



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**«Μελέτη και αξιολόγηση των σύγχρονων τεχνολογιών και μεθόδων
ανάλυσης της κίνησης σε εσωτερικούς χώρους»**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Αναγνώστου Θεοφάνη

Επιβλέπων : Ασκούνης Δημήτριος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2020



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**«Μελέτη και αξιολόγηση των σύγχρονων τεχνολογιών και μεθόδων
ανάλυσης της κίνησης σε εσωτερικούς χώρους»**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

Αναγνώστου Θεοφάνη

Επιβλέπων : Ασκούνης Δημήτριος
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 27^η Οκτωβρίου 2020.

.....
Δημήτριος Ασκούνης

.....
Ιωάννης Ψαρράς

.....
Χάρης Δούκας

Αθήνα, Οκτώβριος 2020

Αναγνώστου Θεοφάνης

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

Copyright © ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΥ ΘΕΦΑΝΗΣ, 2010

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια καθώς οι κινητές υπολογιστικές συσκευές, όπως smartphones, αισθητήρες, μικροϋπολογιστές, καθίστανται πανταχού παρούσες η ανάγκη των εφαρμογών για κατανόηση του γενικού πλαισίου λειτουργίας τους καθώς και του περιβάλλοντος που αυτές χρησιμοποιούνται έχει γίνει προτεραιότητα για τους προγραμματιστές. Ωστόσο, οι περισσότερες εφαρμογές τέτοιου είδους βασίζονται στο GPS και λειτουργούν ελάχιστα σε εσωτερικούς χώρους. Το μεγάλο πλεονέκτημα που προσφέρει η τεχνολογία της ανίχνευσης θέσης σε εσωτερικούς χώρους (Indoor Positioning) είναι η επέκταση των φορητών υπολογιστικών συσκευών και όλων των εφαρμογών που αυτές προσφέρουν και στους εσωτερικούς χώρους. Η παρούσα εργασία μελέτησε και αξιολόγησε τις σύγχρονες τεχνολογίες του Indoor Positioning. Η εργασία βασίστηκε σε δευτερογενείς πηγές, οι οποίες συλλέχθηκαν από άρθρα στο google scholar και από διαδικτυακά αποθετήρια άρθρων και επιστημονικών περιοδικών. Τα άρθρα αναλύθηκαν και αποδελτιώθηκαν οι βασικές τεχνολογίες. Στη συνέχεια καταγράφηκαν τα χαρακτηριστικά κάθε τεχνολογίας, συγκρίθηκαν οι τεχνολογίες και δημιουργήθηκε δέντρο απόφασης. Έπειτα καταγράφηκαν οι αλγόριθμοι ανάλυσης θέσης και συγκεκριμένες μελέτες περίπτωσης. Από την παρούσα εργασία διαπιστώνεται ότι η τεχνολογία της ανίχνευσης θέσης σε εσωτερικούς χώρους είναι σημαντική και μπορεί τελικά να βρει παντού εφαρμογές. Για παράδειγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα ζωολογικό κήπο για το συνεχή έλεγχο της θέσης των ζώων ή σε ένα μουσείο ώστε οι επισκέπτες να ενημερώνονται ανάλογα με τον χώρο που βρίσκονται. Το συμπέρασμα είναι ότι οι τεχνολογίες ανίχνευσης θέσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν από εμπορικούς και μη φορείς για την απλοποίηση της λειτουργίας τους, την βελτίωση των υπηρεσιών και εφαρμογών που προσφέρουν, να γίνουν εμπορικά ή βιομηχανικά πιο ανταγωνιστικοί πετυχαίνοντας τους στόχους τους και ικανοποιώντας τις ανάγκες των πελατών τους.

Λέξεις Κλειδιά: ανίχνευση θέσης σε εσωτερικό χώρο, ανάλυση κίνησης, αλγόριθμοι εντοπισμού θέσης, δέντρα αποφάσεων

Abstract

In recent years as mobile devices become ubiquitous, contextual awareness for applications has become a priority for developers. Most applications currently rely on GPS, however, and function poorly indoors. The major consumer benefit of indoor positioning is the expansion of location-aware mobile computing and its applications indoors. The work was based on secondary sources, which were collected from articles in google scholar and from online repositories of articles and scientific journals. The articles analyzed and indexed the key technologies. Then the characteristics of each technology were recorded, the technologies were compared and a decision tree was created. The position analysis algorithms and specific case studies were then recorded. From the present study it is found that the technology of indoor positioning is important and can eventually find applications everywhere, for example they can be used in a zoo for continuous monitoring of the position of animals or in a museum so that visitors are informed according to the place they are in. The bottom line is that location tracking technologies can be used by both commercial and non-commercial entities to simplify their operation, improve the services and applications they offer, become more commercially or industrially competitive by achieving their goals and meeting the needs of their customers.

Keywords: Indoor Positioning, indoor motion analysis, positioning algorithms, decision trees

Πρόλογος

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία ανατέθηκε από το Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης και εκπονήθηκε στο πλαίσιο ολοκλήρωσης του προπτυχιακού κύκλου σπουδών της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Στόχος της εργασίας είναι να μελετήσει και να αξιολογήσει τις σύγχρονες τεχνολογίες ανάλυσης της θέσης και κίνησης σε εσωτερικούς χώρους. Συγκεκριμένα θα αναλυθούν ποια είναι τα συστήματα αυτά καθώς και με ποιο τρόπο λειτουργούν (υποδομές/ αλγόριθμοι), θα προταθεί μια μεθοδολογία επιλογής της κατάλληλης τεχνολογίας/ συστήματος ανάλογα με τις ανάγκες του κάθε οργανισμού, θα μελετηθούν περιπτώσεις που ήδη τέτοια συστήματα εφαρμόζονται και θα γίνουν προτάσεις για καινούργιους τομείς και νέες ευκαιρίες που παρουσιάζονται για την περαιτέρω εφαρμογή τους. Απώτερος σκοπός της μελέτης είναι να διασαφηνιστούν οι τεχνολογίες κίνησης σε εσωτερικούς χώρους καθώς και να διερευνηθεί πως λειτουργεί η κάθε μία και ποια είναι τα χαρακτηριστικά που τη διέπουν όπως επίσης και η αξιοπιστία κάθε συστήματος που χρησιμοποιείται. Η μεθοδολογία της εργασίας στηρίζεται στη συλλογή δευτερογενών δεδομένων μέσα από βιβλία και άρθρα σε περιοδικά.

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσης διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Τσαπέλα Ιωάννη και τα μέλη του Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για τις συμβουλές και καθοδηγήσεις καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας μου καθώς και για την ευκαιρία που μου παρείχαν να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές μου όλα αυτά τα χρόνια για όσα με έμαθαν και με δίδαξαν.

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου για την ηθική και υλική της συμπαράσταση.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	7
Abstract.....	9
Πρόλογος	11
Ευχαριστίες	11
Πίνακας πινάκων	15
Πίνακας εικόνων.....	15
Πίνακας σχημάτων.....	15
Κεφάλαιο 1 ^ο Εισαγωγή	17
1.1 Γενικό πλαίσιο	17
1.2 Στόχοι εργασίας	19
1.3 Φάσεις υλοποιήσεις	19
1.4 Δομή.....	20
Κεφάλαιο 2 ^ο Τεχνολογίες εντοπισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους	21
2.1 Παγκόσμια δορυφορικά συστήματα:.....	24
2.1.1 Ψευδολίτες	30
2.2 Συστήματα με βάση τις υπέρυθρες ακτίνες (IR).....	32
2.2.1 Active Badges	33
2.2.2 Firefly.....	34
2.2.3 OPTOTRAKPRO series system	35
2.2.4 Infrared Indoor Scour Local Positioning System (IRIS LPS)	36
2.3 Συστήματα ραδιοσυχνότητων	37
2.3.1 Ασύρματο τοπικό δίκτυο (WLAN).....	37
2.3.2 RADAR	39
2.3.3 Ekahau	40
2.3.4 Compass.....	41
2.3.5 AeroScout	42
2.3.6 Intel Place Lab	43
2.3.7 PinPoint 3D-iD	44
2.3.8 Radio Frequency Identification (RFID).....	45
2.3.9 SpotON	47
2.3.10 WhereNet	48
2.3.11 LANDMARC.....	50
2.3.12 Bluetooth:.....	50
2.3.13 Beacons	51
2.3.14 Η ανοιχτή μορφή beacon της Google, Eddystone:	54
2.3.15 Topaz	55
2.3.16 BLIP.....	57
2.3.17 Zigbee	59
2.3.18 Ultra Wide Band (UWB)	60
2.3.19 Ubisense:.....	62
2.3.20 Cellular Based.....	64

2.4 Συστήματα βασισμένα σε υπερήχους	65
Εικόνα 2-18 Συστήματα βασισμένα σε υπερήχους	66
2.4.1 Active Bat	67
2.4.2 Cricket.....	68
2.4.3 Sonitor.....	69
2.5 Συστήματα που βασίζονται σε όραση (εικόνες)	70
2.5.1 EasyLiving	73
2.6 Συστήματα που βασίζονται σε φωτισμό	75
2.7 Μαγνητικά συστήματα:	77
Κεφάλαιο 3 ^ο Εγχειρίδιο επιλογής τεχνολογίας.....	89
3.1 Δέντρο αποφάσεων ορισμός	89
3.2 Δέντρο αποφάσεων στην επιλογή τεχνολογίας αναγνώρισης εσωτερικής τοποθεσίας	90
3.3 Επιλογή τεχνολογίας ανάλογα με τις ανάγκες ενός οργανισμού.....	91
Κεφάλαιο 4 ^ο Αλγόριθμοι για εντοπισμό θέσεων	95
4.1 Αλγόριθμοι εντοπισμού θέσης εσωτερικών χώρων.....	95
4.1.1 Ώρα άφιξης Time of Arrival ή Time of Flight (TOA ή TOF).	96
4.1.2 Διαφορά ώρας άφιξης-Time Difference of Arrival (TDOA).....	97
4.1.3 Γωνία άφιξης- Angle of Arrival (AOA)	97
4.1.4 Ισχύς λαμβανομένου σήματος- Received Signal Strength (RSS).	97
4.1.5 Διαφορά φάσης άφιξης (PDOA).....	98
4.1.6 Χρόνος πτήσης μετ' επιστροφής	99
4.2 Τεχνικές	100
4.2.1 Triangulation.....	100
4.2.2 Fingerprinting	103
4.2.3 Ανάλυση όρασης.....	103
4.2.4 Αντιστοίχιση χαρτών	104
4.2.5 Εγγύτητα	105
4.2.6 Πλοήγηση με στίγμα(Dead Reckoning)	105
Κεφάλαιο 5 ^ο Μελέτες Περίπτωσης.....	107
5.1 Προσομοίωση στη λειτουργία καταστημάτων	107
5.2 Μελέτες περίπτωσης.....	109
5.2.1 Η χρήση των τεχνολογιών κίνησης στο χώρο-Εφαρμογές σε εμπορικούς χώρους, μουσεία, γκαλερί, Super market	109
5.2.2 Προτάσεις σε κλάδους που δεν χρησιμοποιούνται οι τεχνολογίες εντοπισμού εσωτερικής κίνησης	111
Κεφάλαιο 6 ^ο Επίλογος-Συμπεράσματα.....	113
Βιβλιογραφία	117

Πίνακας πινάκων

Πίνακας 2-1: Υλικά και εξασθένιση σήματος	27
Πίνακας 2-2: Περιβάλλον και ισχύς σήματος.....	28
Πίνακας 2-3: Χαρακτηριστικά Συστημάτων	86
Πίνακας 4-1: Σύγκριση μεταξύ αλγορίθμων εντοπισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους	95

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 2-1: Δορυφορικό Σήμα	27
Εικόνα 2-2: AGNSS	29
Εικόνα 2-3: System overview of Alawieh et al. (2010).....	31
Εικόνα 2-4: Οπτικά συστήματα εσωτερικής τοποθέτησης IR.....	33
Εικόνα 2-5: Firefly Motion Tracking System Architecture.....	35
Εικόνα 2-6: RSSI	39
Εικόνα 2-7: System Architecture of Ekahau Positioning System	40
Εικόνα 2-8: AeroScout architecture.....	42
Εικόνα 2-9: Analysis of consumer behavior in a supermarket	47
Εικόνα 2-10: WhereNet’s Real Time Locatiing System	48
Εικόνα 2-11: Bluetooth Beacon Trackinh – Fixwd Beacon Approach	53
Εικόνα 2-12: Αρχιτεκτονική του τοπικού συστήματος τοποθεσίας Toraz. ..	56
Εικόνα 2-13: BlipNet	57
Εικόνα 2-14 PinPoint 3D	60
Εικόνα 2-15 TDOA.....	62
Εικόνα 2-16 Ubisense	63
Εικόνα 2-17 Πρότυπο κινητής επικοινωνίας 5G	65
Εικόνα 2-18 Συστήματα βασισμένα σε υπερήχους	66
Εικόνα 2-19: Συστήματα που βασίζονται σε όραση (εικόνες)	72
Εικόνα 2-20: Projected reference patterns. Upper left: TrackSense Grid, upper right: CLIPS laserspots, lower left: laserspots of Habbecke, lower right: diffraction grid of Popescu	73
Εικόνα 2-21 Easy Living	74
Εικόνα 2-22 Visible Light Communication.....	77
Εικόνα 2-23 Πηγίο «track STAR».....	81
Εικόνα 2-24 MotionStar	82
Εικόνα 2-25 Μαγνητόμετρο	84
Εικόνα 4-1: Τριγωνισμός μέτρηση αποστάσεων	102

Πίνακας σχημάτων

Σχήμα 3-1: Διαδικασία απόφασης επιλογής τεχνολογίας.....	92
--	----

Κεφάλαιο 1^ο Εισαγωγή

1.1 Γενικό πλαίσιο

Ο εντοπισμός αποτελεί ένα ετερογενές τμήμα των ασύρματων δικτύων επικοινωνίας που διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στη σύγχρονη ζωή. Η σπουδαιότητά είναι δεδομένη αποτελώντας μια τεχνική για τον προσδιορισμό της θέσης ενός αντικειμένου ή ενός ατόμου στον εσωτερικό χώρο (Dardari et al., 2015). Το σύστημα εντοπισμού εσωτερικού χώρου είναι ένα σύστημα που επιχειρεί να βρει την ακριβή θέση του ατόμου και του αντικειμένου μέσα σε ένα κτίριο, εμπορικό κέντρο, κλπ. Υπάρχουν πολλά εμπορικά συστήματα στην αγορά, αλλά δεν υπάρχει συγκεκριμένο πρότυπο για ένα σύστημα ανίχνευσης θέσης σε εσωτερικό χώρο (Indoor Positioning System - IPS).

Η δημοτικότητα του εγείρει την ανάγκη για εκτεταμένη έρευνα σχετικά με τον εντοπισμό προσώπων ή περιουσιακών στοιχείων. Στην σημερινή εποχή των κινητών συσκευών, οι πληροφορίες θέσης είναι κρίσιμες για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών όπως η παραγωγή, η πώληση, η υγειονομική περίθαλψη κλπ. Προκειμένου να ικανοποιηθούν οι ανάγκες του χρήστη, απαιτούνται πληροφορίες για τη θέση του μέσα στο χώρο, πληροφορίες που παρέχονται για το εσωτερικό σύστημα εντοπισμού θέσης (Elloumi et al., 2013).

Τα συστήματα εντοπισμού προσπαθούν να προσδιορίσουν τη θέση των κινούμενων συσκευών με τη βοήθεια ορισμένων σταθερών κόμβων και ορισμένων κινητών υπολογιστικών συσκευών. Οι πληροφορίες θέσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πλοήγηση (Otsason, et al. 2005, Mautz 2012) παρακολούθηση. Δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν οι ίδιες μέθοδοι εντοπισμού για τον προσδιορισμό της θέσης σε εσωτερικό περιβάλλον επειδή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το περιβάλλον, όπως η θέση των αντικειμένων, η συμπεριφορά του ατόμου, κ.λπ. (Mautz et al., 2011).

Ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη ενός συστήματος για τον εντοπισμό θέσης και εντοπισμού χωρικών πληροφοριών σε ένα εσωτερικό περιβάλλον είναι ένα δύσκολο έργο για πολλούς λόγους, όπως η ιδιωτικότητα των χρηστών, τα γενικά έξοδα διαχείρισης, η κλιμάκωση του συστήματος και η σκληρή φύση του

εσωτερικού ασύρματου καναλιού (δηλαδή αντανάκλαση μετάλλων, παρεμβολές θορύβου) (Sana, 2013).

Πολλές επιλογές είναι διαθέσιμες για το σχεδιασμό του συστήματος εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο, όπως υπέρυθρες ακτίνες, υπέρηχοι, αναγνώριση ραδιοσυχνοτήτων (RFID), δίκτυα αισθητήρων, ακουστικοί ήχοι, φώτα εντοπισμοί, ειδικοί χρωματισμοί κλπ. Ανάλογα με την προτεραιότητα του χρήστη, αναπτύσσονται διαφορετικά συστήματα εντοπισμού θέσης (Razavi et al., 2012). Ορισμένα από τα συγκεντρωτικά σχήματα περιλαμβάνουν τη χρήση χαρτών αυτοελέγχου (SOM) για την ταυτόχρονη εκτίμηση των θέσεων κόμβων που έχουν ληφθεί υπόψη σε ολόκληρο το δίκτυο. Υπάρχουν μερικές υβριδικές προσεγγίσεις που συνδυάζουν πλεονεκτήματα δύο ή περισσότερων διαφορετικών τεχνικών (Al-Ammar, et al. 2014).

Τα συστήματα εσωτερικής τοποθέτησης χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένης της μέτρησης απόστασης σε κοντινούς κόμβους (κόμβοι με γνωστές σταθερές θέσεις, π.χ. σημεία πρόσβασης WiFi / LiFi ή φάρους Bluetooth), μαγνητική τοποθέτηση (Qiu, et al., 2016). Ενεργοποιούν τις κινητές συσκευές και τις ετικέτες ή παρέχουν το κατάλληλο περιβάλλον για να μπορούν να ανιχνεύονται συσκευές (Furey, et al., 2012). Η τοπική φύση ενός IPS έχει οδηγήσει σε κατακερματισμό του σχεδιασμού, με συστήματα που χρησιμοποιούν διάφορες οπτικές, ραδιοφωνικές, ή και ακουστικές τεχνολογίες (Schweinzer & Kaniak, 2010).

Για την εξομάλυνση και για την αντιστάθμιση των στοχαστικών σφαλμάτων, πρέπει να υπάρχει μια σωστή μέθοδος για τη σημαντική μείωση του προϋπολογισμού σφάλματος. Το σύστημα μπορεί να περιλαμβάνει πληροφορίες από άλλα συστήματα για να αντιμετωπίσει τη φυσική ασάφεια και να επιτρέψει την αντιστάθμιση σφάλματος. Η ανίχνευση του προσανατολισμού της συσκευής μπορεί να επιτευχθεί είτε με την ανίχνευση ορόσημων εντός των εικόνων που λαμβάνονται σε πραγματικό χρόνο είτε με τη χρήση μεταβλητών με φάρους (Wan et al., 2011). Υπάρχουν επίσης τεχνολογίες για την ανίχνευση μαγνητο-μετρικών πληροφοριών εντός κτιρίων ή τοποθεσιών με χαλύβδινες κατασκευές ή σε ορυχεία σιδηρομεταλλεύματος κυρίως τα τελευταία αναφέρονται στη προστασία

των εργαζομένων (Maximov et al., 2013).

Η εσωτερική αγορά εντοπισμού θέσης κινείται αυξητικά τα τελευταία χρόνια παρουσιάζοντας το 2019 έσοδα της τάξης των \$ 4,4 δις το 2019. Οι τάσεις είναι συνεχώς αυξητικές δεδομένου ότι βρίσκει συνεχώς νέες εφαρμογές σε νέους χώρους όπως ινστιτούτα υγείας, ταξιδιωτικά γραφεία, χώρους φιλοξενίας αλλά και σε άλλους τομείς. Σήμερα, πάνω από το 80-90% του χρόνου των ανθρώπων εξαντλείται μέσα στα κτίρια, αυτό οδηγεί τις εταιρίες να επενδύουν στις συγκεκριμένες όσο πιο αποτελεσματικά μπορούν, δεδομένου ότι κατανοούν ότι τους προσδίδουν τη δυνατότητα να διαφοροποιηθούν από τον ανταγωνισμό. Σήμερα παρατηρούνται εφαρμογές και συνεχή εξέλιξη της τεχνολογίας στην Ασία, Ευρώπη, Αμερική.

1.2 Στόχοι εργασίας

Η παρούσα εργασία πρόκειται να μελετήσει και να αξιολογήσει τις σύγχρονες τεχνολογίες ανάλυσης της κίνησης σε εσωτερικούς χώρους. Συγκεκριμένα θα αναλυθούν ποια είναι τα συστήματα αυτά και πώς λειτουργούν. Επίσης θα αναλυθούν οι αλγόριθμοι για εντοπισμό θέσης. Σκοπός της μελέτης αποτελεί να διασαφηνιστούν οι τεχνολογίες κίνησης σε εσωτερικούς χώρους καθώς και να διερευνηθεί πως λειτουργεί η κάθε μία και ποια είναι τα χαρακτηριστικά που τη διέπουν όπως επίσης και η αξιοπιστία κάθε συστήματος. Η επίτευξη του σκοπού πραγματοποιείται μέσα από την ανάλυση συγκεκριμένων μελετών περίπτωσης

1.3 Φάσεις υλοποιήσεις

Η παρούσα μελέτη υλοποιήθηκε σε έξι στάδια-βήματα. Το πρώτο στάδιο αφορούσε στη συλλογή βιβλιογραφίας μέσα από άρθρα του google scholar και από διαδικτυακά αποθετήρια άρθρων και επιστημονικών περιοδικών. Κατά το δεύτερο στάδιο τα άρθρα αναλύθηκαν και αποδελτιώθηκαν οι βασικές τεχνολογίες. Στο τρίτο βήμα καταγράφηκαν τα χαρακτηριστικά κάθε τεχνολογίας.

Στη συνέχεια, στο τέταρτο βήμα συγκρίθηκαν οι τεχνολογίες και δημιουργήθηκε ένα δέντρο απόφασης. Στο πέμπτο βήμα καταγράφηκαν αλγόριθμοι ανάλυσης θέσης και μελέτες περίπτωσης. Τέλος στο έκτο βήμα εξήχθησαν τα συμπεράσματα και προοπτικές της μελέτης.

1.4 Δομή

Η παρούσα μελέτη ολοκληρώνεται μέσα από πέντε κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί το εισαγωγικό σημείωμα της μελέτης, το δεύτερο εστιάζει στην ανάλυση των τεχνολογιών αναγνώρισης εσωτερικής τοποθεσίας κάνοντας ιδιαίτερη αναφορά σε κάθε τεχνολογικό σύστημα ξεχωριστά. Έπειτα, το τρίτο κεφάλαιο αναλύει το εγχειρίδιο επιλογής τεχνολογίας. Το τέταρτο κεφάλαιο αναπτύσσει αλγόριθμους εντοπισμού θέσεων εσωτερικών, αλγόριθμους Patterns και διαδικασία τριγωνισμού, κοινά πρότυπα διαφόρων τεχνολογιών και προσομοίωση σε καταστήματα. Το πέμπτο κεφάλαιο αναλύει συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης και τέλος το έκτο κεφάλαιο συνοψίζει τα συμπεράσματα της παρούσης μελέτης.

Κεφάλαιο 2^ο Τεχνολογίες εντοπισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους

Τα IPS χρησιμοποιούν πολλές προσεγγίσεις εντοπισμού θέσης που ποικίλλουν πολύ όσον αφορά την ακρίβεια, το κόστος, την ακρίβεια, την τεχνολογία, την επεκτασιμότητα, την αξιοπιστία και την ασφάλεια. Ορισμένες εφαρμογές μπορεί να απαιτούν IPS χαμηλότερου κόστους, ενώ άλλες ενδέχεται να απαιτούν IPS με υψηλή ακρίβεια, όπως ιατρική παρακολούθηση, βιομηχανική παρακολούθηση του περιβάλλοντος, σύστημα εσωτερικής πλοήγησης για τυφλούς κτλ. Παρακάτω θα περιγράψουμε διαφορετικές παραμέτρους που κρίνουν την απόδοση των IPS με τις πιο σημαντικές να είναι οι εξής:

Ακρίβεια: Ο όρος ακρίβεια έχει οριστεί ως η εγγύτητα μεταξύ της μετρούμενης και της πραγματικής τιμής. Ως εκ τούτου, η ακρίβεια ενός IPS είναι η μέση ευκλείδεια απόσταση μεταξύ της εκτιμώμενης θέσης και της πραγματικής θέσης. Αν και είναι η πιο σημαντική απαίτηση των συστημάτων εντοπισμού θέσης, ενδέχεται να χρειαστούν ορισμένοι συμβιβασμοί μεταξύ της ακρίβειας και άλλων παραμέτρων ενός IPS. Ένα σύστημα που έχει μεγαλύτερη ακρίβεια συνήθως έχει και υψηλότερο κόστος (Al-Ammar, 2014).

Διαθεσιμότητα και Αξιοπιστία: Είναι το ποσοστό του χρόνου κατά το οποίο η υπηρεσία είναι διαθέσιμη για χρήση με την απαιτούμενη ακρίβεια. Η διαθεσιμότητα θα μπορούσε να περιοριστεί από τυχαίους παράγοντες όπως η επικοινωνιακή συμφόρηση αλλά και από προγραμματισμένους παράγοντες όπως η περιοδική συντήρηση. Γενικά, η διαθεσιμότητα μπορεί να θεωρηθεί ως χαμηλή (<95%), κανονική (> 99%) και υψηλή (>99,9%). Ένα αξιόπιστο IPS θα πρέπει να είναι σε θέση να συνεχίσει να λειτουργεί ακόμη και σε ορισμένες σοβαρές περιπτώσεις, όπως όταν κάποιες συσκευές του συστήματος δεν λειτουργούν σωστά, ή μια κινητή συσκευή δεν έχει μπαταρία ή το σήμα από μια μονάδα πομπού έχει μπλοκαριστεί. Για παράδειγμα, ένα σύστημα υπερύθρων χρειάζεται οπτική επαφή (line of sight/ LOS) μεταξύ των πομπών και των ετικετών. Στο σύστημα Active Badge, ένας χρήστης έχει πάνω του ένα ενεργό σήμα. Εάν το

σήμα καλύπτεται από τα ρούχα του, δεν μπορούν να ληφθούν πληροφορίες τοποθεσίας από το σύστημα, καθώς δεν είναι δυνατή η επικοινωνία μεταξύ ετικέτας και δέκτη. Οι μόνες πληροφορίες για την εκτίμηση της θέσης του είναι το σήμα από άλλες μονάδες μέτρησης. Σε γενικές γραμμές, ορισμένες μονάδες μέτρησης μπορεί να είναι εκτός λειτουργίας ή να έχουν καταστραφεί λόγω σκληρών συνθηκών, οπότε ο συνολικός τους αριθμός μειώνεται. Ιδανικά τα IPS πρέπει να χρησιμοποιούν έστω και ελλιπείς πληροφορίες για την παροχή πληροφοριών θέσης, οι οποίες αναγκαστικά θα έχουν μικρότερη ακρίβεια (Liu, 2007;Gu, 2009).

Κάλυψη: Περιοχή κάλυψης είναι η περιοχή που καλύπτεται από το IPS. Αποτελεσματικότερα θεωρούνται τα συστήματα που καλύπτουν την ευρύτερη περιοχή. Γενικά, για συστήματα εντοπισμού θέσης υπάρχουν τρία επίπεδα κάλυψης. Τοπική, επεκτάσιμη και παγκόσμια. Η τοπική κάλυψη αναφέρεται σε περιορισμένη περιοχή που δεν είναι επεκτάσιμη, όπως ένα δωμάτιο ή ένα κτίριο. Η κλιμακούμενη κάλυψη αναφέρεται στην ικανότητα ενός συστήματος να αυξήσει την περιοχή κάλυψης με την προσθήκη επιπλέον υλικού. Τέλος, η παγκόσμια κάλυψη αναφέρεται σε ένα σύστημα που έχει εύρος όλο τον πλανήτη όπως είναι το GPS. Εκτός από την περιοχή κάλυψης, η κάλυψη περιλαμβάνει και την ικανότητα του συστήματος να τοποθετεί πολλά αντικείμενα ταυτόχρονα στο χώρο. Σε ένα γραφείο που καλύπτει αρκετούς ορόφους ενός μεγάλου κτιρίου, εκατοντάδες μέλη του προσωπικού και ίσως χιλιάδες είδη εξοπλισμού πρέπει να παρακολουθούνται ταυτόχρονα (Svalastog, 2007, Farid Zahid, 2013).

Επεκτασιμότητα: Όπως είπαμε ένα σύστημα εντοπισμού θέσης μπορεί να είναι σε θέση να εντοπίσει αντικείμενα σε όλο τον κόσμο, σε μια μητροπολιτική περιοχή, σε μια πανεπιστημιούπολη, σε ένα συγκεκριμένο κτίριο ή σε ένα δωμάτιο. Επίσης ο αριθμός των αντικειμένων που μπορεί να τοποθετήσει το σύστημα σε ένα χώρο ή για ένα δεδομένο χρονικό διάστημα μπορεί να είναι περιορισμένος. Η επεκτασιμότητα ενός IPS σημαίνει ότι το σύστημα μπορεί να διασφαλίσει την κανονική λειτουργία του όταν κλιμακώνεται μία από τις δύο παραμέτρους: η περιοχή κάλυψης ή/ και ο αριθμός χρηστών. Αυτό συνήθως επιτυγχάνεται με την προσθήκη όλο και περισσότερων μονάδων (πομποδεκτών) κάτι το οποίο μπορεί να κάνει το σύστημα λιγότερο ευέλικτο και ακριβό (Al-Ammar, 2014).

Κόστος: Το κόστος ενός IPS μπορεί να μετρηθεί σε χρήματα, χρόνο, χώρο και ενέργεια που δαπανούνται. Αυτό προκύπτει από το κόστος απόκτησης του εξοπλισμού, το κόστος εγκατάστασης ενός συστήματος, το κόστος λειτουργίας του και το κόστος συντήρησης και ανανέωσής του σε περίπτωση φθοράς. Μερικά IPS που επαναχρησιμοποιούν υπάρχουσες υποδομές, όπως το δίκτυο ενός κτιρίου, είναι πιο αποδοτικά από πλευράς κόστους. Ορισμένες συσκευές τοποθέτησης, όπως οι παθητικές ετικέτες RFID, είναι περισσότερο ενεργειακά ανεξάρτητες, ενώ άλλες χρησιμοποιούν μόνιμα ηλεκτρική ενέργεια. Η όσο το δυνατόν μικρότερη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας θεωρείται κρίσιμης σημασίας στα IPS ώστε να αποφεύγεται πιθανή διακοπή της υπηρεσίας και να παρέχονται λύσεις υψηλότερης ευελιξίας (Al-Ammar, 2014).

Πολυπλοκότητα: Για την ανάπτυξη ενός IPS ιδανικά χρειάζεται μια γρήγορη και εύκολη (μη πολύπλοκη) εγκατάσταση ενός συστήματος με χαμηλό αριθμό σταθερών στοιχείων υποδομής και μια πλατφόρμα λογισμικού που χρησιμοποιείται εύκολα από τους χρήστες. Ακόμα η πολυπλοκότητα εξετάζει αν υπάρχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις και προδιαγραφές όσον αφορά τη διαρρύθμιση των κτιρίων αλλά και τα υλικά κατασκευής τους. Τέλος μια άλλη πτυχή της πολυπλοκότητας είναι ο απαιτούμενος υπολογιστικός χρόνος μιας κινητής συσκευής που θα χρειαστεί για να καθορίσει τη θέση ενός χρήστη. Λόγω της περιορισμένης επεξεργαστικής ισχύς και μπαταρίας των συσκευών αυτών επιθυμείται μια μεθοδολογία με χαμηλότερη πολυπλοκότητα υπολογισμού (Gu, 2009).

Υπάρχουν και άλλες παράμετροι λιγότερο σημαντικές όπως οι παρακάτω:

Ανταπόκριση: Στενά συνδεδεμένη με την ακρίβεια ενός συστήματος εντοπισμού θέσης είναι η ανταπόκριση, πόσο γρήγορα δηλαδή ενημερώνεται η εκτίμηση τοποθεσίας ενός κινούμενου στόχου. Η υψηλή ανταπόκριση είναι ζωτικής σημασίας για συστήματα που έχουν στόχο την ανίχνευση χρηστών ή αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο. Μερικά συστήματα μπορεί να χρειάζονται μικρότερη ανταπόκριση, αλλά όλα θα πρέπει να έχουν την απαραίτητη ανταπόκριση ώστε λαμβάνοντας όσο το δυνατόν περισσότερες αλλαγές θέσης να ανταποκρίνονται στην απαιτούμενη ακρίβεια που έχει οριστεί (Svalastog, 2007).

Ιδιωτικότητα: Η ιδιωτικότητα είναι εξαιρετικά σημαντική για τα άτομα που χρησιμοποιούν τα IPS καθώς συλλέγεται ένας μεγάλος αριθμός προσωπικών στοιχείων και για αυτό θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη σημασία στη συλλογή αλλά και αποθήκευση των στοιχείων αυτών. Με σκοπό να βελτιωθεί η ιδιωτικότητα και το απόρρητο των χρηστών θα πρέπει να εφαρμόζονται και να συντηρούνται μηχανισμοί ασφαλείας για την προστασία των δεδομένων από την εισβολή, την κλοπή ή την κατάχρηση. Δυστυχώς η πτυχή της ιδιωτικότητας των IPS δεν υπήρξε σημαντική προτεραιότητα στις περισσότερες από τις έρευνες που έχουν πάρει χώρα στον τομέα της εσωτερικής τοποθέτησης (Al-Ammar, 2014).

Εμπορική Διαθεσιμότητα: Μεταξύ των υφιστάμενων IPS μερικά είναι εμπορικά διαθέσιμα και άλλα είναι κυρίως ερευνητικά οπότε δεν είναι διαθέσιμα στην αγορά. Για το προϊόντα που διατίθενται στο εμπόριο, μπορούμε να αγοράσουμε τις συσκευές τους και να αναπτύξουμε άμεσα τα συστήματα εντοπισμού θέσης. Ωστόσο οι περισσότερες εταιρείες που τα προμηθεύουν συνεχίζουν να κρατούν πολλά χαρακτηριστικά τους μυστικά λόγω του ανταγωνισμού μεταξύ τους. Για τα ερευνητικά όμως συστήματα τοποθέτησης μπορούμε να γνωρίζουμε με σαφήνεια τις λεπτομέρειες σχεδίασής τους, κάτι που είναι πολύτιμο για τη μελλοντική βελτίωση συνολικά των IPS. Οι τεχνολογίες των IPS θα χωριστούν στις εξής κατηγορίες:

- Παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης
- Συστήματα με βάση τις υπέρυθρες ακτίνες
- Συστήματα ραδιοσυχνοτήτων
- Συστήματα βασισμένα σε υπερήχους
- Συστήματα που βασίζονται σε όραση (εικόνες)
- Συστήματα που βασίζονται σε φωτισμό
- Μαγνητικά συστήματα

2.1 Παγκόσμια δορυφορικά συστήματα:

Τα δορυφορικά συστήματα πλοήγησης είναι συστήματα που

χρησιμοποιούν δορυφόρους για να παρέχουν αυτόνομη γεω-χωρική τοποθέτηση. Ένα τέτοιο σύστημα επιτρέπει σε μικρούς ηλεκτρονικούς δέκτες να προσδιορίζουν τη θέση τους (γεωγραφικό μήκος, πλάτος και υψόμετρο) με υψηλή ακρίβεια (με απόκλιση λίγα εκατοστά έως μέτρα), χρησιμοποιώντας σήματα χρόνου που μεταδίδονται κατά μήκος μιας ευθείας ανεμπόδιστης γραμμής, μέσω ραδιοκυμάτων από δορυφόρους. Μερικά τέτοια συστήματα είναι το Αμερικάνικο GPS και το ευρωπαϊκό Galileo.

Το GPS αρχικά δημιουργήθηκε αποκλειστικά για στρατιωτική χρήση και ανήκε στη δικαιοδοσία του αμερικανικού Υπουργείου Εθνικής Άμυνας ενώ στα μέσα της δεκαετίας του 1990 το σύστημα GPS εξελίχθηκε, έγινε ιδιαίτερα ακριβές και άρχισε να διατίθεται για ελεύθερη χρήση στο το ευρύ κοινό. Ένα δίκτυο πολυάριθμων (24 - 32) δορυφόρων που βρίσκεται σε σταθερή θέση γύρω από τον πλανήτη μας, βοηθά τους δέκτες GPS να παραγάγουν το ακριβές στίγμα ενός σημείου οπουδήποτε στον κόσμο.

Το GPS παρέχει δύο διαφορετικά επίπεδα υπηρεσίας, την υπηρεσία τυπικού εντοπισμού θέσης και την υπηρεσία ακριβούς εντοπισμού θέσης. Η υπηρεσία Standard Positioning (SPS), είναι μια υπηρεσία εντοπισμού θέσης και χρονισμού που παρέχεται στη συχνότητα GPSL1 και είναι διαθέσιμη σε όλους τους χρήστες GPS. Η συχνότητα L1 περιέχει έναν προσεγγιστικό κωδικό απόκτησης και ένα μήνυμα δεδομένων πλοήγησης. Προσφέρει ακρίβεια για το 95% των περιπτώσεων στα <9m οριζόντια και <15m κάθετα σε ένα σύστημα 21 λειτουργικών δορυφόρων. Η υπηρεσία ακριβούς εντοπισμού θέσης (PPS), είναι μια πολύ ακριβής στρατιωτική υπηρεσία τοποθέτησης, ταχύτητας και χρονισμού που μεταδίδεται στις συχνότητες GPSL1 και L2. Και οι δύο συχνότητες περιέχουν σήμα ακριβείας με ένα κρυπτογραφημένο μήνυμα δεδομένων πλοήγησης που προορίζεται για εξουσιοδοτημένους χρήστες.

Το σύστημα Galileo είναι ένα παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης (GNSS) που διαχειρίζεται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και παρέχει αξιόπιστες υπηρεσίες εντοπισμού θέσης, πλοήγησης και χρονισμού στους χρήστες σε συνεχή παγκόσμια βάση. Το σύστημα Galileo, μόλις λειτουργήσει πλήρως, θα προσφέρει τέσσερις υπηρεσίες υψηλής απόδοσης παγκοσμίως:

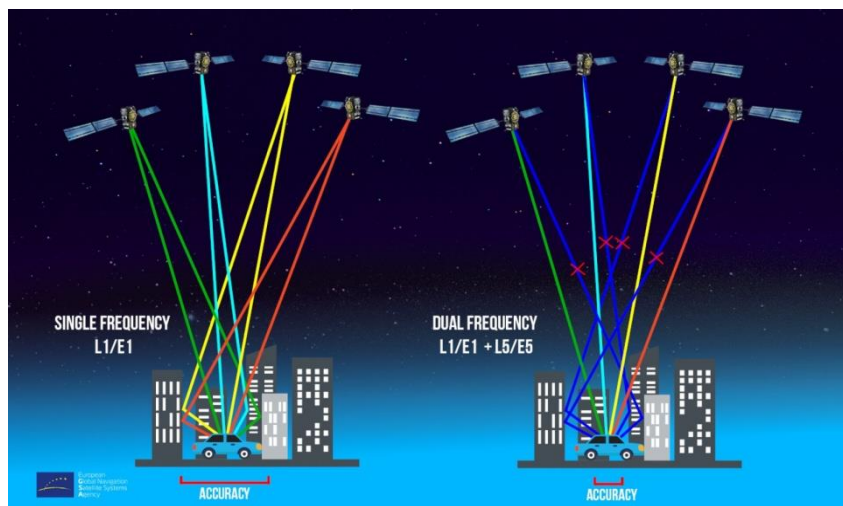
1. Ανοιχτή Υπηρεσία (Open Service/ OS): Η ανοιχτή και δωρεάν υπηρεσία Galileo για υπηρεσίες εντοπισμού θέσης και χρονισμού. Στο μέλλον, η Galileo Open Service θα παρέχει επίσης έλεγχο ταυτότητας μηνυμάτων πλοήγησης, η οποία θα επιτρέπει τον υπολογισμό της θέσης του χρήστη χρησιμοποιώντας επικυρωμένα δεδομένα που εξάγονται από το μήνυμα πλοήγησης.

2. Υπηρεσία υψηλής ακρίβειας (High Accuracy Service/HAS): Μια υπηρεσία που συμπληρώνει το λειτουργικό σύστημα παρέχοντας ένα πρόσθετο σήμα πλοήγησης και υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας σε μια διαφορετική ζώνη συχνοτήτων. Το σήμα HAS μπορεί να κρυπτογραφηθεί προκειμένου να ελεγχθεί η πρόσβαση στις υπηρεσίες Galileo HAS.

3. Δημόσια ρυθμιζόμενη υπηρεσία (Public Regulated Service/ PRS): Η υπηρεσία περιορίζεται σε κυβερνητικούς εξουσιοδοτημένους χρήστες, για ευαίσθητες εφαρμογές που απαιτούν υψηλό επίπεδο συνεχούς υπηρεσίας.

4. Υπηρεσία αναζήτησης και διάσωσης (Search and Rescue Service/ SAR): Η συμβολή της Ευρώπης στο COMPAS-SARSAT, ένα διεθνές δορυφορικό σύστημα ανίχνευσης συναγερμού αναζήτησης και διάσωσης κινδύνου.

Η απόδοση του Galileo είναι διαφορετική για κάθε υπηρεσία. Για το Galileo Open Service (OS) δεν ισχύουν συγκεκριμένες απαιτήσεις ακεραιότητας. Οι αναμενόμενες επιδόσεις, μόλις αναπτυχθεί πλήρως το σύστημα Galileo, για ακρίβεια οριζόντιας θέσης στο 95% για έναν δέκτη διπλής συχνότητας είναι 4 m (8 m για κάθετη ακρίβεια), με διαθεσιμότητα της υπηρεσίας 99,5%. Χρησιμοποιώντας ως παράδειγμα το Galileo σε συνδυασμό με το σύστημα GPS, ο αριθμός των λειτουργικών δορυφόρων είναι στην περιοχή των 60. Σε κανονικά αστικά περιβάλλοντα αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα αυξημένη διαθεσιμότητα για 4 δορυφόρους από το 40% σε περισσότερο από 90% των περιπτώσεων.



Εικόνα 2-1: Δορυφορικό Σήμα

Ωστόσο, η κακή κάλυψη του δορυφορικού σήματος σε εσωτερικά περιβάλλοντα μειώνει την ακρίβειά του και το καθιστά ακατάλληλο για εκτίμηση της εσωτερικής θέσης. Εξασθένηση σήματος για διάφορα υλικά οικοδομής για τη συχνότητα L-Band ($L1 = 1500 \text{ MHz}$) (Stone, 1997)(Βλέπε Πίνακα 2.1 και 2.2).

Πίνακας 2-1: Υλικά και εξασθένηση σήματος

Material	(dBW)	Attenuation Factor () for a Typical Thickness
dry wall	1	0,8
plywood	1 – 3	0,8 – 0,5
glass	1 – 4	0,8 – 0,4
painted glass	10	0,1
wood	2 – 9	0,6 – 0,1
iron mat	2 – 11	0,6 – 0,08
roofing tiles / bricks	5 – 31	0,3 – 0,001
concrete	12 – 43	0,06 – 0,00005
ferro-concrete	29 – 33	0,001 – 0,0005

Πηγή: Mautz(2012)

Πίνακας 2-2: Περιβάλλον και ισχύς σήματος

Environment	Signal Strength (dBW)	Difference to Outdoors (dB)	Comment
satellite	+ 27	+185	reference signal strength delivered from satellite
outdoors	-158	0	nominal carrier power received at receiver (Joseph 2010)
indoors I	-176	-18	indoor environments near windows, urban canyons
indoors II	-185	-27	inside office buildings, multilevel car parks
underground	-191	-33	decode limit for aided, ultra-high sensitive receivers

Πηγή: Mautz(2012)

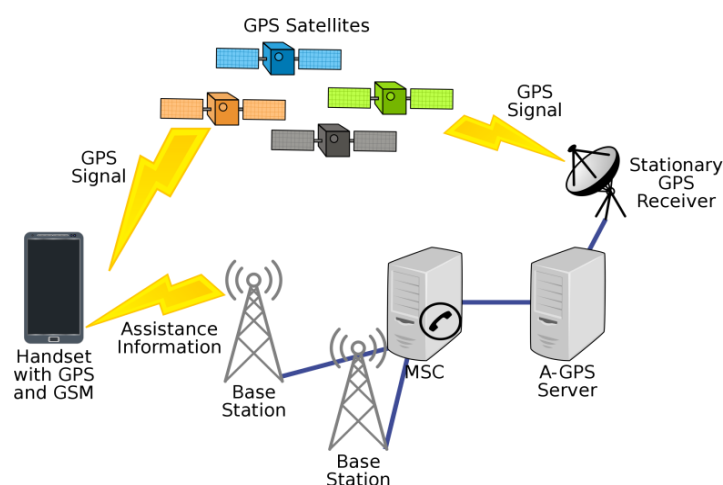
Η SnapTrack, μια θυγατρική εταιρεία της Qualcomm, δημιούργησε την ασύρματη υποβοήθηση GPS (A-GPS) για να ξεπεραστούν οι περιορισμοί των συμβατικών GPS και να παρέχει εκτίμηση θέσης και σε εσωτερικούς χώρους με ακρίβεια 5–50 m στα περισσότερα εσωτερικά περιβάλλοντα. Η τεχνολογία A-GPS χρησιμοποιείται σε ένα κινητό τηλέφωνο με δέκτη GPS το οποίο συλλέγει μετρήσεις τόσο από τους δορυφόρους του GPS όσο και από το ασύρματο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Αυτές οι μετρήσεις συνδυάζονται από έναν διακομιστή θέσης για να παράγει μια εκτίμηση θέσης (Liu, 2007).

Γενικά το υποβοηθούμενο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης (AGNSS, AGPS) είναι μια πλήρως τυποποιημένη μέθοδος τοποθέτησης σε εξωτερικούς χώρους. Οι εφαρμογές του AGNSS περιλαμβάνουν εντοπισμό κινητών τηλεφώνων ή συσκευών με πρόσβαση στο διαδίκτυο. Οι δέκτες AGNSS χρησιμοποιούν έναν πρόσθετο δίαυλο δεδομένων για την παροχή πληροφοριών για τη θέση των δορυφόρων, διαφορικές διορθώσεις και πληροφορίες χρονισμού οι οποίες κανονικά λαμβάνονταν απευθείας από τους δορυφόρους GNSS.

Μια ψυχρή εκκίνηση, δηλαδή τη στιγμή που ξεκινάει η εφαρμογή τοποθεσίας να λειτουργεί (χωρίς προηγούμενη επικοινωνία πομπού και δέκτη), ενός μη υποβοηθούμενου GNSS δέκτη απαιτεί εκτεταμένη αναζήτηση συχνοτήτων για την εύρεση και λήψη της τροχιάς και της θέσης των δορυφόρων επειδή η σχετική κίνηση μεταξύ δέκτη και δορυφόρων προκαλεί μετατόπιση της συχνότητας (μετατόπιση Doppler). Από τη στιγμή που η μετατόπιση Doppler είναι άγνωστη ο δέκτης πρέπει να πραγματοποιεί αναζήτηση σε ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων, συνήθως 30 διαστήματα Doppler. Δεδομένου ότι χρειάζεται περίπου

1 δευτερόλεπτο για την αναζήτηση όλων των καθυστερήσεων κώδικα μίας συχνότητας, οι κορυφές συσχέτισης για όλες τις συχνότητες βρίσκονται εντός 30 δευτερολέπτων. Παίρνει άλλα 30 δευτερόλεπτα μέχρι όλα τα δεδομένα να αποκωδικοποιηθούν οπότε και ο συνολικός χρόνος μέχρι την πρώτη εκτίμηση θέσης είναι περίπου 60 δευτερόλεπτα. Σε ένα περιβάλλον με αδύναμο σήμα, η πρώτη εκτίμηση διαρκεί περισσότερο ή είναι ακόμα και ανέφικτη, επειδή για οποιοδήποτε κομμάτι δεδομένων που χαθεί απαιτείται να επαναληφθεί η διαδικασία των 60 δευτερολέπτων.

Στην περίπτωση του AGNSS, πρόσθετα δεδομένα βοηθούν στη σημαντική μείωση του χρόνου της πρώτης εκτίμησης. Είναι δυνατό να αποφευχθεί το χρονικό διάστημα των 30 δευτερολέπτων το οποίο ξοδεύει ένας μη υποβοηθούμενος δέκτης για τη λήψη των δεδομένων τροχιάς και θέσης από τους δορυφόρους καθώς η αναζήτηση των κορυφών συσχέτισης σε έναν δέκτη AGNSS διευκολύνεται αποκτώντας τις πληροφορίες αυτές μέσω ενός διαύλου δεδομένων, όπως το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, και όλα αυτά με την προϋπόθεση ότι τουλάχιστον ορισμένα αδύναμα σήματα από τέσσερις δορυφόρους μπορούν να ληφθούν. Ένας δέκτης AGNSS έχει επομένως αυξημένη ευαισθησία, ανιχνεύοντας ακόμα και σήματα χαμηλότερα του κλασσικού ορίου του GPS οπότε γίνεται εν μέρη δυνατή η χρήση του και σε εσωτερικούς χώρους(Mautz, 2012).



Εικόνα 2-2: AGNSS

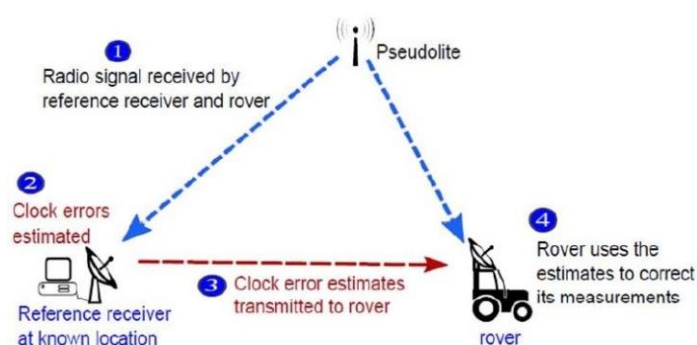
Συνοψίζοντας πρόκειται για μία λύση, με πολύ χαμηλό κόστος και χαμηλή πολυπλοκότητα αφού δεν απαιτείται ειδική εγκατάσταση, ούτε υπάρχει κόστος λειτουργίας και συντήρησης, παρά μόνο το κόστος για την αγορά ενός smartphone συμβατό με τα πρότυπα του AGNSS που να υποστηρίζει όσο το δυνατόν περισσότερα δορυφορικά συστήματα πλοήγησης (dual-band A-GPS, GLONASS, BDS, GALILEO, QZSS, NavIC), καθώς και μια εφαρμογή που να συνδυάζει τα σήματα από αυτά. Δυστυχώς το σύστημα έχει επίσης μικρή ακρίβεια και χαμηλή αξιοπιστία όσον αφορά τους εσωτερικούς χώρους.

2.1.1 Ψευδολίτες

Δεδομένου ότι τα δορυφορικά σήματα δεν μπορούν να διεισδύσουν στα περισσότερα εσωτερικά περιβάλλοντα όπως κτίρια, ανθρακωρυχεία, μεγάλες σήραγγες και άλλα, οι ψευδολίτες χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία GPS σημάτων σε εσωτερικούς χώρους για να επιτρέψουν στη συσκευή GPS να συνεχίσει να λαμβάνει σήματα από αυτούς τους πομπούς και όχι από δορυφόρους. Ο όρος «ψευδολίτες» (στα αγγλικά pseudolites) είναι μια αποδεκτή σύντομη μορφή για ψευδο-δορυφόρους (pseudo-satellites), και είναι επίγειοι πομποί που δημιουργούν ψευδοκωδικούς παρόμοιους με αυτούς που μεταδίδονται από το GNSS. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί το λιγότερο ακριβές ρολόι στους ψευδολίτες που αποδίδει σφάλματα ρολογιού, αναπτύχθηκαν διαφορετικές τεχνικές. Η εσωτερική πλοήγηση με ψευδολίτες ενδέχεται να διαφέρει από σύστημα σε σύστημα ανάλογα με τις συσκευές που εκπέμπουν όπως ψευδολίτες, synchrolites, locatalites και πομποδέκτες. Οι ψευδολίτες για εσωτερικούς χώρους εξακολουθούν να επηρεάζονται αρνητικά από πολλαπλές διαδρομές, παρεμβολές σήματος μεταξύ ψευδολιτών, αδύναμο συγχρονισμό χρόνου λόγω λιγότερο ακριβών ρολογιών και αμφισημίες φάσης φορέα. Αρκετά συστήματα τοποθέτησης με βάση τους ψευδολίτες αναπτύχθηκαν πρόσφατα και ποικίλλουν στην ακρίβεια και την κάλυψη τους.

Αρχικά, οι ψευδολίτες περιλάμβαναν μόνο συστήματα που μεταδίδουν σε συχνότητες GPS L1 (1575,42 MHz) και/ ή L2 (1227,6 MHz) για τη βελτίωση της δορυφορικής γεωμετρίας και τη χρήση με ένα συνηθισμένο δέκτη GPS. Αν και η

χρήση της (μη στρατιωτικής) δομής σήματος του GPS είναι πλεονεκτική επειδή μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ήδη υπάρχοντες δέκτες, η νόμιμη μετάδοση σημάτων GNSS είναι πολύ περιορισμένη. Επομένως, η έρευνα και η ανάπτυξη απομακρύνθηκαν από τη διατήρηση της συμβατότητας προς τα πίσω με το υπάρχον GNSS. Ωστόσο μια παραλλαγή του συστήματος αυτού εκπέμπει πλήρως συμβατά σήματα με το Galileo αλλά θα λειτουργήσει μόνο όταν αυτό (Galileo) φτάσει στην πλήρη επιχειρησιακή του ικανότητα το 2020 (Mautz, 2012).



Εικόνα 2-3: System overview of Alawieh et al. (2010)

Η Locata Corporation έχει εφεύρει μια νέα τεχνολογία εντοπισμού θέσης που ονομάζεται Locata, για ακριβή τοποθέτηση και σε εσωτερικούς χώρους αλλά και εξωτερικούς. Μέρος της «τεχνολογίας Locata» αποτελείται από ένα συγχρονισμένο πομποδέκτη που ονομάζεται LocataLite. Ένα δίκτυο LocataLites σχηματίζει ένα LocataNet, το οποίο μεταδίδει σήματα τύπου GPS που επιτρέπουν τη σημειακή τοποθέτηση χρησιμοποιώντας μετρήσεις φάσης- φορέα για μια κινητή συσκευή (ένα Locata). Ο οργανισμός δορυφορικής πλοήγησης και τοποθέτησης (SNAP) στο Πανεπιστήμιο της Νέας Νότιας Ουαλίας έχει βοηθήσει στην ανάπτυξη και στις δοκιμές της τεχνολογίας αυτής. Τα πειράματα έδειξαν ότι η τοποθέτηση/ εύρεση σημείου μέσω φορέα-φάσης (χωρίς μόντεμ για σύνδεση δεδομένων) είναι δυνατή με ακρίβεια κάτω του εκατοστού (Alarifi et al, 2016). Τέλος, οι ψευδολίτες συνολικά έχουν συνήθως μεγάλο κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας/ συντήρησης και εξοπλισμού και είναι ένα σύστημα με υψηλή πολυπλοκότητα αλλά με σχετικά καλή αξιοπιστία.

2.2 Συστήματα με βάση τις υπέρυθρες ακτίνες (IR)

Οι υπέρυθρες ασύρματες επικοινωνίες κάνουν χρήση του αόρατου φάσματος φωτός ακριβώς κάτω από το κόκκινο άκρο του ορατού φάσματος, το οποίο καθιστά αυτή την τεχνολογία λιγότερο ενοχλητική σε σύγκριση με την εσωτερική τοποθέτηση με βάση το ορατό φως.

Το IR μπορεί να χρησιμοποιηθεί με δύο διαφορετικούς τρόπους, το άμεσο IR και το διάχυτο IR. Το IrDA (Infrared Data Association) είναι ένα παράδειγμα άμεσου IR που χρησιμοποιεί ένα πρότυπο μετάδοσης δεδομένων από σημείο σε σημείο ad-hoc σχεδιασμένο για επικοινωνίες πολύ χαμηλής ισχύος. Το IrDA απαιτεί οπτική επικοινωνία μεταξύ συσκευών σε πολύ μικρή απόσταση όπου ο ρυθμός μετάδοσης φτάνει έως και 16 Mbps. Από την άλλη, η διάχυτη υπέρυθρη ακτινοβολία έχει ισχυρότερα σήματα από το άμεσο IR και επομένως έχει μεγαλύτερο εύρος απόστασης. Χρησιμοποιεί LED ευρείας γωνίας τα οποία εκπέμπουν σήματα σε πολλές κατευθύνσεις. Έτσι επιτρέπει μία έως πολλές συνδέσεις και δεν απαιτεί άμεση οπτική επαφή (Al-Ammar, 2014). Υπάρχουν δύο βασικά είδη συστημάτων για εσωτερική παρακολούθηση.

Η προσέγγιση των ενεργών φάρων (active beacons) βασίζεται σε σταθερούς υπέρυθρους δέκτες τοποθετημένους σε γνωστές τοποθεσίες σε ολόκληρο τον εσωτερικό χώρο και τους κινητούς φάρους των οποίων οι θέσεις είναι άγνωστες. Η αρχιτεκτονική του συστήματος μπορεί να περιλαμβάνει μόνο έναν δέκτη σε κάθε δωμάτιο για απλό εντοπισμό δωματίου ή έναν δέκτη με πρόσθετες δυνατότητες AoA (Angle of Arrival) για ακρίβεια υπό-δωματίου. Για να επιτευχθεί ακρίβεια σε επίπεδο μέτρου ή καλύτερη, το σύστημα πρέπει να περιλαμβάνει αρκετούς δέκτες που αναπτύσσονται σε κάθε δωμάτιο.

Μια άλλη προσέγγιση είναι τα οπτικά συστήματα εσωτερικής τοποθέτησης IR που βασίζονται σε ενεργές πηγές φωτός υπέρυθρων και μία συστοιχία καμερών ευαίσθητες στο υπέρυθρο φως. Αυτές είτε ανιχνεύουν είτε κάποιες απ' ευθείας ετικέτες που «φοράει» ο χρήστης ή το αντικείμενο (βλέπε σύστημα Firefly), ή υπολογίζεται η τρισδιάστατη δομή του χώρου και του αντικειμένου από την παραμόρφωση ενός ψευδó τυχαίου μοτίβου δομημένων σημείων IR (που εκπέμπεται από έναν ειδικό προβολέα) που οι κάμερες

ανιχνεύουν, όπως στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2-4: Οπτικά συστήματα εσωτερικής τοποθέτησης IR

2.2.1 Active Badges

Ένα από τα πρώτα συστήματα εκτίμησης τοποθεσίας αναπτύχθηκε στο AT&T Cambridge. Το σύστημα Active Badges εγκαθίσταται χρησιμοποιώντας μικρές ετικέτες που εκπέμπουν υπέρυθρες ακτίνες κάθε 10 δευτερόλεπτα, οι οποίες πρέπει να μεταφέρονται από το άτομο που θα παρακολουθείται. Τα δεδομένα συλλέγονται από ένα διακομιστή και αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων. Ο χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση στις πληροφορίες τοποθεσίας χρησιμοποιώντας ένα API (Application Programming Interface) που παρέχεται από τον κεντρικό διακομιστή. Το εύρος λειτουργίας των ετικετών IR είναι περίπου 6 m και είναι γνωστό ότι τα σήματα υπέρυθρων δεν ταξιδεύουν μέσα από τους τοίχους.

Η τεχνολογία IR είναι γενικά φθηνή, κάτι που αποτελεί πλεονέκτημα για την ανάπτυξη IPS με βάση το IR. Ένα μειονέκτημα των συστημάτων ενεργών σημάτων είναι η συχνότητα ανάγνωσης των ετικετών που χρησιμοποιείται, η οποία είναι 15 δευτερόλεπτα. Ωστόσο αυτό το χρονικό παράθυρο είναι συνήθως κατάλληλο για εσωτερικούς χώρους όπου τα άτομα τείνουν να κινούνται σχετικά αργά. Το σύστημα Active Badges περιορίστηκε μόνο στην παροχή πληροφοριών τοποθεσίας. Η τοποθεσία μίας ετικέτας είναι κυρίως συμβολική, όπως π.χ. το δωμάτιο που βρίσκεται. Το σύστημα επηρεάζεται από λάμπες φθορισμού καθώς και από το άμεσο ηλιακό φως, κάτι που δυσκολεύει τη λήψη πληροφοριών

τοποθεσίας. Το μέγεθος χώρου για μία ανιχνεύσιμη ετικέτα περιορίζεται σε ένα δωμάτιο μικρού ή μεσαίου μεγέθους. Μεγαλύτερα περιβάλλοντα μπορούν να καλυφθούν από πολλαπλούς πομπούς υπέρυθρων. Η λειτουργικότητα μπορεί να επεκταθεί χρησιμοποιώντας μικρό-ελεγκτές χαμηλής ισχύος ή άλλη πιο περίπλοκη τεχνολογία που μπορεί να προσφέρει υποστήριξη για περισσότερες λειτουργίες. Μια ετικέτα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως ένα κλειδί για ασφαλείς περιοχές, αλλά το μειονέκτημα είναι η πιθανότητα αντιγραφής του σήματος που χρησιμοποιείται (Deak, Curran and Condell, 2012).

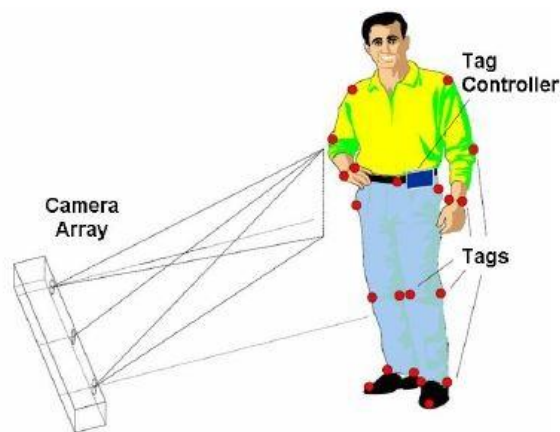
2.2.2 Firefly

Είναι ένα σύστημα παρακολούθησης κίνησης με βάση το IR το οποίο είναι σχεδιασμένο από την Cybernet System Corporation. Το σύστημα Firefly ανιχνεύει την πολύπλοκη κίνηση ενός αντικειμένου εντοπίζοντας τις μικρές ετικέτες που εκπέμπουν φως IR και είναι τοποθετημένες πάνω σε αυτό. Δεδομένου ότι το σύστημα Firefly είναι ένα εμπορικό προϊόν, οι τεχνικές και οι αλγόριθμοι εντοπισμού του είναι αποκλειστικοί και δεν έχουν δημοσιευτεί.

Ο ελεγκτής ετικετών μεταφέρεται από το άτομο που παρακολουθείται και είναι μικρός, ελαφρύς (περίπου 425 g) και με ενσωματωμένη μπαταρία. Οι ετικέτες είναι πομποί υπέρυθρων, οι οποίες υποστηρίζονται από έναν ελεγκτή ετικετών και τοποθετούνται σε διαφορετικά μέρη του ατόμου. Τρεις κάμερες εγκατεστημένες σε συστοιχία σε μία ράβδο ενός μέτρου λαμβάνουν τα σήματα και εκτιμούν την τρισδιάστατη θέση τους στο χώρο. Το σύστημα Firefly μπορεί να προσφέρει υψηλή ακρίβεια περίπου 3 χιλιοστών. Η παρακολούθηση θέσης πραγματοποιείται σε υψηλή ταχύτητα και σε πραγματικό χρόνο με καθυστέρηση μέτρησης 3 ms και ρυθμό δειγματοληψίας 30 σαρώσεων ανά δευτερόλεπτο, εάν παρακολουθούνται 30 ετικέτες.

Το σύστημα είναι εύκολο να εγκατασταθεί και να συντηρηθεί. Το κόστος του συστήματος Firefly που περιλαμβάνει μία συστοιχία κάμερας, έναν ελεγκτή ετικετών και 32 ετικέτες είναι 27500\$. Αν και ο ελεγκτής ετικετών και οι ετικέτες είναι μικρές και φορητές έχουν το μειονέκτημα ότι συνδέονται με καλώδια. Το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει σωστά μόνο σε κανονικό περιβάλλον φωτισμού.

Επιπλέον, η περιοχή κάλυψης περιορίζεται σε 7 μέτρα και το οπτικό πεδίο είναι $40^\circ \times 40^\circ$. Έτσι το σύστημα δεν είναι κατάλληλο για την υλοποίηση σε ένα μεγάλο δημόσιο χώρο, όπως ένα εμπορικό κέντρο (Gu, 2009).



Εικόνα 2-5: Firefly Motion Tracking System Architecture

2.2.3 OPTOTRAKPRO series system

Είναι ένα από τα IPS που σχεδιάστηκαν από τη Northern Digital Inc για καταστήματα και χώρους εργασίας. Το OPTOTRAK χρησιμοποιεί ένα σύστημα τριών καμερών σε σειρά για την παρακολούθηση των τρισδιάστατων θέσεων πολλών δεικτών σε ένα αντικείμενο. Ο οπτικός ιχνηλάτης περιλαμβάνει 3 κάμερες και μπορεί να καλύψει ένα χώρο 20 κυβικά μέτρα και μέγιστη απόσταση μεταξύ των παρακολουθούμενων στόχων και του ιχνηλάτη τα 6,0 μέτρα. Το σύστημα είναι ένας τυπικό ενεργό σύστημα, όπου οι δείκτες τοποθετούνται σε διαφορετικά μέρη του αντικειμένου που παρακολουθείται, εκπέμποντας φως IR το οποίο ανιχνεύεται από την κάμερα για να εκτιμήσει τη θέση τους μέσω της τεχνικής του τριγωνισμού.

Το σύστημα OPTOTRAK εκμεταλλεύεται δυναμικές αναφορές, που χρησιμοποιούνται για την αυτόματη αντιστάθμιση της κίνησης, για τη μέτρηση της σχετικής θέσης. Το σύστημα μπορεί να προσφέρει υψηλή ακρίβεια από 0,1 mm έως 0,5 mm με 95% πιθανότητα επιτυχίας. Οι πομποί IR που χρησιμοποιούνται στο σύστημα είναι μικροί και ελαφριοί με διάμετρο 16 mm και βάρος 6 g. Το σύστημα OPTOTRAK εξακολουθεί να καλύπτει σχετικά

περιορισμένη έκταση (20 m^3) και ένα μειονέκτημά του είναι η απαίτηση για οπτική επαφή μεταξύ των αντικειμένων και του συστήματος εντοπισμού. Χρησιμοποιώντας μεγάλο αριθμό δεικτών IR αυτό το πρόβλημα μπορεί εν μέρει να λυθεί (Gu, 2009).

2.2.4 Infrared Indoor Scour Local Positioning System (IRIS LPS)

Είναι και αυτό ένα IPS με βάση τις υπέρυθρες (IR). Χρησιμοποιεί φθηνές σταθερές στερεοφωνικές κάμερες που λαμβάνουν σήμα από μια ετικέτα που μεταφέρεται από ένα αντικείμενο στόχο για τη μέτρηση της γωνία άφιξης και υπολογίζουν τη θέση της ετικέτας με την τεχνική του τριγωνισμού. Το IRIS LPS δοκιμάστηκε σε μια αίθουσα διάλεξης έκτασης $15 \text{ m} \times 9 \text{ m}$. Δύο κάμερες με υπέρυθρο φίλτρο και 120° ευρυγώνιους φακούς είναι τοποθετημένες σε ράγα μέση απόσταση 20 cm μεταξύ τους, οι οποίες στερεώνονται στον τοίχο σε ύψος 3 μέτρα. Τέλος οι κάμερες συνδέονται με έναν υπολογιστή ο οποίος εξάγει και επεξεργάζεται τα δεδομένα για να εκτιμήσει τη θέση ενός αντικείμενο. Το σύστημα μπορεί να προσφέρει ακρίβεια περίπου 16 cm και καλύπτει χώρο 100 m^2 , ο οποίος είναι μεγαλύτερος από τους χώρους των Firefly και Optotrak.

Το σύστημα είναι φθηνό και εύκολο στην εγκατάσταση και συντήρηση. Μπορεί να υποστηρίξει πολλές ετικέτες που παρακολουθούνται την ίδια στιγμή. Αν και το IRIS LPS μπορεί να καλύψει μια μεγαλύτερη περιοχή από τα Firefly και Optotrak, οδηγεί σε λιγότερο ακριβείς εκτιμήσεις θέσης, κάτι που υποδεικνύει μια αλληλεξάρτηση μεταξύ ακρίβειας και περιοχής κάλυψης. Αυτό το IPS μπορεί να εντοπίσει ένα αντικείμενο όσο είναι ακίνητο με αποδεκτή ακρίβεια, αλλά για ένα κινούμενο αντικείμενο το σύστημα πρέπει να βελτιωθεί για να προσφέρει παρακολούθηση κίνησης σε πραγματικό χρόνο (Gu, 2009).

Συνοψίζοντας, ανάλογα την προσέγγιση των IR συστημάτων που ακολουθείται, έχουμε συνήθως αρκετά καλή ακρίβεια, μεσαία προς υψηλή αξιοπιστία (κυρίως για τα συστήματα ενεργών φάρων), χαμηλή πολυπλοκότητα, εύκολη και φθηνή εγκατάσταση (για τα οπτικά συστήματα), ένα σχετικά χαμηλό κόστος λειτουργίας, αλλά το βασικό μειονέκτημα είναι το μικρό εύρος κάλυψης και ότι τα συστήματα IR δεν είναι εύκολα επεκτάσιμα σε μεγαλύτερους χώρους.

2.3 Συστήματα ραδιοσυχνότητων

2.3.1 Ασύρματο τοπικό δίκτυο (WLAN)

Το πρότυπο IEEE 802.11 WLAN επικυρώθηκε τον Ιούνιο του 1997. Εφαρμόζει το πρωτόκολλο CSMA / CA (carrier sense multiple access protocol with collision avoidance,) έχει ένα τυπικό εύρος από 50 έως 100 μέτρα και χρησιμοποιεί ως επί το πλείστον τις συχνότητες 2,4 , 5, 6 και 60 GHz. Η πιο δημοφιλής μέθοδος τοποθέτησης WLAN είναι η RSS (Received Signal Strength/ Ισχύς ληφθέντος σήματος) η οποία είναι εύκολο να χρησιμοποιηθεί σε δίκτυα 802.11 και μπορεί να εκτελεστεί σε ευρέως διαθέσιμα WLAN προϊόντα της αγοράς.

Οι μέθοδοι ToA (Time of Arrival/ ώρα άφιξης), TDoA (Time Difference of Arrival/ διαφορά ώρας άφιξης) και AoA (Angle of Arrival/ γωνία άφιξης) είναι λιγότερο συχνές στο WLAN λόγω της πολυπλοκότητας των μετρήσεων της χρονική καθυστέρησης και των γωνιών άφιξης. Τα συστήματα εντοπισμού θέσης που βασίζονται σε WLAN μπορούν να επαναχρησιμοποιήσουν τις υπάρχουσες υποδομές WLAN σε εσωτερικά περιβάλλοντα, κάτι που χαμηλώνει το κόστος τοποθέτησης. Η ακρίβεια της εκτίμησης της τοποθεσίας με βάση την ισχύ σήματος των σημάτων WLAN επηρεάζεται από διάφορα στοιχεία σε εσωτερικούς χώρους, όπως η κίνηση και ο προσανατολισμός του ανθρώπινου σώματος (που περιέχει περισσότερο από 50% νερό, το οποίο απορροφά το 2.4 GHz ραδιοσήμα), η αλληλοεπικάλυψη των σημείων πρόσβασης (AP), οι κοντινές κινητές συσκευές, οι τοίχοι, οι πόρτες, και άλλα (Gu, 2009;Al-Ammar, 2014).

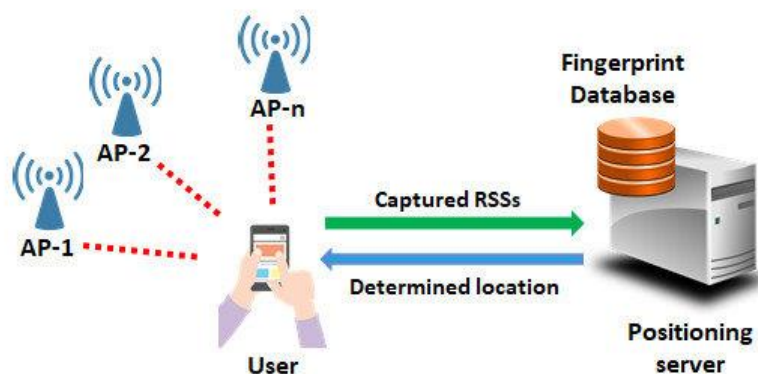
Γενικά, η χρήση του RSSI σε συνδυασμό με το WLAN μπορεί να υποδιαιρεθεί σε δύο κύριες στρατηγικές: Cell of Origin (CoO) και Fingerprinting. Το Cell of Origin είναι μια απλή μέθοδος κατάλληλη για εφαρμογές με απαιτήσεις για ακρίβεια τοποθέτησης 50 m και άνω. Το σημείο πρόσβασης WLAN που δημιουργεί την υψηλότερη τιμή RSSI στην κινητή συσκευή αναγνωρίζεται και η θέση του χρήστη θεωρείται ότι έχει την ίδια συντεταγμένη με τη θέση αυτού του σημείου πρόσβασης.

Η προσέγγιση δακτυλικών αποτυπωμάτων (Fingerprinting) απαιτεί, όντας σημαντικό μειονέκτημα, ένα προηγούμενο σύνολο μετρήσεων βαθμονόμησης σε

ένα στάδιο εκτός σύνδεσης (επίσης δηλώνεται ως φάση βαθμονόμησης/ calibration phase) όπου το RSSI παρατηρείται σε διάφορες τοποθεσίες του κτιρίου και αποθηκεύεται μαζί με τις συντεταγμένες της τοποθεσίας σε μια βάση δεδομένων γνωστή ως «χάρτης ραδιοφώνου». Η βάση δεδομένων στη συνέχεια χρησιμοποιείται στο online στάδιο για την εκτίμηση της θέσης μιας κινητής συσκευής συσχετίζοντας όλες τις τρέχουσες μετρήσεις RSSI που λαμβάνονται από διαφορετικά σημεία πρόσβασης με τις τιμές RSSI των δακτυλικών αποτυπωμάτων που είναι αποθηκευμένες στη βάση δεδομένων, υπολογίζοντας έτσι την τρέχουσα θέση του αντικειμένου.

Η ακρίβεια της μεθόδου των δακτυλικών αποτυπωμάτων μπορεί να φτάσει σε επίπεδο μέτρου, ανάλογα με τον αριθμό των AP ανά τετραγωνικό μέτρο και την πυκνότητα των σημείων βαθμονόμησης όπου λαμβάνονται τα δακτυλικά αποτυπώματα. Ακόμα κι αν δεν υπάρχουν αλλαγές στο περιβάλλον, οι καταγεγραμμένες RSSI κυμαίνονται στο χρόνο. Για να εξαλειφθεί η απόκλιση υψηλής συχνότητας εξασθένησης στο σήμα οι RSS τιμές πρέπει να υπολογίζονται κατά μέσο όρο για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα έως και μερικά λεπτά σε κάθε τοποθεσία που λαμβάνεται δακτυλικό αποτύπωμα. Λόγω του σημαντικού κόστους που προκύπτει από την κατασκευή του ραδιοφωνικού χάρτη, η προσέγγιση αυτή μπορεί να είναι απαγορευτική για πολλές εφαρμογές.

Προκειμένου η δημιουργία ραδιοφωνικών χαρτών να γίνει οικονομικά πιο αποδοτική, τα συστήματα βασίζονται στη συμβολή των τελικών χρηστών επισημαίνοντας την τοποθεσία τους κατά την εγγραφή των δακτυλικών αποτυπωμάτων ώστε να γίνεται με αυτόν τον τρόπο η εκπαίδευση του συστήματος. Ένα ακόμα μειονέκτημα είναι ότι τα πρωτόκολλα υλικού και δικτύου WLAN δεν έχουν σχεδιαστεί για εσωτερική τοποθέτηση. Κατά συνέπεια όταν εφαρμόζεται η μέθοδος σε χρήστες με διαφορετικά chipset WLAN οι τιμές RSSI που συλλέγονται διαφέρουν στον ορισμό του RSSI και επομένως είναι δύσκολο να συγκριθούν (Mautz, 2012).



Εικόνα 2-6: RSSI

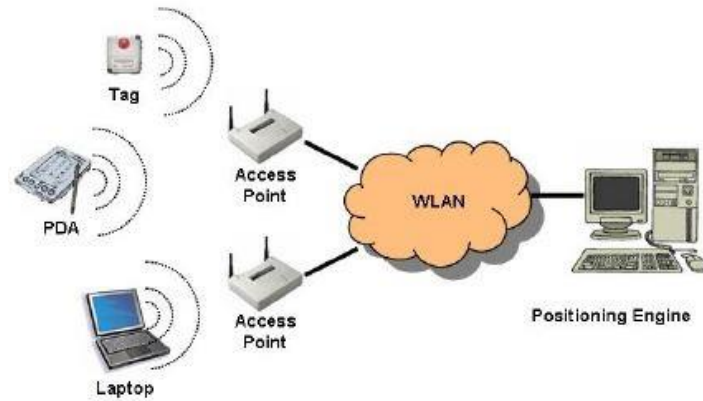
2.3.2 RADAR

Το RADAR προτάθηκε από μια ερευνητική ομάδα της Microsoft ως σύστημα παρακολούθησης θέσης εσωτερικού χώρου το οποίο χρησιμοποιεί την υπάρχουσα τεχνολογία WLAN. Το σύστημα RADAR χρησιμοποιεί την ισχύ σήματος και τον λόγο σήματος προς θόρυβο (SNR) με την τεχνική θέσης τριγωνισμού. Ο αλγόριθμος θέσης που προτάθηκε είναι ο NNSS (πολλαπλάσιοι πλησιέστεροι γείτονες στον χώρο σήματος/ multiple nearest neighbors in signal space), ο οποίος χρειάζεται έναν χώρο αναζήτησης τοποθεσίας ο οποίος κατασκευάζεται από ένα μοντέλο ραδιοφωνικής διάδοσης.

Το σύστημα RADAR λόγω της δυνατότητας να παρέχει πληροφορίες απόλυτης θέσης 2-D επιτρέπει εφαρμογές βάσει τοποθεσίας για τους χρήστες. Το σύστημα επιτυγχάνει ακρίβεια περίπου 4 m με πιθανότητα 50% περίπου. Τα κύρια πλεονεκτήματα του συστήματος RADAR είναι ότι επαναχρησιμοποιούνται οι υφιστάμενες εσωτερικές υποδομές WLAN και ότι απαιτεί λίγους σταθμούς βάσης για την εκτέλεση εντοπισμού θέσης. Ωστόσο ένας περιορισμός είναι ότι το αντικείμενο που ανιχνεύεται πρέπει να είναι και αυτό εξοπλισμένο με τεχνολογία WLAN κάτι που είναι δύσκολο για ελαφριές συσκευές με μικρή μπαταρία. Δεν υπάρχει επίσης καμία αναφορά για ζητήματα απορρήτου στο σχεδιασμό του συστήματος RADAR, όπου ένα άτομο που χρησιμοποιεί μια συσκευή με διεπαφή WLAN μπορεί να παρακολουθείται ακόμα και αν δεν θέλει κανείς να γνωρίζει την τοποθεσία του (Gu 2009).

2.3.3 Ekahau

Το σύστημα τοποθέτησης Ekahau χρησιμοποιεί και αυτό τις υπάρχουσες εσωτερικές υποδομές WLAN για τη συνεχή παρακολούθηση της κίνησης συσκευών και ετικετών Wi-Fi. Ο τριγωνισμός μαζί με το RSSI των μεταδιδόμενων σημάτων RF που καταγράφονται σε διαφορετικά σημεία πρόσβασης (AP) χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θέσης των στόχων.



Εικόνα 2-7: System Architecture of Ekahau Positioning System

Το σύστημα Ekahau αποτελείται από τρία μέρη: την τοπογράφιση του χώρου, τις ετικέτες θέσης Wi-Fi και την μηχανή τοποθέτησης. Η τοπογράφιση του χώρου γίνεται με ένα εργαλείο λογισμικού, που παρέχει πληροφορίες για την ρύθμιση του χώρου πριν από τη λειτουργία του σε πραγματικό χρόνο και δείχνει την περιοχή κάλυψης του δικτύου, την ισχύ του σήματος, το σηματοθορυβικό λόγο SNR, τον ρυθμό μεταφοράς δεδομένων και την αλληλοεπικάλυψη του WLAN δικτύου. Το δεύτερο μέρος είναι η ετικέτα τοποθεσίας Wi-Fi η οποία μπορεί να είναι προσαρτημένη σε οποιοδήποτε αντικείμενο παρακολουθείται για να επιτρέψει την τοποθέτησή του σε πραγματικό χρόνο. Οι ετικέτες μεταδίδουν σήματα ραδιοσυχνότητας (RF). Τα AP μετρούν την ισχύ του σήματος των λαμβανόμενων σημάτων RF.

Τα μετρήσιμα δεδομένα προωθούνται μέσω WLAN στο τρίτο μέρος, που είναι η μηχανή εντοπισμού θέσης, ένα εργαλείο λογισμικού, προσφέροντας πληροφορίες θέσης σε πραγματικό χρόνο σε οποιαδήποτε συσκευή χρησιμοποιεί την τεχνολογία WLAN. Συνδυάζοντας την ισχύ σήματος και τη ρύθμιση του

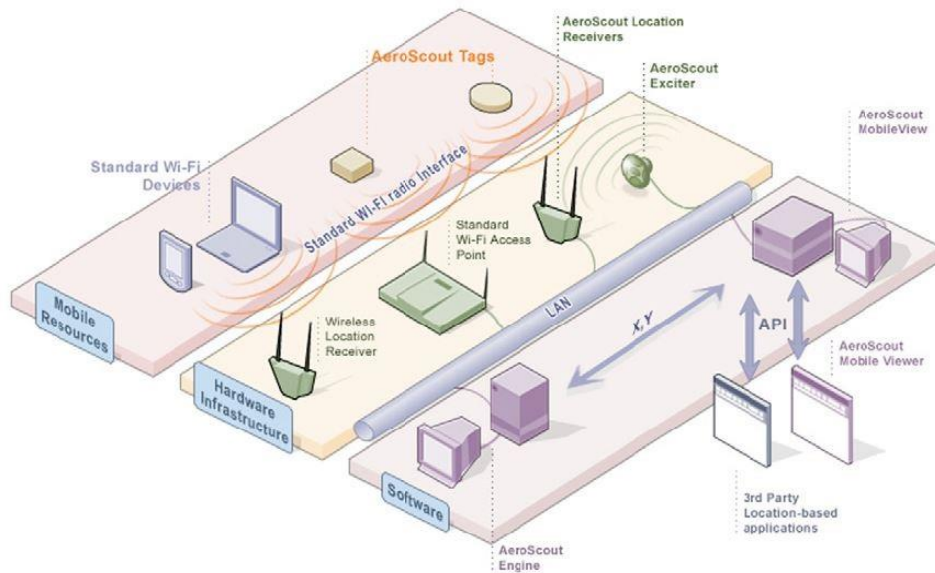
χώρου που έγινε κατά την τοπογράφηση του πρώτου σταδίου, η μηχανή εντοπισμού υπολογίζει και εμφανίζει τις θέσεις των ετικετών τοποθεσίας Wi-Fi, που είναι προσαρμοσμένες σε συσκευές, στο χάρτη του χώρου.

Η ακρίβεια του συστήματος τοποθέτησης μπορεί να φτάσει το ένα μέτρο, εάν υπάρχουν τρία ή περισσότερα αλληλεπικαλυπτόμενα AP που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό των αντικειμένων. Η μηχανή μπορεί να παρακολουθεί ταυτόχρονα χιλιάδες συσκευές. Το σύστημα Ekahau επιτυγχάνει χαμηλό κόστος επαναχρησιμοποιώντας τα υπάρχοντα APWLAN. Οι ετικέτες που παρακολουθούνται είναι αρκετά άνετες ώστε να «φορεθούν» από τους χρήστες, με μέγεθος 45 mm × 55 mm × 19 mm και βάρος 48 g. Ο χρόνος ζωής της μπαταρίας μπορεί να διαρκέσει έως 5 χρόνια με προειδοποιήσεις χαμηλής μπαταρίας για αποφυγή πιθανής υποβάθμιση της απόδοσης λόγω του χαμηλού επιπέδου ισχύος της μπαταρίας. Οι ετικέτες αρχίζουν να λειτουργούν και να παρακολουθούνται μόνο από την στιγμή που θα κουνηθούν, προσφέροντας έτσι μια ενεργειακά αποδοτική λύση, προκαλώντας και λιγότερες παρεμβολές σε άλλες επικοινωνίες που βασίζονται στο WLAN (Gu, 2009).

2.3.4 Compass

Το σύστημα COMPASS εκμεταλλεύεται τις υποδομές WLAN καθώς και τις ψηφιακές πυξίδες ώστε με χαμηλό κόστος να παρέχει σχετικά υψηλής ακριβείας υπηρεσίες εντοπισμού θέσης και να εντοπίζει ένα χρήστη που μεταφέρει μια συσκευή με δυνατότητα WLAN. Οι εκτιμήσεις θέσης βασίζονται στην ισχύ του σήματος που μετράται από διαφορετικά AP. Το σύστημα COMPASS χρησιμοποιεί την τεχνική εντοπισμού δακτυλικών αποτυπωμάτων (fingerprinting) και έναν πιθανολογικό αλγόριθμο εντοπισμού θέσης για τον προσδιορισμό της θέσης ενός χρήστη. Μια σημαντική συνεισφορά του COMPASS είναι ότι και ο προσανατολισμός του χρήστη λαμβάνεται υπόψη στη διαδικασία ανίχνευσης θέσης. Ο προσανατολισμός ενός χρήστη μετρείται με μία ψηφιακή πυξίδα για τη μείωση της επιρροής του μπλοκαρίσματος του ανθρώπινου σώματος στη διαδικασία τοποθέτησης (το ανθρώπινο σώμα απορροφάει τα 2,4ghz ραδιοσήματα). Μια ψηφιακή πυξίδα είναι χαμηλού

κόστους/ χαμηλής κατανάλωσης και μικρού μεγέθους, γιατί είναι ενσωματωμένη σε ένα τσιπ (SoC) (Gu, 2009).



Εικόνα 2-8: AeroScout architecture

2.3.5 AeroScout

Μια υπάρχουσα ασύρματη υποδομή χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της θέσης οποιασδήποτε κινητής συσκευής που χρησιμοποιεί τα πρότυπα 802.11b / g και μπορεί να παρακολουθεί τις ετικέτες AeroScout. Το σύστημα χρησιμοποιεί TDOA για μεγαλύτερα εσωτερικά περιβάλλοντα και εξωτερικούς χώρους, και RSSI για μικρότερα εσωτερικά περιβάλλοντα. Οι δέκτες AeroScout χρησιμοποιούνται διαφορετικά με βάση την τεχνική εντοπισμού που εφαρμόζεται. Έτσι για το TDOA οι δέκτες είναι αναγνώστες Wi-Fi μεγάλης εμβέλειας ενώ για το RSSI το σύστημα χρησιμοποιεί είτε τους ίδιους δέκτες ή σε ορισμένες περιπτώσεις σημεία πρόσβασης Cisco ως αναγνώστες. Το σύστημα AeroScout που παρουσιάζεται μπορεί να αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας ετικέτες AeroScout Wi-Fi, δέκτες τοποθεσίας, «exciters» και μία μηχανή Aeroscout.

Οι ετικέτες AeroScout είναι ετικέτες με μεγάλη διάρκεια ζωής μπαταρίας, η οποία μπορεί να επεκταθεί εάν οι ετικέτες απενεργοποιούνται όποτε δεν

βρίσκονται εντός της περιοχής παρακολούθησης. Για μικρές αποστάσεις, οι ετικέτες μπορούν να ενεργοποιηθούν από τους AeroScout Exciters όπου το εύρος που καλύπτεται είναι περίπου 6,5 μέτρα. Για την επέκταση της περιοχής κάλυψης πολλαπλοί exciters μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους και να συμπεριφέρονται ως ένας.

Οι δέκτες AeroScout έχουν σαν κύριο ρόλο την καταγραφή των μετρήσεων TDOA του προτύπου 802.11 ως μηνύματα και να τα στέλνουν στη μηχανή Aeroscout. Κάθε δέκτης έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας περίπου 300 μετρήσεων το δευτερόλεπτο. Για την περίπτωση που απαιτούνται μετρήσεις RSSI το σύστημα AeroScout χρησιμοποιεί την υπάρχουσα ασύρματη υποδομή. Το AeroScout μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εσωτερικό-εξωτερικό σύστημα εντοπισμού χρησιμοποιώντας ένα μείγμα σημείων πρόσβασης και δεκτών AeroScout (Deak, Curran and Condell, 2012).

2.3.6 Intel Place Lab

Το Intel Place Lab αντιπροσωπεύει άλλη μια προσέγγιση ενεργού εντοπισμού χρησιμοποιώντας το Wi-Fi για τον υπολογισμό της τοποθεσίας. Είναι μια φθηνή λύση τόσο για εσωτερικούς όσο και για εξωτερικούς χώρους γιατί δεν υπάρχει ανάγκη για επιπλέον υλικό όσο υπάρχει εξοπλισμός Wi-Fi. Αυτό το σύστημα εντοπισμού χρησιμοποιεί το μοναδικό αναγνωριστικό που μεταδίδεται από τα σημεία πρόσβασης και έχει ακρίβεια 20 μέτρα.

Ένα πρόγραμμα, που εκτελείται στη συσκευή του χρήστη, κάνει έρευνα της περιοχής που θα παρακολουθείται αναζητώντας AP και καταγράφοντας το μοναδικό αναγνωριστικό τους. Τα μοναδικά αναγνωριστικά συνδέονται με τη θέση GPS των AP, δημιουργώντας έτσι έναν χάρτη των διαθέσιμων AP. Η μέθοδος για υπολογιστεί η τοποθεσία της συσκευής του χρήστη είναι αυτή του τριγωνισμού, συγκρίνοντας το μοναδικό αναγνωριστικό που αποστέλλεται από τα AP με τις εγγραφές στη βάση δεδομένων. Η βάση δεδομένων που περιέχει τα APs έχει δημιουργηθεί από άτομα που κινούνται στην περιοχή παρακολούθησης και ανιχνεύουν διαθέσιμα 802.11 AP.

Η ακρίβεια του συστήματος μπορεί να βελτιωθεί αυξάνοντας τον αριθμό

των υαρχόντων AP. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης του Place Lab είναι ότι διαθέτει δωρεάν λογισμικό και δεν απαιτείται η εγκατάσταση νέου υλικού. Η διαφορά μεταξύ του Intel Place Lab και άλλα συστήματα εντοπισμού (π.χ. EkaHau) που χρησιμοποιούν Wi-Fi είναι το πρώτο δεν απαιτεί προηγούμενη ραδιοφωνική έρευνα ή δακτυλική αποτύπωση (fingerprinting) και ότι δεν χρειάζεται η θέση των APs να είναι προκαθορισμένη.

Ένα μειονέκτημα της ανάπτυξης ενός συστήματος τοποθεσίας με βάση το 802.11 είναι ο μειωμένος αριθμός υφιστάμενων AP σε λιγότερο κατοικημένες πόλεις ή περιοχές. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, το Intel Place Lab ξεκίνησε να χρησιμοποιεί το Παγκόσμιο Σύστημα για Κινητές Επικοινωνίες (GSM) και συσκευές Bluetooth παράλληλα με τα 802.11 AP, παρέχοντας έτσι ακρίβεια 20-30 μέτρα (Deak, Curran and Condell, 2012).

2.3.7 PinPoint 3D-iD

Το PinPoint 3D είναι ένα εμπορικό προϊόν της RFTechnologies. Το PinPoint έχει το μειονέκτημα ότι είναι αρκετά ακριβό. Οι ετικέτες που παρέχονται είναι μικρές και μπορούν να φορεθούν χρησιμοποιώντας κορδόνι ή προσαρτώντας αυτές στη ζώνη. Οι πληροφορίες τοποθεσίας λαμβάνονται με το πάτημα ενός κουμπιού στις ετικέτες. Το σύστημα διαφημίζεται ότι έχει γρήγορη απόκριση λόγω του λογισμικού HelpAlert. Το PinPoint έχει υψηλή επεκτασιμότητα και μπορεί να καλύψει μια ολόκληρη επιχείρηση.

Το PinPoint μπορεί να αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας την υπάρχουσα υποδομή Wi-Fi ή χρησιμοποιώντας την επιλογή δικτύου ZigBee για περιβάλλοντα χωρίς Υποδομές Wi-Fi. Το PinPoint 3D-iD είναι ένα εμπορικό σύστημα, επομένως πολλές τεχνικές λεπτομέρειες δεν είναι διαθέσιμες. Το σύστημα PinPoint απαιτεί δύο κύρια στοιχεία, μια σειρά κεραιών (multi- antenna interrogator) και τις ετικέτες που πρέπει να παρακολουθούνται. Η σειρά κεραιών στέλνει αιτήματα- ερωτήσεις 2,44 GHz στις ετικέτες. Η ετικέτα που ρωτήθηκε λαμβάνει τα σήματα 2,44 GHz, διαμορφώνει τον φορέα (carrier) έως και τα 5,8 GHz, φιλτράρει το αποτέλεσμα και απαντά στον interrogator με σήμα χαμηλής ισχύος 5,8 GHz. Το PinPoint έχει σχεδιαστεί για παρακολούθηση εσωτερικών

στοιχείων ή προσωπικού όπου το GPS δεν λειτουργεί (Deak, Curran and Condell, 2012). Συνοπτικά τα συστήματα με βάση το WLAN έχουν μια σχετικά καλή ακρίβεια που εξαρτάται από τον αριθμό των APs που αναπτύσσονται στο χώρο, μια μέτρια αξιοπιστία που επηρεάζεται από διάφορα εμπόδια, το ανθρώπινο σώμα ή και τυχαίους παράγοντες, επαναχρησιμοποιήσιμη υποδομή αλλά σχετικά δύσκολο calibration (βαθμονόμηση), με χαμηλό κόστος και αρκετά καλή κάλυψη με επεκτάσιμη υποδομή.

2.3.8 Radio Frequency Identification (RFID)

Το RFID είναι ένας γενικός όρος που χρησιμοποιείται για την περιγραφή ενός συστήματος που μεταδίδει ασύρματα την ταυτότητα ενός αντικειμένου ή ατόμου χρησιμοποιώντας ραδιοκύματα.

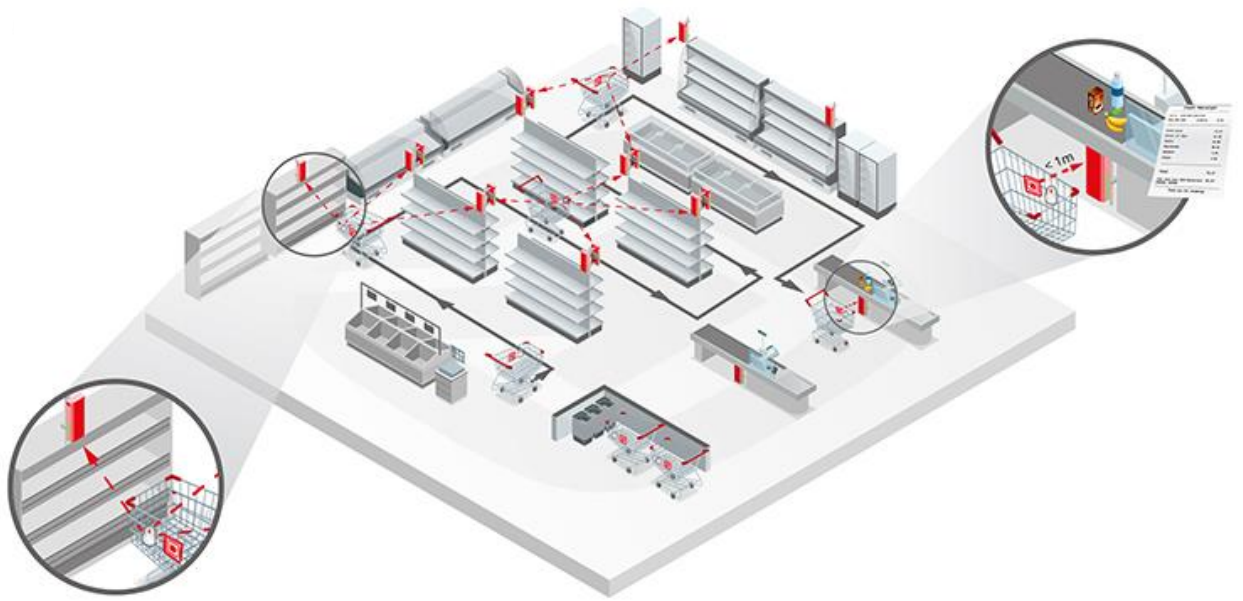
Η τεχνολογία RFID χρησιμοποιείται συχνότερα για την αυτόματη αναγνώριση αντικειμένων σε μεγάλα συστήματα. Ένα σύστημα RFID έχει αρκετά βασικά στοιχεία, όπως έναν αριθμό αναγνωστών RFID, ετικετών RFID και τις υποδομές για την μεταξύ τους επικοινωνία. Ο αναγνώστης RFID μπορεί να διαβάσει τα δεδομένα που εκπέμπονται από ετικέτες RFID. Οι αναγνώστες και οι ετικέτες RFID χρησιμοποιούν μια προκαθορισμένη συχνότητα και πρωτόκολλο για μετάδοση και λήψη δεδομένων. Οι ετικέτες RFID κατηγοριοποιούνται είτε ως παθητικές είτε ως ενεργές. Οι παθητικές ετικέτες RFID λειτουργούν χωρίς μπαταρία. Χρησιμοποιούνται κυρίως για να αντικαταστήσουν το κλασικό barcode και είναι πολύ ελαφρύτερες, μικρότερες σε όγκο και φθηνότερες από τις ενεργές ετικέτες.

Αντανακλούν το σήμα RF που τους μεταδίδεται από έναν αναγνώστη και προσθέτουν πληροφορίες αναδιαμορφώνοντας το ανακλώμενο σήμα. Ωστόσο το εύρος τους είναι πολύ περιορισμένο. Το τυπικό εύρος ανάγνωσης είναι 1-2 μέτρα, και το κόστος των αναγνωστών είναι σχετικά υψηλό. Τα παθητικά συστήματα RFID συνήθως χρησιμοποιούν τέσσερις ζώνες συχνοτήτων: LF (125 kHz), HF (13,56 MHz), UHF (433, 868-915 MHz) και μικροκυματικές συχνότητα (2,45 GHz, 5,8 GHz).

Οι ενεργές ετικέτες RFID είναι μικροί πομποδέκτες, οι οποίοι μπορούν

ενεργά να διαβιβάζουν την ταυτότητά τους (ή άλλα πρόσθετα δεδομένα) απαντώντας σε ένα εισερχόμενο αίτημα. Τα εύρη συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται είναι παρόμοια με το παθητικό RFID, εκτός από τα εύρη χαμηλής συχνότητας και υψηλής συχνότητας (LF, HF). Τα πλεονεκτήματα του ενεργού RFID είναι οι μικρότερες κεραίες και το πολύ μεγαλύτερο εύρος (μπορεί να είναι δεκάδες μέτρα). Οι ενεργές ετικέτες είναι ιδανικές για τον προσδιορισμό προϊόντων υψηλής αξίας που προχωρούν σε μια αυστηρή διαδικασία συναρμολόγησης (assembly line) (Liu, 2007).

Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη αρχή τοποθέτησης είναι αυτή της εγγύτητας, επίσης γνωστή ως CoO (Cell of Origin), π.χ. το σύστημα υποδεικνύει την παρουσία ατόμου που φορά ετικέτα RFID. Με αυτόν τον τρόπο, η ακρίβεια ενός συστήματος RFID είναι ανάλογη με την πυκνότητα ανάπτυξης ετικετών και το μέγιστο εύρος ανάγνωσης. Εναλλακτικά, οι δείκτες έντασης ληφθέντος σήματος (RSSI) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μια χονδρική εκτίμηση θέσης, εφαρμόζοντας τεχνικές πολλαπλών διαστάσεων. Η εκτίμηση της απόστασης Time of Arrival (ToA) στο RFID έχει αποδειχθεί δύσκολη να επιτευχθεί. Για να μετρηθεί η απόσταση μεταξύ ενός αναγνώστη και μιας ετικέτας σε απόσταση μεγαλύτερη από ένα μέτρο, πρέπει να χρησιμοποιείται εύρος ζώνης τουλάχιστον 10 kHz και να υπολογίζεται ο μέσος όρος πολλαπλών παρατηρήσεων. Η τυπική περίπτωση τοποθέτησης RFID βάσει αποστάσεων ToA βασίζεται σε παρατηρήσεις από μία ετικέτα, όπου ο προσδιορισμός θέσης πραγματοποιείται σε συνδυασμό με μετρήσεις Angle of Arrival (AoA) από αυτήν την ετικέτα. Μπορούν επίσης να εφαρμοστούν δακτυλικά αποτυπώματα (FP) βάσει προκαθορισμένων χαρτών σήματος. Οι αναγνώστες είναι σε θέση να σαρώσουν πολλαπλές ετικέτες με υψηλούς ρυθμούς δεδομένων έως 10 Hz (Mautz, 2012).



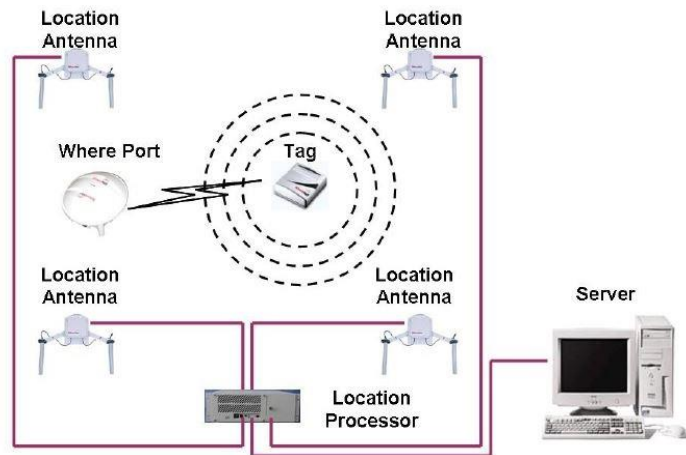
Εικόνα 2-9: Analysis of consumer behavior in a supermarket

2.3.9 SpotON

Το SpotON είναι μια τεχνολογία εσωτερικής εκτίμησης τοποθεσίας 3D που βασίζεται στην ισχύ σήματος (RSS) ραδιοσυχνότητας (RF) χρησιμοποιώντας πολλαπλούς σταθμούς βάσης που μετρούν την ισχύ αυτή. Ένας κεντρικός διακομιστής έχει το ρόλο να συγκεντρώνει τις τιμές και να εκτιμά τη θέση του αντικειμένου που παρακολουθείται χρησιμοποιώντας τριγωνισμό. Η εκτιμώμενη τοποθεσία γίνεται στη συνέχεια διαθέσιμη σε κάποια εφαρμογή. Το σύστημα όμως έχει κάποιους σημαντικούς περιορισμούς. Ένα αντικείμενο μπορεί να τοποθετηθεί στο χώρο με ακρίβεια περίπου 3 μέτρα, ενώ η συχνότητα μέτρησης για κάθε τοποθέτηση μπορεί να διαρκέσει μεταξύ 10 και 20 δευτερολέπτων, με αποτέλεσμα σημαντικά δεδομένα κίνησης να υπάρχει πιθανότητα να χαθούν. Ένας άλλος περιορισμός είναι η τροφοδοσία, η οποία επιτυγχάνεται με δύο μπαταρίες (νομίσματος) λίθου που παρέχουν μόνο 10 ώρες κανονικής λειτουργίας (Deak, Curran and Condell, 2012).

2.3.10 WhereNet

Το σύστημα εντοπισμού θέσης WhereNet προσφέρεται από την Zebra Technology Company για την παροχή διαφόρων εξοπλισμών που υποστηρίζουν την τοποθέτηση σε πραγματικό χρόνο εσωτερικού και εξωτερικού χώρου. Η τεχνολογία RFID χρησιμοποιείται στο WhereNet IPS για αναγνώριση κάποιων μονάδων, που ονομάζονται ετικέτες, οι οποίες μπορούν να τοποθετηθούν στα αντικείμενα που μας ενδιαφέρουν, όπως μια συσκευή ή ένα άτομο, ώστε να γίνει ο εντοπισμός της θέσης τους στο χώρο.



Εικόνα 2-10: WhereNet's Real Time Locating System

Το WhereNet IPS χρησιμοποιεί εξελιγμένο αλγόριθμο διαφορικής ώρα άφιξης (DTOA/ differential time of arrival) για τον υπολογισμό των θέσεων αυτών των ετικετών και παράγει απόλυτες πληροφορίες τοποθεσίας ετικετών, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από διάφορες εφαρμογές τοποθεσίας. Για παράδειγμα, το Visibility Server Software, μια εφαρμογή τοποθεσίας, παρέχει την θέση των εντοπισμένων ετικετών χρησιμοποιώντας αποτελεσματικά τις πληροφορίες τοποθεσίας από το WhereNet IPS.

Το σύστημα εντοπισμού πραγματικού χρόνου WhereNet (RTLS/ Real Time Locating System) αποτελείται από τα ακόλουθα μέρη: ετικέτες (tags), κεραίες τοποθεσίας (location antennas), επεξεργαστές τοποθεσίας (location processors), διακομιστές (servers) και WherePorts, όπως φαίνονται στο

παραπάνω σχήμα. Οι ετικέτες επισυνάπτονται στα αντικείμενα ενδιαφέροντος, όπως άτομα, συσκευές κ.λπ., ώστε να είναι δυνατή η παρακολούθηση της τοποθεσίας. Όπως φαίνεται και στο σχήμα, μεγάλης εμβέλειας ραδιοσήματα αποστέλλονται από τις ετικέτες, με τον μοναδικό αριθμό αναγνώρισης της κάθε ετικέτας με σκοπό αυτή να αναγνωριστεί και να τα εντοπιστεί. Κεραίες τοποθεσίας που είναι τοποθετημένες στην οροφή σε σταθερές θέσεις λαμβάνουν τα σήματα από τις ετικέτες και προωθούν τα δεδομένα σε έναν επεξεργαστή τοποθεσίας. Ο επεξεργαστής τοποθεσίας χρησιμοποιεί τις πληροφορίες αυτές για να εκτελέσει τον υπολογισμό τοποθεσίας, ενώ ταυτόχρονα παρακολουθεί πολλές άλλες ετικέτες. Ένας επεξεργαστής τοποθεσίας μπορεί να συνδεθεί με έως και 8 κεραίες θέσης μέσω ομοαξονικού καλωδίου. Οι επεξεργαστές τοποθεσίας μεταδίδουν τις υπολογισμένες πληροφορίες θέσης των ετικετών στο διακομιστή, όπου μπορούν να αποθηκευτούν και να χρησιμοποιηθούν από διάφορες υπηρεσίες τοποθεσίας, όπως υπηρεσίες παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο.

Τα Whereports που είναι μόνιμα τοποθετημένα σε διαφορετικές θέσεις στέλνουν χαμηλής συχνότητας ηλεκτρομαγνητικά σήματα στις ετικέτες για να υποδείξουν σε αυτές την απαιτούμενη συμπεριφορά που πρέπει να έχουν ανάλογα με τις εφαρμογές των χρηστών. Η WhereNet tag III, που είναι ένα είδος ετικέτας που χρησιμοποιείται στο WhereNet IPS, είναι μια μικρή και βολική συσκευή για χρήστες. Έχει μέγεθος 6,6 cm × 4,4 cm × 2,1 cm και βάρος 53γρ. Οι ετικέτες τροφοδοτούνται από μπαταρίες, οι οποίες μπορούν να διαρκέσουν έως και 7χρόνια ανάλογα με το ρυθμό μετάδοσης. Βασισμένη στις οδηγίες των WherePorts, η συχνότητα μετάδοσης των ετικετών κυμαίνεται από κάθε 5 δευτερόλεπτα έως μία ώρα. Ωστόσο, το WhereNet προσφέρει εύρος σφαιμάτων περίπου 2 έως 3 μέτρα, κάτι που δεν είναι πολύ ακριβές για εσωτερικούς χώρους. Το σύστημα είναι πολύπλοκο με πολλά εξαρτήματα υποδομής να είναι σταθερά τοποθετημένα σε διαφορετικές θέσεις. Έτσι, η εγκατάσταση αυτών των συσκευών είναι χρονοβόρα (Gu, 2009).

2.3.11 LANDMARC

Είναι ένα εσωτερικό σύστημα ανίχνευσης θέσης που χρησιμοποιεί το ενεργό RFID. Το πρωτότυπο σύστημα χρησιμοποιεί τη συχνότητα λειτουργίας του αναγνώστη RFID στα 308 MHz. Για να αυξηθεί η ακρίβεια χωρίς τη τοποθέτηση περισσότερων αναγνωστών, το σύστημα χρησιμοποιεί την ιδέα να έχει επιπλέον σταθερές ετικέτες αναφοράς τοποθεσίας ώστε να βοηθηθεί η βαθμονόμηση τοποθεσίας (location calibration). Αυτές οι ετικέτες αναφοράς χρησιμεύουν ως σημεία αναφοράς του συστήματος. Η προσέγγιση του LANDMARC απαιτεί μεταφορά πληροφοριών ισχύος σήματος από κάθε ετικέτα στους αναγνώστες. Αναφέρεται ότι το 50% των εκτιμήσεων έχει απόσταση σφάλματος περίπου 1 μέτρο ενώ το μέγιστο σφάλμα είναι μικρότερο από 2 μέτρα [Liu, 2007]. Συνοπτικά τα συστήματα RFID έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά με τα συστήματα WLAN όπως σχετικά καλή ακρίβεια (ανάλογη του αριθμού ετικετών και δεκτών που χρησιμοποιούνται), μέτρια αξιοπιστία και πολυπλοκότητα, εύκολη επεκτασιμότητα και σχετικά χαμηλό κόστος υποδομής, εγκατάστασης και λειτουργίας/ συντήρησης.

2.3.12 Bluetooth:

Το Bluetooth είναι ένα πρότυπο για ασύρματα προσωπικά δίκτυα περιοχής (WPAN) το οποίο λειτουργεί στη ζώνη ISM 2,4 GHz. Σε σύγκριση με το WLAN, ο μικτός ρυθμός μετάδοσης bit είναι χαμηλότερος (1 Mbps) και το εύρος είναι και αυτό μικρότερο (συνήθως 10–15 μέτρα). Από την άλλη πλευρά, το Bluetooth είναι ένα "ελαφρύτερο" πρότυπο, εξαιρετικά διαθέσιμο (ενσωματωμένο στα περισσότερα τηλέφωνα, προσωπικούς ψηφιακούς βοηθούς (PDA), τάμπλετ, λάπτοπ κ.λπ.) και υποστηρίζει πολλές άλλες υπηρεσίες δικτύωσης εκτός του IP. Οι Bluetooth ετικέτες είναι πομποδέκτες μικρού μεγέθους. Όπως οποιαδήποτε άλλη συσκευή Bluetooth, κάθε ετικέτα έχει ένα μοναδικό αναγνωριστικό. Αυτό το αναγνωριστικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό της ετικέτας Bluetooth [Liu, 2007].

Αντίστοιχα το Bluetooth Low Energy (BLE) είναι μια νέα τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας για μικρές αποστάσεις επικοινωνίας με βελτιωμένες

ιδιότητες χαμηλού κόστους και χαμηλής ισχύος. Το BLE έχει πολύ χαμηλό ρυθμό κατανάλωσης ισχύος με παρόμοιο εύρος επικοινωνίας με το απλό Bluetooth. Οι συσκευές που χρησιμοποιούν τη μορφή επικοινωνίας BLE συνήθως τροφοδοτούνται από μπαταρίες σε σχήμα νομίσματος και μπορούν να λειτουργούν για μήνες και ακόμη και για χρόνια χωρίς αλλαγή.

Η τεχνολογία BLE προσφέρει μια πιο προηγμένη και ισχυρή συνδεσιμότητα αποκαθιστώντας τις συνδέσεις των συσκευών μόλις αυτές επιστρέψουν στο κατάλληλο μεταξύ τους εύρος. Αυτή η νέα λειτουργία μεταφοράς δεδομένων κάνει το BLE πιο ευνοϊκό για μικρής εμβέλειας επικοινωνίες σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Πρόσφατα, όλο και περισσότερες τεχνολογίες χρησιμοποιούν τη ζώνη ISM για επικοινωνία και ως εκ τούτου υπάρχει συνωστισμός. Για αυτό το λόγο το BLE χρησιμοποιεί έναν μηχανισμό αναπήδησης συχνότητας, και στα κανάλια ανακάλυψης αλλά και στα κανάλια δεδομένων, για την αποφυγή συμφόρησης κατά την επικοινωνία. Το κλασικό Bluetooth έχει 79 κανάλια, καθένα από τα οποία έχει πλάτος 1 MHz, ενώ το BLE έχει σχεδιαστεί για λειτουργία στη ζώνη ISM 2,4 GHz χρησιμοποιώντας 40 κανάλια, το καθένα με πλάτος 2 MHz. Από αυτά τα 40 κανάλια, τρία κανάλια, δηλαδή τα κανάλια αριθ. 37, 38 και 39, χρησιμοποιούνται για σκοπούς μετάδοσης, δηλαδή ανακάλυψη συσκευών κ.λπ. και τα υπόλοιπα 37 κανάλια είναι υπεύθυνα για τη μετάδοση δεδομένων. Η διαδικασία ανακάλυψης συσκευών έχει γίνει απλούστερη με το σχεδιασμό μιας συγκεντρωτικής μηχανής κατάστασης που βοηθά επίσης στην εξοικονόμηση ενέργειας (Cho et al, 2015).

2.3.13 Beacons

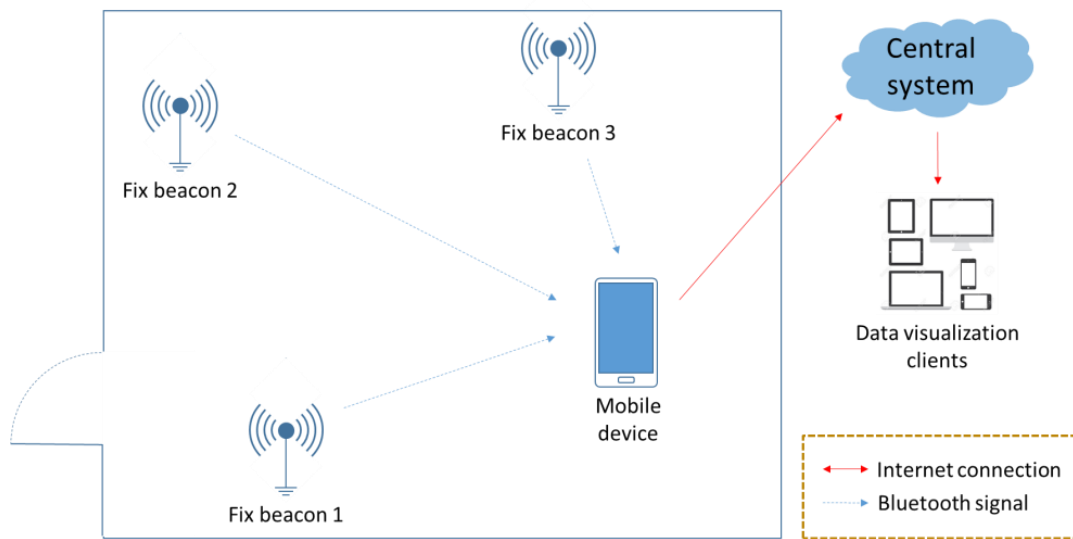
Το beacon είναι ένας μικρός Bluetooth ραδιοφωνικός πομπός που βασίζεται στο Bluetooth Low Energy. Εκπέμπει ένα ραδιοφωνικό σήμα, συγκεκριμένα τον μοναδικό χαρακτηριστικό του αριθμό ID, σε τακτά χρονικά διαστήματα (περίπου κάθε 1/10 του δευτερολέπτου) το οποίο μπορεί να αναγνωριστεί από μία συσκευή με δέκτη Bluetooth, όπως ένα smartphone. Τα Beacons είναι μικρές και απλές συσκευές που αποτελούνται από έναν CPU, ένα ραδιόφωνο (πομπό) και μπαταρίες. Τα beacons συχνά χρησιμοποιούν μικρές

μπαταρίες λίθου, που μπορεί να κρατήσουν μέχρι και χρόνια λόγω της μικρής κατανάλωσης, ή τροφοδοτούνται από θύρες usb, ενώ το εύρος λειτουργίας τους μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 100m. Βγαίνουν σε διαφορετικά σχήματα και χρώματα και μπορεί να περιλαμβάνουν επιταχυνσιόμετρα (accelerometers), αισθητήρες θερμοκρασίας, ή άλλα ειδικά πρόσθετα.

Όσον αφορά το θέμα την ανίχνευσης θέσης σε εσωτερικούς χώρους (Indoor Positioning) αυτή η τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με μοντέρνα smartphones βάσει της λαμβανόμενης ισχύος σήματος (RSS) των σημάτων Bluetooth.

Η επικοινωνία μεταξύ smartphones και beacons είναι ιδανική για την προστασία της ιδιωτικότητας και των προσωπικών δεδομένων καθώς η διαδικασία τοποθέτησης είναι μονόδρομη και ανεξάρτητη, αφού δεν απαιτείται χειραψία μεταξύ τους (όπως σε άλλα πρωτόκολλα). Επειδή το beacon είναι μια συσκευή χαμηλής ενέργειας, το σήμα μπορεί να εμποδίζεται από την εσωτερική διαρρύθμιση ενός χώρου καθώς και από ανθρώπινα σώματα. Επομένως, η ανάπτυξη των θέσεων των beacons είναι σημαντική για τη διατήρηση της ακρίβειας. Με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους χρησιμοποιούνται συνήθως όσο το δυνατόν λιγότερα beacons ώστε να υπάρχει μια υποτυπώδης οπτική επαφή μεταξύ αυτών και των αντίστοιχων δεκτών (smartphones).

Μια εφαρμογή τοποθέτησης που ενσωματώνεται στο smartphone αρχικά συλλέγει και αποθηκεύει τις τιμές RSSI από τα πλησιέστερα beacons. Μετά από κάποια επεξεργασία υπολογίζει το κοντινότερο Beacon, το αναγνωριστικό του οποίου στέλνει σε ένα διακομιστή. Η εφαρμογή από την πλευρά του διακομιστή αντιστοιχεί το αναγνωριστικό αυτό, μέσω της βάσης δεδομένων του, στην αντίστοιχη θέση του beacon στο χώρο, και έτσι υπολογίζεται προσεγγιστικά η θέση στο χώρο του χρήστη που χρησιμοποιεί το smartphone. Κατά μέσο όρο για το 97% των περιπτώσεων η ακρίβεια κυμαίνεται από 3 έως 5 μέτρα, η οποία μπορεί εύκολα να επηρεαστεί από τα φυσικά εμπόδια και τους τοίχους του χώρου που παρακολουθείται (A et al., 2015).



Εικόνα 2-11: Bluetooth Beacon Tracking – Fixed Beacon Approach

Όπως κάθε άλλη τεχνολογία, τα beacons χρειάζονται ένα πρωτόκολλο που ενσωματώνει μια ολοκληρωμένη λύση για την κατασκευή, τον προγραμματισμό, την μετάδοση και την γενική λειτουργικότητά τους. Τέτοια πρωτόκολλα είναι το iBeacon και το Eddystone. Και τα δύο είναι πρωτόκολλα εκπομπής που βασίζονται στο Bluetooth 4.0, υποστηρίζουν πλήρως την ανάπτυξη beacons και προσφέρουν περίπου την ίδια λειτουργικότητα, ενώ μπορεί να διαθέτουν κάποιες επιπλέον λειτουργίες που τα ξεχωρίζουν το ένα από το άλλο.

Στο Worldwide Developers Conference του 2013, η Apple ανακοίνωσε μια πλατφόρμα για ανάπτυξη beacon, το iBeacon. Το iBeacon προστέθηκε στη συνέχεια στο iOS 7, το οποίο σήμαινε ότι θα συμπεριλαμβανόταν σε όλα τα iPhone και έτσι θα ήταν άμεσα προσβάσιμο σε εκατομμύρια χρήστες. Αυτή η σημαντική βάση χρηστών ήταν αρκετή για να ξεκινήσει η κοινότητα ανάπτυξης γύρω από τα beacons και να επιταχύνει το ενδιαφέρον για τις πιθανές εφαρμογές των υποδομών εγγύτητας. Όπως και με άλλα προϊόντα της Apple, το λογισμικό που υποστηρίζει το iBeacon είναι ένα ιδιόκτητο, κλειστό πρότυπο. Φυσικά, η Apple έκανε διαθέσιμα κιτ ανάπτυξης λογισμικού (SDK) για τρίτους για τη δημιουργία εφαρμογών beacon, αλλά ο πυρήνας του κώδικα iBeacon παραμένει κλειστός. Το σήμα που μεταδίδει το iBeacon περιέχει τρία κομμάτια πληροφοριών και το καθένα παίζει ρόλο στον τρόπο ερμηνείας και χρήσης των

πληροφοριών από το beacon. Αυτά είναι τα εξής:

1. Ένα παγκόσμιο μοναδικό αναγνωριστικό (Universally Unique Identifier/ UUID) που προσδιορίζει τον χώρο ή τον οργανισμό στον οποίο ανήκουν τα beacons
2. Ένας σημαντικός αριθμός (Major number) που προσδιορίζει το beacon ως μέρος μιας ομάδας (πχ beacons 1^{ου} ορόφου)
3. Ένας μικρός αριθμός (Minor number) που προσδιορίζει ένα συγκεκριμένο beacon

Όταν συλλέγονται και αναλύονται δεδομένα από εφαρμογές, αυτά τα τρία μέρη του σήματος iBeacon καθιστούν δυνατή την ανίχνευση θέσης ή ακόμα και κίνησης σε μια τοποθεσία (επειδή γνωρίζουμε ότι μια συσκευή μετακινήθηκε από το εύρος ενός beacon σε ένα άλλο). Το iBeacon είναι προφανώς εγγενές σε συσκευές που βασίζονται στο iOS της Apple και έτσι λειτουργεί πιο ομαλά και έχει ελαφρώς ταχύτερους χρόνους απόκρισης, αλλά υποστηρίζει επίσης συσκευές Android, πράγμα που σημαίνει ότι οι εφαρμογές που είναι εγκατεστημένες σε αυτές θα αλληλεπιδρούν κανονικά με σήματα iBeacon.

2.3.14 Η ανοιχτή μορφή beacon της Google, Eddystone:

Το πρωτόκολλο επικοινωνίας beacon Eddystone κυκλοφόρησε το 2015. Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο ανοιχτού κώδικα για προγραμματιστές εφαρμογών beacon, που τους επιτρέπει να εκμεταλλεύονται περισσότερες λειτουργίες μέσω της χρήσης τεσσάρων τύπων "πλαισίου".

1. Το Eddystone-UID εξυπηρετεί τον ίδιο σκοπό με τις πληροφορίες που περιέχονται στο σήμα iBeacon όπως εξηγείται παραπάνω, με κωδικούς που χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν τον οργανισμό στον οποίο ανήκουν οι beacons, σε ποια ομάδα και το αναγνωριστικό ενός συγκεκριμένου beacon
2. Το Eddystone-EID μεταδίδει ένα κρυπτογραφημένο αναγνωριστικό προκειμένου να αυξήσει την ασφάλεια του πρωτοκόλλου, αλλά κατά τα άλλα ενεργεί παρόμοια με το πλαίσιο UID
3. Το Eddystone-URL μεταδίδει ένα URL το πολύ 18 χαρακτήρων που

ανακατευθύνει σε έναν ασφαλή ιστότοπο χρησιμοποιώντας SSL. Είναι το χαρακτηριστικό που πραγματικά έκανε το Eddystone να ξεχωρίσει καθώς δίνει τη δυνατότητα προώθησης μιας διεύθυνσης URL απευθείας σε μια συσκευή χωρίς την ανάγκη χρήσης ξεχωριστής εφαρμογής. Αντί να χρειάζεται μια εφαρμογή να λαμβάνει πληροφορίες από έναν διακομιστή σχετικά με το τι πρέπει να κάνει όταν μια συσκευή ενεργοποιείται από ένα δεδομένο beacon και στη συνέχεια να μεταδίδει την εντολή πίσω στη συσκευή, το Eddystone επιτρέπει στους beacons να στέλνουν μια διεύθυνση URL απευθείας σε αυτό το smartphone ή το tablet.

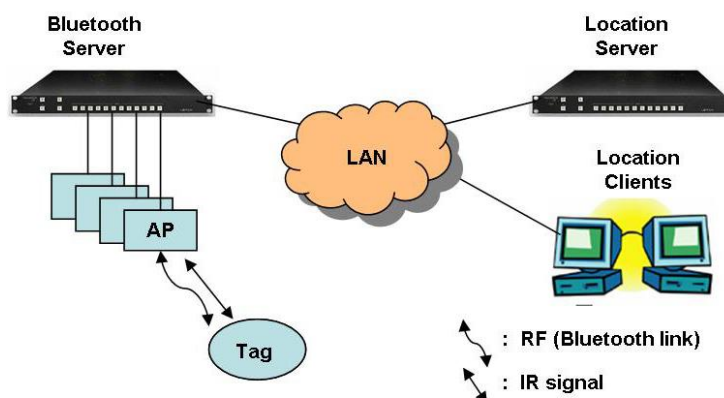
4. Το Eddystone-TLM επιτρέπει στους beacons να μεταδίδουν πληροφορίες σχετικά με τις φυσικές και περιβαλλοντικές συνθήκες που μπορεί να απειλήσουν την απόδοσή του, όπως η θερμοκρασία και η υγρασία, καθώς και τη στάθμη της μπαταρίας και να προκαλέσουν ενέργειες βάσει αυτών των συνθηκών.

Οι προγραμματιστές μπορούν να επιλέξουν να ενεργοποιήσουν κάθε πλαίσιο ξεχωριστά, πράγμα που σημαίνει ότι δεν χρησιμοποιούνται όλα εάν δεν είναι απαραίτητο. Το Eddystone είναι εγγενές στο Android, το ανοιχτό λειτουργικό σύστημα της Google και επομένως οποιαδήποτε συσκευή λειτουργεί με αυτό είναι έτοιμη να αλληλεπιδράσει με Eddystone beacons. Ακριβώς όπως το iBeacon, το Eddystone είναι πλήρως συμβατό με συσκευές iOS. Τέλος, η ύπαρξη ανοιχτού κώδικα σημαίνει ότι οι προγραμματιστές μπορούν να συμβάλουν στην περαιτέρω ανάπτυξή του.

2.3.15 Topaz

Το σύστημα τοποθεσίας Topaz χρησιμοποιεί Bluetooth τεχνολογία για τον εντοπισμό ετικετών σε εσωτερικούς χώρους. Το Topaz μπορεί να παράσχει μόνο 2-D πληροφορίες τοποθεσίας με εύρος σφαλμάτων περίπου 2 m, κάτι που δεν επαρκεί για να παρέχει ακρίβεια σε επίπεδο δωματίου σε ένα εσωτερικό περιβάλλον με πολλαπλά εμπόδια. Έτσι το σύστημα Topaz συνδυάζει την τοποθέτηση με βάση το Bluetooth με αυτή με βάση το IR (υπέρυθρη), η οποία είναι καταλληλότερη για τέτοιους σκοπούς. Το IR δεν μπορεί να διεισδύσει στους τοίχους των δωματίων, κάτι που το κάνει να προσφέρει τέλεια ακρίβεια σε επίπεδο δωματίου. Το σύστημα τοποθεσίας Topaz αποτελείται από μέρη

λογισμικού και υλικού για την τοποθέτηση των ετικετών Bluetooth ή από οποιαδήποτε άλλη συσκευή εξοπλισμένη με τεχνολογία Bluetooth. Η εικόνα 2.12 δείχνει τα στοιχεία και την αρχιτεκτονική του τοπικού συστήματος τοποθεσίας Toraz.



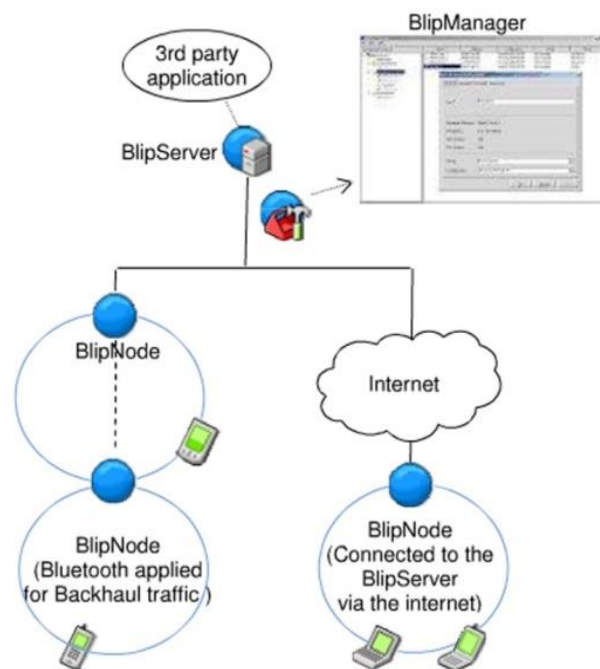
Εικόνα 2-12: Αρχιτεκτονική του τοπικού συστήματος τοποθεσίας Toraz.

Στο σύστημα, οι ετικέτες εντοπίζονται από πολυάριθμα Bluetooth και IRAP (Access Points) που είναι μόνιμα τοποθετημένα σε διάφορες θέσεις. Συνήθως 32 AP σχετίζονται με ένα διακομιστή Bluetooth, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την εκτέλεση κάποιων λειτουργιών Bluetooth όπως είναι η διαχείριση αυτών των AP. Οι διακομιστές Bluetooth λαμβάνουν τη μετρούμενη ισχύ σήματος και προωθούν τα ανεπεξέργαστα δεδομένα στο διακομιστή τοποθεσίας και έτσι αυτός υπολογίζει τις θέσεις των ετικετών. Οι διακομιστές Bluetooth, οι διακομιστές τοποθεσίας και τα τερματικά (location clients) είναι συνδεδεμένοι με LAN.

Συνδυάζοντας την τεχνολογία Bluetooth και την τεχνολογία υπερέθρων, η ανίχνευση θέσης ενός αντικειμένου σε επίπεδο δωματίου μπορεί να γίνει σωστά. Δεκάδες αντικείμενα μπορούν να παρακολουθούνται ταυτόχρονα. Ωστόσο οι ετικέτες που χρησιμοποιούν μπαταρίες πρέπει να φορτίζονται μία φορά την εβδομάδα, ένα μικρό χρονικό διάστημα σε σύγκριση με τις ετικέτες που χρησιμοποιούνται σε άλλα συστήματα τοποθεσίας. Η καθυστέρηση του υπολογισμού της θέσης μιας ετικέτας είναι αρκετά μεγάλη, περίπου 10 έως 30 δευτερόλεπτα (Gu, 2009).

2.3.16 BLIP

Το BLIP System είναι κατασκευασμένο πάνω από ένα διαχειριζόμενο δίκτυο Bluetooth γνωστό ως BlipNet. Το δίκτυο BlipNet προσφέρει πρόσβαση σε LAN / WAN μέσω Bluetooth. Τα εξαρτήματα που απαιτούνται για την ανάπτυξη ενός δικτύου BlipNet είναι τα εξής: κινητές συσκευές με ενσωματωμένο Bluetooth, Blip Nodes, BlipServer και ένας διακομιστής όπου εκτελείται η εφαρμογή παρακολούθησης.



Εικόνα 2-13: BlipNet

Οι συσκευές που βρίσκονται κοντά σε ένα BlipNode μπορούν να συνδεθούν με αυτό με τρεις τρόπους. Μια προσέγγιση είναι να καταχωρηθεί μια υπηρεσία που ονομάζεται Serial Port Profile (SPP) στο BlipNode, υπηρεσία που θα χρησιμοποιηθεί από τη συσκευή για τη δημιουργία της σύνδεσης. Μια δεύτερη μέθοδος είναι η συνεχής αναζήτηση από τους BlipNodes των συσκευές σε εμβέλεια και να γίνει μια επιλογή των συσκευών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο δίκτυο BlipNet. Αυτές οι μέθοδοι απαιτούν κάποιες πληροφορίες από τη συσκευή, όπως τη διεύθυνση Bluetooth, που είναι

απαραίτητες για τη δημιουργία σύνδεσης χρησιμοποιώντας κάποιο από τα υπάρχοντα πρωτόκολλα.

Η τελευταία μέθοδος σύνδεσης μιας συσκευής σε ένα BlipNode είναι χρησιμοποιώντας μία σύνδεση LAN που στέλνει αιτήματα HTTP για μια συγκεκριμένη διεύθυνση URL. Όποτε η συσκευή στέλνει ένα αίτημα HTTP, η διεύθυνση Bluetooth μπορεί να επαληθευτεί από τον BlipServer και αυτός με τη σειρά του μεταβιβάζει τα δεδομένα σύνδεσης στην εφαρμογή που εκτελείται στη συσκευή.

Το BlipNode αντιπροσωπεύει ένα σημείο πρόσβασης Bluetooth (AP) που προσφέρει πρόσβαση LAN μέσω Bluetooth στις κινητές συσκευές. Ένα BlipNode δημιουργεί μια σύνδεση με τον BlipServer μέσω LAN, Internet ή μέσω συνδέσμου προς άλλο BlipNode. Ο BlipServer αντιπροσωπεύει τον πυρήνα του συστήματος Blip και είναι υπεύθυνος για τη διαμόρφωση, την παρακολούθηση και τον έλεγχο των BlipNodes στο δίκτυο BlipNet. Ένα ανοιχτό Java API είναι διαθέσιμο, προσφέροντας τη δυνατότητα σε τρίτους να αναπτύξουν εφαρμογές διεπαφής για το BlipNet. Μέσω του BlipNet API, η εφαρμογή έχει πρόσβαση σε πληροφορίες τοποθεσίας που συλλέγονται από τις συσκευές Bluetooth.

Ως πλεονέκτημα, η εκτίμηση θέσης Bluetooth προσφέρει τη δυνατότητα εντοπισμού οποιασδήποτε κινητής συσκευής Bluetooth χωρίς την ανάγκη οποιουδήποτε πρόσθετου υλικού. Το BlipNode μπορεί να χειριστεί έως και 21 συνδέσεις ταυτόχρονα, κάτι που για μεγάλα περιβάλλοντα ή μεγάλο αριθμό κινητών συσκευών μπορεί να θεωρηθεί ως περιορισμός. Άλλο ένα μειονέκτημα είναι το εύρος Bluetooth που εξαρτάται από την κατηγορία Bluetooth. Η μέγιστη εμβέλεια είναι περίπου 100 μέτρα για κλάση Bluetooth 1. Το εύρος μπορεί να επεκταθεί με κατευθυντικές κεραίες και ενισχυτές σήματος, αλλά αυτό αυξάνει το κόστος ανάπτυξης ενός συστήματος εντοπισμού που βασίζεται στο Bluetooth (Deak, Curran and Condell, 2012).

2.3.17 Zigbee

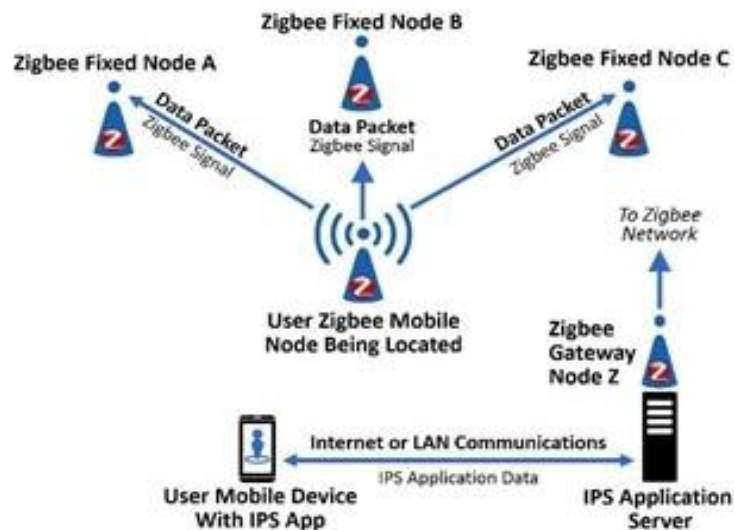
Η τεχνολογία ZigBee είναι ένα αναδυόμενο πρότυπο ασύρματης τεχνολογίας που παρέχει λύσεις για επικοινωνίες μικρής και μεσαίας εμβέλειας λόγω των πολυάριθμων πλεονεκτημάτων της. Έχει σχεδιαστεί κυρίως για εφαρμογές που απαιτούν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, αλλά δεν απαιτούν μεγάλης απόδοσης μεταφορά δεδομένων. Η κάλυψη εύρους σήματος ενός ZigBee σε εσωτερικούς χώρους είναι συνήθως 20 έως 30 μέτρα. Ο υπολογισμός απόστασης μεταξύ δύο κόμβων ZigBee πραγματοποιείται συνήθως από τιμές RSSI (Farid Zahid, 2013).

Ένας βασικός κόμβος ZigBee είναι πολύ μικρός και έχει χαμηλή πολυπλοκότητα και κόστος. Αποτελείται από ένα πολυκάναλο αμφίδρομο ραδιόφωνο και έναν μικρο-ελεγκτή σε ένα κομμάτι πυριτίου. Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι φυσικών συσκευών που χρησιμοποιούνται για τους κόμβους ZigBee. Συσκευές πλήρους λειτουργίας (Full Function Devices/ FFD) και συσκευές μειωμένης λειτουργίας (Reduced Function Devices/ RFD). Αυτή η τεχνολογία επιτυγχάνει εντοπισμό θέσης μέσω συντονισμού και επικοινωνίας με γειτονικούς κόμβους (Al-Ammar, 2014). Η τεχνολογία ZigBee είναι ανοιχτή σε παρεμβολές από ένα ευρύ φάσμα τύπων σήματος που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα γιατί λειτουργεί στις ISM συχνότητες χωρίς άδεια.

Ο Larrañaga et al. (2010) ανέπτυξε ένα δίκτυο ZigBee που αποτελείται από 8 κόμβους αναφοράς σε ένα γραφείο με εμβαδόν 432 m². Οι τιμές RSSI χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό ενός φορητού κόμβου ZigBee. Αντί της δημιουργίας ενός χάρτη αποτυπωμάτων, χρησιμοποιήθηκαν οι αποστάσεις μεταξύ των γνωστών θέσεων των κόμβων αναφοράς για τη λήψη πληροφοριών σχετικά με τα πραγματικά χαρακτηριστικά διάδοσης του χώρου. Επιτεύχθηκε έτσι μια μέση ακρίβεια εντοπισμού 3 μέτρα. Σε μια παρόμοια μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τον Tadakamadla (2006) βγήκε το συμπέρασμα ότι η κύρια συνεισφορά σφάλματος προκαλείται από την τυχαιότητα του RSSI και την εξάρτηση από τον προσανατολισμό και το σώμα του χρήστη.

Το My Bodyguard (2011) προσφέρει ένα σύστημα παρακολούθησης για εσωτερικούς χώρους για άτομα και αντικείμενα που βασίζεται στο ZigBee και το

GNSS. Το My Bodyguard παρέχει ακρίβεια σε επίπεδο δωματίου με ρυθμός μέτρησης 0,2 Hz. Η ισχύς της μπαταρίας των φάρων για τη μετάδοση ενεργών σημάτων έχει διάρκεια 3 ετών (Mautz, 2012).



Εικόνα 2-14 PinPoint 3D

Το PinPoint 3D όπως αναφέρθηκε προηγουμένως στις λύσεις που χρησιμοποιούν στο WLAN μπορεί να αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας την επιλογή δικτύου ZigBee, για περιβάλλοντα χωρίς Υποδομές Wi-Fi, με τις ίδιες προδιαγραφές.

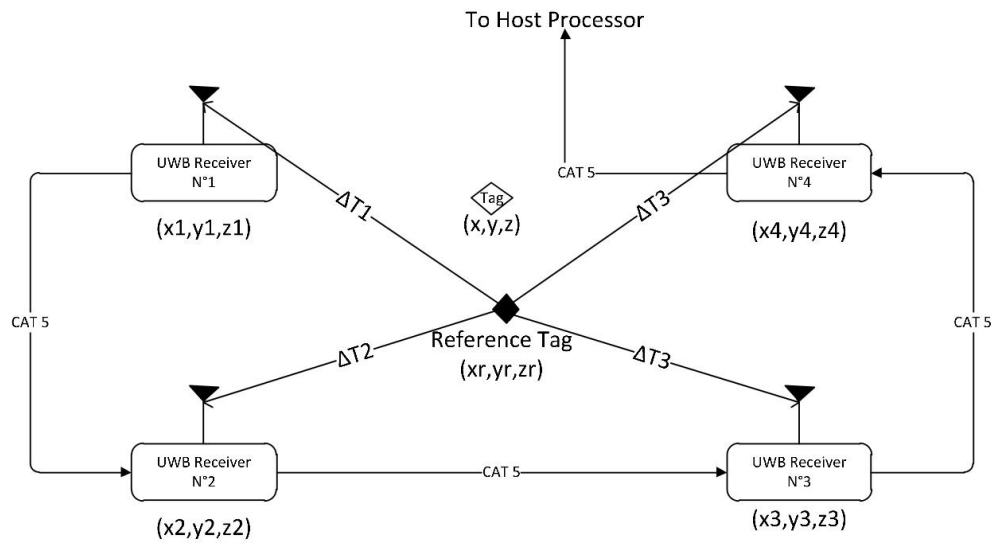
2.3.18 Ultra Wide Band (UWB)

Το UWB βασίζεται στην αποστολή πολύ σύντομων παλμών (συνήθως <math><1\text{ ns}</math>), με κύκλο χαμηλής λειτουργίας (συνήθως 1: 1000), ακόμη και 500 MHz πλάτους. Ένα σύστημα τοποθεσίας UWB έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα. Αντίθετα με τα συμβατικά συστήματα RFID, τα οποία λειτουργούν σε μονές ζώνες του ραδιοφάσματος, το UWB μεταδίδει ένα σήμα πολλαπλών ζωνών συχνοτήτων ταυτόχρονα, από 3,1 έως 10,6 GHz. Τα σήματα UWB μεταδίδονται επίσης για πολύ μικρότερη διάρκεια σε σχέση με αυτά που χρησιμοποιούνται στο

συμβατικό RFID. Οι ετικέτες UWB καταναλώνουν λιγότερη ισχύ από τις συμβατικές ετικέτες RF και μπορούν να λειτουργήσουν σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων.

Το UWB μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κοντινή απόσταση με άλλα σήματα RF χωρίς να προκαλεί ή να υποφέρει από παρεμβολές, λόγω των διαφορών στους τύπους σήματος και στο χρησιμοποιούμενο φάσμα. Οι παλμοί μικρής διάρκειας UWB είναι εύκολο να φιλτραριστούν προκειμένου να προσδιοριστεί ποια σήματα είναι σωστά και ποια παράγονται από το multipath. Ταυτόχρονα, το σήμα περνά εύκολα μέσα από τοίχους, εξοπλισμό και ρούχα. Ωστόσο, μεταλλικά και υγρά υλικά προκαλούν παρεμβολές σήματος. Με τη χρήση όμως περισσότερων αναγνωστών UWB και στρατηγική τοποθέτησή τους μπορεί να ξεπεραστεί αυτό το μειονέκτημα. Οι κυματομορφές μικρού παλμού επιτρέπουν ακριβή προσδιορισμό του TOA και άρα του TOF (time of flight) μιας μετάδοσης ριπής από έναν πομπό στον αντίστοιχο δέκτη. Ένα σύστημα UWB εκμεταλλεύεται τα χαρακτηριστικά ακριβούς συγχρονισμού της επικοινωνίας UWB για να επιτευχθεί πολύ υψηλή ακρίβεια τοποθεσίας σε εσωτερικούς χώρους (20 cm). Επομένως το UWB είναι κατάλληλο για 2-D και 3-D τοποθέτηση σε πραγματικό χρόνο υψηλής ακρίβειας.

Η τοποθέτηση τρισδιάστατης θέσης μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικές μεθόδους μέτρησης: TDOA, το οποίο μετρά τον χρόνο διαφορά μεταξύ ενός παλμού UWB που φθάνει σε πολλούς αισθητήρες, καθώς και AOA. Το πλεονέκτημα της χρήσης και των δύο μεθόδων σε συνδυασμό είναι ότι μια θέση μπορεί να προσδιοριστεί από μόνο δύο αισθητήρες κάτι που μειώνει την απαιτούμενη πυκνότητα αισθητήρων σε σχέση με τα συστήματα που χρησιμοποιούν μόνο TDOA (Liu, 2007).



Εικόνα 2-15 TDOA

2.3.19 Ubisense:

Η εταιρεία Ubisense, η οποία ιδρύθηκε από μηχανικούς της AT&T Cambridge, παρέχει ένα νέο σύστημα εντοπισμού θέσης σε πραγματικό χρόνο με βάση την τεχνολογία UWB. Η τεχνική εντοπισμού του τριγωνισμού, η οποία εκμεταλλεύεται και τις δύο τεχνικές, TDOA και AOA, χρησιμοποιείται στο σύστημα για να παρέχει ευέλικτη ικανότητα εντοπισμού θέσης. Δεδομένου ότι το Ubisense μπορεί να μετρήσει τις γωνίες σήματος και διαφορά στις ώρες άφιξης και επειδή περίπλοκα εσωτερικά περιβάλλοντα, συμπεριλαμβανομένων των τοίχων και των θυρών, δεν επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση, η ακρίβεια που προσφέρει το Ubisense είναι της τάξης των δεκάδων εκατοστών.



Εικόνα 2-16 Ubisense

Το σύστημα Ubisense αποτελείται από τρία μέρη: τους αισθητήρες, τις ετικέτες εντοπισμού και την πλατφόρμα λογισμικού Ubisense. Οι ενεργές ετικέτες μεταδίδουν παλμούς UWB ενώ οι αισθητήρες, οι οποίοι είναι σταθεροί σε γνωστές τοποθεσίες, λαμβάνουν τα UWB σήματα από τις ετικέτες που παρακολουθούνται. Στη συνέχεια, τα δεδομένα τοποθεσίας των ετικετών προωθούνται από αυτούς τους αισθητήρες μέσω του υπάρχοντος Ethernet στην πλατφόρμα λογισμικού Ubisense, η οποία αναλύει και εμφανίζει τη θέση των ετικετών.

Σε σύγκριση με τα άλλα συστήματα εντοπισμού θέσης που βασίζονται στο RF, το σύστημα Ubisense καταλήγει σε μεγαλύτερη ακρίβεια περίπου 15 cm σε 3-D. Η χρονική καθυστέρηση των εκτιμήσεων θέσης είναι μικρή και ο ρυθμός ανίχνευσης μπορεί να είναι έως και 20 φορές το δευτερόλεπτο. Οι αισθητήρες Ubisense οργανώνονται σε «κελιά». Σε κάθε κελί υπάρχουν τουλάχιστον τέσσερις αισθητήρες που καλύπτουν εμβαδόν έως 400 m². Έτσι το εύρος κάλυψης ανά στοιχείο υποδομής είναι μεγάλο. Το σύστημα είναι επεκτάσιμο ακόμα και για μεγάλες περιοχές παρακολούθησης. Οι ετικέτες που παρακολουθούνται είναι ασύρματες, ελαφριές(45 g), ευκολοφόρετες και με μεγάλη διάρκεια ζωής μπαταρίας (περίπου ενός έτους). Ωστόσο η τιμή αυτού του συστήματος υψηλής απόδοσης είναι επίσης υψηλή. Ένα ενεργό ερευνητικό πακέτο, όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, έχει κόστος περίπου 16,875 δολάρια (Gu, 2009).

2.3.20 Cellular Based

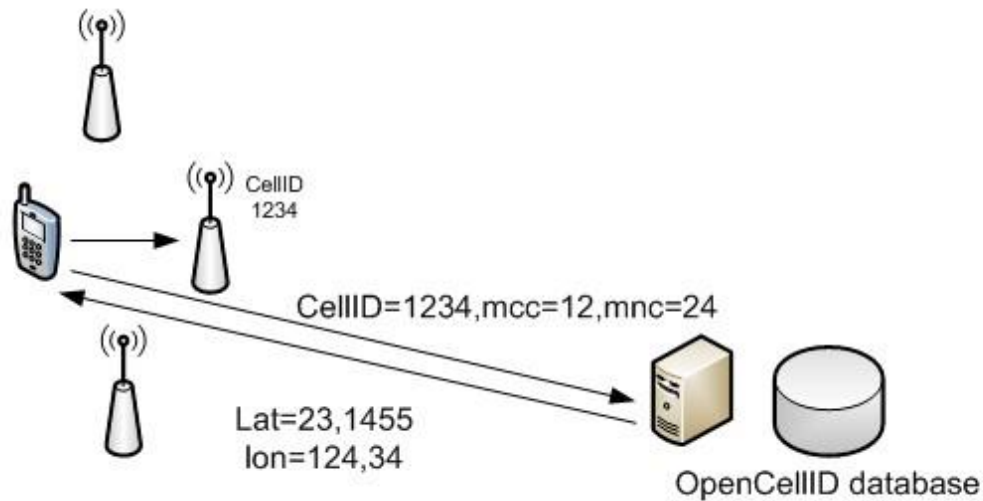
Τα κυψελοειδή δίκτυα βασίζονται σε ένα σύνολο σταθμών βάσης με ακτίνα κάλυψης από λίγα μέτρα έως περίπου δεκάδες χιλιόμετρα. Ιστορικά, το πρώτο παράδειγμα υπηρεσίας εντοπισμού που προσφέρεται από κυψελοειδή συστήματα είναι το E-911 που εισήχθη για κλήσεις έκτακτης ανάγκης στις Ηνωμένες Πολιτείες. Ο απλούστερος αλλά πολύ ανακριβής τρόπος λήψης πληροφοριών τοποθεσίας είναι μέσω του αναγνωριστικού κελιού από το οποίο εξυπηρετείται ο εξοπλισμός του χρήστη (δηλ. εγγύτητα). Κατά συνέπεια, η ακρίβεια εντοπισμού είναι της τάξης μεγέθους του κελιού.

Δυνητικά, το κυψελοειδές φυσικό στρώμα των 2G / 3G μπορεί να παρέχει ποικίλες πληροφορίες εκτίμησης σήματος TOA (συγκεκριμένα TDOA και OTDOA), αν και το σχετικά μικρό εύρος ζώνης και η δομή του σήματος περιορίζουν την εφικτή ανάλυση χρόνου (1 με για GSM (Global System for Mobile Communication), και περίπου 200 ns για συστήματα 3G). Οι τρέχοντες αλγόριθμοι εκτίμησης τοποθεσίας προσπαθούν να εκμεταλλευτούν οποιοσδήποτε διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με το περιβάλλον (π.χ. συνθήκες εξασθένησης, συχνότητα Doppler και τοπολογία δικτύου) για να επιτύχουν μεγαλύτερη ακρίβεια μέσω μεθόδων σύντηξης δεδομένων.

Κατά την τελευταία δεκαετία, τυποποιημένα πρωτόκολλα δικτύου κινητής τηλεφωνίας έχουν διαθέσει πόρους για τη μεταφορά δεδομένων βοήθειας GNSS σε κινητές συσκευές με αυτή τη δυνατότητα, για την υλοποίηση υποβοηθούμενου GPS(aGNSS) στο GSM. Η τεχνολογία LTE προσφέρει έναν αυστηρό συγχρονισμό μεταξύ των σταθμών βάσης δίνοντας τη δυνατότητα χρήσης ευρείας ζώνης σημάτων με χαμηλές παρεμβολές. Αυτό το πρότυπο παρέχει ειδική υποστήριξη για εφαρμογές τοποθέτησης. Μέσω αυτού παρατηρείται μια σημαντική βελτίωση στην απόδοση σε σχέση με τις προηγούμενες γενιές δικτύου κινητής τηλεφωνίας, με ακρίβεια τοποθέτησης καλύτερη από 20 μέτρα για το 50% των περιπτώσεων και 63 μέτρα για το 95% των περιπτώσεων χρησιμοποιώντας το OTDOA.

Το επερχόμενο πρότυπο κινητής επικοινωνίας 5G αναμένεται να ενσωματώνει δυνατότητες τοποθέτησης υψηλής ακρίβειας λόγω της υιοθέτησης

μικρών κυττάρων (cells) και μαζικών συστοιχιών κεραιών σε κύματα μήκους χιλιοστών (Dardari, Closas&Djurić 2015).



Εικόνα 2-17 Πρότυπο κινητής επικοινωνίας 5G

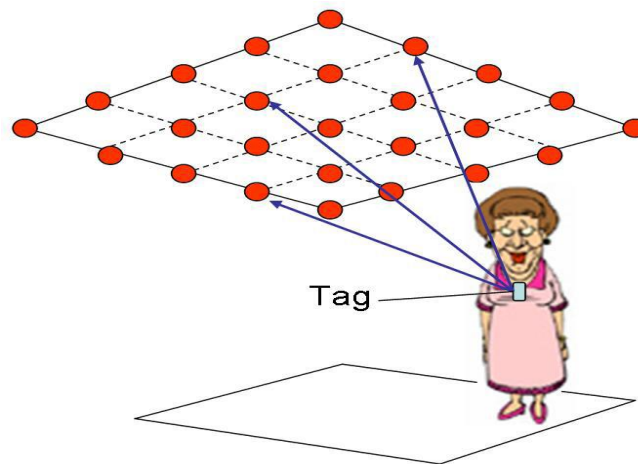
2.4 Συστήματα βασισμένα σε υπερήχους

Το κύμα υπερήχων είναι ένα μηχανικό κύμα που ουσιαστικά είναι μια ταλάντωση πίεσης που μεταδίδεται μέσω ενός μέσου. Δεν παρεμβαίνει στα ηλεκτρομαγνητικά κύματα και έχει σχετικά μικρό εύρος. Τα συστήματα τοποθέτησης με υπερήχους χρησιμοποιούν τον αέρα και το δομικό υλικό ως μέσο διάδοσης. Ο υπέρηχος δεν μπορεί να διεισδύσει στους τοίχους αλλά αντανακλάται στα περισσότερα από τα εσωτερικά εμπόδια. Ωστόσο έχει χαμηλότερο επίπεδο ακρίβειας (σε εκατοστά) και υποφέρει πολύ από παρεμβολές από ανακλώμενα σήματα υπερήχων αλλά και μερικά που διαδίδονται από άλλες πηγές, όπως η σύγκρουση μετάλλων.

Σε αντίθεση με τα ραδιοκύματα, το εύρος λειτουργίας Ultrasonic ToA είναι 10 m ή λιγότερο, λόγω της φθοράς που προκαλείται στο προφίλ του αερομεταφερόμενου ακουστικού καναλιού. Ο διπλασιασμός της απόστασης προκαλεί το επίπεδο πίεσης του ηχητικού σήματος να εξασθενεί κατά 6 dB λόγω της εξασθένησης της ακτινικής έντασης και της απορρόφησης, που μεταφράζεται σε μια αντίστροφη τετραγωνική εξασθένηση στον 3D χώρο.

Η σχετική απόσταση μεταξύ συσκευών μπορεί να εκτιμηθεί χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις Time of Arrival (ToA) των υπερήχων παλμών που ταξιδεύουν από πομπούς σε δέκτες. Μια εκτίμηση των συντεταγμένων του πομπού είναι δυνατή με πολλαπλή διασταύρωση από τρεις ή περισσότερους σταθερούς δέκτες που αναπτύσσονται σε γνωστές τοποθεσίες. Κάθε φάρος συνήθως εκπέμπει και ένα σήμα RF (Ραδιοσυχνοτήτων) μαζί με τον παλμό υπερήχων για να ενεργοποιήσει τους κοντινούς κόμβους δεκτών.

Τα συστήματα που λειτουργούν με τέτοια αρχιτεκτονική είναι γνωστά ως συστήματα ενεργών συσκευών. Η εναλλακτική αρχιτεκτονική του συστήματος αποτελείται από μια αντίστροφη ροή σήματος με πολλαπλούς στατικούς πομπούς σε γνωστές τοποθεσίες και μία ή περισσότερες κινητές παθητικές συσκευές που λαμβάνουν το σήμα. Προκειμένου να αποφευχθεί η ανάγκη χρονικού συγχρονισμού της κινητής μονάδας με τους σταθερούς κόμβους και για να ενεργοποιηθεί ad hoc εντοπισμός σε απροετοίμαστα περιβάλλοντα, χρησιμοποιείται η μέθοδος της Διαφορά ώρας άφιξης (TDoA) αντί για ToA (Farid Zahid, 2013, Al- Ammar, 2014, Mautz, 2012).



Εικόνα 2-18 Συστήματα βασισμένα σε υπερήχους

2.4.1 Active Bat

Το σύστημα τοποθέτησης Active Bat που σχεδιάστηκε από ερευνητές στο AT&T Cambridge παρέχει 3-D θέση και πληροφορίες προσανατολισμού για τις ετικέτες που παρακολουθούνται. Χρησιμοποιεί τεχνολογία υπερήχων και την τεχνική του τριγωνισμού για τη μέτρηση της θέσης μιας ετικέτας που μεταφέρεται από ένα άτομο. Μια ετικέτα εκπέμπει περιοδικά έναν σύντομο παλμό υπερήχων, ο οποίος λαμβάνεται από μια συστοιχία από δέκτες στερεωμένους στην οροφή σε γνωστές θέσεις όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Η θέση υπολογίζεται χρησιμοποιώντας TOF (Time of Flight) τριγωνισμό με βάση τους δέκτες που είναι τοποθετημένοι στο ταβάνι.

Οι ετικέτες είναι μικρές και βολικές συσκευές παρακολούθησης που μεταφέρονται από άτομα, με όγκο $7,5 \text{ cm} \times 3,5 \text{ cm} \times 1,5 \text{ cm}$. Στη δοκιμή του συστήματος Active Bat, η ενεργή ετικέτα τροφοδοτείται από μια μπαταρία λιθίου 3,6 V με διάρκεια ζωής περίπου 15 μηνών. Έτσι, οι χρήστες δεν χρειάζεται να κάνουν συχνά αλλαγή των μπαταριών. Για έναν όροφο εμβαδού 1000 m^2 χρειάστηκαν 720 δέκτες να στερεωθούν στην οροφή ώστε 75 ετικέτες να μπορούν να παρακολουθούνται με ακρίβεια περίπου 9 εκατοστών για το 95% των μετρήσεων.

Ωστόσο, η απόδοση αυτής της τεχνολογίας επηρεάζεται από την αντανάκλαση και τα εμπόδια μεταξύ ετικετών και δεκτών, υποβαθμίζοντας έτσι την ακρίβεια του συστήματος. Ένας στοχαστικός αλγόριθμος απόρριψης χρησιμοποιείται για την εξάλειψη των μετρήσεων απόστασης με μεγάλα σφάλματα που προκαλούνται από αντικείμενα που αντανάκλουν το υπερηχητικό σήμα.

Ένα μειονέκτημα του συστήματος Active Bats είναι το κόστος και η επεκτασιμότητα του συστήματος λόγω της σταθερής υποδομής που τοποθετείται στην οροφή με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Επίσης, υπάρχει ένας περιορισμένος αριθμός χρονοθυρίδων που πρέπει να κατανέμονται αποτελεσματικά μεταξύ των υπάρχοντων δεκτών- ετικετών. Κάθε ενημέρωση τοποθεσίας γίνεται κάθε 20 ms, έτσι είναι διαθέσιμες 50 χρονικές θέσεις ανά δευτερόλεπτο για κάθε σταθμό βάσης (Gu, 2009, Deak, Curran and Condell, 2012).

2.4.2 Cricket

Το σύστημα Cricket είναι ένα σύστημα τοποθέτησης που αναπτύχθηκε από το MIT με σκοπό να προσφέρει ιδιωτικότητα στους χρήστες, αποτελεσματική απόδοση και χαμηλό κόστος. Το σύστημα Cricket χρησιμοποιεί μέθοδο μέτρησης TOA και τεχνική τριγωνισμού για τον εντοπισμό ενός στόχου. Το σύστημα Cricket περιλαμβάνει πομπούς υπερήχων ως υποδομή, προσαρτημένους στους τοίχους ή τις οροφές σε γνωστές θέσεις, και ένα δέκτη προσαρτημένο σε κάθε αντικείμενο που θα ανιχνευθεί. Αυτή η προσέγγιση παρέχει ιδιωτικότητα στον χρήστη εκτελώντας όλους του υπολογισμούς τριγωνισμού θέσης τοπικά στο αντικείμενο προς εντοπισμό. Έτσι μόνο αυτό κατέχει τις πληροφορίες θέσης του και μπορεί να αποφασίσει πώς και πού θα τις δημοσιεύσει.

Οι πομποί μεταδίδουν επίσης μηνύματα RF για συγχρονισμό της μέτρησης TOA και προώθηση των πληροφοριών θέσης τους με αποκεντρωμένο τρόπο. Έτσι, όταν δεν υπάρχουν αρκετοί πομποί για τον υπολογισμό θέσης με τριγωνισμό, ο δέκτης μπορεί να χρησιμοποιήσει τη σημασιολογική συμβολοσειρά που προωθείται από τον σύνδεσμο RF για λήψη πληροφοριών εγγύτητας τοποθεσίας.

Με άλλα λόγια, το σύστημα Cricket αντιμετωπίζει τα θέματα ανοχής σφαλμάτων χρησιμοποιώντας σήματα RF ως δεύτερης μέθοδο τοποθέτησης εγγύτητας στην περίπτωση που δεν υπάρχουν αρκετοί πομποί. Σε αντίθεση με το σύστημα ActiveBat που χρησιμοποιεί ένα πλέγμα δεκτών, το σύστημα Cricket χρησιμοποιεί μικρότερο αριθμό πομπών τοποθετημένων στην οροφή, επειδή το ίδιο το αντικείμενο-στόχος λαμβάνει και επεξεργάζεται τα σήματα υπερήχων για τον εντοπισμό του. Έτσι το σύστημα είναι επεκτάσιμο για ανάπτυξη μεγάλης περιοχής μέσα σε ένα κτίριο, ενώ ο δέκτης αντικειμένων είναι φθηνός, περίπου στα 10 δολάρια. Έτσι, το κόστος ολόκληρου του συστήματος είναι χαμηλό. Επιπλέον, το σύστημα Cricket μπορεί να παρέχει ακρίβεια εκτίμησης θέσης 10 εκατοστών και ακρίβεια προσανατολισμού 3 μοίρες. Ωστόσο, οι δέκτες

εντοπισμού στο σύστημα εκτελούν εκτιμήσεις θέσης και λαμβάνουν ταυτόχρονα σήματα υπερήχων και RF. Έτσι, ένας δέκτης καταναλώνει περισσότερη ισχύ και η τροφοδοσία του πρέπει να σχεδιαστεί με αποτελεσματικό τρόπο ώστε να προσφέρει ευκολία στους χρήστες αντί να αλλάζουν συχνά μπαταρία στο δέκτη (Gu, 2009).

2.4.3 Sonitor

Το Sonitor ultra sound IPS είναι μια λύση εσωτερικής παρακολούθησης που παρέχεται από την Sonitor Technologies Inc. Το σύστημα Sonitor μπορεί να εντοπίσει και να παρακολουθήσει άτομα και συσκευές σε πραγματικό χρόνο και να προσφέρει πληροφορίες εγγύτητας τοποθεσίας με ακρίβεια σε επίπεδο δωματίου. Συγκρίνοντάς το με την κάλυψη σημάτων ραδιοσυχνοτήτων RF, το σήμα υπερήχων μπορεί να δώσει μια απλή λύση ακριβείας για τοποθέτηση σε επίπεδο δωματίου, καθώς τα σήματα υπερήχων δεν μπορούν να διεισδύουν στους τοίχους. Σε αντίθεση με το ActiveBadge, η τεχνολογία υπερήχων δεν χρειάζεται οπτική επαφή (line of sight) μεταξύ στόχων για εντοπισμό και ανιχνευτών.

Στο Sonitor ultra sound IPS, οι ετικέτες που συνδέονται σε άτομα ή εξοπλισμό παρακολουθούνται από ασύρματους ανιχνευτές τοποθετημένους σε διάφορα δωμάτια ή μέρη, σε ένα ανοιχτό κοινόχρηστο χώρο. Μία ετικέτα που παρακολουθείται μεταδίδει σήματα υπερήχων με το μοναδικό αναγνωριστικό του ατόμου ή της συσκευής. Τα μεταδιδόμενα σήματα υπερήχων παραλαμβάνονται από έναν ανιχνευτή στο ίδιο δωμάτιο. Ο ανιχνευτής προωθεί αυτές τις πληροφορίες μέσω του υπάρχοντος ενσύρματου ή ασύρματου LAN σε ένα κεντρικό στοιχείο υπολογισμού και διαχείρισης θέσης, που αποθηκεύει την τοποθεσία της ετικέτας και τον σχετικό χρόνο. Επιπλέον, ένας πατενταρισμένος αλγόριθμος επεξεργασίας ψηφιακού σήματος Sonitor είναι σχεδιασμένος για να προστατεύει τα σήματα υπερήχων από παρεμβολές και βοηθάει τους ανιχνευτές να λάβουν αυτά τα σήματα με επιτυχία και χωρίς λάθη.

Μια μέθοδος εξοικονόμησης ενέργειας προτείνεται από το Sonitor ultra sound IPS, όπου οι ετικέτες ενεργοποιούνται με την εσωτερική κίνηση ενός αισθητήρα και ξεκινούν να μεταδίδουν σήματα υπερήχων στην περίπτωση που οι

στόχοι (που παρακολουθούνται) αλλάζουν θέση. Έτσι προτείνεται ένας τρόπος ύπνου από τους σχεδιαστές, σε περίπτωση που δεν κινούνται, για εξοικονόμηση ενέργειας για τις ετικέτες. Έτσι, η διάρκεια ζωής της μπαταρίας παρατείνεται, ο οποίος μπορεί να διαρκέσει έως και 5 χρόνια ή 600.000 μεταδόσεις. Το μέγεθος κάθε ετικέτας είναι 57,7 mm × 32,9 mm × 19,5 mm και το βάρος είναι 28 g, κάτι που είναι βολικό για την μεταφορά από τους χρήστες. Ωστόσο, το σύστημα Sonitor δεν μπορεί να δώσει την απόλυτη θέση ενός στόχου αλλά δουλεύει με ακρίβεια δωματίου. Άλλο ένα μειονέκτημα είναι ότι το σύστημα χρειάζεται πολλούς ανιχνευτές σταθεροποιημένους σε κάθε μέρος για κάλυψη ολόκληρης της περιοχής παρακολούθησης (Gu, 2009).

2.5 Συστήματα που βασίζονται σε όραση (εικόνες)

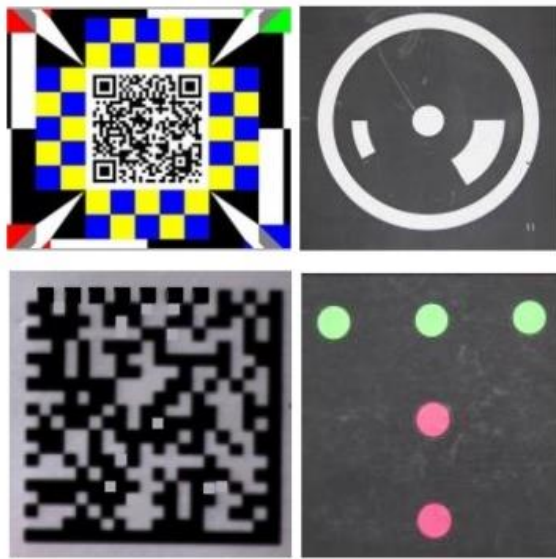
Οι τεχνολογίες για εσωτερική τοποθέτηση βάσει εικόνας, οι οποίες μερικές φορές ονομάζονται οπτικές μέθοδοι εσωτερικής τοποθέτησης, είναι βασισμένες σε κάμερες και υπολογιστές. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικοί τύποι κάμερας, όπως κάμερες κινητού τηλεφώνου, πολύ-κατευθυντικές ή και τρισδιάστατες. Ωστόσο η απόδοσή τους ποικίλλει λόγω του ποσού των πληροφοριών που μπορούν να εξαχθούν από τις εικόνες τους. Η επιτυχία των τεχνολογιών αυτών βασίζεται σε διαφορετικούς παράγοντες όπως η απόδοση του υλικού των καμερών (αισθητήρες, φακοί), η αποτελεσματικότητα των αλγορίθμων επεξεργασίας εικόνας, οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων (bandwidth) και η υπολογιστική ισχύς. Τα συστήματα εντοπισμού θέσης βάσει εικόνας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο κύριες κατηγορίες. Τα συστήματα που χρησιμοποιούν την κίνηση της κάμερας σε σχέση με μια ακίνητη σκηνή για την εκτίμηση θέσης και αυτά που χρησιμοποιούν στατικούς αισθητήρες για να εντοπίζουν κινούμενα αντικείμενα στις εικόνες (Al-Ammar, 2014). Οι συνηθέστερες μέθοδοι τοποθέτησης που χρησιμοποιούν τα συστήματα αυτά είναι οι παρακάτω:

1. Με αναφορά σε 3D μοντέλα του κτιρίου: Αυτή η κατηγορία μεθόδων τοποθέτησης βασίζεται στην ανίχνευση αντικειμένων στις εικόνες και την αντιστοίχιση τους με αυτά που περιλαμβάνονται στη βάση δεδομένων του κτιρίου

που περιέχει πληροφορίες θέσης για το εσωτερικό του κτιρίου. Το βασικό πλεονέκτημα αυτών των μεθόδων είναι ότι δεν υπάρχει καμία απαίτηση για την εγκατάσταση τοπικής υποδομής.

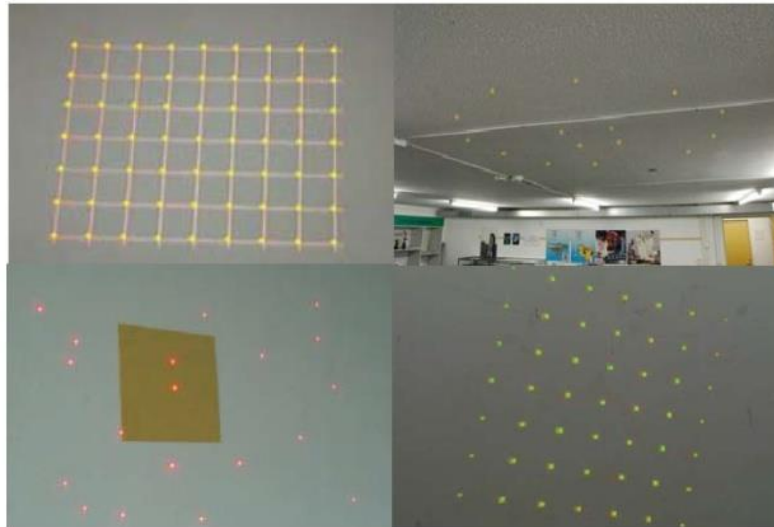
2. Με αναφορά σε εικόνες: Αυτές οι μέθοδοι βασίζονται σε ακολουθίες ορισμένων εικόνων που έχουν ληφθεί εκ των προτέρων από μια κάμερα που έχει διανύσει συγκεκριμένες διαδρομές στο κτίριο. Κατά τη λειτουργία, η τρέχουσα καταγραφή μιας φορητής κάμερας συγκρίνεται με αυτές τις ακολουθίες εικόνων που έχουν ήδη ληφθεί ώστε να βρεθεί η θέση από την οποία τραβήχτηκε. Η κύρια πρόκληση αυτής της προσέγγισης είναι η ικανότητα λειτουργίας σε πραγματικό χρόνο. Για την ταυτοποίηση της εικόνας αντιστοιχεί ένα ιδιαίτερα μεγάλο υπολογιστικό φορτίο εφόσον δεν έχουν αναπτυχθεί παθητικοί ή ενεργοί οπτικοί στόχοι.

3. Με αναφορά σε αναπτυγμένους κωδικοποιημένους στόχους: Οπτικά συστήματα τοποθέτησης που βασίζονται αποκλειστικά σε φυσικά χαρακτηριστικά στις εικόνες έχουν χαμηλή αξιοπιστία, ειδικότερα υπό συνθήκες με διαφορετικό φωτισμό. Με σκοπό να αυξηθεί η αξιοπιστία και να βελτιωθεί η ακρίβεια των σημείων αναφοράς, σε συστήματα με αυστηρές απαιτήσεις για τοποθέτηση χρησιμοποιούνται αποκλειστικοί κωδικοποιημένοι δείκτες. Οι δείκτες εξυπηρετούν τρεις σκοπούς για την αλγοριθμική ανάπτυξη: α) απλοποίηση της αυτόματης ανίχνευσης των σημείων ενδιαφέροντος, β) εισαγωγή κλίμακας στο σύστημα, γ) διάκριση και προσδιορισμό των στόχων χρησιμοποιώντας έναν μοναδικό κωδικό για κάθε δείκτη.



Εικόνα 2-19: Συστήματα που βασίζονται σε όραση (εικόνες)

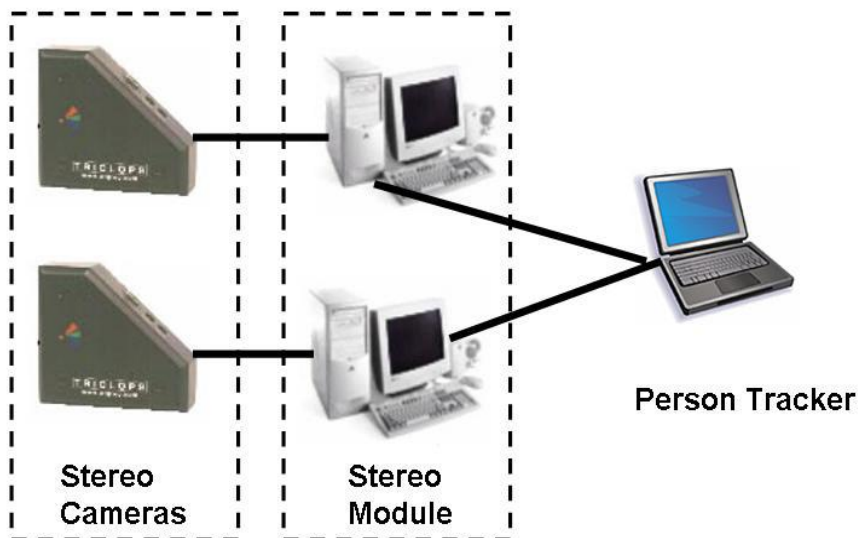
4. Με αναφορά σε στόχους προβεβλημένων μοτίβων: Η προβολή σημείων αναφοράς ή μοτίβων γλυτώνει την ανάπτυξη των κωδικοποιημένων στόχων (δεικτών), που αναφέραμε προηγουμένως, στον εσωτερικό χώρο, κάνοντας αυτή τη μέθοδο πιο οικονομική. Για ορισμένες εφαρμογές η τοποθέτηση δεικτών αναφοράς είναι ανεπιθύμητη ή και ανέφικτη. Προαιρετικά, υπέρυθρο (μη ορατό) φως μπορεί να προβάλλεται ώστε να επιτευχθεί διακριτικότητα για τον χρήστη. Σε αντίθεση με τα συστήματα που βασίζονται μόνο στα φυσικά χαρακτηριστικά της εικόνας, η ανίχνευση προβεβλημένων σχεδίων διευκολύνεται από το διακριτό χρώμα τους, σχήμα και φωτεινότητα (βλέπε παρακάτω εικόνα). Το κύριο μειονέκτημα των ενεργών συστημάτων με βάση το φως είναι ότι και η κάμερα και η πηγή φωτός απαιτούν άμεση προβολή στην ίδια επιφάνεια (Mautz & Tilch 2011).



Εικόνα 2-20: Projected reference patterns. Upper left: TrackSense Grid, upper right: CLIPS laserspots, lower left: laserspots of Habbecke, lower right: diffraction grid of Popescu

2.5.1 EasyLiving

Η ερευνητική ομάδα της Microsoft σχεδίασε το σύστημα εντοπισμού θέσης EasyLiving σαν τεχνολογία με βάση την εικόνα. Τα συστήματα Easy Living χρησιμοποιούν την τεχνική πολλαπλής προοπτικής με βάση την όραση με δύο κάμερες που καλύπτουν ολόκληρη την περιοχή μέτρησης. Η εκτίμηση τοποθεσίας στο σύστημα Easy Living συνδυάζει το χρώμα και το βάθος από τις δύο κάμερες για να παρέχει υπηρεσίες ανίχνευσης θέσης και αναγνώρισης στόχου.



Εικόνα 2-21 Easy Living

Κατά την αξιολόγηση του Easy Living, δύο στερεοφωνικές κάμερες είναι τοποθετημένες στην οροφή ενός δωματίου. Έτσι, κάθε μέρος του δωματίου καλύπτεται τουλάχιστον από μία κάμερα. Για να μειωθεί η επίδραση των αλλαγών στο φόντο χρησιμοποιούνται το βάθος και τα χρωματικά εικονοστοιχεία για τη μοντελοποίηση του. Στη συνέχεια, οι υπολογιστές που τρέχουν το 3D λογισμικό (stereomodules) λαμβάνουν τις εικόνες που τραβήχτηκαν από τις κάμερες και επεξεργάζονται αυτά τα πρωτογενή δεδομένα (rawdata).

Το σύστημα Easy Living για να αναγνωρίσει κάθε άτομο που παρακολουθείτε ορίζει μια «ζώνη δημιουργίας προσώπων», που είναι συνήθως κοντά στην είσοδο του δωματίου. Έτσι, όταν ένα άτομο μπαίνει στο δωμάτιο, μπαίνει σε αυτή τη «ζώνη δημιουργίας προσώπων», το stereomodule δημιουργεί το μοντέλο του ατόμου. Αμέσως μετά το stereomodule παρακολουθεί την κίνηση του ατόμου και διατηρείτο ιστορικό θέσης του ατόμου. Με το ιστορικό αυτό, το σύστημα Easy Living μπορεί να διορθώσει κάποιες εσφαλμένες εκτιμήσεις τοποθεσίας.

Μερικά μειονεκτήματα είναι ότι το σύστημα Easy Living χρειάζεται σημαντική (επεξεργαστική) ισχύ για να επεξεργαστεί τις εικόνες που λαμβάνονται από τις στερεοφωνικές κάμερες, επειδή η επεξεργασία εικόνας είναι ιδιαίτερα περίπλοκη, και ότι η ακρίβεια του συστήματος δεν μπορεί να είναι εγγυημένη λόγω της παρεμβολής της δυναμικής αλλαγής του περιβάλλοντος στα

δεδομένα εικόνας (Gu, 2009).

Περίληπτικά στα συστήματα τοποθεσίας με βάση την εικόνα, μια κάμερα χαμηλής τιμής μπορεί να καλύψει μια μεγάλη περιοχή χωρίς οι χρήστες να χρειάζεται να μεταφέρουν κάποια συσκευή τοποθεσίας. Ωστόσο, αυτά τα συστήματα έχουν κάποια μειονεκτήματα όπως η μη διασφάλιση της ιδιωτικότητας των χρηστών καθώς και η μικρή αξιοπιστία σε μια δυναμική αλλαγή του περιβάλλοντος. Οι εκτιμήσεις θέσης βασίζονται στις ήδη αποθηκευμένες πληροφορίες θέσης στη βάση δεδομένων του συστήματος, η οποία πρέπει να ενημερώνεται συνεχώς λόγω των αλλαγών στο περιβάλλον όπως πχ η αλλαγή της θέσης ενός γραφείου. Επίσης τα συστήματα αυτά επηρεάζονται από παρεμβολές που προκαλεί ο καιρός, κάποια πηγή φωτός κ.λπ. Για παράδειγμα, η ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του φωτός σε ένα δωμάτιο μειώνει αισθητά την ακρίβεια της παρακολούθησης ενός ατόμου. Τέλος, η παρακολούθηση πολλών ατόμων που κινούνται ταυτόχρονα εξακολουθεί να αποτελεί πρόκληση καθώς χρειάζεται υψηλότερη υπολογιστική ικανότητα από αυτή που είναι συνήθως διαθέσιμη.

2.6 Συστήματα που βασίζονται σε φωτισμό

Τα τελευταία χρόνια, τα συστήματα επικοινωνίας ορατού φωτός (VLC-Visible Light Communication) έχουν αποκτήσει μεγάλο ενδιαφέρον για έρευνα και ανάπτυξη αφού το ορατό φάσμα φωτός (380nm έως 780nm) διατίθεται ελεύθερα και δεν εμπίπτει στους κανονισμούς για το φάσμα.

Ο πομπός σε συστήματα VLC είναι συνήθως ένα LED, το οποίο αξιοποιείται και για την εκτέλεση ορισμένων πρόσθετων λειτουργιών εκτός από την κύρια χρήση του ως πηγή φωτισμού. Τα LED κατασκευάζονται από μια ποικιλία ανόργανων ημιαγωγικών υλικών που τους εισάγονται προσμίξεις για να δημιουργηθεί μια διεπαφή p-n. Στα LED, το ρεύμα ρέει από την πλευρά p στην πλευρά n για να παράγει ενέργεια φωτός. Το μήκος κύματος του εκπεμπόμενου φωτός εξαρτάται από τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για να σχηματίσουν την διεπαφή p-n. Σήμερα, υπάρχουν δύο τύποι ορατού φωτός LED. Ο πρώτος τύπος παρέχει υψηλότερο εύρος ζώνης και παράγει λευκό φως συνδυάζοντας σήματα

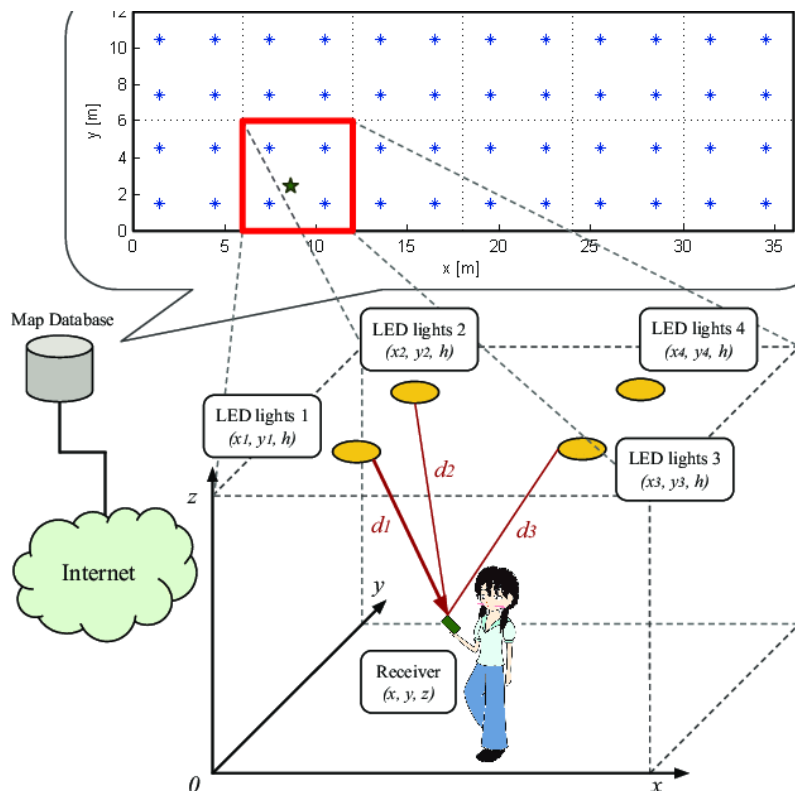
από κόκκινο, πράσινο και μπλε LED. Ο δεύτερος τύπος έχει σχετικά χαμηλότερο κόστος και χρησιμοποιεί μόνο ένα μπλε χρώμα LED επικαλυμμένο με φωσφόρο για την παραγωγή λευκού φωτός.

Δεδομένου ότι τα LED αντικαθιστούν γρήγορα τις παραδοσιακές πηγές φωτισμού μέσα στα κτίρια, δημιουργείται μια τεράστια ευκαιρία για την πραγματοποίηση ενός ευρέως διαθέσιμου, αξιόπιστου και οικονομικά αποδοτικού συστήματος IPS μέσω της χρήσης αυτών των πηγών φωτισμού για εσωτερικό εντοπισμό.

Η σχεδίαση IPS με ορατό φως LED μπορεί να παρέχει εσωτερική τοποθέτηση με τη βοήθεια των λαμπτήρων LED οροφής που λειτουργούν ως πομποί αναφοράς. Θεωρούμε ένα οποιοδήποτε εσωτερικό περιβάλλον (π.χ. ένα κτίριο) χωρισμένο σε ξεχωριστές περιοχές, όπου κάθε περιοχή θεωρείται ότι διαθέτει πολλά LED για σκοπούς φωτισμού. Σε κάθε λυχνία LED δίνεται μια μοναδική «διεύθυνση» που αντιστοιχεί στις συντεταγμένες θέσης της (x, y, z) σε σχέση με κάποιο σημείο "0" και ένα μοναδικό αναγνωριστικό αριθμό (ID). Οι συντεταγμένες θέσης LED επιτρέπουν στον δέκτη να προσδιορίσει την τοπική του θέση στο δωμάτιο, κάτι που για να γίνει με ακρίβεια είναι μια μεγάλη πρόκληση. Μόλις η τοπική του θέση είναι γνωστή, ο δέκτης μπορεί να μεταδώσει το LED ID και τις τοπικές συντεταγμένες θέσης του σε ένα κεντρικό διακομιστή, ο οποίος μπορεί να υπολογίσει τις καθολικές συντεταγμένες.

Για την κωδικοποίηση διευθύνσεων και αναγνωριστικών σε bit, απαιτείται ένας επεξεργαστής σε κάθε λυχνία LED. Στη συνέχεια, ένα κύκλωμα οδηγού αλλάζει τα LED σε κατάσταση ON / OFF (υψηλή / χαμηλή) σύμφωνα με κάποιο σχήμα διαμόρφωσης. Η ευκολότερη και πιο κοινή μέθοδος διαμόρφωσης έντασης των LED είναι η on-off keying (OOK). Τα bit πληροφοριών με αυτό τον τρόπο ρυθμίζουν την ένταση του φωτός που μεταδίδεται από κάθε LED, δίνοντάς του την κατάλληλη διαμόρφωση έντασης. Όταν υπάρχουν πολλά LED σε ένα δωμάτιο, απαιτείται ένα πρωτόκολλο πολυπλεξίας, όπως η πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (FDM) ή η πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDM) για να διασφαλιστεί ότι τα σήματα από διαφορετικά LED μπορούν να διαφοροποιηθούν στον δέκτη για να ανακτήσει τις αντίστοιχες συντεταγμένες του LED που τον αφορά.

Ο δέκτης θεωρείται ότι έχει τις απαραίτητες δυνατότητες αποκωδικοποίησης για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων του LED και τον αναγνωριστικό αριθμό του. Η κύρια πρόκληση για τον δέκτη, ωστόσο, είναι ο προσδιορισμός των δικών του συντεταγμένων θέσης από τα λαμβανόμενα οπτικά σήματα που λαμβάνει. Οποιοσδήποτε δέκτης IPS ορατού φωτός LED είτε εκμεταλλεύεται τα ληφθέντα χαρακτηριστικά σήματος (π.χ. RSS, TDOA ή AOA) χρησιμοποιώντας φωτοδιόδους ή χρησιμοποιεί αισθητήρες εικόνας (κάμερες). Στην περίπτωση των φωτοδίοδων είναι επίσης απαραίτητος ένας κατάλληλος αλγόριθμος τοποθέτησης βάσει των μετρημένων χαρακτηριστικών σήματος για τον προσδιορισμό των άγνωστων συντεταγμένων θέσης (Hassanetal., 2015).



Εικόνα 2-22 Visible Light Communication

2.7 Μαγνητικά συστήματα:

Η χρήση μαγνητικών σημάτων είναι ένας παλιός και κλασικός τρόπος μέτρησης θέσης και παρακολούθησης αντικειμένων. Τα συστήματα που χρησιμοποιούν την μαγνητική τοποθέτηση προσφέρουν υψηλή ακρίβεια και δεν

υποφέρουν από προβλήματα οπτικής επαφής (lineofsight), όταν για τις θέσεις που εκτιμούνται υπάρχουν εμπόδια μεταξύ των πομπών και των δεκτών (Gu, 2009).

Παρακάτω θα περιγραφούν συστήματα εντοπισμού θέσης που χρησιμοποιούν τεχνητά μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Τα μαγνητικά πεδία μπορούν να παραχθούν από μόνιμους μαγνήτες ή από πηνία χρησιμοποιώντας εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) ή παλμικό συνεχές ρεύμα (DC). Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία χρησιμοποιούνται επίσης για τοποθέτηση με συνδυασμένη χρήση του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου. Οι δύο πηγές των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων είναι τα στατικά φορτία που παράγουν ηλεκτρικά πεδία και τα ρεύματα που παράγουν μαγνητικά πεδία (Mautz, 2012).

1. Συστήματα που χρησιμοποιούν το κοντινό πεδίο της κεραίας: Το Ηλεκτρομαγνητικό πεδίο κοντινού εύρους χρησιμοποιεί τις ιδιότητες των ραδιοκυμάτων, όπου το κοντινό πεδίο περικλείει μια κεραία με μια κατά προσέγγιση σφαίρα ακτίνας $1/6$ του μήκους κύματος της ακτινοβολίας. Στα συστήματα αυτά η απόσταση από μια μικρή κεραία πομπό προκύπτει από τη διαφορά φάσης μεταξύ των συνιστωσών του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου ενός ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Η μονάδα δέκτη πρέπει να μπορεί να λαμβάνει τις δύο αυτές συνιστώσες του σήματος ξεχωριστά και να συγκρίνει τις μεταξύ τους φάσεις. Κοντά στην κεραία αυτές οι συνιστώσες έχουν μέγιστη διαφορά φάσης 90° . Αφού η διαφορά φάσης μειώνεται όσο αυξάνεται η απόσταση από την κεραία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του εύρους ακτίνας εντός της εμβέλειας της κεραίας. Ως σημαντικό πλεονέκτημα, τα συστήματα αυτά δεν απαιτούν συγχρονισμό ή διαμόρφωση σήματος. Δεύτερον, εάν χρησιμοποιούνται χαμηλές συχνότητες περίπου 1 MHz, τα σήματα έχουν τη δυνατότητα διείσδυσης σε τοίχους. Από την άλλη πλευρά, η χρήση χαμηλών συχνοτήτων RF απαιτεί δέκτες μεγάλου μεγέθους, δεδομένου ότι μια αποτελεσματική κεραία δέκτη πρέπει να έχει μέγεθος ενός τετάρτου του μήκους κύματος. Το 2D σύστημα εντοπισμού Q-Track, κάνει χρήση του κοντινού πεδίου κεραίας. Το σύστημα έχει σχεδιαστεί για εύρος λειτουργίας $\lambda \cdot (2\pi)^{-1}$ όπου το εφαρμόσιμο μήκος κύματος είναι $\lambda = 300 \text{ m}$ (1 MHz). Οι μετρήσεις λαμβάνονται σε περιβάλλον χωρίς οπτική επαφή (δηλαδή μέσω των τοίχων). Η αναφερόμενη μέση απόκλιση απόστασης είναι 55 cm με εύρος λειτουργίας μεταξύ 1,4 m και 23 m. Αναφέρεται ακρίβεια 1

m για το 83% των x,y θέσεων που καθορίζονται με την χρήση 5 σταθερών δεκτών (Mautz, 2012).

2. Συστήματα που χρησιμοποιούν μαγνητικά πεδία από ρεύματα: Τα μαγνητικά πεδία παράγονται από μαγνητικό υλικό ή ηλεκτρικά ρεύματα. Δύο αλληλοεξαρτώμενες ποσότητες, που αντιμετωπίζονται όμως ξεχωριστά, για το μαγνητικό πεδίο είναι η ένταση του μαγνητικού πεδίου H (Ampere/ m) και η πυκνότητα μαγνητικής ροής B (Tesla). Η σχέση των δύο ποσοτήτων είναι η $B = \mu H$ όπου μ είναι η εξαρτώμενη από το υλικό παράμετρος γνωστή ως μαγνητική διαπερατότητα. Η μαγνητική διαπερατότητα ποικίλλει όχι μόνο από την αγωγιμότητα του υλικού αλλά και από τη θερμοκρασία και τη συχνότητα του πεδίου. Παρά τη μεταβλητότητα του μ , οι πάροχοι συστημάτων μαγνητικής τοποθέτησης χρησιμοποιούν τον απλοποιημένο όρο «μαγνητικό πεδίο» θεωρώντας ότι τα H και B είναι ανάλογα. Τα μαγνητικά συνεχούς ρεύματος (DC) χρησιμοποιούν παλμικά ρεύματα όπου η τρέχουσα συχνότητα είναι αρκετά χαμηλή ώστε να θεωρούνται στατικά. Τα στατικά μαγνητικά πεδία προκαλούνται από διαφορετικές πηγές όπως πηνία ή σύρματα.

3. Συστήματα που χρησιμοποιούν πηνία: Ένα τεχνητό σχεδόν στατικό μαγνητικό πεδίο μπορεί να δημιουργηθεί από ηλεκτρικά πηνία. Μια χρήσιμη ιδιότητα του μαγνητικό πεδίο με βάση το πηνίο είναι ότι μπορεί να προβλεφθεί καλά από ένα θεωρητικό μοντέλο. Η πυκνότητα ροής ενός κατακόρυφα προσανατολισμένου πηνίου είναι

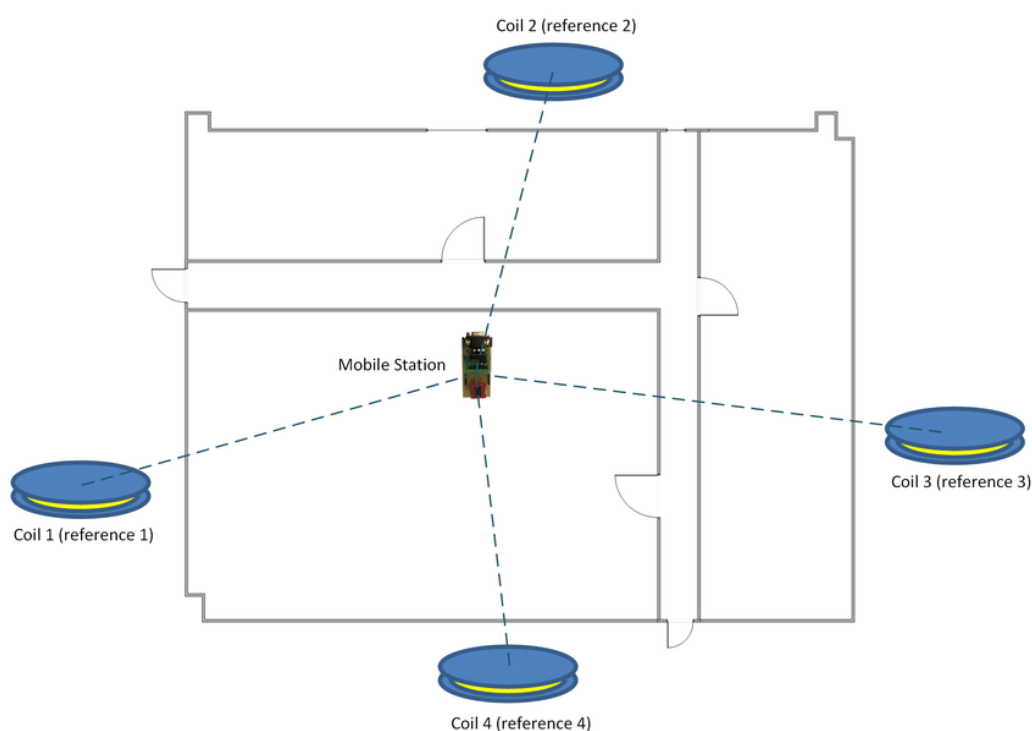
$$B(\phi, r) = \frac{\mu_0 u I F}{4\pi r^4} \sqrt{1 + 3\sin^2 \phi},$$

όπου μ_0 είναι διαπερατότητα κενού, u ο αριθμός βρόχων, I το ηλεκτρικό ρεύμα, F η διάμετρος του πηνίου, ϕ η γωνία ανύψωσης ενός σημείου P σε σχέση με το πηνίο και r η απόσταση αυτού του σημείου προς το πηνίο. Λόγω της συμμετρίας ενός πηνίου, η πυκνότητα ροής B είναι ανεξάρτητη από την οριζόντια γωνία. Σε έναν κινητό αισθητήρα μαγνητικού πεδίου, το B μπορεί να μετρηθεί σε οποιοδήποτε σημείο P εντός του πεδίου. Η παραπάνω εξίσωση μπορεί να επιλυθεί για απόσταση r και γωνία ανύψωσης ϕ . Εάν πολλαπλά πηνία δημιουργήσουν μαγνητικά πεδία σε γνωστές θέσεις, μπορεί να προσδιοριστεί η σχετική

τριδιάστατη θέση του αισθητήρα. Η προσέγγιση με βάση το πηνίο έχει αρκετά πλεονεκτήματα: α) μπορεί να χρησιμοποιηθεί υπό συνθήκες χωρίς οπτική επαφή (NLoS/ Nonlineofsight), β) το μαγνητικό πεδίο δεν επηρεάζεται από την αντανάκλαση ή τις πολλαπλές διαδρομές και γ) είναι δυνατή η παρακολούθηση και της κίνησης όταν εφαρμόζονται υψηλές συχνότητες μέτρησης με απεριόριστο αριθμό αισθητήρων.

Οι Blankenbach και Norrdine (2010) έχουν δημιουργήσει ένα πειραματικό μοντέλο χρησιμοποιώντας ένα πηνίο με 0,5 m διάμετρο και 140 βρόχους. Επιτεύχθηκε ακρίβεια μερικών εκατοστών για αποστάσεις μικρότερες των 10 m. Για μεγαλύτερες αποστάσεις, το μαγνητικό πεδίο αποδείχθηκε πολύ ασθενές και επομένως ευάλωτο στον θόρυβο. Ένα από τα αποτελέσματα ήταν ότι υπάρχει διαφορά μεταξύ θεωρητικού μοντέλου και παρατήρησης, το οποίο φανερώνει μια απαίτηση για προηγούμενη βαθμονόμηση του συστήματος.

Ο Ascension (2011) παρέχει το σύστημα με βάση το πηνίο «track STAR» που χρησιμοποιεί παλλόμενους μαγνητικούς DC πομπούς πεδίου με εύρος λειτουργίας μεταξύ 0,8 m και 4,2 m. Για την έκδοση με την μεγάλη κάλυψη επιφάνειας (4 m), η ακρίβεια τοποθέτησης στατικών αντικειμένων αναφέρεται ως 3,8 mm (Mautz, 2012).



Εικόνα 2-23 Πηνίο «track STAR»

MotionStar Wireless: Το MotionStar Wireless είναι ένα σύστημα παρακολούθησης κίνησης που χρησιμοποιεί παλμικά μαγνητικά πεδία DC για να εντοπίζει ταυτόχρονα αισθητήρες εντός της περιοχής κάλυψης των 3 μέτρων. Το MotionStar Wireless είναι μια βελτιωμένη έκδοση της αρχικής ενσύρματης έκδοσης με το όνομα MotionStar σχεδιασμένο από την Ascension Technology Corporation. Τροποποιώντας το σχέδιο της παλιάς έκδοσης δεν υπάρχουν πλέον καλώδια μεταξύ ενός ατόμου που παρακολουθείται και του σταθμού βάσης που παρακολουθεί την κίνηση του. Το ασύρματο σύστημα MotionStar παρέχει ακριβή παρακολούθηση κίνησης ενός σώματος, μετρώντας πολλούς αισθητήρες τοποθετημένους σε διάφορα μέρη ενός ατόμου. Το ασύρματο σύστημα MotionStar μπορεί να παρακολουθεί ταυτόχρονα και σε πραγματικό χρόνο μέχρι και 120 αισθητήρες. Τα συστήματα αποτελούνται από έναν πομπό και έναν ελεγκτή, έναν σταθμό βάσης, τοποθετημένους αισθητήρες και πομπούς RF, όπως απεικονίζονται στο παραπάνω σχήμα. Το τμήμα πομπού και ελεγκτή στέλνει μαγνητικούς παλμούς στους αισθητήρες που είναι τοποθετημένοι στο άτομο. Στη συνέχεια κάθε αισθητήρας, που έχει τοποθετηθεί σε ένα συγκεκριμένο σημείο του σώματος, λαμβάνει μαγνητικούς παλμούς από αυτόν τον πομπό και ελεγκτή. Στη συνέχεια οι αισθητήρες συνδέονται μέσω καλωδίων στον πομπό RF, ο οποίος μεταφέρεται από το άτομο που παρακολουθείται. Ο πομπός RF μπορεί να συνδέσει έως και 20 αισθητήρες και να μεταδώσει τα δεδομένα που έχουν μετρηθεί στο σταθμό βάσης. Τέλος, ο σταθμός βάσης υπολογίζει τη θέση και τον προσανατολισμό των αισθητήρων και μεταφέρει τα δεδομένα που έχουν υπολογιστεί στον υπολογιστή του χρήστη μέσω διεπαφής RS232 ή διασύνδεση Ethernet. Αυτά τα εκτιμώμενα δεδομένα μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν από εφαρμογές απεικόνισης και παρακολούθησης.

Το εύρος σφάλματος της στατικής θέσης εκτιμάται περίπου στο 1 εκ. Ο ρυθμός ενημέρωσης των μετρήσεων θέσης όπως αναφέραμε έχει αυξηθεί στις έως και 120 μετρήσεις το δευτερόλεπτο. Οι αισθητήρες που μεταφέρονται από ένα άτομο που παρακολουθείται είναι μικροί (2,54 cm × 2,54 cm × 2,03 cm) και ελαφριοί (21 g), κάτι που τους κάνει εξαιρετικά φορητούς και άνετους στο να

φοριούνται, ενώ ο πομπός RF που συνδέονται είναι ένα σακίδιο πλάτης το οποίο έχει μέγεθος 17,5 cm × 14 cm × 4,54 cm και βάρος 0,99 kg. Ωστόσο, το μειονέκτημα του συστήματος MotionStar είναι ότι οι μαγνητικοί ανιχνευτές είναι αρκετά ακριβοί. Ο χρόνος ζωής της μπαταρίας για συνεχή παρακολούθηση κίνησης είναι περίπου 1 ή 2 ώρες, που είναι μια αρκετά σύντομη περίοδος για καθημερινές εκτιμήσεις θέσης. Επίσης η απόδοση του συστήματος MotionStar επηρεάζεται από την παρουσία μεταλλικών στοιχείων στην εκτίμηση θέσης. Επιπλέον το εύρος κάλυψης κάθε πομπού είναι περιορισμένο στα 3 μέτρα, το οποίο δεν είναι κλιμακούμενο για μεγάλες εσωτερικές δημόσιες εφαρμογές και υπηρεσίες(Gu, 2009).



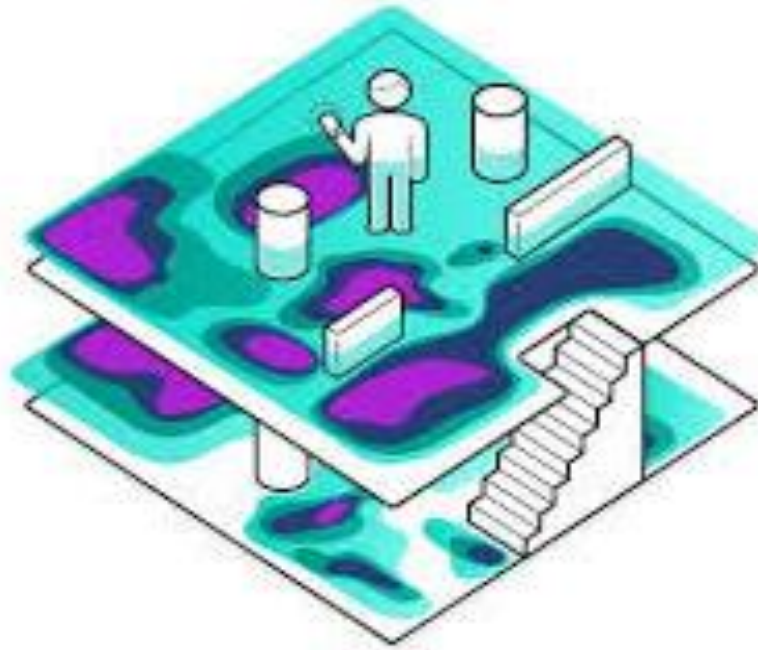
Εικόνα 2-24 MotionStar

4. Συστήματα που χρησιμοποιούν εναλλασσόμενο ρεύμα: Σε αντίθεση με τα συστήματα που βασίζονται σε πηνία που χρησιμοποιούν τεχνολογία παλμικού DC, τα συστήματα μαγνητικής παρακολούθησης που βασίζονται στο εναλλασσόμενο ρεύμα επηρεάζονται λιγότερο από το μαγνητικό πεδίο της Γης και τον τεχνητά μαγνητικά πεδία από ηλεκτρικές συσκευές. Το σύστημα ηλεκτρομαγνητικής παρακολούθησης LIBERTY από τον Polhemus (2011) χρησιμοποιεί μαγνητικά πεδία AC και έως και 16 αισθητήρες για να παρατηρεί τη θέση και τον προσανατολισμό ενός αντικειμένου σε ρυθμούς ενημέρωσης 240

Hz. Σύμφωνα με την αναφερθείσα ακρίβεια των υπό-χιλιοστών, είναι δυνατές ιατρικές εφαρμογές εντός ενός εύρους λειτουργίας 1,5 m που μπορεί να επεκταθεί έως και 4,6 m.

Η InfraSurvey (2011) προσφέρει το υπόγειο σύστημα εντοπισμού θέσης UGPS με βάση τα μαγνητικά πεδία χαμηλής συχνότητας AC. Έχει σχεδιαστεί για τη μέτρηση της θέσης και του προσανατολισμού των αντικειμένων σε υπόγεια περιβάλλοντα όπως ορυχεία, σήραγγες, σπηλιές ή σωλήνες, αλλά μπορεί επίσης να χρησιμοποιείται για εσωτερική τοποθέτηση. Με βάση τις μετρήσεις απόστασης μεταξύ στατικών δεκτών που αναπτύσσονται στην επιφάνεια, είναι δυνατός ο εντοπισμός ενός ενεργού μαγνητικού πομπού βάρους 8 kg με ακρίβεια εντός 1 μέτρου σε απόσταση 100 m και με μέγιστη απόσταση λειτουργίας τα 200 μέτρα (Mautz, 2012).

5. Συστήματα που χρησιμοποιούν μαγνητικά αποτυπώματα: Η ιδέα της μαγνητικής αποτύπωσης προκύπτει από ζώα που καθορίζουν τη θέση τους από τις τοπικές ανωμαλίες του μαγνητικού πεδίου της Γης. Ομοίως σε κτίρια, κάθε τοποθεσία έχει τη μοναδική της υπογραφή της πυκνότητας μαγνητικής ροής. Αυτές οι διακυμάνσεις στο χώρο προκύπτουν από φυσικές και τεχνητές πηγές, όπως μεταλλικά δομικά υλικά, συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας και βιομηχανικές συσκευές. Οι ανωμαλίες του μαγνητικού πεδίου έχουν επαρκή μεταβλητότητα στο χώρο για να ανιχνευθούν από ένα μαγνητόμετρο. Σύμφωνα με την υπόθεση ότι το μαγνητικό πεδίο μέσα σε ένα κτίριο είναι περίπου στατικό, μπορεί να εφαρμοστεί μια μέθοδος μαγνητικών αποτυπωμάτων. Ένας μαγνητικός χάρτης των δωματίων λαμβάνεται σε μια φάση εγκατάστασης και η τρέχουσα θέση προσδιορίζεται συγκρίνοντας την τρέχουσα πυκνότητα ροής με τις τιμές πυκνότητας ροής που είναι αποθηκευμένες στη βάση δεδομένων.



Εικόνα 2-25 Μαγνητόμετρο

Οι Haverinen και Kemppainen (2009) τοποθέτησαν ένα μαγνητόμετρο 3 - αξόνων σε ένα ρομπότ για να προσδιοριστεί η θέση του σε ένα κτίριο με μαγνητικά αποτυπώματα. Το μαγνητόμετρο ήταν τοποθετημένο στο άκρο μιας ράβδου μήκους 0,4 m για να αποφευχθεί η επίδραση του μαγνητικού πεδίου από τον κινητήρα του ρομπότ. Μετά από μια φάση βαθμονόμησης, η ανίχνευση της θέσης του ρομπότ σε μήκος διαδρομής 278 m ήταν δυνατή. Το ρομπότ έπρεπε να ταξιδέψει κατά μέσο όρο 25 μέτρα προκειμένου να εντοπιστεί συγκρίνοντας τις τιμές μαγνητικής ροής. Κατά μήκος αυτής της μονοδιάστατης διαδρομής, η αναφερόμενη ακρίβεια ήταν 0,2 m (Mautz, 2012).

Περίληψη των συστημάτων μαγνητικής τοποθέτησης: Οι μαγνητικοί αισθητήρες είναι συνήθως μικρού μεγέθους, στιβαροί και φθηνοί, πράγμα που αποφέρει αρκετά οφέλη για εκτιμήσεις τοποθεσίας σε εσωτερικά περιβάλλοντα. Τα μαγνητικά συστήματα εντοπισμού θέσης μπορούν να προσφέρουν μεγάλη ακρίβεια και έχουν την δυνατότητα παρακολούθησης πολλαπλών αντικειμένων ταυτόχρονα. Ωστόσο το περιορισμένο εύρος κάλυψης είναι ένα μειονέκτημα για την απόδοση των μαγνητικών IPS. Για αυτό η αύξηση του εύρους κάλυψης των διαφόρων μαγνητικών πομποδεκτών ή η χρησιμοποίηση εναλλακτικών

μαγνητικών υποδομών για την κάλυψη μεγαλύτερων χώρων, χρήζει περαιτέρω μελέτης, σχεδιασμού και ανάπτυξης.

Πίνακας 2-3:Χαρακτηριστικά Συστημάτων

Όνομα Συστήματος	Ακρίβεια/ Απόδοση	Κόστος	Αξιοπιστία	Πολυπλοκότητα	Κάλυψη/ Επεκτασιμότητα	Περιορισμοί
Παγκόσμια δορυφορικά συστήματα						
GPS	εξωτ. 5-20μ πολύ χαμηλή	Χαμηλό	εξωτερικά: υψηλή εσωτερικά: όχι	Χαμηλή	πλανήτης	εσωτερική χρήση, τούνελ, ψηλά κτίρια
GALILEO	εξωτ. 1-5μ πολύ χαμηλή	Χαμηλό	εξωτερικά: υψηλή εσωτερικά: όχι	Χαμηλή	πλανήτης	εσωτερική χρήση, τούνελ, ψηλά κτίρια
A-GNSS	εξωτ. <10μ 5-50μ	Χαμηλό	πολύ χαμηλή	Χαμηλή	πλανήτης	κακή κάλυψη
Ψευδολίτες/ Locata	2μ	Χαμηλό	multipath αλληλοπαρεμβολές	Χαμηλή	50χλμ/ εύκολη	Αδυν. συγχρονισμού/ αμφιση. φαση-φορέα
Συστήματα με βάση τις υπέρυθρες ακτίνες (IR):						
Active Badge	επίπεδο δωματίου	Μεσαίο	χρειάζεται LOS/ επηρ. από πηγές φωτός	Χαμηλή	δωματίου/ δύσκολη	δεν δίνει την απόλυτη θέση
Firefly	3χιλ	Υψηλό	υψηλή	Χαμηλή	7μ/ όχι	χαμηλή κάλυψη
OPTOTRAK	0,1-0,5χιλ	Υψηλό	υψηλή	Χαμηλή	20κ.μ./ όχι	χαμηλή κάλυψη
IRIS_LPS	16εκ	Μεσαίο	μεσαία	Χαμηλή	100τμ./ όχι	μέση λύση ακρίβεια & κάλυψη/ ακίν. αντικ.
Συστήματα ραδιοσυχνοτήτων:						
WLAN:						
RADAR	2,5-4μ	Χαμηλό	χαμηλή	PCs σαν APs	3D/ Εύκολη	δεν χρησιμοποιεί την υπάρχουσα υποδομή
EkaHau	1μ, 100 συσκ. ταυτόχ.	Χαμηλό	καλή/ χρειάζεται παραπαν από 3 APs	επαναχρησ. υποδομής/ πολύωρο setup	2D/ Εύκολη	ο χώρος χρειάζεται καλιμπράρισμα
COMPASS	1,65μ	Χαμηλό	εξουδετ. άνθρ. σώμα μέσω ψηφιακ. πυξίδας	επαναχρησιμοποίηση υποδομής	2D/ Εύκολη	όχι πραγματικός χρόνος
Aeroscout	1-5μ	Χαμηλό	μεσαία	επαναχρησιμοποίηση υποδομής/ Μεσαία	2D/ Εύκολη	
Intel Place Lab	20-30μ	Χαμηλό	μεσαία	Σχετικά υψηλή	2D/ Εύκολη	δεν χρειάζεται setup
PinPoint 3D-iD	1μ	Χαμηλό	μεσαία	Μεσαία	2D/ Εύκολη	
Radio Frequency Identification (RFID):						
SpotON	μέγεθος συμπλέγματος	Χαμηλό	μεσαία	Μεσαία	2 ετικέτες ανα πλέγμα/ εύκολη	χαμηλή συχνότητα μέτρησης 10-30δευτ
WhereNet	2-3μ	Μεσαίο	υψηλή/ χρησιμοποιεί και μαγνητικά σήματα	Υψηλή	3D/ Πολύ εύκολη	χαμηλή ακρίβεια
LANDMARC	<2μ	Χαμηλό	χαμηλή	Μεσαία	3D/ Εύκολη	
Bluetooth:						
Beacons + Smartphone	3-4μ	Χαμηλό	μεσαία	Χαμηλή	2D/ Εύκολη	
TOPAZ	επίπεδο δωματίου	Υψηλό	υψηλή/ BLUETOOTH + IR	αρκετά IR APs & servers	κόμβος κάθε 2- 15μ/ εύκολη	μεγάλη καθυστέρηση 10-30 δευτ
BLIP	0,1-10μ	Χαμηλό	μεσαία	Μεσαία	2D/ Εύκολη	
Zigbee						

Larrañaga et al. (2010)	3μ	Χαμηλό	αρκετές παρεμβολές φάσματος	Χαμηλή	432μ2 8 κόμβοι/ όχι	οι κόμβοι κυρίως κοιμούνται
My Bodyguard	επίπεδο δωματίου	Χαμηλό	αρκετές παρεμβολές φάσματος	Χαμηλή	1 ανα δωμάτιο/ εύκολη	θέλει καλιμπράρισμα
Ultra Wide Band:						
Ubisense	15-30εκ	Σχετικά υψηλό	μεσαία	Χαμηλή/ 4 αισθητήρες ανα 400τ.μ.	3D/ Εύκολη	νέα τεχνολογία με υψηλή τιμή
Cellular Based (Gsm, 4g):						
Fingerprinting	5-10μ	Μεσαίο	μεσαία	Μεσσαία	3D/ Εύκολη	
Ultrasonic Based Systems:						
Active Bat	3εκ	Υψηλό	ανανακλασεις στα εμπόδια	πολλοί δέκτες στην οροφή	3D/ Εύκολη	χρονοβόρα εγκατάσταση
Cricket	10εκ, 3 μοίρες	Χαμηλό	μεσαία	Χαμηλή	3D/ Εύκολη	υψηλή κατανάλωση των φορητών συσκευών
Sonitor	επίπεδο δωματίου	Χαμηλό	στοχεύει κρυφά αντικ αλγόριθ. παρεμβολών	πολλοί ανιχνευτές για κάθε περιοχή	3D/ Εύκολη	όχι απόλυτη θέση
Τεχνολογίες με βάση την εικόνα:						
Easy Living	μη εγγυημένη	Χαμηλό	αναξιόπιστη σε δυναμικό περιβάλλον	Χαμηλή/ 2 κάμερες ανα δωμάτιο	2 κάμερες δωμάτιο/ Εύκολη	επεξεργαστική ισχύς
CLIPS	0,5χιλ	Χαμηλό	αναξιόπιστη σε δυναμικό περιβάλλον	Χαμηλή/ camera 1032x778 30hz	36τ.μ./ όχι	αλλαγές στο περιβάλλον/ φως
Mulloni	2-30εκ	Χαμηλό	αναξιόπιστη σε δυναμικό περιβάλλον	Χαμηλή/ cam ή phone 174x144 15hz	3D/ Εύκολη	αλλαγές στο περιβάλλον/ φως
Τεχνολογίες με βάση τον φωτισμό (VLC):						
Φωτοδίοδοι	<4εκ	Χαμηλό	μεσαία	Χαμηλή 3-4 leds	3D/ Εύκολη	
Κάμερα	<10εκ	Χαμηλό	μεσαία	Χαμηλή 2-3 leds	3D/ Εύκολη	
Μαγνητικά συστήματα:						
MotionStar	1εκ & προσανατολ.	Μεσαίο	επήρεια μετάλλων	Υψηλή	3μ/ όχι	μικρή περιοχή κάλυψης/ ακριβή
Infrasurvey	1μ	Μεσαίο	επήρεια μετάλλων	Υψηλή	200μ/ όχι	μικρή περιοχή κάλυψης/ ακριβή
Haverinen	20εκ	Μεσαίο	επήρεια μετάλλων	Υψηλή	280μ/ όχι	μικρή περιοχή κάλυψης/ ακριβή

Κεφάλαιο 3^ο Εγχειρίδιο επιλογής τεχνολογίας

3.1 Δέντρο αποφάσεων ορισμός

Πολλά προβλήματα αποφάσεων περιλαμβάνουν ακολουθίες ενεργειών και γεγονότων. Τέτοια προβλήματα είναι πολλές φορές χρήσιμο να απεικονισθούν με διάγραμμα δένδρου ή δένδρο αποφάσεων. Το διάγραμμα δένδρου είναι μια χρονολογική απεικόνιση όλων των πιθανών ακολουθιών ενεργειών και γεγονότων που οδηγούν στο τελικό αποτέλεσμα. Στο διάγραμμα δένδρου, το σημείο απόφασης παρίσταται με ένα τετράγωνο, ενώ το τυχαίο γεγονός (μη ελεγχόμενο γεγονός όπου η φύση αποφασίζει τι θα συμβεί) παρίσταται με ένα κύκλο.

Τα δένδρα αποφάσεων, όπως και τα άλλα μαθηματικά μοντέλα της επιχειρησιακής έρευνας, είναι μια απλοποιημένη μορφή ενός πραγματικού προβλήματος και περιλαμβάνουν τις κυριότερες ενέργειες και γεγονότα. Εάν κατά τη διάρκεια της ανάλυσης διαπιστωθεί ότι χρειάζεται πιο λεπτομερειακή ανάπτυξη ορισμένων κλάδων, είναι δυνατό να γίνει εκ των υστέρων. Εάν όλες οι πιθανές ενέργειες και τα πιθανά γεγονότα περιληφθούν στο δένδρο αποφάσεων, περιπλέκουν την ανάλυση του προβλήματος με λεπτομέρειες που δεν είναι άμεσα χρήσιμες. Συνίσταται λοιπόν αρχικά να περιλαμβάνονται όλες οι ενέργειες στο δένδρο αποφάσεων, εκτός εκείνων για τις οποίες είμαστε βέβαιοι ότι δεν πρέπει να γίνουν. Η διαγραφή μη συμφερούσων ενεργειών πρέπει να γίνεται στη συνέχεια κατά την ανάλυση του προβλήματος (Καρασαββίδου, 1986)

Τα βασικά πλεονεκτήματα της ανάλυσης των δένδρων αποφάσεων είναι:
(Α) Αποτελεί τον καλύτερο τρόπο περιγραφής του προβλήματος γιατί παρουσιάζει κάθε ενέργεια (απόφαση), καθώς και τις αντίστοιχες δεδομένες εκβάσεις με σαφήνεια και απλότητα. Έτσι, έχουμε μια βάση για συζήτηση με σκοπό τη λήψη απόφασης καλύτερης ποιότητας (Χατζόγλου, 1994).

(Β) Το μοντέλο του δένδρου αποφάσεων διακρίνεται για τη δυνατότητα προσαρμογής στις μεταβαλλόμενες συνθήκες του περιβάλλοντος. Ειδικότερα, διευκολύνει τη διενέργεια πειραματισμών ή την εκτέλεση τυχόν άλλων δραστηριοτήτων, καθώς και την προσθήκη άλλων πιθανών εκβάσεων (καταστάσεων της φύσης) κάτω από το φως νέων πληροφοριών. (Γ) Διευκολύνει

τον εντοπισμό των ευαίσθητων σημείων των διαφόρων ενεργειών (στρατηγικών) που χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή και αντιμετώπιση. Μ' αυτόν τον τρόπο συμβάλλει στην άσκηση «διοίκησης με βάση τις εξαιρέσεις». (Δ) Βελτιώνει σημαντικά τις αναλυτικές ικανότητες της διοίκησης που αποφασίζει, καθώς και τη δυνατότητα συστηματοποίησης της σκέψης της με αποτέλεσμα να οδηγείται στη λήψη ορθολογικών αποφάσεων. (Ε) Η τεχνική αυτή επιδέχεται επεξεργασία από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή. (ΣΤ) Πρόκειται για μία τεχνική που μπορεί εύκολα να κατανοηθεί και να εφαρμοστεί σε πολλά και ποικίλα προβλήματα από οποιοδήποτε διοικητικό φορέα. (Ζ) Τα δέντρα αποφάσεων αναγκάζουν τους αναλυτές να μελετήσουν τη σειρά των αποφάσεων. Πολύ εύκολα μπορεί κάποιος να εξακριβώσει ότι μια συνθήκη δεν μπορεί να υπάρξει παρά μόνο εάν υπάρχει ήδη κάποια άλλη συνθήκη και έχει διευθετηθεί με μια απόφαση. Έτσι καθορίζουμε ακόμη και τον χρόνο και την σειρά που θα λάβει χώρα κάθε συνθήκη και θα ληφθεί κάθε απόφαση.

3.2 Δέντρο αποφάσεων στην επιλογή τεχνολογίας αναγνώρισης εσωτερικής τοποθεσίας

Ένας αριθμός αποφάσεων αναφορικά με την επιλογή τεχνολογίας αναγνώρισης εσωτερικής τοποθέτησης λαμβάνεται κάτω από συνθήκες πίεσης και κινδύνου. Ενώ ένας άλλος αριθμός αποφάσεων συντελείται κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας. Σε γενικές γραμμές όλα αυτά τα είδη αποφάσεων στην επιλογή τεχνολογίας αναγνώρισης εσωτερικής τοποθεσίας γίνεται με τη βοήθεια του δέντρου απόφασης και μετατρέπονται σε αποφάσεις υπό συνθήκες αβεβαιότητας. Η μετατροπή αυτή γίνεται με δεδομένο ότι μπορεί να συντελεστούν διάφορα γεγονότα κατά την επιλογή μιας ή μιας άλλης τεχνολογίας ανάλογα τις ανάγκες ενός οργανισμού (Winston,2011).

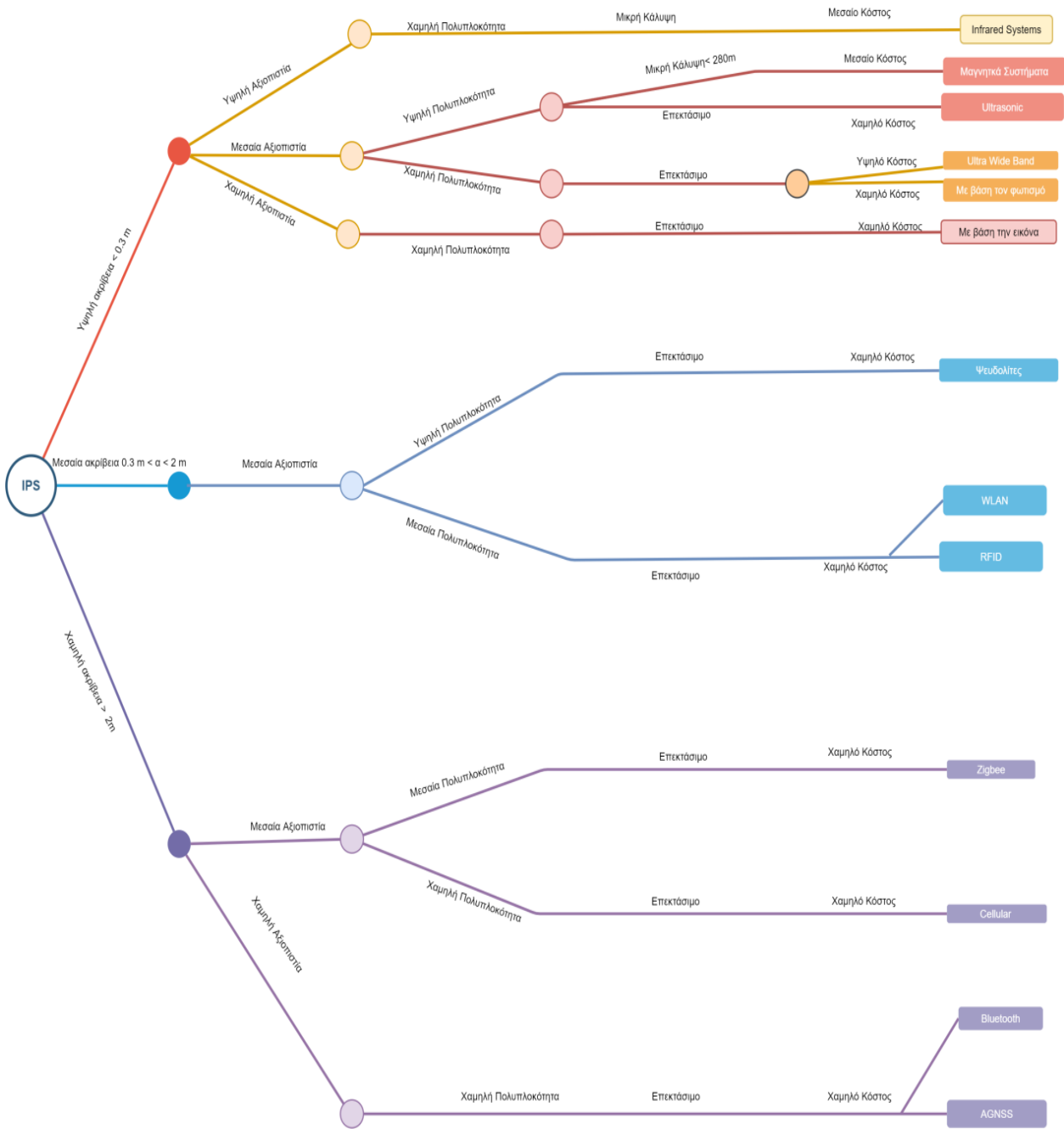
Στην επιλογή τεχνολογιών αναγνώρισης εσωτερικής τοποθεσίας, παίζει σημαίνον ρόλο η μελέτη της έννοιας της πιθανότητας. Βάση αυτής ένας οργανισμός μετρά της πιθανότητες να έχει εφαρμογή και η επιτυχία η μια ή η άλλη τεχνολογία και να την οδηγήσει σε επιτυχία αναφορικά με τους στόχους που έχει βάλει και επιδιώκει να πετύχει. Η πιθανή επιτυχία από τη διαδικασία της

αξιολόγησης αναφέρεται στην εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων και επένδυση στο σύστημα αυτό που με το λιγότερο δυνατό κόστος θα επιφέρει τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα για έναν οργανισμό, οδηγώντας τον στην επιτυχία και δίνοντας του τη δυνατότητα να επιλύσει τα όποια προβλήματα έχει.

3.3 Επιλογή τεχνολογίας ανάλογα με τις ανάγκες ενός οργανισμού

Η διαδικασία της επιλογής τεχνολογίας ανάλογα με τις ανάγκες ενός οργανισμού είναι αποτέλεσμα σωστή διαδικασίας αξιολόγησης. Ουσιαστικά αξιολογούνται οι ανάγκες του οργανισμού αλλά και οι λόγοι απόφασης χρήσης της οποιαδήποτε τεχνολογικής εφαρμογής. Ο οργανισμός αξιολογείται λειτουργικά με σκοπό τον καθορισμό των στόχων του ώστε να εξαχθεί το τελικό συμπέρασμα για την εφαρμογή της κατάλληλης τεχνολογίας. Η αξιολόγηση μπορεί να γίνει είτε με παραδοσιακές μεθόδους είτε μέσω τεχνολογικών περιβαλλόντων, ειδικά σχεδιασμένων για τις ανάγκες ενός οργανισμού.

Η παρουσίαση της διαδικασίας αξιολόγησης γίνεται είτε μέσω της διαδικασίας της λειτουργικής αξιολόγησης είτε μέσω της διαδικασίας της γνωστικής αξιολόγησης. Η πρώτη αξιολογεί με βάση τη λειτουργικότητα ενός συστήματος ενώ η δεύτερη με βάση τις γνώσεις του οργανισμού και το καθορισμό των αναγκών του. Στο Σχήμα 1 γίνεται η παρουσίαση ενός κλασικού σχεδιαγράμματος δέντρου απόφασης που βοηθά στη λειτουργική και γνωστική αξιολόγηση μιας τεχνολογίας, το παρόν έχει εφαρμογή και στην επιλογή τεχνολογιών εντοπισμού κίνησης.



Σχήμα 3-1: Διαδικασία απόφασης επιλογής τεχνολογίας

Όπως διαπιστώνεται από το παραπάνω σχήμα τα κλαδιά του δέντρου είναι τα κριτήρια αξιολόγησης των IPS που αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Ουσιαστικά τα κλαδιά καταλήγουν σε διαφορετικά IPS και ανά κλαδί γίνεται αξιολόγηση του παρόντος το οποίο έχει τοποθετηθεί στο συγκεκριμένο. Η αξιολόγηση αναφέρεται στα χαρακτηριστικά του αλλά και στο κόστος. Μέσα από

τις διαφορετικές διαδρομές που αναφέρονται στο σχήμα γίνεται η αξιολόγηση και βοηθιέται η διαδικασία λήψης αποφάσεων αλλά και η επιλογή του κατάλληλου IPS με βάση το φορέα η τη χρήση που πρόκειται να γίνει.

Η λειτουργικότητα ενός συστήματος σχετίζεται με τους λόγους για τους οποίους αναπτύσσεται και εφαρμόζεται ώστε να μπορέσει ο οργανισμός να προχωρήσει στην άμεση επίλυση προβλημάτων, βάση των αναγκών του αλλά και βάση των αναγκών των πελατών του. Σημαντικός παράγοντας σε επίπεδο λειτουργικής αξιολόγησης παίζει ο συνδυασμός κόστους και χρόνου ως πρόσθετοι παράγοντες διαχωρισμού των συστημάτων και εξαγωγής τελικών και αντικειμενικών συμπερασμάτων. Στον αντίποδα γίνεται χρήση της γνωστικής διαδικασίας αξιολόγησης βάση της οποίας. Συγκεκριμένα ο κάθε οργανισμός με βάση τις γνώσεις του για τις ανάγκες της αγοράς, των πελατών και γενικά οδηγείται στο να επιλέξει το κατάλληλο σύστημα να αξιολογήσει τις χρήσεις του και τελικά να οδηγηθεί στην τελική χρήση και εφαρμογή του για να μπορέσει να οδηγηθεί με αυτό τον τρόπο στην επίτευξη των στόχων του. Οι ανάγκες του οργανισμού οι οποίες μπορεί να έχουν με την ασφάλεια του, τη καλύτερη προβολή των προϊόντων του, την άμεση κάλυψη αναγκών είναι κάποιες από αυτές που καθορίζουν και αξιολογούν τη τελική απόφαση για την επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας ανάπτυξης και λειτουργίας ενός οργανισμού.

Με βάση το παραπάνω δέντρο απόφασης προκειμένου να επιλεγεί από έναν οργανισμό η κατάλληλη τεχνολογία θα πρέπει να κινηθεί μέσα από συγκεκριμένα επίπεδα αποφάσεων. Συγκεκριμένα το πρώτο επίπεδο αναφέρεται στην ακρίβεια, το δεύτερο στην αξιοπιστία, το τρίτο η πολυπλοκότητα, το τέταρτο στην επεκτασιμότητα και τέλος το πέμπτο στο κόστος. Ποιο συγκεκριμένα τα τρία διαφορετικά IPS ξεκινούν με την ακρίβεια το μεσαίο σχηματικά IPS αναφέρεται σε τρεις τεχνολογίες με μεσαία ακρίβεια η μεσαία ακρίβεια τους οδηγεί σε μεσαία αξιοπιστία. Η μεσαία αξιοπιστία διαχωρίζεται σε δυο δρόμους στην υψηλή και μεσαία πολυπλοκότητα. Η πολυπλοκότητα είναι αποτέλεσμα της ακρίβειας, κάτι που δεν είναι ακριβές έχει πολλές ασάφειες στην ανάπτυξη και χρήση του, οι οποίες τείνουν σε μεσαίο ή και ακόμα σε υψηλό επίπεδο πολυπλοκότητας. Το παρόν όπως διαπιστώνεται είναι και στις δυο διαδρομές τους δηλαδή και στην υψηλή και στη μεσαία επεκτάσιμο το κόστος

του δε είναι και στις δυο διαδρομές χαμηλό. Το παρόν IPS αναφέρεται στις τεχνολογίες ψευδολιτών, WLAN και RFIO.

Η δεύτερη IPS διαδρομή που έχει να κάνει με συστήματα υψηλής ακρίβειας αναφέρεται στα Infrared Systems, στα μαγνητικά συστήματα στο Ultrasonic και τέλος στο Ultra Wide Band. Στη συνέχεια θα γίνει η ανάλυση των διαδρομών που οδηγεί σε καθένα από αυτά. Τα Infrared Systems, χαρακτηρίζονται από υψηλή ακρίβεια, υψηλή αξιοπιστία, χαμηλή πολυπλοκότητα, μικρή κάλυψη και μεσαίο κόστος. Τα μαγνητικά συστήματα χαρακτηρίζονται επίσης από υψηλή ακρίβεια αλλά από μεσαία αξιοπιστία, υψηλή πολυπλοκότητα μικρή κάλυψη 250m και μεσαίο κόστος. Το Ultrasonic αναφέρεται σε υψηλή ακρίβεια, μεσαία αξιοπιστία, υψηλή πολυπλοκότητα που είναι επεκτάσιμη και χαμηλό κόστος. Τα Ultra Wide Band είναι μια άλλη εναλλακτική με υψηλή ακρίβεια, μεσαία αξιοπιστία, χαμηλή πολυπλοκότητα, επεκτάσιμη και υψηλό κόστος, το κόστος μπορεί να είναι εναλλακτικά χαμηλό με βάση το φωτισμό, ενώ παρόμοια διαδρομή μπορεί να υπάρξει με αυτή του φωτισμού με βάση την εικόνα.

Η τρίτη εναλλακτική στα IPS χωρίζεται ανάλογα με την αξιοπιστία σε δυο διαδρομές. Στη πλευρά της μεσαίας αξιοπιστίας είναι το Zigbee και το Cellular ενώ σε αυτή της χαμηλής αξιοπιστίας το Bluetooth και το AGNSS. Συγκεκριμένα το Zigbee χαρακτηρίζεται από μεσαία αξιοπιστία, μεσαία πολυπλοκότητα είναι επεκτάσιμο και έχει χαμηλό κόστος. Το Cellular έχει ίδια χαρακτηριστικά αλλά είναι χαμηλής πολυπλοκότητας. Τέλος τα Bluetooth και AGNSS είναι ίδιας φιλοσοφίας συστήματα με χαμηλή αξιοπιστία και πολυπλοκότητα επεκτάσιμα ενώ τέλος έχουν χαμηλό κόστος.

Κεφάλαιο 4^ο Αλγόριθμοι για εντοπισμό θέσεων

4.1 Αλγόριθμοι εντοπισμού θέσης εσωτερικών χώρων

Υπάρχουν τέσσερις βασικοί αλγόριθμοι εντοπισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους. Ώρα άφιξης (TOA), Διαφορά ώρας άφιξης (TDOA), Γωνία άφιξης (AOA) και ισχύς λαμβανομένου σήματος (RSS) (AlNuaimi&Kamel, 2011). Κάθε ένα από αυτά έχει τα υπέρ και τα κατά του, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4-1 (Hedley, Humphrey&Ho, 2008; Ingram, Harmer&Quinlan, 2004).

Πίνακας 4-1: Σύγκριση μεταξύ αλγορίθμων εντοπισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους

Συγγραφείς	Αλγόριθμος	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Gu, Lo & Niemegeers-2009 Song, Jiang & Huang-2011	TOA	Είναι η πιο ακριβής τεχνική, η οποία μπορεί να εξαλείψει τα φαινόμενα πολλαπλών διαδρομών σε καταστάσεις εσωτερικών χώρων.	Είναι πολύπλοκη να εφαρμοστεί απαιτεί ακριβή συγχρονισμό χρόνου όλων των συσκευών που ενέχει υψηλό κόστος.
Song, Jiang & Huang,-2011 Farid, Nordin & Ismail, -2013	TDOA	Απαιτείται μόνο ο συγχρονισμός των σταθμών βάσης που συμμετέχουν στον εντοπισμό θέσης χωρίς τον ακριβή συγχρονισμό μεταξύ του στόχου και του σταθμού βάσης όπως στο TOA.	Χρειάζεται κάποια προηγούμενη γνώση για την εξάλειψη της ασάφειας θέσης, επηρεάζεται από την πολλαπλή διαδρομή των σημάτων.
Friedman et al.,-2009 Farid, Nordin & Ismail-2013. Reddy&Sujatha- 2011	AOA	Δεδομένου ότι όλες οι απαιτούμενες πληροφορίες χρονισμού πομπού κωδικοποιούνται στο σήμα, ένας δέκτης αντικειμένων δεν χρειάζεται να διατηρεί συνοχή φάσης με την πηγή χρόνου οποιουδήποτε φάρου	Απαιτεί επιπλέον κεραιές με την ικανότητα μέτρησης των γωνιών που αυξάνουν το κόστος της υλοποίησης του συστήματος AOA, επηρεάζεται από την πολλαπλή διάδοση και τη μετάδοση των σημάτων των NLOS και τις αντανακλάσεις από τοίχους και άλλα αντικείμενα. Εξαιτίας αυτών των παραγόντων, μπορεί να αλλάξει σημαντικά την κατεύθυνση της άφιξης του σήματος και έτσι να υποβαθμίσει την ακρίβεια. Οι υπολογισμοί AOA είναι πολύ ευαίσθητοι στο εύρος.

			Καθώς η απόσταση από την πηγή αυξάνεται, η ακρίβεια θέσης μειώνεται.
Kaemarungsi & Krishnamurthy- 2004 Song, Jiang & Huang- 2011 Wu et al.- 2012	RSS	Είναι απλό να αναπτυχθεί σε σύγκριση με τις τεχνικές που χρησιμοποιούν τη γωνία άφιξης (AOA) και την διαφορά χρόνου άφιξης (TDOA), εκτός από την κάρτα διασύνδεσης ασύρματου δικτύου, δεν υπάρχει ανάγκη για εξειδικευμένο υλικό στον κινητό σταθμό (MS).	Η ύπαρξη εμποδίων στους εσωτερικούς χώρους μπορεί να προκαλέσει τον διαφορετικό συντελεστή εξασθένησης για σήματα RF. Έτσι, η δημιουργία ενός ακριβούς μοντέλου διάδοσης σε εσωτερικούς χώρους είναι πολύ δύσκολη. Η έρευνα επί της περιοχής του κτιρίου είναι χρονοβόρα, απαιτεί μεγάλη εργασία και επηρεάζεται εύκολα από τη δυναμική του περιβάλλοντος.

Στις ενότητες που ακολουθούν γίνεται η μελέτη του κάθε αλγόριθμου ξεχωριστά.

4.1.1 Ώρα άφιξης Time of Arrival ή Time of Flight (TOA ή TOF).

Η TOA, η οποία ονομάζεται επίσης χρόνος φυγής (ToF), μετρά το χρόνο μετάδοσης σήματος μεταξύ του δέκτη και του πομπού (Farid, Nordin & Ismail, 2013; Al-Ammar et al., 2014). Η TOA βασίζεται στον ακριβή συγχρονισμό του χρόνου άφιξης ενός σήματος που μεταδίδεται από μια κινητή συσκευή σε διάφορους φάρους λήψης. Με άλλα λόγια, όλοι οι φάροι λήψης μαζί με τις κινητές συσκευές συγχρονίζονται με ακρίβεια με μια ακριβή πηγή χρόνου (Dardari, Closas & Djuric, 2015). Η κινητή συσκευή εκπέμπει σήμα με χρονική σήμανση προς την υποδοχή των φάρων. Όταν ληφθεί, υπολογίζεται η απόσταση μεταξύ του δέκτη και του πομπού βάσει της ταχύτητας και του χρόνου μέτρησης του σήματος (Brena et al., 2017). Στη συνέχεια, η θέση του στόχου εκτιμάται χρησιμοποιώντας τριγωνισμό (Svalastog, 2007; Song, Jiang & Huang, 2011; Reddy & Sujatha, 2011; Liu et al., 2007).

4.1.2 Διαφορά ώρας άφιξης- Time Difference of Arrival (TDOA).

Ο αλγόριθμος TDOA μετρά τη διαφορά του χρόνου διάδοσης μεταξύ του στόχου και των πολλαπλών σταθμών βάσης και αποκτάται έτσι η διαφορά απόστασης από τη διαφορά ώρας. Με την TDOA, μια μετάδοση με έναν άγνωστο χρόνο έναρξης λαμβάνεται σε διάφορους κόμβους λήψης, με μόνο τους δέκτες που απαιτούν συγχρονισμό χρόνου (Al-Ammar et al., 2014; Dardari, Closas & Djuric, 2015). Κάθε μέτρηση διαφοράς χρόνου άφιξης παράγει μια υπερβολική καμπύλη στον χώρο εντοπισμού όπου βρίσκεται η θέση του κινητού κόμβου (Mautz, 2012; Jang & Kim, 2018). Η τομή πολλών υπερβολικών καμπυλών καθορίζει τις πιθανές θέσεις του στόχου. Ωστόσο, μόνο μία διασταύρωση είναι αντιπροσωπευτική της πραγματικής θέσης του στόχου, η οποία χρειάζεται κάποια προηγούμενη γνώση για την εξάλειψη της ασάφειας θέσης (Song, Jiang&Huang, 2011; Liu et al., 2007).

4.1.3 Γωνία άφιξης- Angle of Arrival (AOA)

Χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο AOA, ένας κινητός δέκτης υπολογίζει τις γωνίες λήψης σήματος για δύο ή περισσότερες πηγές με γνωστές θέσεις. Για να υπολογιστεί μια θέση σε επίπεδο δύο διαστάσεων, η προσέγγιση AOA απαιτεί μόνο δύο φάρους. Προκειμένου να βελτιωθεί η ακρίβεια, χρησιμοποιούνται τρεις ή περισσότεροι φάροι για την εκτίμηση της θέσης (Farid, Nordin&Ismail, 2013; Mautz, 2012; Song, Jiang&Huang, 2011; Alarifi et al., 2016). Η εκτίμηση της θέσης πραγματοποιείται συγκρίνοντας είτε τη φάση του φέροντος είτε το εύρος σήματος σε πολλαπλές κεραίες. Από αυτούς τους υπολογισμούς, η θέση του δέκτη είναι τριγωνισμένη από τη διασταύρωση της γραμμής γωνίας από κάθε πηγή σήματος (Reddy&Sujatha, 2011; Al-Ammar et al., 2014; Dardari, Closas & Djuric, 2015).

4.1.4 Ισχύς λαμβανομένου σήματος- Received Signal Strength (RSS).

Το RSS υπολογίζει την απόσταση του άγνωστου κόμβου από τον κόμβο αναφοράς από ορισμένα σύνολα μονάδων μέτρησης χρησιμοποιώντας την

εξασθένηση της ισχύος του σήματος που εκπέμπεται. Αυτή η μέθοδος είναι δυνατή μόνο με ραδιοσήματα. Η μέθοδος εντοπισμού με RSS μπορεί να χρησιμοποιεί είτε αλγόριθμο μοντέλου διάδοσης είτε αλγόριθμο fingerprinting (Farid, Nordin & Ismail, 2013; Al-Ammar et al., 2014; Dardari, Clasas & Djuric, 2015). Ο αλγόριθμος μοντέλου διάδοσης (PMA) καθιερώνει το μοντέλο μεταξύ του RSS και της απόστασης. Γενικά, το μέγιστο των τιμών RSS πλησιάζει το σημείο πρόσβασης (AP) (Svalastog, 2007; Belmonte-Hernandez et al., 2017). Η εξασθένηση της ισχύος του σήματος είναι αντιστρόφως ανάλογη με την απόσταση από το σημείο πρόσβασης στο εξωτερικό. Αντίθετα, είναι περίπλοκο στο εσωτερικό περιβάλλον λόγω της ύπαρξης πολλών εμποδίων όπως τα έπιπλα, τα παράθυρα και οι πόρτες που μπορεί να προκαλέσουν πολλαπλή διάδοση, όπως αντανάκλαση, διάθλαση και περίθλαση (Song, Jiang & Huang, 2011; Liu et al., 2007).

4.1.5 Διαφορά φάσης άφιξης (PDOA)

Σε μια περίοδο άνω των 10 ετών, αυτό το σύστημα έχει δοκιμαστεί και βελτιωθεί. Διεξήχθησαν μελέτες σε διάφορα ανθρακωρυχεία στις Ηνωμένες Πολιτείες για να αποτραπεί από τον αέρα η ικανότητα του συστήματος t3 να ανιχνεύει τυπικά σήματα από έναν ανθρακωρύχο που εργάζεται κτυπώντας το έδαφος και έτσι να εντοπίζει τη θέση του ανθρακωρύχου. Τα αποτελέσματα αυτών των δοκιμών έδειξαν ότι, σε μια υποθετική περιοχή περιορισμού 1 τετραγωνικού μιλίου, υπάρχει πιθανότητα 0,85 ανίχνευσης του σήματος από έναν ανθρακωρύχο σε βάθος 2.000 ποδιών οπουδήποτε εντός αυτής της περιοχής. Η εύρεση της θέσης βασίζεται στην αρχή ότι ακόμη και παρουσία οριζόντιας διαστρωμάτωσης αλλαγών στην αγωγιμότητα του εδάφους, ένα θαμμένο κάθετο μαγνητικό δίπολο παράγει ένα κατακόρυφο διάνυσμα μαγνητικού πεδίου στο σημείο της επιφάνειας ακριβώς πάνω από το δίπολο. Τα συστήματα για εφαρμογές ανθρακωρυχείων χρησιμοποιούν σήματα στο εύρος των 600 έως 3.000 Hz για μεγιστοποίηση της αναλογίας σήματος προς θόρυβο στην επιφάνεια (Xia et al., 2017). Ο παγιδευμένος ανθρακωρύχος φέρει ένα μικρό πακέτο πομπού και κεραίας. Σε περίπτωση καταστροφής, ο ανθρακωρύχος πρέπει να αναπτύξει την

κεραία, κατά προτίμηση τυλίγοντας την γύρω από έναν πυλώνα άνθρακα για να παράγει έναν 30 μ. επί 30 μ. βρόχο μίας στροφής. Στη συνέχεια, οι ακροδέκτες της κεραίας βρόχου συνδέονται με τον πομπό, ο οποίος τροφοδοτείται από την μπαταρία της λάμπας στο κράνος του ανθρακωρύχου. Μια παραλλαγή περιλαμβάνει έναν δέκτη στη μονάδα του ανθρακωρύχου. Η δυνατότητα απάντησης απλών ερωτήσεων ναι ή όχι με το πλήκτρο του πομπού είναι επίσης μέρος του σχεδιασμού. Η θέση του πομπού κάτω από την επιφάνεια απαιτεί την εύρεση της θέσης του κάθετου συστατικού στοιχείου του μαγνητικού πεδίου (Dardari, Clases & Djuric, 2015).

Ένα ελικόπτερο με δέκτη εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας (ULF) πραγματοποιεί πρώτα αναζήτηση στην περιοχή εξόρυξης για να προσδιορίσει μια κατά προσέγγιση τοποθεσία. Στη συνέχεια χρησιμοποιείται ένας φορητός δέκτης για τον προσδιορισμό της ακριβούς θέσης μηδενικής κατάστασης. Το ηλεκτρομαγνητικό σύστημα εύρεσης κατεύθυνσης παρέχει ένα προηγουμένως μη διαθέσιμο μέτρο ασφάλειας στον ανθρακωρύχο. Ωστόσο, πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφοροι παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της ακρίβειας με την οποία η μηδενική κατάσταση στο οριζόντιο μαγνητικό πεδίο εντοπίζει τον υπόγειο φάρο που εξαρτάται από την οριζόντια ομοιομορφία των αεροπορικών δομών βράχου από οριζόντια διαστρωμάτωση (για παράδειγμα, επιφανειακή κλίση) που μπορεί να προκαλέσει σφάλματα στην εκτίμηση της θέσης. Ενώ μπορούν να γίνουν διορθώσεις για πράγματα όπως η επιφανειακή κλίση για ομοιογενές έδαφος, η χρήση τους με περίπλοκες ή άγνωστες κατασκευές εδάφους καθίσταται δύσκολη και μπορεί να είναι μη πρακτική. Η ακρίβεια με την οποία η μηδενική κατάσταση εντοπίζει τον υπόγειο φάρο εξαρτάται επίσης από το ότι η υπόγεια κεραία είναι τέλεια επίπεδη. Ένα δάπεδο εξορύξεων παράγει κεκλιμένο μαγνητικό δίπολο και ως εκ τούτου ενδέχεται να προκαλέσει σφάλματα στην εκτίμηση της θέσης (Mautz, 2012).

4.1.6 Χρόνος πτήσης μετ' επιστροφής

Οι σύνδεσμοι δικτύου με υψηλό εύρος ζώνης και υψηλό RTT (και συνεπώς υψηλό προϊόν καθυστέρησης εύρους ζώνης) μπορούν να έχουν πολύ

μεγάλο αριθμό δεδομένων «κατά την πτήση» ανά πάσα στιγμή. Τέτοιοι «χοντροί αγωγοί μεγάλου μήκους» απαιτούν ειδικό σχεδιασμό πρωτοκόλλου. Ένα παράδειγμα είναι η επιλογή κλίμακας παραθύρου TCP. Ο RTT αρχικά εκτιμήθηκε σε TCP με: $RTT = a \times old_RTT - (1-a) \times new_round_trip_sample$ όπου a είναι ένας σταθερός συντελεστής στάθμισης. Επιλέγοντας μια τιμή για a κοντά στο 1, ο σταθμισμένος μέσος όρος δεν επηρεάζεται από αλλαγές που διαρκούν για σύντομο διάστημα (π.χ., ένα μόνο τμήμα αντιμετωπίζει μεγάλη καθυστέρηση) (Luo, Fan & Li., 2017). Επιλέγοντας μια τιμή για a κοντά στο 0, ο σταθμισμένος μέσος όρος ανταποκρίνεται στις αλλαγές καθυστέρησης πολύ γρήγορα. Αυτό βελτιώθηκε με τον αλγόριθμο Jacobson/Karels, ο οποίος λαμβάνει επίσης υπόψη την τυπική απόκλιση. Μόλις υπολογιστεί ένας νέος RTT, εισάγεται στην παραπάνω εξίσωση για να αποκτηθεί ένας μέσος RTT για αυτήν τη σύνδεση και η διαδικασία συνεχίζεται για κάθε νέο υπολογισμό (Mautz, 2012).

4.2 Τεχνικές

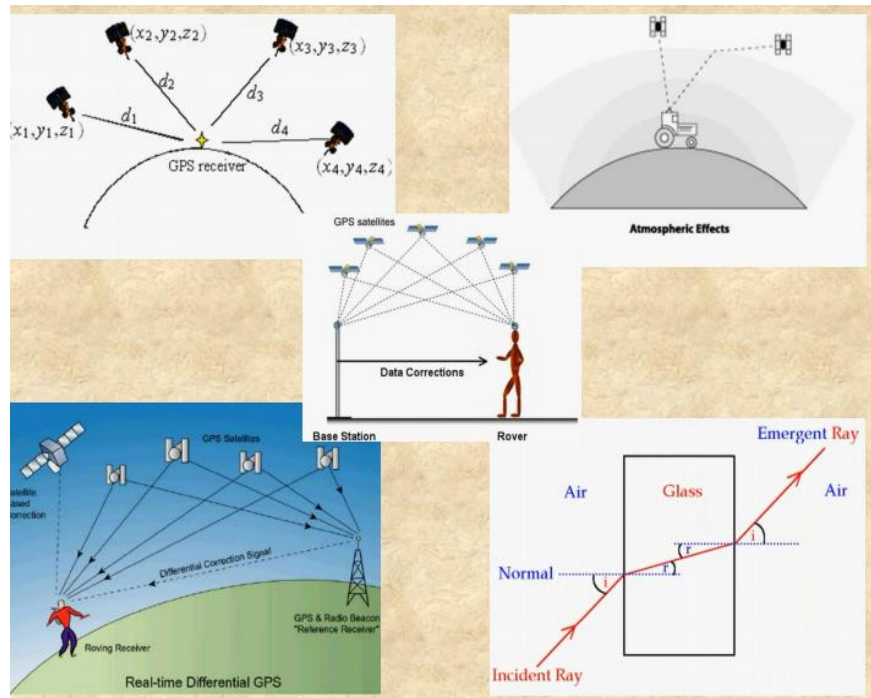
4.2.1 Triangulation

Η αναγνώριση προτύπων (Pattern Recognition) είναι ένα επιστημονικό πεδίο με στόχο την ανάπτυξη αλγορίθμων για την αυτοματοποιημένη απόδοση κάποιας τιμής ή διακριτικού στοιχείου σε εισαγόμενα δεδομένα, συνήθως κωδικοποιημένα ως αλληλουχίες αριθμών. Κατ' αυτόν τον τρόπο, ενδεικτικά, τα δεδομένα αυτόματα ταξινομούνται σε κατηγορίες ή διαχωρίζονται σε ομάδες με βάση κάποια κριτήρια, ακόμα και υπό την παρουσία θορύβου ο οποίος δυσκολεύει την αναγνώριση, ωθώντας συνήθως τα δεδομένα να μοιάζουν περισσότερο τυχαία απ' όσο πραγματικά είναι. Το ερευνητικό ενδιαφέρον για την αναγνώριση προτύπων έχει τις ρίζες του στη δεκαετία του 1960, κατά την πρώτη περίοδο ανάπτυξης της πληροφορικής και, ειδικότερα, της τεχνητής νοημοσύνης (Al-Ammar et al., 2014).

Οι άνθρωποι και οι ευφυείς οργανισμοί έχουν την ικανότητα να ταυτοποιούν πραγματικά δεδομένα χρησιμοποιώντας τις αισθήσεις τους και την αντιληπτική τους ικανότητα προκειμένου να λάβουν τις κατάλληλες αποφάσεις ώστε να επιβιώσουν στο περιβάλλον τους. Μία μηχανή, όπως ένας ηλεκτρονικός

υπολογιστής, πρέπει να εκπαιδευθεί κατάλληλα ώστε να αναγνωρίζει πρότυπα (patterns) και να τα κατηγοριοποιεί αυτόματα σε κατηγορίες. Ανάλογα με την εφαρμογή, γίνεται κατάταξη των αντικειμένων σε κλάσεις με τη βοήθεια αλγορίθμων ταξινόμησης (Yassin et al., 2016).

Με βάση το θεωρητικό υπόβαθρο που παρείχε η επιστήμη της στατιστικής, η πρώιμη έρευνα επί της αναγνώρισης προτύπων επικεντρώθηκε στην ανάπτυξη θεωρητικών μεθόδων. Μετά το 1970 έγιναν προσπάθειες για την ταχύτερη εξέλιξη του τομέα, ενώ το 1976 ιδρύθηκε η Διεθνής Ένωση Αναγνώρισης Προτύπων (IARP). Σήμερα, αλγόριθμοι αναγνώρισης προτύπων εφαρμόζονται σε αρκετές επιστήμες, όπως π.χ. στην ιατρική (βιοϊατρική τεχνολογία, ανάλυση δεδομένων DNA και άλλες εφαρμογές της βιοπληροφορικής), ή σε άλλα πεδία της πληροφορικής και της επιστήμης ηλεκτρονικού μηχανικού, όπως η μηχανική όραση και η ρομποτική. Η ίδια η αναγνώριση προτύπων επικαλύπτεται σημαντικά με συγγενή, επιμέρους πεδία της τεχνητής νοημοσύνης όπως η μηχανική μάθηση και η εξόρυξη δεδομένων (Farid, Nordin & Ismail, 2013). Ο υπολογισμός της θέσης ενός αντικειμένου με τη μέθοδο του τριγωνομετρικού υπολογισμού γίνεται χρησιμοποιώντας τις γεωμετρικές ιδιότητες των τριγώνων. Ο τριγωνομετρικός υπολογισμός διακρίνεται σε δύο υποκατηγορίες: α) Μέτρηση αποστάσεων (Lateration), β) Μέτρηση των γωνιών (Angulation) (Βλέπε Εικόνα 4.1) (Svalastog, 2007).



Εικόνα 4-1: Τριγωνισμός μέτρηση αποστάσεων

Πηγή: Αναστασάκη Γούσιας Νέτος & Παναγόπουλος (2010)

Στην μέθοδο Μέτρησης Αποστάσεων γίνονται μετρήσεις της απόστασης του αντικειμένου από σημεία αναφοράς με γνωστή θέση. Στον δισδιάστατο χώρο απαιτούνται τρία σημεία και στον τρισδιάστατο τουλάχιστον τέσσερα σημεία αναφοράς. Η μέτρηση της απόστασης μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας διάφορες προσεγγίσεις, όπως χρόνος διάδοσης (time of flight) ραδιοκυμάτων ή υπερήχων, εξασθένηση σήματος (attenuation). Τα συστήματα εντοπισμού GPS και Active Bat χρησιμοποιούν την εν λόγω μέθοδο (Mautz & Tilch, 2011). Όσον αφορά στη μέθοδο μέτρησης γωνιών επισημαίνεται πως είναι παρόμοια με τη μέθοδο μέτρησης των αποστάσεων. Για τον προσδιορισμό της θέσης χρησιμοποιείται η απόσταση μεταξύ των σημείων αναφοράς, καθώς και οι γωνίες που σχηματίζονται μεταξύ των σημείων αναφοράς και του αντικειμένου. Για το δισδιάστατο χώρο απαιτούνται δύο μετρήσεις γωνιών και μία μέτρηση απόστασης μεταξύ των δύο σημείων αναφοράς ενώ για το τρισδιάστατο χώρο απαιτούνται τρεις μετρήσεις γωνιών και οι τρεις αποστάσεις μεταξύ των σημείων αναφοράς (Liu et al., 2007).

4.2.2 Fingerprinting

Στην επιστήμη των υπολογιστών, ένας αλγόριθμος δακτυλικών αποτυπωμάτων (fingerprinting) είναι μια διαδικασία που χαρτογραφεί ένα αυθαίρετα μεγάλο στοιχείο δεδομένων (όπως ένα αρχείο υπολογιστή) σε μια πολύ μικρότερη συμβολοσειρά bit, το δακτυλικό του αποτύπωμα, που προσδιορίζει μοναδικά τα αρχικά δεδομένα για όλους τους πρακτικούς σκοπούς, όπως τα ανθρώπινα δακτυλικά αποτυπώματα αναγνωρίζουν μοναδικά άτομα για πρακτικούς σκοπούς. Αυτό το δακτυλικό αποτύπωμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σκοπούς αντιγραφής δεδομένων. Αυτό αναφέρεται επίσης ως δακτυλικό αποτύπωμα αρχείων, δακτυλικό αποτύπωμα δεδομένων ή δακτυλικό αποτύπωμα δομημένων δεδομένων. Τα δακτυλικά αποτυπώματα χρησιμοποιούνται συνήθως για την αποφυγή της σύγκρισης και της μετάδοσης ογκωδών δεδομένων (Al-Ammar et al., 2014; Dardari, Closas & Djuric, 2015). Για παράδειγμα, ένα πρόγραμμα περιήγησης ιστού ή διακομιστής μεσολάβησης μπορεί να ελέγξει αποτελεσματικά εάν ένα απομακρυσμένο αρχείο έχει τροποποιηθεί, ανακτώντας μόνο το δακτυλικό του αποτύπωμα και συγκρίνοντάς το με αυτό του προηγούμενου αντιγράφου (Sakpere, Adeyeye-Osgin & Mlitwa, 2017). Οι συναρτήσεις δακτυλικών αποτυπωμάτων μπορεί να θεωρηθούν ως συναρτήσεις κατακερματισμού υψηλής απόδοσης που χρησιμοποιούνται για τον μοναδικό προσδιορισμό σημαντικών ομάδων δεδομένων όπου οι συναρτήσεις κρυπτογραφικού κατακερματισμού ενδέχεται να είναι περιττές. Οι αλγόριθμοι δακτυλικών αποτυπωμάτων ήχου δεν πρέπει να συγχέονται με αυτόν τον τύπο λειτουργίας δακτυλικών αποτυπωμάτων (Mautz, 2012; Svalastog, 2007).

4.2.3 Ανάλυση όρασης

Η μηχανική όραση αποτελεί ένα διεπιστημονικό πεδίο που ασχολείται με το πώς οι υπολογιστές μπορούν να αποκτήσουν κατανόηση υψηλού επιπέδου από ψηφιακές εικόνες ή βίντεο. Από την οπτική της μηχανικής, επιδιώκει να κατανοήσει και να αυτοματοποιήσει τις εργασίες που μπορεί να κάνει το ανθρώπινο οπτικό σύστημα. Οι εργασίες της μηχανικής όρασης περιλαμβάνουν μεθόδους απόκτησης, επεξεργασίας, ανάλυσης και κατανόησης ψηφιακών

εικόνων και εξαγωγής δεδομένων υψηλής διάστασης από τον πραγματικό κόσμο, προκειμένου να παράγουν αριθμητικές ή συμβολικές πληροφορίες, π.χ. με τη μορφή αποφάσεων. Η κατανόηση σε αυτό το πλαίσιο σημαίνει τη μετατροπή των οπτικών εικόνων (τα δεδομένα εισόδου του αμφιβληστροειδούς) σε περιγραφές του κόσμου που έχουν νόημα στις διαδικασίες σκέψης και μπορούν να προκαλέσουν κατάλληλη δράση. Αυτή η κατανόηση της εικόνας μπορεί να θεωρηθεί ως αποσύνδεση συμβολικών πληροφοριών από δεδομένα εικόνας χρησιμοποιώντας μοντέλα κατασκευασμένα με τη βοήθεια της γεωμετρίας, της φυσικής, της στατιστικής και της θεωρίας της μάθησης (Al-Ammar et al., 2014). Ο επιστημονικός κλάδος της μηχανικής όρασης ασχολείται με τη θεωρία πίσω από τα τεχνητά συστήματα που εξάγουν πληροφορίες από εικόνες. Τα δεδομένα εικόνας μπορούν να λάβουν πολλές μορφές, όπως ακολουθίες βίντεο, προβολές από πολλές κάμερες, πολυδιάστατα δεδομένα από τρισδιάστατο σαρωτή ή ιατρική συσκευή σάρωσης (Jang & Kim, 2018). Ο τεχνολογικός επιστημονικός κλάδος της μηχανικής όρασης επιδιώκει να εφαρμόσει τις θεωρίες και τα μοντέλα της στην κατασκευή συστημάτων μηχανικής όρασης. Οι επιμέρους τομείς της μηχανικής όρασης περιλαμβάνουν την ανακατασκευή εικόνας, την ανίχνευση συμβάντων, την παρακολούθηση βίντεο, την αναγνώριση αντικειμένων, την εκτίμηση θέσης 3D, τη μάθηση, την ευρετηρίαση, την εκτίμηση κίνησης, την οπτική εξυπηρέτηση, τη μοντελοποίηση τρισδιάστατης εικόνας και την αποκατάσταση εικόνας (Gu, Lo & Niemegeers, 2009).

4.2.4 Αντιστοίχιση χαρτών

Η αντιστοίχιση χαρτών αναφέρεται σε μια διαδικασία που εκχωρεί γεωγραφικά αντικείμενα σε τοποθεσίες σε έναν ψηφιακό χάρτη. Τα πιο συνήθη γεωγραφικά αντικείμενα είναι οι σημειακές θέσεις που λαμβάνονται από ένα σύστημα εντοπισμού θέσης, συχνά ένα δέκτη GPS. Στις συνήθεις εφαρμογές, οι θέσεις GPS προέρχονται από έναν δέκτη που βρίσκεται σε ένα όχημα ή άλλο κινούμενο αντικείμενο που ταξιδεύει σε οδικό δίκτυο και ο ψηφιακός χάρτης διαμορφώνει την ενσωμάτωση στο γεωγραφικό χώρο των δρόμων μέσω πολυγραμμών που προσεγγίζουν τις κεντρικές γραμμές των δρόμων (Farid,

Nordin & Ismail, 2013; Al-Ammar et al., 2014). Οι θέσεις GPS γενικά δεν τέμνονται με τις πολυγραμμές, λόγω ανακρίβειών (Alarifi et al., 2016). Ο στόχος της αντιστοίχισης χαρτών είναι, στη συνέχεια, η τοποθέτηση των θέσεων GPS στις «σωστές» θέσεις τους στις πολυγραμμές του χάρτη. Η αντιστοίχιση χαρτών είναι χρήσιμη για διάφορους σκοπούς. Η αντιστοίχιση χαρτών χρησιμοποιείται όταν ένα σύστημα πλοήγησης εμφανίζει την τοποθεσία του οχήματος σε χάρτη (Mautz, 2012).

4.2.5 Εγγύτητα

Τα προβλήματα εγγύτητας είναι μια κατηγορία προβλημάτων στην υπολογιστική γεωμετρία που περιλαμβάνουν εκτίμηση των αποστάσεων μεταξύ γεωμετρικών αντικειμένων. Ένα υποσύνολο αυτών των προβλημάτων που αναφέρονται μόνο σε σημεία αναφέρονται μερικές φορές ως πλησιέστερα σημεία, αν και ο όρος «πρόβλημα με το πλησιέστερο σημείο» χρησιμοποιείται επίσης συνώνυμα στην αναζήτηση πλησιέστερου γείτονα (Al-Ammar et al., 2014; Farid, Nordin & Ismail, 2013). Ένα κοινό χαρακτηριστικό για πολλά από αυτά τα προβλήματα είναι η δυνατότητα καθορισμού του κατώτερου ορίου $\Theta(n \log n)$ στην υπολογιστική τους πολυπλοκότητα με αναγωγή από πρόβλημα της μοναδικότητας του στοιχείου που βασίζεται σε μια παρατήρηση ότι εάν υπάρχει ένας αποτελεσματικός αλγόριθμος για τον υπολογισμό κάποιου είδους ελάχιστης απόστασης για ένα σύνολο αντικειμένων, είναι ασήμαντο να ελεγχθεί το εάν αυτή η απόσταση ισούται με 0 (Liu et al., 2007; Svalastog, 2007).

4.2.6 Πλοήγηση με στίγμα(Dead Reckoning)

Στο Dead Reckoning, ένα αντικείμενο μπορεί να καθορίσει περίπου την τρέχουσα θέση του γνωρίζοντας την προηγούμενη θέση και την ταχύτητα με την οποία κινείται. Το Dead Reckoning είναι μια τεχνολογία πλοήγησης που απαιτεί την εκκίνηση με μία γνωστή θέση, όπου θα προστεθούν και θα παρακολουθηθούν οι αλλαγές (Choliz et al., 2011). Αυτές οι αλλαγές μπορούν να έχουν τη μορφή καρτεσιανών συντεταγμένων ή ταχύτητας. Με επαρκείς συχνές ενημερώσεις της απόλυτης θέσης, τα γραμμικά αυξανόμενα σφάλματα θέσης του Dead Reckoning

μπορούν να περιέχονται εντός προκαθορισμένων ορίων (Beauregard&Haas, 2006). Προκειμένου να βελτιωθεί η ακρίβεια και να μειωθούν τα σφάλματα, το Dead Reckoning πρέπει να χρησιμοποιεί άλλες μεθόδους για να ρυθμίζει τη θέση μετά από κάθε διάστημα (Ivanov, 2010). Ο υπολογισμός του Dead Reckoning πεζών είναι ένα παράδειγμα Dead Reckoning που απλά υπολογίζει το μήκος και την κατεύθυνση ενός ατόμου που περπατά (Beauregard&Haas, 2006; Farid, Nordin & Ismail, 2013).

Η Πλοήγηση με στίγμα (DR) όπως είπαμε χρησιμοποιεί την τελευταία γνωστή θέση του στόχου σε συνδυασμό με δεδομένα που συλλέγει από τους αισθητήρες για την εκτίμηση της νέας θέσης μετά από σύντομη καθυστέρηση (Hussien, Shiferaw & Teshale, 2017). Χρησιμοποιεί ένα επιταχυνσιόμετρο τριών αξόνων για την μέτρηση της ταχύτητας του κινούμενου αντικειμένου, και ένα γυροσκόπιο τριών αξόνων που δίνει την γωνιακή ταχύτητα για τον προσδιορισμό της κατεύθυνσης της κίνησης (Mautz, 2012;). Αυτές οι μονάδες ενσωματώνονται σε μια ολοκληρωμένη διάταξη που ονομάζεται Αδρανειακή Μονάδα Μέτρησης (Inertial Management Unit-IMU), με την δυνατότητα προσθήκης και μαγνητόμετρου τριών αξόνων για τη διόρθωση της μετατόπισης των γυροσκοπίων(Gupta, etal., 2015; Svalastog, 2007).

Κεφάλαιο 5^ο Μελέτες Περίπτωσης

Όλες οι επιλεγμένες τεχνολογίες έχουν κοινά πρότυπα που καθορίζουν τη λειτουργία τους, τον τρόπο ανάπτυξης τους και γενικά βοηθούν στη κατανόηση των τρόπων με τους οποίους μπορούν να συνδυαστούν για να οδηγήσουν έναν οργανισμό στην επιτυχία μέσω της επίτευξης των στόχων που έχει θέσει. Συγκεκριμένα οι τεχνολογίες εντοπισμού θέσης μπορούν να συνδυαστούν σε κοινούς στόχους. Ο συνδυασμός αναφέρεται στην καλύτερη αντιμετώπιση του όποιου προβλήματος θεωρείται ως βασικό για έναν οργανισμό.

Τα κοινά πρότυπα ορίζονται και αντιμετωπίζονται ως κοινοί κανόνες, κανόνες που έχει η κάθε τεχνολογία για να λειτουργήσει σωστά και να οδηγήσει το φορέα χρήσης εκ του ασφαλούς στην επίτευξη των στόχων του. Τα πρότυπα ορίζονται από τις εταιρίες παραγωγής και είναι γνωστά στους φορείς διαχείρισης για το καλύτερο συνδυασμό τους. Για παράδειγμα μια τεχνολογία που εξασφαλίζει την ασφάλεια μέσα στο χώρο, μπορεί να βοηθήσει συγχρόνως και στην καλύτερη παρουσία προϊόντων που μπορεί να ενδιαφέρουν τους καταναλωτές. Ο συνδυασμός εξασφαλίζει αποτελεσματική προώθηση και παροχή προστασίας στον καταναλωτή για παράδειγμα σε επίπεδο προσωπικών δεδομένων. Ακόμα θα μπορούσε να υπάρξει κοινός προσανατολισμός τοποθέτησης και ανάπτυξης ασφαλών και αποτελεσματικών διαδικασιών υποστήριξης της τεχνολογίας.

5.1 Προσομοίωση στη λειτουργία καταστημάτων

Οι γνώσεις σχετικά με τη συμπεριφορά των καταναλωτών είναι κρίσιμες για τους εμπόρους λιανικής πώλησης. Οι γνώσεις αυτές λειτουργούν ως εξατομικευμένες προτάσεις στο στοχευμένο μάρκετινγκ, ως βασική πληροφόρηση για τη βελτίωση των υπηρεσιών τους ως βάση για προβλέψεις για το μέλλον. Οι διαχειριστές των μεγάλων εσωτερικών χώρων όπως είναι τα εμπορικά κέντρα, επιδιώκουν να κατανοήσουν καλύτερα τις συμπεριφορές των καταναλωτών ώστε να αντιμετωπίζουν καλύτερα τον ανταγωνισμό, κάνοντας καλύτερες προτάσεις.

Οι τεχνολογίες κίνησης στο χώρο βοηθούν στη συγκέντρωση πληροφοριών για τους πελάτες αναλύοντας τη συμπεριφορά τους στο χώρο και συγκεκριμένα στα διάφορα σημεία πώλησης. Η μελέτη της διαδρομής ενός πελάτη, αυτής που ακολούθησε κατά την επίσκεψη του σε ένα εμπορικό κέντρο και το χρόνο που έμεινε σε ένα συγκεκριμένο σημείο αποτελούν βασικές πληροφορίες που σήμερα μπορούν να είναι διαθέσιμες. Οι πληροφορίες μέσω των τεχνολογιών κίνησης λειτουργούν όπως αυτές που συγκεντρώνει μια εταιρία από τους πελάτες της κατά την είσοδο τους στη σελίδα τους με βάση το χρόνο επίσκεψης και παραμονής.

Οι τεχνολογίες κίνησης αποτελούν ένα βασικό μέσο ανάλυσης των ανθρώπινων συμπεριφορών (Rejonice^{tal.}, 2015) όσο και της πρόθεσης του χρήστη η οποία εκφράζεται μέσα από τη κίνηση του στο χώρο (ChurchandBarry 2009). Μια τεχνολογία ελέγχου της κίνησης είναι το Placer, το οποίο προτάθηκε από τους Krumm και DanyRouhana. Το παρόν αντιμετωπίζει τη κίνηση στον εσωτερικό χώρο ως μέσο κατανόησης της συμπεριφοράς του επισκέπτη συνδέοντας τη με ημερολόγιο κίνησης, με τα δημογραφικά του χαρακτηριστικά κ.λπ. (Krummand Rouhana. 2013).

Σε μια άλλη έρευνα των Elhamshary et. al, τέθηκε ως βασικό πρόγραμμα μέτρησης της κίνησης σε εσωτερικούς χώρους το CheckInside. Το οποίο χρησιμοποιείται για να τσεκάρει δεδομένα που συλλέγονται από ανθρώπους σε διάφορες τοποθεσίες και να τα μετουσιώσει σε πληροφορίες σε σχέση με τις αγορές του, τις προθέσεις του για προϊόντα, καταστήματα κ.λπ.. Υποστήριξαν ότι η CheckInside παρέχει ακριβέστερο εντοπισμό και καλύτερη κάλυψη (Elhamshary and Youssef. 2014)

Σε μια άλλη έρευνα οι Misra και Balan παρουσίασαν το LiveLabs, το οποίο αποτελεί μια φορητή πλατφόρμα δοκιμών μεγάλης κλίμακας ως ένα αποτελεσματικό μέσο για τον επιτόπιο πειραματισμό (MisraandBalan. 2013). Μέσω αυτού διαπίστωσαν ότι οι άνθρωποι έχουν διαφορετική κινητικότητα στο χώρο, πράγμα που δηλώνει στοιχεία για τη συμπεριφορά τους, τον τρόπο σκέψης τους, τις αγορές που κάνουν, τα εκθέματα που επιλέγουν σε ένα μουσείο, γκαλερί κ.λπ.(Kasthuri^{etal.}, 2015). Οι Zenget. al. Zeng, 2015 μελέτησαν τον τρόπο

προσδιορισμού της φυσικής συμπεριφοράς του αγοραστή με βάση τις πληροφορίες που λαμβάνονται για τη κίνηση του στον εσωτερικό χώρο. Συγκεκριμένα, επικεντρώθηκαν στις συμπεριφορές του αγοραστή κοντά στις εισόδους των καταστημάτων ή εντός του καταστήματος. Η κίνηση τους στο χώρο αποτελούν καλή πληροφόρηση για τη ταξινόμηση των συμπεριφορών του. Οι Radhakrishnan et. al. παρουσίασαν το πώς να χρησιμοποιείτε το Smartphone και το smartwatch για το αποτελεσματικό segmentation, ώστε να του γίνονται προτάσεις αγοράς προϊόντων (Meeralakshmi et al., 2016)

5.2 Μελέτες περίπτωσης

5.2.1 Η χρήση των τεχνολογιών κίνησης στο χώρο-Εφαρμογές σε εμπορικούς χώρους, μουσεία, γκαλερί, Super market

Σε συνδυασμό με τις αγορές που κάνουν οι πληροφορίες από τη κίνηση στο χώρο λειτουργούν ως βάση βελτίωσης των πωλήσεων. Τα εμπορικά κέντρα αλλά και άλλοι χώροι όπως είναι τα μουσεία, οι γκαλερί, αποτελούν χώροι κίνησης, οι οποίοι μπορούν να δώσουν πληροφορίες μόνο μέσα από τον τρόπο που κινείται στο χώρο ο επισκέπτης. Σήμερα όλο και περισσότερο τα δίκτυα Wi-Fi και Bluetooth beacons εισάγονται σε αυτούς τους χώρους επιτρέποντας την καταγραφή των εσωτερικών κινήσεων δίνοντας πληροφορίες για τον επισκέπτη και συγκεκριμένα για τη συμπεριφορά του (Watson, et al., 2019).

Η κατανόηση των διαφορετικών θέσεων στο χώρο βοηθούν στη κατανόηση της καταναλωτικής συμπεριφοράς αλλά και των μελλοντικών δράσεων του πελάτη. Οι συγκεκριμένες εφαρμογές βοηθούν στη καλύτερη παροχή υπηρεσιών. Οι εφαρμογές κατανόησης της κίνησης του πελάτη δηλώνουν πρόθεση αγοράς. Για παράδειγμα, για καλύτερη κατανόηση των παραπάνω έχουμε ένα χρήστη, τον χρήστη A ο οποίος σκοπεύει να αγοράσει ένα φορητό υπολογιστή οπότε κινούμενος στο χώρο πηγαίνει κατευθείαν σε ένα εμπορικό στο αντίστοιχο τμήμα. Ο χρήστης B κινούμενος σε ένα εμπορικό επισκέπτεται συγκεκριμένα καταστήματα, εδώ η κίνηση δηλώνει προτίμηση σε καταστήματα και όχι προϊόντα όπως συμβαίνει με το χρήστη A. Τέλος η κίνηση ενός τρίτου πελάτη στο τμήμα των υποδημάτων δηλώνει τη προτίμηση του σε μάρκες. Όλα τα

παραπάνω έχουν μια σημασιολογική ουσία για τη συμπεριφορά του καταναλωτή (Watson, et al., 2019).

Με βάση τη διαδικασία αυτή μπορεί να γίνει κατανοητή η προτίμηση των καταναλωτών για καλλυντικά, υποδήματα, ενδύματα κ.λπ. Μια πρόκληση σε σχέση με τα παραπάνω είναι η σωστή κατανόηση της κίνησης του πελάτη στο χώρο, η κατανόηση της κίνησης σε καταστήματα, η τοποθέτησης του μπροστά σε ράφια προϊόντων, η κατανόηση των προτιμήσεων του από τη παρατήρηση αγαθών. Η πρόκληση αναφέρεται στην κατανόηση του αν υπάρχει σημασία στη κίνηση του πελάτη στο χώρο ή αν η κίνηση αυτή είναι τυχαία (Martella, et al., 2016).

Μια άλλη πρόκληση είναι η συσχέτιση της κίνησης στο χώρο επισκεπτών που δεν είναι συχνοί επισκέπτες ενός χώρου, πράγμα που σημαίνει ότι δεν υπάρχουν αρχεία καταγραφής, για να συγκριθούν και να εξαχθούν συμπεράσματα. Τα παραδείγματα των πελατών Α,Β,Γ δεν είναι πάντα συχνά διότι τα συγκεκριμένα έχουν υψηλή συσχέτιση, οπότε η δυσκολία αναφέρεται στα υπόλοιπα που ο πελάτης κινείται χωρίς στόχο, που ο πελάτης δεν στέκεται σε σημεία, που δεν είναι συχνή η παρουσία του στο σημείο αναφορά εμπορικό, μουσείο, γκαλερί κ.λπ.(You, et al., 2014).

Στις λοιπές περιπτώσεις η πρόθεση τους δεν είναι εύκολα κατανοητή. Για παράδειγμα ο πελάτης D κινείται σε ένα φεστιβάλ και η κίνηση του στο χώρο είναι συνεχής, η κατανόηση των προτιμήσεων του δεν είναι εύκολη και πρέπει να συνδυαστεί και με άλλα στοιχεία όπως ηλικιακά, φύλου κ.λπ.. Ο έλεγχος κίνησης γίνεται όπως αναφέρθηκε με Wi-Fi, με αισθητήρες κινητών τηλεφώνων, με αισθητήρες προσέγγισης κ.λπ.. Ακόμα συνδυαστικά βοηθούν τα ηλεκτρονικά αρχεία καταγραφής (Yunze et al., 2015).

Οπότε όταν ένας πελάτης κινείται στο τμήμα υπολογιστών με βάση τα προσωπικά του στοιχεία που έχουν καταγραφεί από προηγούμενες αγορές, μπορεί να δεχτεί από τους ιθύνοντες ενός εμπορικού όσο είναι μέσα σε αυτό πληροφορίες μέσω του κινητού του για νέα προϊόντα, για τιμές, προσφορές κ.λπ.. Αυτές θα συνάγουν στη κίνηση του στο χώρο και στα ατομικά του χαρακτηριστικά (Moe. 2003). Η κίνηση στο χώρο βοηθά σε προβλέψεις για το

μέλλον, βοηθά το χρήστη να κατανοήσει το πώς πρέπει να κινηθεί μέσα σε ένα εμπορικό, σε ένα μουσείο ή σε έναν άλλο χώρο πώλησης και προβολής, αλλά και το χώρο το πώς θα τον προσανατολίσει, κατευθύνει με τον τρόπο που θέλει στα διάφορα σημεία προβολής, πώλησης, προώθησης.

Οι Renet. al. Ανέλυσαν το πώς χρησιμοποιούν οι χώροι υποδοχής το Wi-Fi για πρόσβαση στον ιστό σε εσωτερικούς χώρους κατά την πλοήγηση των χρηστών στο διαδίκτυο τη στιγμή που βρίσκονται μέσα σε αυτούς. Αναφέρθηκαν σε καταγραφή προτύπων με βάση την εβδομαδιαία κίνηση τους για παράδειγμα σε ένα Super-market, σε ένα εμπορικό κέντρο κ.λπ. (Ren, etal., 2017). Το επέκτειναν συνδυάζοντας τη κίνηση με συμπεριφορές και κοινωνικές δράσεις αλλά και με δημογραφικά χαρακτηριστικά όπως ηλικία, εισόδημα, φύλο, οικογενειακή κατάσταση, τύπο επισκέπτη κ.λπ (Cho et al., 2015).

Οι Chuang-WenYou et. al. πρότειναν ένα τηλεφωνικό σύστημα για την παρακολούθηση του χρόνου αγορών στα καταστήματα. το μεταμόρφωσαν σε μέσο ταξινόμησης της κίνησης του χρήστη αλλά και δράσης όπως αγορά ή μη αγορά προϊόντων, χρησιμοποίησαν τη χωρική και χρονική τοποθέτηση που βοηθούν να αναγνωριστεί από τα σήματα Wi-Fi, τους αισθητήρες το τηλέφωνο κ.λπ. (Youetal., 2011). Σήμερα οι εσωτερικοί χώροι παρέχουν πρόσβαση στο opt-in Wi-Fi που συλλαμβάνει τις κινήσεις των χρηστών και τις συνδυάζει με άλλα χαρακτηριστικά τους. Είναι επίσης ένα μέσο σύνδεσης με προϊόντα, με κατηγορίες καταστημάτων, με πωλήσεις και αγορές. Όλα αυτά καθορίζουν αγοραστικές προτιμήσεις, άλλες προτιμήσεις σε επίπεδο τέχνης, μουσικής, καλλιτεχνικών δρώμενων κ.λπ (Yang, &Shao, 2015).

5.2.2 Προτάσεις σε κλάδους που δεν χρησιμοποιούνται οι τεχνολογίες εντοπισμού εσωτερικής κίνησης

Σήμερα οι τεχνολογίες εντοπισμού χρησιμοποιούνται από πολλούς και διαφορετικούς κλάδους ανεξαρτήτου δυναμικής, αντικειμένου και πεδίων που έχουν να καλύψουν. Οι κλάδοι είναι κυρίως εμπορικοί Super-market, εμπορικά καταστήματα κ.λπ., είναι όμως και άλλους τύπου όπως Νοσοκομεία, δημόσιοι οργανισμοί κ.λπ.. Όμως οι δυνατότητες εφαρμογής είναι ακόμα πάρα πολλές και

πιθανόν στο μέλλον κάθε οργανισμός κερδοσκοπικός και μη κάνει σχετική χρήση. Συγκεκριμένα ενδεικτικά θα μπορούσε να γίνει χρήση σε θεματικά πάρκα με στόχο την ασφάλεια των επισκεπτών αλλά και τη προβολή προϊόντων χορηγών των εν λόγω πάρκων (Yang, & Shao, 2015).

Εφαρμογές θα μπορούσαν να έχουν σε ζωολογικούς κήπους για τον έλεγχο των ζώων και των επισκεπτών, σε κατασκηνώσεις για τη καλύτερη προστασία των παιδιών που φυλάσσονται εκεί, ενώ εμπορικές εφαρμογές μπορούν να έχουν σε ξενοδοχεία για τη καλύτερη εξυπηρέτηση των επισκεπτών αλλά και την ανάπτυξη εμπορικών δράσεων που θα επέφεραν πρόσθετα κέρδη, για παράδειγμα θα μπορούσε να έρχονται μηνύματα στο κινητό όντας ο επισκέπτης σε κάποιο χώρο του ξενοδοχείου με στόχο τη διαφήμιση δράσεων ακόμα και τη πώληση αγαθών (Gioia, et al., 2015). Πρόσθετοι χώροι χρήσης μπορεί να είναι εστιατόρια και γενικά χώροι εστίασης όπου με βάση τη θέση και τα χαρακτηριστικά του πελάτη θα μπορούσαν να του γίνουν προτάσεις για συγκεκριμένα πιάτα ή ενημέρωση για ειδικές προσφορές. Σε γενικές γραμμές κάθε εμπορικός και μη φορέας θα μπορούσε να κάνει χρήση των συγκεκριμένων τεχνολογιών πετυχαίνοντας τη βελτίωση των υπηρεσιών του, την αύξηση των εισερχόμενων επισκεπτών-πελατών και την ευρύτερη επίτευξη των στόχων του (Zafari & Papapanagiotou, 2015).

Κεφάλαιο 6^ο Επίλογος-Συμπεράσματα

Τα τελευταία έτη, οι τεχνολογίες επικοινωνίας και υπολογιστών πληροφόρησης είναι βαθιά συγκλίνουσες, ενώ πλήθος τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης και συστημάτων εντοπισμού θέσης εσωτερικών χώρων έχουν συμβάλλει στη συνεχή ανάπτυξη των επικοινωνιακών και τεχνολογικών επικοινωνιών. Σήμερα είναι ξεκάθαρο ότι η επερχόμενη τεχνολογική ανάπτυξη σε θέματα επικοινωνίας και εντοπισμού θέσης αντικειμένων και ανθρώπων σε εσωτερικούς χώρους δεν μπορεί πλέον να οριστεί από ένα ενιαίο επιχειρηματικό μοντέλο ή ένα τυπικό τεχνικό χαρακτηριστικό. Η παρούσα βιβλιογραφική μελέτη, εστίασε το ερευνητικό της ενδιαφέρον κυρίως στο κομμάτι των συστημάτων εντοπισμού θέσης. Σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν στο θεωρητικό μέρος και βάσει της αρθρογραφίας και βιβλιογραφίας που μελετήθηκε, μπορεί να αναφερθεί ότι τα συστήματα εσωτερικής τοποθέτησης (IPS) επιτρέπουν τον εντοπισμό της θέσης αντικειμένων ή ανθρώπων μέσα στα κτίρια. Δεδομένου ότι το GPS είναι αναξιόπιστο στους εσωτερικούς χώρους επειδή δεν υπάρχει οπτική επαφή με τους δορυφόρους GPS, ένα IPS (σύστημα εσωτερικού εντοπισμού θέσης) πρέπει να χρησιμοποιεί άλλες μεθόδους τοποθέτησης. Αυτά περιλαμβάνουν, για παράδειγμα, τα κοινά καταναλωτικά πρότυπα Wi-Fi ή Bluetooth Low Energy (BLE), αλλά και λύσεις βασισμένες σε UWB (Ultra-wideband) ή παθητική RFID.

Τα συστήματα εντοπισμού είναι κατάλληλα για εσωτερική και εξωτερική χρήση. Το πρώτο και σημαντικότερο βήμα στην υλοποίηση των συστημάτων εντοπισμού είναι η επιλογή της μεθόδου και της τεχνολογίας τοποθέτησης. Όταν πρόκειται για τον εντοπισμό εντός των κτιρίων, μπορεί να γίνει διάκριση μεταξύ της τοποθέτησης που βασίζεται σε πελάτη και του διακομιστή. Ο εντοπισμός βάσει πελάτη επιτρέπει τον προσδιορισμό της θέσης απευθείας στη συσκευή του τελικού χρήστη (π.χ. smartphone). Στην περίπτωση του εντοπισμού με βάση το διακομιστή, η τοποθέτηση πραγματοποιείται σε ένα διακομιστή. Τα συστήματα εντοπισμού θέσης (IPS) χρησιμοποιούν αισθητήρες και τεχνολογίες επικοινωνιών για τον εντοπισμό αντικειμένων σε εσωτερικά περιβάλλοντα. Η IPS προσελκύει επιστημονικό και επιχειρηματικό ενδιαφέρον επειδή υπάρχει μεγάλη ευκαιρία για την αγορά για την εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών. Υπάρχουν πολλές

προηγούμενες έρευνες για συστήματα εσωτερικού εντοπισμού θέσης. Ωστόσο, οι περισσότεροι από αυτούς δεν διαθέτουν ένα στερεό σύστημα ταξινόμησης που θα χαρτογραφούσε δομικά ένα ευρύ πεδίο όπως το IPS ή θα παραλείπει πολλές βασικές τεχνολογίες ή θα έχει περιορισμένη προοπτική. Τέλος, οι έρευνες γίνονται γρήγορα παρωχημένες σε μια περιοχή τόσο δυναμική όσο η IPS. Στην πράξη, η εξέλιξη των υποκείμενων τεχνολογιών είχε πολύ θετικό αντίκτυπο στην εξέλιξη των συστημάτων εσωτερικού εντοπισμού θέσης. Διαπιστώθηκε ότι οι αλλαγές στις επόμενες εκδόσεις προτύπων σε μια συγκεκριμένη τεχνολογία μπορούν να μειώσουν κάποιες εργασίες στο σύστημα εντοπισμού θέσης ή ακόμα και να επιλύσουν ορισμένους περιορισμούς. Για παράδειγμα, τα συστήματα εντοπισμού θέσης που χρησιμοποιούν για παράδειγμα το Bluetooth έκδοση 1.0 θα πρέπει πρώτα να καθιερώσουν επικοινωνία μεταξύ συσκευών προκειμένου να μετρήσουν την ισχύ του σήματος λήψης, αλλά σε μεταγενέστερες εκδόσεις του προτύπου αυτή η διαδικασία δεν είναι πλέον απαραίτητη επειδή το πρωτόκολλο διαθέτει μηχανισμό εντοπισμού συσκευών. Αυτό αποτρέπει την παρέμβαση του χρήστη για να δημιουργήσει σύνδεση και μειώνει το χρόνο απόκρισης του συστήματος (λανθάνουσα κατάσταση). Αργότερα και πάλι παραδειγματικά αναφέροντας η έκδοση 4 του Bluetooth μειώνει δραστικά την κατανάλωση ενέργειας, καθιστώντας τις φορητές συσκευές με Bluetooth πιο πρακτικές. Επιπλέον, η εμφάνιση νέων τεχνολογιών παρέχει την ευκαιρία να αναπτυχθούν εσωτερικά συστήματα εντοπισμού θέσης με βάση αυτές τις τεχνολογίες.

Η μέθοδος, η τεχνολογία και οι λεπτομέρειες εφαρμογής επηρεάζουν την ακρίβεια του συστήματος. Επίσης, ο αντίκτυπος των λεπτομερειών υλοποίησης θα μπορούσε να εκτιμηθεί με την εξέταση των αποτελεσμάτων του ανταγωνισμού, καθώς παρόμοιες τεχνολογίες και τεχνικές, όπως δύο ομάδες που χρησιμοποιούν Wi-Fi και δακτυλικά αποτυπώματα, λαμβάνουν τέτοια διαφορετικά σφάλματα θέσης όπως τα 1,56 m και 5,23 m. Δεν υπάρχει ακόμη μια συνολικά ικανοποιητική λύση για το πρόβλημα IPS. Οι λύσεις είναι είτε πολύ ακριβές είτε πολύ φτηνές και υπερβολικά ανακριβείς. Με βάση τα παραπάνω παραδείγματα και τις βασικές διαπιστώσεις από το σύνολο της εργασίας μπορεί να αναφερθεί ότι οι διάφορες τεχνολογίες μέσα στα χρόνια βελτιώθηκαν παρόλα αυτά συνεχίζει να είναι ξεκάθαρο ότι η κάθε μια από αυτές έχει να προτείνει

διαφορετικές προσεγγίσεις στον εντοπισμό θέσης, ενώ παρουσιάζουν πολλά διαφορετικά και αρνητικά στη διαδικασία. Ο τρόπος επιλογής τεχνολογίας είναι βασικός και όπως παρατηρήθηκε στην εργασία αποτελεί μια απαιτητική διαδικασία η οποία όταν εφαρμόζεται σωστά μπορεί να προσδώσει τα κατάλληλα εργαλεία αξιολόγησης και επιλογής της κατάλληλης τεχνολογίας, πάντα με γνώμονα το εξεταζόμενο θέμα τον εντοπισμό θέσεις εσωτερικών χώρων, που αποτέλεσε και το πεδίο ενδιαφέροντος της παρούσας εργασίας. Μέσα από το δέντρο αποφάσεων που χρησιμοποιήθηκε κατά την ανάπτυξη και αξιολόγηση των τεχνολογιών που επιλέχθηκαν να μελετηθούν διαπιστώθηκε ότι η λειτουργικότητα, η αποτελεσματικότητα, το κόστος, η ικανότητα εντοπισμού, η πολυπλοκότητα, η αξιοπιστία και η ικανότητα εντοπισμού αποτέλεσαν βασικά κριτήρια αναγνώρισης των ικανοτήτων και της αποτελεσματικότητας της κάθε τεχνολογίας ξεχωριστά ώστε να μπορεί ο αξιολογητής και μελλοντικός χρήστης να καταλήξει ποια τεχνολογία εντοπισμού είναι η καλύτερη και να τη προάγει για να την επιλέξει. Μέσα από τη χρήση του δέντρου απόφασης διαπιστώθηκε ότι δεν μπορεί να αποτελέσει μια λύση ως βασική, μια τεχνολογία ως μοναδική και αυτό γιατί ανά περίπτωση ανά πεδίο όλα αλλάζουν όλα επαναπροσδιορίζονται οπότε ανά περίπτωση μπορεί μια τεχνολογία ή συνδυασμός τεχνολογιών να καταστεί ή να καταστούν πιο κατάλληλη, κατάλληλες οδηγώντας σε αποτελεσματικότητα.

Μέσα από την εργασία παρουσιάστηκε και η δυναμική και η αποτελεσματικότητα χρήσης των αλγορίθμων. Για τις ανάγκες της παρούσας οι αλγόριθμοι που ορίστηκαν ως βασικοί ήταν η ώρα άφιξης (TOA), η διαφορά ώρας άφιξης (TDOA), η γωνία άφιξης (AOA) και η ισχύς λαμβανομένου σήματος (RSS). Οι παρόντες θεωρήθηκαν μοναδικοί για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας και για τη διαδικασία αξιολόγησης των τεχνολογιών εντοπισμού θέσης οπότε για καλύτερη αξιολόγηση του τέθηκαν σε προσδιορισμό της δυναμικής τους με βάση τη θεωρία και τη παράθεση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων τους. Πέρα από αυτό έγινε και μια πιο επισταμένη αναφορά στα χαρακτηριστικά τους. Πρόσθετη αναφορά που πλαισίωσε τους άνωθεν αλγόριθμους έγινε στην αναγνώριση προτύπων αλλά και στη τεχνολογία fingerprinting. Η τελική διαπίστωση ήταν ότι ο κάθε αλγόριθμος είναι σημαντικός για διαφορετικούς λόγους και η επιτυχία του είναι συνυφασμένη με

τη τεχνολογία που αξιολογεί, δηλαδή ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της, μπορεί και ένας αλγόριθμος να είναι σημαντικός ή όχι. Στην ενότητα αυτή εξετάστηκαν όσοι περισσότεροι αλγόριθμοι γινόταν και το συμπέρασμα ήταν ότι δεν αποτελεί ένας εξ' αυτών βασικός, η αξιολόγηση τεχνολογιών πρέπει να είναι συνδυαστική για να οδηγεί σε αποτέλεσμα σε σχέση με την αξιολόγηση και χρήση μιας οποιαδήποτε τεχνολογικής εφαρμογής αναφορικά με τον εντοπισμό ανθρώπων και αντικειμένων σε εσωτερικούς χώρους. Η καλύτερη κατανόηση των συγκεκριμένων τεχνολογιών και η αξιολόγηση αυτών έγινε μέσω της παράθεσης μελετών περίπτωσης, οι οποίες έδειξαν ότι οι εφαρμογές είναι πολλές το αντίκτυπο όμως διαφορετικό. Συγκεκριμένα διαφορετική η χρήση σε ένα λιανικής όπως ένα Super market που οι ανάγκες είναι πολλές και σχετίζονται με την εμπορική διαχείριση, την ασφάλεια, τις ανάγκες προώθησης και προβολής και διαφορετική σε ένα μουσείου που οι ανάγκες έχουν να κάνουν με την ασφάλεια, την εύρυθμη κίνηση στο χώρο, την επικοινωνία και την ενημέρωση.

Οι αλγόριθμοι καθοδηγούν τη διαδικασία της αξιολόγησης και της χρήσης προσανατολίζουν τον εξεταζόμενο οργανισμό στο να κατανοήσει τις ανάγκες του και να καταλήξει στη κατάλληλη προς χρήση τεχνολογία. Η διαπίστωση είναι ότι οι τεχνολογίες αυτές είναι σημαντικές και μπορούν τελικά να βρουν παντού εφαρμογές, για παράδειγμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα ζωολογικό κήπο για το συνεχή έλεγχο της θέσης των ζώων ή σε ένα εστιατόριο και ξενοδοχείο για εντοπισμό θέσεων, αναγνώρισης κενών θέσεων και δωματίων, για σύνδεση με τεχνολογίες ενημέρωσης όπως με το διαδίκτυο ή με τα κοινωνικά δίκτυα με στόχο την ενημέρωση των οργανισμών που τους χρησιμοποιούν αλλά και τους τελικούς αποδέκτες πελάτες, συνεργάτες, προμηθευτές και κάθε ενδιαφερόμενο μέρος. Η τελική διαπίστωση είναι ότι οι τεχνολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν από εμπορικούς και μη φορείς και ο λόγος είναι ότι απλοποιούν τη λειτουργία τους, τις ανάγκες τους, τις εφαρμογές τους, βοηθούν να γίνουν πιο αποτελεσματικοί αναφορικά με τις ανάγκες των συνεργαζόμενων με αυτούς μερών, να γίνουν αν εμπορικοί ή βιομηχανικοί πιο ανταγωνιστικοί πετυχαίνοντας τους στόχους τους στην αγορά ή στις αγορές δράσεις τους βελτιώνοντας τις υπηρεσίες τους κάνοντας τους πιο ασφαλείς και ικανοποιώντας τις ανάγκες των πελατών τους αλλά και όλων των εμπλεκόμενων και συνεργαζόμενων με αυτούς φορέων.

Βιβλιογραφία

- Al Nuaimi, K., & Kamel, H. (2011, April). A survey of indoor positioning systems and algorithms. In *2011 international conference on innovations in information technology* (pp. 185-190). IEEE.
- Al-Ammar, M. A., Alhadhrami, S., Al-Salman, A., Alarifi, A., Al-Khalifa, H. S., Alnafessah, A., & Alsaleh, M. (2014, October). Comparative survey of indoor positioning technologies, techniques, and algorithms. In *2014 International Conference on Cyberworlds* IEEE.
- Alarifi, A., Al-Salman, A., Alsaleh, M., Alnafessah, A., Al-Hadhrami, S., Al-Ammar, M., & Al-Khalifa, H. (2016). Ultra wideband indoor positioning technologies: Analysis and recent advances. *Sensors*, *16*(5), 707.
- Al-Moliki, Y. M., Alresheedi, M. T., & Al-Harhi, Y. (2017). Secret key generation protocol for optical OFDM systems in indoor VLC networks. *IEEE Photonics Journal*, *9*(2), 1-15.
- Bejuri, W. M. Y. W., & Mohamad, M. M. (2014). Performance analysis of grey-world-based feature detection and matching for mobile positioning systems. *Sensing and Imaging*, *15*(1), 95.
- Bejuri, W. M., Wan, Y., Mohamad, M., & Sapri, M. (2011). Ubiquitous positioning: A taxonomy for location determination on mobile navigation system. *arXiv preprint arXiv:1103.5035*.
- Belmonte-Hernández, A., Hernández-Peñaloza, G., Alvarez, F., & Conti, G. (2017). Adaptive fingerprinting in multi-sensor fusion for accurate indoor tracking. *IEEE Sensors Journal*, *17*(15), 4983-4998.
- Bowditch, J. I. (2002). *American practical navigator* (No. 9). US Government Printing Office.
- Brena, R. F., García-Vázquez, J. P., Galván-Tejada, C. E., Muñoz-Rodríguez, D., Vargas-Rosales, C., & Fangmeyer, J. (2017). Evolution of indoor positioning technologies: A survey. *Journal of Sensors*, 2017.
- Cho, K., Park, W., Hong, M., Park, G., Cho, W., Seo, J., & Han, K. (2015).

- Analysis of latency performance of Bluetooth low energy (BLE) networks. *Sensors*, 15(1), 59-78.
- Chóliz, J., Eguizabal, M., Hernández-Solana, Á., & Valdovinos, A. (2011, May). Comparison of algorithms for uwb indoor location and tracking systems. In *2011 IEEE 73rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring)* (pp. 1-5). IEEE.
- Church, K., & Smyth, B. (2009, February). Understanding the intent behind mobile information needs. In *Proceedings of the 14th international conference on Intelligent user interfaces* (pp. 247-256). ACM.
- Dardari, D., Closas, P., & Djurić, P. M. (2015). Indoor tracking: Theory, methods, and technologies. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 64(4), 1263-1278.
- Deak, G. Curran, K. and Condell, J. (2012) A survey of active and passive indoor localisation systems,” *Computer Communications*, 35(16), pp. 1939 – 1954
- Elhamshary, M., & Youssef, M. (2014). Check Inside: a fine-grained indoor location-based social network. In *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*. ACM.
- Elloumi, W., Guissous, K., Chetouani, A., Canals, R., Leconge, R., Emile, B., & Treuillet, S. (2013, October). Indoor navigation assistance with a Smartphone camera based on vanishing points. In *International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation* (pp. 1-9). IEEE.
- Farid, Z., Nordin, R., & Ismail, M. (2013). Recent advances in wireless indoor localization techniques and system. *Journal of Computer Networks and Communications*, 2013.
- Filippopolitis, A., Oliff, W., Takand, B., & Loukas, G. (2017). Location-enhanced activity recognition in indoor environments using off the shelf smart watch technology and BLE beacons. *Sensors*, 17(6), 1230.
- Friedman, J., Davitian, A., Torres, D., Cabric, D., & Srivastava, M. (2009, October). Angle-of-arrival-assisted relative interferometric localization using software defined radios. In *MILCOM 2009-2009 IEEE Military*

- Communications Conference* (pp. 1-8). IEEE.
- Furey, E., Curran, K., & McKeivitt, P. (2011, August). HABITS: a Bayesian filter approach to indoor tracking and location. In *Proc. of the 22nd Irish Conference on Artificial Intelligence and Cognitive Science (AICS-2011)* (pp. 11-25).
- Gaspar T. & Oliveira, P.(2011) “Single pan and tilt camera indoor positioning and tracking system,” *European Journal of Control*, 17(4), pp. 414–428
- Gioia, C., Borio, D., Angrisano, A., Gaglione, S., & Fortuny-Guasch, J. (2015). A Galileo IOV assessment: measurement and position domain. *GPS Solutions*, 19(2), 187-199.
- Gu, Y., Lo, A., & Niemegeers, I. (2009). A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks. *IEEE Communications surveys & tutorials*, 11(1), 13-32.
- Hassan, N. U., Naeem, A., Pasha, M. A., Jadoon, T., & Yuen, C. (2015). Indoor positioning using visible led lights: A survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 48(2), 20.
- Hedley, M., Humphrey, D., & Ho, P. (2008, May). System and algorithms for accurate indoor tracking using low-cost hardware. In *2008 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium* (pp. 633-640). IEEE.
- Hightower, J., & Borriello, G. (2001). Location sensing techniques. *IEEE Computer*, 34(8), 57-66.
- Honkavirta, V., Perala, T., Ali-Loytty, S., & Piché, R. (2009, March). A comparative survey of WLAN location fingerprinting methods. In *2009 6th workshop on positioning, navigation and communication* (pp. 243-251). IEEE.
- Hussien, H. M., Shiferaw, Y. N., & Teshale, N. B. (2017, September). Survey on indoor positioning techniques and systems. In *International Conference on Information and Communication Technology for Development for Africa* (pp. 46-55). Springer, Cham.

- Ingram, S. J., Harmer, D., & Quinlan, M. (2004, April). Ultrawideband indoor positioning systems and their use in emergencies. In *PLANS 2004. Position Location and Navigation Symposium (IEEE Cat. No. 04CH37556)* (pp. 706-715). IEEE.
- Jang, B., & Kim, H. (2018). Indoor positioning technologies without offline fingerprinting map: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(1), 508-525.
- Jang, B., & Kim, H. (2018). Indoor positioning technologies without offline fingerprinting map: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(1), 508-525.
- Jayarajah, K., Lee, Y., Misra, A., & Balan, R. K. (2015, September). Need accurate user behaviour?: pay attention to groups!. In *Proceedings of the 2015 ACM international joint conference on pervasive and ubiquitous computing* (pp. 855-866). ACM.
- Kaemarungsi, K., & Krishnamurthy, P. (2004, August). Properties of indoor received signal strength for WLAN location fingerprinting. In *The First Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services, 2004. MOBIQUITOUS 2004.* (pp. 14-23). IEEE.
- Krumm, J., & Rouhana, D. (2013, September). Placer: semantic place labels from diary data. In *Proceedings of the 2013 ACM international joint conference on Pervasive and ubiquitous computing* (pp. 163-172). ACM.
- Kumaravel, K.(2011), “Comparative Study of 3G and 4G in Mobile Technology”, IJCSI International Journal of Computer Science Issues, Vol. 8, Issue 5, No 3,pp.256-263
- Lin, X. Y., Ho, T. W., Fang, C. C., Yen, Z. S., Yang, B. J., & Lai, F. (2015, August). A mobile indoor positioning system based on iBeacon technology. In *2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)* (pp. 4970-4973). IEEE.
- Liu, H., Darabi, H., Banerjee, P., & Liu, J. (2007). Survey of wireless indoor positioning techniques and systems. *IEEE Transactions on Systems, Man,*

- and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 37(6), 1067-1080.
- Liu, J. G., Shi, D. M., & Leung, M. K. (2008, July). Indoor navigation system based on omni-directional corridor guidelines. In *2008 International Conference on Machine Learning and Cybernetics* (Vol. 3, pp. 1271-1276). IEEE.
- Liu, X., & Effenberger, F. (2016). Emerging optical access network technologies for 5G wireless. *IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking*, 8(12), B70-B79.
- Lohan, E., Torres-Sospedra, J., Leppäkoski, H., Richter, P., Peng, Z., & Huerta, J. (2017). Wi-Fi crowd sourced fingerprinting dataset for indoor positioning. *Data*, 2(4), 32.
- Luo, J., Fan, L., & Li, H. (2017). Indoor positioning systems based on visible light communication: State of the art. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(4), 2871-2893.
- Ma, R., Guo, Q., Hu, C., & Xue, J. (2015). An improved WiFi indoor positioning algorithm by weighted fusion. *Sensors*, 15(9), 21824-21843.
- Martella, C., Miraglia, A., Cattani, M., & Van Steen, M. (2016). Leveraging proximity sensing to mine the behavior of museum visitors. In *2016 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)* (pp. 1-9). IEEE.
- Mautz R.(2012) Indoor positioning technologies. PhD thesis, Habil: ETH Zurich
- Mautz, R., & Tilch, S. (2011). Survey of optical indoor positioning systems. In *2011 international conference on indoor positioning and indoor navigation* (pp. 1-7). IEEE.
- Mautz, R., & Tilch, S. (2011,). Survey of optical indoor positioning systems. In *2011 international conference on indoor positioning and indoor navigation*. IEEE.
- Miller, D.(2010)*Analysis & Expertise in Conversational Commerce*. Opus Research.

- Misra, A., & Balan, R. K. (2013). LiveLabs: initial reflections on building a large-scale mobile behavioral experimentation testbed. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 17(4), 47-59.
- Moe, W. W. (2003). Buying, searching, or browsing: Differentiating between online shoppers using in-store navigational clickstream. *Journal of consumer psychology*, 13(1-2), 29-39.
- Montavont N. and Noel T.(2002) “Handover Management for Mobile Nodes in IPv6 Networks,” *IEEE Commun. Mag.*, 40(8), Aug, pp. 38–43
- Otsason, V., Varshavsky, A., LaMarca, A., & De Lara, E. (2005, September). Accurate GSM indoor localization. In *International conference on ubiquitous computing* (pp. 141-158). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Qigao, F. Biwen, S. & Yaheng, W.(2015) “Tightly coupled model for indoor positioning based on uwb/ins,” *International Journal of Computer Science Issues* (IJCSI), 12(4), pp.11–16
- Qiu, C., & Mutka, M. W. (2015, June). Cooperation among smartphones to improve indoor position information. In *2015 IEEE 16th International Symposium on A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM)* (pp. 1-9). IEEE.
- Radhakrishnan, M., Eswaran, S., Misra, A., Chander, D., & Dasgupta, K. (2016, March). Iris: Tapping wearable sensing to capture in-store retail insights on shoppers. In *2016 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)*. IEEE. Mobile-Based Experience Sampling for Behaviour Research. arXiv preprint arXiv:1508.03725.
- Ranganathan, A., Ólafsdóttir, H., & Capkun, S. (2016). SPREE: A spoofing resistant GPS receiver. In *Proceedings of the 22nd Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*. ACM.
- Rawat, N. (2012). Future and Challenges of 4G Wireless Technology. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 3(12), 1.
- Razavi, S. N., & Moselhi, O. (2012). GPS-less indoor construction location sensing. *Automation in Construction*, 28, 128-136.

- Reddy, N., & Sujatha, B. (2011). TDOA computation using multicarrier modulation for sensor networks. *International Journal of Computer Science & Communication Networks*, 1(1), 85-90.
- Ren, Y., Tomko, M., Salim, F. D., Chan, J., Clarke, C. L., & Sanderson, M. (2017). A location-query-browse graph for contextual recommendation. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 30(2), 204-218.
- Ren, Y., Tomko, M., Salim, F. D., Ong, K., & Sanderson, M. (2017). Analyzing Web behavior in indoor retail spaces. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 68(1), 62-76.
- Sakpere, W., Adeyeye-Oshin, M., & Mlitwa, N. B. (2017). A state-of-the-art survey of indoor positioning and navigation systems and technologies. *South African Computer Journal*, 29(3), 145-197.
- Sana. A Survey of Indoor Localization Techniques. *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering*. 2013; 6(3): 69-76
- Santhi, K. R., Srivastava, V.K., SenthilKumaran, G., and Butare, A.(2011) "Goals of true broad band's wireless next wave (4G-5G)," *Vehicular Technology*
- Schweitzer, H; Kaniak, G (2010). "Ultrasonic device localization and its potential for wireless sensor network security". *Control Engineering Practice*. 18 (8): 852–62.
- Schweitzer, H; Kaniak, G (2010). "Ultrasonic device localization and its potential for wireless sensor network security". *Control Engineering Practice*. 18 (8): 852–62.
- Song, Z., Jiang, G., & Huang, C. (2011, May). A survey on indoor positioning technologies. In *International Conference on Theoretical and Mathematical Foundations of Computer Science* (pp. 198-206). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Stefania S.I., and Toufik-Matthew B., (2011),LTE The UMTS Long Term Evolution, from theory to practice, LTE
- Sumant Ku Mohapatra 1, BiswaRanjan Swain 1 and Pravanjan Das 1,

- Comprehensive survey of possible security issues on 4g networks”,
International Journal of Network Security & Its Applications (IJNSA) Vol.7,
No.2, March 2015
- Svalastog, M. S. (2007). *Indoor positioning-technologies, services and architectures* (Master's thesis).
- Veljko Pejovic, Neal Lathia, Cecilia Mascolo, and Mirco Musolesi. 2015.
- Venkatraman, S. (2016). *U.S. Patent No. 9,234,965*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Vladimir Mand Oleg T, LLC RTLS, Moscow, Russia (2013). Survey of Accuracy Improvement Approaches for Tightly Coupled ToA/IMU Personal Indoor Navigation System. Proceedings of International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, October 2013, Montbeliard, France.
- Wang, Y., Jiang, X., Cao, R., & Wang, X. (2015). Robust indoor human activity recognition using wireless signals. *Sensors*, 15(7), 17195-17208.
- Watson, S. C., Beaumont, N. J., Widdicombe, S., & Paterson, D. M. (2019). Comparing the network structure and resilience of two benthic estuarine systems following the implementation of nutrient mitigation actions. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*.
- Winston, L.W., *Practical Management Science*, 2nd Edition, Duxbury, 2001
- Wu, C., Yang, Z., Liu, Y., & Xi, W. (2012). WILL: Wireless indoor localization without site survey. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 24(4), 839-848.
- Xia, S., Liu, Y., Yuan, G., Zhu, M., & Wang, Z. (2017). Indoor fingerprint positioning based on Wi-Fi: An overview. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(5), 135.
- Yang, C., & Shao, H. R. (2015). WiFi-based indoor positioning. *IEEE Communications Magazine*, 53(3), 150-157.
- Yassin, A., Nasser, Y., Awad, M., Al-Dubai, A., Liu, R., Yuen, C., ... & Aboutanios, E. (2016). Recent advances in indoor localization: A survey on

- theoretical approaches and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(2), 1327-1346.
- You, C. W., Wei, C. C., Chen, Y. L., Chu, H. H., & Chen, M. S. (2011). Using mobile phones to monitor shopping time at physical stores. *IEEE Pervasive Computing*, 10(2), 37-43.
- Zafari, F., & Papapanagiotou, I. (2015). Enhancing ibeacon based micro-location with particle filtering. In *2015 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)* (pp. 1-7).
- Zeng, Y., Pathak, P. H., & Mohapatra, P. (2015, May). Analyzing shopper's behavior through wifi signals. In *Proceedings of the 2nd workshop on Workshop on Physical Analytics* (pp. 13-18). ACM.
- Zou, H., Huang, B., Lu, X., Jiang, H., & Xie, L. (2015). A robust indoor positioning system based on the procrustes analysis and weighted extreme learning machine. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 15(2), 1252-1266.
- Αναστασάκη, Ε., Γούσιας, Λ., Νέτος, Γ., & Παναγόπουλος Δ. (2010) *Σύστημα εντοπισμού θέσεων - Τριγωνισμός*,
 Ανάκτηση από: http://www.pspa.eu/images/files/project2013-14/2013-14_GPSparousias1.pdf [Πρόσβαση 20-2-2020]
- Καρασαββίδου – Χατζηγηρηγορίου Ε. (1986) *Λήψη Επιχειρηματικών Αποφάσεων: Προσέγγιση με την Επιχειρησιακή Έρευνα*, University Studio Press, Θεσσαλονίκη,
- Ματσατσίνης, Ν. (2010) *Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων*, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών
- Χατζόγλου, Π. (1994). *Τεχνικές Ανάλυσης & σχεδίασης πληροφοριακών Συστημάτων*. Αθήνα: Ίων