az Positioning Using Super-Resolution Time of Arrival Estimation”

Στο πείραμα που ακολουθεί θα δείξουμε πως υπολογίζεται η θέση ενός σταθμού (STA) με ένα αλγόριθμο βασισμένο σε χρόνο άφιξης ToA (time of arrival) στο πρωτόκολλο IEEE® 802.11az™ Wi-Fi™ standard.

5.1 Πρωτόκολλο 802.11

Ο ToA (χρόνος άφιξης) υπολογίζεται χρησιμοποιώντας ταξινόμηση πολλαπλών σημάτων (MUSIC) κι έπειτα υπολογίζεται η δυσδιάστατη θέση του σταθμού με χρήση τριγωνοποίησης, σε διαφορετικές τιμές SNR (signal to noise ratio).



Σχήμα 5.1 Παράδειγμα εκτίμησης θέσης με χρήση τριών Aps
www.mathworks.com/help/wlan/ug/802-11az-indoor-positioning-using-super-resolution-time-of-arrival-estimation.html

Το πρωτόκολλο 802.11 ενεργοποιεί ένα STA για να εντοπίσει τη θέση του σχετικά με πολλαπλά σημεία πρόσβασης (Access points). Επίσης υποστηρίζει δύο [υψηλής απόδοσης] high-efficiency (HE) ranging physical layer (PHY) protocol data unit (PPDU) formats:

- HE ranging null data packet (NDP)
- HE trigger-based (TB) ranging NDP

Το HE ranging NDP και το HE TB ranging NDP είναι αντίστοιχα με τα HE sounding NDP και HE TB feedback NDP PPDU formats, όπως ορίζετε από το πρωτόκολλο 802.11ax™.

Το HE ranging NDP υποστηρίζει την εύρεση θέσης από ένα ή περισσότερους χρήστες με χρήση μιας προαιρετικά ασφαλούς αλληλουχίας HE long training field (HE-LTF).

Το HE ranging waveform ενός χρήστη περιέχει σύμβολα για ένα χρήστη, τα οποία υποστηρίζουν μια προαιρετική ασφαλή HE-LTF αλληλουχία.

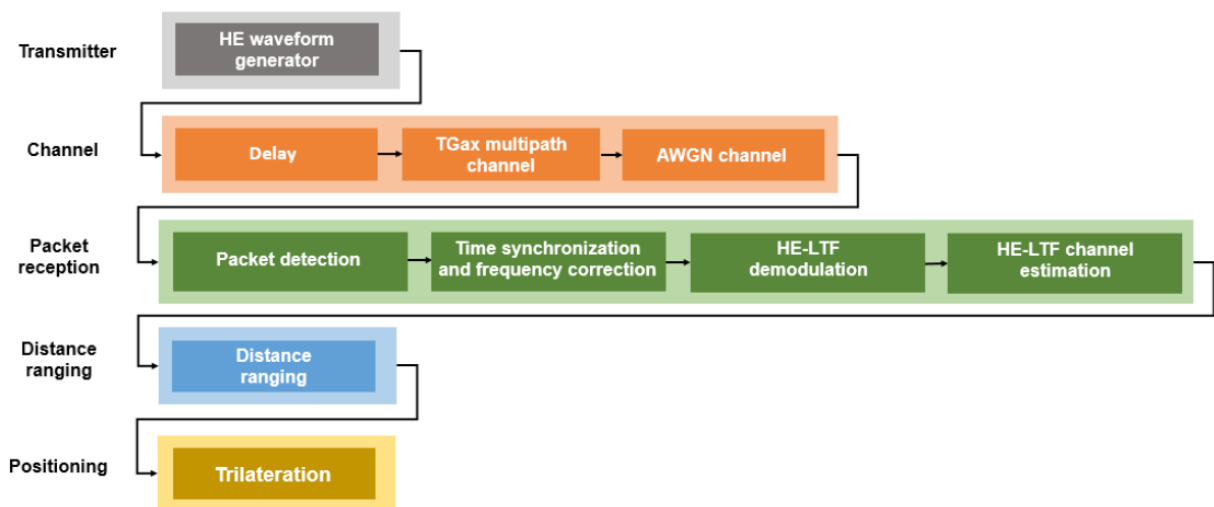
Το HE ranging waveform πολλαπλών χρηστών επιτρέπει μόνο ασφαλή HE-LTF symbols για πολλαπλούς χρήστες.

Για βελτίωση την ακρίβεια της εκτίμησης θέσης, οι κυματομορφές ενός και περισσοτέρων χρηστών μπορούν να περιέχουν πολλές επαναλήψεις των HE-LTF symbols.

Το παράδειγμα προσομοιώνει ένα δίκτυο 802.11az αποτελούμενο από ένα σταθμό (STA) και πολλά σημεία πρόσβασης (Aps). Για να εκτιμήσουμε τη θέση του STA, το δίκτυο χρειάζεται το λιγότερο 2 με 3 Aps.

Αρχικά στο παράδειγμα μετρώνται οι αποστολές πακέτων για κάθε ζευγάρι STA και AP, έπειτα τριγωνοποιεί τη θέση του STA με βάση τις μετρήσεις. Επιπλέον γίνονται επαναλήψεις των μετρήσεων για διαφορετικά SNR.

5.2 Αποστολή και λήψη πακέτων



Σχήμα 5.2 Επεξεργασία (Processing) για κάθε σύνδεση STA-AP

www.mathworks.com/help/wlan/ug/802-11az-indoor-positioning-using-super-resolution-time-of-arrival-estimation.html

Το παράδειγμα μοντελοποιεί τη συνδιαλλαγή πακέτων μεταξύ STA και Aps με τα παρακάτω βήματα:

1. Παραγωγή ενός ranging NDP
2. Εισαγωγή καθυστέρησης (Delay) του NDP με βάση μια τυχαία παραγόμενη απόσταση μεταξύ STA και Ap, που προσθέτει κλασματική και ακέραιη καθυστέρηση.

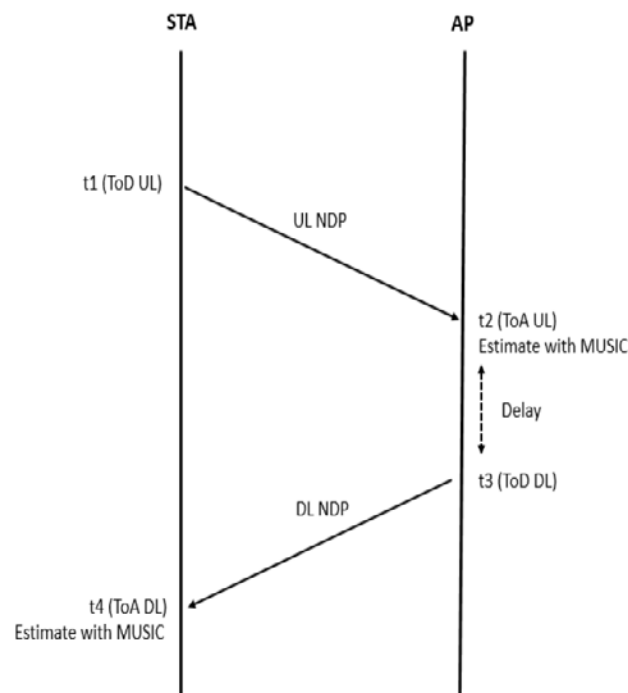
3. Είσοδος της κυματομορφής σε ένα εσωτερικό κανάλι Tgax.
4. Πρόσθεση λευκού θορύβου Gaussian (AWGN) στη λαμβανόμενη κυματομορφή.
5. Υλοποίηση συγχρονισμού και διόρθωση της λαμβανόμενης κυματομορφής
6. Αποδιαμόρφωση του HE-LTF
7. Εκτίμηση της συχνότητας απόκρισης του HE-LTF καναλιού
8. Εκτίμηση της απόστασης με χρήση του αλγόριθμου υψηλής ανάλυσης MUSIC
9. Συνδυασμός εκτιμήσεων απόστασης από τα ζευγάρια STA-Aps και τριγωνοποίηση της θέσης του STA.

5.3 Υπολογισμός Εμβέλειας (Distance Ranging)

Όπως θα δούμε και στο παρακάτω σχήμα, το παράδειγμα πραγματοποιεί μια μέτρηση εύρους απόστασης μεταξύ του σταθμού και του σημείου πρόσβασης καταγράφοντας τα χρονικά σημεία του NDP.

Ο σταθμός καταγράφει την χρονική τιμή t_1 (UL ToD) στην οποία εκπέμπει το ανοδικό NDP (UL NDP).

Έπειτα καταγράφει την τιμή t_2 (UL ToA) στην οποία λαμβάνει το UL NDP και καταγράφει την τιμή t_4 (DL ToA) στην οποία λαμβάνει το καθοδικό DL NDP.



Σχήμα 5.3 Μέτρηση φάσης μεταξύ ενός STA και ενός AP

www.mathworks.com/help/wlan/ug/802-11az-indoor-positioning-using-super-resolution-time-of-arrival-estimation.html

Αρχικά υπολογίζουμε το $TRTT$ (round trip time) με τη σχέση:

$$TRTT = (t_4 - t_1) - (t_3 - t_2)$$

Έπειτα υπολογίζουμε την απόσταση d μεταξύ του STA και του AP χρησιμοποιώντας τη σχέση:

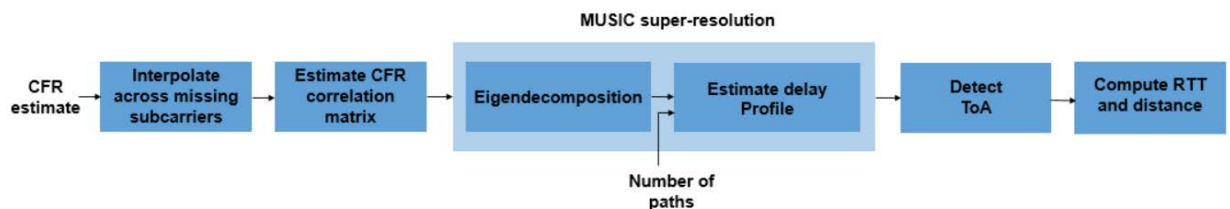
$$d = TRTT \cdot 2c,$$

όπου c ισούται με την ταχύτητα του φωτός.

Στο παράδειγμα υπολογίζονται τα t_2 και t_4 με χρήση του αλγορίθμου MUSIC. Για να υλοποιηθεί ο υπολογισμός ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

1. Παρεμβάλουμε μεταξύ των missing subcarriers του καναλιού συχνότητας αντίδρασης (CFR), υποθέτοντας ομαλή κατανομή συχνοτήτων στους subcarriers (uniform subcarrier spacing)
2. Υπολογίζουμε τον πίνακα CFR correlation
3. Συσχετίζουμε τα multipaths κάνοντας εξομάλυνση (spatial smoothing)
4. Κάνουμε forward-backward averaging για να βελτιώσουμε τον πίνακα συνάφειας (correlation matrix).
5. Χρησιμοποιούμε τον αλγόριθμο MUSIC, πραγματοποιώντας eigendecomposition στον πίνακα συνάφειας (correlation matrix) για να το διαχωρίσουμε σε υποχώρους (subspaces) σήματος και θορύβου. Υπολογίζουμε το προφίλ χρονοκαθυστερήσης (time-domain delay profile) βρίσκοντας όλες τις περιπτώσεις όπου το σήμα και ο θόρυβος βρίσκεται σε ορθογώνιους υποχώρους (orthogonal subspaces). Το παράδειγμα θεωρεί ότι η διάσταση του υποχώρου του σήματος (signal subspace dimension), η οποία είναι η διάσταση των πολλαπλών διαδρομών (multipaths), είναι γνωστή.
6. Καθορίζουμε το ToA βρίσκοντας την πρώτη κορυφή από τα recovered multipaths στο εκτιμώμενο προφίλ καθυστέρησης (delay profile), υποθέτοντας to be the direct-line-of-sight (DLOS) path

Στο μπλοκ διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται η διαδικασία που περιγράφεται παραπάνω

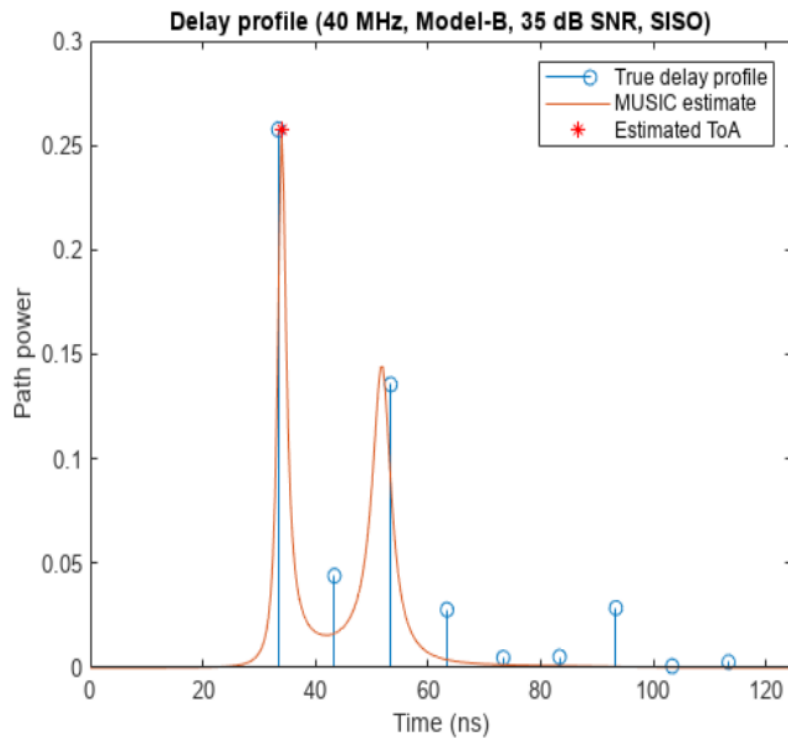


Σχήμα 5.4 Αλγόριθμος MUSIC

www.mathworks.com/help/wlan/ug/802-11az-indoor-positioning-using-super-resolution-time-of-arrival-estimation.html

Το ακόλουθο γράφημα συγκρίνει το αληθινό multipath delay προφίλ και το εκτιμώμενο MUSIC estimated delay προφίλ για μια 802.11 az link προσομοίωση (link simulation).

heRangingPlotDelayProfile()



Εικόνα 5.5 Προφίλ Delay

5.4 Ορισμός Παραμέτρων

Το παράδειγμα υλοποιεί μια προσομοίωση εμβέλειας και μία εντοπισμού θέσης με πολλαπλές iterations σε διάφορα SNR. Σε κάθε iteration, το Ap και ο STA ανταλλάσσουν πολλαπλά πακέτα, υπολογίζοντας το ranging error μεταξύ των Ap και STA σε κάθε iteration με σύγκριση της εκτιμώμενης απόστασης σε σχέση με την απόσταση που γνωρίζουμε.

Προσδιορίζουμε τον αριθμό των iterations, SNR και Aps στο δίκτυο. Για να υπολογίσουμε τη θέση του STA, το δίκτυο χρειάζεται στο ελάχιστο δύο ή τρία Aps. Για κάθε iteration, χρησιμοποιούμε ένα διαφορετικό σετ θέσεων των Aps, ένα διαφορετικό channel realization και διαφορετικό AWGN προφίλ. Επίσης παράγουμε ένα cumulative distribution function (CDF) για το απόλυτο σφάλμα εμβέλειας (absolute ranging error), χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις εμβέλειας από όλα τα iterations για όλα τα ζευγάρια STA-AP.

Αρχικά υλοποιούμε το πείραμα με χρήση τριών (3) Access Points.

numIterations = 50; % Number of iterations

snrRange = 15:10:35; % SNR points, in dB

numAPs = 3; % Number of Aps

Διαμορφώνουμε τις γεννήτριες κυματομορφών για κάθε Ap και STA

chanBW = 'CBW20'; % Channel bandwidth

numTx = 2; % Number of transmit antennas

numRx = 2; % Number of receive antennas

numSTS = 2; % Number of space-time streams

numLTFRepetitions = 3; % Number of HE-LTF repetitions

Διαμορφώνουμε τις παραμέτρους HE ranging NDP του STA.

cfgSTABase = heRangingConfig;

cfgSTABase.ChannelBandwidth = chanBW;

cfgSTABase.NumTransmitAntennas = numTx;

cfgSTABase.SecureHELTF = true;

cfgSTABase.User{1}.NumSpaceTimeStreams = numSTS;

cfgSTABase.User{1}.NumHELTFRepetition = numLTFRepetitions;

cfgSTABase.GuardInterval = 1.6;

Διαμορφώνουμε τις παραμέτρους HE ranging των Aps.

cfgAPBase = cell(1,numAPs);

for iAP = 1:numAPs

 cfgAPBase{iAP} = heRangingConfig;

 cfgAPBase{iAP}.ChannelBandwidth = chanBW;

 cfgAPBase{iAP}.NumTransmitAntennas = numTx;

Συστήματα Εντοπισμού Θέσης σε Εσωτερικό Χώρο με χρήση Wi-Fi RTT
cfgAPBase{iAP}.SecureHELTf = true;

cfgAPBase{iAP}.User{1}.NumSpaceTimeStreams = numSTS;

cfgAPBase{iAP}.User{1}.NumHELTfRepetition = numLTfRepetitions;

cfgAPBase{iAP}.GuardInterval = 1.6;

end

ofdmInfo = wlanHEOFDMInfo('HE-LTf',chanBW, cfgSTABase.GuardInterval);

sampleRate = wlanSampleRate(chanBW);

Διαμόρφωση Καναλιού

Διαμορφώνουμε το κανάλι WLAN TGax multipath με χρήση του wlanTGaxChannel System object™.

Το συγκεκριμένο System object μπορεί να παράξει ένα κανάλι με ένα dominant direct path στο οποίο το DLOS path είναι το ισχυρότερο μονοπάτι, ή ένα κανάλι με non-dominant direct path για το οποίο το DLOS path είναι ανιχνεύσιμο μα όχι το ισχυρότερο μονοπάτι.

delayProfile = 'Model-B'; % TGax channel multipath delay profile

carrierFrequency = 5e9; % Carrier frequency, in Hz

speedOfLight = physconst('lightspeed');

chanBase = wlanTGaxChannel;

chanBase.DelayProfile = delayProfile;

chanBase.NumTransmitAntennas = numTx;

chanBase.NumReceiveAntennas = numRx;

chanBase.SampleRate = sampleRate;

chanBase.CarrierFrequency = carrierFrequency;

chanBase.ChannelBandwidth = chanBW;

chanBase.PathGainsOutputPort = true;

Συστήματα Εντοπισμού Θέσης σε Εσωτερικό Χώρο με χρήση Wi-Fi RTT
chanBase.NormalizeChannelOutputs = false;

Διαμορφώνουμε τις παραμέτρους HE ranging των Aps.

Θέτουμε μια καθυστέρηση φίλτρου καναλιού (channel filter delay) και τον αριθμό των μονοπατιών (paths).

```
chBaseInfo = info(chanBase);
```

```
chDelay = chBaseInfo.ChannelFilterDelay;
```

```
numPaths = size(chBaseInfo.PathDelays,2);
```

5.5 Μέτρηση Εμβέλειας (Ranging Measurement)

Υλοποιούμε μια προσομοίωση εμβέλειας με πολλαπλά iterations για όλα τα ζευγάρια STA-AP.

Αποτυπώνουμε οι τιμές των ranging mean absolute error (MAE) και ranging error CDF για κάθε SNR.

```
delayULDL = 16e-6; % Time delay between UL NDP ToA and DL NDP ToD, in seconds
```

```
numSNR = numel(snrRange);
```

```
distEst = zeros(numAPs,numIterations,numSNR); % Estimated distance
```

```
distance = zeros(numAPs,numIterations,numSNR); % True distance
```

```
positionSTA = zeros(2,numIterations,numSNR); % Two-dimensional position of the STA
```

```
positionAP= zeros(2,numAPs,numIterations,numSNR); % Two-dimensional positions of the APs
```

```
per = zeros(numSNR,1); % Packet error rate (PER)
```

```
%parfor isnr = 1:numSNR % Use 'parfor' to speed up the simulation
```

```
for isnr = 1:numSNR
```

```
    % Use a separate channel and waveform configuration object for each parfor stream
```

```
    chan = chanBase;
```

```
    cfgAP = cfgAPBase;
```

Συστήματα Εντοπισμού Θέσης σε Εσωτερικό Χώρο με χρήση Wi-Fi RTT
cfgSTA = cfgSTABase;

```
% Initialize ranging error and total failed packet count variables

rangingError = 0;

failedPackets = 0;

% Set random substream index per iteration to ensure that each
% iteration uses a repeatable set of random numbers

stream = RandStream('combRecursive','Seed',123456);

stream.Substream = isnr;

RandStream.setGlobalStream(stream);

% Define the SNR per active subcarrier to account for noise energy in nulls

snrVal = snrRange(isnr) - 10*log10(ofdmInfo.FFTLength/ofdmInfo.NumTones);

for iter = 1:numIterations

    % Generate random AP positions

    [positionSTA(:,iter,isnr),positionAP(:,iter,isnr),distanceAllAPs] =
heGeneratePositions(numAPs);

    distance(:,iter,isnr) = distanceAllAPs;

% Range-based delay

delay = distance(:,iter,isnr)/speedOfLight;

sampleDelay = delay*sampleRate;
```

```
% Loop over the number of APs

for ap = 1:numAPs

    linkType = ["Uplink", "Downlink"];

    % ToD of UL NDP (t1)

    todUL = randsrc(1,1,0:1e-9:1e-6);

    % Loop for both UL and DL transmission

    numLinks = numel(linkType);

    txTime = zeros(1,numLinks);

    for l = 1:numLinks

        if linkType(l) == "Uplink" % STA to AP

            cfgSTA.UplinkIndication = 1; % For UL

            % Generate a random secure HE-LTF sequence for the exchange

            cfgSTA.User{1}.SecureHELTFSequence = dec2hex(randsrc(1,10,(0:15)))';

            cfg = cfgSTA;

        else % AP to STA

            % Generate a random secure HE-LTF sequence for the exchange

            cfgAP{ap}.User{1}.SecureHELTFSequence = dec2hex(randsrc(1,10,(0:15)))';

            cfg = cfgAP{ap}; % For DL

        end

    end

end
```

```
% Set different channel for UL and DL, assuming that the channel is not reciprocal
```


% Generate HE Ranging NDP transmission

tx = heRangingWaveformGenerator(cfg);

% Introduce time delay (fractional and integer) in the transmit waveform

txDelay = heDelaySignal(tx,sampleDelay(ap));

% Pad signal and pass through multipath channel

txMultipath = chan([txDelay;zeros(50,cfg.NumTransmitAntennas)]);

% Pass waveform through AWGN channel

rx = awgn(txMultipath,snrVal);

% Perform synchronization and channel estimation

[chanEstActiveSC,integerOffset] = heRangingSynchronize(rx,cfg);

% Estimate the transmission time between UL and DL

if ~isempty(chanEstActiveSC) % If packet detection is successful

% Estimate fractional delay with MUSIC super-resolution

fracDelay = heRangingTOAEstimate(chanEstActiveSC,ofdmInfo.ActiveFFTIndices, ...
ofdmInfo.FFTLength,sampleRate,numPaths);

integerOffset = integerOffset - chDelay; % Account for channel filter delay

intDelay = integerOffset/sampleRate; % Estimate integer time delay

```
txTime(1) = intDelay + fracDelay; % Transmission time
```

```
else % If packet detection fails
```

```
txTime(1) = NaN;
```

```
end
```

```
end
```

```
if ~any(isnan(txTime)) % If packet detection succeeds
```

```
% TOA of UL waveform (t2)
```

```
toaUL = todUL + txTime(1);
```

```
% Time of departure of DL waveform (t3)
```

```
todDL = toaUL + delayULDL;
```

```
% TOA DL waveform (t4)
```

```
toaDL = todDL + txTime(2);
```

```
% Compute the RTT
```

```
rtt = (toaDL-todUL) - (todDL-toaUL);
```

```
% Estimate the distance between the STA and AP
```

```
distEst(ap,iter,isnr) = (rtt/2)*speedOfLight;
```

```
% Accumulate error to MAE
```

```
rangingError = rangingError + abs(distanceAllAPs(ap) - distEst(ap,iter,isnr));
```

```
else % If packet detection fails
```

Συστήματα Εντοπισμού Θέσης σε Εσωτερικό Χώρο με χρήση Wi-Fi RTT
distEst(ap,iter,isnr) = NaN;

failedPackets = failedPackets + 1;

end

end

end

mae = rangingError/((numAPs*numIterations) - failedPackets); % MAE for successful packets

per(isnr) = failedPackets/(numAPs*numIterations); % PER

if(per(isnr) > 0.01) % Use only successful packets for ranging and positioning

warning('wlan:discardPacket','At SNR = %d dB, %d%% of packets were
discarded',snrRange(isnr),100*per(isnr));

end

disp(['At SNR = ',num2str(snrRange(isnr)), ' dB, ', 'Ranging mean absolute error = ',num2str(mae),
' meters.'])

end

At SNR = 15 dB, Ranging mean absolute error = 0.57082 meters.

At SNR = 25 dB, Ranging mean absolute error = 0.40224 meters.

At SNR = 35 dB, Ranging mean absolute error = 0.25439 meters.

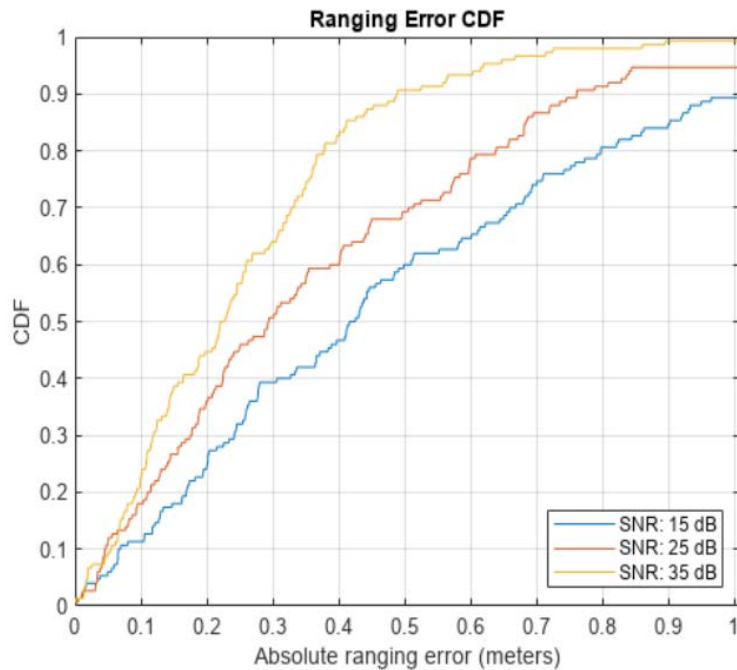
% Reshape to consider all packets within one SNR point as one dataset

rangingError = reshape(abs(distance - distEst),[numAPs*numIterations,numSNR]);

hePlotErrorCDF(rangingError,snrRange)

xlabel('Absolute ranging error (meters)')

title('Ranging Error CDF')



Εικόνα 5.6 Σφάλμα εμβέλειας CDF

5.6 Τριγωνοποίηση (Trilateration)

Τριγωνοποιούμε τη θέση του STA σε δύο διαστάσεις χρησιμοποιώντας τις εκτιμήσεις της απόστασης και στη συνέχεια υπολογίζουμε την τιμή του root-mean-square error (RMSE) για κάθε iteration με βάση τον υπολογισμό θέσης του STA. Αποτυπώνουμε το average RMSE και το CDF για κάθε SNR.

```
positionSTAEst = zeros(2,numIterations,numSNR);
```

```
RMSE = zeros(numIterations,numSNR);
```

```
for isnr = 1:numSNR
```

```
    for i = 1:numIterations
```

```
        positionSTAEst(:,i,isnr) =  
hePositionEstimate(squeeze(positionAP(:,i,isnr)),squeeze(distEst(:,i,isnr)));
```

```
    end
```

```
% Find the RMSE for each iteration, then take the mean of all RMSEs
```

```
RMSE = reshape(sqrt(mean(((positionSTAEst-positionSTA).^2),1)),[numIterations numSNR]);
```

```
posEr = mean(RMSE(:,isnr),'all','omitnan');
```

```
disp(['At SNR = ',num2str(snrRange(isnr)),' dB, ', 'Average RMS Positioning error = ',  
num2str(posEr), ' meters.'])
```

Συστήματα Εντοπισμού Θέσης σε Εσωτερικό Χώρο με χρήση Wi-Fi RTT
end

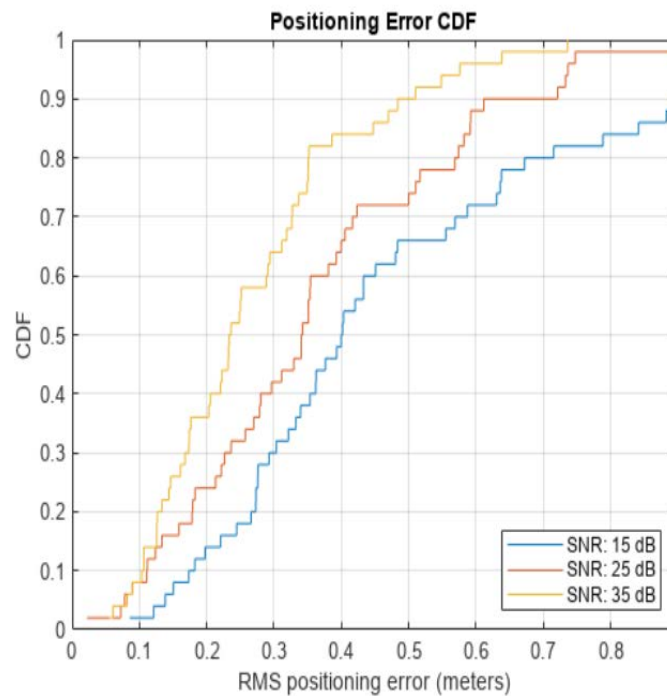
At SNR = 15 dB, Average RMS Positioning error = 0.61713 meters.

At SNR = 25 dB, Average RMS Positioning error = 0.40481 meters.

At SNR = 35 dB, Average RMS Positioning error = 0.26968 meters.

```
hePlotErrorCDF(RMSE,snrRange)
```

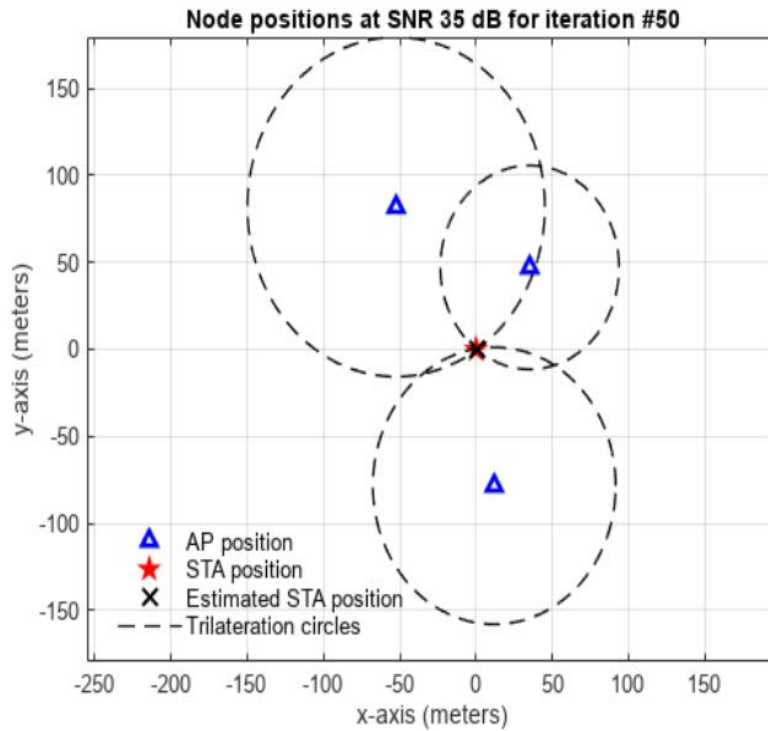
```
xlabel('RMS positioning error (meters)')
```



Εικόνα 5.7 Σφάλμα θέσης CDF

```
title('Positioning Error CDF')
```

Αποτυπώνουμε σε γράφημα την εκτίμηση θέσης και τους κύκλους που προκύπτουν από την τριγωνοποίηση του τελευταίου iteration.



Εικόνα 5.8 Θέσεις Node

`hePlotTrilaterationCircles(positionAP(:, :, numIterations, numSNR), positionSTAEst(:, numIterations, numSNR), distEst(:, numIterations, numSNR), snrRange(numSNR), numIteration`

5.7 Συμπεράσματα 5^{ου} Κεφαλαίου

Με το παράδειγμα στο Matlab, μαθαίνουμε πως να χειριζόμαστε τον αλγόριθμο θέσης με το IEEE® 802.11az™ standard.

Αναλυτικότερα, φαίνεται ο τρόπος υπολογισμού της απόστασης εκπομπής-λήψης πακέτων ανάμεσα σε ένα STA και ένα AP με χρήση του αλγόριθμου MUSIC, καθώς και πως να εκτιμούμε τη θέση ενός STA σε δύο διαστάσεις με χρήση μετρήσεων εμβέλειας από πολλά ζευγάρια STA-AP.

Επίσης φαίνεται η λειτουργία του τριγωνισμού και η αποτελεσματικότητά του για ένα ακριβέστερο εντοπισμό της θέσης του STA με την τοποθέτηση τριών Aps.

Τέλος, το παράδειγμα αναδεικνύει την αύξηση της γενικότερης απόδοσης και ακρίβειας του συστήματος στις υψηλότερες τιμές SNR.

6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : Ολοκληρωμένο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (διαθέσιμο στο εμπόριο) – Aruba Meridian

Σε αυτό το κεφάλαιο θα προσπαθήσουμε να δώσουμε μια εικόνα ενός ολοκληρωμένου IPS που είναι διαθέσιμο στο εμπόριο και εφαρμόζεται σε πολλούς κλάδους όπως αναφέραμε και στην εισαγωγή.

Θα παρουσιάσουμε το σύστημα Meridian της Aruba.



6.1 Aruba Meridian

Το Aruba Meridian είναι ένα σύστημα εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο που περιλαμβάνει τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης με smart συσκευές, ώστε να παρέχει οδηγίες κατεύθυνσης και παρακολούθησης κάποιων συγκεκριμένων σημείων που έχουν οριστεί, με σκοπό οι τελικοί χρήστες-πελάτες να έχουν πρόσβαση σε εύκολη πλοήγηση ενός εσωτερικού χώρου. Επίσης δίνει στον κάθε οργανισμό τα στοιχεία συμπεριφοράς των χρηστών-πελατών ώστε να μπορεί να διαμορφώσει τον χώρο, το εμπόρευμα κλπ ώστε να βελτιώσει την εμπειρία του χρήστη-πελάτη.

Η cloud based αρχιτεκτονική του Meridian που επιτρέπει σε οργανισμούς και χώρους, όπως εταιρίες, πανεπιστήμια, στάδια, αεροδρόμια, μουσεία, νοσοκομεία και καταστήματα λιανικής πώλησης, να διαχειρίζονται εύκολα τις ανάγκες τους και των πελατών τους σε υπηρεσίες τοποθεσίας ακόμη και απομακρυσμένα.

Το Meridian συνδυάζει την τεχνολογία του Wi-Fi καθώς και των Bluetooth beacons.

Αυτός ο συνδυασμός οφείλεται κυρίως στην αδυναμία των έξυπνων κινητών με λογισμικό iOS να δώσουν πληροφορίες σχετικά με την ένταση του Wi-Fi στο δίκτυο που βρίσκονται, οπότε χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν τα beacons. Στις android συσκευές μπορεί να λειτουργήσει κανονικά το Wi-Fi.

Χαρτογράφηση και Δρομολόγηση (MAPPING AND ROUTING)

Η στατική εύρεση δρόμου (wayfinding) επιτρέπει στους χρήστες να ορίσουν ένα σημείο εκκίνησης και τον επιθυμητό προορισμό ούτως ώστε να λάβουν λεπτομερείς οδηγίες για το πώς να φτάσουν εκεί.

Επίσης υπάρχει η δυνατότητα πολύ εύκολα κανείς να ανεβάσει μια εικόνα κάτοψης ενός χώρου και να μετατραπεί σε floorplan όπου θα μπορεί να αποτυπωθεί σε κάθε συσκευή.

Blue Dot Wayfinding

Το να γνωρίζουμε την θέση μας την συγκεκριμένη στιγμή σε ένα floorplan αποτελεί μια πολύ σημαντική πληροφορία. Χρησιμοποιώντας τα beacons της Aruba (μπαταρίας ή μη μπαταρίας), οι χρήστες μπορούν να μάθουν την πραγματική τους τοποθεσία, ως μια μπλε κουκίδα, και να δέχονται πλοήγηση και κατευθύνσεις σε πραγματικό χρόνο.

Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα κοινής χρήσης της τοποθεσίας ώστε ένας χρήστης να μπορεί να βρεθεί με ευκολία σε ένα μεγάλο χώρο με έναν άνθρωπο που θέλει να συναντήσει. Η ακρίβεια είναι γύρω στα 3 μέτρα με 1-2 δευτερόλεπτα καθυστέρησης.



Εικόνα 6.1 Blue dot wayfinding

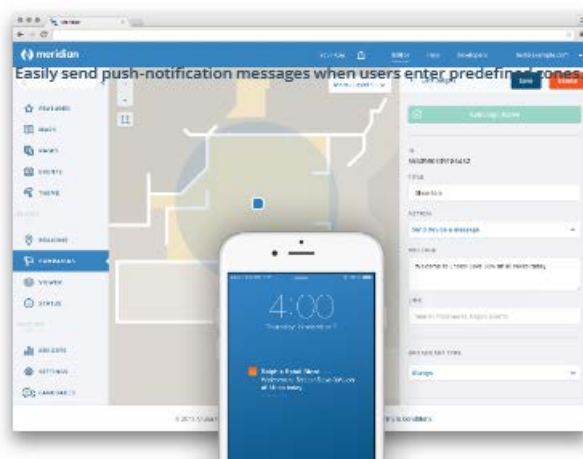
Μέσω των beacons και των access points (Aps) της Aruba μπορούμε να έχουμε αποτυπωμένα στην εφαρμογή μας χρήσιμα σημεία σε ένα μεγάλο χώρο. Τα σημεία αυτά διαφέρουν ανάλογα με το είδος του χώρου. Για παράδειγμα σε ένα νοσοκομείο μπορεί ενδεχομένως κανείς να δει που βρίσκεται το κοντινότερο κρεβάτι ή καρότσι μεταφοράς, οι τουαλέτες ή το γραφείο κάποιου γιατρού.



Εικόνα 6.2 Asset Tracking

Proximity Triggers

Μέσω των beacons και της εφαρμογής μπορεί ο διαχειριστής του χώρου ή της επιχείρησης να στείλει push ειδοποιήσεις σε οποιοδήποτε χρήστη έχει ενεργοποιημένη την συγκεκριμένη λειτουργία ώστε όταν εκείνος περνάει από κάποιο συγκεκριμένο beacon πχ η έξοδος ενός καταστήματος να του έρχεται η push ειδοποίηση για να αξιολογήσει την εμπειρία του στο κατάστημα ή οποιαδήποτε άλλη καμπάνια ενδιαφέρει την εκάστοτε επιχείρηση ή οργανισμό.



Εικόνα 6.3 Proximity triggers

6.2 Εξοπλισμός (Hardware) και Λογισμικό (Software) Aruba Meridian

Παρακάτω θα δούμε τον εξοπλισμό (hardware) που χρειάζεται για την επίτευξη του εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο με την πλατφόρμα Aruba Meridian.

6.2.1 Aruba Beacons (BLE-enabled Access Points)

Τα beacons της Aruba είναι συσκευές που μεταδίδουν BLE (Bluetooth Low Energy) σήματα τα οποία ανιχνεύονται από τις κινητές συσκευές των χρηστών. Χρησιμοποιούνται καθαρά σε εφαρμογές εντοπισμού θέσης όπου μας ενδιαφέρει η μεγάλη ακρίβεια, και τοποθετούνται στα κατάλληλα σημεία ώστε να δίνεται η ακριβής θέση του χρήστη για να μπορεί να λαμβάνει αδιάκοπα οδηγίες για κάθε του «βήμα» (turn to turn instructions).



Εικόνα 6.4 Aruba beacons

6.2.2 Aruba Access Points (Wi-Fi and BLE)

Τα access points της Aruba είναι συσκευές που διαμοιράζουν το ασύρματο δίκτυο Wi-Fi εξυπηρετώντας κυρίως στη συνδεσιμότητα των χρηστών. Υπάρχουν και μοντέλα τα οποία διαθέτουν BLE (Bluetooth Low Energy) ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές εντοπισμού θέσης, βέβαια ως κάτι επιπρόσθετο σε μη σύνθετους χώρους, και όχι ως κύρια λειτουργία τους καθώς αυτήν αποτελεί η κάλυψη του ασύρματου δικτύου.



Εικόνα 6.5 Access Point της Aruba (300 series)

6.2.3 Κινητές (smart) συσκευές

Οι κινητές (smart) συσκευές είναι στην ουσία ο τελικός χρήστης της υπηρεσίας εντοπισμού θέσης και η συσκευή η οποία θα μεταδώσει την πληροφορία στον άνθρωπο. Αρχικά, με την εγκατάσταση μιας εφαρμογής (App) ξεκινά η επικοινωνία μέσω της smart συσκευής και των beacons.

Με την τεχνική της εγγύτητας τα beacons αναγνωρίζουν και ανταλλάσσουν πακέτα περιεχομένου με το χρήστη όπως πληροφορίες θέσης, ειδοποιήσεις σχετικά με το σημείο που βρίσκεται, καθοδήγηση κ.α. Φυσικά, η εφαρμογή για την πλατφόρμα Aruba Meridian υποστηρίζεται από συσκευές που διαθέτουν λειτουργικό σύστημα Android όπως και iOS.



Εικόνα 6.6 Επικοινωνία μεταξύ smart συσκευής και beacon

<https://blogs.arubanetworks.com/solutions/how-do-developers-include-meridian-location-services-in-their-own-mobile-app/>

6.2.4 Server Infrastructure (Υποδομή διακομιστή)

Για την υλοποίηση του εγχειρήματος της πλατφόρμας χρειάζεται υποστήριξη από servers συνδεδεμένους στο cloud όπου θα μπορέσουν να «τρέξουν» όλες τις απαιτούμενες λειτουργίες ώστε να καταστεί δυνατή η παροχή της υπηρεσίας. Αρχικά με την χρήση του cloud μπορεί απομακρυσμένα να υπάρξει υποστήριξη, έλεγχος και διαχείριση σχετικά με :

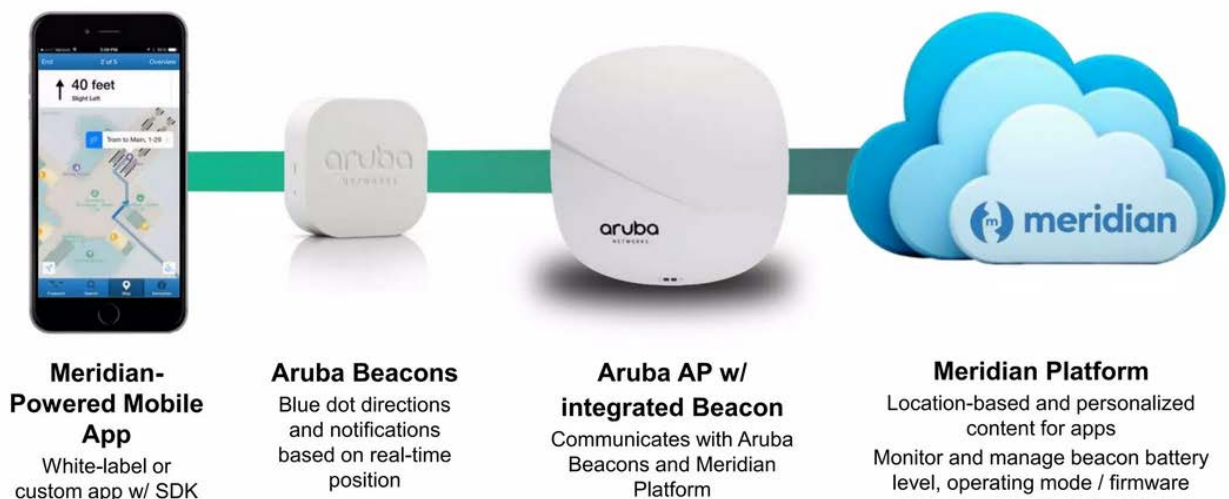
Τον Meridian Editor, ο οποίος χρησιμοποιείται από τους χρήστες ως Σύστημα Διαχείρισης Περιεχομένου (Content Management System -CMS) για όλα τα περιεχόμενα σχετικά με τη θέση χρήστη ή σημείου.

Τα analytics θέσης , δηλ τα δεδομένα που απορρέουν από την συμπεριφορά ενός χρήστη σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον, όπως π.χ. σε ποιους διαδρόμους κινήθηκε, σε ποιον όροφο έμεινε παραπάνω ώρα κλπ ώστε να χρησιμοποιηθούν ως εργαλεία για βελτιστοποίηση της εμπειρίας του χρήστη στον χώρο αυτό.

Μέτρα ασφάλειας, ώστε να προστατεύονται τα ευαίσθητα προσωπικά δεδομένα των χρηστών και να διασφαλιστεί η αξιοπιστία της πλατφόρμας.

Αδιάκοπη σύνδεση και ενσωμάτωση όλων των στοιχείων που παρέχει το Aruba Meridian στις εφαρμογές των κινητών των χρηστών.

Αναβαθμίσεις (updates), όπου δύνανται να εντάξουν νέα στοιχεία και βελτιώσεις στην εφαρμογή και παράλληλα να λύσουν τυχόν προβλήματα (bugs).



Εικόνα 6.7 Στοιχεία που αποτελούν το software και hardware του Aruba Meridian

6.3 Aruba Meridian Editor

Ο Aruba Meridian Editor όπως αναφέραμε και παραπάνω αποτελεί ένα Σύστημα Διαχείρισης Περιεχομένου το οποίο μας παρέχει αρχικά **πληροφορίες χαρτών**, με την παρουσίαση των εσωτερικών-εξωτερικών χώρων, ορόφων και λοιπών περιοχών που έχουν οριστεί και **σημείων ενδιαφέροντος**, που ενδεχομένως υπάρχουν στο χώρο πχ ενός μουσείου.

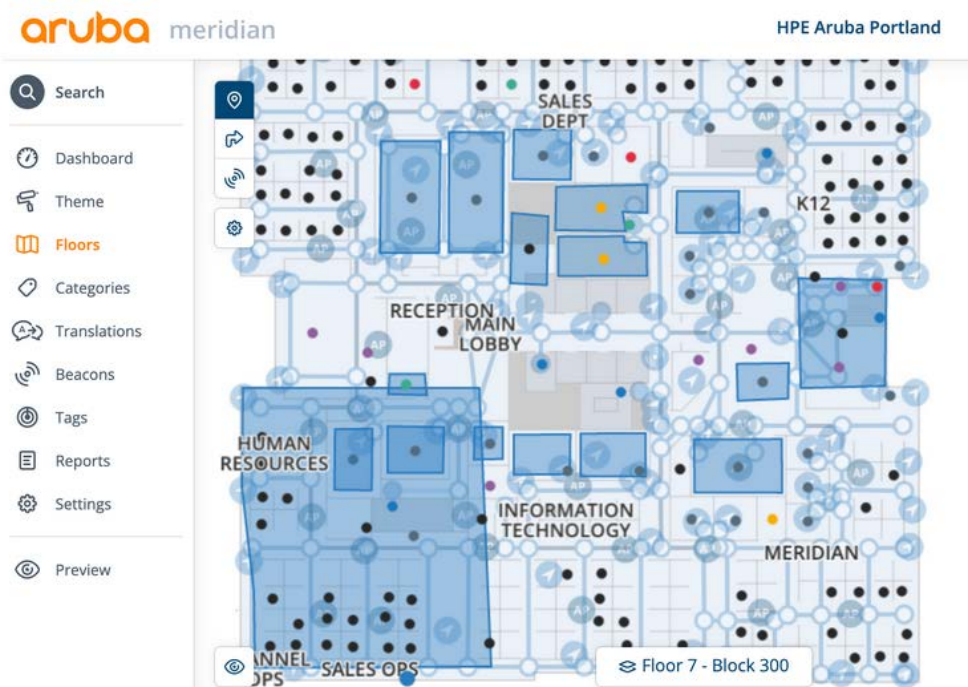
Επιπλέον, παρέχει μια διαδραστική εμπειρία με την πλοήγηση «βήμα - βήμα» (turn by turn directions), και ενσωματώνει εικόνες, βίντεο ή ηχητικά μηνύματα που εμφανίζονται ως ειδοποίηση στον χρήστη όταν βρίσκεται σε συγκεκριμένα σημεία.

Περιλαμβάνει επίσης το AppMaker, με το οποίο μπορεί κάποιος υπεύθυνος του χώρου να διαμορφώσει την εφαρμογή, τους χάρτες κα στοιχεία που θεωρεί σημαντικά για την εμπειρία του χρήστη.

Επιπρόσθετα, συλλέγονται δεδομένα των χρηστών (analytics) όπως αν υπάρχουν συνήθειες κινήσεων και η γενικότερη συμπεριφορά ενός πχ πελάτη στο χώρο, η κίνηση σε συγκεκριμένους χώρους κ.α που μπορούν να αποδειχθούν θετικά για τον διαχειριστή μιας επιχείρησης ή οργανισμού.

Ακόμη ένα στοιχείο του Editor είναι η διαχείριση των αδειών για την διαμόρφωση της εφαρμογής. Δηλ. μπορεί ένας διαχειριστής να ορίσει και άλλους διαχειριστές ώστε να έχουν πρόσβαση στον Editor και να προβούν σε πιθανές αλλαγές.

Τέλος, μέσω του Editor θα δημιουργηθεί η ενημέρωση προς τον τελικό χρήστη για τυχόν αναβαθμίσεις ή αλλαγές που έχουν γίνει.



Εικόνα 6.8 Aruba Meridian Editor

6.4 Συμπεράσματα 6^ο Κεφαλαίου

Το Aruba Meridian αποτελεί μια ολοκληρωμένη, ακριβής και ευέλικτη λύση για τον εντοπισμό θέσης σε οποιονδήποτε εσωτερικό χώρο. Είναι κατάλληλο για κάθε τομέα, όπως λιανικό εμπόριο, χώρους υγείας, ξενοδοχεία κ.α οργανισμούς κι επιχειρήσεις, καθώς μπορεί να προσαρμοστεί πολύ εύκολα στις ανάγκες και στην συνθετότητα του κάθε χώρου.

Η ακρίβεια στον εντοπισμό θέσης προκύπτει με τη χρήση κυρίως των Aruba beacons και την τεχνολογία BLE (Bluetooth Low Energy).

Με την διαχείριση μέσω cloud δίνεται η δυνατότητα για τροποποίηση από τον οργανισμό σε χάρτες, σημεία ενδιαφέροντος, οδηγίες, push ειδοποιήσεις κ.α. ώστε να βελτιωθεί η εμπειρία του χρήστη.

Τέλος, με τα Analytics μπορεί να δοθεί μια εικόνα της συμπεριφοράς των χρηστών ώστε να μπορέσει ο κάθε οργανισμός να διαμορφώσει κατάλληλα το χώρο.

7 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο : 5G σε Συστήματα Εντοπισμού Θέσης

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα εξετάσουμε τη χρήση και την αναβάθμιση που μπορεί να προσφέρει το δίκτυο 5G στα συστήματα εντοπισμού θέσης. Το 5G είναι ένα παγκόσμιο ασύρματο δίκτυο, διάδοχος του 4G, σχεδιασμένο για να συνδέει κάθε συσκευή μαζί με άλλες πχ όπως μηχανές, αντικείμενα και συσκευές παρέχοντας πολύ μεγάλη ταχύτητα στη μεταφορά μεγάλου όγκου δεδομένων και άλλα οφέλη και αδυναμίες που θα εξετάσουμε παρακάτω.

7.1 Χαρακτηριστικά 5G

Το 5G λειτουργεί με βάση τις κεραιές MIMO (Multi user- Multiple input- Multiple output) όπου δίνουν την δυνατότητα σε πολλούς χρήστες να χρησιμοποιούν τις πολλές εισόδους και εξόδους που διαθέτουν, όμως αντί για πολυκατευθυντική εκπομπή παρέχουν έναν ακριβή προσανατολισμό του σήματος σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση.

4G Antennas (*Multidirectional broadcast*)



Εικόνα 7.1 Κεραιές 4G

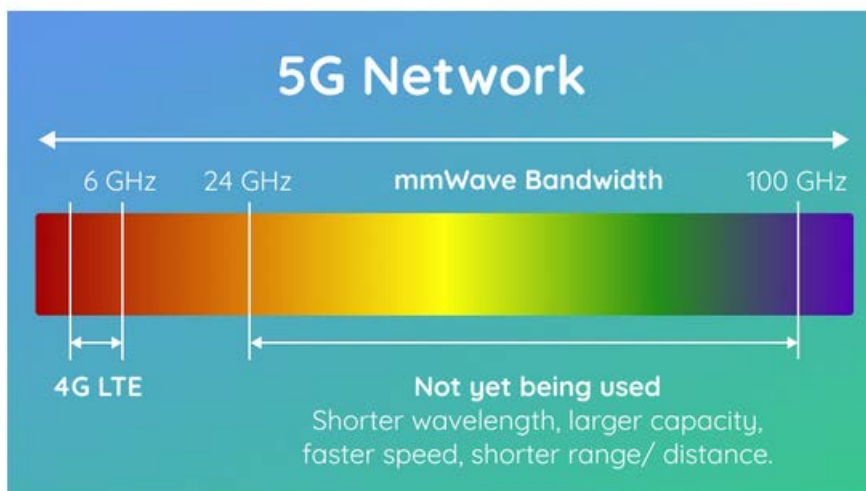
Σε αντίθεση με το 4G, το 5G λειτουργεί μέσω κεραιών MIMO (Πολλαπλής Εισόδου - Πολλαπλής Εξόδου για Πολλούς Χρήστες), οι οποίες λειτουργούν με ακριβή προσανατολισμένη κατεύθυνση του σήματος προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση, αντί για πολυκατευθυντική εκπομπή. (πηγή [Ela innovation](#))

5G Antennas (MIMO and Angle-of-Arrival technology provides precise signal orientation and reduce unnecessary waves around the users)



Εικόνα 7.2 Κεραίες 5G

Το δίκτυο 5G που κυκλοφορεί σε εθνικό επίπεδο από παρόχους σήμερα βρίσκεται στις ζώνες χαμηλής συχνότητας, που αναφέρονται και ως ζώνες Sub-6GHz. Παρόλο που τα δίκτυα 5G Sub-6GHz μπορούν να χειριστούν περισσότερους χρήστες από τα δίκτυα 4G, δεν παρουσιάζουν σημαντικές βελτιώσεις ταχύτητας σε σύγκριση με το 4G. Η επανάσταση του 5G αναμένεται να υπάρξει όταν χρησιμοποιηθούν οι ζώνες με υψηλότερη συχνότητα, μεταξύ 24 και 100GHz.

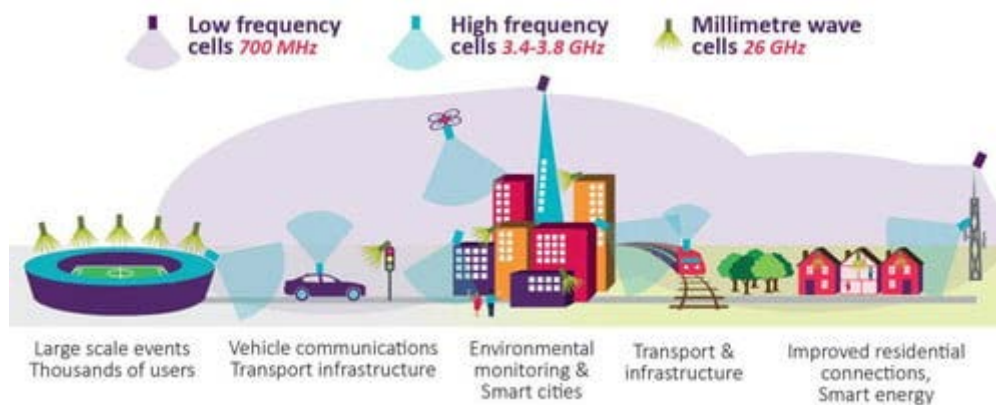


Εικόνα 7.3 Εύρος ζώνης mmWave

Ο όρος MmWave αναφέρεται στο φάσμα των ραδιοσυχνοτήτων μεταξύ 24GHz και 100GHz που δεν χρησιμοποιείται ακόμα στην τρέχουσα τεχνολογία 5G. (πηγή [Android Authority](#))

Αυτός ο "τύπος" 5G προβλέπεται να έχει δυνατότητα να παρέχει ταχύτητες που ξεπερνούν το 1 Gbit/s. Από τις εταιρίες Qualcomm και AT&T αναφέρεται και ως mmWave.

Αυτό το super-fast 5G σε χρήση για εντοπισμό θέσης σε εσωτερικό χώρο ενδέχεται να έχει ακρίβεια κάτω του ενός (1) μέτρου.



Εικόνα 7.4 Κατάλληλη συχνότητα ανάλογα με το κάθε περιβάλλον

Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε τα διαφορετικά περιβάλλοντα και την ιδανική συχνότητα ώστε να υπάρχει ιδανική κάλυψη στο καθένα (πηγή: [Ofcom](#))

7.2 Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα του 5G στα IPS

Πλεονεκτήματα:

1. Ταχύτερη μεταφορά δεδομένων: Το δίκτυο 5G προσφέρει σημαντικά μεγαλύτερες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων σε σχέση με τις προηγούμενες γενιές, δίνοντας τη δυνατότητα για πολύ γρήγορες ενημερώσεις θέσης και αποκρίσεις για χρήση σε πραγματικό χρόνο (real time).
2. Χαμηλή καθυστέρηση (low latency): Το δίκτυο 5G έχει χαμηλή καθυστέρηση, που συνεισφέρει εξίσου στην ταχύτητα και αμεσότητα στην επικοινωνία μεταξύ των συσκευών.
3. Αυξημένη πυκνότητα συσκευών: Το δίκτυο 5G είναι σχεδιασμένο για να αντιμετωπίζει μεγαλύτερη πυκνότητα συνδεδεμένων συσκευών σε σχέση με τις προηγούμενες γενιές. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για χρήση σε εσωτερικούς χώρους με πολυκοσμία όπου πολλές συσκευές ίσως χρειαστεί να είναι συνδεδεμένες ταυτόχρονα στο δίκτυο. Η αυξημένη αυτή χωρητικότητα παρέχει μια ομαλή και αξιόπιστη εμπειρία για τους χρήστες.
4. Υψηλή ακρίβεια: Τα δίκτυα 5G υποστηρίζουν προηγμένες τεχνολογίες όπως η τεχνολογία MIMO (Multiple Input Multiple Output), οι οποίες μπορούν να βελτιώσουν την ακρίβεια των IPS συστημάτων, δίνοντας πιο ακριβή εκτίμηση θέσης και μείωση σφαλμάτων.

Μειονεκτήματα:

1. Απαιτήσεις υποδομής: Η εφαρμογή των δικτύων 5G για τα IPS απαιτεί επενδύσεις σε υποδομές, όπως ο εξοπλισμός για το δίκτυο με κεραίες κ.α ώστε να υπάρχει αρκετή κάλυψη. Αυτό στην παρούσα φάση είναι σχετικά δαπανηρό και χρονοβόρο.
2. Παρεμβολές σήματος: Τα δίκτυα 5G χρησιμοποιούν υψηλότερες συχνότητες και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι πιο ευάλωτες στις παρεμβολές σήματος από εμπόδια όπως τοίχοι, έπιπλα κ.α. , χάνοντας έτσι πάλι ένα μερίδιο ακρίβειας και αξιοπιστίας.

Σημείωση: Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που αναφέρονται παραπάνω είναι συγκεκριμένα για την ενσωμάτωση της τεχνολογίας 5G στα συστήματα εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο και ενδέχεται να μην καλύπτουν όλες τις πτυχές της τεχνολογίας 5G γενικά. Τα πραγματικά οφέλη και προκλήσεις μπορεί να ποικίλουν ανάλογα με την συγκεκριμένη υλοποίηση, ανάπτυξη και περιβαλλοντικούς παράγοντες.

7.3 Συμπεράσματα 7^{ου} Κεφαλαίου

Σε αυτό το κεφάλαιο είδαμε τις δυνατότητες που μπορεί να επιφέρει η εισαγωγή του δικτύου 5G στα συστήματα εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο.

Αρχικά, η **χαμηλή καθυστέρηση (low latency)** επιτρέπει μια πολύ μεγάλη ταχύτητα στην απόκριση των συσκευών (με την αποστολή πακέτων μεταξύ τους) και σε συνδυασμό με την **υψηλή ροή δεδομένων (High Data Throughput)**, όπου μεγάλος όγκος δεδομένων μπορεί να διακινηθεί με μεγάλη ταχύτητα, αυξάνεται σημαντικά η ακρίβεια του σημείου που βρίσκεται το κινητό στοιχείο, ειδικότερα σε σενάρια που μας ενδιαφέρει η real time παρακολούθηση της θέσης.

Έπειτα, σχετικά με τη συνδεσιμότητα, το δίκτυο 5G διαθέτει **μεγαλύτερη πυκνότητα (density)** ώστε να μπορούν να συνδεθούν περισσότεροι χρήστες ανά τετραγωνικό μέτρο, σε σχέση με άλλες τεχνολογίες και εξυπηρετεί τις ανάγκες ενός μεγάλου χώρου όπως ένα νοσοκομείο, ένα αεροδρόμιο, ένα mall κλπ όπου μπορεί ταυτόχρονα οι χρήστες να έχουν πρόσβαση σε υπηρεσίες εντοπισμού θέσης.

Τέλος, η **ευελιξία** του 5G να κινηθεί **σε διάφορες μπάντες συχνοτήτων** (χαμηλές και υψηλές) διευκολύνει τον σχεδιασμό ώστε να υπάρχει σωστή προσαρμογή και απόδοση σε κάθε είδους περιβάλλον.

8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συστήματα εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο (Indoor Positioning Systems - IPS) γίνονται όλο και πιο διαδεδομένα και πρόκειται να αποτελέσουν αναπόσπαστο κομμάτι στην δομή και τη διαχείριση διάφορων κτιρίων μετασχηματίζοντας και κάνοντας πιο ολοκληρωμένη, εύκολη και ασφαλή την εμπειρία του ανθρώπου που αλληλεπιδρά μαζί τους καθημερινά. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιώντας τις τεχνικές και τις τεχνολογίες που αναφέραμε προηγουμένως, έχουν φέρει πολλαπλά οφέλη τόσο σε επίπεδο κερδοφορίας για επιχειρήσεις, μεγάλους χώρους όπως αεροδρόμια, εμπορικά κέντρα και μουσεία, αλλά και διασφάλισης της ασφάλειας του ανθρώπου παρέχοντας πρόληψη και έγκαιρη πρόσβαση στη θέση ενός ασθενή για παράδειγμα.

Με την προσομοίωση που υλοποιήθηκε στο Matlab μπορούμε να έχουμε μια εικόνα της συμπεριφοράς ενός IPS ώστε να καταστεί ευκολότερος ο σχεδιασμός και η επιλογή τεχνολογίας, τεχνικής και εξοπλισμού για μια αποτελεσματική λειτουργία. Επιπλέον φαίνεται η χρήση της τεχνικής του τριγωνισμού, καθώς και του αλγόριθμου MUSIC που συμβάλουν στην ακρίβεια του εντοπισμού θέσης του κινητού σημείου.

Στην παρούσα χρονική στιγμή το στοίχημα που χρειάζεται να κερδηθεί είναι αυτό των απαιτήσεων υποδομής, δηλ. το κόστος ώστε να υλοποιηθεί ένα τέτοιο σύστημα και επίσης να μπορεί να διασφαλιστεί στο ακέραιο το απόρρητο του κάθε χρήστη, που λόγω της συλλογής των δεδομένων τοποθεσίας υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με την ιδιωτικότητα.

Στο σύντομο μέλλον έχει ενδιαφέρον πως θα εξελιχθούν τα IPS παράλληλα με την πρόοδο στα δίκτυα 5G, την τεχνητή νοημοσύνη (AI), την μηχανική μάθηση (machine learning) και τις τεχνολογίες αισθητήρων που μπορούν να ενισχύσουν ακόμη περισσότερο την ακρίβεια και την απόκριση. Καθώς οι επιχειρήσεις συνεχίζουν να αναγνωρίζουν την αξία των υπηρεσιών βασισμένων στην τοποθεσία, τα IPS αναμένεται να συνεχίσουν να εξελίσσονται, και καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να προχωρά, αναμένεται να διαδραματίσουν αυξανόμενο και ολο και πιο ουσιαστικό ρόλο στον τρόπο που κινούμαστε και αλληλεπιδρούμε εντός των κτιρίων, καθιστώντας τους εσωτερικούς χώρους πιο συνδεδεμένους, αποδοτικούς και χρηστικούς για τον άνθρωπο.

9 Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

Διπλωματικές/Μεταπτυχιακές/Πτυχιακές Εργασίες και Διατριβές

Διπλωματική εργασία ‘‘Πειραματική αξιολόγηση τεχνολογίας Wi-Fi RTT για εντοπισμό σε υβριδικούς/κλειστούς χώρους’’, Ορφανός Αναστασίου Εμμανουήλ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Τοπογραφίας, 2021

Μεταπτυχιακή Διατριβή ‘‘Συστήματα προσδιορισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους’’, Απόστολος Πασσιάς, Πανεπιστήμιο Πειραιά, Τμήμα Πληροφορικής, 2015

Μεταπτυχιακή Εργασία , ‘‘Πειραματική αξιολόγηση GNSS RTK και Wi-Fi RTT εντοπισμού με χρήση έξυπνων κινητών τηλεφώνων’’, Π. Σωτηρίου, 2019

Survey and Comparative Study ‘‘Wireless Indoor Localization Systems and Techniques’’, Ahmed Azeez Khudhair, Saba Qasim Jabbar, Mohammed Qasim Sulttan, Desheng Wang, Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 2016

Μεταπτυχιακή Εργασία ‘‘ Μελέτη Συστημάτων Εντοπισμού Θέσης Εσωτερικών και Εξωτερικών Χώρων για Εφαρμογές Κινητού Υπολογισμού’’ Λιβάνιος Λουκάς, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών & Επικοινωνιακών Συστημάτων, 2018

Thesis Indoor Localization System Using Ultra Wide Band Device , Zwe Yint Aung , Asian Institute of Technology, 2018

Master’s Thesis ‘‘WiFi Round Trip Time for Indoor Navigation’’, Maroš Šeleng, Masaryk University Faculty of Informatics, 2019

Master of Science Thesis ‘‘Smartphone-based Indoor Positioning Using Wi-Fi Fine Timing Measurement Protocol’’, Sami Huilla, University of Turku Department of Future Technologies Communication Systems, 2019

Διπλωματική εργασία ‘‘Προσδιορισμός Θέσης σε Κλειστούς Χώρους μέσω Δικτύων Wifi’’, Χατζάρας Γεράσιμος ,Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τομέας Ηλεκτρονικής & Υπολογιστών, 2014

Dissertation for the Master’s Degree in Engineering ‘‘Smartphone Based Indoor Positioning Using WI-FI Round Trip Time and IMU Sensons’’, Gustav Aaro , Harbin Institute of Technology, 2020

Habilitation Thesis ‘‘Indoor Positioning Technologies’’, Mautz Rainer , Institute of Geodesy & Photogrammetry, ETH Zurich, 2012

Ιστοσελίδες

<https://www.u-blox.com/en/technologies/bluetooth-indoor-positioning>

www.mathworks.com/help/wlan/ug/802-11az-indoor-positioning-using-super-resolution-time-of-arrival-estimation.html

https://www.arubanetworks.com/assets/ds/DS_MeridianPlatform.pdf

<https://www.pointr.tech/blog/5g-indoor-positioning>