



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ**  
**ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ**

**Συστήματα & Τεχνικές Εντοπισμού με**  
**Εφαρμογές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Απόστολος Κ. Κατσαβριάς**

**Επιβλέπων:** Αθανάσιος Δ. Παναγόπουλος  
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2024



«Συστήματα και Τεχνικές Εντοπισμού με Εφαρμογές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων»,  
Α. Κ. Κατσαβριάς, Διπλωματική Εργασία



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ**  
**ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ**

## **Συστήματα και Τεχνικές Εντοπισμού με Εφαρμογές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Απόστολος Κ. Κατσαβριάς**

**Επιβλέπων:** Αθανάσιος Δ. Παναγόπουλος

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 15<sup>η</sup> Ιουλίου 2024.

.....  
Αθ. Παναγόπουλος  
Επ. Καθηγητής ΕΜΠ

.....  
Γ. Φικιώρης  
Καθηγητής ΕΜΠ

.....  
.Γ. Ματσόπουλος  
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2024

.....  
Απόστολος Κ. Κατσαβριάς

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

Copyright © Απόστολος Κ. Κατσαβριάς 2024  
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 στην ηλεκτρονική διεύθυνση [toliskats88gr@windowslive.com](mailto:toliskats88gr@windowslive.com)

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

Ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών, κυρίως φορητών, με το Διαδίκτυο των Αντικειμένων (ή Πραγμάτων (Internet of Things – IoT), αυξάνεται ταχύτατα ειδικά τα τελευταία χρόνια. Οι περισσότερες καθημερινές δραστηριότητες των ανθρώπων βασίζονται σε δια-συνδεδεμένες συσκευές που ανταλλάσσουν πληροφορίες μεταξύ τους. Έτσι η χρήση τεχνολογιών σε πολλούς τομείς ολοένα και αυξάνονται σε συνδυασμό με τεχνολογίες IoT. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι τομείς της υγείας και της εργασίας.

Η πιο κοινή υπηρεσία η οποία είναι απολύτως απαραίτητη για την χρήση αυτών των τεχνολογιών είναι ο εντοπισμός/οι υπηρεσίες εντοπισμού θέσης - Localization. Ο εντοπισμός θέσης ενός ατόμου ή ενός αντικειμένου στο χώρο αποτελεί κρίσιμη παράμετρο για όλες σχεδόν τις σύγχρονες τεχνολογίες.

Παρά τη διαθεσιμότητα ενός μεγάλου αριθμού λύσεων στη βιβλιογραφία, η ακρίβεια του εντοπισμού δεν μπορεί να καλύψει τις ανάγκες των καταναλωτών.

Το Global Positioning System (GPS) έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για τον εντοπισμό θέσης σε εξωτερικά περιβάλλοντα/χώρους (Outdoor Localization) σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων πλοήγησης, αποφυγής σύγκρουσης αυτοκινήτων, παρακολούθησης προσώπων και έξυπνα συστήματα μεταφορών. Ωστόσο, το GPS δεν είναι διαθέσιμο εντός κτιρίων, λόγω της αδυναμίας του σήματος του, το οποίο δεν μπορεί να διαπεράσει εμπόδια που βρίσκονται στους χώρους αυτούς. Επιπλέον, σε αστικά περιβάλλοντα, στα οποία περιβάλλονται γειτονικά και μεγάλα σε έκταση κτίρια τα φαινόμενα πολλαπλών διαδρομών (multipath) και οι συχνές διακοπές σημάτων GPS μπορούν να περιορίσουν την ακρίβεια της τοποθεσίας των χρηστών.

Στις περιπτώσεις αυτές, έχουμε την ανάγκη ανάπτυξης τεχνολογιών για την πραγματοποίηση του εντοπισμού σε εσωτερικούς χώρους (Indoor Localization). Μία από αυτές τις τεχνολογίες, για παράδειγμα, αποτελεί το Wireless Fidelity (Wi-Fi) το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως εξαιτίας της διαθεσιμότητάς του σχεδόν παντού και της ευκολίας διάδοσης του σήματος του σε μεγάλες αποστάσεις. Τα σήματα Wi-Fi χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θέσης ενός κινητού χρήστη ή μιας συσκευής με αντιστοίχιση των χωρικών θέσεων και της ισχύος του σήματος που καταγράφεται σε αυτές τις θέσεις. Ωστόσο, και αυτά τα σήματα μπορεί να παρουσιάζουν διακυμάνσεις λόγω της διάδοσης πολλαπλών διαδρομών (multipath) και παρεμβολές από άλλες συσκευές, γεγονός που επηρεάζει την ακρίβεια τοποθεσίας.

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την μελέτη και την περιγραφή των συστημάτων και των τεχνικών εντοπισμού σε εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον με εφαρμογές στο IoT, παρουσιάζοντας διάφορες τεχνικές εντοπισμού οι οποίες κατά τα τελευταία χρόνια συγκεντρώνει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας. Αναλύονται τα οφέλη και τα μειονεκτήματα της κάθε τεχνικής, το περιβάλλον στο οποίο μπορούν να χρησιμοποιηθούν, καθώς και τα κριτήρια αξιολόγησής τους. Τέλος, γίνεται μια εκτενής αναφοράς στα πλέον πιο σύγχρονα συστήματα εντοπισμού τα οποία ενσωματώνουν την μηχανική μάθηση (Machine Learning) στις υπηρεσίες εντοπισμού.

Σαν τελικός σκοπός της εργασίας είναι με την ανάλυση των τεχνικών που υπάρχουν να δοθεί μία όσο το δυνατόν πλήρη εικόνα στον αναγνώστη των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται και να αποτελέσει την αρχή για την περαιτέρω ανάλυση σε θέματα εντοπισμού.

## Λέξεις- Κλειδιά

«Συστήματα και Τεχνικές Εντοπισμού με Εφαρμογές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων»,  
Α. Κ. Κατσαβριάς, Διπλωματική Εργασία

Συστήματα Εντοπισμού, Τεχνικές Εντοπισμού, Διαδίκτυο των Αντικειμένων, Μηχανική Μάθηση

## **Abstract**

The number of connected devices, mainly portable, with the Internet of Things (IoT), is growing rapidly especially in recent years. Most of people's daily activities are based on interconnected devices that exchange information with each other. Thus the use of technologies in many sectors is increasing in combination with IoT technologies, typical examples being the sectors of health and work.

The most common service that is absolutely necessary for the use of these technologies is localization or localization services in general. Locating a person or an object in different environments is a critical parameter for almost all modern technologies.

Despite the availability of a large number of solutions in the literature, the accuracy of localization cannot meet the needs of consumers.

The Global Positioning System (GPS) has been widely used for Outdoor Localization (Outdoor Localization) in various fields, including navigation systems, car collision avoidance, person tracking, and intelligent transportation systems. However, GPS is not available inside buildings, due to the weakness of its signal, which cannot penetrate obstacles located in these spaces. In addition, in urban environments surrounded by neighboring and large-scale buildings, multipath effects and frequent GPS signal interruptions can limit user location accuracy.

In these cases, there is the need to develop technologies for indoor localization. One of these technologies, for example, is Wireless Fidelity (Wi-Fi) which is widely used because of its availability almost everywhere and the ease of spreading its signal over long distances. Wi-Fi signals are used to determine the location of a mobile user or device by matching spatial locations and the signal strength recorded at those locations. However, even these signals can fluctuate due to multipath propagation and interference from other devices, which affects location accuracy.

This thesis deals with the study and description of the systems and techniques of localization in indoor and outdoor environments with applications in IoT, presenting various localization techniques which in recent years have gathered the interest of the scientific community. The benefits and disadvantages of each technique, the environment in which they can be used, as well as their evaluation criteria are analyzed. Finally, an extensive reference is made to the most modern localization systems that integrate machine learning (ML) into localization services.

The final aim of the work is, by analyzing the existing techniques, to give the reader as complete a picture as possible of the technologies used and to be the starting point for further analysis on localization.

## **Keywords**

Tracking Systems, Tracking Techniques, Internet of Things , Machine Learning

## Ευχαριστίες

Ευχαριστώ τον επιβλέποντα Καθ. Αθανάσιο Παναγόπουλο αρχικά για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας καθώς για τη συνεχή υποστήριξή του κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της και την προθυμία του να με καθοδηγήσει τόσο προτείνοντας συγκεκριμένες λύσεις, όσο υποδεικνύοντας γενικές κατευθύνσεις. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Καθ. κ. Παναγιώτη Κωττή ο οποίος αποτέλεσε τον άνθρωπο που με ενέπνευσε να ακολουθήσω τον τομέα των τηλεπικοινωνιών και την αναζήτηση της γνώσης μέσα από τις διαλέξεις του. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την σύζυγό μου, Φλώρα, και τους γονείς μου Κωνσταντίνο και Μαρία για την υποστήριξη και την αγάπη τους όλα αυτά τα χρόνια.

## Επικοινωνία

Ο ενδιαφερόμενος αναγνώστης μπορεί να επικοινωνήσει με το συγγραφέα στην ηλεκτρονική διεύθυνση [toliskats88gr@windowlive.com](mailto:toliskats88gr@windowlive.com)



## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	13
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	14
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή.....	19
1.1 Εντοπισμός Θέσης (Localization).....	19
1.1.1 Εντοπισμός Θέσης σε Εξωτερικά Περιβάλλοντα (Outdoor Localization) .....	19
1.1.2 Συστήματα Εντοπισμού σε Εσωτερικούς χώρους (Indoor Localization) .....	20
1.2 Το διαδίκτυο των Αντικειμένων (Internet of Things-IoT).....	20
1.3 Τεχνικές Εντοπισμού Θέσης.....	24
1.3 Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας .....	25
1.4 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Τεχνικές Εντοπισμού (Localization Techniques) .....	28
2.1 Εισαγωγή.....	28
2.2 Μετρήσεις Τεχνικών Εντοπισμού.....	28
2.2.1 Χρόνος Άφιξης (Time of Arrival – TOA).....	29
2.2.2 Χρόνος Διαφοράς Άφιξης (Time of Difference of Arrival – TDOA).....	29
2.2.3 Χρόνος Πτήσης Μετ’ επιστροφής του Σήματος (Round-Trip Time of Flight -RTOF).....	30
2.2.4 Γωνία Άφιξης (Angle of Arrival -AOA).....	30
2.2.5 Ισχύς Λαμβανόμενου Σήματος (Received Signal Strength – RSS) .....	31
2.2.6 Φάση Λαμβανόμενου Σήματος (Received Signal Phase -RSP).....	32
2.3 Τεχνικές Εντοπισμού (Localization Techniques) .....	32
2.3.1 Τεχνική Ανίχνευσης Εγγύτητας (Proximity Detection Techniques).....	32
2.3.2 Τεχνική που βασίζεται στον Δείκτη Ισχύος Λαμβανόμενου Σήματος (RSSI) .....	33
2.3.2.1 Τεχνική Δακτυλικών Αποτυπωμάτων (Fingerprinting-based technique) .....	33
2.3.2.2 Τεχνική Ραδιοδιάδοσης RSSI (RSSI Radio Propagation Technique).....	35
2.3.3 Τεχνική που βασίζεται στο Όραμα (Vision Based Techniques).....	36
2.3.4 Τεχνική Εντοπισμού με βάση την Γωνία (Angle Based Method – Angulation).....	37
2.3.5 Τεχνική Εντοπισμού με βάση τον Χρόνο (Time Based Technique – Lateration) .....	38
2.3.5.1 Τεχνική Εντοπισμού με τον Χρόνο Άφιξης (Time of Arrival - TOA).....	39
2.3.5.2 Τεχνική Εντοπισμού με Διαφορά Χρόνου Άφιξης (TDOA).....	40
2.3.5.3 Τεχνική Εντοπισμού με τον Χρόνο Μετ’επιστροφής (Round Trip Time – RTT).....	42
2.3.6 Τεχνική Εντοπισμού Νεκρού Απολογισμού (Dead Reckoning Technique).....	43

2.3.7	Τεχνική Εντοπισμού Αντιστοίχισης Χάρτη (Map-Matching technique -MM).....	44
2.3.8	Υβριδικές Τεχνικές Εντοπισμού .....	45
2.4	Συμπεράσματα Κεφαλαίου .....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	Κριτήρια Επίδοσης Συστημάτων Εντοπισμού. ....	47
3.1	Ακρίβεια Συστήματος Βάση Σφάλματος Απόστασης (Accuracy).....	47
3.2	Ακρίβεια Συστήματος με Βάση την Διακύμανσή της (Precision) .....	48
3.3	Καθυστέρηση (Delay).....	49
3.4	Ισχύς.....	49
3.5	Πολυπλοκότητα (Complexity).....	49
3.6	Επεκτασιμότητα (Scalability) .....	50
3.7	Σταθερότητα (Stability) .....	50
3.8	Αξιοπιστία (Reliability) .....	50
3.9	Κόστος (Cost) .....	51
3.10	Ασφάλεια (Security) .....	51
Κεφάλαιο 4:	Συστήματα Εντοπισμού Θέσης – Localization Systems.....	52
4.1	Εισαγωγή.....	52
4.2	Συστήματα Εντοπισμού Θέσης Εξωτερικών Χώρων (Outdoor Localization Systems) .....	52
4.2.1	Συστήματα Θέσης, Πλοήγησης, Χρονισμού (Position Navigation Time – PNT) .....	52
4.2.2	Συστήματα Εντοπισμού με χρήση Δορυφόρων .....	53
4.2.2.1	Το Σύστημα Δορυφόρων GPS .....	54
4.2.2.1.1	Αρχή Χρήσης του GPS.....	54
4.2.2.1.2	Μαθηματική Προσέγγιση του GPS.....	55
4.2.2.1.3	Αστερισμός των Δορυφόρων GPS .....	57
4.2.2.1.4	Σήματα GPS .....	57
4.2.2.2	Το σύστημα δορυφόρων GLONASS .....	58
4.2.2.3	Το σύστημα δορυφόρων GALILEO .....	58
4.2.2.4	Το σύστημα δορυφόρων BEIDOU .....	59
4.2.3	Συστήματα Εντοπισμού με χρήση Δικτύων Κινητής Τηλεφωνίας (GSM).....	60
4.2.3.1	Εντοπισμός GSM.....	60
4.2.3.2	Εντοπισμός με UMTS.....	60
4.2.4	Αδρανειακά Συστήματα Πλοήγησης .....	61
4.3	Συστήματα Εντοπισμού Θέσης Εσωτερικών Χώρων – Indoor Localization Systems .....	62
4.3.1	Προσδιορισμός Θέσης με Τεχνολογία Ήχου .....	63
4.3.1.1	Το σύστημα Beep.....	64
4.3.1.2	Συστήματα Εύρεσης Τοποθεσίας με χρήση Υπερήχων .....	64

4.3.1.2.1	Το σύστημα <i>Active Bat</i> .....	65
4.3.1.2.2	Το σύστημα <i>Cricket</i> .....	66
4.3.2	Τεχνολογίες Εντοπισμού με χρήση Ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency –RF) .....	66
4.3.2.1	Συστήματα Εύρεσης Τοποθεσίας με χρήση Τεχνολογίας Bluetooth.....	66
4.3.2.1.1	Το σύστημα εντοπισμού θέσης <i>Bluetooth Local Positioning Application</i> .....	67
4.3.2.1.2	Το σύστημα εντοπισμού θέσης με τεχνολογία <i>Bluetooth από την Taddy</i> .....	67
4.3.2.2	Συστήματα Εύρεσης Τοποθεσίας με χρήση Τεχνολογίας Wi-Fi .....	67
4.3.2.2.1	Το σύστημα εντοπισμού θέσης <i>Wi-Fi RSS</i> .....	68
4.3.2.2.2	Το σύστημα εντοπισμού θέσης <i>Wi-Fi με χρήση της Κύρια Προβεβλημένη Βαθιά Δομή Kohonen (Principal Featured Kohonen Deep Structure - PF-KDS)</i> .....	68
4.3.2.2.3	Σύστημα Εντοπισμού με μετρήσεις <i>Wi-Fi RTT</i> .....	69
4.3.2.2.4	Το σύστημα εντοπισμού θέσης με χρήση <i>Wi-Fi - RADAR</i> .....	69
4.3.2.2.5	Το σύστημα εντοπισμού θέσης με χρήση <i>Wi-Fi Horus και Compass</i> .....	69
4.3.2.3	Συστήματα Εύρεσης Τοποθεσίας με χρήση Υπερ-ευρείας Ζώνης .....	70
4.3.2.3.1	Το σύστημα εντοπισμού θέσης <i>Ubisense</i> .....	71
4.3.2.4	Συστήματα Εύρεσης Τοποθεσίας με χρήση Τεχνολογίας ZigBee .....	72
4.3.2.5	Συστήματα Εύρεσης Τοποθεσίας με χρήση Τεχνολογίας LoRa.....	72
4.3.2.6	Τεχνολογία αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων – RFID Radio frequency identification technology.....	73
4.3.2.7	Τεχνολογία διαμόρφωσης Συχνότητας .....	76
4.3.2.8	Τεχνολογία διαμόρφωσης βασισμένη σε κυψελωτά δίκτυα (Cellular Based Localization) 77	
4.3.2.9	Τεχνολογία με Αδρανειακούς Αισθητήρες .....	80
4.3.3	Τεχνολογίες Εντοπισμού με χρήση Οπτικής Τεχνολογίας (Optical Technology) .....	81
4.3.4	Τεχνολογίες Εντοπισμού με βάση την Όραση (Vision Based).....	83
4.3.5	Συνδυασμένες Τεχνολογίες.....	84
4.4	Σύνοψη Κεφαλαίου.....	84
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.	Μηχανική Μάθηση και Εντοπισμός .....	86
5.1	Εισαγωγή.....	86
5.2	Πεδίο Εφαρμογής Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning – ML) .....	87
5.3	Ανάγκη Εφαρμογής Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning – ML) .....	88
5.4	Εφαρμογής Μηχανικής Μάθησης σε Υπηρεσίες Εντοπισμού (Machine Learning – ML).....	89
5.4.1	Πλαίσιο Λειτουργίας της Μηχανικής Μάθησης ( <i>Machine Learning Framework</i> ).....	89
5.4.1.1	Συλλογή Δεδομένων .....	90
5.4.1.2.	Προ επεξεργασία δεδομένων .....	91

5.4.1.3.	Εξαγωγή Χαρακτηριστικών των δεδομένων .....	92
5.4.1.4.	Επιλογή των Χαρακτηριστικών των δεδομένων.....	92
5.4.2	<i>Τεχνικές Μηχανικής Μάθησης για Εσωτερικό-Εξωτερικό Εντοπισμό Θέσης</i> .....	93
5.4.2.1.	Τεχνικές Μηχανικής Μάθησης .....	94
5.4.2.1.1	<i>Εποπτευόμενες Τεχνικές Μηχανικής Μάθησης</i> .....	94
5.4.2.1.2	<i>Μη Εποπτευόμενες Τεχνικές Μηχανικής Μάθησης (Unsupervised Learning Techniques)</i> .....	96
5.4.2.1.2.6	<i>Μοντέλο Μείγματος Gauss (Gaussian Mixture Model - GMM)</i> .....	99
5.4.2.2.	Τεχνικές Βαθιάς Μάθησης (Deep Learning Techniques - DL) .....	99
5.4.2.2.1	<i>Συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο (Convolutional Neural Network – CNN)</i> .....	99
5.4.2.2.2	<i>Επαναλαμβανόμενο νευρωνικό δίκτυο (Recurrent Neural Network – RNN)</i> .....	100
5.4.2.3.	Προηγμένες Τεχνικές Μηχανικής Μάθησης (Advanced ML Techniques) .....	101
5.4.2.3.1	<i>Ακραία Μηχανική Μάθηση (Extreme Learning Machine – ELM)</i> .....	101
5.4.2.3.2	<i>Εκμάθηση Μεταφοράς (Transfer Learning)</i> .....	102
5.4.3	<i>Συμπεράσματα Τεχνικές Μηχανικής Μάθησης</i> .....	102
5.4	Τεχνολογία Χρησιμοποίησης των Τεχνικών Μηχανικής Μάθησης .....	103
5.4.1	<i>Χρήση Μηχανικής Μάθησης για Εσωτερικά Περιβάλλοντα</i> .....	103
5.4.1.1.	Μηχανική Μάθηση σε συνδυασμό με Wifi .....	103
5.4.1.2.	Μηχανική Μάθηση σε συνδυασμό με Bluetooth.....	104
5.4.1.2.	Μηχανική Μάθηση σε συνδυασμό με RFID .....	105
5.4.2	<i>Χρήση Μηχανικής Μάθησης σε Περιβάλλοντα Μετάβασης IO</i> .....	105
5.4.2.1.	Μηχανική Μάθηση σε συνδυασμό με GPS .....	105
5.4.2.2.	Μηχανική Μάθηση χωρίς GPS.....	107
5.5	Συμπεράσματα .....	109
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	110
6.1	Ευρήματα και παρατηρήσεις .....	110
6.2	Εργασίες για περαιτέρω διερεύνηση.....	111
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	.....	114
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	.....	126
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	.....	128
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ	.....	134

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Ενοποίηση των τεχνολογιών τοπικής προσαρμογής και IoT. [2].....	19
Εικόνα 2. Αρχιτεκτονική τριών (3) επιπέδων του IoT (IEEE) [14] .....	21
Εικόνα 3.Βασική οργάνωση IoT αρχιτεκτονικής [16] .....	21
Εικόνα 4.Πεδία εφαρμογής IoT και ενδιαφερόμενα νομικά/φυσικά πρόσωπα (IEEE) [14] .....	22
Εικόνα 5.Σχηματική Απεικόνιση του IoT Πελάτες και Εφαρμογές [19] .....	24
Εικόνα 6.Σχηματική Απεικόνιση Τεχνικών Εντοπισμού [24] .....	28
Εικόνα 7. Υπολογισμός της θέσης με βάση τον Χρόνο Άφιξης - TOA [26].....	29
Εικόνα 8. Υπολογισμός Θέσης Με βάση την Διαφορά Γωνίας Άφιξης [26] .....	29
Εικόνα 9. Προσδιορισμός Θέσης με Βάση την Γωνία Άφιξης – Angle of Arrival [26].....	30
Εικόνα 10. Προσδιορισμός Θέσης με RSSI [31] .....	31
Εικόνα 11. Τεχνική Ανίχνευσης Εγγύτητας [24] .....	32
Εικόνα 12. Τεχνική Δακτυλικών Αποτυπωμάτων [24] .....	34
Εικόνα 13. Τεχνική Ραδιοδιάδοσης RSS [24].....	35
Εικόνα 14. Τεχνική Ανίχνευσης με βάση την Γωνία [24] .....	37
Εικόνα 15. Τεχνική Ανίχνευσης με βάση την Γωνία [24] .....	38
Εικόνα 16. Τεχνική Ανίχνευσης TOA [24] .....	40
Εικόνα 17. Τεχνική Ανίχνευσης με βάση TDOA [24].....	41
Εικόνα 18. Τεχνική με την μέθοδο RTT [24].....	43
Εικόνα 19. Τεχνική MM με PDR [24].....	45
Εικόνα 20: Υβριδικές Τεχνολογίες Εντοπισμού Θέσης [24] .....	46
Εικόνα 21: Διαφορά Accuracy – Precision[59].....	48
Εικόνα 22: Εύρεση Τοποθεσίας με GPS μονοδιάστατη περίπτωση [26] .....	54
Εικόνα 23: Εύρεση Τοποθεσίας GPS σε 2D επίπεδο[26].....	55
Εικόνα 24: Διάγραμμα Αδρανειακού Συστήματος Πλοήγησης[26].....	62
Εικόνα 25: Αρχιτεκτονική του Συστήματος Beer[75].....	64
Εικόνα 26: Το σύστημα Active Bat [26].....	65
Εικόνα 27: Σύστημα RFID [101].....	74
Εικόνα 28. Αρχιτεκτονική Επικοινωνίας VANET [24] .....	79
Εικόνα 29: Το σύστημα Epsilon [26] .....	83
Εικόνα 30: ταξινόμηση και δομή της μηχανικής μάθησης [134] .....	87
Εικόνα 31: Διάφοροι τομείς εφαρμογής εντοπισμού εσωτερικού και εξωτερικού χώρου [134] .....	87
Εικόνα 32: Πλαίσιο Λειτουργίας της Μηχανικής Μάθησης [134] .....	89
Εικόνα 33: Ταξινόμηση των Τεχνικών Εκμάθησης [134] .....	93
Εικόνα 34: Σχηματική Αναπαράσταση της Τεχνικής DNN [134] .....	96
Εικόνα 35: Συνολική Δομή Δικτύου CNN [134] .....	100

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

<i>Πίνακας 1. Σχηματική Αναπαράσταση Τεχνικών Εντοπισμού .....</i>	<i>25</i>
<i>Πίνακας 2. Συγκεντρωτικός Πίνακας Μετρούμενων Μεγεθών Τεχνικών Εντοπισμού. ....</i>	<i>126</i>
<i>Πίνακας 3. Συγκεντρωτικός Πίνακας Συστημάτων Εντοπισμού. ....</i>	<i>128</i>
<i>Πίνακας 4. Συγκεντρωτικός Πίνακας Τεχνικών Μηχανικής Μάθησης. ....</i>	<i>134</i>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ

Ακρωνύμιο	Επεξήγηση	Απόδοση Στα Ελληνικά
2D	2 - Dimensional	Δύο διαστάσεων
3D	3 - Dimensional	Τριών διαστάσεων
3GPP	Third Generation Partnership Project	Σχέδιο Συνεργασίας Τρίτης Γενιάς
AOA	Angle of Arrival	Γωνία Αφίξης
ADOA	Angle Difference of Arrival	Διαφορά Γωνίας Αφίξης
ANN	Artificial Neural Network	Τεχνητού Νευρωνικού Δικτύου
AP	Access Point	Σημείο Πρόσβασης
BLE	Bluetooth Low Energy	Bluetooth Χαμηλής Ενέργειας
BS	Base Station	Σταθμός Βάσης
BPNN	Backpropagation Neural Network	Νευρωνικό Δίκτυο Οπισθοδιάδοσης
CDF	Cumulative Distributed Function	Αθροιστική Κατανομημένη Συνάρτηση
CNN	Convolutional Neural Network	Συνελκτικό Νευρωνικό Δίκτυο
CRLB	Cramer Rao Lower Bound	Χαμηλότερο Σημείο Cramer
CSI	Channel State Information	Πληροφορίες Κατάστασης Καναλιού
DBSCAN	Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise	Χωρική ομαδοποίηση εφαρμογών βάσει πυκνότητας με θόρυβο
DL	Deep Learning	Βαθιά Μάθηση
DOA	Direction of Arrival	Κατεύθυνση Αφίξης
DfP	Device free Passive	Παθητικό Σύστημα Χωρίς Συσκευές
DNN	Deep Neural Network	Βαθύ Νευρωνικό Δίκτυο
DR	Dead Reckoning	Νεκρός Απολογισμός
EKF	Extended Kalman Filter	Εκτεταμένο Φίτρο Kalman
E-OTD	Enhanced Observed Time Difference	Ενισχυμένη Παρατηρούμενη Διαφορά Χρόνου
EPC	Electronic Product Code	Ηλεκτρονικός Κωδικός Προϊόντος
ETRF	European Terrestrial Reference Frame	Ευρωπαϊκό Επίγειο Πλαίσιο Αναφοράς
EU	European Union	Ευρωπαϊκή Ένωση
ESA	European Space Agency	Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος
ELM	Extreme Learning Machine	Ακραία Μηχανική Μάθηση
FDMA	Frequency Division Multiplexing	Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας
FM	Frequency Modulation	Διαμόρφωση Συχνότητας
GBDT	Gradient Boost Decision Tree	Δέντρου Αποφάσεων Ενίσχυσης Κλίσης
GEO	Geostationary Earth Orbit	Γεωστατική Τροχιά
GLONASS	Global Navigation Satellite System	Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης
GMM	Gaussian Mixture Model	Μοντέλο Μείγματος Gauss
GNSS	Global Navigation Satellite System	Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης

GPS	Global Positioning System	Παγκόσμιο Σύστημα Τοποθέτησης
GSM	Global System for Mobile Communications	Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών
GTRF	Galileo Terrestrial Reference Frame	Galileo Επίγειο Πλαίσιο Αναφοράς
HF	High Frequency	Υψηλή Συχνότητα
ICT	Information and Communication Technologies	Τεχνολογίες Πληροφορίας και Επικοινωνιών
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών
IGSO	Inclined Geosynchronous Orbit	Κεκλιμένη Γεωσύγχρονη Τροχιά
IMU	Inertial Measurement Unit	Αδρανειακή Μονάδα Μέτρησης
INS	Internal Navigation System	Εσωτερικό Σύστημα Πλοήγησης
IO	Indoor - Outdoor	Εσωτερικό – Εξωτερικό (Περιβάλλον)
ITRF	International Terrestrial Reference Frame	Διεθνές Επίγειο Πλαίσιο Αναφοράς
ITS	Intelligent Transportation System	Ευφυές Σύστημα Μεταφορών
IoT	Internet of Things	Διαδίκτυο των Πραγμάτων
KNN	K Nearest Neighbors	K Κοντινοί Γείτονες
LDA	Linear Discrimination Analysis	Γραμμική Διακριτική Ανάλυση
LEB	Localized Error Bound	Τοπικά Δεσμευμένο Σφάλμα
LED	Light Emiting Diodes	Δίοδος Εκπομπής Φωτός
LF	Low Frequency	Χαμηλή Συχνότητα
LiDAR	Light Detection and Ranging	Ανίχνευση Φωτός και Εμβέλειας
Li-Fi	Light-Fidelity	Ελαφριά πιστότητα
LoRa	Long Range Radio	Δίκτυο Μεγάλης Εμβέλειας
LOS	Line of Sight	Οπτική Επαφή
LSTM	Long Short-Term Memory	Μακροπρόθεσμη – Βραχυπρόθεσμη μνήμη
LTE	Long Term Evolution	Μακροπρόθεσμης Εξέλιξης
LTE - SAN	Synthetic Aperture Navigation	Πλοήγηση με συνθετικό διάφραγμα
MAE	Mean Absolute Error	Μέσο Απόλυτο Σφάλμα
MAC	Media Access Control	Έλεγχος Πρόσβασης Πολυμέσων
MANET	Mobile Ad-Hoc Networks	Κινητών Ασύρματων δίκτυα Ad-Hoc
MEO	Medium Earth Orbit	Μεσαία Τροχιά της Γης
MEMS	Micro Electromechanical Systems	Μικρο-Ηλεκτρομηχανικών Συστημάτων
MISO	Multiple Input – Single Output	Πολλαπλή Είσοδοι – Μία Έξοδος
ML	Machine Learning	Μηχανική Μάθηση
MM	Map-Matching	Αντιστοίχιση Χάρτη
MSE	Mean Square Error	Μέσο Τετράγωνο Σφάλμα
NOMA	Non Orthological Multiple Access	Μη Ορθολογική Πολλαπλή Πρόσβαση
NLOS	No Line of Sight	Χωρίς Οπτική Επαφή
OMA	Orthological Multiple Access	Ορθολογική Πολλαπλή Πρόσβαση
PAAL	Passive Anchor Assisted Localization	Εντοπισμός Παθητικής Υποβοηθούμενης Αγκύρωσης
PDA	Personal Digital Assistant	Προσωπικός Ψηφιακός Βοηθός



PDR	Pedestrian Dead Reckoning	Πεζού Νεκρού Απολογισμού (Τεχνική)
PDOA	Phase Difference of Arrival	Διαφορά Φάσης Άφιξης
PF	Particle Filter	Φίλτρο Σωματιδίων
PF-KDS	Principal Featured Kohonen Deep Structure	Κύριας Προτεινόμενης Βαθιάς Δομής Kohonen
PNT	Positioning Navigation Time	Τοποθεσίας, Πλοήγησης, Χρόνου
POS	Point of Interest	Σημείο Ενδιαφέροντος
QoS	Quality of Service	Ποιότητα Υπηρεσιών
RF	Radio Frequency	Ραδιοσυχνότητα
RFID	Radio Frequency Identification	Αναγνώριση Ραδιοσυχνοτήτων
RMSE	Rout Mean Square Error	Ρίζα Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος
RNN	Recurrent Neural Network	Επαναλαμβανόμενο νευρωνικό δίκτυο
SAD	Sum of Absolute Difference	Άθροισμα Απόλυτης Διαφοράς
SBS	Stronger Base Station	Δυνατότερος Σταθμός Βάσης
SHF	Super High Frequency - SHF	Υπερ - Υψηλή Συχνότητα
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping	Ταυτόχρονος Εντοπισμός και Χαρτογράφηση
SVD	Singular Value Decomposition	Αποσύνθεση Ενικής Αξίας
SVM	Support Vector Machine	Υποστηρικτικής Διανυσματικής Μηχανής
RSS	Received Signal Strength	Λαμβανόμενη Ισχύς Σήματος
RSSI	Received Signal Strength Indicator	Λαμβανόμενος Δείκτης Ισχύς Σήματος
RSP	Received Signal Phase	Φάση Λαμβανόμενου Σήματος
RSU	Road Side Units	Οδικές Μονάδες
RTT	Round Trip Time	Χρόνος Μετ' επιστροφής
RTOF	Round Trip Time of Flight	Χρόνος Πτήσης Μετ' επιστροφή
SAD	Sum of Absolute Difference	Άθροισμα Απόλυτης Διαφοράς
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping	Ταυτόχρονη Εντόπιση και Χαρτογράφηση
SSD	Sum of Squared Difference	Άθροισμα τετράγωνης διαφοράς
SSL	Semi-Supervised Learning	Ημιοποτευόμενη μάθηση
SNR	Signal to Noise Ratio	Αναλογία Σήματος προς θόρυβο
TDOA	Time of Difference of Arrival	Χρόνος Διαφοράς Άφιξης
TOA	Time of Arrival	Χρόνος Άφιξης
TOF	Time of Flight	Χρόνος Πτήσης
UAV	Unmaned Aerial Vehicle - UAV	Μη επανδρωμένο Εναέριο Όχημα
UHF	Ultra High Frequency	Εξαιρετικά Υψηλή Συχνότητα
V2V	Vehicle to Vehicle	Όχημα με όχημα
V2I	Vehicle to Infrystructure	Όχημα με Υποδομή
VANET	Vehicular Ad Hoc Networks	Ad Hoc Δίκτυα Οχημάτων
VLC	Visible Light Communication	Επικοινωνία Ορατού Φωτός
VPC	Virtual Positioning Clients	Πελατών Εικονικής Θέσης
WAP	Wireless Access Point	Ασύρματο Σημείο Πρόσβασης
WLAN	Wireless Local Area Netwok	Ασύρματο Τοπικό Δίκτυο Υπολογιστών

«Συστήματα και Τεχνικές Εντοπισμού με Εφαρμογές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων»,  
Α. Κ. Κατσαβριάς, Διπλωματική Εργασία

WPAN	Wireless Personal Area Network	Ασύρματο Προσωπικό Δίκτυο
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System	Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών
UWB	Ultra-Wideband	Υπερευρεία Ζώνη
Wi-Fi	Wireless Fidelity	Ασύρματη Πιστότητα

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή

### 1.1 Εντοπισμός Θέσης (Localization)

Ο εντοπισμός ή ο εντοπισμός θέσης (Localization ή Positioning) είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιείται για τη λήψη πληροφοριών της τοποθεσίας των αντικειμένων που παρακολουθούνται με πολλαπλά σημεία αναφοράς σε μια προκαθορισμένη περιοχή. Με άλλα λόγια, είναι μια προσπάθεια εντοπισμού της θέσης κυρίως κινητών συσκευών, συμπεριλαμβανομένων των «έξυπνων» κινητών τηλεφώνων (smartphone), των drone, των ρολογιών (smartwatches), και τα τελευταία χρόνια των οχημάτων, χρησιμοποιώντας ορισμένους σταθερούς κόμβους και φορητές υπολογιστικές συσκευές [1]. Οι πληροφορίες τοποθεσίας που συλλέγονται μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πλήθώρα εφαρμογών αλλά και υπηρεσιών, όπως στην πλοήγηση και στην παρακολούθηση. Μία γενική κατηγοριοποίηση των συστημάτων εντοπισμού είναι αναλόγως του περιβάλλοντος στο οποίο επιθυμούμε να κάνουμε εντοπισμό είναι σε εσωτερικά περιβάλλοντα (εντός κτιρίων, εγκαταστάσεων κτλπ) ή σε εξωτερικά.



Εικόνα 1. Ενοποίηση των τεχνολογιών τοπικής προσαρμογής και IoT. [2]

#### 1.1.1 Εντοπισμός Θέσης σε Εξωτερικά Περιβάλλοντα (Outdoor Localization)

Με τον όρο Εντοπισμό Θέσης σε Εξωτερικά Περιβάλλοντα (Outdoor Localization) εννοούμε τον εντοπισμό της τοποθεσίας ενός στόχου σε εξωτερικούς χώρους. Αυτές οι Τεχνολογίες είναι οι λεγόμενες Τοποθεσίας, Πλοήγησης και Χρόνου (Positioning – Navigation – Timing – PNT). Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων εντοπισμού για εξωτερικούς χώρους, αποτελούν τα σήματα του Παγκόσμιου Δορυφορικού Συστήματος Πλοήγησης (Global Navigation Satellite System - GNSS) [3], παραδείγματα των οποίων περιλαμβάνουν το Παγκόσμιο Σύστημα Τοποθέτησης (Global Positioning System - GPS) (ΗΠΑ), το Παγκόσμιου Δορυφορικού Συστήματος Πλοήγησης GLONASS (Global Navigation Satellite System) (Ρωσία), του Galileo (Ευρωπαϊκή Ένωση) και του Beidou (Κίνα). Άλλοι τρόποι εύρεσης τοποθεσίας σε εξωτερικούς χώρους αποτελούν η χρήση κυψελωδών δικτύων των κινητών τηλεφώνων, συστήματα που λειτουργούν με αδρανειακούς αισθητήρες (π.χ. γυροσκόπια) αλλά και χρήσης

σημάτων Ασύρματης Πιστότητας (Wireless Fidelity - Wi-Fi). Τα ανωτέρω συστήματα στα οποία θα αναφερθούμε και στα επόμενα κεφάλαια, σε συνδυασμό κυρίως με τα σήματα του συστήματος GPS συνεργάζονται και παρέχουν μία αρκετά καλή λύση συστημάτων εντοπισμού για εξωτερικούς χώρους.

### 1.1.2 Συστήματα Εντοπισμού σε Εσωτερικούς χώρους (Indoor Localization)

Το GPS, ενώ αποτελεί το πιο συχνά και πιο διαδεδομένο χρησιμοποιούμενο σύστημα εντοπισμού, «υποφέρει» από περιορισμούς που προκύπτουν σε αστικές περιοχές και σε εσωτερικούς χώρους. Οι συσκευές GPS χάνουν σημαντική ισχύ σε έναν εσωτερικό χώρο λόγω της εξασθένησης του σήματος που προκαλείται από διάφορα δομικά υλικά και έτσι τα σήματα του «χάνονται». Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι: (α) το εσωτερικό περιβάλλον είναι πιο περίπλοκο, λόγω των πολλών αντικειμένων που συνυπάρχουν μέσα σε αυτό, (β) δημιουργούνται παρεμβολές σήματος, (γ) η ανάκλαση μέσα στο κτίριο εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το περιβάλλον (θέσεις των αντικειμένων και της ανθρώπινης δραστηριότητας) και (δ) το κανάλι επικοινωνίας εσωτερικού χώρου είναι αναξιόπιστο [4]. Επομένως το GPS δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εντοπισμό συσκευών σε εσωτερικά περιβάλλοντα.

Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων και για την επίτευξη του εντοπισμού σε εσωτερικούς χώρους (Indoor Localization), έχουν αναπτυχθεί διάφορα συστήματα κατάλληλα για τον εντοπισμό σε Εσωτερικούς Χώρους. Οι διάφορες λύσεις που έχουν παρουσιαστεί χρησιμοποιούν τεχνολογίες όπως (α) η Διαμόρφωση συχνότητας (Frequency Modulation - FM) [5], (β) η Υπερ-ευρεία ζώνη (Ultra-Wideband - UWB) [6], (γ) η αναγνώριση ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency Identification - RFID) [4], (δ) το Wi-Fi [7], (ε) το Bluetooth [8], (στ) το Zigbee [9],[10] και δίκτυα κινητής τηλεφωνίας (συμπεριλαμβανομένων δικτύων Μακροπρόθεσμης Εξέλιξης (Long Term Evolution - LTE) και 5G [11],[12],[13]. Οι παραπάνω τεχνολογίες χρησιμοποιούν αδρανειακούς αισθητήρες και φορητές συσκευές για να επιτύχουν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Επιπλέον, ορισμένες υβριδικές προσεγγίσεις συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα δύο ή περισσότερων τεχνολογιών για τη βελτίωση του εντοπισμού σε εσωτερικούς χώρους. Για όλες τις παραπάνω μεθόδους θα αναφερθούμε ποιο αναλυτικά στα κεφάλαια που ακολουθούν.

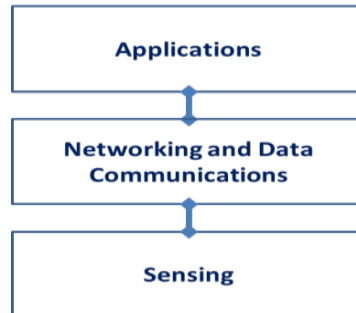
## 1.2 Το διαδίκτυο των Αντικειμένων (Internet of Things-IoT)

Το Διαδίκτυο των Αντικειμένων / Πραγμάτων (Internet of Things – IoT) αναφέρεται στην επέκταση της ασύρματης διαδικτυακής συνδεσιμότητας σε φυσικά αντικείμενα («πράγματα/things»), χαρακτηριζόμενα από μοναδικό διαδικτυακό αναγνωριστικό, καθώς και στο ευρύ πλέγμα επικοινωνιών και αλληλεπιδράσεων μεταξύ των αντικειμένων αυτών και άλλων συσκευών και συστημάτων, συνδεδεμένων στο διαδίκτυο [14].

Ως «things» μπορούν να εκληφθούν φυσικές ψηφιακές ή μηχανικές οντότητες, καθημερινά αντικείμενα, ακόμη και έμβια όντα. Τα εν λόγω αντικείμενα έχουν τη δυνατότητα διαδραστικής επικοινωνίας με άλλα μέσω διαδικτύου (ή και τοπικά), ενώ δύνανται να παρακολουθούνται και

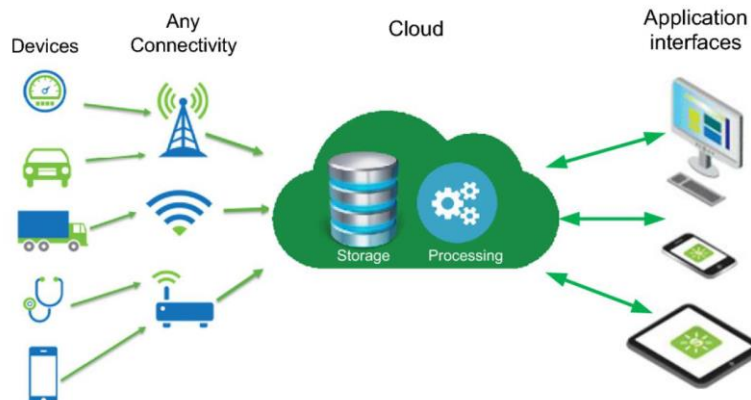
να ελέγχονται εξ αποστάσεως. Ως προϋπόθεση λοιπόν τίθεται η ενσωμάτωση στα «things» ηλεκτρονικών μέσων και λογισμικού, καθώς και δυνατότητα συνδεσιμότητας στο διαδίκτυο, ώστε να επιτρέπεται η σύνδεση και η ανταλλαγή δεδομένων χωρίς την απαίτηση αλληλεπίδρασης ανθρώπου με άνθρωπο ή ανθρώπου με υπολογιστή [15]. Το IoT σηματοδοτεί την εποχή όπου το διαδίκτυο συναντά, εμπλέκεται και αλληλοεπιδρά άμεσα με τον φυσικό κόσμο.

Το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Institute of Electrical and Electronics Engineers -IEEE) με έντυπό του το 2015 [14] περιέγραψε την αρχιτεκτονική του IoT ως ένα σύστημα τριών (3) επιπέδων:



Εικόνα 2. Αρχιτεκτονική τριών (3) επιπέδων του IoT (IEEE) [14]

Η βασική οργάνωση μιας IoT αρχιτεκτονικής έχει ως εξής: Πλήθος από τελικές συσκευές χρήστη (end devices), διασυνδέονται μέσω κάποιας τεχνολογίας (κατά βάση, αλλά όχι αποκλειστικά, ασύρματης) σε μία κεντρική διαχειριστική στο σύννεφο, «cloud» υποδομή, στην οποία μεταδίδουν τα επιθυμητά δεδομένα. Τα δεδομένα αποθηκεύονται ή/και επεξεργάζονται στο cloud, από όπου αξιοποιούνται κατά τρόπο επιθυμητό από λοιπές εφαρμογές χρήστη.



Εικόνα 3. Βασική οργάνωση IoT αρχιτεκτονικής [16]

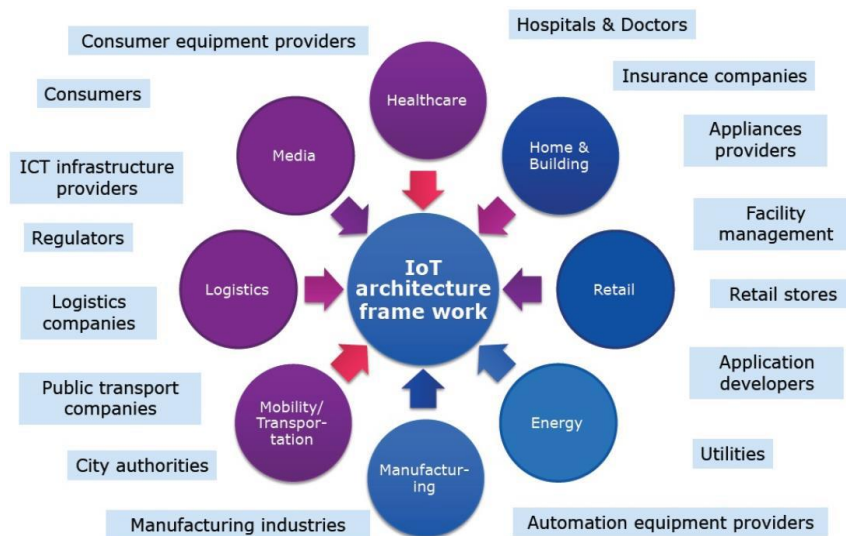
Στο ίδιο έντυπο του IEEE [14] αποτυπώνεται και η επέκταση του IoT στην αγορά, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στην [Εικόνα 4](#).

Οι εφαρμογές του IoT αγγίζουν κάθε πτυχή της καθημερινότητας του σύγχρονου ανθρώπου, αλλά και της βιομηχανικής, οικονομικής και επιστημονικής πρακτικής [17].

Μία από τις συνήθεις κατηγοριοποιήσεις είναι η εξής: IoT industrial, IoT public, IoT appliance, IoT personal. Στη συνέχεια παρατίθενται εφαρμογές ανά κατηγορία [18]:

### **IoT Industrial:**

A) **Βιομηχανία (Manufacturing):** Προληπτική συντήρηση εξοπλισμού, διαχείριση βιομηχανικών δεδομένων (big data), κυβερνο-φυσικά συστήματα (έξυπνα δίκτυα, συστήματα αυτόνομης οδήγησης, καταναμημένα ρομποτικά συστήματα, πλοήγηση), αισθητήρες παρακολούθησης, ενεργοποιητές, διακόπτες, έξυπνοι μετρητές, 3D εκτυπωτές, εξ αποστάσεως αυτοματοποίηση και βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας, διαχείριση αποθεμάτων, παρακολούθηση συνθηκών εργασίας (π.χ. ποιότητα αέρα).



Εικόνα 4. Πεδία εφαρμογής IoT και ενδιαφερόμενα νομικά/φυσικά πρόσωπα (IEEE) [14]

B) **Γεωργία (Agriculture):** Συλλογή μετεωρολογικών και γεωλογικών δεδομένων (αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, ταχύτητας ανέμου, βροχόπτωσης, σύστασης εδάφους), πλοήγηση και αυτόνομη οδήγηση γεωργικών μηχανημάτων.

Γ) **Κτηνοτροφία (Livestock farming):** Παρακολούθηση και εντοπισμός ζωικού κεφαλαίου, παρακολούθηση υγείας.

Δ) **Ιατρική και φροντίδα υγείας (Medical and healthcare):** Φορητές συσκευές παρακολούθησης ζωτικών σημείων, συστήματα ειδοποίησης εκτάκτου ανάγκης, συσκευές επιτόπου διάγνωσης, συσκευές παρακολούθησης-ελέγχου-αντιμετώπισης χρόνιων παθήσεων.

E) **Μεταφορές (Transportation):** Έξυπνο σύστημα ελέγχου κυκλοφορίας, στάθμευσης, συλλογής διοδίων, διαχείρισης εφοδιασμού και στόλου οχημάτων, ελέγχου οχήματος, υποβοήθησης οδηγού, ασφαλείας, επικοινωνίας οχήματος με όχημα (V2V) / με υποδομή (V2I) / με πεζό (V2P), πλοήγηση.

Δ) **Ενεργειακή διαχείριση (Energy management):** Έξυπνα δίκτυα (smart grid), έξυπνοι μετρητές, διακόπτες, εξ αποστάσεως έλεγχος και βελτιστοποίηση κατανάλωσης ενέργειας.

### IoT public

Α) **Υποδομές (Infrastructure):** Παρακολούθηση και προληπτική συντήρηση αστικών και αγροτικών υποδομών (π.χ. γεφυρών, σιδηροδρομικών γραμμών), δομικός έλεγχος ασφαλείας κρίσιμων υποδομών, διαχείριση συμβάντων και συντονισμός ανταπόκρισης σε έκτακτη ανάγκη, συστήματα βελτιστοποίησης – προγραμματισμού κατασκευών, διαχείριση απορριμμάτων και αποβλήτων, έλεγχος επιπέδων ηχορύπανσης, αποδοτική διαχείριση δημοτικού φωτισμού

Β) **Περιβαλλοντικός έλεγχος (Environmental monitoring):** Παρακολούθηση ποιότητας αέρα, νερού, εδάφους, ατμοσφαιρικών συνθηκών, άγριας πανίδας, ανίχνευση μόλυνσης, παρακολούθηση στάθμης ποταμών, έγκαιρη προειδοποίηση για φυσικές καταστροφές.

### IoT appliance

**Έξυπνο σπίτι (Smart home):** Έξυπνος φωτισμός/θέρμανση/κλιματισμός, πολυμέσα, ασφάλεια, έξυπνες συσκευές (π.χ. ψυγείο, τηλεόραση), ενεργειακή διαχείριση κτιρίου, οικιακοί αυτοματισμοί.

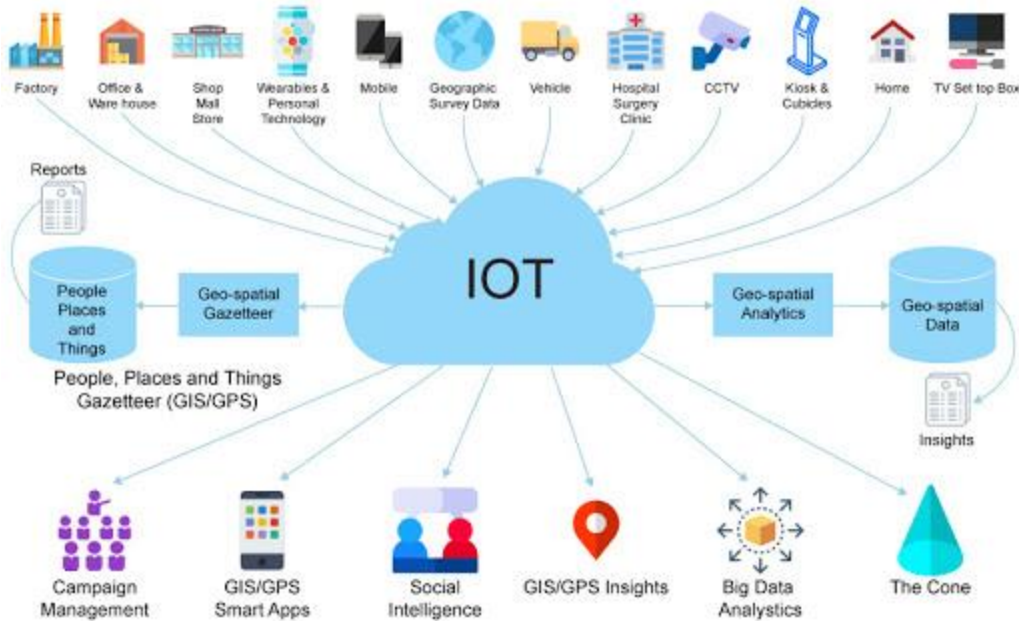
### IoT personal

Προσωπική διασύνδεση: Smartphones, wearables, tablets, trackers.

Οι ειδικοί προβλέπουν ότι μέχρι το 2025 θα υπάρχουν περισσότερες από 22 δισεκατομμύρια συνδεδεμένες συσκευές IoT σε όλο τον κόσμο [19], *Εικόνα 5*.

Ως αποτέλεσμα της ευρείας χρήσης και της ανάπτυξης τεχνολογιών IoT, η ανάγκη για την συλλογή των πληροφοριών τοποθεσίας έχει αυξηθεί αφού οι υπηρεσίες τοποθεσίας αποτελούν ένα σημαντικό χαρακτηριστικό σε τεχνολογίες και εφαρμογές του.

Οι πρόσφατες προηγμένες τεχνολογίες έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν διάφορες επιλογές για να διασφαλίσουν ότι τα δεδομένα που συλλέγονται και διαβιβάζονται, περιλαμβάνουν απαραίτητα πληροφορίες τοποθεσίας. Ο συνδυασμός των ανωτέρω θα μπορούσε να κατευθύνει τους ανθρώπους να βρουν μια συγκεκριμένη τοποθεσία μέσα σε ένα μεγάλο νοσοκομείο, ή ένα κατάστημα σε κάποιο εμπορικό κέντρο, ή μια μεγάλη βιομηχανική περιοχή. Αυτά τα προβλήματα έχουν προσελκύσει την προσοχή τόσο του ακαδημαϊκού όσο και του εμπορικού προσωπικού σε όλο τον κόσμο και εξακολουθούν να ανταγωνίζονται για να βρουν ικανοποιητικές λύσεις.



Εικόνα 5. Σχηματική Απεικόνιση του IoT Πελάτες και Εφαρμογές [19]

### 1.3 Τεχνικές Εντοπισμού Θέσης

Λόγω των ανωτέρω αναγκών για τον προσδιορισμό της τοποθεσίας, έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται πολλά είδη τεχνικών για τον εντοπισμό θέσης (Localization Techniques). Η ποικιλία αυτών των τεχνικών βασίζεται σε μετρήσεις όπως ο λαμβανόμενος δείκτης ισχύος σήματος (Received Signal Strength Indicator - RSSI) [20], [21] ή μετρήσεις χρόνου πτήσης - Time of Flight (TOF) [22].



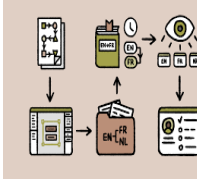


Οι ανωτέρω μετρήσεις χρησιμοποιούνται στην συνέχεια είτε μόνες τους είτε ως συνδυασμός για να μπορέσουν να εντοπίσουν την τοποθεσία ενός στόχου. Για παράδειγμα οι μετρήσεις RSSI μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εύρεση της τοποθεσίας με βάση την εκτιμώμενη απόσταση μεταξύ της συσκευής στόχου και των γνωστών σταθερών σταθμών, ή την εκτίμηση τοποθεσίας βάσει δακτυλικών αποτυπωμάτων RSSI [23].

Ωστόσο, η χρήση αυτών των μετρήσεων ή τεχνικών εντοπισμού έχει τους περιορισμούς της που δυσκολεύουν να κάνουν τη διαδικασία εντοπισμού με ακρίβεια. Για αυτό τον λόγο υπάρχει και μία αρκετά μεγάλη ποικιλία από συστήματα εντοπισμού (Localization Systems), το καθένα με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του. Επίσης το περιβάλλον εφαρμογής που χρησιμοποιούνται αυτές τις τεχνολογίες, είτε σε εξωτερικό είτε σε εσωτερικό, αποτελεί πεδίο ενδιαφέροντος.

Τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό είναι η απόδοση των προαναφερθέντων τεχνολογιών και τεχνικών εντοπισμού σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Η αξιολόγησή τους γίνεται με την χρήση διαφορετικών συσκευών IoT. Οι μετρήσεις αξιολόγησης ποιότητας περιλαμβάνουν την ακρίβεια τοποθεσίας, το κόστος, την αξιοπιστία, την πολυπλοκότητα, την απρόσκοπτη λειτουργία, την απόδοση ισχύος, την επεκτασιμότητα και την ασφάλεια. Τα πιο ουσιαστικά στοιχεία των λύσεων εντοπισμού θέσης, στο πλαίσιο του IoT που πρέπει να ληφθούν υπόψη απεικονίζονται στον παρακάτω Πίνακα 1.



Πίνακας 1. Σχηματική Αναπαράσταση Τεχνικών Εντοπισμού

				
Ασύρματες Τεχνολογίες	Τεχνικές	Μετρούμενα Μεγέθη	Περιβάλλοντα	Κριτήρια
RFID	Ανίχνευσης Εγγύτητας	TOA	Outdoors	Κόστος
Bluetooth	Δακτυλικών Αποτυπωμάτων	TDOA	Indoors	Ακρίβεια
ZigBee	Με βάση Όραμα	RTT	Μετάβαση από Εξωτερικό σε Εσωτερικό	Ασφάλεια
LPWAN	Με βάση την Γωνία	AOA		Καθυστέρηση
WiFi	Με βάση τον Χρόνο	ADOA		Ισχύς
LTE – 5G	Νεκρού Απολογισμού	RSS - RSSI		Πολυπλοκότητα
	Αντισοίχησης Χάρτη	RTOF		Επεκτασιμότητα
		RSP		Σταθερότητα
				Αξιοπιστία

### 1.3 Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία επιδιώκει την μελέτη και την περιγραφή των συστημάτων και των τεχνικών εντοπισμού σε εφαρμογές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Παρουσιάζονται διάφορες τεχνικές εντοπισμού οι οποίες κατά τα τελευταία χρόνια έχουν συγκεντρώσει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας, αναλύοντας συστήματα εντοπισμού θέσης εμβαθύνοντας σε υπάρχουσες εφαρμογές στην εποχή του IoT. Συγκρίνονται τα οφέλη και τα μειονεκτήματα της κάθε τεχνικής, το περιβάλλον στο οποίο μπορούν να χρησιμοποιηθούν, καθώς και τα κριτήρια αξιολόγησής τους. Τέλος, γίνεται μια εκτενής αναφοράς στα πλέον πιο σύγχρονα συστήματα εντοπισμού τα οποία ενσωματώνουν και την μηχανική μάθηση (Machine Learning).

Σκοπός της εργασίας είναι με την ανάλυση των τεχνικών, των συστημάτων και της υπάρχουσας τεχνολογίας που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της τοποθεσίας, να δοθεί μία όσο το δυνατόν πλήρη εικόνα στον αναγνώστη της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας και να αποτελέσει την αρχή για την περαιτέρω ανάλυση σε θέματα προσδιορισμού τοποθεσίας και εντοπισμού.

## 1.4 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας

Με βάση την εισαγωγή που έγινε στις προηγούμενες ενότητες του παρόντος κεφαλαίου η δομή της παρούσας διπλωματικής έχει ως εξής:

Στο πρώτο κεφάλαιο «Εισαγωγή», γίνεται μια εισαγωγή στις έννοιες των εννοιών του Εντοπισμού Θέσης και του Internet of Things και παρουσιάζεται η Δομή της Παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο «Τεχνικές Εντοπισμού», γίνεται ανάλυση των τεχνικών εντοπισμού. Αναφερόμαστε στις τεχνολογίες που βασίζονται οι τεχνικές εντοπισμού. Αναλύονται τα μετρούμενα μεγέθη πάνω στα οποία στηρίζονται οι τεχνικές εντοπισμού, όπως TOA, TDOA, RTOF, AOA. Στην συνέχεια γίνεται ανάλυση των τεχνικών εντοπισμού κατηγοριοποιώντας αναλόγως την τεχνολογία που αυτές χρησιμοποιούν.

Στο τρίτο κεφάλαιο «Κριτήρια Επίδοσης Συστημάτων Εντοπισμού», παραθέτουμε τα κριτήρια αξιολόγησης των Συστημάτων Εντοπισμού. Τα κριτήρια αυτά χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της αποτελεσματικότητάς τους και αποτελούν έναν τρόπο αξιολόγησης των διαφορετικών συστημάτων εντοπισμού μεταξύ τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, «Συστήματα Εντοπισμού Θέσης», το οποίο αποτελεί και το βασικότερο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αναλύονται τα συστήματα εντοπισμού. Παρουσιάζονται ως μέρη δύο βασικών κατηγοριών, εξωτερικών και εσωτερικών συστημάτων εντοπισμού. Για τα εξωτερικού γίνεται εκτενής αναφορά στον πιο διαδεδομένο σύστημα εντοπισμού το GPS. Για τα συστήματα εσωτερικού χώρου, αυτά κατηγοριοποιούνται με βάση τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται, τεχνολογία ήχου, ραδιοσυχνότητες (Bluetooth, Wi-Fi), αισθητήρων. Για τα περισσότερα συστήματα, γίνεται και αναφορά σε συστήματα εντοπισμού τα οποία έχουν είδη εφαρμοστεί σε διαφορετικές περιπτώσεις περιβάλλοντος.

Στο πέμπτο κεφάλαιο «Μηχανική Μάθηση και Εντοπισμός» γίνεται αναφορά στις πλέον πιο σύγχρονες τεχνολογίες εντοπισμού οι οποίες ενσωματώνουν την Μηχανική Μάθηση και την Βαθιά Μάθηση. Αναλύεται η ανάγκη για την χρησιμοποίηση της Μηχανικής Μάθησης, το πεδίο εφαρμογής της και εκτενής ανάλυση σε εφαρμογές υπηρεσιών εντοπισμού. Εμβαθύνουμε σε όλη την διαδικασία από την συλλογή – επεξεργασία δεδομένων, την επιλογή των χαρακτηριστικών τους και στις Τεχνικές Μηχανικής Μάθησης. Τέλος γίνεται αναφορά στην χρησιμοποίηση των τεχνικών μάθησης σε εσωτερικά αλλά και σε περιβάλλοντα μετάβασης από εξωτερικά και εσωτερικά και αντίστροφα. Για όλες τις παραπάνω τεχνολογίες αναφερόμαστε και σε εφαρμογές τους στο σύγχρονο περιβάλλον.

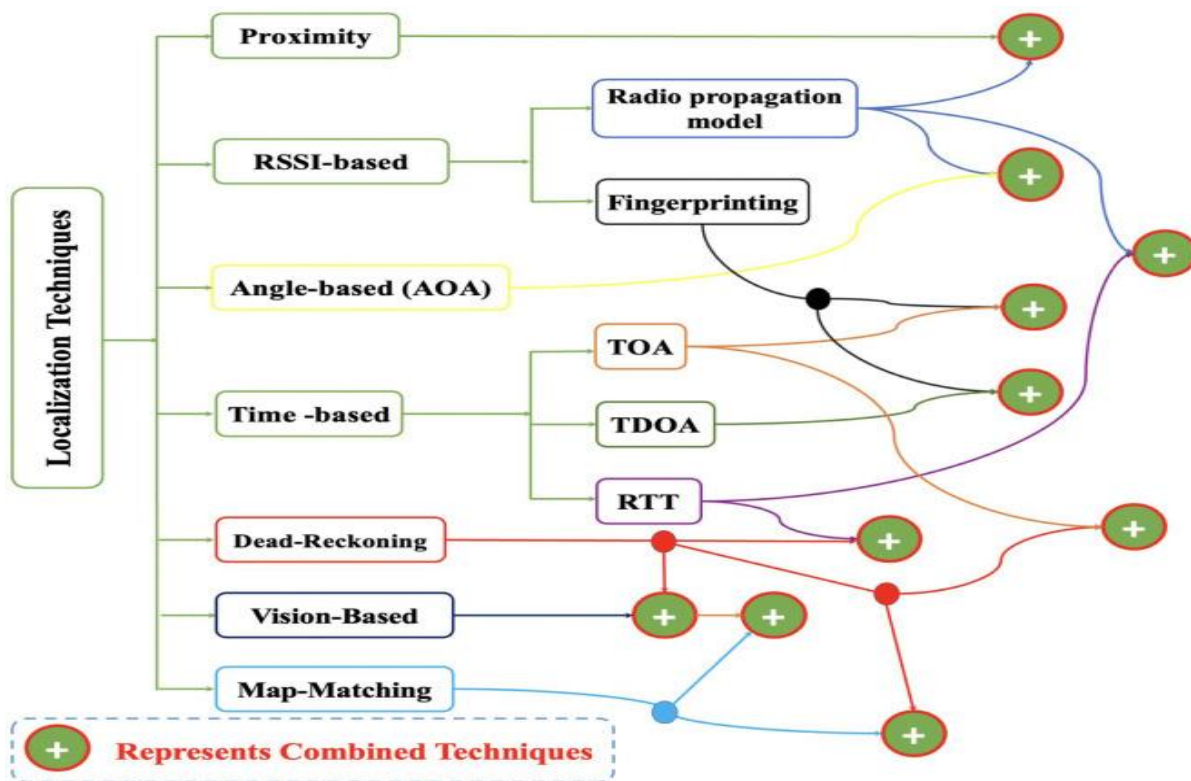
Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο «Συμπεράσματα», γίνεται μία σύνοψη της παρούσας εργασίας, αναφέρονται τα αποτελέσματα και τα ευρήματα, και στο αν επιτεύχθηκε ο σκοπός της. Επίσης γίνεται αναφορά σε θέματα για περαιτέρω έρευνα και διερεύνηση τα οποία μπορούν να αποτελέσουν μια συνέχεια στην παρούσα διπλωματική εργασία.

«Συστήματα και Τεχνικές Εντοπισμού με Εφαρμογές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων»,  
Α. Κ. Κατσαβριάς, Διπλωματική Εργασία

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Τεχνικές Εντοπισμού (Localization Techniques)

### 2.1 Εισαγωγή

Πολλές τεχνικές είναι διαθέσιμες και προσφέρουν μια ακριβή λύση εντοπισμού για τον εντοπισμό κινητών ή σταθερών αντικειμένων τόσο σε εξωτερικούς όσο και σε εσωτερικούς χώρους. Οι τεχνικές αυτές βασίζονται σε πολλές τεχνολογίες ή στη συγχώνευση διαφόρων ειδών τεχνολογιών για την αύξηση της ακρίβειας εντοπισμού. Επιπλέον, κάθε μία από αυτές τις τεχνολογίες έχει το δικό της σύνολο πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων που έχουν αντίκτυπο στο σύστημα εντοπισμού. Μία ταξινόμηση των τεχνικών εντοπισμού φαίνεται στην *Εικόνα 6*.



Εικόνα 6. Σχηματική Απεικόνιση Τεχνικών Εντοπισμού [24]

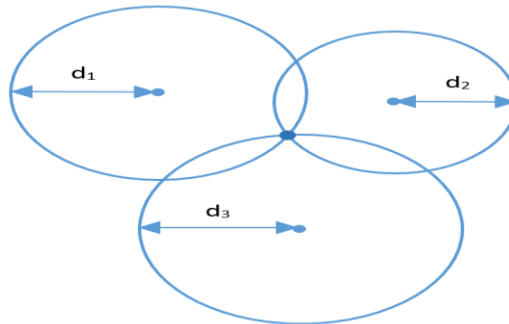
### 2.2 Μετρήσεις Τεχνικών Εντοπισμού

Σε αυτή την ενότητα παραθέτουμε τις συχνότερες μετρήσεις που γίνονται στις τεχνικές εντοπισμού και οι οποίες μετά από κατάλληλη επεξεργασία χρησιμοποιούνται στις τεχνικές εντοπισμού. Στον *Πίνακα 2* του Παραρτήματος Α, παραθέτουμε όλες τις παρακάτω μεθόδους μετρήσεων συγκριτικά με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους.

### 2.2.1 Χρόνος Άφιξης (Time of Arrival – TOA)

Ως χρόνος Άφιξης (Time of Arrival -TOA) είναι χρόνος διάδοσης του σήματος που ταξιδεύει μεταξύ πομπού και δέκτη. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ακριβή εύρεση της τοποθεσίας, με την επιφύλαξη ότι πρέπει να υπάρχει συγχρονισμός μεταξύ του δέκτη και όλων των πομπών. Οι υπολογισμένοι χρόνοι άφιξης, TOA, πολλαπλασιάζονται με την ταχύτητα διάδοσης του φωτός για τον υπολογισμό της μεταξύ τους απόστασης.

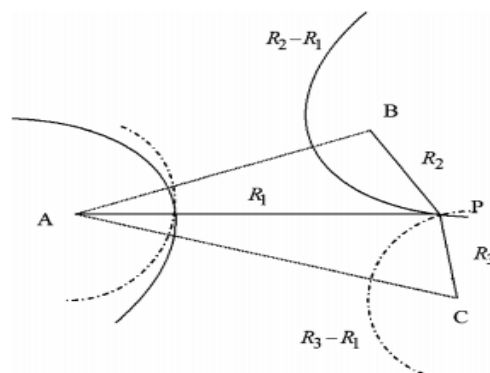
Όπως φαίνεται στην *Εικόνα 7*, η τομή των κύκλων των οποίων τα κέντρα είναι οι πομποί και οι ακτίνες είναι οι υπολογισμένες αποστάσεις μεταξύ των πομπών και του δέκτη δίνουν την εκτιμώμενη τοποθεσία του δέκτη. Απαιτούνται τουλάχιστον τρεις πομποί για να ληφθεί η εκτιμώμενη θέση σε δισδιάστατο (2-Dimensional-2D) χάρτη. Αυτή η τεχνική επηρεάζεται σημαντικά από τα φαινόμενα πολλαπλών διαδρομών (multipath) και σε περιπτώσεις διάδοσης μη οπτικής επαφής (No Line of Sight - NLOS). Αρκετές μελέτες έχουν διερευνήσει πώς να μετριάσουν αυτά τα προβλήματα και να ενισχυθεί η απόδοση του TOA [25].



Εικόνα 7. Υπολογισμός της θέσης με βάση τον Χρόνο Άφιξης - TOA [26]

### 2.2.2 Χρόνος Διαφοράς Άφιξης (Time of Difference of Arrival – TDOA)

Ο χρόνος διαφοράς άφιξης (Time of Difference of Arrival -TDOA) αντιπροσωπεύει τη διαφορά ώρας μεταξύ δύο σημάτων ταξιδεύοντας από δύο πομπούς σε έναν δέκτη. Η εύρεση της τοποθεσίας βάση αυτής της μεθόδου καθορίζει τη θέση του δέκτη σε υπερβολή, με εστίες στους δύο πομπούς, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 8*. Οι πομποί πρέπει να συγχρονίζονται μεταξύ τους αλλά όχι απαραίτητα με τον δέκτη [27]. Η τρισδιάστατη (3-Dimensional - 3D) εύρεση της θέσης επιτυγχάνεται από τουλάχιστον τέσσερις πομπούς.



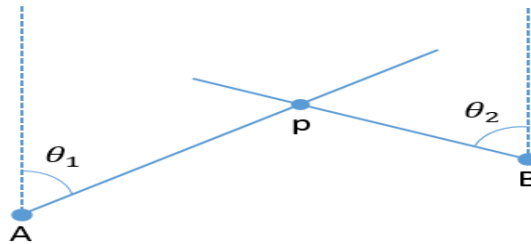
Εικόνα 8. Υπολογισμός Θέσης Με βάση την Διαφορά Γωνίας Άφιξης [26]

### 2.2.3 Χρόνος Πτήσης Μετ' επιστροφής του Σήματος (Round-Trip Time of Flight -RTOF)

Η μέτρηση του Χρόνου Πτήσης του Σήματος μετ' επιστροφής - RTOF, μετρά τον χρόνο πτήσης που ένα σήμα ταξιδεύει από τον πομπό στον δέκτη και πάλι πίσω στον δέκτη. Χρησιμοποιείται για την εξάλειψη του προβλήματος συγχρονισμού των ρολογιών των δεκτών και των πομπών που χρειάζεται στην μέτρηση με βάση την μέθοδο TOA. Ωστόσο, σε συστήματα μικρής εμβέλειας, παρουσιάζεται το πρόβλημα του να μην γνωρίζουμε τον ακριβή χρόνο καθυστέρησης που χρειάζεται για να επιστραφεί το σήμα στον πομπό. Οι αλγόριθμοι προσδιορισμού θέσης σε συνδυασμό με TOA μπορούν να εφαρμοστούν άμεσα με το RTOF.

### 2.2.4 Γωνία Άφιξης (Angle of Arrival -AOA)

Η μέτρηση της γωνία άφιξης - AOA, λαμβάνει τη θέση του δέκτη με την εκτίμηση των γωνιών των λαμβανόμενων σημάτων από πολλούς πομπούς. Ο δέκτης πρέπει βρίσκεται στην τομή των λαμβανόμενων γραμμών κατεύθυνσης γωνίας, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 9*. Στην μέτρηση AOA χρησιμοποιούνται τουλάχιστον δύο γνωστοί πομποί (A,B) και δύο μετρούμενες γωνίες  $\theta_1, \theta_2$  για να προκύψει η 2D θέση του δέκτη P. Η εκτίμηση της γωνίας άφιξης συνήθως πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας μια συστοιχία κεραιών (antenna arrays) σε συνδυασμό με κατευθυντήρες κεραιές. Η κύρια αρχή πίσω από την εκτίμηση AOA με την χρήση των παραπάνω κεραιών είναι ότι οι διαφορές στους χρόνους άφιξης ενός εισερχόμενου σήματος περιλαμβάνουν τις πληροφορίες γωνίας άφιξης αν η γεωμετρία τους είναι γνωστή.



Εικόνα 9. Προσδιορισμός Θέσης με Βάση την Γωνία Άφιξης – Angle of Arrival [26]

Για σήματα στενής ζώνης (narrowband signals), οι χρονικές διαφορές μπορούν να αναπαρασταθούν ως μετατοπίσεις φάσης (phase shifts). Επομένως, ο συνδυασμός των μετατοπίσεων φάσης των λαμβανόμενων σημάτων σε διαφορετικά στοιχεία της συστοιχίας της κεραιάς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του AOA [27]. Ωστόσο, σε συστήματα ευρείας ζώνης, η χρονική καθυστέρηση των λαμβανόμενων σημάτων θα πρέπει να ληφθεί υπόψη, καθώς μια χρονική καθυστέρηση δεν μπορεί να αντιπροσωπεύεται από μία μοναδική τιμή φάσης για ένα σήμα ευρείας ζώνης.

Η μέτρηση AOA μπορεί να καθορίσει την εκτίμηση θέσης χρησιμοποιώντας τουλάχιστον δύο πομπούς για 2D εύρεση θέσης και τρεις πομπούς για 3D και δεν χρειάζεται καθόλου συγχρονισμός. Ωστόσο απαιτούνται αρκετά μεγάλες και πολύπλοκες υποδομές. Για ακριβείς εκτιμήσεις τοποθεσίας, οι μετρήσεις της γωνίας πρέπει να είναι ακριβείς, κάτι που μπορεί να μην συμβαίνει στα ασύρματα δίκτυα, λόγω φαινομένων σκίασης (shadowing), αντανάκλασεων

πολλαπλών διαδρομών (multipath reflections), που φτάνουν από διαφορετικές κατευθύνσεις ή από την μη κατευθυντικότητα της μέτρησης.

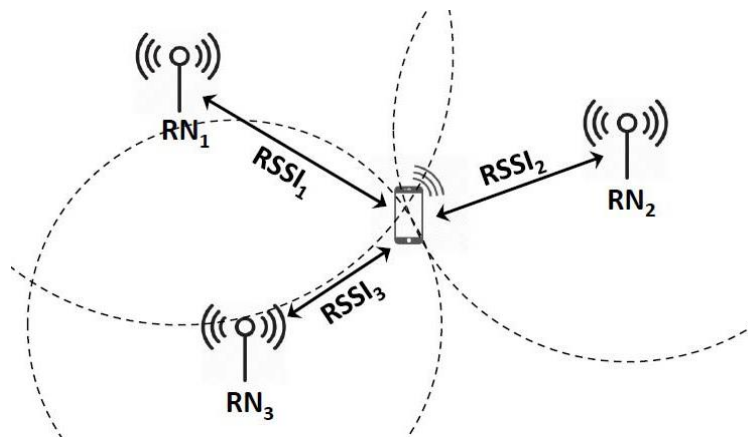
### 2.2.5 Ισχύς Λαμβανόμενου Σήματος (Received Signal Strength – RSS)

Η ισχύς του λαμβανομένου σήματος (Received Signal Strength - RSS) είναι η ισχύς του σήματος του δέκτη που λαμβάνεται από έναν πομπό. Το σήμα περιέχει τις πληροφορίες που σχετίζονται με την απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Αυτή η παράμετρος μπορεί να χρησιμοποιηθεί μαζί με μοντέλα απώλειας διαδρομής (path loss) και σκίασης (shadowing) για την εκτίμηση της απόστασης. Το σήμα του πομπού συνήθως αντιμετωπίζει γρήγορη εξασθένιση (fast fading), σκίαση (shadowing) και απώλεια διαδρομής (path loss) [28]. Για αυτό τον λόγο χρησιμοποιείται ο Λαμβανόμενος Δείκτης Ισχύς Σήματος δείκτης (Received Signal Strength Indicator – RSSI), *Εικόνα 10*, ο οποίος με την πάροδο του χρόνου μπορεί να αποκλείσει την επίδραση της εξασθένισης και της σκίασης πολλαπλών διαδρομών. Για τον υπολογισμό αυτής της απόστασης χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος:

$$\bar{P}(d) = P_o - 10n \log_{10}\left(\frac{d}{d_o}\right) \quad (2.1)$$

Όπου:  $\bar{P}(d)$ : είναι ο μέσος όρος της λαμβανόμενης ισχύος, σε dBm, σε απόσταση  $d$   
 $P_o$ : είναι η λαμβανόμενη ισχύς σε dB σε μικρή απόσταση αναφοράς  $d_o$   
 $n$ : είναι ο εκθέτης απώλειας διαδρομής (path loss exponent).

Στην πράξη, το διάστημα παρατήρησης δεν είναι αρκετά μεγάλο για να μετριάσει τις επιπτώσεις της σκίασης. Επομένως, η λαμβανόμενη ισχύς μπορεί να μοντελοποιηθεί ως μία συνάρτηση Gauss και να περιλαμβάνει τόσο φαινόμενα απώλειας διαδρομής (path loss) όσο και σκίασης (shadowing) [29]. Για τον μετριασμό αυτών των προβλημάτων έχουν προταθεί και άλλοι μέθοδοι στο [30], οι οποίοι χρησιμοποιούν ένα προ μετρημένο περίγραμμα RSS, με κέντρο τον δέκτη, και αλγόριθμος ασαφούς λογικής για τη βελτίωση της απόδοσης της μεθόδου.



Εικόνα 10. Προσδιορισμός Θέσης με RSSI [31]

## 2.2.6 Φάση Λαμβανόμενου Σήματος (Received Signal Phase -RSP)

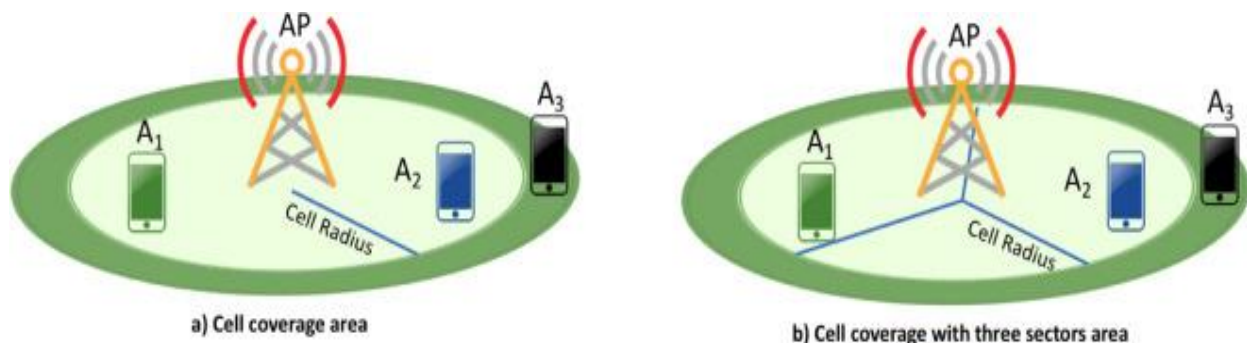
Η μέτρηση της φάσης του λαμβανόμενου σήματος Received Signal Phase RSP, χρησιμοποιεί την διαφορά φάσης του σήματος του πομπού για την εκτίμηση του εύρους μεταξύ πομπού και δέκτη [32]. Υποθέτοντας ότι όλοι οι πομποί εκπέμπουν ημιτονοειδή σήματα της ίδιας συχνότητας με μηδενική μετατόπιση φάσης, η μέθοδος RSP υπολογίζει τη θέση του δέκτη υπολογίζοντας τη διαφορά φάσης αυτών των σημάτων. Είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί μαζί με μετρήσεις TOA/TDOA ή RSS για να έχουμε καλύτερη εκτίμηση της τοποθεσίας. Ωστόσο, απαιτεί διάδοση με οπτική επαφή (Line of Sight – LOS), διαφορετικά, θα προκαλέσει περισσότερα σφάλματα, ειδικά σε εσωτερικά περιβάλλοντα.

## 2.3 Τεχνικές Εντοπισμού (Localization Techniques)

### 2.3.1 Τεχνική Ανίχνευσης Εγγύτητας (Proximity Detection Techniques)

Η τεχνική ανίχνευσης εγγύτητας είναι μια βασική μέθοδος εντοπισμού που αξιολογεί τη θέση μιας συσκευής/στόχου σχετικά με ένα προκαθορισμένο μέρος ή περιοχή [33]. Η τεχνική αυτή απαιτεί την ανάπτυξη ενός συγκεκριμένου αριθμού ανιχνευτών σε γνωστές τοποθεσίες. Όταν ένας ανιχνευτής ανιχνεύει μια συσκευή/στόχο, θεωρεί ότι η θέση του βρίσκεται εντός της περιοχής εγγύτητας που ορίζεται από τον ανιχνευτή.

Πιο συγκεκριμένα και όπως φαίνεται στην *Εικόνα 9*, τα  $A_1$ ,  $A_2$  και  $A_3$  είναι οι κινητές συσκευές-στόχοι που παρακολουθούνται και στο κέντρο ο ανιχνευτής - Σημείο Πρόσβασης (Access Point – AP). Η περιοχή εγγύτητας του ανιχνευτή ορίζεται και υποδεικνύεται από τον ανοιχτό πράσινο κύκλο, ο οποίος μπορεί να είναι ο πύργος μιας κυψέλης κινητής τηλεφωνίας, ένας σταθμός βάσης (Base Station-BS) ή ένα σημείο ασύρματης πρόσβασης (Wireless Access Point - WAP). Τα  $A_1$ ,  $A_2$  και  $A_3$  εντοπίζονται παρατηρώντας εάν βρίσκονται κοντά στον ανιχνευτή ή όχι. Ο ανιχνευτής εκτιμά τη θέση των στόχων  $A_1$ ,  $A_2$  και  $A_3$ .



Εικόνα 11. Τεχνική Ανίχνευσης Εγγύτητας [24]



Η εγγύτητα είναι μια απλή και ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος, αλλά η ακρίβεια περιορίζεται στην περιοχή κάλυψης του σταθμού βάσης. Στην *Εικόνα 9a*, οι συσκευές  $A_1$ ,  $A_2$  βρίσκονται στην περιοχή του ανιχνευτή αλλά η συσκευή  $A_3$ , όχι. Ως αποτέλεσμα, σε αντίθεση με τους άλλους τύπους τεχνικών εντοπισμού, η τεχνική εγγύτητας δεν μπορεί να παρέχει σχετικές ή απόλυτες εκτιμήσεις τοποθεσίας.

Οι πληροφορίες εντοπισμού εγγύτητας είναι κρίσιμες για διάφορες υπηρεσίες και εφαρμογές που βασίζονται σε προσδιορισμό τοποθεσίας. Αυτή η προσέγγιση χρησιμοποιείται για την πλειονότητα των συστημάτων εντοπισμού που βασίζονται σε συστήματα Δίκτυων Κυψελωτής Τηλεφωνίας (Global System for Mobile communications – GSM). Έχει μέση ακρίβεια από 76 έως 216 μέτρα, που αντιστοιχεί στο μέγεθος μιας κυψέλης GSM [34].

Η διακύμανση μιας προσέγγισης που βασίζεται στην εγγύτητα είναι σημαντική. Για το λόγο αυτό, η περιοχή κυψέλης μπορεί να χωριστεί σε διάφορους τομείς για να προσδιορίσει τη θέση της συσκευής, με μεγαλύτερη ακρίβεια. Η *Εικόνα 9b* δείχνει ότι η περιοχή κυψέλης διαιρείται σε τρεις τομείς έτσι ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια εντοπισμού.

### 2.3.2 Τεχνική που βασίζεται στον Δείκτη Ισχύος Λαμβανόμενου Σήματος (RSSI)

Δύο προσεγγίσεις χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θέσης ενός κινητού στόχου με βάση τον δείκτη RSSI, αυτή που βασίζονται στην τεχνική δακτυλικών αποτυπωμάτων και μοντέλων διάδοσης σημάτων με μέτρηση του RSSI.

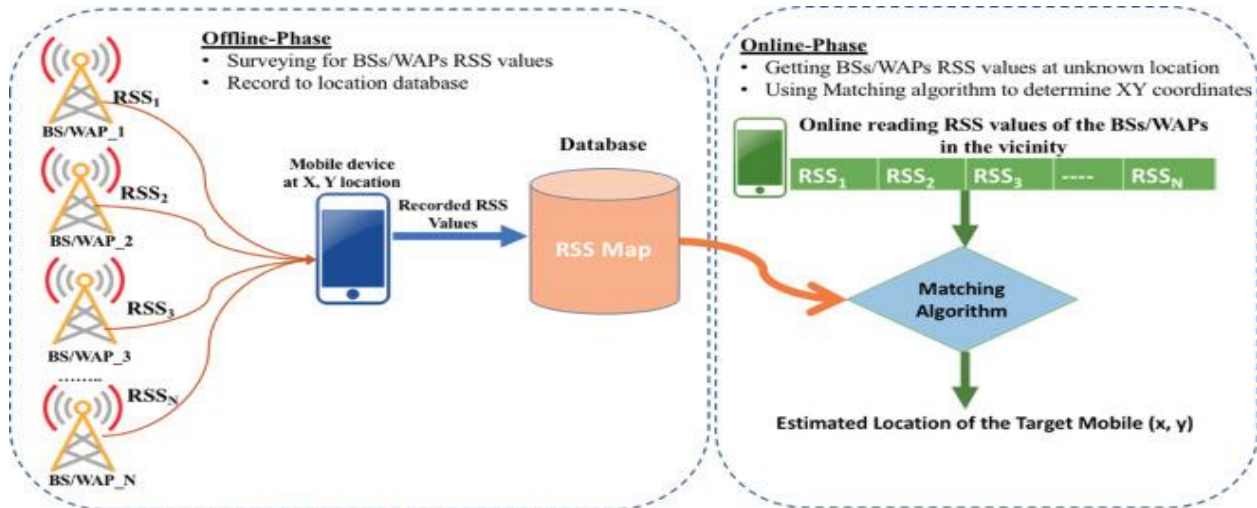
#### 2.3.2.1 Τεχνική Δακτυλικών Αποτυπωμάτων (Fingerprinting-based technique)

Η τεχνική αυτή υπολογίζει την τοποθεσία ενός στόχου – χρήστη σε μία οριοθετημένη περιοχή συγκρίνοντας την τρέχουσα μέτρηση σε σχέση με τα δεδομένα που είδη έχουν ληφθεί εκ των προτέρων. Η λήψη δακτυλικών αποτυπωμάτων αναφέρεται στις τεχνικές που λαμβάνουν χαρακτηριστικά σκηνής από βίντεο, εικονικές εικόνες ή ηλεκτρομαγνητικά σήματα και στη συνέχεια εκτιμούν τη θέση της συσκευής/στόχου συγκρίνοντας τις ηλεκτρονικές μετρήσεις που λαμβάνουν με τις πλησιέστερες πληροφορίες τοποθεσίας δακτυλικών αποτυπωμάτων [35].

Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει κατά κανόνα δύο φάσεις, την εκτός σύνδεσης (offline) και την εντός σύνδεσης (online). Στην εκτός σύνδεση η οποία συνήθως ονομάζεται και φάση «εκπαίδευσης» (training phase), το σύστημα συλλέγει δεδομένα τοποθεσίας και στη συνέχεια τα αποθηκεύει σε μια βάση δεδομένων. Στην online φάση έχουμε την συλλογή των σημάτων RSS από τις συσκευές/στόχους. Στην συνέχεια γίνεται η σύγκριση των τελευταίων με τα είδη αποθηκευμένα δεδομένα και με την βοήθεια αλγορίθμων εύρεσης τοποθεσίας προσδιορίζεται η θέση του χρήστη. Στην *Εικόνα 12* απεικονίζεται σχηματικά η διαδικασία της μεθόδου.

Επειδή η συλλογή των μετρήσεων RSSI μπορούν πολύ εύκολα να συλλεχθούν από ένα smartphone με ενσωματωμένο Wi-Fi χωρίς πρόσθετο εξοπλισμό και υλικό, πολλοί μελετητές

έχουν ενδιαφερθεί για τους αλγόριθμους εκτίμησης τοποθεσίας βάσει δακτυλικών αποτυπωμάτων. Οι τιμές RSSI μετρούνται σε ντεσιμπέλ σε επίπεδο αναφοράς ενός milli-watt (dBm).



Εικόνα 12. Τεχνική Δακτυλικών Αποτυπωμάτων [24]

Ο αριθμός των BS ή AP στον χώρο των δοκιμών ενισχύει την αποτελεσματικότητα των αλγορίθμων που βασίζονται σε δακτυλικά αποτυπώματα. Ωστόσο, επειδή η μέτρηση RSS απαιτεί πολύ χρόνο και προσπάθεια, οποιαδήποτε αύξηση στον αριθμό των BS/AP θα οδηγήσει σε αυξημένο κόστος εντοπισμού.

Κατά την μέτρηση δημιουργείται μια σύνδεση ένας προς έναν μεταξύ του σήματος των BS/AP και της συσκευής/στόχου. Κάθε φορά που η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη μειώνεται, τα επίπεδα RSS θα αυξάνονται. Ωστόσο, λόγω του φαινομένου πολλαπλών διαδρομών (multipath), ο λόγος απόστασης RSS δεν είναι πάντα γραμμικός, ειδικά σε εσωτερικούς χώρους [36]. Για την ανίχνευση και για τις μετρήσεις RSS συχνά απαιτούνται η συνδρομή με τεχνολογίες μέσω Ασύρματου Τοπικού Δίκτυου Υπολογιστών (Wireless Local Area Network – WLAN), UWB, Zigbee, Bluetooth και υπέρυθρων (Infrared).

Λόγω του χαμηλού κόστους και της διαχρονικά διαθεσιμότητάς του, ο εντοπισμός μέσω WLAN είναι πλεονεκτικός. Επιπλέον, η περίθλαση (diffraction), η ανάκλαση (reflection) και η σκέδαση (scattering) μπορεί να επηρεάσουν την ισχύ του σήματος στις ρυθμίσεις διάδοσης σε εσωτερικούς χώρους, κάτι που αποτελεί κρίσιμη πρόκληση για τα συστήματα εντοπισμού που βασίζονται σε δακτυλικά αποτυπώματα. Αυτό το είδος μεθόδου εντοπισμού αναγνωρίζεται για την απλότητά του. Ωστόσο, πρέπει να συλλεχθούν αρκετά δεδομένα και οποιεσδήποτε αλλαγές στο περιβάλλον οδηγούν σε αλλαγές στα διαθέσιμα/αποθηκευμένα χαρακτηριστικά. Λόγω αυτών των αλλαγών, το σύνολο δεδομένων απαιτείται να ενημερώνεται περιοδικά, κάτι που απαιτεί επιπλέον χρόνο, προσπάθεια και κόστος. Επίσης, ενδέχεται να προκύψουν προβλήματα παρεμβολών με άλλες συσκευές, που λειτουργούν στις ίδιες ζώνες συχνοτήτων, συμπεριλαμβανομένων φούρνων μικροκυμάτων και συσκευών Bluetooth και να επηρεάσουν την ακρίβεια εντοπισμού. Η πιθανότητα δημιουργίας ενός συστήματος υψηλής ακρίβειας είναι δυνατή

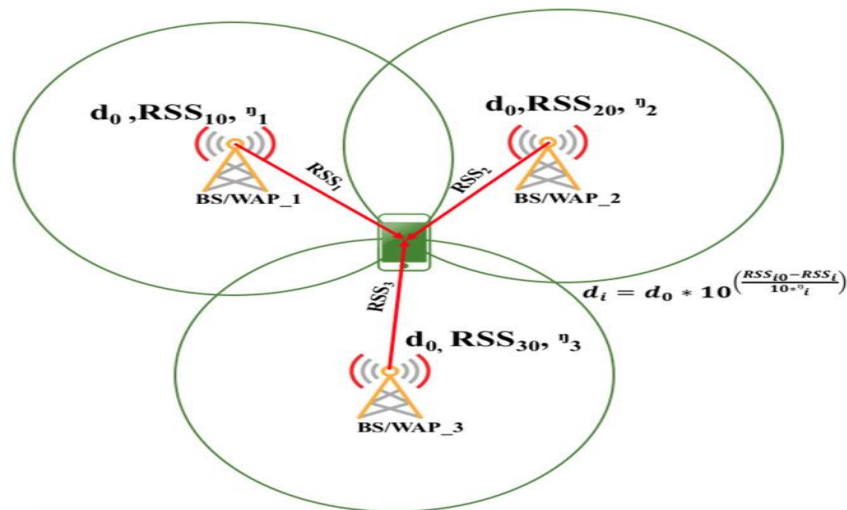
επειδή τα συστήματα RSS δεν βασίζονται σε έγκαιρες πληροφορίες και έτσι δεν υπάρχει απαίτηση για συγχρονισμό συσκευών.

Τα συστήματα εντοπισμού RSS είναι πιο έγκυρα σε μικρές αποστάσεις, αλλά σε σύγκριση με τα συστήματα TOA έχουν μικρότερη ακρίβεια σε μεγάλες αποστάσεις. Για τον εντοπισμό, ωστόσο, απαιτείται εκπαίδευση και περίπλοκοι αλγόριθμοι αντιστοίχισης. Το RSS είναι επίσης ευάλωτο στη σκίαση, στον χαμηλό σηματοθορυβικό λόγο (Signal to Noise Ratio SNR) και στη διάδοση Χωρίς Οπτική Επαφή (No Line of Sight – NLOS) [37].

Επιπλέον, υπάρχουν πολλές προκλήσεις στη χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης (Machine Learning – ML) οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την αντιστοίχιση στην διαδικασία της επεξεργασίας των σημάτων RSS. Είναι αρκετά χρονοβόρα διαδικασία, η πολυπλοκότητα του περιβάλλοντος παίζει σημαντικό ρόλο, καθώς και η χωρητικότητα αποθήκευσης και η υπολογιστική ισχύς αποτελεί παράγοντα δυσκολίας υλοποίησης. Πολλοί αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης έχουν προταθεί για τη δημιουργία ενός μοντέλου για την πρόβλεψη τοποθεσίας σε εσωτερικό χώρο σε πραγματικό χρόνο με αποδεκτή ακρίβεια. Ορισμένα από αυτά απαιτούν τεράστιο όγκο δεδομένων για να εκπαιδευτούν. Για το σκοπό αυτό, ο χρόνος και η πολυπλοκότητα της μνήμης αυξάνονται καθώς απαιτούνται περισσότερες φορές για την εκπαίδευσή τους. Περισσότερη ανάλυση τέτοιων συστημάτων γίνεται στο Κεφάλαιο 5.

### 2.3.2.2 Τεχνική Ραδιοδιάδοσης RSSI (RSSI Radio Propagation Technique)

Τα συστήματα εντοπισμού που βασίζεται σε αυτή την τεχνική λειτουργούν μετρώντας την ισχύ του σήματος μεταξύ μιας κινητής συσκευής/στόχου και πολλαπλών διακριτών BS/WAP, και στη συνέχεια ενσωματώνοντας αυτά τα δεδομένα με μια τεχνική μοντελοποίησης υπολογίζεται η απόσταση μεταξύ της συσκευής στόχου και των BS/WAP. Για τον υπολογισμό της θέσης της συσκευής/στόχου σε σχέση με τη γνωστή θέση των σταθερών σταθμών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνικές τριπλοποίησης (trilateration) όπως παρουσιάζονται στην *Εικόνα 13*.



Εικόνα 13. Τεχνική Ραδιοδιάδοσης RSS [24]

Αν και αποτελεί μια τεχνική χαμηλού κόστους και πιο εύκολα στην διαχείρισή της κατά την εφαρμογή της, έχει το μειονέκτημα ότι δεν παρέχει εξαιρετική ακρίβεια. Το σφάλμα τοποθεσίας είναι περίπου 2 έως 4 μέτρα., καθώς οι ενδείξεις RSSI κυμαίνονται λόγω αλλαγών στην περιοχή δοκιμών ή στην εξασθένιση λόγω πολλαπλών διαδρομών (multipath fading) [38].

Σε αυτή την μέθοδο χρειάζεται για τον υπολογισμό του RSSI η γνώση του εκτιμώμενου παράγοντα απώλειας διαδρομής για το αντίστοιχο περιβάλλον. Ωστόσο, κατά τη μέτρηση της απόστασης μεταξύ BS/WAP και της συσκευής/στόχου, οι περισσότεροι από τους ερευνητές αντιμετώπισαν ορισμένες προκλήσεις λόγω του προσδιορισμού του εκθέτη απώλειας διαδρομής, των παραμέτρων διάδοσης του σήματος και των συνθηκών της περιοχής. Η παρακάτω εξίσωση (2.2) μπορεί να θεωρηθεί για τον προσδιορισμό της απόστασης μεταξύ της συσκευής-στόχου και των BS/WAP [39]:

$$d_i = d_o * 10^{\left(\frac{RSS_{i0} - RSS_i}{10 * \eta_i}\right)} \quad (2.2)$$

Όπου :

- $d_i$  είναι η απόσταση μεταξύ της συσκευής-στόχου και BS,
- $d_o$  είναι η εκτιμώμενη υπολογισμένη απόσταση,
- $RSS_{i0}$  είναι η τιμή για την απόσταση  $d_o$ ,
- $RSS_i$  Είναι η μετρούμενη ισχύς σήματος για τα λαμβανόμενα σήματα των BS/WAP,
- $\eta_i$  Ο υπολογισμένος εκθέτης απώλειας διαδρομής για τα λαμβανόμενα σήματα BS/WAP,

### 2.3.3 Τεχνική που βασίζεται στο Όραμα (Vision Based Techniques)

Η τεχνική εντοπισμού βάσει οράματος είναι ένα είδος ανάλυσης που λαμβάνει χαρακτηριστικά από τοποθεσίες με χρήση βίντεο και εικόνων χωρίς να λαμβάνει υπόψη τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα. Στη συνέχεια, υπολογίζει τη θέση της συσκευής/στόχου συγκρίνοντας διαδικτυακές μετρήσεις/χαρακτηριστικά με τα πλησιέστερα εξαγόμενα χαρακτηριστικά [35]. Για την συλλογή και εξαγωγή πληροφοριών/χαρακτηριστικών σχετικά με εσωτερικούς χώρους, αυτές οι τεχνικές χρησιμοποιούν πανκατευθυντικές (omnidirectional), τρισδιάστατες ή ενσωματωμένες κάμερες που υπάρχουν στα έξυπνα κινητά τηλέφωνα (smartphones).

Στην τεχνική αυτή, πρέπει να χρησιμοποιούνται μέθοδοι επεξεργασίας εικόνας κατά την διαδικασία εξαγωγής χαρακτηριστικών. Επίσης, χρησιμοποιούνται και αλγόριθμοι ομαδοποίησης και αντιστοίχισης. Τα τελευταία χρόνια, τα συστήματα πλοήγησης που βασίζονται σε αυτή την τεχνική έχουν συμπεριλάβει τεχνολογίες βαθιάς εκμάθησης (Deep Learning) εκτός από τις παραδοσιακές. Τα παραπάνω συστήματα χρησιμοποιούν επίσης αλγόριθμους εκτίμησης θέσης «Ego-Motion», για την εκτίμηση των εσωτερικών θέσεων. Η μέθοδος Ego-Motion υπολογίζει τη θέση της κάμερας σε σχέση με το περιβάλλον της.

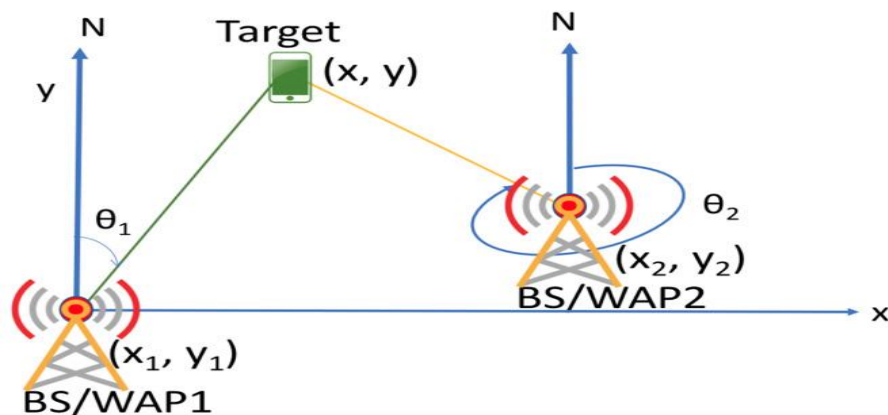
Σε πειράματα σε πραγματικό χρόνο, τα συστήματα που δημιουργούνται μπορούν να βοηθήσουν αποτελεσματικά τους χρήστες με μικρή εξωτερική βοήθεια. Οι συγγραφείς στο [40] επινόησαν ένα σύστημα για την ανίχνευση θυρών, για να βοηθήσουν άτομα με προβλήματα

όρασης να εισέλθουν σε νέους για αυτούς εσωτερικούς χώρους . Το προτεινόμενο πρωτότυπο περιλαμβάνει μια μικρή κάμερα εγκατεστημένη στο κεφάλι που καταγράφει την εικόνα και έναν υπολογιστή που παράγει ομιλία με βάση έναν αλγόριθμο ανίχνευσης αντικειμένων. Το σύστημα αναγνωρίζει δυναμικά εμπόδια και προσαρμόζει τον σχεδιασμό κατεύθυνσης σε πραγματικό χρόνο για να αυξήσει την ασφάλεια.

#### 2.3.4 Τεχνική Εντοπισμού με βάση την Γωνία (Angle Based Method – Angulation)

Η παραπάνω μέθοδος αποτελεί μια κατευθυντική τεχνική που χρησιμοποιείται στην προσέγγιση της γωνίας άφιξης ΑΟΑ από πολλούς αναμεταδότες. Είναι μια τεχνική για τον εντοπισμό μιας συσκευής/στόχου με τον υπολογισμό των γωνιών πολλών σταθερών σταθμών με τον Βόρειο Πόλο [41]. Το ΑΟΑ είναι μία από τις προσεγγίσεις τριγωνοποίησης που χρησιμοποιούν γωνίες που μετρούνται από πομπούς σε καθορισμένες θέσεις για την εκτίμηση της θέσης μιας κινητής συσκευής στόχου, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 14*.

Οι κεραιές της μεθόδου αυτής είναι κατευθυντικές. Η μέτρηση ΑΟΑ είναι μια διαδικασία υπολογισμού της κατεύθυνσης μεταξύ της συσκευής στόχου και των σταθερών σταθμών. Οι μετρήσεις χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της γωνίας στην οποία μια κινητή συσκευή δέχεται τα σήματα από πολλούς σταθερούς σταθμούς σε μια γνωστή τοποθεσία. Για την εκτίμηση μιας θέσης σε ένα 2D χώρο, η μέθοδος ΑΟΑ απαιτεί μόνο δύο σταθερούς σταθμούς. Αν και, για να αυξηθεί η ακρίβεια της εκτίμησης θέσης, χρειάζονται τρεις ή περισσότεροι σταθεροί σταθμοί. Για την εύρεση κατεύθυνσης απαιτούνται κεραιές ή συστοιχίες κεραιών υψηλής κατεύθυνσης [42]. Η τομή δύο γραμμών από γνωστές θέσεις αναφοράς μπορεί να προσδιοριστεί χρησιμοποιώντας γεωμετρικές σχέσεις, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 14*.



Εικόνα 14. Τεχνική Ανίχνευσης με βάση την Γωνία [24]

Η παρακάτω εξίσωση μας δίνει την θέση της συσκευής και υπολογίζεται δίνοντας δύο ή περισσότερες κατευθύνσεις από σταθερούς σταθμούς προς την ίδια συσκευή:

$$y = \frac{y * \tan(\theta_2) - x_2}{\tan(\theta_2) - \tan(\theta_1)} \quad (2.3)$$

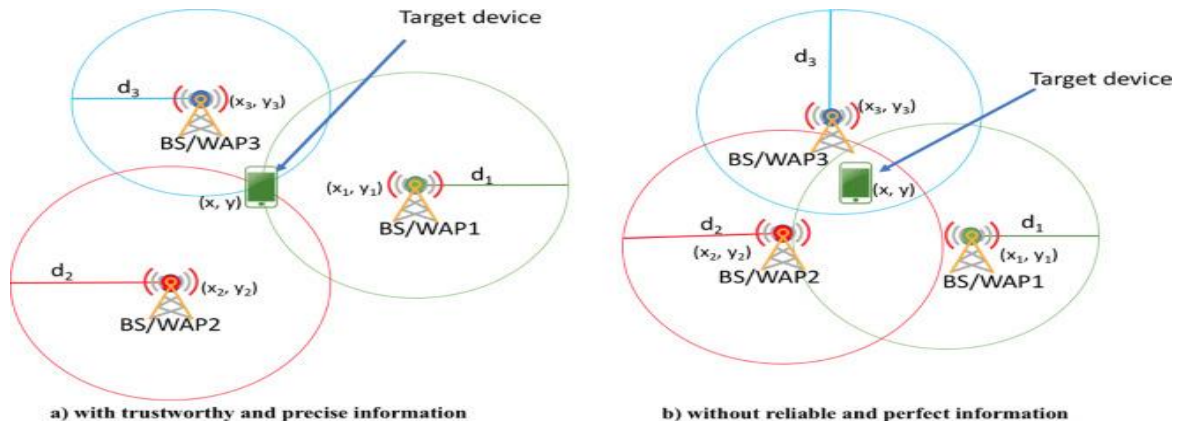
$$x = y * \tan(\theta_1) \quad (2.4)$$

Για τον εντοπισμό της συσκευής/στόχου χρειάζονται δύο γωνίες μία μεταξύ της κατεύθυνσης των σταθερών σταθμών προς τον στόχο με τον Βόρειο Πόλο και μία μέτρηση απόστασης μεταξύ των σταθμών. Όταν μπορεί να μετρηθεί η απόσταση μεταξύ των δύο, όπου  $(x_1, y_1)$  και  $(x_2, y_2)$  είναι οι τιμές συντεταγμένων X, Y των θέσεων των BS/WAP<sub>1</sub> και BS/WAP<sub>2</sub> αντίστοιχα, τα  $\theta_1, \theta_2$  είναι οι γωνίες AOA για τα λαμβανόμενα σήματα BS/WAP και  $(x, y)$  είναι οι τιμές συντεταγμένων της τοποθεσίας του κινητού στόχου.

Οι παραπάνω τεχνικές, που βασίζονται στο AOA έχουν μια σειρά από μειονεκτήματα. Αυτό περιλαμβάνει την ανάγκη για περισσότερες κεραιές για τη μέτρηση των γωνιών για τη βελτίωση της ακρίβειας του συστήματος, γεγονός που αυξάνει αμέσως το κόστος υλοποίησης. Επίσης πάσχουν από ζητήματα διάδοσης σήματος πολλαπλών διαδρομών και σε περιπτώσεις διάδοσης χωρίς οπτική επαφή (No Line of Sight – NLOS). Μια άλλη δυσκολία που επηρεάζει τις μετρήσεις AOA, ειδικά σε εσωτερικά περιβάλλοντα, είναι οι αντανακλάσεις που οφείλονται σε αντικείμενα και τοίχους, επομένως η εφαρμογή σε εσωτερικούς χώρους δεν είναι πάντα η βέλτιστη [43]. Εξαιτίας αυτών των παραγόντων, η κατεύθυνση άφιξης του σήματος μπορεί να αλλάξει σημαντικά, γεγονός που μειώνει την ακρίβεια των συστημάτων εντοπισμού εσωτερικού χώρου που βασίζονται σε μετρήσεις AOA.

### 2.3.5 Τεχνική Εντοπισμού με βάση τον Χρόνο (Time Based Technique – Lateration)

Σε αυτή την μέθοδο για τον υπολογισμό της θέσης, η γενική ιδέα είναι ότι μια θέση πρέπει να ορίζεται από τουλάχιστον τρία σταθερά σημεία, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 15*. Για τον υπολογισμό της θέσης ενός αντικειμένου στόχου, χρησιμοποιείται η γνωστή απόσταση μεταξύ τουλάχιστον τριών σταθερών σταθμών σε ένα δισδιάστατο περιβάλλον ή τεσσάρων σταθερών σταθμών σε ένα τρισδιάστατο περιβάλλον όπως ακριβώς η επιφάνεια της γης.



Εικόνα 15. Τεχνική Ανίχνευσης με βάση την Γωνία [24]

Μια διαφορετική εφαρμογή του παραπάνω είναι η χρησιμοποίηση της μεθόδου για τον εντοπισμό της τομής των κύκλων. Το κέντρο καθενός από τους κύκλους είναι η θέση ενός σταθερού σταθμού και οι ακτίνες καθενός από τους κύκλους είναι η απόσταση του σταθμού από τη συσκευή στόχο. Με αξιόπιστες και ακριβείς πληροφορίες, η προσέγγιση αυτή προβλέπει μια σωστή, μοναδική τοποθεσία η οποία θα βρίσκεται ακριβώς στο σημείο τομής των κύκλων, όπως *Εικόνα 15a*.

Από την άλλη, χωρίς αξιόπιστες και ακριβείς πληροφορίες οι κύκλοι δεν θα τέμνονται σε ένα μόνο σημείο. Για το σκοπό αυτό, η εκτιμώμενη τοποθεσία θα βρίσκεται σε μια μεγάλη περιοχή που βρίσκεται μεταξύ των διασταυρώσεων των κύκλων. Σε αυτήν την περίπτωση, μια εκτίμηση της θέσης προσδιορίζεται παρατηρώντας το σημείο που ελαχιστοποιεί το εύρος σε όλες τις σφαίρες ή τους κύκλους ταυτόχρονα όπως φαίνεται στην *Εικόνα 15b*. Για αυτή τη διαδικασία χρησιμοποιείται η εκτίμηση του ελάχιστου τετραγώνου [44].

Οι τεχνικές που βασίζονται στον χρόνο υπολογίζουν την απόσταση μεταξύ της κινητής συσκευής στόχου και των διαφόρων σταθερών σταθμών μετρώντας το χρόνο διάδοσης του σήματος TOF. Μια μεγάλη ποικιλία μεθόδων εντοπισμού έχει προταθεί με βάση το TOF, το οποίο είναι η μέτρηση του χρόνου διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος από τον πομπό στον δέκτη [45]. Για τον προσδιορισμό της χρονικής διαφοράς μεταξύ των πομπών που τοποθετούνται στο περιβάλλον εντοπισμού, παρέχονται δύο μεγέθη, TOA και TDOA.

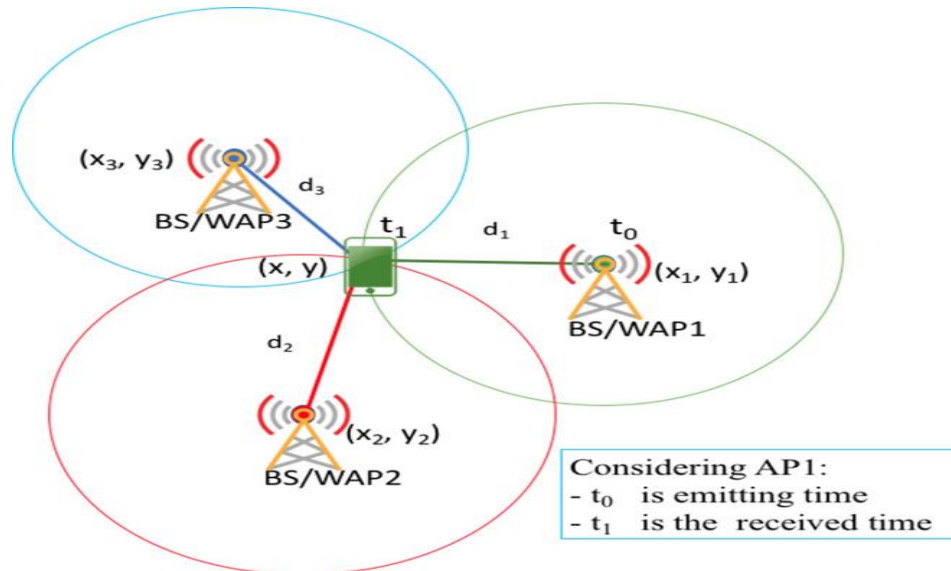
### 2.3.5.1 Τεχνική Εντοπισμού με τον Χρόνου Αφίξης (Time of Arrival - TOA)

Η τεχνική TOA ή Χρόνου Πτήσης (Time of Flight), βασίζεται στον υπολογισμό του χρόνου διάδοσης του σήματος μεταξύ του πομπού και του δέκτη, όταν και οι δύο πρέπει να είναι απόλυτα συγχρονισμένοι. Επίσης, η ταχύτητα φωτός πολλαπλασιαζόμενη με το χρόνο ισούται με την απόσταση [46]. Για τον υπολογισμό θέσης, απαιτείται ο χρόνος εκπομπής και ο χρόνος διάδοσης, όπου ο χρόνος διάδοσης ισούται με τον χρόνο άφιξης μείον τον χρόνο εκπομπής. Ο χρόνος διάδοσης καθορίζει την απόσταση πομπού-δέκτη  $d$  όπως εκφράζεται στην παρακάτω εξίσωση:

$$d = T * c \quad (2.5)$$

Όπου:  $d$ : είναι η απόσταση πομπού-δέκτη,  
 $T$ : είναι ο χρόνος πτήσης,  
 $c$ : είναι η ταχύτητα του φωτός ( $3 \times 10^8 \text{ m/s}^2$ )

Η θέση του στόχου προσδιορίζεται από τη μέτρηση TOA και τη γεωμετρική σχέση μεταξύ τους, και συγκεκριμένα μέσω κυκλικών τομών όπου οι ακτίνες τους είναι η απόσταση μεταξύ καθενός από αυτούς και του στόχου όπως απεικονίζεται στην *Εικόνα 16*.



Εικόνα 16. Τεχνική Ανίχνευσης TOA [24]

Όταν το BS/WAP<sub>1</sub> στέλνει το σήμα στο κινητό στόχο τη χρονική στιγμή  $t_0$ , τότε η κινητή συσκευή, λαμβάνει το σήμα τη στιγμή  $t_1$ , και υπολογίζει τον χρόνο πτήσης  $T$  μέσω της εξίσωσης [47].

$$T = t_0 - t_1 \quad (2.6)$$

Για έναν ακριβή εντοπισμός απαιτούνται τουλάχιστον τρία BS/WAP, καθώς μια μεμονωμένη μέτρηση TOA εντοπίζει τις συντεταγμένες του κινητού στόχου μόνο σε μία σφαίρα.

### 2.3.5.2 Τεχνική Εντοπισμού με Διαφορά Χρόνου Άφιξης (TDOA)

Η διαφορά μεταξύ TOA από τα APs (BS/WAP) προς τον στόχο είναι γνωστή ως Διαφορά Χρόνου Άφιξης (Time Difference of Arrival - TDOA), η οποία είναι και η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη τεχνική μέτρησης απόστασης. Είναι ελαφρώς πιο ευέλικτη από την TOA και αυτό γιατί η TDOA απαιτεί μόνο τον χρόνο λήψης του σήματος και την ταχύτητα με την οποία ταξιδεύει, όχι τον χρόνο μετάδοσης του σήματος από την πλευρά του δέκτη [48].

Για να εκτιμηθεί η ακριβής θέση της συσκευής στόχου, απαιτούνται συνήθως τρεις ή τέσσερις σταθεροί σταθμοί σε γνωστές τοποθεσίες. Οι σταθμοί αυτοί στέλνουν συγχρονισμένα σήματα στον κινητό κόμβο ή το αντίστροφο. Στη συνέχεια, αυτές οι χρονικές μετρήσεις θα αποθηκευτούν ως ξεχωριστά χρονικά σημεία. Αυτές οι μετρήσεις αναλύονται από μια μηχανή εντοπισμού θέσης, η οποία υπολογίζει τις διαφορές απόστασης μεταξύ ενός ζεύγους σταθερών σταθμών με τη συσκευή στόχο. Η διαφορά στο TOA, μεταξύ της συσκευής στόχου και των δύο ή περισσότερων σταθερών σταθμών, χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της περιοχής μεταξύ της συσκευής στόχου και των δύο σταθερών σταθμών μετά τη λήψη του σήματος στους σταθερούς σταθμούς. Η εξίσωση (2.7) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό αυτής της διαφοράς:



$$\Delta d = c * \Delta t \quad (2.7)$$

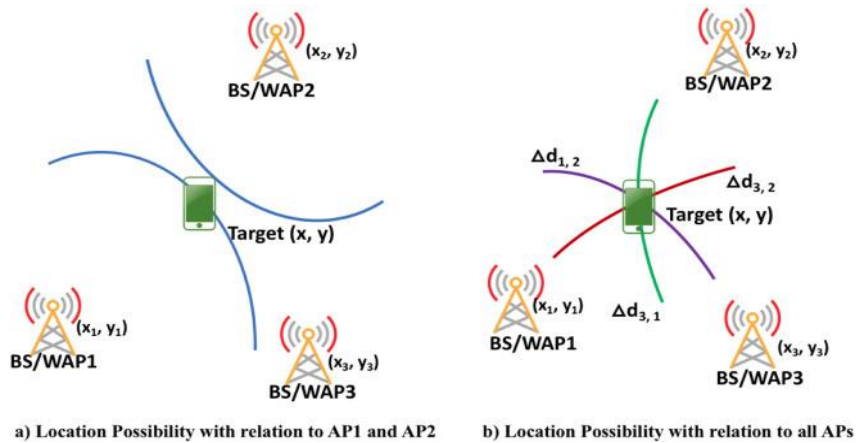
Όπου:  $c$ : είναι η ταχύτητα του φωτός,

$\Delta d$ : είναι η διαφορά των χρονικών αφίξεων σε κάθε σταθερό σταθμό και μπορεί να υπολογιστεί μέσω της εξίσωσης:

$$\Delta d = \sqrt{(x_2 - x)^2 - (y_2 - y)^2} - \sqrt{(x_1 - x)^2 - (y_1 - y)^2} \quad (2.8)$$

Οι γνωστές θέσεις των σταθερών σταθμών,  $BS/WAP_1$ ,  $BS/WAP_2$  και  $BS/WAP_3$ , είναι  $(x_1, y_1)$   $(x_2, y_2)$   $(x_3, y_3)$  αντίστοιχα. Αυτή η εξίσωση μπορεί να μετατραπεί σε υπερβολή χρησιμοποιώντας μη γραμμική παλινδρόμηση. Μετά τον υπολογισμό ενός επαρκούς αριθμού υπερβολών, η τομή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της θέσης του στόχου  $(x, y)$ .

Σε μια άγνωστη στιγμή, ο στόχος στέλνει ένα σήμα το οποίο λαμβάνεται από το  $BS/WAP_1$  σε χρόνο  $t_1$ , το  $BS/WAP_2$  σε χρόνο  $t_2$  και το  $BS/WAP_3$  σε χρόνο  $t_3$ . Όπως απεικονίζεται στην [Εικόνα 17α](#), η διαφορά στο εύρος  $d$  υπολογίζεται μεταξύ  $BS/WAP_1$  και  $BS/WAP_2$  και σχεδιάζεται η υπερβολή των πιθανών θέσεων. Επειδή αυτή η υπερβολή έχει δύο κλάδους, θα είναι πολύ πιο δύσκολο να προσδιοριστεί η τομή. Ένας από τους κλάδους μπορεί να εξαλειφθεί εάν είναι γνωστή η κατά προσέγγιση θέση της συσκευής-στόχου. Στην περίπτωση αυτή, ο επάνω κλάδος εξαλείφεται. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για τα άλλα ζεύγη σταθερών σταθμών, με το αποτέλεσμα να απεικονίζεται στην [Εικόνα 17β](#). Το αποτέλεσμα της διαδικασίας δείχνει την θέση του στόχου και βρίσκεται στη διασταύρωση των τριών υπερβολών.



Εικόνα 17. Τεχνική Ανίχνευσης με βάση TD OA [24]

Τα μειονεκτήματα της προσέγγισης TD OA είναι παρόμοια με αυτά της μεθόδου TOA. Απαιτείται συγχρονισμός του ρολογιού των σταθερών σταθμών για το TD OA, ενώ στην προσέγγιση TOA απαιτείται ο συγχρονισμός του ρολογιού μεταξύ του στόχου και των σταθερών σταθμών.

Και με τις δύο μεθόδους, η ακρίβεια της θέσης συνδέεται με την ακρίβεια των ρολογιών που χρησιμοποιούνται στους κόμβους. Τόσο το TD OA όσο και το TOA είναι επίσης ευαίσθητα σε φαινόμενα πολλαπλών διαδρομών, θορύβου και παρεμβολών. Επιπλέον, σε περιβάλλον χαμηλού εύρους ζώνης, είναι δύσκολο να εφαρμοστούν. Επιπλέον, προτιμώνται μόνο όταν είναι

διαθέσιμα σε διαδώσεις με οπτική επαφή - LOS, συμπεριλαμβανομένων των ανοιχτών χώρων ή ενός μεγάλου ανοιχτού κτιρίου.

### 2.3.5.3 Τεχνική Εντοπισμού με τον Χρόνο Μετ'επιστροφής (Round Trip Time – RTT)

Για την εκτίμηση της εμβέλειας χρησιμοποιείται επίσης και η μέθοδος RTT. Η διάρκεια σε χρόνο μετρούμενο σε χιλιοστά του δευτερολέπτου που χρειάζεται για να μεταδοθεί ένα πακέτο δεδομένων από το BS/WAP σε μια συσκευή/στόχο συν το χρόνο που χρειάζεται για να ληφθεί ένα πακέτο απόκρισης πίσω προς το BS/WAP ονομάζεται RTT, όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω εξίσωση:

$$RTT_i = (t_{i2} - t_{i1}) + (t_{i4} - t_{i3}) \quad (2.9)$$

Όπου ο εκτιμώμενος χρόνος για κάθε λαμβανόμενο σήμα ενός BS/WAP είναι  $RTT_i$ , με το  $i$ , να αποτελεί τον αριθμό του εκάστοτε BS και τα  $t_{i1}, t_{i4}$  είναι οι μετρούμενοι χρόνοι των εκπεμπόμενων λαμβανομένων σημάτων από τον στόχο και  $t_{i2}, t_{i3}$ , είναι οι αντίστοιχοι χρόνοι από τα BS/WAP.

Στην συνέχεια ο χρόνος RTT της παραπάνω εξίσωσης χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του TOF με τον εξίσωση [49]:

$$TOF_i = \left( \frac{RTT_i}{2} \right) - \Delta t_i \quad (2.10)$$

Όπου  $TOF_i$ , είναι ο χρόνος πτήσης από τον εκάστοτε σταθμό BS/WAP προς τον στόχο και  $\Delta t_i$  είναι ο χρόνος καθυστέρησης επεξεργασίας σημάτων από τον δέκτη και τους πομπούς όπως παρουσιάζεται στην [Εικόνα 18](#).

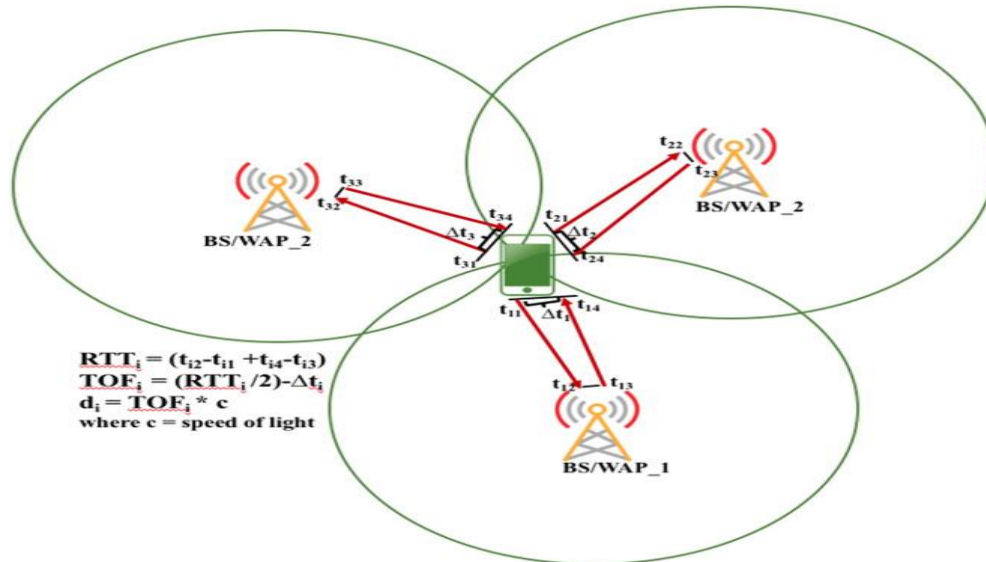
Τέλος η μέτρηση της απόστασης του εκάστοτε BS/WAP και του στόχου βρίσκεται από τον τύπο:

$$d_i = TOF_i * c \quad (2.11)$$

Όπου  $d_i$  είναι η μέτρηση της απόστασης μεταξύ BS και στόχου και  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$  η ταχύτητα του φωτός.

Σε εσωτερικά περιβάλλοντα, τα εμπόδια, συμπεριλαμβανομένων των τοίχων, των οροφών, των θυρών και άλλων υλικών, ενδέχεται να προκαλέσουν εξασθένηση λόγω πολλαπλών διαδρομών, γεγονός που καθιστά το RTT ανακριβές. Πρόσφατα, έρευνες το έλυσαν αυτό χρησιμοποιώντας ανάλυση διαδρομής σήματος ή στατιστική διόρθωση για τη σταθεροποίηση της απόστασης μεταξύ πομπού και δέκτη.

Ωστόσο, πολλοί παράγοντες επηρεάζουν το RTT κατά την ταυτόχρονη μετάδοση και λήψη [50]. Αυτό περιλαμβάνει (1) θόρυβο λόγω της κατάστασης LOS/NLOS, (2) σφάλματα μέτρησης λόγω μη λήψης και (3) παραμόρφωση του σήματος λόγω καθυστέρησης. Επιπλέον, η μέτρηση RTT επηρεάζεται από έναν αριθμό άλλων παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων των καθυστερήσεων επεξεργασίας, ουράς(queuing) και κωδικοποίησης. Για ένα δεδομένο ζεύγος τελικών σημείων επικοινωνίας (BS/WAP και συσκευή/στόχο), αυτοί οι παράγοντες συνήθως θεωρούνται σταθεροί. Για τον υπολογισμό της καθυστέρησης στον χρόνο άφιξης TOA, χρησιμοποιούνται τόσο το ρολόι της συσκευής/στόχου όσο και τα ρολόγια των BS/WAP, αλλά στο RTT, μόνο το ρολόι της κινητής συσκευής στόχου. Ως αποτέλεσμα, το RTT μειώνει την ανάγκη για συγχρονισμό ρολογιού μεταξύ της συσκευής-στόχου και των BS/WAP. Ωστόσο, το μειονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι οι υπολογισμοί απόστασης πρέπει να εκτελούνται ταυτόχρονα από πολλά BS/WAP, γεγονός που θα οδηγήσει σε προβληματικές καθυστερήσεις για εφαρμογές Υπηρεσιών Βασισμένης στην Τοποθεσία (LBS) καθώς οι κινητές συσκευές-στόχοι κινούνται ταχύτατα. Επιπλέον, λόγω του τεράστιου αριθμού πλαισίων που ανταλλάσσονται μεταξύ των φορητών συσκευών-στόχων και των BS/WAP, αυτή η τεχνική δημιουργεί σημαντικό όγκο φόρτου κίνησης δικτύου [51].



Εικόνα 18. Τεχνική με την μέθοδο RTT [24]

### 2.3.6 Τεχνική Εντοπισμού Νεκρού Απολογισμού (Dead Reckoning Technique)

Η τεχνική νεκρού απολογισμού (Dead Reckoning - DR) είναι η εκτίμηση της τρέχουσας θέσης ενός κινητού αντικειμένου χρησιμοποιώντας μια προηγουμένως υπολογισμένη θέση και στη συνέχεια η ενσωμάτωση της εκτιμώμενης ταχύτητας, της πορείας κίνησης και της διαδρομής με την πάροδο του χρόνου [23].

Η τεχνική μπορεί να είναι επωφελής για την υπέρβαση των περιορισμών της τεχνολογίας του GPS/GNSS. Παρέχει πλοήγηση υψηλής ακρίβειας υπολογίζοντας την τρέχουσα τοποθεσία

χρησιμοποιώντας δεδομένα από πολλούς αισθητήρες, όπως γυροσκόπιο (gyroscope), επιταχυνσιόμετρο (accelerometer), παλμό ταχύτητας και αισθητήρες μαγνητομέτρου, ακόμη και όταν η τεχνολογία GPS/GNSS είναι προβληματική ή αδύνατη.

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται συχνά στα συστήματα πλοήγησης οχημάτων. Επιπλέον, σε αντίθεση με την τεχνική που βασίζεται σε RSS, η τεχνική DR χρειάζεται μια θέση αναφοράς για τον υπολογισμό της επόμενης θέσης μέσω εκτίμησης του μήκους του βήματος και της κατεύθυνσης (αλλαγή γωνίας). Η θέση αναφοράς μπορεί να ληφθεί μέσω άλλων τεχνολογιών εντοπισμού θέσης όπως το GNSS. Το μήκος του βήματος υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τον αισθητήρα επιταχυνσιόμετρου και η κατεύθυνση μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας το γυροσκόπιο.

Τα κύρια πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι το χαμηλό κόστος και η ευκολία υλοποίησης. Ωστόσο, πάσχει από ορισμένους περιορισμούς, όπως το ότι πρέπει να προσδιοριστεί η θέση αναφοράς και η δημιουργία σωρευτικών σφάλματων [52].

### 2.3.7 Τεχνική Εντοπισμού Αντιστοίχισης Χάρτη (Map-Matching technique -MM)

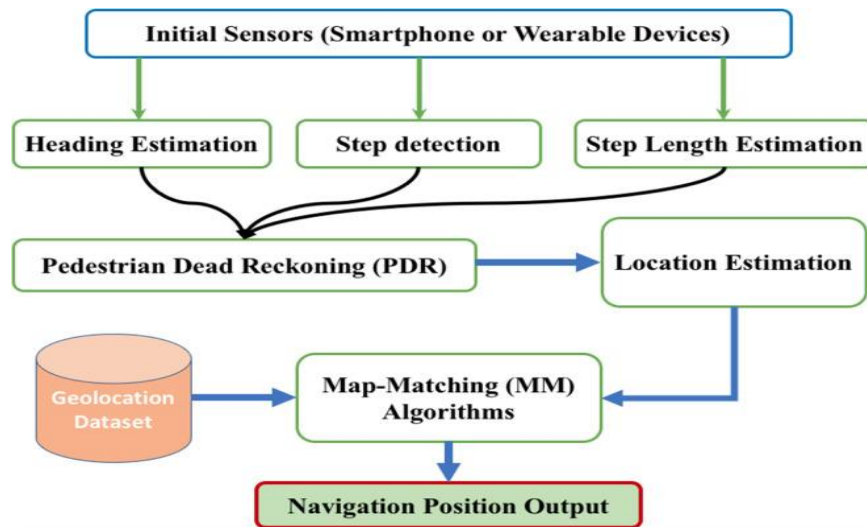
Η διαδικασία σύνδεσης της εκτιμώμενης θέσης της κινητής συσκευής στόχου με τις γεωγραφικές πληροφορίες που ανακτώνται από τον ψηφιακό χάρτη είναι γνωστή ως Αντιστοίχισης χάρτη (MM). Στην *Εικόνα 19* απεικονίζεται ένας συνδυασμός τεχνικών MM και DR. Οι αλγόριθμοι αντιστοίχισης χαρτών χρησιμοποιούν εκ των προτέρων γνώση των γεωγραφικών χαρακτηριστικών για να βελτιώσουν την πλοήγησης μιας συσκευής/στόχου, εντοπίζοντας τις πραγματικές 2D ή 3D συντεταγμένες του στόχου μέσα στην περιοχή κίνησης [53]. Αυτή η διαδικασία εκτελείται μέσω της χρήσης αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, συμπεριλαμβανομένων αλγορίθμων αναγνώρισης προτύπων.

Ο ταυτόχρονος εντοπισμός και χαρτογράφηση (Simultaneous Localization and Mapping - SLAM) είναι ένα κρίσιμο χαρακτηριστικό για την «έξυπνη» ρομποτική, συμπεριλαμβανομένης της παράδοσης δεμάτων με drone και της αυτόνομης οδήγησης. Στοχεύει στο να προβλέψει τις στάσεις του ρομπότ και ταυτόχρονα να δημιουργήσει έναν χάρτη του άγνωστου περιβάλλοντος χρησιμοποιώντας δεδομένα από αισθητήρες συμπεριλαμβανομένων Ανίχνευση φωτός και εμβέλειας (Light Detection and Ranging - LiDAR) και κάμερας [54].

Στο [55] οι συγγραφείς παρουσίασαν ένα νέο σύστημα πλήρους SLAM με υποβοήθηση εντοπισμού βάση LiDAR. Για την πρόβλεψη της τοποθεσίας, οι περισσότεροι διαθέσιμοι αλγόριθμοι βασίζονται σε γεωμετρικά δεδομένα και αγνοούν τις πληροφορίες «έντασης» στην τοποθεσία. Για να αυξηθεί η ακρίβεια εντοπισμού, η προτεινόμενη λύση χρησιμοποιεί αυτές τις πληροφορίες για την πρόβλεψη της.

Επιπλέον, οι πληροφορίες ψηφιακών χαρτών έχουν αποδειχθεί ότι διορθώνουν συσσωρευμένα σφάλματα σε αισθητήρες τύπου DR. Οι ψηφιακοί χάρτες, από την άλλη πλευρά, ενδέχεται να αντιμετωπίσουν σφάλματα, συμπεριλαμβανομένων των σφαλμάτων μετατόπισης. Το κύριο μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιείται στον εσωτερικό χώρο,

είναι η ανάγκη δημιουργίας και διατήρησης μιας τεράστιας βάσης δεδομένων με γνώσεις σχετικά με τη διάταξη ενός χώρου.

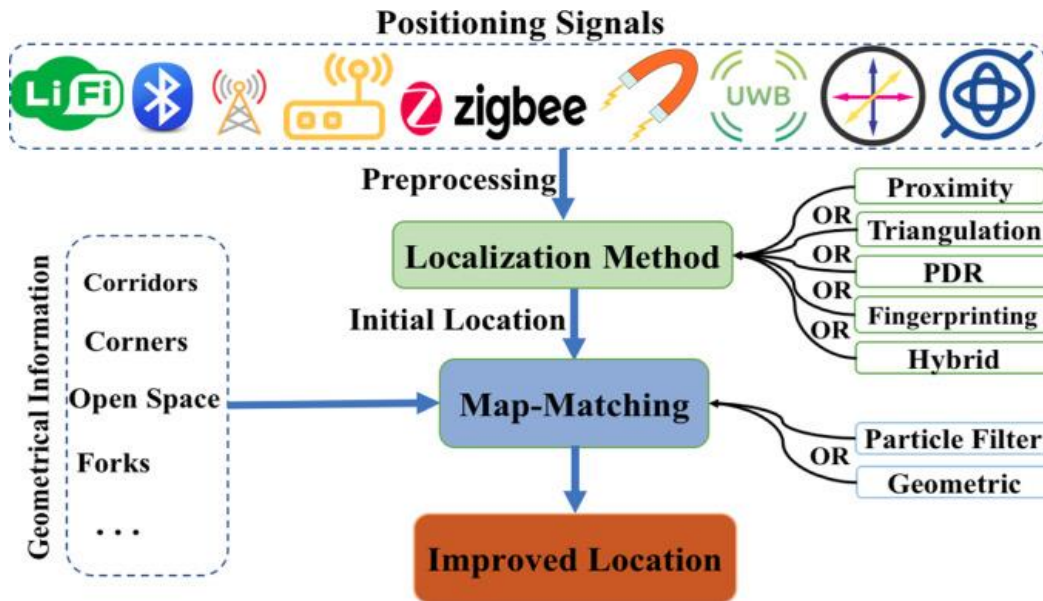


Εικόνα 19. Τεχνική MM με PDR [24]

### 2.3.8 Υβριδικές Τεχνικές Εντοπισμού

Για να βελτιωθεί η απόδοση εντοπισμού, πολλές συνδυασμένες τεχνικές εντοπισμού προτείνονται με τον αποτελεσματικό συνδυασμό δύο ή περισσότερων υπάρχουσών προσεγγίσεων, συμπεριλαμβανομένου του συνδυασμού (1) μετρήσεων AOA και RSSI, (2) TDOA με τεχνικές δακτυλικών αποτυπωμάτων και PDR με RSSI- τεχνικές δακτυλικών αποτυπωμάτων.

Η *Εικόνα 20* δείχνει μια μέθοδο συνδυασμού που δείχνει τη σχέση μεταξύ αντιστοίχισης χάρτη, γεωγραφικών χαρακτηριστικών και άλλων τεχνικών εντοπισμού. Τα αρχικά ευρήματα τοποθεσίας και οι γεωγραφικοί περιορισμοί από το εσωτερικό περιβάλλον τροφοδοτούνται σε αλγόριθμους αντιστοίχισης χαρτών, οι οποίοι επιστρέφουν τη βελτιωμένη τοποθεσία. Σύμφωνα με τα σήματα εντοπισμού, η αρχική θέση μπορεί να αποκτηθεί χρησιμοποιώντας τεχνικές εντοπισμού, όπως η εγγύτητα, η τριγωνοποίηση, το δακτυλικό αποτύπωμα, το DR με βάση τα σήματα από διαφορετικές τεχνολογίες. Αυτές οι τεχνολογίες μπορεί να περιλαμβάνουν Wi-Fi, UWB, κινητό, Zigbee, Mobile Inertial Sensors, Light, Camera ή/και Bluetooth.



Εικόνα 20: Υβριδικές Τεχνολογίες Εντοπισμού Θέσης [24]

## 2.4 Συμπεράσματα Κεφαλαίου

Σε αυτό το κεφάλαιο αναφερθήκαμε στις μετρήσεις που γίνονται για τον εντοπισμό της τοποθεσίας και οι οποίες χρησιμοποιούνται από πληθώρα τεχνικών εντοπισμού. Από τα όσα αναλύθηκαν για τις τεχνικές εντοπισμού, παρατηρούμε ότι καμία τεχνική εντοπισμού δεν μπορεί να αποδώσει τα μέγιστα. Η καθεμιά έχει ποικίλει ως προς την ακρίβειά τους αλλά κυρίως η διαθεσιμότητα.

Τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι τεχνικές εντοπισμού είναι:

- ♦ Η περίθλαση (diffraction), η ανάκλαση (reflection) και η σκέδαση (scattering) που επηρεάζουν την ισχύ των σημάτων RSS στη διάδοση σε εσωτερικούς χώρους.
- ♦ Η ραγδαία αλλαγή του περιβάλλοντος, οδηγεί σε δυσκολία αλλαγής των συλλεγόμενων δεδομένων τα οποία πρέπει να συγκεντρώνονται και να ενημερώνονται τακτικά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους και χρόνου.
- ♦ Η διάδοση NLOS επηρεάζει κάποια συστήματα (AOA) αρνητικά
- ♦ Η ανάγκη κάποιων τεχνικών για περισσότερες κεραίες (AOA) ή περισσότερων BS/AP για τις μετρήσεις αυτών για την βελτίωση της ακρίβειας των συστημάτων αυξάνει αμέσως το κόστος υλοποίησης.
- ♦ Οι αντανάκλασεις που οφείλονται σε εμπόδια συμπεριλαμβανόμενα σε αντικείμενα τοίχους, πόρτες και άλλων υλικών προκαλούν εξασθένηση πολλαπλών διαδρομών,
- ♦ Ο συγχρονισμός ο οποίος είναι απαραίτητος είναι παράγοντας χρήσης κάποιας τεχνικής (AOA- TDOA)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Κριτήρια Επίδοσης Συστημάτων Εντοπισμού.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναλύσαμε τις διάφορες τεχνικές οι οποίες χρησιμοποιούνται στην ανάπτυξη συστημάτων εντοπισμού. Η διαφορετικότητα των μεθόδων εντοπισμού αλλά και η δυνατότητα του συνδυασμού δύο ή περισσότερων διαφορετικών μεθόδων, καθιστούν την μεταξύ τους σύγκριση πιο δύσκολη αλλά και επιβεβλημένη.

Το παραπάνω έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη ύπαρξης κοινών κριτηρίων τα οποία να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της ποιότητας του εκάστοτε συστήματος συγκριτικά με τα υπόλοιπα. Στην βιβλιογραφία ορίζονται πολλά κριτήρια, όπως η ακρίβεια, η πολυπλοκότητα, η επεκτασιμότητα, η σταθερότητα, η ασφάλεια και το κόστος [24]. Αυτά τα κριτήρια επιτρέπουν στους ερευνητές να αξιολογήσουν την απόδοση των διαφορετικών συστημάτων εντοπισμού έχοντας μια κοινή βάση κριτηρίων.

Επίσης πολλά από τα κριτήρια είναι αλληλένδετα μεταξύ τους υπό την έννοια ότι δεν μπορεί να υπάρξει, τουλάχιστον για την ώρα, ένα σύστημα εντοπισμού το οποίο να καλύπτει στο έπακρο όλα τα κριτήρια.

Τέλος και κατά την σχεδίαση των συστημάτων εντοπισμού τα κριτήρια αυτά πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν για την καλύτερη σχεδίαση των συστημάτων, δηλαδή να έχουμε ξεκαθαρίσει τις απαιτήσεις του συστήματος με βάση τα κριτήρια που εμείς επιθυμούμε να επιτύχουμε.

### 3.1 Ακρίβεια Συστήματος Βάση Σφάλματος Απόστασης (Accuracy)

Ο όρος ακρίβεια (accuracy) είναι η ακρίβεια ενός συστήματος εντοπισμού και καθορίζεται από το υπολογιστικό σφάλμα απόστασης,  $d(x, y)$  μεταξύ των εκτιμώμενων συντεταγμένων του δέκτη  $x_e, y_e$  και των πραγματικών συντεταγμένων  $x_t, y_t$ . Και οι δύο συντεταγμένες είναι ισοδύναμες εάν η διαφορά τους είναι μηδέν. Δηλαδή εννοούμε το πόσο κοντά στην σωστή τοποθεσία μας δείχνουν οι μετρήσεις τους, δηλαδή κατά πόσο αυτές είναι σωστές με βάση την πραγματική θέση. Αυτό σημαίνει ότι οι συναρτήσεις απόστασης καθορίζουν πόσο κοντά βρίσκονται οι δύο συντεταγμένες. Σε αυτή την περίπτωση, η ακρίβεια μετριέται σε μέτρα.

Ωστόσο, σε ορισμένες μελέτες αντί να έχουμε απλώς δύο συντεταγμένες  $(x, y)$  μπορεί να χρησιμοποιηθούν διανύσματα ή πίνακες για τον προσδιορισμό των διαφορών των εκτιμώμενων θέσεων των μετρήσεων σε σχέση με τις πραγματικές. Τα στοιχεία, δεν χρειάζεται να είναι αποκλειστικά ακέραιοι. Διατίθενται διάφορες συναρτήσεις απόστασης για τον προσδιορισμό των διαφορών μεταξύ της πραγματικής και της εκτιμώμενης θέσης. Αυτό περιλαμβάνει το άθροισμα απόλυτης διαφοράς (Sum of Absolute Difference - SAD) [56], το άθροισμα της διαφοράς στο τετράγωνο (Sum of Squared Difference - SSD) [57], το μέσο απόλυτο σφάλμα (Mean Absolute Error - MAE) [58], το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (Mean Square Error - MSE) [58], την ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (Root Mean Square Error - RMSE) [58], και η Ευκλείδεια Απόσταση (Euclidian Distance) [59].

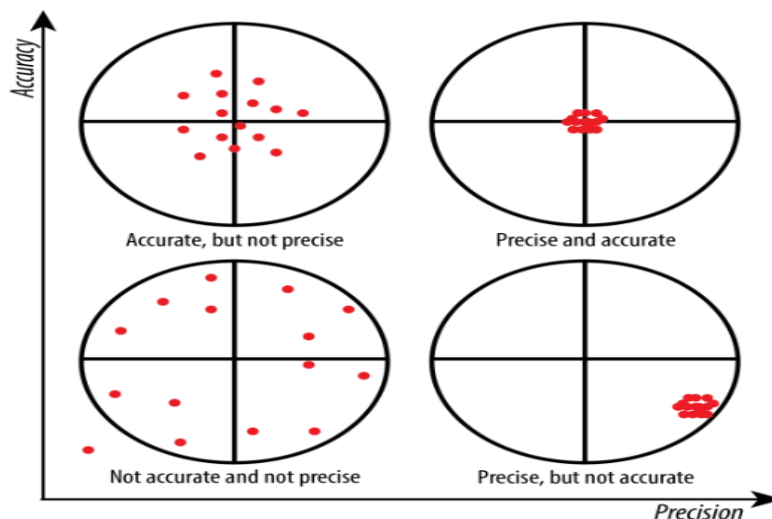
Η ακρίβεια λοιπόν του συστήματος συνδέεται με το σφάλμα απόστασης και αντικατοπτρίζει τη μέση τιμή σφάλματος. Αυτό το μέσο σφάλμα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερο για να διατηρείται μια ακριβής θέση. Όση περισσότερη ακρίβεια έχουμε τόσο καλύτερο είναι και το σύστημα. Παρόλα αυτά συνήθως υπάρχει ένα αντάλλαγμα μεταξύ της ακρίβειας του σφάλματος απόστασης και των υπολοίπων χαρακτηριστικών του.

### 3.2 Ακρίβεια Συστήματος με Βάση την Διακύμανσή της (Precision)

Ο όρος ακρίβειας (precision) είναι η ακρίβεια που μας δείχνει κατά πόσο σταθερή-συνεπής είναι μια τεχνική εντοπισμού με βάση την διακύμανσή της απόδοσής της μετά από πολλές δοκιμασίες. Αν τα ευρήματα είναι επαναλαμβανόμενα, οι μετρήσεις είναι ακριβείς, δηλαδή όταν οι μετρήσεις είναι κοντά η μία με την άλλη και δεν έχουν μεγάλες διακυμάνσεις. Όταν υπάρχουν περισσότερα εκτιμώμενα σημεία πιθανής τοποθεσίας γύρω από ένα συγκεκριμένο σημείο, το σύστημα γίνεται πιο ακριβές.

Εδώ ως κύριο χαρακτηριστικό χρησιμοποιείται η αθροιστική κατανομημένη συνάρτηση (Cumulative Distributed Function - CDF) του σφάλματος απόστασης. Εάν έχουμε δύο συστήματα με ακριβώς ίδια ακρίβεια του σφάλματος απόστασης (3.1), τότε το σύστημα με το καλύτερο συντελεστή CDF είναι προτιμότερο αφού παρουσιάζει πολύ πιο συχνά μικρότερα σφάλματα απόστασής γύρω από ένα συγκεκριμένο σημείο.

Παρόλο που οι μετρήσεις απόδοσης των παραγράφων (3.1) και (3.2) συνδέονται άρρηκτα, δεν μπορούν να εξισορροπηθούν σε όλες τις καταστάσεις συστημάτων εντοπισμού. Επιπλέον, για την περιγραφή του συστήματος εντοπισμού δεν αρκεί να γνωρίζουμε απλώς την ακρίβεια του. Τα δύο ανωτέρω κριτήρια είναι καλύτερα κατανοητά στην [Εικόνα 21](#) που απεικονίζει τη σχέση μεταξύ accuracy και precision.



Εικόνα 21: Διαφορά Accuracy – Precision[84]



### 3.3 Καθυστέρηση (Delay)

Η καθυστέρηση ενός συστήματος εντοπισμού θέσης και πιο συγκεκριμένα η χαμηλή καθυστέρηση η οποία είναι και η επιθυμητή, είναι ένας σημαντικός παράγοντας αξιολόγησης του. Όσο πιο χαμηλή καθυστέρηση και απόκριση έχει ένα σύστημα, τόσο πιο επωφελές και αποτελεσματικό είναι.

Είναι σημαντικό, σε περιπτώσεις που συμβαίνει ένα καταστροφικό γεγονός, να γνωρίζουμε σε πραγματικό χρόνο που βρίσκονται ή που κινούνται τα παγιδευμένα άτομα έτσι ώστε η ομάδα διάσωσης να μπορεί να τα εντοπίσει ή να τους δοθούν πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο διαφυγής. Αυτές οι πληροφορίες θα πρέπει να δίνονται άμεσα καθώς οποιαδήποτε καθυστέρηση μπορεί να είναι κρίσιμη. Έτσι, για την ανάπτυξη της τεχνολογίας εντοπισμού κυρίως στους εσωτερικούς χώρους, χρησιμοποιούνται τεχνικές για τη βελτίωση της πολυπλοκότητας των αλγορίθμων και την βελτίωση απόκτησης σήματος.

### 3.4 Ισχύς

Η ισχύς ενός συστήματος εντοπισμού εξαρτάται από το πόσο καλά εκτιμά τη θέση ενός στόχου, ακόμη και με παρεμβολές οι οποίες μπορεί να προέρχονται από διαφορετικά σήματα, από κτίρια, ή από απώλεια σημάτων λόγω κατεστραμμένων πομπών ή εξασθένηση από περιβαλλοντικές συνθήκες. Επίσης μία άλλη ερμηνεία είναι η δυνατότητα της μεθόδου να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικά περιβάλλοντα έχοντας περίπου τα ίδια αποτελέσματα στην ακρίβειά του (3.1) και (3.2).

### 3.5 Πολυπλοκότητα (Complexity)

Η πολυπλοκότητα ενός συστήματος εντοπισμού είναι ανάλογη με τις απαιτήσεις του συστήματος σε υποδομή σε υλικά αλλά και λογισμικού για την αποτελεσματική λειτουργία του. Ωστόσο, είναι λογικό να αναμένεται ότι η αύξηση των χαρακτηριστικών του συστήματος με περισσότερη υλικοτεχνική υποδομή και των χαρακτηριστικών των αλγορίθμων που χρησιμοποιεί ότι θα αυξηθεί άμεσα η απόδοση του. Αυτό ισχύει μόνο μέχρι ένα σημείο όπου το σύστημα εφαρμόζεται πιθανώς σε ένα κανονικό περιβάλλον λειτουργίας [60]. Εκτός από τη βελτίωση της ακρίβειας μιας λύσης εντοπισμού, οι χρήστες ενδέχεται να αντιμετωπίσουν άλλες δυσκολίες, όπως κατανάλωση ενέργειας και υψηλότερη χρήση μνήμης.

Οι περισσότερες φορητές συσκευές δεν διαθέτουν ισχυρή επεξεργαστική ισχύ ούτε και μεγάλη διάρκεια ζωής μπαταρίας. Για αυτό τον λόγο είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι τοποθεσίας με χαμηλή πολυπλοκότητα έτσι ώστε και ο χρόνος υπολογισμού να μπορεί να θεωρηθεί μετρούμενος παράγοντας σύγκρισης.

### 3.6 Επεκτασιμότητα (Scalability)

Η επεκτασιμότητα του συστήματος μετρά την επίδοσή του όταν παρατηρείται αλλαγή στην θέση του δέκτη. Θα πρέπει να διατηρείται σε ένα επίπεδο ώστε το σύστημα να προσδιορίζει αξιόπιστα τη θέση του δέκτη.

Σε ορισμένες περιπτώσεις αυτό δεν είναι ιδανικό. Εάν η επεκτασιμότητα είναι πολύ μικρή, ανιχνεύεται ακόμη και η παραμικρή κίνηση στη θέση του δέκτη. Για παράδειγμα η οποιαδήποτε «μικρή» κίνηση που μπορεί να κάνει κάποιος όταν βρίσκεται στο γραφείο του πχ για να σηκώσει το τηλέφωνο μπορεί να ανιχνευτεί σαν κίνηση στην τοποθεσία του. Αυτό δεν είναι επιθυμητό.

### 3.7 Σταθερότητα (Stability)

Η σταθερότητα ενός συστήματος εντοπισμού αφορά την δυνατότητά του, να μπορεί να λειτουργήσει κανονικά είτε υπάρχει έλλειψη σήματος ή έλλειψη μετρήσεων λόγω των αλλαγών του περιβάλλοντος. Για παράδειγμα, με την τεχνική δακτυλικών αποτυπωμάτων που βασίζεται σε RSSI, εάν μια νέα τιμή RSSI δεν υπάρχει στη βάση δεδομένων του χάρτη RSSI, λόγω εμποδίων ή αστοχιών ενός τμήματος του συστήματος εντοπισμού, το σύστημα θα πρέπει να παρέχει ακριβείς πληροφορίες τοποθεσίας. Έτσι, ένα από τα πιο κρίσιμα χαρακτηριστικά του συστήματος αποτελεί η σταθερότητα του. Σε αρκετές περιπτώσεις για να αυξηθεί η σταθερότητα του εντοπισμού θυσιάζεται η ακρίβεια (precision).

### 3.8 Αξιοπιστία (Reliability)

Η αξιοπιστία είναι η πιθανότητα λήψης ανατροφοδότησης χωρίς σφάλματα από συστήματα εντοπισμού εσωτερικών χώρων σε μια συγκεκριμένη ώρα και τοποθεσία. Η αξιοπιστία του συστήματος εντοπισμού αποτελείται από τρία στοιχεία: (1) ο καθορισμένος χρόνος, (2) το περιβάλλον λειτουργίας και (3) η ορθότητα της εκτίμησης του συστήματος.

Η αξιοπιστία είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες για την αξιολόγηση των συστημάτων εντοπισμού σε συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες όπως περιοχών σε περιπτώσεις κατάσβεσης πυρκαγιάς. Σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, τα συστήματα ενδέχεται να αναφέρουν λανθασμένες πληροφορίες τοποθεσίας και αυτό καθιστά την κατάσταση πολύ πιο εκτός ελέγχου, ιδιαίτερα ενόψει τέτοιων απρόβλεπτων περιστάσεων όπου η αξιοπιστία δεν είναι εγγυημένη. Επομένως, το σύστημα εντοπισμού θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη την αξιοπιστία των τεχνικών όσο το δυνατόν περισσότερο σε σχέση με τις αλλαγές στο περιβάλλον, και την πολυπλοκότητα των τεχνικών εντοπισμού.

### 3.9 Κόστος (Cost)

Το κόστος αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την κατασκευή και την χρησιμοποίηση ενός συστήματος εντοπισμού. Το κόστος του απαραίτητου εξοπλισμού υλικού και λογισμικού, το κόστος των υπηρεσιών και η απόδοσή τους, και το κόστος του περιβάλλοντος ανάπτυξης συνθέτουν το συνολικό κόστος του συστήματος εντοπισμού. Ταυτόχρονα, μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας σχεδιασμού, πρόσθετοι παράγοντες όπως η κατανάλωση ενέργειας, η εγκατάσταση, η συντήρηση και η επέκταση του συστήματος για την παροχή περισσότερων υπηρεσιών επηρεάζουν άμεσα και αυξάνουν το κόστος του συστήματος.

Ωστόσο, το κόστος των συστημάτων έχει μειωθεί πρόσφατα λόγω της ευρείας χρήσης έξυπνων τερματικών συσκευών σε όλο τον κόσμο και της αύξησης της διαθεσιμότητας ασύρματων τοπικών δικτύων.

### 3.10 Ασφάλεια (Security)

Η ασφάλεια του συστήματος εντοπισμού είναι μια άλλη βασική μέτρηση που πρέπει να ληφθεί υπόψη. Η αντίσταση των σημάτων του συστήματος σε οποιαδήποτε μορφής επίθεσης ορίζεται από την ασφάλεια των συσκευών που χρησιμοποιούνται στην υποδομή του συστήματος εντοπισμού. Για τη χρήση υπηρεσιών εντοπισμού, η κινητή συσκευή του χρήστη εκτελεί συχνά εφαρμογές που προσφέρεται από τον πάροχο υπηρεσιών. Λόγω της ευαισθησίας των δεδομένων των χρηστών, τα ζητήματα ασφάλειας και απορρήτου πρέπει να διερευνηθούν προσεκτικά και να τεθούν υπόψιν κατά την αξιολόγηση του συστήματος. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό κυρίως στα στρατιωτικά συστήματα εντοπισμού, αλλά και σε εφαρμογές χρέωσης, πλοήγησης.

## Κεφάλαιο 4: Συστήματα Εντοπισμού Θέσης – Localization Systems

### 4.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζεται μία ευρεία ποικιλία συστημάτων εντοπισμού που έχουν αναπτυχθεί. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν τις τεχνολογίες που αναφερθήκαμε στο Κεφάλαιο 2, καθώς επίσης αξιολογούνται με βάση τα κριτήρια του Κεφαλαίου 3. Κατηγοριοποιούμε αυτά τα συστήματα ανάλογα με το περιβάλλον εφαρμογής τους. Η κατηγοριοποίηση αυτή δεν είναι απόλυτη καθώς πολλά από τα συστήματα εντοπισμού που θα αναλυθούν παρακάτω μπορούν να χρησιμοποιούν σε διαφορετικά περιβάλλοντα είτε εσωτερικά είτε εξωτερικά, αναλόγως της κάθε περίπτωσης.

Με βάση του ανωτέρω έχουμε συστήματα εντοπισμού μεγάλης κλίμακας, όπως δορυφορικά, κυψελωτά δίκτυα και εσωτερικά συστήματα πλοήγησης (Internal Navigation System - INS) τα οποία κατηγοριοποιούνται ως συστήματα εντοπισμού εξωτερικού χώρου - Outdoor Localization Systems.

Από την άλλη πλευρά, ο εντοπισμός εσωτερικού χώρου περιλαμβάνει συστήματα χρησιμοποιώντας επίγειες ασύρματες τεχνολογίες, όπως ραδιοσυχνότητες, ήχους και υπέρηχους, οπτικές και μαγνητικές τεχνολογίες, και ονομάζονται συστήματα εντοπισμού εσωτερικού χώρου - Indoor Localization Systems.

### 4.2 Συστήματα Εντοπισμού Θέσης Εξωτερικών Χώρων (Outdoor Localization Systems)

#### 4.2.1 Συστήματα Τοποθεσίας, Πλοήγησης, Χρόνου (Position Navigation Time – PNT)

Σε αυτή την κατηγορία των συστημάτων ανήκουν τα λεγόμενα συστήματα Τοποθεσίας, Πλοήγησης, Χρόνου (Position, Navigation and Time PNT) που περιγράφουν έναν συνδυασμό τριών διακριτών αλλά αναπόσπαστων δυνατοτήτων:

- Τοποθεσία (Positioning): την ικανότητα να προσδιορίζει κανείς τη θέση και τον προσανατολισμό του σε δύο ή τρεις διαστάσεις. Αυτός ο προσδιορισμός τοποθεσίας αναφέρεται σε τοπικό ή, συνηθέστερα, ένα παγκόσμιο σύστημα συντεταγμένων όπως το Επίγειο Πλαίσιο Αναφοράς Galileo (Galileo Terrestrial Reference Frame - GTRF), Ευρωπαϊκό Επίγειο Πλαίσιο Αναφοράς (European Terrestrial Reference Frame - ETRF) ή Διεθνές Επίγειο Πλαίσιο Αναφοράς (International Terrestrial Reference Frame - ITRF).

- Πλοήγηση (Navigation): που είναι η ικανότητα προσδιορισμού μιας διαδρομής μεταξύ της τρέχουσας και της επιθυμητής θέσης (σχετική ή απόλυτη), καθώς και πλοήγηση σε αυτή την διαδρομή εφαρμόζοντας διορθώσεις στην πορεία, τον προσανατολισμό και την ταχύτητα.

- Χρόνου (Timing) : που είναι η ικανότητα απόκτησης και διατήρησης χρόνου είτε σε τοπικό είτε σε παγκόσμιο επίπεδο (για παράδειγμα Συντονισμένη Παγκόσμια Ώρα - Coordinated Universal Time ή UTC). Αυτό περιλαμβάνει επίσης υπηρεσία μεταφοράς χρόνου.

Τα σύγχρονα συστήματα PNT υποστηρίζονται από το GNSS, όπως το Ευρωπαϊκό Galileo, αλλά υπάρχουν και ανεξάρτητα συστήματα, ως εναλλακτικά (alternative) ή εξασφαλισμένα (assured) PNT. Τα συστήματα αυτά έχουν αναπτυχθεί κυρίως λόγω της υπερβολικής εξάρτησης στο GNSS και της ανάγκης για δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας σε περίπτωση διακοπής λειτουργίας τους.

Τα πλεονεκτήματα αυτών των τεχνολογιών είναι ότι παρέχουν υπηρεσίες εντοπισμού θέσης και πλοήγησης ή χρόνου ή και τα δύο. Λειτουργούν ανεξάρτητα από το GNSS και χωρίς κοινά σημεία αποτυχίας, δυνατότητα κάλυψης της ευρωπαϊκής επικράτειας της ΕΕ, συμπεριλαμβανομένων των εσωτερικών υδάτων. Η παροχή PNT επεκτείνεται στα περιβάλλοντα όπου δεν μπορεί το GNSS. Τέτοια συστήματα συνήθως παρέχουν ακρίβεια τοποθέτησης (οριζόντια ή/και κάθετη 95%)  $< 100m$  και ακρίβεια χρονισμού σε UTC ( $3\sigma$ )  $< 1\mu s$ , ενώ ταυτόχρονα διαθεσιμότητα  $> 99\%$  [61].

#### 4.2.2 Συστήματα Εντοπισμού με χρήση Δορυφόρων

Τα συστήματα GNSS αποτελούν συστήματα δορυφορικής πλοήγησης με παγκόσμια κάλυψη. Η χρήση τους ξεκίνησε τις αρχές της δεκαετίας του 1970. Το γνωστό σε όλους GPS δημιουργήθηκε από το Υπουργείο Άμυνας της Αμερικής και αποτελεί την συγχώνευση δύο συστημάτων εντοπισμού με χρήση δορυφόρου του συστήματος TIMATION (TIME navigation - 1964) και του Air Force 621B. Υπό τον φόβο κατάρρευσης αλλά και χρήσης του GPS σε στρατιωτικές εφαρμογές πολλές χώρες αναγκάστηκαν να αναπτύξουν δικά τους συστήματα εντοπισμού με δορυφόρους όπως για παράδειγμα το GLONASS της Ρωσίας, το BeiDou της Κίνας και το Galileo της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Τα συστήματα αυτά λειτουργούν πλήρως από τον Σεπτέμβριο του 2020. Επίσης το δορυφορικό σύστημα Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) της Ιαπωνίας είναι ένα σύστημα σχεδιασμένο με βάση το GPS και σκοπός του είναι να βελτιώσει την αποτελεσματικότητά του. Χρησιμοποιεί με δορυφορική πλοήγηση ανεξάρτητα από το GPS.

Οι συσκευές που μπορούν να χρησιμοποιήσουν τεχνολογία GNSS είναι ευρέως διαδεδομένη. Το GPS είναι διαθέσιμο σε όλες σχεδόν τις σύγχρονες κινητές συσκευές – τηλέφωνα. Επιπλέον, ένας αυξανόμενος αριθμός smartphones μπορεί να λάβει τις μετρήσεις GLONASS, Galileo και Beidou. Οι εκπομπές GNSS είναι στη ζώνη L, η οποία κυμαίνεται μεταξύ 1.164 και 1.300 MHz με μήκος κύματος 25,7 έως 23,1 cm και 1,559 έως 1,610 MHz με μήκος κύματος από 19,2 έως 18,6 cm [62]. Το GNSS χρησιμοποιεί μια τεχνική τριγωνοποίησης για τον εντοπισμό της θέσης λαμβάνοντας σήματα από πολλούς δορυφόρους.

Αν και το GNSS είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνολογία για εξωτερική πλοήγηση, σε εσωτερικά περιβάλλοντα υπάρχουν αρκετές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Ο υπερβολικός θόρυβος, τα υψηλά σήματα πολλαπλών διαδρομών και η

αλλοίωση της γεωμετρίας βλάπτουν την απόδοση του GNSS. Για τη βελτίωση της ακρίβειας εντοπισμού, στη βιβλιογραφία προτείνεται ο συνδυασμός μεταξύ του GNSS και άλλων τεχνολογιών.

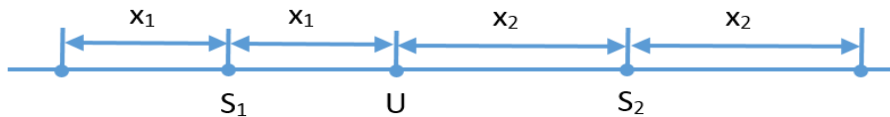
Στο [63] παρουσιάζεται μια λύση εντοπισμού με συνεργασία 5G και GNSS που βασίζεται σε μετρήσεις AOA-TOA. Για να επιτευχθεί ο εντοπισμός, συνδυάζονται υπολογισμοί AOA από 5G σταθμούς βάσεις με παρατηρήσεις TOA από δορυφόρους GNSS. Σε σύγκριση με τις συμβατικές λύσεις, τα πειραματικά ευρήματα δείχνουν ότι η προτεινόμενη λύση είναι απαλλαγμένη από τις επιπτώσεις των προβλημάτων συγχρονισμού, βελτιώνοντας έτσι την ακρίβεια και την ανθεκτικότητα τέτοιων υβριδικών συστημάτων εντοπισμού θέσης.

#### 4.2.2.1 Το Σύστημα Δορυφόρων GPS

Το GPS παρέχει υπηρεσίες τοποθεσίας με παγκόσμια κάλυψη. Οι δορυφόροι του βρίσκονται σε κεκλιμένες τροχιές που επιτρέπουν κάλυψη και των πολικών περιοχών. Είναι σε θέση να παρέχει πλοήγηση σε πραγματικό χρόνο για τους χρήστες. Τα σήματα του GPS είναι σχετικά αδύναμα έτσι ώστε να μην παρεμβαίνουν σε άλλα σήματα και μεταδίδονται από τους δορυφόρους σε έναν μικρό δέκτη, ο οποίος χρησιμοποιώντας τεχνική τριπλευροποίησης μπορεί να εξαγάγει τις γεωγραφικές συντεταγμένες της θέσης του, εκφρασμένες σε βαθμούς/λεπτά/δευτερόλεπτα (Degree Minutes Seconds - DMS).

##### 4.2.2.1.1 Αρχή Χρήσης του GPS

Η αρχή χρήσης του GPS στηρίζεται μετρώντας τις αποστάσεις μεταξύ του σημείου που θέλουμε να προσδιορίσουμε σε σχέση με την θέση και κάποιων είδη γνωστών θέσεων. Η γενική αρχή αντικατοπτρίζεται στην *Εικόνα 22* (σε μονοδιάστατη περίπτωση).

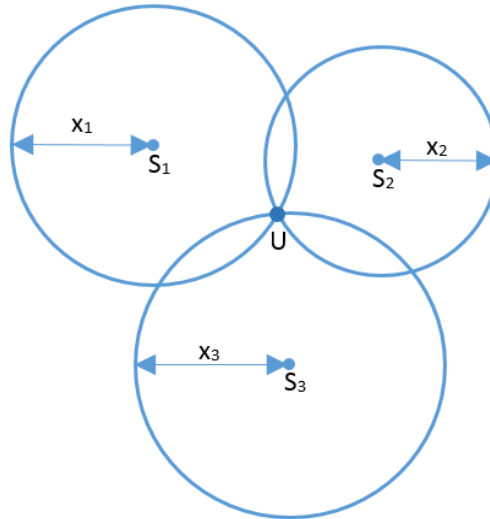


Εικόνα 22: Εύρεση Τοποθεσίας με GPS μονοδιάστατη περίπτωση [26]

Στην παραπάνω εικόνα έχουμε τους δύο δορυφόρους  $S_1, S_2$  και τις αποστάσεις  $(x_1, x_2)$  αντίστοιχα από τον στόχο-σημείο-χρήστη που θέλουμε να προσδιορίσουμε  $U$ . Ο χρήστης  $U$  μπορεί να είναι είτε δεξιά του  $S_1$  είτε αριστερά του, και το ίδιο ισχύει και για την απόσταση του από τον δορυφόρο  $S_2$ . Αν γνωρίζουμε εκατέρωθεν τις πιθανές θέσεις τότε σε αυτό το μονοδιάστατο επίπεδο απαλείφοντας κατά περίπτωση τα εκατέρωθεν διαστήματα που δεν έχουμε κοινά σημεία τότε μπορούμε να προσδιορίσουμε την θέση του  $U$ .

Η ίδια αρχή χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της θέσης του χρήστη σε ένα δισδιάστατο ή τρισδιάστατο χώρο. Για 2D χρειαζόμαστε τρεις δορυφόρους και αντίστοιχα τρεις

αποστάσεις. Σε αυτή την περίπτωση οι αποστάσεις χαράζονται σαν κύκλοι γύρω από το σταθερό σημείο των δορυφόρων όπως φαίνεται και στην *Εικόνα 23*. Σε αυτή την περίπτωση η θέση του στόχου είναι η τομή των κύκλων που δημιουργούνται. Αντίστοιχα για 3D περιπτώσεις χρειαζόμαστε τέσσερις δορυφόρους.



*Εικόνα 23: Εύρεση Τοποθεσίας GPS σε 2D επίπεδο[26]*

Οι δορυφόροι GPS συνεχώς εκπέμπουν δεδομένα τα οποία περιέχουν πληροφορίες την κατάσταση και την θέση του στο παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα 1984. Ένας δέκτης GPS που θέλει να προσδιορίσει την θέση του μετρά την απόσταση του από κάθε δορυφόρο χρησιμοποιώντας αυτά τα σήματα. Ωστόσο, αυτή η απόσταση έχει ένα συνεχές σφάλμα, επειδή το ρολόι του δέκτη είναι συνήθως διαφορετικό από το ρολόι του δορυφόρου. Οι δορυφόροι χρησιμοποιούν ατομικά ρολόγια, τα οποία είναι πολύ ακριβά, ενώ οι δέκτες χρησιμοποιούν φθηνά ρολόγια. Για να εξαιρεθεί αυτό το σφάλμα απαιτείται ένας πρόσθετος δορυφόρος, επομένως θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν συνολικά πέντε δορυφόροι για ακριβή τρισδιάστατο προσδιορισμό της τοποθεσίας. Δεδομένου όμως ότι ο δέκτης είναι συνήθως κοντά στην επιφάνεια της γης, μπορεί να η τοποθεσία του να βρεθεί χρησιμοποιώντας μόνο τέσσερις δορυφόρους. Επομένως, η γενική εικόνα η είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν τέσσερις δορυφόροι για τον προσδιορισμό της θέσης ενός χρήστη, παρόλο που η απόσταση που μετρήθηκε εμπεριέχει σφάλμα.

#### 4.2.2.1.2 Μαθηματική Προσέγγιση του GPS

Η μαθηματική προσέγγιση της χρήσης του GPS μπορεί να διατυπωθεί με τον παρακάτω τύπο:

$$\rho_i = \sqrt{(x_i - x_u)^2 + (y_i - y_u)^2 + (z_i - z_u)^2} \quad (4.1)$$

όπου θεωρούμε ότι οι δορυφόροι βρίσκονται σε τοποθεσίες  $r_i = (x_i, y_i, z_i)$ , με  $i \in \{1,2,3\}$ , αντίστοιχα για τον κάθε δορυφόρο και ο χρήστης βρίσκεται σε άγνωστη τοποθεσία έστω  $r_u = (x_u, y_u, z_u)$ . Στην παραπάνω εξίσωση για την κάθε θέση έχουμε τρεις εξισώσεις με αγνώστους τις τιμές της θέσης του χρήστη  $x_u, y_u, z_u$  και επιλύοντας το σύστημα γραμμικά μπορούμε να υπολογίσουμε την θέση του δέκτη.

Οι αποστάσεις από τον χρήστη στον δορυφόρο πρέπει να μετρηθούν ταυτόχρονα σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Έστω ότι κάθε δορυφόρος στέλνει ένα σήμα σε χρόνο  $t_{si}$ , και έστω ότι ο χρήστης θα λάβει την το σήμα σε χρόνο  $t_u$ . Με την εξίσωση [64] έχουμε:

$$\rho_{iT} = c(t_u - t_{si}) \quad (4.2)$$

Όπου  $\rho_{iT}$  υποδηλώνει την τιμή της απόστασης του χρήστη στον δορυφόρο  $i$ ,  
 $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$  η ταχύτητα του φωτός,  
 $t_{si}$  υποδηλώνει τον πραγματικό χρόνο της εκπομπής του δορυφόρου  $i$ ,  
 $t_u$  είναι ο πραγματικός χρόνος λήψης του σήματος.

Στην πράξη, είναι δύσκολο να ληφθεί ο σωστός χρόνος από το δορυφόρο στον χρήστη. Επομένως, σφάλματα ρολογιού πρέπει να προστεθούν στους πραγματικούς χρόνους μετάδοσης και λήψης. Οι τιμές που προκύπτουν μπορούν να γραφτούν ως [64]:

$$t'_{si} = t_{si} + \Delta b_i \quad (4.3)$$

$$t'_u = t_u + b_{ut} \quad (4.4)$$

Όπου:  $\Delta b_i$  είναι το λάθος του εκάστοτε ρολογιού του δορυφόρου  $i$ ,  
 $b_{ut}$  είναι το σφάλμα ρολογιού του χρήστη.

Επιπλέον, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη μέτρηση, όπως η θέση του δορυφόρου που επηρεάζει την απόσταση, τα σφάλματα καθυστέρησης που δημιουργούνται από την τροπόσφαιρα και την ιονόσφαιρα, τα σφάλματα μετρήσεων του δέκτη λόγω θορύβου και η σχετική διόρθωση χρόνου. Μερικά από αυτά τα σφάλματα μπορούν να διορθωθούν εκτός από το σφάλμα ρολογιού χρήστη που δεν μπορεί να διορθωθεί μέσω των πληροφοριών που λαμβάνονται [64]. Έτσι, θα παραμείνει ως άγνωστος το σφάλμα ρολογιού. Ως αποτέλεσμα η εξίσωση 4.1 τροποποιείται αναλόγως [64]:

$$\rho_i = \sqrt{(x_i - x_u)^2 + (y_i - y_u)^2 + (z_i - z_u)^2} + b_u \quad (4.5)$$

$$b_u = c b_{ut} \quad (4.6)$$

Όπου εδώ ο όρος  $b_u$  είναι το σφάλμα ρολογιού του χρήστη εκφρασμένο σε απόσταση. Επομένως έχουμε τελικά τέσσερις αγνώστους  $x_u, y_u, z_u, b_u$  και για την επίλυση του συστήματος θέλουμε μία



ακόμη εξίσωση. Για αυτό τον λόγο θέλουμε τέσσερις τουλάχιστον δορυφόρους για να επιτύχουμε τον σωστό προσδιορισμό της τοποθεσίας.

#### 4.2.2.1.3 Αστερισμός των Δορυφόρων GPS

Αρχικά, ο αστερισμός του GPS αποτελούνταν από 24 δορυφόρους χωρισμένους σε έξι τροχιές, τέσσερις δορυφόρους σε κάθε τροχιά. Οι τροχιές χωρίζονται κατά 60 μοίρες για να καλύψουν πλήρες 360 μοίρες, και το καθένα έχει κλίση σε γωνία 55 μοιρών με τον ισημερινό. Η ακτίνα της τροχιάς του δορυφόρου είναι 26.560 km και περιστρέφεται γύρω από τη γη δύο φορές σε μια αστρική ημέρα. Ως αστρική ημέρα νοείται ως ο χρόνος που χρειάζεται η γη για να περιστραφεί στον άξονά της σε σχέση με τα αστέρια και είναι σχεδόν τέσσερα λεπτά μικρότερη από την ηλιακή ημέρα λόγω της τροχιακής κίνησης της γης.

Η απόσταση μεταξύ τεσσάρων δορυφόρων σε μια τροχιά δεν είναι ίση. Δύο δορυφόροι χωρίζονται κατά 30,0–32,1 μοίρες και οι άλλες κάνουν τρεις γωνίες στην περιοχή 92,38–130,98 μοίρες με τους πρώτους δύο [65]. Αυτή η απόσταση έχει βελτιστοποιηθεί για τη μείωση των επιρροών σε περίπτωση αστοχίας ενός δορυφόρου στην απόδοση του συστήματος. Ένας δέκτης GPS μπορεί να λάβει σήματα από 4 έως 11 ορατούς δορυφόρους ανά πάσα στιγμή σε οποιαδήποτε τοποθεσία στη γη, χωρίς να επηρεάζεται από εμπόδια όπως βουνά ή ψηλά κτίρια. Περισσότερο από 80% του χρόνου πάνω από έξι δορυφόροι με γωνία ανύψωσης άνω των 5 μοιρών είναι ορατοί [65]. Το γεωγραφικό πλάτος ενός χρήστη σε 35 μοίρες γωνία αντιστοιχεί στο χειρότερο κατά προσέγγιση γεωγραφικό πλάτος για το οποίο, στιγμιαία, είναι ορατοί μόνο τέσσερις δορυφόροι (περίπου 4% των περιπτώσεων) [64].

#### 4.2.2.1.4 Σήματα GPS

Τα σήματα GPS περιέχουν δύο στοιχεία συχνότητας: ζεύξη 1 (L1) και ζεύξη 2 (L2). Αυτές είναι συγχρονισμένες με συχνότητα ρολογιού 10,23 MHz. Αυτές οι δύο συχνότητες μπορούν να συσχετιστούν ως [66]:

	$L_1 = 1575,42 \text{ MHz} = 154 \times 10.23 \text{ MHz}$	(4.7)
	$L_2 = 1227.6 \text{ MHz} = 120 \times 10.23 \text{ MHz}$	(4.8)

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η μέση ακτίνα της γης είναι 6368 km, οι χρονικές καθυστερήσεις από των δορυφόρων πρέπει να είναι στην περιοχή των 67 ms (20192 km/c,) όπου  $20192 = 26560 - 6368$  km, είναι η μικρότερη απόσταση από έναν δορυφόρο σε έναν χρήστη στα 86 ms (25785 km/c, όπου τα 25785 km είναι η μεγαλύτερη απόσταση από έναν δορυφόρο σε έναν χρήστη).

Επιπλέον, οι κεραίες του δορυφόρου πρέπει να έχουν σταθερή γωνία (γωνία ανοίγματος) 13,87 μοιρών για να καλύψουν την γη [66]. Ωστόσο, η κεραία για τη ζώνη L1 είναι 21,3 μοίρες

και η κεραία για τη ζώνη L2 είναι 23,4 μοίρες. Και οι δύο είναι ευρύτερες από την ελάχιστη απαιτούμενη γωνία.

#### 4.2.2.2 Το σύστημα δορυφόρων GLONASS

Το GLONASS αναπτύχθηκε για πρώτη φορά από τη Σοβιετική Ένωση κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970 για στρατιωτικούς σκοπούς και εφαρμογές. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε για εμπορικές εφαρμογές και ήταν πλήρως λειτουργικό το 1993.

Το σύστημα GLONASS χρησιμοποιεί 24 δορυφόρους κατανεμημένους σε τρία τροχιακά επίπεδα σε ύψος 19.100 χιλιόμετρα από την επιφάνεια της γης. Κάθε τροχιακό επίπεδο έχει κλίση 64,8 μοίρες με τον ισημερινό και τα τρία τροχιακά επίπεδα χωρίζονται μεταξύ τους με πολλαπλάσια 120 μοιρών. Οι τροχιές GLONASS έχουν μικρότερες ακτινικές τροχιές από τις τροχιές GPS, περίπου 25.510 km και μια περίοδο δορυφόρου περίπου 17/8 μιας αστρικής ημέρας. Ένας δορυφόρος GLONASS και ένας δορυφόρος GPS ολοκληρώνουν 17 και 16 περιστροφές αντίστοιχα, γύρω από τη γη κάθε 8 ημέρες. Μια σύγκριση μεταξύ των συστημάτων GPS και GLONASS προτείνεται στο [67].

Το σύστημα GLONASS χρησιμοποιεί πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (Frequency Division Multiplexing - FDMA) για τα διαφορετικά σήματα του. Τα δύο φέροντα σήματα του που αντιστοιχούν στα L1 και L2 έχουν συχνότητες  $f_1 = 1,62 + 9k / 16)GHz$  και  $f_2 = 1,246 + 7k / 16)GHz$ , όπου ο ακέραιος  $k = 0,1,2, \dots, 23$  είναι ο αριθμός του εκάστοτε δορυφόρου. Αυτές οι συχνότητες βρίσκονται σε δύο ζώνες στα  $L_1: 1,597 - 1.617 GHz$  και  $L_2: 1240 - 1260 GHz$ . Οι μέθοδοι λήψης και η ανάλυση των σημάτων GLONASS είναι παρόμοιες με τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τα σήματα GPS.

Το πλεονέκτημα αυτού του συστήματος πλοήγησης έγκειται στην ανθεκτικότητά του στις παρεμβολές. Κάθε δορυφόρος εκπέμπει με τη δική του συχνότητα η οποία χρησιμοποιεί πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας, FDMA. Οι δορυφόροι σαρώνουν μια ευρύτερη περιοχή του πλανήτη, ιδιαίτερα οι βόρειες περιοχές, λόγω των χαρακτηριστικών του αστερισμού του δορυφόρου και το επίπεδο κλίσης τους. Το βασικό μειονέκτημα του συστήματος είναι ότι δεν συντηρούνταν καλά τις προηγούμενες δεκαετίες.

#### 4.2.2.3 Το σύστημα δορυφόρων GALILEO

Το Galileo είναι το ευρωπαϊκό πρόγραμμα ραδιοπλοήγησης που ξεκίνησε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (European Commission) και αναπτύχθηκε από κοινού με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος – European Space Agency (ESA). Το Galileo τέθηκε σε λειτουργία στις 15 Δεκεμβρίου 2016.

Το σύστημα Galileo αποτελείται από έναν αστερισμός 30 δορυφόρων που βρίσκονται σε τρία διαφορετικά τροχιακά επίπεδα. Στο κάθε επίπεδο βρίσκονται εννέα επιχειρησιακοί

δορυφόροι σε ίση απόσταση μεταξύ τους, σε κάθε τροχιακό επίπεδο και ένας εφεδρικός δορυφόρος. Οι δορυφόροι βρίσκονται σε υψόμετρο 23500 Km, έχουν κλίση 56 μοιρών και περίοδο 14 ωρών και 22 λεπτών. Οι δορυφόροι εκπέμπουν τα σήματα τους σε διάφορες συχνότητες που κυμαίνονται από 1164 έως 1591 MHz, συμπεριλαμβανομένων ορισμένων συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται από το σύστημα GPS, όπως η συχνότητα L1. Η ισχύς εκπομπής είναι περίπου 50 Watt.

Το Galileo έχει σχεδιαστεί για να προσφέρει έξι υπηρεσίες στους χρήστες [68]. Οι υπηρεσίες αυτές παρέχονται μέσω των σημάτων που εκπέμπονται από όλους τους δορυφόρους του αστερισμού. Η δομή του σήματος και τα δεδομένα εκπομπής προσαρμόζονται στις ιδιαιτερότητες κάθε υπηρεσίας.

Το Galileo προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με το GPS. Έχει σχεδιαστεί και αναπτυχθεί κυρίως για την εξυπηρέτηση εφαρμογών προς τους πολίτες ενώ ταυτόχρονα περιλαμβάνει όλες απαραίτητες προστασίες ασφάλειας. Το Galileo παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία σε σχέση με το GPS επειδή περιλαμβάνει ένα μήνυμα ακεραιότητας για την άμεση ενημέρωση του χρήστη σε περίπτωση ύπαρξης λαθών. Επιπλέον, το Galileo προσφέρει εγγύηση για τη συνέχεια των υπηρεσιών για ορισμένες εφαρμογές, σε αντίθεση με τα σήματα GPS όπου υπήρξαν πολλά παραδείγματα ακούσιας ή σκόπιμης μη διαθεσιμότητας σημάτων.

Ωστόσο, το πραγματικό πλεονέκτημα είναι η αρμονική και ταυτόχρονη χρήση του Galileo και του GPS όσον αφορά την ακρίβεια και την ασφάλεια σε περίπτωση βλάβης ενός εκ των δύο συστημάτων. Επιπλέον, η ύπαρξη δύο ανεξάρτητων συστημάτων είναι ευεργετικά για όλους τους χρήστες που μπορούν να λαμβάνουν σήματα GPS και Galileo στον ίδιο δέκτη.

#### 4.2.2.4 Το σύστημα δορυφόρων BEIDOU

Το BeiDou Navigation Satellite System (BDS) είναι ένα σύστημα δορυφορικής πλοήγησης κατασκευασμένο στην Κίνα. Αποτελείται από τρεις ξεχωριστούς αστερισμούς δορυφόρων [69]. Το πρώτο σύστημα BeiDou (BeiDou-1) αποτελείται από τρεις δορυφόρους και προσφέρει περιορισμένη κάλυψη και εφαρμογές. Προσφέρει υπηρεσίες πλοήγησης, κυρίως για πελάτες στην Κίνα και γειτονικές περιοχές, από το 2000. Η δεύτερη γενιά του συστήματος BeiDou-2 είναι ένα περιφερειακό σύστημα που βρίσκεται σε πλήρη λειτουργία από τις 27 Δεκεμβρίου 2012. Αποτελείται από 14 δορυφόρους, συμπεριλαμβανομένων 5 δορυφόρων στη Γεωστατική Τροχιά (Geostationary Earth Orbit - GEO), 5 δορυφόροι σε κεκλιμένη γεωσύγχρονη τροχιά (Inclined Geosynchronous Orbit - IGSO) και 4 δορυφόροι στην Μεσαία Τροχιά της Γης (Medium Earth Orbit - MEO).

Η τρίτη γενιά του συστήματος BeiDou-3 ή COMPASS είναι ένα παγκόσμιος δορυφορικό σύστημα πλοήγησης που αποτελείται από 35 δορυφόρους. Σχεδιάστηκε ώστε να ικανοποιεί πελάτες σε παγκόσμιο επίπεδο. Ο διαστημικός αστερισμός του COMPASS αποτελείται από πέντε δορυφόρους GEO, είκοσι επτά δορυφόρους MEO και τρεις δορυφόρους IGSO. Οι δορυφόροι GEO λειτουργούν σε τροχιά σε υψόμετρο 35.786 χιλιομέτρων και βρίσκονται σε 58,75°Α, 80°Α,

110,5°Α, 140°Α και 160°Α αντίστοιχα. Οι δορυφόροι ΜΕΟ λειτουργούν σε τροχιά σε υψόμετρο 21.528 χιλιομέτρων και κλίση 55° ως προς το ισημερινό επίπεδο. Οι δορυφόροι IGSO λειτουργούν σε τροχιά σε υψόμετρο 35.786 χιλιομέτρων και κλίση 55° προς τον ισημερινό επίπεδο.

#### 4.2.3 Συστήματα Εντοπισμού με χρήση Δικτύων Κινητής Τηλεφωνίας (GSM)

Τα κυψελωτά δίκτυα σχεδιάζονται συχνά για να καλύπτουν μεγάλες περιοχές χωρίζοντάς τες σε πολλά μικρότερα κομμάτια / κυψέλες. Αυτά βρίσκονται δίπλα-δίπλα, αποφεύγοντας όσο το δυνατόν περισσότερο τις επικαλύψεις μεταξύ τους προκειμένου να καλυφθεί η μεγαλύτερη επικράτεια με τους ελάχιστους σταθμούς βάσης - BS. Το κυψελωτά δίκτυα επικοινωνούν με κινητές συσκευές χρησιμοποιώντας ραδιοκύματα. Όπως και στο σύστημα GPS, τα δεδομένα που λαμβάνονται από πολλούς σταθμούς βάσης χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό της εκάστοτε συσκευής.

Ωστόσο, η εμβέλεια καθενός από αυτούς τους σταθμούς βάσης περιορίζεται σε μια συγκεκριμένη περιοχή, που ποικίλλει ανάλογα με το περιβάλλον και τη διαθεσιμότητα αρκετών σταθμών βάσης. Στις επόμενες παραγράφους γίνεται μια ανάλυση με την χρήση δικτύων GSM και Universal Mobile Telecommunications System – UMTS, σε περιβάλλοντα εξωτερικού χώρου.

##### 4.2.3.1 Εντοπισμός GSM

Πολλά συστήματα έχουν χρησιμοποιήσει δίκτυα GSM για να εκτιμήσουν τη θέση των εξωτερικών πελατών κινητής τηλεφωνίας, η οποία εμφανίστηκε στις αρχές της δεκαετίας του 2000. Ωστόσο, η ακρίβεια της μεθόδου χρησιμοποιώντας ταυτότητα κυψέλης (Cell-ID) ή ενισχυμένη παρατηρούμενη διαφορά χρόνου - Enhanced Observed Time Difference (E-OTD) είναι γενικά χαμηλή (στην περιοχή 50–200 m), ανάλογα με το μέγεθος της κυψέλης κελιού. Η ακρίβεια είναι υψηλότερη σε περιοχές με πυκνή κάλυψη (π.χ. αστικές περιοχές) και πολύ χαμηλή σε αγροτικά περιβάλλοντα.

Τα δίκτυα GSM χρησιμοποιούνται με πολλές τοπικές ρυθμίσεις και τεχνικές, συμπεριλαμβανομένων των τεχνικών που βασίζονται στον χρόνο, της γωνίας άφιξης και των τεχνικών που βασίζονται σε RSS [70]. Οι σταθμοί βάσης δεν είναι συγχρονισμένοι στα δίκτυα GSM, ενώ αυτές οι τεχνικές απαιτούν συγχρονισμό. Τα στοιχεία με την ένδειξη μονάδα μέτρησης θέσης (Location Measurement Unit) είναι εγκατεστημένα και παρέχουν συγχρονισμό μεταξύ αυτών των διαφορετικών σταθμών βάσης. Αυτός ο τύπος δικτύου δεν είναι απαραίτητος κατάλληλος για τρέχουσες εφαρμογές που απαιτούν εντοπισμό εντός λίγων μέτρων.

##### 4.2.3.2 Εντοπισμός με UMTS

Η παγκόσμια Κινητή Τηλεπικοινωνιακή Υπηρεσία (Universal Mobile Telecommunications Service - UMTS) είναι ένα κινητό κυψελοειδές σύστημα τρίτης γενιάς για δίκτυα που βασίζονται στο πρότυπο των GSM. Οι δυνατότητες τοπικής προσαρμογής παρέχονται στο πρότυπο UMTS όπως ορίζεται από την διεθνή συνεργασία Third Generation Partnership Project (3GPP). Ωστόσο, ο τύπος της υπηρεσίας τοποθεσίας για τον χρήστη δεν επιβάλλεται στις τεχνικές προδιαγραφές του UMTS. Το 3GPP ορίζει ένα σύνολο μεθόδων για εκτίμηση της γεωγραφικής θέσης του χρήστη που χρησιμοποιεί την υποδομή δικτύου.

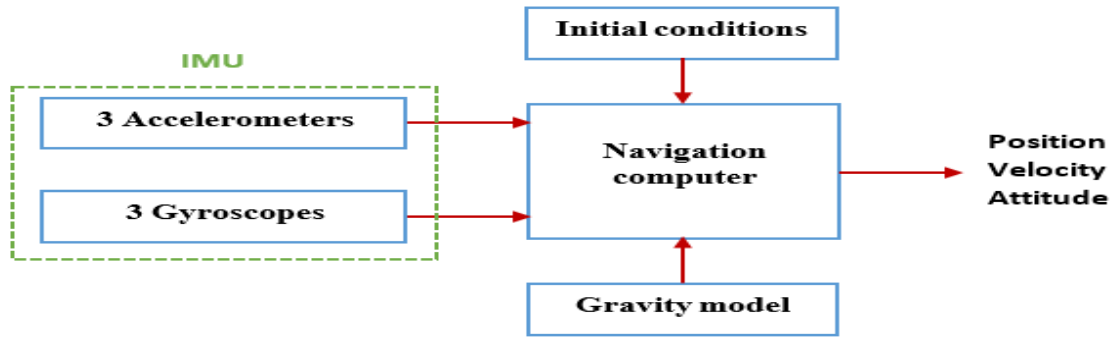
Σε αντίθεση με το δίκτυο GSM, η έννοια της τοπικής προσαρμογής παρέχεται σε αυτό το πρότυπο και η δομή του δικτύου που έχει δημιουργηθεί πρέπει να περιλαμβάνει στοιχεία που επιτρέπουν αυτές τις λειτουργίες εντοπισμού [66].

#### 4.2.4 Αδρανειακά Συστήματα Πλοήγησης

Τα αδρανειακά σύστημα πλοήγησης είναι αυτόνομα συστήματα που παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την θέση, την ταχύτητα και το υψόμετρο με βάση τις μετρήσεις από αδρανειακούς αισθητήρες και την εφαρμογή του νεκρού υπολογισμού DR [71]. Τα επιταχυνσιόμετρα και τα γυροσκόπια είναι οι περισσότεροι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για αδρανειακή πλοήγηση, τα οποία είναι συνήθως ενσωματωμένα στις κινητές συσκευές. Τα μαγνητόμετρα χρησιμοποιούνται περιστασιακά. Χρησιμοποιώντας μηχανικές εξισώσεις, η θέση της κινητής συσκευής μπορεί να καθορίζεται με βάση τις πληροφορίες που παρέχονται από αυτούς τους αισθητήρες.

Πολλές εφαρμογές χρησιμοποιούν την αδρανειακή πλοήγηση όπως η πλοήγηση αεροσκαφών, στρατηγικών πυραύλων, διαστημόπλοιων, υποβρύχιων και πλοίων. Πρόσφατες εξελίξεις στο πεδίο των Μικρο-Ηλεκτρομηχανικών Συστημάτων (Micro Electromechanical Systems MEMS) έχουν επιτρέψει στις εταιρείες να κατασκευάζουν μικρά και ελαφριά συστήματα αδρανειακής πλοήγησης. Αυτές οι εξελίξεις έχουν επεκτείνει ένα φάσμα πιθανών εφαρμογών να περιλαμβάνει πεδία όπως η καταγραφή των κινήσεων ανθρώπων και ζώων.

Τρία επιταχυνσιόμετρα και τρία γυροσκόπια χρησιμοποιούνται γενικά για την παροχή τρισδιάστατης πλοήγησης. Τα επιταχυνσιόμετρα μετρούν τις δυνάμεις (επιταχύνσεις) που μετατρέπονται σε ταχύτητα και θέση χρησιμοποιώντας τη διαδικασία ενσωμάτωσης στον υπολογιστή πλοήγησης. Τα γυροσκόπια μετρούν τους γωνιακούς ρυθμούς και παρέχουν το ύψος των δεδομένων των αρχικών μετρήσεων και του μοντέλου βαρύτητας και ο υπολογιστής υπολογίζει τις τρέχουσες τιμές της θέσης, της ταχύτητας και του υψομέτρου του κινητού χρήστη, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 24*. Το μοντέλο βαρύτητας βοηθά στην απόκτηση επιτάχυνσης από συγκεκριμένες δυνάμεις κατά τις αρχικές συνθήκες χρησιμοποιούνται για την ολοκλήρωση του υπολογισμού της επιτάχυνσης και της ταχύτητας.



Εικόνα 24: Διάγραμμα Αδρανειακού Συστήματος Πλοήγησης[26]

Η αδρανειακή πλοήγηση μπορεί να εκφραστεί με τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$\begin{bmatrix} x_k \\ y_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{k-1} \\ y_{k-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{x}_k \\ \dot{y}_k \end{bmatrix} X \begin{bmatrix} \cos \theta_k \\ \sin \theta_k \end{bmatrix} \Delta T \quad (4.9)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_k \\ \dot{y}_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x}_{k-1} \\ \dot{y}_{k-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \ddot{x}_k \\ \ddot{y}_k \end{bmatrix} \Delta T \quad (4.10)$$

$$\theta_k = \sum_{t=0}^k \dot{\theta}_t \Delta T_t \quad (4.11)$$

όπου  $(x_k, y_k)$ ,  $(\dot{x}_k, \dot{y}_k)$  και  $(\ddot{x}_k, \ddot{y}_k)$ , δηλώνουν τις συντεταγμένες της θέσης, της ταχύτητας και της επιτάχυνσης, αντιστοίχως,  $\Delta T$  είναι η χρονική διαφορά μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων,  $\theta_k$  είναι η περιστροφή γωνία του κινητού και  $\theta_t$  είναι η γωνιακή ταχύτητα που παρέχεται από το γυροσκόπιο.

Ωστόσο, τα μικρά σφάλματα στις αδρανειακές μετρήσεις συσσωρεύονται προοδευτικά κατά τη διάρκεια του χρόνου, η οποία οδηγεί σε μετατόπιση στην εκτιμώμενη διαδρομή κινητής τηλεφωνίας. Επομένως, η θέση του κινητού πρέπει να διορθώνεται περιοδικά από την είσοδο από άλλα συστήματα πλοήγησης. Γενικά οι μετρήσεις GPS χρησιμοποιείται για την προετοιμασία της αδρανειακής πλοήγησης και για την εξάλειψη των φαινομένων μετατόπισης. Εν τω μεταξύ, η μη διαθεσιμότητα GPS σε ορισμένες περιοχές μπορεί να αντισταθμιστεί χρησιμοποιώντας τις αδρανειακές μετρήσεις. Σε εσωτερικά περιβάλλοντα όπου το GPS δεν είναι εντελώς διαθέσιμο, το INS μπορεί να είναι ενσωματωμένο με την τεχνική τοποθεσίας Wi-Fi για ακριβή εντοπισμό θέσης.

### 4.3 Συστήματα Εντοπισμού Θέσης Εσωτερικών Χώρων – Indoor Localization Systems

Τα εσωτερικά περιβάλλοντα είναι πιο περίπλοκα από τα εξωτερικά. Αντιμετωπίζουν αρκετές προκλήσεις που σχετίζονται με την εξασθένηση και τη σκέδαση σήματος, πολλαπλές διαδρομές, διάδοση μη οπτικής επαφής - NLOS, ανθρώπινης κίνησης και παρεμβολές από άλλες συσκευές, που προκαλούν γρήγορες διακυμάνσεις. Τα εμπόδια μπορούν να μπλοκάρουν τα σήματα GPS, καθιστώντας έτσι αυτή την υπηρεσία μη διαθέσιμη εντός κτιρίων.

Ο προσδιορισμός τοποθεσίας σε εσωτερικούς χώρους απαιτεί υψηλή ακρίβεια (περίπου λίγα μέτρα) και αξιοπιστία και πρέπει να είναι χαμηλού κόστους. Αρκετά συστήματα έχουν αναπτυχθεί για να καλύψουν αυτή την ανάγκη τις τελευταίες δεκαετίες. Τα περισσότερα από αυτά τα συστήματα βασίζονται στη χρήση της ασύρματης τεχνολογίας λόγω της ευρείας κάλυψης και της διαθεσιμότητάς της στα περισσότερα κτίρια. Αυτό περιλαμβάνει την τεχνολογία που βασίζεται σε ραδιοσυχνότητες (Wi-Fi, RFID, Bluetooth, UWB), και τις τεχνολογίες υπερήχων, υπέρυθρων, μαγνητικού πεδίου, ακουστικού ήχου.

#### 4.3.1 Προσδιορισμός Θέσης με Τεχνολογία Ήχου

Μια ακουστική τεχνική για τον εντοπισμό της πηγής ενός ηχητικού σήματος σε μια ρύθμιση αναφέρεται ως εντοπισμός βάσει ήχου. Η Κατεύθυνση Άφιξης (Direction of Arrival DOA) των ηχητικών κυμάτων και η απόσταση [72] μεταξύ της πηγής του ήχου και των αισθητήρων του δέκτη ήχου χρησιμοποιούνται γενικά για την αναγνώριση της θέσης της πηγής. Η απόσταση μπορεί να υπολογιστεί μέσω μετρήσεων TOA, TDOA ή TOF.

Ουσιαστικά, τέτοια συστήματα απαιτούν τη διαθεσιμότητα δομικού σχεδιασμού της διάταξης των αισθητήρων και αλγορίθμων επεξεργασίας σήματος. Η τεχνική αυτή εντοπισμού εσωτερικού χώρου παρέχει ένα ακριβές σημείο εντοπισμού. Ωστόσο, τα χαρακτηριστικά μικρής εμβέλειας των ακουστικών σημάτων και η επίδραση του εξωτερικού θορύβου από το υπόλοιπο περιβάλλον είναι οι κύριοι παράγοντες που καθιστούν ακατάλληλο για ευρεία ανάπτυξη. Ακόμα μειονέκτημα αποτελεί και η πολύ περιορισμένη ικανότητα του ήχου να διαπερνά τους τοίχους, καθώς και ότι η ηχητική μετάδοση αποτελεί ένα είδος θορύβου σε εσωτερικά περιβάλλοντα, που προκαλεί ανεπιθύμητη ενόχληση στους ανθρώπους.

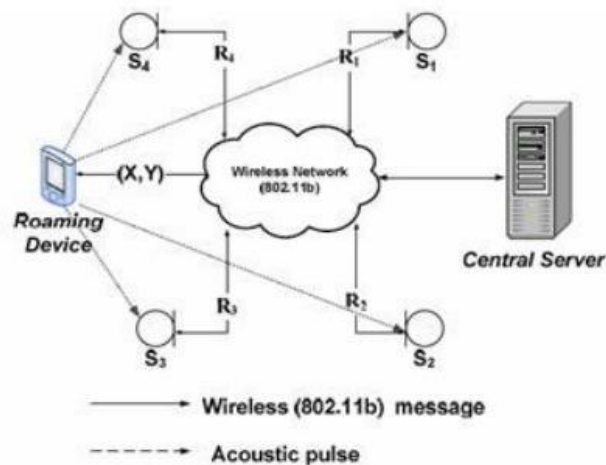
Πέραν αυτού, μπορεί ενδεχομένως να συνδυαστεί με άλλες τεχνολογίες για την εξάλειψη των υπαρχόντων προβλημάτων. Η προσέγγιση εντοπισμού ακουστικής πηγής χρησιμοποιήθηκε στο [73] για τη μείωση του αθροιστικού σφάλματος εντοπισμού της μεθόδου νεκρού απολογισμού για πεζούς (Pedestrian Dead Reckoning - PDR), με αποτέλεσμα μια ακρίβεια εντοπισμού των 30 cm. Εν τω μεταξύ, εφαρμόζοντας μόνο PDR, το αποδεκτό RMSE εντοπισμού είναι 2,15 m.

Επιπλέον, τα φαινόμενα μη οπτικής επαφής NLOS αποτελούν σημαντικό πρόβλημα για τον εντοπισμό εσωτερικού χώρου βάσει ήχου. Με σκοπό της αναγνώρισης φαινομένων NLOS χρησιμοποιώντας μόνο ακουστικά σήματα, στο [74] πρότεινε μια στρατηγική βασισμένη στην ημιεποπτευόμενη μάθηση (Semi-Supervised Learning-SSL) που πέτυχε ακρίβεια 84,80% χρησιμοποιώντας 10000 προκαθορισμένα δείγματα ακουστικών σημάτων. Ωστόσο, τα απαιτούμενα δεδομένα για την εκπαίδευση τέτοιων συστημάτων υποδεικνύουν ότι τα συστήματα χρειάζονται πολύ χρόνο για να ρυθμιστούν πριν την εφαρμογή τους. Η επισήμανση και ο

καθορισμός – διαχωρισμός – ταξινόμηση ενός τεράστιου αριθμού ακουστικών σημάτων είναι επίσης μια χρονοβόρα διαδικασία τόσο σε χρόνο όσο και σε προσπάθεια.

#### 4.3.1.1 Το σύστημα Beep

Το σύστημα Beep [75] είναι ένα από τα φθηνότερα συστήματα εντοπισμού θέσης που χρησιμοποιούν τον τεχνολογία ήχου για την εύρεση της τοποθεσίας. Αποτελείται από πολλούς ακουστικούς αισθητήρες που είναι εγκατεστημένοι σε σταθερές θέσεις στην περιοχή ενδιαφέροντος και συνδέεται σε κεντρικό διακομιστή μέσω ασύρματης σύνδεσης. Μια συσκευή της οποίας θέλουμε να προσδιορίσουμε την θέση, μεταδίδει έναν ηχητικό ήχο, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 25*.



Εικόνα 25: Αρχιτεκτονική του Συστήματος Beep[75]

Οι αισθητήρες λαμβάνουν τον μεταδιδόμενο ακουστικό ήχο και προωθούν αυτά τα δεδομένα στον κεντρικό διακομιστή μέσω των ασύρματων τοπικών δικτύων (Wireless Local Area Networks -WLAN). Η μέτρηση του TOA και η τεχνική τριγωνοποίησης χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της συσκευής θέση που μπορεί να μεταδοθεί μέσω WLAN στη συσκευή.

Τα συστήματα εντοπισμού θέσης ακουστικού ήχου έχουν ορισμένα μειονεκτήματα που σχετίζονται με την παρεμβολή των ήχων και η πολύ περιορισμένη ικανότητα του ήχου να διαπερνά τους τοίχους. Επίσης η ηχητική μετάδοση αποτελεί ένα είδος θορύβου σε εσωτερικά περιβάλλοντα, που προκαλεί ανεπιθύμητη ενόχληση στους ανθρώπους.

#### 4.3.1.2 Συστήματα Εύρεσης Τοποθεσίας με χρήση Υπερήχων

Τα υπερηχητικά σήματα μπορούν και αυτά να χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θέσης ενός κινητού χρήστη. Λειτουργούν σε συχνότητα 40 kHz με χαμηλή ταχύτητα μετάδοσης



του ήχου (343 m/s). Αυτή η διάδοση με χαμηλή ταχύτητα επιτρέπει στις τεχνικές τριγωνοποίησης να χρησιμοποιούν αργούς ρυθμούς ρολογιού για την παραγωγή της ακριβής τοποθεσίας. Τα περισσότερα συστήματα εντοπισμού υπερήχων συνδυάζονται με άλλη τεχνολογία για την εκτίμηση της απόστασης μεταξύ του πομπού και του δέκτη.

Τα συστήματα εντοπισμού υπερήχων (Ultrasonic Localization Systems – ULC) είναι σχετικά χαμηλού κόστους, αλλά τα σήματα τους διαταράσσονται από φαινόμενα πολλαπλών διαδρομών, δεν διεισδύουν σε τοίχους και απαιτούν μεγάλης κλίμακας υλοποίηση [76]. Επί πλέον, τα υπερηχητικά σήματα έχουν περιορισμένη εμβέλεια, γύρω στα τρία έως δέκα μέτρα, και επηρεάζεται η ταχύτητά τους από τη θερμοκρασία.

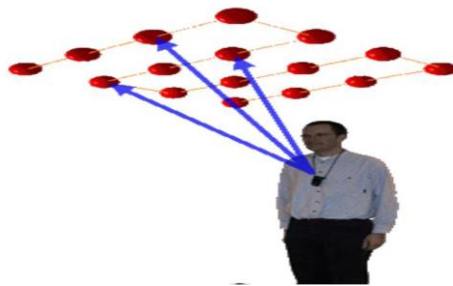
#### 4.3.1.2.1 Το σύστημα Active Bat

Το σύστημα Active Bat [77] χρησιμοποιεί πολλαπλούς δέκτες υπερήχων που βρίσκονται συνήθως στην οροφή ενός κτιρίου, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 26*. Αυτοί οι δέκτες συγχρονίζονται μέσω ραδιοκυμάτων λόγω της υψηλής τους ταχύτητάς τους σε σύγκριση με την ταχύτητα του ήχου. Ο πομπός (bat) στέλνει ταυτόχρονα σήματα RF και υπερήχων. Το σήμα RF φτάνει ακαριαία στους δέκτες, παρέχοντάς τους το σήμα συγχρονισμού. Κάθε δέκτης μετρά την λήψη των χρόνων του συγχρονισμού και των σημάτων υπερήχων και στη συνέχεια υπολογίζει την απόσταση μεταξύ αυτού και του πομπού ως εξής:

$$d = \frac{c_{RF}c_{us}}{c_{RF} - c_{us}} \Delta T \quad (4.12)$$

όπου  $c_{RF}$  η ταχύτητα σημάτων RF  
 $c_{US}$  η ταχύτητα των υπερηχητικών σημάτων  
 $\Delta T$  Η χρονική διαφορά των λαμβανόμενων RF σημάτων έναντι των υπερηχητικών.

Εδώ απαιτείται η χρήση τουλάχιστον τριών πομπών για τον καθορισμό της θέσης του δέκτη.



Εικόνα 26: Το σύστημα Active Bat [26]

#### 4.3.1.2.2 Το σύστημα Cricket

Το σύστημα εντοπισμού του Cricket [78] είναι ένα άλλο σύστημα εντοπισμού υπερήχων που βασίζεται στην ίδια αρχή. Ωστόσο, το σύστημα Cricket πραγματοποιεί τη διαδικασία εντοπισμού στον χρήστη του κινητού, ενώ το σύστημα Active Bat χρησιμοποιεί μια κεντρική μονάδα για τον προσδιορισμό της θέσης του κινητού χρήστη.

#### 4.3.2 Τεχνολογίες Εντοπισμού με χρήση Ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency –RF)

Η μετάδοση σημάτων με ραδιοσυχνότητες Radio – Frequency (RF) είναι η μετάδοση ηλεκτρομαγνητικών σημάτων που χρησιμοποιείται ως μέσο επικοινωνίας. Τα ραδιοκύματα είναι ηλεκτρομαγνητικοί παλμοί με αναγνωρισμένες ραδιοσυχνότητες που κυμαίνονται από 3 kHz έως 300 GHz. Οι τεχνολογίες ραδιοσυχνοτήτων είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες σε τεχνολογίες εντοπισμού θέσης, γεγονός που οφείλεται στην ήδη μεγάλη διαθεσιμότητά τους.

##### 4.3.2.1 Συστήματα Εύρεσης Τοποθεσίας με χρήση Τεχνολογίας Bluetooth

Η τεχνολογία Bluetooth είναι ένα ηλεκτρομαγνητικό σήμα ή μιας χαμηλής εμβέλειας ασύρματου προσωπικού δικτύου (Wireless Personal Area Network -WPAN), με μήκος κύματος περίπου 12,5 cm που λειτουργεί μεταξύ των συχνοτήτων 2,4 και 2,48 GHz. Το Bluetooth χρησιμοποιείται εκτενώς σε ακουστικά για κινητά τηλέφωνα για επικοινωνία σε πολύ μικρή απόσταση. Η πιο πρόσφατη έκδοση Bluetooth 5.1 έχει εμβέλεια περίπου 200 μέτρων. Από αυτήν την έκδοση η τεχνική του AOA μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της γωνίας κατεύθυνσης του σήματος λήψης ή εκπομπής ή ο υπολογισμός θέσης να βασίζεται στον χρόνο ή στο RSSI [79].

Το Bluetooth έχει πολλά πλεονεκτήματα, συμπεριλαμβανομένης της υποστήριξης από τα περισσότερα smartphone, φορητούς υπολογιστές, επιτραπέζιους υπολογιστές, προσωπικούς ψηφιακούς βοηθούς (Personal Digital Assistant - PDA) και άλλες συσκευές. Επιπλέον, το Bluetooth παρέχει χαμηλό κόστος, υψηλή ασφάλεια, μικρό μέγεθος, εύκολη ενσωμάτωση σε φορητές συσκευές και απόδοση ισχύος, γεγονός που καθιστά πιθανή την χρήση του από πομπούς οι οποίοι μπορούν να λειτουργούν για μήνες ή και χρόνια με μία μόνο φόρτιση. Ως εκ τούτου, επιτρέπει στους χρήστες να επαναχρησιμοποιούν συσκευές που διαθέτουν ήδη την τεχνολογία και επεκτείνεται εύκολα σε νέους χρήστες χωρίς την ανάγκη επιπλέον υλικού. Τα κινητά τηλέφωνα – smartphones μπορεί να χρησιμοποιηθούν για εντοπισμό σε τερματικά αεροδρομίων, σιδηροδρομικούς σταθμούς, μεγάλες αγορές, πολυκαταστήματα, νοσοκομεία, καφετέριες και εστιατόρια, όπου ο χάρτης περιοχής παρέχεται στο κινητό και στη συνέχεια, ο εντοπισμός ολοκληρώνεται χρησιμοποιώντας το Bluetooth.

Τέτοιες τεχνολογίες είναι το iBeacons της Apple και το Eddystone της Google . Είναι προτιμότερο για εντοπισμό εσωτερικών χώρων από μια ποικιλία τεχνολογιών για τους παρακάτω λόγους: (1) δυνατότητα μεταπήδησης καναλιού (channel hopping), (2) μειωμένη ισχύς μετάδοσης και (3) σημαντικά μεγαλύτερος ρυθμός σάρωσης σε σχέση με το Wi-Fi.

Παρόλα αυτά τα συστήματα εντοπισμού που βασίζονται σε Bluetooth, μπορούν να δώσουν ακρίβεια μόνο από 1 έως 3 μέτρα και έχουν καθυστέρηση 20 δευτερολέπτων, κάτι που είναι άβολο για παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον υπόκειται στους περιορισμούς όλων των συστημάτων εντοπισμού που χρησιμοποιούν την τεχνολογία RF ειδικά σε περίπλοκα και ευμετάβλητα εσωτερικά περιβάλλοντα. Κατά τη χρήση Bluetooth, η εξασθένιση σήματος , το φαινόμενο πολλαπλών διαδρομών και οι διακυμάνσεις της ισχύος του σήματος πρέπει να λαμβάνονται υπόψη [80].

#### 4.3.2.1.1 *Το σύστημα εντοπισμού θέσης Bluetooth Local Positioning Application*

Στο [81] υλοποιείται μια εφαρμογή τοπικού εντοπισμού θέσης με χρήση αυτής της τεχνολογίας το Bluetooth Local Positioning Application (BLPA). Τα RSS σήματα που λαμβάνονται αρχικά μετατρέπονται σε εκτιμήσεις απόστασης σύμφωνα με ένα απλό μοντέλο διάδοσης. Στη συνέχεια, το εκτεταμένο φίλτρο Kalman (Extended Kalman Filter - EKF) χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της εκτιμώμενης 3D θέσης με βάση αυτές τις εκτιμήσεις απόστασης. Αυτό το σύστημα επιτυγχάνει ακρίβεια θέσης 3,76 μέτρων.

#### 4.3.2.1.2 *Το σύστημα εντοπισμού θέσης με τεχνολογία Bluetooth από την Taddy*

Μια εμπορικής χρήσης σύστημα εντοπισμού θέσης και παρακολούθησης που χρησιμοποιεί την τεχνολογία Bluetooth υλοποιήθηκε από την Taddy για εύρεση τοποθεσίας σε εσωτερικούς χώρους [82]. Αυτή η λύση περιλαμβάνει τρία είδη στοιχείων: α)διακομιστές εντοπισμού θέσης,(β) σημεία ασύρματης πρόσβασης – WAP και ετικέτες ασύρματης σύνδεσης (wireless tags). Διαθέτει μέση ακρίβεια έως 2-3 μέτρα και μπορεί να εντοπίσει δεκάδες ετικέτες ταυτόχρονα, καλύπτοντας εκτάσεις χιλιάδων τετραγωνικών μέτρων.

Ωστόσο, όπως και άλλα συστήματα εντοπισμού θέσης Bluetooth, αυτό το σύστημα υποφέρει από πολλά μειονεκτήματα όπως η υψηλή καθυστέρηση εντοπισμού (15-30 s), λόγω της διαδικασίας εντοπισμού συσκευής που εκτελείται σε κάθε εύρεση τοποθεσίας. Επιπλέον, αυτά τα συστήματα επίσης υποφέρουν από τα μειονεκτήματα της τεχνικής εντοπισμού RF σε σύνθετους και μεταβαλλόμενους εσωτερικούς χώρους καταστάσεις.

#### 4.3.2.2 *Συστήματα Εύρεσης Τοποθεσίας με χρήση Τεχνολογίας Wi-Fi*

Το Wi-Fi είναι ένα εμπορικό σήμα για το πρότυπο IEEE 802.11. Λειτουργεί σε εύρος ζώνης 2,4GHz και 5GHz οι οποίες είναι γνωστές ως βιομηχανικές, επιστημονικές και ιατρικές ζώνες (Industrial, Scientific, Medical -ISM). Το Wi-Fi χρησιμοποιείται συνήθως για να προσφέρει δυνατότητες δικτύωσης και πρόσβαση στο διαδίκτυο σε διάφορες συσκευές σε ιδιωτικά, δημόσια και εμπορικά περιβάλλοντα. Το εύρος κάλυψης του Wi-Fi ήταν αρχικά 100 μέτρα, αλλά με το πρότυπο IEEE 802.11ah, πρόσφατα αυξήθηκε σε περίπου 1000 μέτρα, το οποίο είναι ουσιαστικά βελτιστοποιημένο για την ποιότητα των υπηρεσιών (Quality of Service -QoS) σε περιβάλλοντα IoT [83].

Λόγω της διαθεσιμότητας του Wi-Fi στην πλειονότητα των σημερινών smartphome, υπολογιστών και άλλων φορητών συσκευών, το Wi-Fi γίνεται η τέλεια επιλογή για εντοπισμό σε εσωτερικούς χώρους. Πολλές λύσεις εντοπισμού τοποθεσίας με επαρκή ακρίβεια μπορούν να κατασκευαστούν ακόμη και χωρίς τις απαιτήσεις πρόσθετων συσκευών υλικού που θα προστεθούν στα υπάρχοντα σημεία πρόσβασης Wi-Fi ή στην υποδομή.

Η υποδομή Wi-Fi μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως τοποθεσία αναφοράς για τη συλλογή σημάτων σε τεχνολογίες δακτυλικών αποτυπωμάτων. Ωστόσο, είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν καινοτόμες και αποτελεσματικές μέθοδοι για την ενίσχυση της ακρίβειας εντοπισμού. Επιπλέον, έχει αποδειχθεί ότι οι απεριόριστες παρεμβολές στη ζώνη ISM επηρεάζουν την απόδοση εντοπισμού [50]. Για την εφαρμογή υπηρεσιών τοπικής προσαρμογής που βασίζονται σε Wi-Fi, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν οι προαναφερθείσες μέθοδοι RSSI, TOF συμπεριλαμβανομένων των RTT, TOA και TDOA, AOA ή υβριδικών μεθόδων.

#### *4.3.2.2.1 Το σύστημα εντοπισμού θέσης Wi-Fi RSS*

Μία προσέγγιση τέτοιων συστημάτων είναι αυτή του δυνατότερου σταθμού βάσης (Strongest Base Station - SBS). Η μέθοδος SBS είναι η απλή στον εντοπισμό εσωτερικών χώρων και βασίζεται σε τεχνολογία Wi-Fi και RSS [85]. Η τοποθεσία του χρήστη εκτιμάται ως η θέση του σε σχέση με το πλησιέστερο BS. Αυτή η μέθοδος δεν απαιτεί υψηλή υπολογιστική ισχύ, αλλά δεν μπορεί να επιτύχει καλή ακρίβεια.

Επίσης η λήψη δακτυλικών αποτυπωμάτων με Wi-Fi RSS αποτελεί μία από τις πιο αξιοποιημένες τεχνικές στον εντοπισμό εσωτερικών χώρων που βασίζεται σε Wi-Fi [86]. Σε σύγκριση με το SBS και το μοντέλο διάδοσης, η μέθοδος δακτυλικών αποτυπωμάτων είναι πιο εύκολο στην ανάπτυξη και είναι ανεκτική στο θόρυβο που περιλαμβάνει το ασύρματο σήμα. Η ακρίβεια που μπορεί να επιτύχει είναι της τάξης μεταξύ 2m έως 50m.

#### *4.3.2.2.2 Το σύστημα εντοπισμού θέσης Wi-Fi με χρήση της Κύρια Προβεβλημένη Βαθιά Δομή Kohonen (Principal Featured Kohonen Deep Structure - PF-KDS)*

Οι συντάκτες του [87] πρότειναν τη χρήση της Κύριας Προτεινόμενης Βαθιάς Δομής Kohonen (Principal Featured Kohonen Deep Structure - PF-KDS) για τον εντοπισμό εξοπλισμού Wi-Fi και τη σχεδίαση επιπέδων εσωτερικού χώρου. Αρχικά, η μέθοδος βελτιωμένου αυτόματου αποκωδικοποιητή (Principal Feature Enhanced Auto Encoder) χρησιμοποιείται για την ανάλυση των χωρικών δεδομένων και στη συνέχεια την εξαγωγή κύριων χαρακτηριστικών, με αποτέλεσμα τη μείωση διαστάσεων και την πολυπλοκότητα του εντοπισμού. Μετά από αυτό, η μέθοδος αυτοοργάνωσης βαθιάς δομημένης μάθησης Kohonen (Kohonen Self-Organizing Deep Structured Learning) δημιουργείται χρησιμοποιώντας τα χαρακτηριστικά που συλλέχθηκαν με την ανωτέρω μέθοδο. Αυτή η μέθοδος καταγράφει μια λίστα μεμονωμένων διευθύνσεων υλικού (Media Access Control - MAC) και αντίστοιχων RSSI χρησιμοποιώντας ένα νέο μοντέλο απώλειας διαδρομής που λαμβάνει υπόψη την επίδραση των τοίχων στο RSSI, αυξάνοντας έτσι την ακρίβεια εντοπισμού. Τα ευρήματα δείχνουν ότι το PF-KDS για Εντοπισμό εσωτερικού χώρου παρέχει εξαιρετική ακρίβεια εντοπισμού με ελάχιστο χρόνο και κόστος.

#### 4.3.2.2.3 *Σύστημα Εντοπισμού με μετρήσεις Wi-Fi RTT*

Οι συντάκτες του [88] παρέχουν μια λύση εντοπισμού εσωτερικού χώρου που βασίζεται σε μετρήσεις Wi-Fi FTM RTT. Η λύση εξαρτάται από τους χρονικούς-χωρικούς περιορισμούς μεταξύ πελατών εικονικής θέσης (Virtual Positioning Clients - VPC). Σε ένα δυναμικό περιβάλλον με ουσιαστικό αποτέλεσμα πολλαπλών διαδρομών και διαθεσιμότητα παρεμβολών σήματος, η λύση παρέχει αξιόπιστη ακρίβεια εντοπισμού, η οποία είναι ένα επίπεδο κατά μέσο όρο 80%.

#### 4.3.2.2.4 *Το σύστημα εντοπισμού θέσης με χρήση Wi-Fi - RADAR*

Ένα άλλο σύστημα που προτάθηκε με το [89] από μία ομάδα εργασίας της Microsoft είναι το RADAR. Το σύστημα RADAR χρησιμοποιεί τον δείκτη RSS τόσο με δακτυλικά αποτυπώματα όσο και με τεχνικές εντοπισμού μοντέλων διάδοσης. Οι πλησιέστεροι γείτονες στην τεχνική του χώρου σήματος, η οποία είναι παρόμοια με την τεχνική K-κοντινοί γείτονες (K Nearest Neighbors - KNN), χρησιμοποιείται για να συναχθεί το συμπέρασμα του χρήστη του κινητού θέση μεταξύ των δακτυλικών αποτυπωμάτων της βάσης δεδομένων που έχουν προσυγκεντρωθεί στη φάση της εκπαίδευσης. Το σύστημα πετυχαίνει ακρίβεια περίπου 3 έως 4 μέτρων στο 50% των περιπτώσεων.

#### 4.3.2.2.5 *Το σύστημα εντοπισμού θέσης με χρήση Wi-Fi Horus και Compass*

Μετά το RADAR, έχουν αναπτυχθεί περαιτέρω συστήματα εντοπισμού θέσης που βασίζονται σε Wi-Fi, όπως το ως Horus and COMPASS [90],[91]. Και τα δύο συστήματα χρησιμοποιούν την πιθανολογική τεχνική για την εκτίμηση της θέσης του χρήστη.

Στο σύστημα Horus, χρησιμοποιούνται τεχνικές ομαδοποίησης τοποθεσίας για τη μείωση σε υπολογιστικές απαιτήσεις. Πράγματι, οι θέσεις των δακτυλικών αποτυπωμάτων ομαδοποιούνται με βάση τα σημεία πρόσβασης που τα καλύπτουν και βασίζονται σε ποιο σημείο πρόσβασης που έχει το ισχυρότερο δείκτη RSS. Δηλαδή μόνο το αποτυπώματα στο αντίστοιχο σύμπλεγμα χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της θέσης του χρήστη. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το μέσο σφάλμα απόστασης μειώνεται περισσότερο από 58%. Το σύστημα COMPASS χρησιμοποιεί ψηφιακές πυξίδες για τον εντοπισμό του προσανατολισμού του χρήστη και με βάση αυτές τις πληροφορίες, μόνο το αποτύπωμα που είναι κοινό σε προσανατολισμό χρησιμοποιείται για την εύρεση της τοποθεσίας του χρήστη. Αυτά τα συστήματα επιτυγχάνουν ακρίβεια μερικών μέτρων.

#### 4.3.2.3 Συστήματα Εύρεσης Τοποθεσίας με χρήση Υπερ-ευρείας Ζώνης

Η υπερευρεία ζώνη (Ultra-wideband UWB ή Ultraband) είναι μια τεχνολογία ασύρματων επικοινωνιών με συχνότητα άνω των 500 MHz και συχνότητα φορέα άνω των 2,5 GHz, η οποία είναι εξαιρετικά μικρή και έχει υψηλό εύρος ζώνης. Η χαμηλή κατανάλωση του UWB έχει ως αποτέλεσμα μεγάλο εύρος ζώνης με ανοσία στα φαινόμενα πολλαπλών διαδρομών (multipath). Παρόλο που, το UWB ενισχύεται σε εξασθένιση πολλαπλών διαδρομών λόγω της επικοινωνίας με υψηλή ταχύτητα, υψηλό ρυθμό δεδομένων και μικρού μήκους κύματος [13]. Ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα είναι η ικανότητά του να χρησιμοποιεί χαμηλές φέρουσες συχνότητες, όπου τα σήματα μπορούν να διαπεράσουν πιο αποτελεσματικά τα εμπόδια και είναι επίσης απαλλαγμένο από παρεμβολές επειδή το φάσμα τους είναι αρκετά διακριτό. Ως αποτέλεσμα όλων αυτών των χαρακτηριστικών, η τεχνολογία UWB είναι μια κατάλληλη επιλογή για εύρεση τοποθεσίας σε εσωτερικούς χώρους.

Σε σύγκριση με τεχνικές που βασίζονται στο χρόνο, η τεχνική που βασίζεται σε RSSI δεν εκμεταλλεύεται αποτελεσματικά το ευρύ εύρος ζώνης του UWB για τη βελτίωση της ακρίβειας εντοπισμού. Ενώ, τα TOA, TDOA και AOA χρησιμοποιούν την υψηλή χρονική ανάλυση του σήματος μικρής διάρκειας των UWB για να βελτιώσουν την ακρίβεια εντοπισμού σε σύγκριση με άλλες προσεγγίσεις. Η τεχνολογία UWB ξεπερνά τις συμβατικές τεχνολογίες εντοπισμού θέσης, είναι εξαιρετικά επεκτάσιμη και χρησιμοποιείται σε ποικίλες εφαρμογές, κυρίως σε εσωτερικούς χώρους.

Για τη μείωση των σφαλμάτων NLOS και τη βελτίωση της ακρίβειας θέσης BS στο [92] προτείνει τον συνδυασμό μιας μεθόδου νευρωνικού δικτύου CNN με μια προσαρμοστική μέθοδο διόρθωσης σφαλμάτων. Επιπλέον, οι συγγραφείς στο [13] προτείνουν μια τεχνική εντοπισμού θέσης που βελτιώνεται από ένα νευρωνικό δίκτυο. Τα ευρήματα δείχνουν ότι το νευρωνικό δίκτυο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί με τεχνικές που βασίζονται σε UWB και ότι μπορεί να διατηρήσει μια σταθερή ακρίβεια στις ρυθμίσεις NLOS.

Εξαιτίας του προβλήματος σχεδιασμού και ανεπαρκούς σήματος GPS, ο έλεγχος ενός μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος (Unmanned Aerial Vehicle - UAV) αποτελεί πρόκληση. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, προτείνεται στο [93] ένα άχρωμο φίλτρο Kalman

(Unscented Kalman filter) για τον συνδυασμό μετρήσεων UWB και μιας Αδρανειακής Μονάδας Μέτρησης (Inertial Measurement Unit – IMU) για τον εντοπισμό του UAV σε εσωτερικό χώρο. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι ο εντοπισμός UWB μόνος είναι ακριβής εντός  $\pm 5$  cm, ενώ ο εντοπισμός συνδυασμού UWB και IMU είναι ακριβής εντός  $\pm 1,5$  cm.

Στο [94] προτείνεται ένα σχήμα "παθητικής αγκύρωσης υποβοηθούμενης εντοπισμού" (Passive Anchor Assisted Localization - PAAL). Εδώ οι μετρήσεις TOA/AOA λαμβάνονται από την ενεργή «anchor», ενώ τα σήματα ενεργού «anchor» άγκυρας και πράκτορα συλλαμβάνονται μέσω των παθητικών αγκυρώσεων. Επιπλέον, οι πληροφορίες TDOA από τις μετρήσεις παθητικής «anchor» χρησιμοποιούνται πλήρως για να συμπληρώσουν τον εντοπισμό TOA/AOA άρθρωσης μονή αγκύρωσης. Επιπλέον, το σχήμα PAAL είναι χτισμένο σε μια πλατφόρμα UWB χαμηλού κόστους με ακρίβεια εντοπισμού 20 cm, ιδιαίτερα στις ρυθμίσεις NLOS.

Στο [95] προτείνεται ένα χαμηλού κόστους σύστημα αδρανειακής πλοήγησης (Inertial Navigation System - INS) και συνδυασμένη λύση UWB που βασίζεται σε έναν μόνο σταθμό βάσης σε άγνωστη τοποθεσία. Τα ευρήματα δείχνουν ότι η προτεινόμενη λύση μειώνει το μέσο σφάλμα θέσης στα 60 cm. Ωστόσο, η θέση αγκύρωσης υπολογίζεται μόνο μία φορά κατά τα πρώτα στάδια παρακολούθησης, όπου η ακρίβεια της εκτίμησης της θέσης του σταθμού βάσης έχει αντίκτυπο στην επακόλουθη λύση παρακολούθησης συνδυασμού.

Λόγω της μείωσης της ακρίβειας εντοπισμού βάσει UWB στα σενάρια NLOS και της μείωσης του ρυθμού ενημέρωσης καθώς αυξάνεται ο αριθμός των πελατών, το [96] προτείνει μια υβριδική τεχνική σε περιβάλλον που συνδυάζει την τεχνική UWB και νεκρού απολογισμού πεζού (PDR) με την εξέταση ενός καλαθιού αγορών. Για να παρακολουθείτε το καλάθι μεταξύ δύο μετρήσεων UWB, το καθένα συνδέεται με μια ετικέτα UWB και έναν αισθητήρα IMU για να ανιχνεύει το μήκος του βήματος και την κατεύθυνση ενός πελάτη που μεταφέρει το καλάθι αγορών. Οι συγγραφείς εξετάζουν και αντιπαραβάλλουν δύο τεχνικές για το συνδυασμό μετρήσεων PDR και UWB, δηλαδή τις τεχνικές φίλτρου Kalman και φίλτρου σωματιδίων. Επιπλέον, εξετάζουν τον αντίκτυπο των πληροφοριών στον χάρτη του καταστήματος στις πληροφορίες τροχιάς. Τα ευρήματα δείχνουν ότι η μέση ανακρίβεια θέσης με το UWB είναι μόνο 62,6 cm, ενώ τα φίλτρα Kalman και σωματιδίων επιτυγχάνουν ακρίβεια 34,1 cm και 41,3 cm, αντίστοιχα. Αντίθετα, η ακρίβεια αυξάνεται έως και 28,0 cm όταν οι πληροφορίες χάρτη συγχωνεύονται με το φίλτρο σωματιδίων.

#### 4.3.2.3.1 *Το σύστημα εντοπισμού θέσης Ubisense*

Το Ubisense είναι ένα σύστημα εντοπισμού θέσης σε πραγματικό χρόνο που βασίζεται στην τεχνολογία UWB, που αποτελείται από αισθητήρες, ετικέτες παρακολούθησης και μια πλατφόρμα λογισμικού Ubisense [97]. Οι αισθητήρες βρίσκονται σε γνωστές τοποθεσίες, λαμβάνουν τα σήματα UWB από τις παρακολουθούμενες ετικέτες. Στη συνέχεια, τα δεδομένα θέσης των ετικετών προωθούνται μέσω δικτύου Ethernet στην πλατφόρμα του λογισμικού για την ανάλυση και τον υπολογισμό των τοποθεσιών των ετικετών. Η τεχνική της τριγωνοποίησης η οποία επωφελείται από τις τεχνικές TDOA και AOA, χρησιμοποιείται στο σύστημα για την

παροχή ευέλικτης ικανότητας ανίχνευσης θέσης. Η ακρίβεια που προσφέρει η Ubisense είναι περίπου δεκάδες εκατοστά. Ωστόσο, η υψηλή απόδοση έχει ως αποτέλεσμα και το υψηλό του κόστος.

#### 4.3.2.4 Συστήματα Εύρεσης Τοποθεσίας με χρήση Τεχνολογίας ZigBee

Το ZigBee είναι μια δημοφιλής τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας που χρησιμοποιείται στην εποχή του IoT. Επιτρέπει την ομαλή επικοινωνία μεταξύ συσκευών από διάφορους κατασκευαστές. Το πρότυπο IEEE 802.15.4 χρησιμοποιείται για τη δημιουργία της στοίβας πρωτοκόλλου ZigBee [98]. Οι ζώνες συχνοτήτων 868 MHz, 915 MHz και 2,4 GHz χρησιμοποιούνται από ασύρματες συσκευές που βασίζονται σε ZigBee και ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι στα 250 kilobits ανά δευτερόλεπτο.

Παρέχει δύο είδη κλειδιών, κλειδί δικτύου (network key) και κλειδί πολλαπλών συνδέσεων (multiple link key), για να δημιουργήσει μια προστατευμένη σύνδεση μεταξύ συσκευών. Το κλειδί δικτύου είναι κοινόχρηστο από όλες τις συσκευές δικτύου, αλλά το κλειδί πολλαπλών συνδέσεων είναι κοινόχρηστο μόνο από τις συσκευές που επικοινωνούν. Διαφορετικά είδη τοπολογιών, συμπεριλαμβανομένων τοπολογιών δικτύου δέντρων, αστερών και πλέγματος, υποστηρίζονται από το ZigBee.

Είναι ιδανικό για εφαρμογές και συσκευές που απαιτούν χαμηλή χρήση δεδομένων, μεγάλης διάρκειας μπαταρίας και υψηλή ασφάλεια. Το εύρος σήματος ενός σήματος ZigBee σε εσωτερικό περιβάλλον είναι περίπου 20m έως 30m. Οι μετρήσεις RSSI χρησιμοποιούνται συνήθως για τον υπολογισμό του εύρους μεταξύ δύο συσκευών. Το ZigBee είναι ευάλωτο σε παρεμβολές από ένα ευρύ φάσμα λειτουργικών τύπων σημάτων που συνυπάρχουν στο ίδιο φάσμα, καθώς εκτελείται χωρίς άδεια εντός των ζωνών ISM. Μια τεχνική εντοπισμού που βασίζεται στο ZigBee έχει χρησιμοποιηθεί από αρκετούς ερευνητές [10].

Στα δίκτυα αισθητήρων ZigBee, προτείνεται μια λύση εντοπισμού βάσει περιοχής σε συνδυασμό με RSSI στο [9] χρησιμοποιώντας αλγόριθμους νευρωνικών δικτύων. Οι συσκευές με αισθητήρες ZigBee συλλέγουν δεδομένα ανίχνευσης από τέσσερις συσκευές αναφοράς εντοπισμού θέσης ZigBee, οι οποίες είναι διαθέσιμες από το περιβάλλον, και μεταφέρουν τα συλλεγόμενα δεδομένα στο σύστημα βάσης δεδομένων (back-end) για αποθήκευση και επεξεργασία. Η ακρίβεια του εντοπισμού περιοχής συγκρίθηκε με τις μεθόδους του μέσου όρου K-πλησιέστερου γείτονα (KNN-Average) και της μεθόδου Backpropagation Neutral Network (BPNN). Οι πειραματικές εξετάσεις υποδεικνύουν ότι τα κέρδη στην ακρίβεια εντοπισμού βάσει περιοχής που επιτυγχάνονται από το BPNN είναι πολύ πιο εμφανή από αυτά που λαμβάνονται με τη μέθοδο KNN-AVG λόγω της ικανότητας εκμάθησής του.

#### 4.3.2.5 Συστήματα Εύρεσης Τοποθεσίας με χρήση Τεχνολογίας LoRa



Η τεχνολογία δίκτυο μεγάλης εμβέλειας (Long Range Radio - LoRa) είναι μια ασύρματη τεχνολογία μεγάλης εμβέλειας που λειτουργεί στα 868 MHz (Ευρώπη) και 915 MHz (Αμερική). Έχει εμβέλεια έως και 50 χιλιόμετρα [99]. Αυτό σημαίνει ότι έχει σημαντικά μεγαλύτερη ακτίνα εκπομπής από το Wi-Fi και το Bluetooth. Το μοναδικό μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ότι μπορεί να μεταδώσει μόνο περιορισμένη ποσότητα δεδομένων σε Kilobytes. Λόγω της μετάδοσής του σε μεγάλη εμβέλεια, μπορεί να είναι δυνατή η επικοινωνία με περισσότερες συσκευές IoT. Ως αποτέλεσμα, υπάρχουν λιγότερες παρεμβολές στους πομπούς και δέκτες που χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό θέσης.

Μόνο οι εφαρμογές που είναι σταθερά και οικονομικά αποδοτικές συστήματα σε πραγματικό χρόνο πετυχαίνουν στις λεγόμενες έξυπνες πόλεις. Η κατανάλωση ρεύματος είναι ένα άλλο θέμα για τον εντοπισμό εσωτερικών χώρων. Οι πρόσφατες ασύρματες τεχνολογίες, όπως το χαμηλής ενέργειας Bluetooth Low Energy (BLE) και το LoRa, καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια, γεγονός που τις καθιστά ιδανικές για εύρεση τοποθεσίας εσωτερικών χώρων.

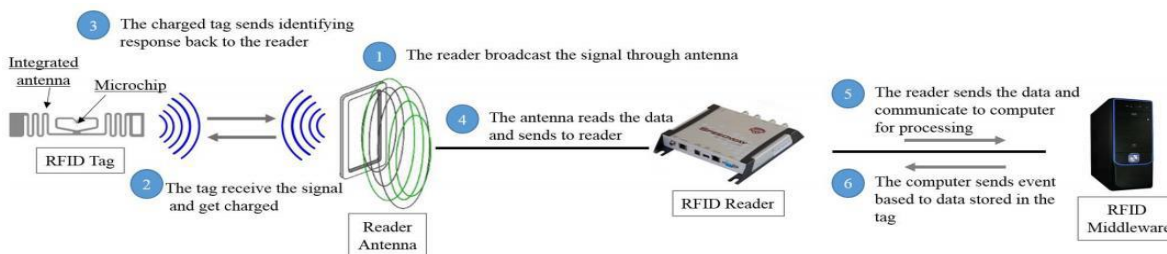
Οι συγγραφείς στο [100] διεξήγαγαν μια πειραματική μελέτη για να προσδιορίσουν ποια ασύρματα πρότυπα, συμπεριλαμβανομένων των Wi-Fi, Bluetooth Low Energy (BLE) και LoRa, είναι τα πλέον κατάλληλα για εντοπισμό σε εσωτερικούς χώρους. Η τεχνική του trilateration χρησιμοποιείται για τη διεξαγωγή πειραμάτων σε τρία διαφορετικά πεδία. Οι συντεταγμένες της συσκευής στόχου υπολογίζονται χρησιμοποιώντας RSSI. Τα ευρήματα του πειράματος υποδηλώνουν ότι το Wi-Fi είναι η πιο αποτελεσματική τεχνολογία, με μέσο σφάλμα 0,54 m. Το μέσο σφάλμα του LoRa είναι 0,62 m και του BLE 0,82 m. Αυτά τα ευρήματα μπορούν να βοηθήσουν στον προσδιορισμό της βέλτιστης ασύρματης τεχνολογίας που είναι για εντοπισμό σε εσωτερικούς χώρους. Ωστόσο, το LoRa ή το BLE μπορεί να είναι δύο εξαιρετικές εναλλακτικές λύσεις για το Wi-Fi σε περιπτώσεις όπου τα συστήματα εντοπισμού πρέπει να λειτουργούν με μπαταρίες.

Σε επίπεδο ενός διαμερίσματος, όπου η περιοχή εντοπισμού είναι σημαντικά μικρότερη από τους χώρους εργασίας, συμπεριλαμβανομένων των κτιρίων πανεπιστημίων, νοσοκομείων και αεροπλάνων, ο εντοπισμός εσωτερικών χώρων με χρήση LoRa δεν έχει διερευνηθεί επαρκώς. Οι συγγραφείς στο [101] αναλαμβάνουν πειράματα σε ένα τυπικό σενάριο διαμερισμάτων για να επαληθεύσουν τις δυνατότητες του LoRa για αποτελεσματικό και ακριβή εντοπισμό εσωτερικού χώρου. Τα πειραματικά ευρήματα αποκαλύπτουν ότι ο εντοπισμός εσωτερικού χώρου με βάση το LoRa πέτυχε ακρίβεια 1,6 m σε κατάσταση LOS και 3,2 m σε ακραίο σενάριο NLOS. Από την άλλη, οι συγγραφείς δεν εξέτασαν τη δυνατότητα ενσωμάτωσης μιας εφαρμογής για κινητά με το μοντέλο. Ομοίως, το LoRa παρέχει δυνητικά αβέβαιη ακρίβεια.

#### 4.3.2.6 Τεχνολογία αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων – *RFID Radio frequency identification technology*

Το RFID είναι μια ταχέως εξελισσόμενη τεχνολογία που χρησιμοποιεί ραδιοκύματα για την αναγνώριση και την παρακολούθηση ετικετών (tags) για την παροχή ασύρματης ικανότητας αναγνώρισης και παρακολούθησης. Η τεχνολογία RFID χρησιμοποιεί ένα μοναδικό

αναγνωριστικό ετικέτας (tag ID) για την αναγνώριση μιας κινητής συσκευής ή αντικειμένου στόχου χρησιμοποιώντας ένα σήμα RF, το οποίο ελαχιστοποιεί την πολυπλοκότητα και ξεπερνά τα προβλήματα απόφραξης και άλλα ζητήματα που προκαλούνται από το περιβάλλον. Ωστόσο, η επίτευξη υψηλής ακρίβειας εντοπισμού δεν είναι εγγυημένη λόγω περιορισμών υλικού. Από την άλλη, η χρήση συστημάτων RFID έχει αυξηθεί ραγδαία λόγω της γρήγορης πτώσης του κόστους των ετικετών RFID. Οι πιστωτικές κάρτες, τα διοδία, η παροχή πρόσβασης σε αυτοκίνητα σε περιφραγμένες κοινότητες, η παρακολούθηση υλικού βιβλιοθήκης, η παρακολούθηση ζώων και πολλές άλλες εφαρμογές χρησιμοποιούν σήμερα τεχνολογία RFID. Η λειτουργία ενός συστήματος RFID έχουμε στην *Εικόνα 25*.



Εικόνα 27: Σύστημα RFID [102]

Υπάρχουν αρκετοί διαφορετικοί τύποι συστημάτων RFID στην αγορά αυτή τη στιγμή. Συστήματα χαμηλής συχνότητας (Low Frequency - LF), υψηλής συχνότητας (High Frequency - HF) και εξαιρετικά υψηλής συχνότητας (Ultra High Frequency - UHF) όπου λειτουργούν στα 125 kHz, 13,56 MHz και 433 MHz, 860 έως 960 MHz και 2,4 GHz, αντίστοιχα.

Υπάρχουν επίσης ορισμένα προσαρμοσμένα συστήματα RFID που λειτουργούν στα 5,8 GHz στη ζώνη υπερ-υψηλής συχνότητας (Super High Frequency - SHF) [102]. Για έξυπνες κάρτες και εισιτήρια, χρησιμοποιούνται συνήθως συστήματα LF. Επιπλέον, τα συστήματα αυτά βασίζονται στην επαγωγική σύζευξη και συνήθως χρειάζονται μια σχεδόν άμεση φυσική επαφή μεταξύ του αναγνώστη και της ετικέτας. Επομένως, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για σκοπούς εντοπισμού. Τα συστήματα HF χρησιμοποιούν επίσης επαγωγική ζεύξη, αλλά το εύρος ανάγνωσης τους είναι μόνο μερικά εκατοστά, το οποίο είναι αρκετό για τεχνικές εντοπισμού. Οι ετικέτες UHF εξαρτώνται από τη διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, καθώς μπορούν να αναγνωριστούν από μια μετάδοση σήματος μικροκυμάτων. Η απόσταση ανάγνωσης επηρεάζεται από διάφορες πτυχές, η πιο σημαντική από τις οποίες είναι η ύπαρξη ή η εξαφάνιση μιας ετικέτας μπαταρίας.

Οι ετικέτες RFID και τα συστήματα RFID μπορεί να είναι ενεργές, ημιενεργές ή παθητικές. Οι ενεργές ετικέτες έχουν απόσταση ανάγνωσης δεκάδων μέτρων και λειτουργούν συνήθως στα 433 MHz, με απόσταση ανάγνωσης έως και 100 μέτρα. Η έννοια της διαμορφωμένης οπισθοσκέδασης (backscattering) χρησιμοποιείται για την επικοινωνία με παθητικές ετικέτες RFID, οι οποίες δεν διαθέτουν τροφοδοτικό. Έτσι, αντί να χρησιμοποιούν έναν εσωτερικό τοπικό ταλαντωτή, αυτοτροφοδοτούνται μέσω του εισερχόμενου ηλεκτρομαγνητικού κύματος που αποστέλλεται από τον αναγνώστη και ανακλάται πίσω διαμορφώνοντας το κύμα για να επικοινωνήσει τον Ηλεκτρονικό Κώδικα Προϊόντος (Electronic Product Code – EPC).

Οι τρέχουσες παθητικές ετικέτες UHF, 860 έως 960 MHz, έχουν απόσταση ανάγνωσης έως και 10 μέτρα. Κερδίζουν δημοτικότητα για τοπική εύρεση θέσης λόγω του χαμηλού κόστους, της ευκολίας εγκατάστασης και συντήρησης. Οι ημι-παθητικές ετικέτες έχουν μια μπαταρία που χρησιμοποιείται μόνο για την παροχή ρεύματος στο μικροτσίπ και άλλες βοηθητικές συσκευές, συμπεριλαμβανομένων των αισθητήρων, όχι για την τροφοδοσία του πομπού. Οι ενεργές ετικέτες RFID περιέχουν μια μπαταρία και μπορούν να μεταδώσουν σήματα αυτόνομα. Κάθε ετικέτα έχει τις δίκες τις πληροφορίες που είναι αποθηκευμένες σε μια μνήμη. Πρόσθετες πληροφορίες, όπως πληροφορίες θέσης μπορούν να αποθηκευτούν στην ετικέτα. Τα χαρακτηριστικά αυτής της τεχνολογίας την καθιστούν τον ιδανικό υποψήφιο για την ιχνηλασιμότητα πολλών προϊόντων, όπως τρόφιμα ή φάρμακα, κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού.

Το σύστημα εντοπισμού θέσης WhereNet [103] είναι ένα σύστημα εντοπισμού που χρησιμοποιεί διάφορες ετικέτες τοποθετημένες στα αντικείμενα που πρόκειται να εντοπιστούν, όπως μια συσκευή. Πολλαπλοί αναγνώστες λαμβάνουν τα σήματα που μεταδίδονται από μια ετικέτα και χρησιμοποιούν έναν εξελιγμένο αλγόριθμο διαφορικού χρόνου άφιξης, όπου και υπολογίζεται η θέση της ετικέτας. Το WhereNet παρέχει απόλυτες πληροφορίες θέσης ετικετών, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν από έναν αριθμό εφαρμογών που βασίζονται σε τοποθεσία. Αυτό το σύστημα προσφέρει εύρος σφάλματος περίπου 2-3 μέτρα, το οποίο δεν είναι πολύ ακριβές σε εσωτερικές καταστάσεις.

Στο [104], ένα ενεργό σύστημα RFID αναπτύχθηκε για να δημιουργήσει έναν εντοπισμό εσωτερικού/εξωτερικού χώρου σύστημα πλοήγησης οχημάτων και πεζών. Η λύση με την χρήση παθητικού RFID υιοθετείται στο [105] για το σχεδιασμό μιας υβριδικής μεθόδου για την παρακολούθηση κινητών αντικειμένων με υψηλή ακρίβεια και χαμηλό υπολογιστικό κόστος.

Στο [179], η παθητική υπερ-υψηλής συχνότητας (UHF) RFID τεχνολογία χρησιμοποιείται ως συμπληρωματική υποστήριξη για την πλοήγηση και τον εντοπισμό ρομπότ.

Η τεχνολογία RFID συχνά συνδυάζεται με άλλες τεχνολογίες που επιτρέπουν τη βελτίωση της ακρίβειας του συστήματος. Μια υβριδική λύση αισθητήρα σχεδιάστηκε στο [106] για να παρακολουθεί ένα κινητό ρομπότ με δύο περιστροφικούς κωδικοποιητές και δύο ετικέτες αναφοράς RFID που δείχνουν προς το πάτωμα. Ο υβριδισμός του αισθητήρα επιτυγχάνεται με τη χρήση του φίλτρου σωματιδίων (particle filter PF). Το PF χρησιμοποιεί συλλεγμένα δεδομένα από τους κωδικοποιητές τόσο στη φάση της πρόβλεψης όσο και στη φάση της Διαφοράς Φάσης Άφιξης (Phase Difference of Arrival - PDOA), καθώς και τα δεδομένα που ανιχνεύονται από μια συλλογή ετικετών αναφοράς RFID στο πάτωμα. Το PDOA απαλλάσσει την τεχνική από την ανάγκη βαθμονόμησης της μετατόπισης φάσης κάθε ετικέτας αναφοράς RFID. Έχουν πραγματοποιηθεί δύο σειρές πειραμάτων. Το ρομπότ περπάτησε σε έναν χώρο γραφείου 3,5 m 2,6 m με 30 ετικέτες τοποθετημένες σε απόσταση 60 cm στο πρώτο πείραμα. Για μια διαδρομή 10 μέτρων, το διάμεσο σφάλμα εντοπισμού είναι 5,4 cm. Στο δεύτερο πείραμα, κατανέμονται 42 ετικέτες με απόσταση πλέγματος 60 cm σε ένα πολυσύχναστο περιβάλλον γραφείου 5 m 5 m με την ύπαρξη μεταλλικών αντικειμένων. Σε μια διαδρομή 9 μέτρων, προκύπτει ένα διάμεσο σφάλμα 5,9 cm.

Το [107] πρότεινε μια λύση RFID έξι βαθμών ελευθερίας για UAV. Οι συγγραφείς επισύναψαν τουλάχιστον τρεις ετικέτες UHF-RFID στο UAV. Η προσέγγιση χρησιμοποιεί μια μέθοδο που βασίζεται σε αποσύνθεση ενικής αξίας (Singular Value Decomposition - SVD) και ένα φίλτρο Bayes, και είναι αποτελεσματική για μια ποικιλία εναέριων οχημάτων. Η προτεινόμενη λύση αξιολογείται σε ένα σύνθετο περιβάλλον εσωτερικού χώρου. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα σφάλματα εντοπισμού και προσανατολισμού είναι 0,04 m και 2,5 μοίρες, αντίστοιχα. Ενώ, σε εναέρια δικτύωση που βασίζεται σε κατευθυντική κεραία, χρησιμοποιείται μια μέθοδος φίλτρου Kalman για την πρόβλεψη της θέσης του UAV [108].

#### 4.3.2.7 Τεχνολογία διαμόρφωσης Συχνότητας

Η τεχνολογία διαμόρφωσης συχνότητας (Frequency Modulation – FM) είναι ένας τύπος ασύρματης τεχνολογίας μεγάλων αποστάσεων που χρησιμοποιείται σε εσωτερικά και εξωτερικά περιβάλλοντα σε όλο τον κόσμο. Το FM λειτουργεί στη ζώνη ραδιοφώνου 87,5 έως 108,0 MHz στις περισσότερες περιοχές [109].

Το FM επηρεάζεται λιγότερο από τις καιρικές συνθήκες και τα εμπόδια, συμπεριλαμβανομένων των τοίχων, των δέντρων, του ανθρώπινου σώματος και άλλων αντικειμένων, καθώς χρησιμοποιεί τη ζώνη πολύ υψηλής συχνότητας (VHF), η οποία είναι πολύ χαμηλότερη από το Wi-Fi (2,45 GHz), το κινητό (0,9 και δίκτυα κινητής τηλεφωνεία 1,8 GHz και τις υπόλοιπες τρέχουσες ασύρματες τεχνολογίες. Επειδή το FM χρησιμοποιείται τόσο ευρέως, δεν υπάρχει ανάγκη επένδυσης σε πρόσθετη υποδομή για τον εντοπισμό σε εσωτερικά περιβάλλοντα. Επιπλέον, ένας δέκτης FM είναι φθηνός και καταναλώνει λιγότερη ενέργεια, με αποτέλεσμα μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Επειδή έχει μεγαλύτερο μήκος κύματος (3 m), αλληλοεπιδρά διαφορετικά με αντικείμενα και έπιπλα εσωτερικού χώρου που βρίσκονται σε ζώνες των Wi-Fi. Η λειτουργία σε συχνότητα FM δεν προκαλεί παρεμβολές σε άλλα εξαρτήματα RF που λειτουργούν στα 2,4 GHz.

Εδώ η προσέγγιση δακτυλικών αποτυπωμάτων χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με μετρήσεις δείκτη RSSI για εντοπισμό σε εσωτερικούς χώρους. Η λύση KF-KNN, η οποία είναι μια λύση εντοπισμού δακτυλικών αποτυπωμάτων που βασίζεται σε σήματα FM, παρουσιάζεται στο [5]. Αρχικά, οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν τη μέθοδο KNN για να εκτελέσουν τον προκαταρκτικό υπολογισμό εντοπισμού με βάση τις πληροφορίες RSSI που καταγράφηκαν από τη μονάδα RF, το σύνολο δεδομένων των δακτυλικών αποτυπωμάτων RSSI και τα χαρακτηριστικά θορύβου από το περιβάλλον. Στη συνέχεια, το KF χρησιμοποιείται για τη βελτίωση των πληροφοριών εντοπισμού. Τα αποτελέσματα της μελέτης αποκαλύπτουν ότι η μέθοδος KF-KNN αποδίδει καλύτερα στον εντοπισμό από τις παραδοσιακές μεθόδους εντοπισμού με βάση τα δακτυλικά αποτυπώματα, με μέσο σφάλμα εντοπισμού 1,9 m. Οι συγγραφείς πρότειναν επίσης μια λύση βασισμένη σε δακτυλικά αποτυπώματα RF-RSSI που χρησιμοποιεί σταθμισμένους κεντροειδείς k-πλησιέστερους γείτονες (WC-KNN). Το μέσο σφάλμα εντοπισμού της λύσης WC-KNN φτάνει τα 0,8 m, σύμφωνα με πειραματικά στοιχεία, και δεν απαιτείται να προστεθεί επιπλέον υλικό στην υποδομή.

#### 4.3.2.8 Τεχνολογία διαμόρφωσης βασισμένη σε κυψελωτά δίκτυα (*Cellular Based Localization*)

Οι λύσεις εντοπισμού που βασίζονται σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας έχουν κερδίσει γρήγορα την προσοχή των ερευνητών σε όλο τον κόσμο, ειδικά με την εμφάνιση του LTE και του 5G, τα οποία έχουν αρκετά πλεονεκτήματα σε περιβάλλοντα IoT. Ένα κυψελοειδές ή ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας είναι ένα σύστημα δικτύου που αναπτύσσονται παντού. Τουλάχιστον ένας σταθερός πομποδέκτης βρίσκεται σε αυτές τις κυψέλες, ο οποίος παρέχει ασύρματη κάλυψη στην περιοχή κάλυψης. Για να ελαχιστοποιηθούν οι παρεμβολές στην κυψελοειδές μετάδοση, οι κοντινές κυψέλες χρησιμοποιούν διαφορετικά σύνολα συχνοτήτων. Η ολοκληρωμένη κάλυψη δικτύου ενός δικτύου κινητής τηλεφωνίας παρέχεται από μια ομάδα κυψελών (BSs/WAP). Αυτό επιτρέπει στις φορητές συσκευές τελικού χρήστη να επικοινωνούν ακόμη και όταν ταξιδεύουν μεταξύ των κυψελών.

Η τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας έχει υποστεί πολλές γενιές, συμπεριλαμβανομένης της 1<sup>ης</sup> (1G), η οποία είναι μια αναλογική τεχνολογία που δεν υπάρχει πλέον και παρέχει μόνο φωνητικές κλήσεις χωρίς καμία δυνατότητα δεδομένων. Οι υπηρεσίες φωνής και περιορισμένης επικοινωνίας υποστηρίζονται από την ψηφιακή τεχνολογία 2G, η οποία είναι πλέον ενεργή. Η φωνή, τα δεδομένα χαμηλής ταχύτητας και ένα σύνολο υπηρεσιών δεδομένων υποστηρίζονται όλα από δίκτυα 3G. Η κινητή ευρυζωνική σύνδεση με την πραγματική έννοια ενεργοποιείται από τεχνολογίες 4G (LTE), οι οποίες στοχεύουν σε ταχύτητες 100 Mbps ή μεγαλύτερες όταν βρίσκεστε εν κινήσει. Τέλος η τεχνολογία 5G τεχνολογία προβλέπεται να προσφέρει βελτιωμένη ευρυζωνική κινητή τηλεφωνία με υψηλή και ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων 20 Gbps, επεκτείνετε τη λειτουργικότητα IoT του 4G και επιτρέπει σε την χρήση κρίσιμες για την εφαρμογών που απαιτούν εξαιρετικά υψηλό εύρος ζώνης.

Διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων χρησιμοποιούνται από τα κυψελωτά δίκτυα, συμπεριλαμβανομένων των συχνοτήτων 0,9 GHz, 1,8 GHz και 2,8 GHz ως τυπικές ζώνες για το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (Global System for Mobile Communications - GSM). Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας υπερτερούν των δικτύων Wi-Fi όσον αφορά την κάλυψη και δεν απαιτούν επιπλέον εξοπλισμό.

Παραδοσιακά, η τεχνική της εγγύτητας (*proximity technique*) χρησιμοποιήθηκε για εντοπισμό θέσης, στην οποία η θέση της κινητής συσκευής προσδιοριζόταν κάτω από την περιοχή κάλυψης της κυψέλης. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος απέφερε απογοητευτικά αποτελέσματα. Επιπλέον, ο εντοπισμός τηλεφώνου γενικά επιτυγχάνεται με τη χρήση RSSI, η οποία χρησιμοποιεί την προσέγγιση δακτυλικών αποτυπωμάτων [110], όπου οι κεραίες κυψέλης αντιμετωπίζονται ως BS στην περίπτωση δακτυλικών αποτυπωμάτων RSSI.

Ομοίως, η τεχνική TOA εξετάζεται σε άλλες έρευνες, στις οποίες το trilateration είναι η επιλεγμένη τεχνική εντοπισμού. Για να μειώσει την επίδραση του φαινομένου multipath, στο [111] προτείνεται ένα σύστημα LTE πλοήγησης με συνθετικό διάφραγμα (*Synthetic Aperture Navigation - LTE-SAN*) που βασίζεται σε μετρήσεις συστοιχία κεραίας με συνθετικό διάφραγμα (*Synthetic Aperture Antenna Array*) και φάση φορέα LTE (*Carrier Phase*) μετρήσεις, όπου μια

σύνθετου ανοίγματος κεραία διαφράγματος χρησιμοποιείται για τη λήψη σημάτων σε διάφορες χρονικές στιγμές. Αυτό είναι συγκρίσιμο με τη λήψη σημάτων από μια συστοιχία. Το SAN προσδιορίζει την κατεύθυνση άφιξης (DOA) χρησιμοποιώντας την εκτίμηση παραμέτρων του σήματος μέσω της τεχνικής αμετάβλητης περιστροφής (Rotational Invariance). Στην έρευνά τους, το RMSE εντοπισμού για το LTE-SAN ήταν 3,9 m, σε σύγκριση με 7,19 m μόνο για το LTE.

Οι μετρήσεις TDOA χρησιμοποιούνται συνήθως σε τέτοια μορφής εντοπισμούς. Σε μια διαμόρφωση πολλαπλών εισόδων μονής εξόδου (Multiple Input – Single Output - MISO) 5G κυμάτων χιλιοστών (mmWave), η μελέτη [11], προτείνει μια νέα λύση στην οποία ο χρήστης κινητής τηλεφωνίας υπολογίζει τη δική του τοποθεσία συνδυάζοντας τις μετρήσεις TDOA και γωνίας αναχώρησης AOD η οποία συνάγεται από εκπομπές κατερχόμενων συνδέσεων - downlink. Οι συγγραφείς κάνουν αρχικά μια ανάλυση πληροφοριών Fisher για να προσδιορίσουν τα κατώτερα όρια στην ακρίβεια εκτίμησης και στη συνέχεια παρουσιάζουν μια νέα λύση εντοπισμού που μπορεί να βελτιώσει την απόδοση ακόμα και όταν υπάρχουν λίγες κεραίες εκπομπής και το εύρος ζώνης είναι περιορισμένο. Η απόδοση της λύσης εκτιμάται μεταβάλλοντας το εύρος ζώνης από 10 MHz σε 700 MHz. Κάθε φορά που το εύρος ζώνης γίνεται κάτω από 100 MHz, οι χρονικές μετρήσεις είναι ανεπαρκείς για την ακρίβεια της θέσης κάτω από 10 cm. Ωστόσο, δεδομένου ότι υπάρχουν τόσες πολλές κεραίες, οι ενδείξεις AOD από μόνες τους παρέχουν εξαιρετική ακρίβεια εντοπισμού. Για εύρη ζώνης εντός 100 και 500 MHz, η προτεινόμενη λύση ξεπερνά μόνο το TDOA και το AOD.

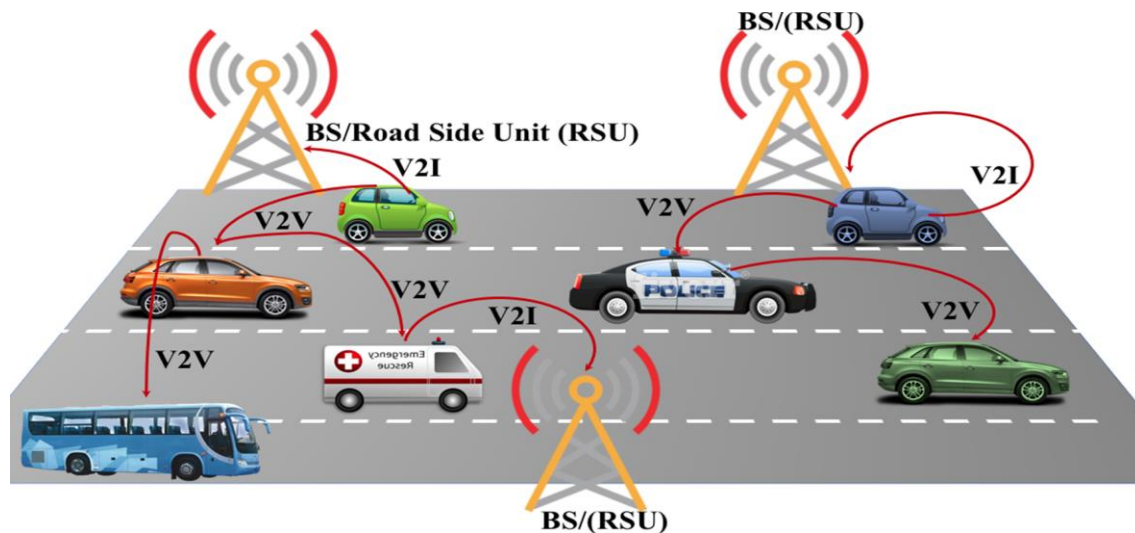
Παρά το γεγονός ότι η τεχνολογία MIMO είναι ένα σημαντικό θέμα στην επικοινωνία, η ικανότητά της στον εντοπισμό συχνά παραβλέπεται. Για να αντιμετωπιστεί η δυσκολία που δημιουργούνται από τα εξαιρετικά πυκνά δίκτυα, μια νέα μέθοδος που συνδυάζει κοντινό και μακρινό πεδίο σε 5G παρουσιάζεται στο [112]. Αρχικά εισάγεται μια νέα προσέγγιση χονδροειδούς εντοπισμού με χαμηλή πολυπλοκότητα. Στη συνέχεια, για την εκτίμηση των σφαλμάτων κοντινού πεδίου, οι συγγραφείς χρησιμοποιούν μια συσσωρευτική συνάρτηση τέταρτης τάξης με διάφορα βάρη. Τέλος, για την αποφυγή αθροιστικών σφαλμάτων, εκτελούν όλους τους απαιτούμενους υπολογισμούς χρησιμοποιώντας ακατέργαστα δεδομένα. Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι η προτεινόμενη μέθοδος υπερέχει των άλλων μεθόδων όσον αφορά την ακρίβεια εντοπισμού. Η μέθοδος προσφέρει επίσης κάποια ασυλία σε πολλαπλές διαδρομές και NLOS, που στοχεύει στην ενίσχυση της αποτελεσματικότητας εντοπισμού των hotspot. Ωστόσο, η ανακρίβεια που παράγεται από τη γωνία ανύψωσης προς την επίπεδη γωνία, η οποία είναι ορατή στο κοντινό πεδίο, δεν επιλύεται πλήρως με την προτεινόμενη μέθοδο. Στη μέθοδο, η ανακρίβεια μειώνεται μόνο κατά ένα γραμμικό βάρος.

Στο [113] προτείνει μια καινοτόμο λύση εντοπισμού mmWave MIMO-NOMA (που μπορεί να ικανοποιήσει τις ανάγκες των συστημάτων IoT. Καθιερώνει ένα σχήμα εντοπισμού με βάση της μη ορθολογικής πολλαπλής πρόσβασης (Non Orthological Multiple Access – NOMA) από άποψη επιπέδου συστήματος, καθώς και σχεδιασμό στρατηγικής μετάδοσης. Το όριο του τοπικά δεσμευμένου σφάλματος εντοπισμού (Localized Error Bound - LEB) επιλέγεται ως κριτήριο αξιολόγησης για τον καθορισμό της αποτελεσματικότητας του εντοπισμού. Η θεωρητική έρευνα χρησιμοποιείται για την προσομοίωση συγκρίσεων της αποτελεσματικότητας εντοπισμού μεταξύ NOMA και παραδοσιακής ορθολογικής πολλαπλής πρόσβασης (Orthogonal Multiple

Access - OMA). Σε αντίθεση με το OMA, τα αριθμητικά ευρήματα δείχνουν ότι η χρήση του NOMA για εντοπισμό είναι μια ρεαλιστική προσέγγιση για τη μείωση του LEB.

Τα Ευφυή Συστήματα Μεταφορών (Intelligent Transportation Systems - ITS) γίνονται πραγματικότητα και αναπόσπαστο μέρος των έξυπνων πόλεων, λόγω της διαθεσιμότητας Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνιών (Information and Communication Technologies - ICT) και εγκατεστημένων ασύρματων αισθητήρων στα σημερινά οχήματα. Η αποστολή του ITS είναι να αυξήσει την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα της κυκλοφορίας, ωφελώντας ταυτόχρονα την κοινωνία. Τα Ad Hoc Δίκτυα Οχημάτων (Vehicular Ad Hoc Networks - VANET), μια τεχνική που χρησιμοποιεί κινούμενα αυτοκίνητα ως κόμβο σε ένα δίκτυο για τη δημιουργία ενός δικτύου έχει κερδίσει μεγάλη έλξη σε αυτόν τον τομέα. Παρά τις ομοιότητες μεταξύ VANET και κινητών ασύρματων δικτύων Ad-Hoc (Mobile Ad-Hoc Networks - MANET), το VANET έχει σημαντικά χαρακτηριστικά που το διαχωρίζουν από το MANET. Όπου παρέχεται επικοινωνία όχημα με όχημα (Vehicle to Vehicle - V2V) και όχημα με υποδομή (Vehicle to Infrastructure - V2I) μέσω του VANET [189], όπως φαίνεται στην *Εικόνα 28*.

Επιπλέον, το VANET διασφαλίζει ότι η διαδρομή δρομολόγησης δεν θα «σπάσει» πριν ολοκληρωθεί η μετάδοση. Υπάρχουν πολλές εφαρμογές, όπως η πλοήγηση/παρακολούθηση οχημάτων, η αποφυγή ατυχημάτων και η αποτελεσματική μεταφορά, ανάλογα με την τεχνολογία VANET. Η εφαρμογή πλοήγησης υποστηρίζεται με τη χρήση σημάτων κινητής τηλεφωνίας (LTE και 5G). Επιπλέον, η τοπική προσαρμογή βάσει VANET μπορεί να εφαρμοστεί σε τοποθεσίες στις οποίες δεν είναι προσβάσιμο το GPS. Όλα αυτά τα επιτεύγματα ανήκουν στις προόδους στις τεχνολογίες ασύρματων δικτύων, συμπεριλαμβανομένου του IoT.



Εικόνα 28. Αρχιτεκτονική Επικοινωνίας VANET [24]

Στο [113], παρουσιάζεται μια καινοτόμος λύση εντοπισμού που βασίζεται στις μετρήσεις RSSI σήματος LTE για τον προσδιορισμό της ακριβούς θέσης ενός οχήματος στόχου. Η λύση παρέχει τη δυνατότητα λήψης σημάτων εντός της εμβέλειάς της, επικοινωνώντας με οδικές μονάδες (Road Side Units - RSUs) και υπολογισμού του μέσου όρου του RSSI. Αφού ληφθεί το RSSI, χρησιμοποιείται η τεχνική εντοπισμού RSSI για τον προσδιορισμό της ακριβούς θέσης του

οχήματος. Το κύριο χαρακτηριστικό της προτεινόμενης λύσης είναι ο υψηλός σηματοθορυβικός λόγος (Signal to Noise Ratio – SNR), το οποίο προέρχεται από το πλησιέστερο σταθμό βάσης. Μετά την ανακάλυψη της θέσης του οχήματος, εξετάζεται το χαμηλότερο σημείο Cramer (Cramer Rao Lower Bound - CRLB). Όλες οι προσομοιώσεις καταδεικνύουν ότι η προτεινόμενη τοπική προσαρμογή βάσει RSSI είναι αποτελεσματική και ξεπερνά τις άλλες παραδοσιακές τεχνικές LS και σταθμισμένων ελαχίστων τετραγώνων.

Μία λύση κατάστασης καναλιού - δακτυλικό αποτύπωμα (Channel State Information CSI-Fingerprinting) παρουσιάζεται στο [114] για να καλύψει τα κενά στην ακρίβεια GPS και την καθυστέρηση σε μια ρύθμιση οχήματος που βασίζεται σε WAVE. Επειδή τα συστήματα επικοινωνίας και οι εντοπισμοί οχημάτων χρησιμοποιούν τα ίδια σήματα, δεν υπάρχει ανάγκη για ξεχωριστή υποδομή εντοπισμού. Οι συγγραφείς εφαρμόζουν επεξεργασία σήματος για να μειώσουν τα φαινόμενα πολλαπλών διαδρομών και χρησιμοποιούν λειτουργίες τοποθεσίας για να αντισταθμίσουν σφάλματα λόγω υλικού. Επιπλέον, μειώνουν την επίδραση των δακτυλικών αποτυπωμάτων CSI χαμηλής μεταβλητότητας με βαθμούς ομοιότητας και χρησιμοποιούν φίλτρα σημείων αναφοράς για την εξάλειψη των θορύβων από την κυκλοφορία. Το μέσο σφάλμα απόστασης έφτασε τα 0,36 m σε 30 ελεύθερα πειράματα υπό διάφορες κυκλοφοριακές συνθήκες. Τα πειράματα αποκαλύπτουν μεγάλη ακρίβεια και ελάχιστο χρόνο καθυστέρησης, χωρίς να υπάρχει κάποια επίδραση από το μέγεθος του πλαισίου του οχήματος, την ταχύτητα του οχήματος, την κυκλοφορία ή τον καιρό.

#### *4.3.2.9 Τεχνολογία με Αδρανειακούς Αισθητήρες*

Με τη βοήθεια αδρανειακών αισθητήρων, οι οποίοι είναι ενσωματωμένοι σχεδόν σε κάθε έξυπνη συσκευή, ιδιαίτερα σε smartphone, μπορεί να εντοπιστεί η τοποθεσία των χρηστών σε σχέση με μια συγκεκριμένη τοποθεσία εκκίνησης. Τα μικροηλεκτρομηχανικά συστήματα (Micro-Electro-Mechanical Systems MEMS), συμπεριλαμβανομένων των επιταχυνσιόμετρων, των γυροσκοπίων, των αισθητήρων πίεσης και μαγνητόμετρων είναι οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται περισσότερο μεταξύ των αδρανειακών αισθητήρων. Οι ενσωματωμένοι αισθητήρες αδράνειας στα smartphone παρέχουν μόνο μια σχετική εκτίμηση θέσης, με την ακρίβεια να επιδεινώνεται με την πάροδο του χρόνου. Επομένως, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με άλλες τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένων των GNSS, UWB, Wi-Fi και Bluetooth, για τον προσδιορισμό της ακριβούς τοποθεσίας και τη βελτίωση της ακρίβειας της.

Οι μετρήσεις του επιταχυνσιόμετρου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της απόστασης που διανύθηκε μέσω της μέτρησης βημάτων. Επιπλέον, το γυροσκόπιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της κατεύθυνσης ή της γωνίας κίνησης του χρήστη. Το μαγνητικό πεδίο μετράτε επίσης από τον αισθητήρα μαγνητομέτρου. Η χρησιμοποιούμενη τεχνική εντοπισμού είναι η νεκρή καταμέτρηση, η οποία αναφέρεται ως PDR στην περίπτωση της πλοήγησης πεζών. Οι θόρυβοι αισθητήρων και τα προβλήματα παρεμβολών (ιδιαίτερα σε εσωτερικούς χώρους) επηρεάζουν τα δεδομένα του επιταχυνσιόμετρου και του μαγνητομέτρου, ενώ οι μετρήσεις του γυροσκοπίου έχουν σημαντική μετατόπιση σε λίγα δευτερόλεπτα για να



καθορίσουν την πορεία. Μια άλλη τυπική μέθοδος φιλτραρίσματος για τη μείωση των ρυθμών μετατόπισης αισθητήρων και την εκτίμηση της θέσης των τρεχόντων χρηστών συνιστάται να χρησιμοποιηθεί, η οποία περιλαμβάνει φίλτρο Kalman ή φίλτρα σωματιδίων.

Είναι επίσης σημαντικό ότι ένας αυξανόμενος αριθμός smartphone περιλαμβάνει έναν αισθητήρα πίεσης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της πίεσης του αέρα και επομένως για την εκτίμηση του υψομέτρου. Ο αισθητήρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση του τρέχοντος δαπέδου σε πολώροφες κατασκευές, κάτι που είναι πολύ πολύτιμο [115].

#### 4.3.3 Τεχνολογίες Εντοπισμού με χρήση Οπτικής Τεχνολογίας (Optical Technology)

Οτιδήποτε χρησιμοποιεί φως ή όραση για να εκπληρώσει έναν συγκεκριμένο σκοπό, είτε ορατό φως είτε υπέρυθρο φως, αναφέρεται ως οπτική τεχνολογία. Τα σήματα στο ορατό ή υπέρυθρο (IR) φάσμα χρησιμοποιούνται στην οπτική τεχνολογία. Πρόκειται για ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μήκη κύματος που κυμαίνονται από 380 νανόμετρα έως 10 μικρόμετρα [62]. Τα σήματα υπέρυθρων IR και το ορατό φως, σε αντίθεση με τα ραδιοσήματα, δεν μπορούν να περάσουν μέσα από τοίχους και άλλα εμπόδια, περιορίζοντας τον εντοπισμό σε περιορισμένα περιβάλλοντα. Γενικά, τα συστήματα οπτικού εντοπισμού θέσης είναι γνωστά για το φθινό τους κόστος (η υποδομή υπέρυθρων απαιτεί δαπανηρή συντήρηση), τη μικρή διάρκεια ζωής και την ευκολία εγκατάστασης στο χώρο εργασίας. Επιπλέον, τα συστήματα υπέρυθρων βλέπουν από το φως φθορισμού καθώς και από το φως του ήλιου. Τα συστήματα υπέρυθρων αποτελούνται από συσκευές εκπομπής υπέρυθρων, συμπεριλαμβανομένων των LED και αισθητήρων υπέρυθρων (π.χ. φωτοδίοδος). Έτσι, ο στόχος φέρει μια συσκευή εκπομπής υπέρυθρων που παράγει ένα σήμα με μοναδική αναγνώριση. Αφού ο αισθητήρας ανιχνεύσει το σήμα IR, προσδιορίζεται η θέση του στόχου.

Το σύστημα Active Badge [116] είναι το πρώτο συστήματα εντοπισμού σήματος εσωτερικού χώρου που σχεδιάστηκαν από την AT&T Cambridge το 1988-1992. Παρέχει συμβολικές πληροφορίες τοποθεσίας σε μέγεθος δωματίου. Οι δέκτες είναι εγκατεστημένοι στην οροφή του καθενός δωματίου του περιβάλλοντος και συνδέονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν ένα δίκτυο που ανιχνεύει την ενεργή ετικέτα. Οι ετικέτες που μεταφέρονται από το άτομο που πρόκειται να παρακολουθηθεί εκπέμπουν σήματα υπέρυθρων κάθε 15 δευτερόλεπτα. Οι δέκτες ανιχνεύστε το σήμα IR και με βάση την εγγύτητα, η θέση της ετικέτας καθορίζεται εντός του δωματίου και στη συνέχεια αποστέλλεται σε κεντρικό διακομιστή.

Όσον αφορά στην Επικοινωνία Ορατού Φωτός (Visible Light Communication - VLC), είναι μια νέα τεχνική ασύρματης επικοινωνίας μικρής εμβέλειας, χωρίς άδεια χρήσης. Οι πομποί VLC είναι δίοδοι εκπομπής φωτός (Light Emitting Diodes - LED), ενώ οι δέκτες είναι φωτοδίοδοι ή ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, ανάλογα με τις απαιτήσεις και τους περιορισμούς υλικού. Τα LED, από την άλλη πλευρά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο ως πομπός όσο και ως δέκτης σε καταστάσεις όπου το κόστος είναι ένας σημαντικός παράγοντας. Σε σύγκριση με άλλους

αισθητήρες ανίχνευσης φωτός, τα LED είναι ευαίσθητα σε ένα μικρό εύρος μηκών κύματος, είναι ανθεκτικά στις παρεμβολές του ηλιακού φωτός και είναι εύκολα προσβάσιμα [117].

Οι συγγραφείς στο [118] χρησιμοποιούν φωτισμό LED για εντοπισμό θέσης. Τα LED μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αντικαταστήσουν τον παραδοσιακό φωτισμό κατά τη μεταφορά δεδομένων σε ένα smartphone, καθώς μπορούν να αναβοσβήσουν εξαιρετικά γρήγορα χωρίς να επηρεάσουν την ανθρώπινη όραση. Επιπλέον, οι περισσότερες από τις τεχνικές εντοπισμού μπορούν να χρησιμοποιηθούν, συμπεριλαμβανομένων των δακτυλικών αποτυπωμάτων και RSSI.

Το Epsilon είναι ένα σύστημα εντοπισμού ορατού φωτός που εκμεταλλεύεται το ορατό φως που εκπέμπουν Πηγές διόδου (LED) [119]. Το σύστημα Epsilon αποτελείται από πολλούς λαμπτήρες LED που είναι εγκατεστημένοι στην οροφή και αισθητήρα φωτός τοποθετημένος σε κινητό τηλέφωνο, που χρησιμοποιείται ως στόχος παρακολούθησης, για λήψη του φωτός (Εικόνα 29). Κάθε λαμπτήρας εκπέμπει φως που περιέχει πληροφορίες τοποθεσίας όπως η θέση του ο λαμπτήρας και ο κύκλος λειτουργίας του. Ο αισθητήρας μετρά τα RSS από πολλαπλούς λαμπτήρες και υπολογίζει τις αποστάσεις από τον καθένα λαμπτήρα μέσω του μοντέλου οπτικού καναλιού. Αυτή η λαμβανόμενη ισχύς μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$P_r = P_t H(d) G_r \quad (4.13)$$

Όπου:

$P_t$	είναι η δύναμη εκπομπής
$H(d)$	είναι το κέρδος καναλιού σε σχέση με την απόσταση $d$ που χωρίζει τον δέκτη και τον πομπό
$G_r$	είναι το κέρδος του δέκτη.

Επίσης το κέρδος καναλιού εξαρτάται επίσης από την γωνία πρόσπτωσης  $\theta$  και  $\kappa$  την γωνία ακτινοβολίας. Οι πληροφορίες στο φωτεινό φάρο πρέπει να μεταφέρονται για τη σωστή μοντελοποίηση της μεταδιδόμενης ισχύος στο λήπτη. Επομένως, το RSS μπορεί να αναδιατυπωθεί ως εξής:

$$P_r = C \sin\left(\frac{\tau}{T} \pi\right) \frac{\cos \theta \cos \kappa}{d^2} \quad (4.14)$$

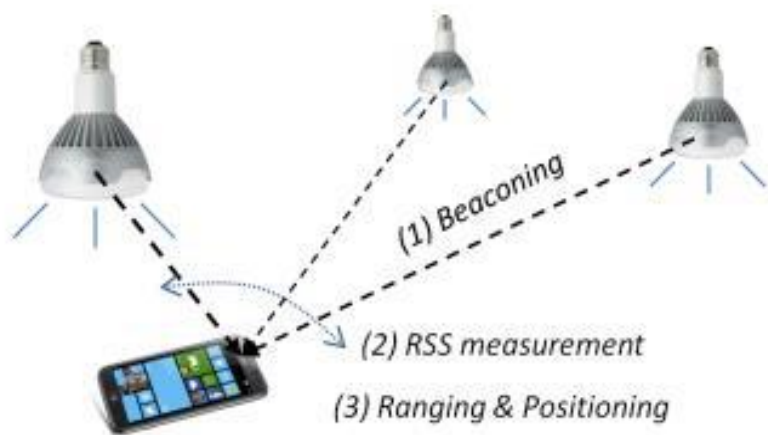
Όπου:  $C$  είναι η σταθερά ανά LED που σχετίζεται με τη μέγιστη ισχύ εκπομπής του,

$\tau/T$  ο τρέχων κύκλος λειτουργίας του LED.

Χρησιμοποιώντας τα RSS των σημάτων που λαμβάνονται από τουλάχιστον τρεις πηγές φωτός, ο δέκτης υπολογίζει τις αποστάσεις του από αυτές τις πηγές φωτός και στη συνέχεια υπολογίζει τη θέση του χρησιμοποιώντας μια πολυμερής (multilaterational) προσέγγιση. Το

σύστημα Epsilon μπορεί να επιτύχει ακρίβεια εντοπισμού υπο-μέτρων. Ωστόσο, το οπτικό κανάλι επηρεάζεται από το φως του περιβάλλοντος όπως το ηλιακό φως και το φως φθορισμού

Πρόσφατα, η τεχνολογία ελαφριάς πιστότητας (Light Fidelity - Li-Fi) έχει τραβήξει την προσοχή της πλοήγησης ερευνητές που προσπάθησαν να το εφαρμόσουν για τοποθέτηση σε εσωτερικούς χώρους. Οι συντάκτες του [120] χρησιμοποιούν το Li-Fi η τεχνολογία ως υποβοηθούμενη τεχνική εκτός από την τεχνολογία Wi-Fi για τη βελτίωση της ακρίβειας τοποθεσίας σε έξυπνα κτίρια. Αυτό το υβριδικό σύστημα εντοπισμού θέσης Li-Fi και Wi-Fi μπορεί να βελτιώσει την τοποθεσία ακρίβεια των υπαρχόντων συστημάτων εντοπισμού θέσης που βασίζονται σε Wi-Fi κατά 80%. Το κύριο μειονέκτημα του φωτός συστήματα είναι η απαίτηση οπτικής επαφής μεταξύ πομπού και δέκτη.



Εικόνα 29: Το σύστημα Epsilon [26]

#### 4.3.4 Τεχνολογίες Εντοπισμού με βάση την Όραση (Vision Based)

Ο εντοπισμός θέσης βάσει όρασης είναι ένα παθητικό σύστημα χωρίς συσκευές (Device Free Passive - DfP), επειδή το άτομο που παρακολουθείται δεν φέρει καμία συσκευή ή ετικέτα. Ανιχνεύει την παρουσία ενός στοιχείου σε μια σκηνή και εντοπίζει αυτό το στοιχείο στη σκηνή. Το στοιχείο μπορεί να παρακολουθηθεί για όσο διάστημα παραμένει στο οπτικό πεδίο της κάμερας. Ο εντοπισμός διεξάγεται με μετασχηματισμούς μεταξύ της εικόνας της σκηνής και του γωνίες θέασης της κάμερας.

Το Easy Living είναι ένα σύστημα εντοπισμού βάσει όρασης που χρησιμοποιεί δύο κάμερες για την κάλυψη της περιοχής μέτρησης [121]. Μπορεί να εκτιμήσει τη θέση ενός στόχου με 10 cm λάθος. Ωστόσο, αυτός ο τύπος τοποθέτησης παραβιάζει το απόρρητο των ανθρώπων. Αυτό το σύστημα δεν είναι αξιόπιστο σε ένα δυναμικά μεταβαλλόμενο περιβάλλον και επηρεασμένο από πολλές πηγές παρεμβολών όπως ο καιρός, φως κ.λπ.

#### 4.3.5 Συνδυασμένες Τεχνολογίες

Προτείνεται μια μεγάλη ποικιλία στρατηγικών για την ενίσχυση της ακρίβειας εντοπισμού, συνδυάζοντας τα ευεργετικά χαρακτηριστικά των υπαρχουσών τεχνολογιών και ξεπερνώντας τους περιορισμούς μιας αυτόνομης τεχνολογίας. Αυτό περιλαμβάνει τον συνδυασμό αδρανειακών αισθητήρων με τεχνολογίες Wi-Fi, Bluetooth, UWB ή/και GNSS, UWB με Bluetooth ή με Wi-Fi τεχνολογίες, δορυφορική με κυψελοειδές τεχνολογία συμπεριλαμβανομένων LTE και 5G και GNSS με BLE και αδρανειακούς αισθητήρες.

Επιπλέον, το κινητό μπορεί να συγχωνευτεί με Wi-Fi. Τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό, στις λύσεις εντοπισμού πολυώροφων εσωτερικών χώρων, ο εντοπισμός δαπέδου είναι ένα κρίσιμο θέμα που εξακολουθεί να βρίσκεται στο επίκεντρο των ερευνητών. Η ενσωμάτωση αρκετών αδρανειακών αισθητήρων smartphone με άλλες ασύρματες τεχνολογίες είναι μια πολλά υποσχόμενη προσέγγιση τόσο από άποψη επεκτασιμότητας όσο και από άποψη ακρίβειας.

Χρησιμοποιώντας ένα επιταχυνσιόμετρο, γυροσκόπιο και έναν ραδιοφωνικό δέκτη FM, μια τεχνική εντοπισμού δαπέδου πολλαπλών χαρακτηριστικών κατασκευάζεται στο [122] για να ληφθούν αξιόπιστα αποτελέσματα ταξινόμησης\_ενσωματώνοντας τυχαίους ταξινομητές δασών. Τα ευρήματα της ταξινόμησης χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του εντοπισμού. Τα ευρήματα δείχνουν ότι η τεχνική αποκτά ακρίβεια εντοπισμού δαπέδου 96,9%, η οποία είναι 24,3% καλύτερη από την άλλη τεχνική πολλαπλών δυνατοτήτων χωρίς χαρακτηριστικά σήματος FM.

Ωστόσο, η χρήση περισσότερων από μία τεχνολογιών σε μια λύση μπορεί να αυξήσει την πολυπλοκότητα του χρόνου και της μνήμης και μερικές φορές μπορεί να είναι ή όχι δαπανηρή.

#### 4.4 Σύνοψη Κεφαλαίου

Πολλές εφαρμογές IoT επωφελούνται από τον εντοπισμό της θέσης συγκεκριμένων συσκευών στον σύγχρονο κόσμο, εκτός από τις απαιτήσεις συνδεσιμότητας και αξιοπιστίας ενός συστήματος επικοινωνίας. Για αυτό, η εύρεση της τοποθεσίας σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους είναι κρίσιμης σημασίας σε πολλές εφαρμογές που σχετίζονται με το IoT.

Το IoT προσφέρει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών που βασίζονται στον εντοπισμό θέσης που επηρεάζουν σχεδόν κάθε πτυχή της καθημερινής ζωής των ανθρωπιστικών επιστημών. Για παράδειγμα:

(1) Η ανίχνευση πτώσης σε συστήματα υγειονομικής περίθαλψης, έτσι ώστε σε περίπτωση πτώσης ενός ηλικιωμένου ή ανάπηρου ατόμου, να μπορεί να λάβει άμεση βοήθεια [123].

(2) Η προστασία της άγριας ζωής είναι δυνατή όταν τα άγρια ζώα μπορούν να εντοπιστούν και να εντοπιστεί η θέση τους χρησιμοποιώντας περιλαίμια παρακολούθησης [122].

- (3) Η ανίχνευση ατυχήματος οχημάτων [124].
- (4) Ένα διαδραστικό έξυπνο μουσείο [125].
- (5) Παρακολούθηση στάθμευσης αυτοκινήτων σε πραγματικό χρόνο και αυτόματη χρέωση [126].
- (6) Πυροσβέστες που παρακολουθούν κάτω από επικίνδυνο πυκνό καπνό και φλόγες σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης [127].
- (7) Έξυπνη διαχείριση πόρων βάσει τοποθεσίας [128].
- (9) Έλεγχος πρόσβασης βάσει τοποθεσίας που επιτρέπει στους χρήστες να έχουν πρόσβαση σε πόρους με βάση την τοποθεσία τους [129].
- (10) Πλοήγηση στο εμπορικό κέντρο [130].
- (11) Παρακολούθηση περιουσιακών στοιχείων αποθήκης [131], [132].
- (12) Ανίχνευση αντικειμένων σε εσωτερικούς χώρους, όπως ανίχνευση πόρτας [40].

Επιπλέον, πολλές εφαρμογές εντοπισμού θέσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να εξυπηρετηθούν σε συνδυασμό με υπηρεσίες που βασίζονται σε σύννεφο (cloud), όπως τα έξυπνα συστήματα κυκλοφορίας. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να ανιχνεύσει τα περιστατικά κυκλοφοριακής συμφόρησης χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα από τηλέφωνα ή smartphone του οδηγού. Οι τοπικοί οδηγοί λαμβάνουν μια αυτοματοποιημένη ειδοποίηση που τους ζητά να αναζητήσουν διαφορετικές διαδρομές λόγω των απαντήσεων του συστήματος [133].

Τέλος, στο Παράρτημα Β παρουσιάζουμε έναν πίνακα με όλα τα συστήματα εντοπισμού που αναπτύχθηκαν στο παρών κεφάλαιο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Μηχανική Μάθηση και Εντοπισμός

### 5.1 Εισαγωγή

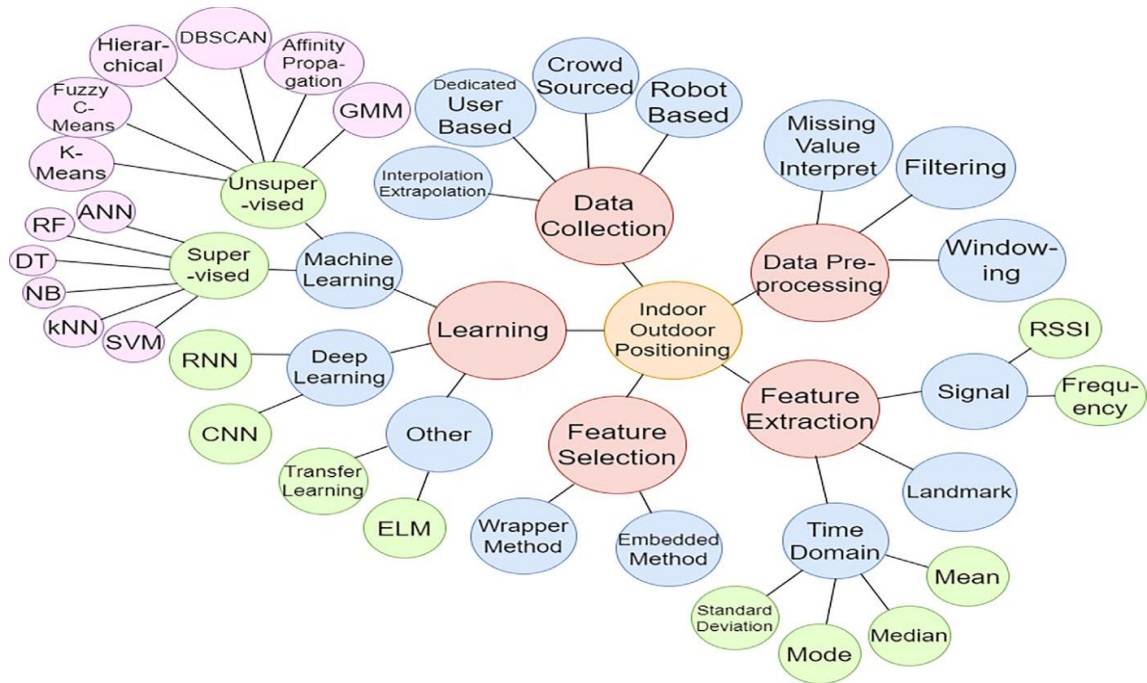
Στα προηγούμενα κεφάλαια αναλύσαμε τα περισσότερα συστήματα εντοπισμού τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως στην εποχή του IoT. Όπως αναφέραμε καμία τεχνική ή κανένα σύστημα εντοπισμού δεν έχει καταφέρει μέχρι τώρα να αποδώσει τα μέγιστα είτε σε εξωτερικά είτε σε εσωτερικά περιβάλλοντα αλλά ούτε και αναλύσαμε κάποιο σύστημα το οποίο να παρέχει τα ίδια αποτελέσματα σε περιβάλλοντα εξωτερικού ή εσωτερικού χώρου. Σε εξωτερικά οι τεχνολογίες GNSS, με πρώτιστο το GPS, κατέχουν περίοπτη θέση όμως δεν μπορούν να έχουν τα ίδια αποτελέσματα σε εσωτερικά περιβάλλοντα. Σε εσωτερικά περιβάλλοντα τα οποία από την άλλη η χρήση των τεχνολογιών με την χρήση διαφόρων sensors και τεχνολογιών επιτυγχάνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Το ερώτημα που τίθεται και είναι αρκετά σημαντικό, έχοντας κερδίσει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας, είναι το πως μπορούμε να επιτύχουμε αδιάληπτη εσωτερική και εξωτερική εύρεση τοποθεσίας. Δηλαδή ενώ κινούμαστε από ένα εσωτερικό σε ένα εξωτερικό περιβάλλον και αντίθετα, ποιος είναι ο καλύτερος τρόπος να επιτύχουμε συνεχή παρακολούθηση. Σε αυτό το ερώτημα προσπαθούμε να απαντήσουμε σε αυτό το κεφάλαιο, δηλαδή τον τρόπο με τον οποίο μπορούμε να συνδυάσουμε τις τεχνολογίες για να επιτύχουμε αδιάληπτο συνεχή προσδιορισμό τοποθεσίας ενώ κουνούμαστε από ένα περιβάλλον σε ένα άλλο (από ένα εξωτερικό σε ένα εσωτερικό και αντίστροφα) .

Για να επιτύχουμε απρόσκοπτη πλοήγηση εσωτερικού-εξωτερικού χώρου (Indoor, Outdoor - IO), είναι σημαντική η ανίχνευση της ταχείας εναλλαγής περιβάλλοντος μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού χώρου και η άμεση εφαρμογή μιας κατάλληλης τεχνολογίας εντοπισμού. Αυτό απαιτεί την από πριν εκπαίδευση του συστήματος εντοπισμού θέσης να μπορεί να παρακολουθεί τις αλλαγές στο περιβάλλον και να τροποποιείται αυτόματα και άμεσα.

Η πρόσφατη εξέλιξη των προσεγγίσεων που βασίζονται στη Μηχανική Μάθηση (Machine Learning - ML) και η αποτελεσματικότητά τους έναντι των συμβατικών μαθηματικών προσεγγίσεων έχουν παρατηρηθεί ότι είναι κατάλληλες για την δυναμική αντιμετώπιση του προβλήματος, ιδιαίτερα στο πλαίσιο των μεταβαλλόμενων συνθηκών του περιβάλλοντος. Οι προσεγγίσεις μπορούν να ισορροπήσουν αποτελεσματικά μεταξύ επεκτασιμότητας και αποδοτικότητας καθώς αποτυπώνει με ακρίβεια η πολύπλοκη μη γραμμική σχέση μεταξύ όλων των μεταβλητών του συστήματος. Πληθώρα πρόσφατων εργασιών σχετικά με τον εντοπισμό IO υποδεικνύουν την επιτυχία των προσεγγίσεων ML και βαθιάς μάθησης (Deep Learning - DL) σε αυτό τομέα [134].

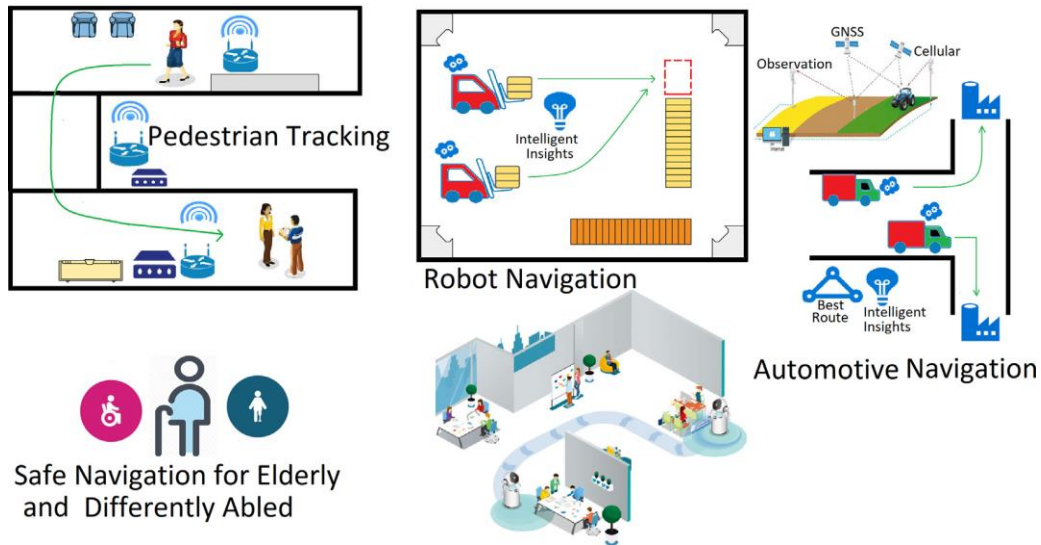
Στην *Εικόνα 30*, έχουμε την γενική ταξινόμηση και δομή της μηχανικής μάθησης.



Εικόνα 30: Ταξινόμηση και δομή της μηχανικής μάθησης [134]

## 5.2 Πεδίο Εφαρμογής Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning – ML)

Η ανάγκη ανάπτυξης τεχνολογιών οι οποίες χρησιμοποιούν ML είναι επιτακτική και με βάση των πραγματικών αναγκών στην σύγχρονη εποχή. Στην *Εικόνα 31* παρουσιάζονται μερικές από τις εφαρμογές που απαιτείται αυτή η ταχεία εναλλαγή των συστημάτων εσωτερικού – εξωτερικού εντοπισμού ώστε να είναι αποδοτικά και να έχουμε τα καλύτερα αποτελέσματα.



Εικόνα 31: Διάφοροι τομείς εφαρμογής εντοπισμού εσωτερικού και εξωτερικού χώρου [134]

### 5.3 Ανάγκη Εφαρμογής Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning – ML)

Ο σχεδιασμός απρόσκοπτης πλοήγησης από εσωτερικούς σε εξωτερικούς χώρους εμπεριέχει έναν αριθμό σημαντικές ερευνητικές προκλήσεις. Οι προκλήσεις που προκύπτουν δημιουργούνται για τους εξής λόγους:

α) Η αναποτελεσματικότητα ενός μόνο αισθητήρα: Ανάλογα με την περίπτωση ένας μεμονωμένος αισθητήρας μπορεί να μην επαρκεί για την ανίχνευση του περιβάλλοντος (εσωτερικό ή εξωτερικό) ή τον εντοπισμό της θέσης του χρήστη/αντικειμένου καθώς αυτό κινείται από ένα περιβάλλον σε ένα άλλο. Με την χρήση πολλαπλών αισθητήρων το πρόβλημα μπορεί να ξεπεραστεί. Για παράδειγμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικοί αισθητήρες ταυτόχρονα σε smartphone.

β) Προσαρμοστική αξιολόγηση σφαλμάτων διαφορετικών πηγών σήματος: Συνήθως για την απρόσκοπτη πλοήγηση χρησιμοποιούμε πολλαπλούς αισθητήρες. Είναι σημαντικό να μπορούμε να συνδυάζουμε έξυπνα τις διαφορετικές πηγές σήματος εσωτερικού και εξωτερικού χώρου και να μπορούμε να αξιολογήσουμε προσαρμοστικά το σφάλμα καθεμιάς από τις πηγές σήματος. Προβλήματα σε αυτό τον τομέα έχουν και τα σήματα GPS, λόγω της καθυστέρησης της ιονόσφαιρας, αλλά και σε συστήματα εντοπισμού με Wi-Fi λόγω του σφάλματος που εμπεριέχει το σήμα Wi-Fi.

γ) Προσδιορισμός της διαφορετικότητας της ευαισθησίας της περιοχής: Οι εσωτερικοί χώροι δεν είναι ίδιοι και δεν μπορούμε να έχουμε κάποιο κοινό σημείο αναφοράς. Επομένως είναι δύσκολο να προσδιορίσουμε την ευαισθησία της περιοχής ή να κατηγοριοποιήσουμε τις περιοχές

δ) Πολύτροπή ανάλυση δεδομένων: Στον τομέα εντοπισμού και εντοπισμού περιβάλλοντος, τα σύνολα δεδομένων είναι ιδιαίτερα σημαντικά καθώς σε πολλές περιπτώσεις, ένας μεμονωμένος τύπος αισθητήρα δεν επαρκεί. Οι πολυτροπικοί συνδυασμοί των περισσότερων τεχνολογιών εύρεσης τοποθεσίας απαιτούν εξαγωγή και επιλογή τεχνικών ώστε να μπορέσουν να συνδυάσουν κατάλληλα τις υπάρχουσες τεχνολογίες.

ε) Επαναλαμβανόμενη έρευνα τοποθεσίας για χειροκίνητη προσαρμογή δακτυλικών αποτυπωμάτων: Στην εύρεση τοποθεσίας βάσει δακτυλικών αποτυπωμάτων, η ανάλυση του περιβάλλοντος αποτελεί χρονοβόρα και επίπονη διαδικασία. Για παράδειγμα, σε περίπτωση τοποθέτησης βάσει Wi-Fi, εάν ένα σημείο πρόσβασης (AP) έχει καταστραφεί ή αλλάξει η θέση του, τα αποθηκευμένα δακτυλικά αποτυπώματα για αυτό το AP δεν μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για εκπαίδευση σκοπός. Έτσι, η διατήρηση των ακριβών δακτυλικών αποτυπωμάτων φαίνεται να είναι ένα ανέφικτο έργο.



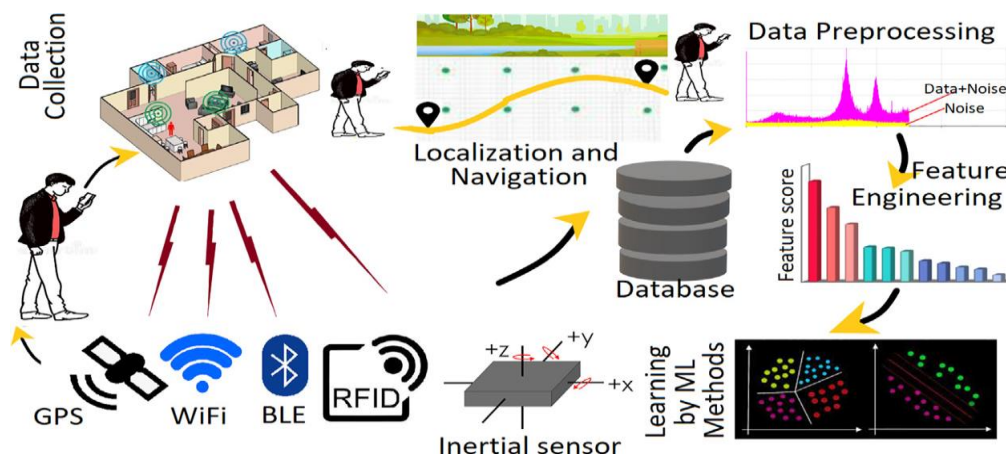
## 5.4 Εφαρμογής Μηχανικής Μάθησης σε Υπηρεσίες Εντοπισμού (Machine Learning – ML)

Με την χρήση της μηχανικής μάθησης αυτό που απαιτούμε είναι μια συνεχή και αδιάλειπτη εκτίμηση της τοποθεσίας του χρήστη/στόχου καθώς αυτός κινείται από ένα περιβάλλον σε ένα άλλο. Στις υποενότητες που ακολουθούν θα αναλύσουμε το πλαίσιο λειτουργίας της ML για εντοπισμό IO δηλαδή το πως λειτουργεί και πως μπορούμε να την εφαρμόσουμε σε υπηρεσίες εντοπισμού καθώς επίσης θα αναλύσουμε τις τεχνικές οι οποίες οι οποίες εκμεταλλεύονται την μηχανική μάθηση για να προσφέρουν υπηρεσίες εντοπισμού.

### 5.4.1 Πλαίσιο Λειτουργίας της Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning Framework)

Οι υπηρεσίες εντοπισμού καθώς επίσης και η ανίχνευση μεταπήδησης από εσωτερικό σε εξωτερικό περιβάλλον πραγματοποιούνται σε περιβάλλοντα με διαφορετικά χαρακτηριστικά κάθε φορά. Τα περιβάλλοντα ποικίλουν με χαρακτηριστικά όπως η διαφορά μέρας ή νύχτας ή η συμφόρηση ή μη. Για να μπορέσει λοιπόν ένα τέτοιο σύστημα να λειτουργήσει σε όλα αυτά τα διαφορετικά περιβάλλοντα απαιτείται η εκπαίδευση του σε όλα τα διαφορετικά σενάρια τα οποία μπορεί να προκύψουν στο περιβάλλον λειτουργίας του. Για αυτό το λόγο και επειδή οι αλγόριθμοι ML έχουν την δυνατότητα να προσαρμόζονται ταχύτατα σε περιβάλλοντα που παρουσιάζουν τέτοια προκοίλια λόγω της δυναμικής τους φύσης είναι και ο κύριος λόγος της επιλογής της μηχανικής μάθησης.

Ένα πλαίσιο λειτουργίας ML αποτελείται κυρίως από τέσσερα στάδια, [Εικόνα 32](#), προετοιμασίας και αξιολόγησής των δεδομένων τα οποία αναλύουμε στην συνέχεια.



Εικόνα. 32: Πλαίσιο Λειτουργίας της Μηχανικής Μάθησης [134]

#### 5.4.1.1 Συλλογή Δεδομένων

Τα δεδομένα για τον προσδιορισμό της τοποθεσίας που συλλέγονται για μια συγκεκριμένη περιοχή, είναι δύο τύπων αριθμητικά και δεδομένα φωτογραφίας. Τα αριθμητικά δεδομένα συγκεντρώνονται συνήθως από τεχνολογίες όπως Wi-Fi, Bluetooth αλλά και με την χρήση εσωτερικών αισθητήρων. Από την άλλη για τα δεδομένα φωτογραφίας συνήθως χρησιμοποιούνται αυτοματοποιημένες συσκευές με ενσωματωμένες κάμερες (υπάρχει όμως και η δυνατότητα να μπορούν να συλλέξουν και αριθμητικά δεδομένα). Οι πιο συνηθέστερες πρακτικές για την συλλογή των αριθμητικών δεδομένων αποτελούν:

«Αφοσιωμένα» δεδομένα χρηστών (Dedicated User Based Data Collection): Κατά την διαδικασία αυτή η συλλογή πραγματοποιείται από χρήστες (εθελοντές) οι οποίοι χρησιμοποιούν κάποια «έξυπνη συσκευή». Συνήθως τα ονομάζουμε «subjects». Η δειγματοληψία μπορεί να γίνει με διαφορετικούς τρόπους .

Δεδομένα που συλλέγονται από πλήθος χρηστών (Crowd Sourced data Collection) : Σε αυτή τη διαδικασία τα δεδομένα δημιουργούνται από ομάδες χρηστών. Αυτή η μέθοδος παρέχει νέες δυνατότητες και προκλήσεις για την διαδικασία του εντοπισμού λόγω της ελευθερίας των χρηστών στο να κινούνται όπως αυτοί επιθυμούν. Σε ένα εξωτερικό περιβάλλον οι χρήστες παρακολουθούνται και κατευθύνονται έτσι ώστε να ακολουθήσουν την τρέχουσα καλύτερη διαδρομή σε περίπτωση που μιλάμε για διαδρομή (σύστημα Waze). Αντίστοιχα σε ένα εσωτερικό περιβάλλον τα δεδομένα συλλέγονται από την εκάστοτε κινητή συσκευή των χρηστών. Τα δεδομένα αυτά κατηγοριοποιούνται και επισημαίνονται με βάση την ανατροφοδότηση από αυτά. Ορισμένα δεδομένα ενδέχεται να επισημανθούν σε λάθος τοποθεσία ή να αφηθούν χωρίς ετικέτα. Επομένως, ο σχολιασμός δεδομένων είναι δύσκολος — η μη αυτόματη προσθήκη ετικετών στα δεδομένα για τη διόρθωση τοποθεσιών απαιτεί πολύ χρόνο και η διαδικασία αυτόματης προσθήκης ετικετών είναι δαπανηρή.

Δεδομένα που συλλέγονται από ένα robot (robot based): Σε αυτή την μέθοδο, μια έξυπνη συσκευή μαζί με όλους τους απαραίτητους αισθητήρες είναι ενσωματωμένα σε ένα ρομπότ. Το ρομπότ πλοηγείτε προς την υποδεικνυόμενη κατεύθυνση και συλλέγει δεδομένα για σημεία τοποθεσίας και προσθέτει ετικέτες σε αυτά τα δεδομένα. Ωστόσο, μπορεί να χρειαστεί λίγος χρόνος για να προσαρμοστεί και κατά τη διάρκεια αυτής της μικρής χρονικής περιόδου, η επισημάνση μπορεί να διαφέρει ελαφρώς. Επίσης, αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται ευρέως για τη δημιουργία ενός συνόλου δεδομένων εικόνας. Ένα σύνολο δεδομένων πανοράματος 360 μοιρών fisheye, που ονομάζεται σύνολο δεδομένων εικόνας Spherical-Navi, δημιουργήθηκε στο [135] χρησιμοποιώντας το ρομπότ. Το ρομπότ ελέγχεται χειροκίνητα και πλοηγείται σε τρεις επανακαθορισμένες διαδρομές και καταγράφει σφαιρικές εικόνες με βέλτιστες κατευθύνσεις κατεύθυνσης.

Δημιουργία χαρτών βάσει παρεμβολής/παρέκτασης (Interpolation/extrapolation based radio map generation): Η δημιουργία και η διατήρηση χαρτών δακτυλικών αποτυπωμάτων για εντοπισμό θέσης σε εσωτερικούς χώρους είναι μια επίπονη εργασία. Τα ελλιπή σύνολα δεδομένων δακτυλικών αποτυπωμάτων μπορούν να αντιμετωπιστούν με σωστές μεθόδους παρεμβολής και

παρέκτασης. Η τεχνική της εξάλειψης λαθών και η συμπλήρωση τυχόν ελλείψεων τεχνητά είναι επίπονη διαδικασία αλλά δίνει την δυνατότητα την ολοκλήρωση τυχόν ελλείπει dataset με μια και σύγκριση των πρόσφατα εκτιμώμενων δακτυλικών αποτυπωμάτων με τα πραγματικά δακτυλικά αποτυπώματα.

#### 5.4.1.2. Προ επεξεργασία δεδομένων

Οι διαφορετικοί τύποι των ακατέργαστων συνόλων δεδομένων που αναλύθηκαν παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα της απαίτησης διαφορετικών τύπων τεχνικών προ επεξεργασίας, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή μοντέλων μηχανικής εκμάθησης. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι μηχανισμοί παρατίθενται παρακάτω:

##### Ερμηνεία τιμών που απουσιάζουν:

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται απαιτούνται κυρίως για τα αριθμητικά σύνολα δεδομένων, όπου σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να περιέχουν ελλείψεις καταχωρήσεις. Μια «εικονική τιμή» (dummy value) εισάγεται συνήθως σε εκείνα τα σημεία που υποδεικνύουν την πιο αδύναμη ένδειξη σήματος. Εναλλακτικά, εάν για έναν συγκεκριμένο αισθητήρα, ένα στιγμιότυπο περιέχει κενή τιμή αλλά όλα τα άλλα στιγμιότυπα περιέχουν τιμή δεδομένων, τότε ο μέσος όρος ή η διάμεσος αυτών των τιμών δεδομένων μπορεί να εισαχθεί στην κενή θέση. Σε δεδομένα εικόνας, ενδέχεται να λείπουν ορισμένες εντάσεις εικονοστοιχείου (pixel). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί το μέσο φίλτρο που υπολογίζει τον μέσο όρο των εντάσεων των pixel των γειτονικών εικονοστοιχείων και τοποθετεί αυτήν την τιμή στο εικονοστοιχείο που λείπει η ένταση.

##### Φιλτράρισμα

Όπως είναι κατανοητό ο θόρυβος που υπάρχει στα συλλεγόμενα δεδομένα για την περαιτέρω επεξεργασία τους αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα. Για την αφαίρεση του ανεπιθύμητου θορύβου από τα μη επεξεργασμένα σύνολα δεδομένων, γίνεται φιλτράρισμα. Παραδείγματα φιλτραρίσματος είναι η ρύθμιση κάποιου φίλτρου έτσι ώστε να μην δέχεται το σύστημα κάτω από ένα συγκεκριμένο σημείο σήματα όπως στο για την μείωση της πιθανότητας θορύβου σε σήματα GPS. Όπως είδαμε και στα συστήματα του Κεφαλαίου 4, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν το εκτεταμένο φίλτρο Kalman αλλά και το φίλτρο σωματιδίων σε σήματα WiFi-RSS (μέθοδος δακτυλικών αποτυπωμάτων). Στα δεδομένα εικόνας από την άλλη, για την εξάλειψη του θορύβου που υπάρχει (θόρυβος αλατιού και πιπεριού, θόρυβος Gauss, θόρυβος Poisson) χρησιμοποιηθούν φίλτρα μέσης, μέσης, στατικής τάξης, προσαρμογής.

##### Τεμαχισμός σε Παράθυρα (Windowing):

Σε αυτή τη μέθοδο, ολόκληρο το σύνολο δεδομένων χωρίζεται σε μικρότερα υποσύνολα ίσου μήκους, καθένα από τα οποία έχει ένα μικρό χρονικό διάστημα. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως με τη μέθοδο δακτυλικών αποτυπωμάτων Wi-Fi ή τιμές αδρανειακών αισθητήρων και επιχειρεί να δημιουργήσει πρότυπα από την ποικιλία των σημάτων από να χρησιμοποιεί την απόλυτη τιμή των σημάτων.

#### 5.4.1.3. *Εξαγωγή Χαρακτηριστικών των δεδομένων*

Τα χαρακτηριστικά είναι αυτά που περιέχουν την ουσιαστική αναπαράσταση των δεδομένων προκειμένου να οδηγηθούμε στην καλύτερη ταξινόμηση. Η εξαγωγή χαρακτηριστικών και η μηχανική χαρακτηριστικών εκμεταλλεύονται τη γνώση του τομέα των ερευνητών για να καταλήξουν σε μια καλύτερη βολική αναπαράσταση των δεδομένων για ταξινόμηση. Ωστόσο, δεν υπάρχει σαφής κανόνας σχετικά με τον βέλτιστο αριθμό χαρακτηριστικών που πρέπει να εξαχθούν. Αυτό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το εκάστοτε πεδίο εφαρμογής και το σύνολο δεδομένων.

#### 5.4.1.4. *Επιλογή των Χαρακτηριστικών των δεδομένων*

Η επιλογή των χαρακτηριστικών καθορίζεται με βάση δύο παράγοντες: (α) πόσο πολύ το χαρακτηριστικό συμβάλλει στο αποτέλεσμα και (β) τι είδους ταξινόμησης χρησιμοποιούνται. Μερικές από τις δημοφιλείς μεθόδους επιλογής χαρακτηριστικών που χρησιμοποιούνται είναι:

Φιλτράρισμα: Το φιλτράρισμα χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της προγνωστικής ισχύος κάθε χαρακτηριστικού. Τα χαρακτηριστικά ταξινομούνται με βάση την αντίστοιχη συσχέτισή τους με τις μεταβλητές αποτελέσματος σε ορισμένες στατιστικές δοκιμές. Το χαρακτηριστικό με την υψηλότερη συσχέτιση είναι το καλύτερο. Οι συνήθεις στατιστικές δοκιμές που χρησιμοποιούνται με τη μηχανική μάθηση περιλαμβάνουν τη Γραμμική Διακριτική Ανάλυση (Linear Discrimination Analysis - LDA), τη συσχέτιση Pearson και τη δοκιμή Τετράγωνου Chi.

Μέθοδος περιτυλίγματος (Wrapper Method): Σε αυτή τη μέθοδο, το μοντέλο εκπαιδεύεται χρησιμοποιώντας ένα υποσύνολο χαρακτηριστικών που λαμβάνεται από το αρχικό σύνολο χαρακτηριστικών. Τα χαρακτηριστικά μπορούν να προστεθούν ή να αφαιρεθούν περαιτέρω από το υποσύνολο με βάση το συμπέρασμα που συνάγεται. Δύο τύποι μεθόδων περιτυλίγματος χρησιμοποιούνται συνήθως ως εξής:

α) Επιλογή Χαρακτηριστικών Εμπρός (Forward Feature Selection): Αυτή η μέθοδος ξεκινά με ένα μηδενικό μοντέλο (δεν έχει κανένα χαρακτηριστικό). Στη συνέχεια, σε κάθε επανάληψη, ένα λιγότερο αποτελεσματικό χαρακτηριστικό αφαιρείται από το σύνολο. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου η εξάλειψη μιας υπάρχουσας χαρακτηριστικού δεν βελτιώνει την απόδοση του μοντέλου.

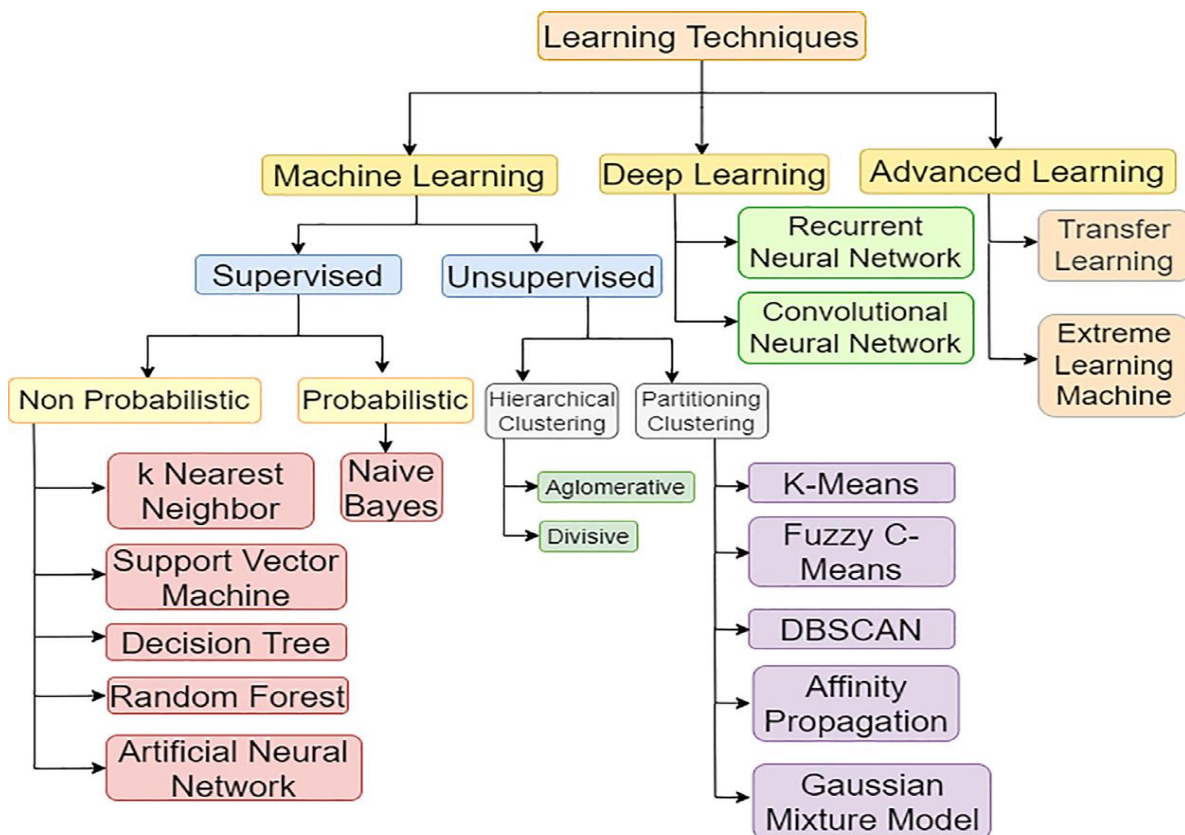
β) Προς τα πίσω Εξάλειψη των Χαρακτηριστικών (Backward Feature Elimination): Αυτή η μέθοδος ξεκινά με ένα πλήρες μοντέλο (με όλα τα χαρακτηριστικά). Στη συνέχεια, σε κάθε επανάληψη, ένα λιγότερο αποτελεσματικό χαρακτηριστικό αφαιρείται από το σύνολο. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου η εξάλειψη ενός χαρακτηριστικού δεν βελτιώνει την απόδοση του μοντέλου.

Επιλογή Αιωρούμενης προς τα εμπρός και προς τα πίσω (Floating Forward and Backward Feature)  
: Αυτή η μέθοδος επιτρέπει τη δυναμική προσθήκη και διαγραφή χαρακτηριστικών έως ότου το τρέχον υπάρχον σύνολο χαρακτηριστικών βελτιώσει την απόδοση του μοντέλου σε κάποιο βαθμό από το προηγούμενο μοντέλο.

Ενσωματωμένη μέθοδος (Embedded Method): Αυτή η μέθοδος συνδυάζει την μέθοδο φίλτρου και τη μέθοδο περιτυλίγματος. Σε αυτή τη μέθοδο, η επιλογή χαρακτηριστικών αντιμετωπίζεται ως μέρος της μάθησης. Ο αλγόριθμος εκμάθησης χρησιμοποιεί τη δική του διαδικασία επιλογής μεταβλητής και εκτελεί ταυτόχρονα επιλογή χαρακτηριστικών και ταξινόμησης.

#### 5.4.2 Τεχνικές Μηχανικής Μάθησης για Εσωτερικό-Εξωτερικό Εντοπισμό Θέσης

Η εκτέλεση εντοπισμού σε ένα πραγματικό περιβάλλον αντιμετωπίζει πολλές ιδιαιτερότητες του εκάστοτε περιβάλλοντος, το καθένα με τα δικά του χαρακτηριστικά. Οι τεχνικές μηχανικής μάθησης μπορούν να μάθουν από τα δεδομένα και έτσι το σύστημα να μπορεί να αποδίδει με ακρίβεια παρά τις μικρές διαφοροποιήσεις στα χαρακτηριστικά του. Σε αυτή την ενότητα, θα αναλύσουμε τις τεχνικές εκμάθησης που εφαρμόζονται στη βιβλιογραφία, η ταξινόμηση των οποίων φαίνεται στην *Εικόνα 33*.



Εικόνα 33: Ταξινόμηση των Τεχνικών Εκμάθησης [134]

#### 5.4.2.1. *Τεχνικές Μηχανικής Μάθησης*

Οι παραδοσιακές τεχνικές μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιούνται σε υπηρεσίες εντοπισμού χωρίζονται σε δύο ομάδες, τις εποπτευόμενες και τις μη εποπτευόμενες.

##### 5.4.2.1.1 *Εποπτευόμενες Τεχνικές Μηχανικής Μάθησης*

Στις τεχνικές εποπτευόμενης μάθησης, το σύστημα εκπαιδεύεται χρησιμοποιώντας δεδομένα με ετικέτα, δηλαδή τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση θα πρέπει να σχολιάζονται με ακρίβεια υποδεικνύοντας τη θέση αληθείας εδάφους και βάσει αυτών, η θέση των περιπτώσεων δοκιμής θα προβλεφθεί για τα δεδομένα δοκιμής.

##### 5.4.2.1.1.1 *Τεχνική k-Πλησιέστερος γείτονας (k-nearest Neighbor - kNN)*

Σε αυτήν την τεχνική, οι αποστάσεις μεταξύ όλων των δυνατών ζευγών (σημείο δεδομένων δοκιμής, σημείο δεδομένων εκπαίδευσης) υπολογίζονται χρησιμοποιώντας μια γνωστή μέτρηση απόστασης όπως η Ευκλείδεια ή η Minkowski. Στη συνέχεια, για κάθε σημείο δεδομένων δοκιμής, επιλέγονται ακριβώς  $k$  πιο κοντινά σημεία δεδομένων εκπαίδευσης. Στη συνέχεια, τα δεδομένα δοκιμής επισημαίνονται στην κατηγορία στην οποία ανήκει η πλειοψηφία των γειτόνων της. Έτσι, είναι μια τεχνική νωχελικής εκμάθησης που απαιτεί την επεξεργασία ολόκληρων δειγμάτων εκπαίδευσης για τη φάση της ταξινόμησης.

Η μέθοδος kNN μπορεί να εφαρμοστεί σε σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης που περιέχει Wi-Fi, αδρανειακούς αισθητήρες ή άλλες τιμές δεδομένων. Για παράδειγμα, όταν εφαρμόζεται kNN στην τεχνική δακτυλικών αποτυπωμάτων Wi-Fi, οι τιμές RSSI είναι τα σημεία δεδομένων. Στα δεδομένα εκπαίδευσης, κάθε τιμή RSSI επισημαίνεται στην τοποθεσία από την οποία έχει ληφθεί από κάθε AP. Για κάθε τιμή RSSI από το σύνολο δεδομένων δοκιμής, επιλέγονται  $k$  αριθμοί των πλησιέστερων τιμών RSSI από το σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης. Ο εντοπισμός σε μια μικρή περιοχή είναι δυνατός με την μέθοδο kNN, αλλά στην περίπτωση του μεγάλου συνόλου δεδομένων εκπαίδευσης, ο υπολογισμός απόστασης παίρνει πολύ χρόνο, επομένως η απόδοση είναι κακή.

##### 5.4.2.1.1.2 *Τεχνική Αφελής Bayes (Naive Bayes)*

Οι ταξινομήσεις Bayes είναι μια οικογένεια αλγορίθμων ταξινόμησης όπου κάθε πιθανό ζεύγος χαρακτηριστικών είναι ανεξάρτητο το ένα από το άλλο και όλα τα χαρακτηριστικά συμβάλλουν εξίσου στο αποτέλεσμα. Αυτές οι δύο αφελείς υποθέσεις εφαρμόζονται στο θεώρημα Bayes για να γίνει μια πιθανολογική ταξινόμηση. Εάν η υπόθεση της ανεξαρτησίας δεν ισχύει σε

πρακτικές καταστάσεις, η απόδοση υποβαθμίζεται. Παρά αυτά τα προβλήματα, αυτός ο ταξινομητής επιλέγεται από πολλούς ερευνητές λόγω της απλότητάς του και της απαίτησης για μικρό αριθμό δειγμάτων εκπαίδευσης.

#### 5.4.2.1.1.3 Τεχνική Υποστηρικτικής Διανυσματικής Μηχανής (Support Vector Machine - SVM)

Κάθε δεδομένο στην μέθοδο SVM στο σύνολο δεδομένων σχεδιάζεται σε ένα χώρο N-διάστασης, όπου N είναι ο αριθμός των χαρακτηριστικών. Στη συνέχεια, βρίσκεται ένα υπερ-επίπεδο ή ένα σύνολο υπερ-επίπεδων που δημιουργεί ένα όριο που χωρίζει διαφορετικές κατηγορίες δεδομένων. Το υπερεπίπεδο θα πρέπει να σχηματίζεται στο πιο σταθερό σημείο μεταξύ των πιο απομακρυσμένων σημείων δεδομένων διαφορετικών κατηγοριών.

Στο σύστημα εντοπισμού που βασίζεται σε Wi-Fi, το SVM βρίσκει τη σχέση μεταξύ των δακτυλικών αποτυπωμάτων και των σημείων πλέγματος του συνόλου δεδομένων εκπαίδευσης θεωρώντας το μεμονωμένο σημείο πλέγματος ως μια ξεχωριστή κατηγορία. Τα δοκιμασμένα δακτυλικά αποτυπώματα RSSI τροφοδοτούνται ως είσοδος στο SVM που προβλέπει την κατηγορία στην οποία ανήκει το δοκιμασμένο δακτυλικό αποτύπωμα.

Το SVM έχει χρησιμοποιηθεί στην προσέγγιση ημι-εποπτευόμενης τοπικής προσαρμογής που βασίζεται στη συνεκπαίδευση. Το σύστημα επιτυγχάνει καλή απόδοση όταν τα χαρακτηριστικά για τους ταξινομητές, ταξινομούνται με βάση το SVM. Ωστόσο, τα SVM είναι μερικές φορές πολύπλοκα και παρέχουν αργή κάλυψη, ειδικά σε περίπτωση μεγάλου συνόλου δεδομένων εκπαίδευσης ή συντονισμού υπερπαραμέτρων. Οι απαιτήσεις μνήμης αυξάνονται επίσης για μεγάλο σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης για την αποθήκευση των διανυσμάτων υποστήριξης. Για δυαδικές ταξινομήσεις, όπως ανίχνευση εσωτερικού έναντι εξωτερικού χώρου, το SVM δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα

#### 5.4.2.1.1.4 Τεχνική Δένδρου Αποφάσεων & Τυχαίου Δάσος (Decision Tree and Random Forest)

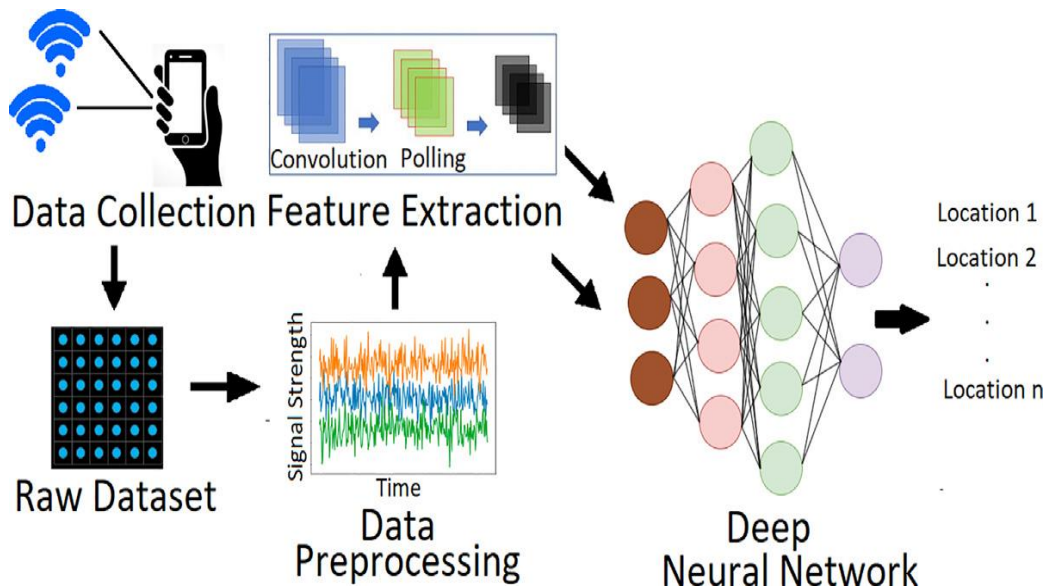
Το πρόβλημα αντιπροσωπεύεται από μια δομή δέντρου όπου οι κόμβοι φύλλων αντιπροσωπεύουν μοναδικές ετικέτες κλάσεων και οι εσωτερικοί κόμβοι αντιπροσωπεύουν τα χαρακτηριστικά. Αρχικά, ολόκληρο το σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης θεωρείται ως ρίζα. Στη συνέχεια, με στατιστική ταξινόμηση, τα χαρακτηριστικά ταξινομούνται ως ριζικοί ή εσωτερικοί κόμβοι. Τέλος, οι κόμβοι φύλλων αντιπροσωπεύουν μεμονωμένες κατηγορίες. Χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό μεγάλου αριθμού Δέντρων Αποφάσεων, μπορεί να σχηματιστεί ένα μοντέλο εκμάθησης συνόλου, γνωστό ως Τυχαίο Δάσος, όπου κάθε δέντρο απόφασης αντιστοιχεί σε μια κλάση και η πιο κοινή κλάση αποφασίζει το τελικό αποτέλεσμα του μοντέλου. Στον εντοπισμό, το Random Forest συνήθως αποδίδει καλά όπως η πηγή των σημάτων, δηλαδή τα χαρακτηριστικά ταξινομούνται στατιστικά σε όλα τα Δέντρα απόφασης. Το σύστημα που προτείνεται στο [136]

βασίζεται πλήρως στον ταξινομητή Random Forest. Η απόφαση λαμβάνεται με βάση την τιμή RSSI του συγκεκριμένου iBeacon σε κάθε βήμα του δέντρου αποφάσεων.

#### 5.4.2.1.1.5 Τεχνική Τεχνητού Νευρωνικού Δικτύου (Artificial Neural Network - ANN)

Το τεχνητό νευρωνικό δίκτυο είναι ένα υπολογιστικό σύστημα που βασίζεται σε μια συλλογή κόμβων που ονομάζονται νευρώνες που συνδέονται με σταθμισμένους συνδέσμους. Το ANN αποτελείται από ένα επίπεδο εισόδου, ένα επίπεδο εξόδου και ένα ή πολλαπλά κρυφά επίπεδα. Κατά τη διάρκεια της προπόνησης, η απώλεια επαναδιαδίδεται για αποτελεσματικό συντονισμό των βαρών. Το ANN έχει εφαρμοστεί σε διάφορες ερευνητικές εργασίες στον τομέα του εντοπισμού εσωτερικού και εξωτερικού χώρου.

Ένα εκπαιδευμένο ANN πρέπει να εκπαιδευτεί ξανά εάν υπάρξει σημαντική αλλαγή στο περιβάλλον. Η αύξηση του αριθμού των κρυφών επιπέδων αυξάνει το ποσό της διόρθωσης σφαλμάτων. Το ANN με πολλά επίπεδα ονομάζεται Βαθύ Νευρωνικό Δίκτυο - Deep Neural Network (DNN). Στο [10], το DNN έχει χρησιμοποιηθεί για εντοπισμό βάσει δακτυλικών αποτυπωμάτων σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους. Η χρήση του DNN στον εντοπισμό απεικονίζεται στην *Εικόνα 34*.



Εικόνα 34: Σχηματική Αναπαράσταση της Τεχνητής DNN [134]

#### 5.4.2.1.2 Μη Εποπτευόμενες Τεχνικές Μηχανικής Μάθησης (Unsupervised Learning Techniques)

Σε τεχνικές εκμάθησης χωρίς επίβλεψη, τα δεδομένα εισόδου δεν επισημαίνονται. Αντίθετα, ομαδοποιούνται βάσει ομοιοτήτων, διαφορών και μοτίβων χωρίς κανένα είδος εκ των



προτέρων εκπαίδευσης. Αν και η ακριβής παρακολούθηση τοποθεσίας είναι πιο δύσκολη σε σχέση με τις εποπτευόμενες, μειώνεται σημαντικά η προσπάθεια συλλογής δεδομένων. Τα δεδομένα που προέρχονται από πλήθος ατόμων μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά. Για την διαδικασία εντοπισμού βάσει σημείου αναφοράς, αυτές οι τεχνικές μπορούν να αποδειχθούν αποτελεσματικές.

#### 5.4.2.1.2.1 *Χωρική ομαδοποίηση εφαρμογών βάσει πυκνότητας με θόρυβο (Density-Based spatial clustering of applications with noise (DBSCAN))*

Στον αλγόριθμο DBSCAN, τα σημεία δεδομένων μπορούν να αναγνωριστούν ως σημεία πυρήνα, οριακά σημεία και σημεία θορύβου. Για την αναγνώριση τους, χρησιμοποιούνται δύο παράμετροι: έψιλον (epsilon) ( $E_{ps}$ ) και ελάχιστα σημεία (minimum points) ( $MinPts$ ). Σχεδιάζοντας έναν κύκλο γύρω από ένα σημείο δεδομένων  $p$  με ακτίνα  $E_{ps}$  και ο κύκλος περικλείει τουλάχιστον έναν αριθμό σημείων δεδομένων  $MinPts$ , τότε ονομάζεται σημείο πυρήνα. Αλλιώς εάν ένα σημείο  $p$  περικλείεται στον κύκλο ενός οποιουδήποτε άλλου σημείου πυρήνα  $q$ , τότε ονομάζεται οριακό σημείο, αλλιώς ονομάζεται σημείο θορύβου. Η ιδέα είναι τέτοια ώστε όλα τα γειτονικά σημεία πυρήνα να διατηρούνται στο ίδιο σύμπλεγμα μαζί με τα οριακά τους σημεία. Τα σημεία θορύβου δεν περιλαμβάνονται σε κανένα σύμπλεγμα. Με αυτόν τον τρόπο, οι συστάδες σχηματίζονται με βάση την πυκνότητα.

#### 5.4.2.1.2.2 *Ομαδοποίηση K-μέσου (K-means Clustering)*

Η ομαδοποίηση k-means είναι μια κοινή μέθοδος για την ομαδοποίηση παρουσιών από σύνολα δεδομένων σε συστάδες. Από ένα δεδομένο σύνολο δεδομένων, αρχικά επιλέγονται τυχαία σημεία δεδομένων  $k$  και διατηρούνται σε χωριστές ομάδες. Το σημείο δεδομένων σε κάθε συστάδα αντιπροσωπεύει το κέντρο ή τη μέση τιμή για το συγκεκριμένο συστάδα. Στη συνέχεια, από τα πιο αριστερά σημεία δεδομένων, επιλέγεται ένα κάθε φορά και υπολογίζεται η απόσταση από τη μέση τιμή κάθε συστάδας και το σημείο δεδομένων διατηρείται στο πλησιέστερο σύμπλεγμα. Στην διαδικασία εντοπισμού, οι τιμές που λαμβάνονται από τους αισθητήρες είναι τα σημεία δεδομένων και στο τέλος διατηρούνται σε ομάδες  $k$ . Οι τιμές των συνόλων εκπαίδευσης επισημαίνονται στο δικό τους σύμπλεγμα υποδεικνύοντας μια θέση και κάθε δεδομένα δοκιμής που λαμβάνονται από τον αισθητήρα ελέγχονται για το πλησιέστερο σύμπλεγμα του. Ωστόσο, ο συντονισμός παραμέτρων, δηλαδή η εύρεση της βέλτιστης τιμής του  $k$  είναι πρόκληση. Στο [137], οι ερευνητές χρησιμοποίησαν ομαδοποίηση k-means για ανίχνευση ΙΟ σε δύο τύπους συνόλων δεδομένων. Αρχικά, η εκπαίδευση και η αξιολόγηση γίνονται σε ένα εξαγόμενο τμήμα δεδομένων (EPD) που επιτυγχάνει καλή ακρίβεια, στη συνέχεια η εκπαίδευση γίνεται σε EPD και για την αξιολόγηση χρησιμοποιούνται μεγάλα δεδομένα crowdsourced και παρατηρείται υποβάθμιση της απόδοσης.

#### 5.4.2.1.2.3 *Ιεραρχική Ομαδοποίηση (Hierarchical Clustering)*

Στη μέθοδο ιεραρχικής ομαδοποίησης, τα σημεία δεδομένων ενός συνόλου δεδομένων ομαδοποιούνται σε συστάδες έτσι ώστε οι συστάδες να μπορούν να αναπαρασταθούν από μια δομή δέντρου που ονομάζεται δενδρογράμμα. Η ομαδοποίηση μπορεί να γίνει είτε με την προσέγγιση από κάτω προς τα πάνω που είναι γνωστή ως αθροιστική μέθοδος (Agglomerative Method) είτε με την προσέγγιση από πάνω προς τα κάτω γνωστή ως μέθοδος διαίρεσης (Divisive Method).

Συγκεντρωτική μέθοδος: Αρχικά, κάθε σημείο δεδομένων θεωρείται ως ξεχωριστή συστάδα. Αυτά αντιπροσωπεύουν τους κόμβους των φύλλων του δενδρογράμματος. Στη συνέχεια, τα πλησιέστερα σημεία δεδομένων ομαδοποιούνται σε ένα σύμπλεγμα και επαναλαμβανόμενα τα πλησιέστερα συμπλέγματα ομαδοποιούνται σε ένα σύμπλεγμα συστάδων μέχρι να σχηματιστεί ένα ενιαίο σύμπλεγμα στο οποίο διατηρούνται όλα τα σημεία δεδομένων, που αντιπροσωπεύεται από τη ρίζα του δενδρογράμματος.

Μέθοδος διαίρεσης: Αρχικά, όλα τα σημεία δεδομένων διατηρούνται σε ένα σύμπλεγμα (που αντιπροσωπεύεται από τη ρίζα του δενδρογράμματος). Στη συνέχεια, αυτό το σύμπλεγμα χωρίζεται σε δύο συστάδες και τα σημεία δεδομένων που δεν μπορούν να συγκριθούν διατηρούνται σε αυτά τα συμπλέγματα χωριστά. Αυτή η διαδικασία διαίρεσης επαναλαμβάνεται έως ότου κάθε σημείο δεδομένων διατηρηθεί σε ένα ενιαίο σύμπλεγμα (που αντιπροσωπεύεται από τον κόμβο φύλλων του δενδρογράμματος).

#### 5.4.2.1.2.4 *Ασαφής ομαδοποίηση C-μέσου (Fuzzy C-means clustering)*

Όταν τα δεδομένα δεν χωρίζονται σε ξεχωριστά συμπλέγματα, χρησιμοποιείται ασαφής ομαδοποίηση αντί για ευκρινή ομαδοποίηση. Με την ασαφή ομαδοποίηση μέσω  $C$ , τα δεδομένα ομαδοποιούνται σε  $C$  αριθμό συστάδων. Σε αυτή τη μέθοδο, σε κάθε σημείο δεδομένων εκχωρείται σε μια τιμή μέλους (που κυμαίνεται από 0 έως 1) που αντιστοιχεί στο κέντρο κάθε συστάδας που προκύπτει από τον υπολογισμό της απόστασης του σημείου δεδομένων από το κέντρο κάθε συστάδας. Η τιμή του θα είναι υψηλότερη εάν ένα σημείο δεδομένων βρίσκεται κοντά σε κάποιο κέντρο συμπλέγματος. Το άθροισμα όλων των τιμών συμμετοχής όλων των σημείων δεδομένων πρέπει να είναι ένα. Κάθε σημείο δεδομένων διατηρείται σε ένα πλησιέστερο σύμπλεγμα σε κάθε επανάληψη και η τιμή του μαζί με τα κέντρα συμπλέγματος ενημερώνονται. Στο [138], η ασαφής λογική έχει χρησιμοποιηθεί για να ακολουθήσει αληθινές τροχιές ακόμη και απουσία δεδομένων ακουστικής θέσης που προκαλούνται από τη διάδοση του NLOS.

#### 5.4.2.1.2.5 *Διάδοση Συνάφειας (Affinity Propagation)*

Η διάδοση συνάφειας είναι μια μέθοδος ομαδοποίησης που βασίζεται στην έννοια της μετάδοσης μηνυμάτων μεταξύ των σημείων δεδομένων. Η μέτρηση της ομοιότητας μεταξύ δύο σημείων δεδομένων υπολογίζεται χρησιμοποιώντας προκαθορισμένο τύπο και μηνύματα «πραγματικής αξίας» μεταδίδονται μεταξύ γειτονικών σημείων δεδομένων μέχρι να ληφθεί ένα σύνολο υποδειγμάτων και αντίστοιχων συστάδων. Για σύνολα δεδομένων δακτυλικών αποτυπωμάτων εντοπισμού εσωτερικού χώρου, η ομοιότητα υπολογίζεται μεταξύ δύο διανυσμάτων RSSI χρησιμοποιώντας αρνητικό άθροισμα των τετραγωνικών διαφορών των τιμών RSSI. Στο [139], οι ερευνητές χρησιμοποίησαν τη διάδοση συνάφειας για να βελτιώσουν την ακρίβεια τοποθέτησης βάσει Wi-Fi τοποθετώντας επικαλυπτόμενα σημεία πρόσβασης στο ίδιο σύμπλεγμα.

#### 5.4.2.1.2.6 Μοντέλο Μείγματος Gauss (Gaussian Mixture Model - GMM)

Αυτό είναι ένα πιθανολογικό μοντέλο που λειτουργεί με τη βασική υπόθεση ότι όλα τα σημεία δεδομένων έχουν δημιουργηθεί από ένα μείγμα πεπερασμένου αριθμού κατανομών Gauss με κάποιες άγνωστες παραμέτρους. Στο [140], οι ερευνητές εφάρμοσαν το Gaussian Mixture Model (GMM) για εντοπισμό εσωτερικών χώρων βάσει Wi-Fi. Πέτυχαν μεγάλη συμπίεση δεδομένων προσεγγίζοντας την κατανομή ραδιοκυμάτων σε ολόκληρη την πειραματική περιοχή για κάθε AP σε ένα GMM. Οι ερευνητές στο [141] ακολούθησαν παρόμοιο τρόπο. Υπολόγισαν την κατανομή πιθανότητας των τιμών RSSI για μεμονωμένους χρήστες κινητών από πολλούς AP που χρησιμοποιούν GMM. Αυτή η κατανομή πιθανότητας εφαρμόστηκε για καλύτερη εκτίμηση θέσης των χρηστών.

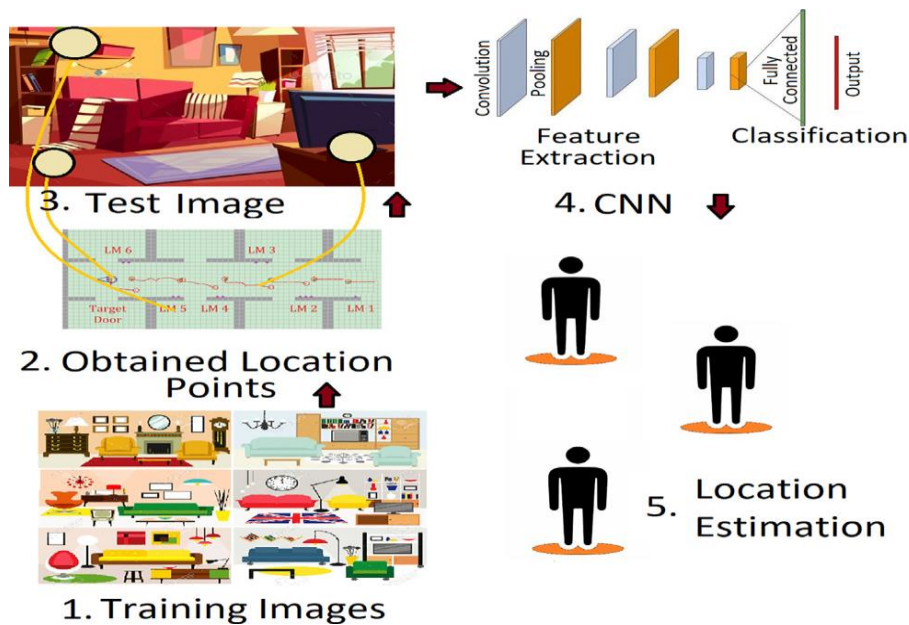
#### 5.4.2.2. Τεχνικές Βαθιάς Μάθησης (Deep Learning Techniques - DL)

Οι τεχνικές αυτές βασίζονται κυρίως σε διαφορετικά είδη τεχνητών νευρωνικών δικτύων (Artificial Neural Network – ANN), καθένα από τα οποία έχει διαφορετικές δυνατότητες μάθησης χρησιμοποιώντας τη διαίσθηση και την ευφυΐα.

##### 5.4.2.2.1 Συνελικτικό νευρωνικό δίκτυο (Convolutional Neural Network – CNN)

Το CNN είναι μια προηγμένη έκδοση του κλασικού ANN που αποτελείται από μεμονωμένα ή πολλαπλά συνδεδεμένα στρώματα. Οι νευρώνες είναι διατεταγμένοι σε ένα μόνο στρώμα εισόδου με δισδιάστατο τρόπο, ακριβώς όπως το δισδιάστατο πλέγμα pixel μιας εικόνας. Μεταξύ του επιπέδου εισόδου και εξόδου, μπορεί να υπάρχει ένα επίπεδο δειγματοληψίας που περιορίζει τον αριθμό των νευρώνων. Το όνομα προέρχεται από τη μαθηματική γραμμική πράξη μεταξύ πινάκων που ονομάζονται συνέλιξη. Το CNN περιέχει πολλαπλά επίπεδα, δηλαδή, συνελικτικό επίπεδο, στρώμα μη γραμμικότητας (non-linearity layer), στρώμα συγκέντρωσης

(pooling layer) και πλήρως συνδεδεμένο στρώμα (fully connected layer). Για τον εντοπισμό, χρησιμοποιούνται αριθμητικά δεδομένα για πολλούς αισθητήρες. Ορισμένες τεχνικές εφαρμόζονται σε συνδιασμό πριν τροφοδοτηθούν τα δεδομένα στο CNN. Εδώ, τα σημεία δεδομένων υποδεικνύουν φορείς RSSI που συλλέγονται από smartphone για εντοπισμό εσωτερικών χώρων βάσει Wi-Fi. Στο [135], οι ερευνητές πρότειναν ένα πλαίσιο πλοήγησης ρομπότ που υπολογίζει την κατεύθυνση του ρομπότ χρησιμοποιώντας ακατέργαστες σφαιρικές εικόνες. Στο [142], τα ορόσημα εντοπίζονται στην εικόνα που τραβήχτηκε χρησιμοποιώντας το Ταχύτερο Περιφερειακό- Συνελκτικό Νευρωνικό Δίκτυο (Faster R-CNN). Στην *Εικόνα 35* αντιπροσωπεύεται τη συνολική δομή εντοπισμού με χρήση CNN.



Εικόνα 35: Συνολική Δομή Δικτύου CNN [134]

#### 5.4.2.2 Επαναλαμβανόμενο νευρωνικό δίκτυο (Recurrent Neural Network – RNN)

Στο RNN η έξοδος του προηγούμενου βήματος τροφοδοτείται ως είσοδος στο επόμενο βήμα. Στο RNN, μια εσωτερική κατάσταση λειτουργεί ως μνήμη για την επεξεργασία ακολουθιών εισόδων μεταβλητού μήκους. Ένα κρυφό στρώμα λειτουργεί σε προηγούμενες εξόδους για να προβλέψει την επόμενη έξοδο. Χρησιμοποιείται γενικά στην επεξεργασία φυσικής γλώσσας (Natural Language Processing) για την αναγνώριση ομιλίας, ή την εκμάθηση γραμματικής. Σε περίπτωση εντοπισμού, το RNN μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εντοπισμό τροχιάς αντί για εντοπισμό της θέσης του χρήστη ή του αντικειμένου μία κάθε φορά, με την συσχέτιση μεταξύ των τιμών RSSI. Στο [143] οι ερευνητές χρησιμοποίησαν το RNN σε συνδυασμό με την μακροπρόθεσμη – βραχυπρόθεσμη μνήμη (Long Short-Term Memory – LSTM) για να αποκτήσουν ακρίβεια τοποθέτησης σε εσωτερικό χώρο.

### 5.4.2.3. Προηγμένες Τεχνικές Μηχανικής Μάθησης (Advanced ML Techniques)

Οι πρόσφατες τεχνικές ML που βρέθηκαν να εφαρμόζονται στο πεδίο του εντοπισμού είναι κυρίως εποπτευόμενες τεχνικές (5.4.2.1.1). Εστιάζουν κυρίως στο πρόβλημα της αυστηρής λήψης δακτυλικών αποτυπωμάτων για την αλλαγή των συνθηκών περιβάλλοντος.

#### 5.4.2.3.1 Ακραία Μηχανική Μάθηση (Extreme Learning Machine – ELM)

Το ELM είναι ένας συγκεκριμένος τύπος νευρωνικού δικτύου ανατροφοδότησης με υψηλότερη ταχύτητα εκμάθησης. Όπως εξηγείται στο [144], το γενικό νευρωνικό δίκτυο προς τα εμπρός χρησιμοποιεί αλγόριθμους μάθησης βασισμένους σε βαθμίδες για να μάθει από τα δεδομένα εκπαίδευσης και να συντονίσει τις παραμέτρους σε κάθε επανάληψη. Για αυτούς τους λόγους, έχει πιο αργή ταχύτητα εκμάθησης από αυτή που απαιτείται για να εφαρμοστεί σε πραγματικά προβλήματα. Το ELM έχει ένα μόνο στρώμα κρυφών κόμβων που επιλέγονται τυχαία, επομένως, δεν απαιτείται η προς τα πίσω διάδοση. Τα βάρη εξόδου προσδιορίζονται αναλυτικά χωρίς να ρυθμίζονται οι παράμετροι επαναληπτικά. Όλα γίνονται σε ένα μόνο βήμα χωρίς επανάληψη, και ως εκ τούτου, η συνολική απόδοση και η ταχύτητα εκμάθησης βελτιώνονται.

Στο [145], οι συγγραφείς πρότειναν έναν αλγόριθμο εντοπισμού εσωτερικού χώρου που βασίζεται σε μια διαδικτυακή διαδοχική ακραία μηχανή εκμάθησης (Online Sequential Extreme Learning Machine - OS-ELM). Δεδομένου ότι το OS-ELM έχει διαδικτυακή ικανότητα διαδοχικής μάθησης, δεν απαιτείται επανεκπαίδευση εάν συμπεριληφθούν κάποια νέα δεδομένα στο σύστημα. Έτσι, η εκμάθηση των δεδομένων μπορεί να γίνει ένα προς ένα ή μπλοκ προς μπλοκ. Ως αποτέλεσμα, η συλλογή και η τροποποίηση των δακτυλικών αποτυπωμάτων Wi-Fi μπορεί να είναι ευέλικτη. Επίσης, τα δακτυλικά αποτυπώματα που συλλέγονται από ορισμένες γνωστές τοποθεσίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη της τοποθεσίας σε ένα νέο περιβάλλον. Λόγω της ιδιότητας διαδικτυακής εκμάθησης, δεν χρειάζονται υπερβολικά δεδομένα για κάθε αλλαγή στις συνθήκες περιβάλλοντος.

Στο [146], οι συγγραφείς έχουν προτείνει δύο τύπους ισχυρών ακραίων μηχανών μάθησης (Robust Extreme Learning Machines - RELM) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για συστήματα εντοπισμού σε εσωτερικούς χώρους. Τα δύο RELM βασίζονται σε περιορισμούς κοντά στο μέσο και σε μικρό υπολειπόμενο περιορισμό. Ανάλογα με την κατάσταση, τα RELM μπορούν να υλοποιηθούν με τη μορφή τυχαίων κρυφών κόμβων ή τη μορφή πυρήνα. Η συλλογή δακτυλικών αποτυπωμάτων κατά τη διάρκεια του διαδικτυακού σταδίου αντιστοίχισης με χρήση ANN και SVM είναι χρονοβόρα και υποφέρει από θορυβώδεις μετρήσεις. Αυτά τα προβλήματα μπορούν να λυθούν χρησιμοποιώντας τα RELM στο διαδικτυακό στάδιο αντιστοίχισης.

#### 5.4.2.3.2 *Εκμάθηση Μεταφοράς (Transfer Learning)*

Στη μηχανική μάθηση, η κοινή ιδέα σχετικά με το σύνολο δεδομένων για προβλήματα ταξινόμησης ή παλινδρόμησης είναι ότι το σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης και το σύνολο δεδομένων δοκιμής περιέχουν τον ίδιο χώρο χαρακτηριστικών και την ίδια κατανομή. Αυτή η ιδέα δεν είναι καθόλου ρεαλιστική. Η περιβαλλοντική κατάσταση μπορεί να αλλάξει εξαιρετικά κατά τη συλλογή των δεδομένων δοκιμής από εκείνη κατά την συλλογή των δεδομένων εκπαίδευσης. Από αυτόν τον μη ρεαλιστικό δεσμό, έχει προκύψει ένα νέο πλαίσιο μάθησης γνωστό ως Εκμάθηση Μεταφοράς (Transfer Learning). Εδώ, η γνώση που αποκτήθηκε από τα προηγούμενα προβλήματα αποθηκεύεται και χρησιμοποιείται για την επίλυση παρόμοιων τύπων νέων προβλημάτων.

Γενικά, όταν συλλέγονται δεδομένα για ένα περιβάλλον εσωτερικού χώρου μεγάλης κλίμακας, παρατηρούνται πολλές αλλαγές στο πλαίσιο καθ' όλη τη διάρκεια της χρονικής περιόδου. Μπορεί να υπάρχει μεγάλη διαφορά στα σύνολα χαρακτηριστικών για τα δεδομένα εκπαίδευσης και δοκιμών. Στο [147], οι συγγραφείς μοντελοποίησαν το πρόβλημα τοπικής προσαρμογής εσωτερικών χώρων βάσει Wi-Fi ως πρόβλημα εκμάθησης μεταφοράς για μοντελοποίηση οπισθοδρόμησης.

Για τη μεταφορά του μοντέλου τοπικής προσαρμογής με την πάροδο του χρόνου, έχει επιλεγεί ένα κρυφό μοντέλο Markov ή μια πολλαπλή λύση που βασίζεται σε συν-ρυθμίσεις βάσει της διαθεσιμότητας του ίχνους πληροφοριών χρήστη.

Η εκμάθηση μεταφοράς εφαρμόζεται επίσης στον τομέα του εντοπισμού σε εξωτερικούς χώρους. Στο [148], οι συγγραφείς πρότειναν ένα σχήμα τμηματοποίησης πλέγματος χρησιμοποιώντας μάθηση μεταφοράς για την τεχνολογία LoRaWan. Η ιδέα είναι τέτοια ώστε, από τον τομέα προέλευσης, η γνώση τμηματοποίησης πλέγματος αποκτάται χρησιμοποιώντας πολλαπλές παραμέτρους. Στη συνέχεια, αυτή η γνώση μεταφέρεται στον τομέα-στόχο και δημιουργούνται εικονικά επισημασμένα δείγματα.

#### 5.4.3 *Συμπεράσματα Τεχνικές Μηχανικής Μάθησης*

Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης προσδιορίζουν το περιβάλλον ή τα ακριβή σημεία τοποθεσίας μαθαίνοντας το μοτίβο μεταξύ των σημείων δεδομένων και συνδυάζοντάς το με προηγούμενες πληροφορίες (στην περίπτωση της μάθησης υπό επίβλεψη), εάν είναι διαθέσιμες. Τις περισσότερες φορές, ο εντοπισμός είναι για μια συγκεκριμένη περιοχή και αποτελείται από υπαίθριο χώρο εντός ορίου και εσωτερικούς χώρους που περιέχουν μεμονωμένα ή πολλαπλά κτίρια. Έτσι, τα μεγέθη δεδομένων είναι μέτρια και ως εκ τούτου, θα μπορούσαν να υποστούν αποτελεσματική επεξεργασία με μεθόδους ML. Ωστόσο, η επεξεργασία γίνεται περίπλοκη με ένα σύνολο δεδομένων που έχει μεγάλο όγκο ή ένα τεράστιο σύνολο χαρακτηριστικών, όπως η περίπτωση της πλοήγησης με ρομπότ. Όταν χρησιμοποιούνται δεδομένα εικόνας για αντιστοίχιση χάρτη (MM) ή επαλήθευση ορόσημων, το μοτίβο μεταξύ των σημείων δεδομένων γίνεται πιο

περίπλοκο και προτιμάται μια δομή βαθιάς νευρωνικού δικτύου για την εξαγωγή χαρακτηριστικών. Οι μέθοδοι ML και/ή DL πρέπει να επιλέγονται προσεκτικά με βάση τα κριτήρια του συστήματος εντοπισμού και τον τύπο και το μέγεθος των συνόλων δεδομένων. Χρησιμοποιούνται διαφορετικές μέθοδοι ταξινόμησης για Εντοπισμός/ανίχνευση ΙΟ ανάλογα με το διαθέσιμο μέγεθος των συνόλων δεδομένων, την περιφέρεια που συλλέχθηκε το σύνολο δεδομένων, τον διαθέσιμο χρόνο για πείραμα κ.λπ. Μια σύντομη επισκόπηση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων των διαφορετικών μεθόδων ταξινόμησης από αυτήν την άποψη δίνεται στον Πίνακα 5 του Παραρτήματος Γ.

## 5.4 Τεχνολογία Χρησιμοποίησης των Τεχνικών Μηχανικής Μάθησης.

Σε αυτήν την ενότητα, θα αναφερθούμε στα συστήματα εντοπισμού με την χρήση της Μηχανικής Μάθησης. Οι υπάρχουσες προσεγγίσεις ομαδοποιούνται σε δύο κατηγορίες: α) Προσδιορισμός Τοποθεσίας σε Εσωτερικούς Χώρους και β) Προσδιορισμός τοποθεσίας σε περιπτώσεις ΙΟ

### 5.4.1 Χρήση Μηχανικής Μάθησης για Εσωτερικά Περιβάλλοντα

#### 5.4.1.1. Μηχανική Μάθηση σε συνδυασμό με Wifi

Μία από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες για εντοπισμό εσωτερικών χώρων είναι το Wi-Fi. Στο [149], οι συγγραφείς πρότειναν ένα σχήμα εντοπισμού εσωτερικού χώρου που βασίζεται σε επτά πηγές σήματος Wi-Fi που καλύπτουν τέσσερα δωμάτια χρησιμοποιώντας ένα smartphone. Με βάση την τιμή του δείκτη ισχύος του ληφθέντος σήματος (RSSI), το σύστημα αποφασίζει σε ποιο δωμάτιο βρίσκεται ο χρήστης. Οι εποπτευόμενοι ταξινομητές που χρησιμοποιούνται είναι kNN, ANN, Naive Bayes, Decision Tree και SVM για την εκπαίδευση του συστήματος μαζί με Extreme Learning Machine (ELM). Το kNN έχει την υψηλότερη ακρίβεια.

Αυτού του είδους τα συστήματα που βασίζονται αποκλειστικά σε Wi-Fi αντιμετωπίζουν πρόβλημα εάν αφαιρεθεί κάποιο σημείο πρόσβασης ή αλλάξει η θέση του σημείου πρόσβασης. Οι ερευνητές πρότειναν μια προσέγγιση εντοπισμού εσωτερικών χώρων βάσει Wi-Fi στο [150] που προσδιορίζει τα τροποποιημένα σημεία πρόσβασης με βάση τη σχέση μεταξύ των τιμών RSSI. Οι τιμές RSS των AP είναι προκαθορισμένες από το μοντέλο παλινδρόμησης Δέντρου Αποφάσεων Ενίσχυσης Κλίσης (Gradient Boost Decision Tree - GBDT). Η αναντιστοιχία του RSS στα δεδομένα crowdsourcing και το προκαθορισμένο μοντέλο παλινδρόμησης καθορίζει την ύπαρξη αλλαγμένου AP. Εάν εντοπιστούν τροποποιημένα AP, έχει σχεδιαστεί ένας αλγόριθμος που βασίζεται στην παλινδρόμηση GBDT για να ενημερώνει ανάλογα τον ραδιοχάρτη. Τέλος, ένας αλγόριθμος Weighted k-Nearest Neighbor (WkNN) έχει σχεδιαστεί για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της ενημέρωσης του ραδιοφωνικού χάρτη

Μια άλλη προσέγγιση εντοπισμού βάσει δακτυλικών αποτυπωμάτων Wi-Fi έχει προταθεί στο [151] όπου χρησιμοποιείται το kNN για ταξινόμηση. Μακρινά σημεία τοποθεσίας που έχουν παρόμοια δακτυλικά αποτυπώματα ή αναντιστοιχία των παρατηρούμενων δακτυλικών αποτυπωμάτων στη φάση εκπαίδευσης και δοκιμής λόγω μεγάλης διακύμανσης των σημάτων Wi-Fi, ενδέχεται να επηρεάσουν την απόδοση του kNN. Για την επίλυσή τους, χρησιμοποιείται μια προσέγγιση περιορισμένης κλίμακας K- πλησιέστερου γείτονα (SRL-kNNs). Η απόσταση δακτυλικών αποτυπωμάτων κλιμακώνεται με έναν παράγοντα εμβέλειας που σχετίζεται με τη φυσική απόσταση μεταξύ του σημείου αναφοράς και της προηγούμενης θέσης του χρήστη. Για την επίλυση του προβλήματος της διακύμανσης του σήματος, το ιστόγραμμα RSSI χρησιμοποιείται στον υπολογισμό απόστασης. Οι ερευνητές πρότειναν ένα άλλο σύστημα εντοπισμού εσωτερικών χώρων βασισμένο σε Wi-Fi στο [152] που αξιολογήθηκε με πολλαπλούς ταξινομητές όπως kNN, Decision Tree, Random Forest και SVM. Μια βάση δεδομένων δακτυλικών αποτυπωμάτων δημιουργείται με βάση την ισχύ του σήματος που λαμβάνεται σε γνωστά σημεία πλέγματος. Συγκρίνοντας το δακτυλικό αποτύπωμα χρήστη και το αποθηκευμένο δακτυλικό αποτύπωμα, βρίσκεται το καλύτερο μοτίβο που ταιριάζει στον ραδιοφωνικό χάρτη. Παρατηρείται βελτιωμένη ακρίβεια για τους ταξινομητές kNN και Random Forest, ενώ το SVM και το δέντρο απόφασης δεν έχουν καλή απόδοση στον μη συσχετισμένο χώρο.

Ένα από τα κοινά προβλήματα του συστήματος που βασίζεται σε δακτυλικά αποτυπώματα Wi-Fi είναι η μη αυτόματη προσαρμογή του μεγάλου συνόλου δεδομένων δακτυλικών αποτυπωμάτων. Στο [153], το Bluetooth συγχωνεύεται με το Wi-Fi και έχει αναπτυχθεί ένας αλγόριθμος με το όνομα i-KNN που φιλτράρει το αρχικό σύνολο δεδομένων δακτυλικών αποτυπωμάτων Wi-Fi (τον ραδιοφωνικό χάρτη) με βάση την απόσταση μεταξύ του χρήστη (που μεταφέρει κινητή συσκευή) και του τις συσκευές BLE. Λαμβάνεται ένα υποσύνολο του αρχικού συνόλου δακτυλικών αποτυπωμάτων που περιέχει πιθανές τοποθεσίες του χρήστη και αυτό το μειωμένο σύνολο δεδομένων χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των τελικών θέσεων.

Η μάθηση χωρίς επίβλεψη έχει επίσης βρεθεί ότι εφαρμόζεται σε αυτό το πεδίο. Μια μέθοδος εντοπισμού εσωτερικού χώρου που βασίζεται σε Wi-Fi RSS έχει προταθεί στο [154] που χρησιμοποιεί ιεραρχική ταξινόμηση. Στο σύστημα, αρχικά χρησιμοποιείται ομαδοποίηση k-means που διαιρεί τα περιβάλλοντα σε μερικώς επικαλυπτόμενες ζώνες. Στη συνέχεια, τα kNN και SVM έχουν χρησιμοποιηθεί για την εύρεση των σημείων τοποθεσίας. Αυτή η ιεραρχική ταξινόμηση απλοποιεί τις φάσεις εκπαίδευσης εκτός σύνδεσης και διαδικτυακής τοπικής προσαρμογής και μειώνει τις συνολικές υπολογιστικές πολυπλοκότητες.

#### 5.4.1.2. Μηχανική Μάθηση σε συνδυασμό με Bluetooth

Στο [136], έχει χρησιμοποιηθεί τυχαίο δάσος στο οποίο το δέντρο απόφασης εκτελείται πολλές φορές. Το σύστημα εντοπισμού εσωτερικών χώρων βασίζεται στην τεχνολογία Bluetooth που παρακολουθεί τις κινήσεις των χρηστών μέσα σε ένα κτίριο για να βελτιώσει τις έξυπνες δραστηριότητες κτιρίου. Για RSSI που λαμβάνεται από κάθε iBeacon, χρησιμοποιούνται πολλαπλά δέντρα απόφασης. Στη συνέχεια, ανάλογα με την αξία τους, λαμβάνεται η απόφαση στα



ενδιάμεσα βήματα του δέντρου σχετικά με τα σημεία θέσης που υποδεικνύουν. Κάθε ένας από τους κόμβους φύλλων του δέντρου αποφάσεων υποδηλώνει μια μοναδική κλάση (τοποθεσία). Όλα τα δέντρα αποφάσεων μπορεί να μην έχουν το ίδιο αποτέλεσμα, το αποτέλεσμα που λαμβάνεται από την πλειοψηφία επισημαίνεται ως η σωστή κλάση.

#### 5.4.1.2. *Μηχανική Μάθηση σε συνδυασμό με RFID*

Μια μέθοδος εντοπισμού θέσης αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων (RFID), χρησιμοποιώντας ELM έχει παρουσιαστεί στο [155]. Η μέθοδος βασίζεται στον συνδυασμό RSS και μετατόπιση φάσης. Δημιουργείται μια βάση δεδομένων δακτυλικών αποτυπωμάτων χρησιμοποιώντας τις τιμές RSS των σημείων αναφοράς. Αυτά τα δεδομένα κανονικοποιούνται και τροφοδοτούνται σε ένα ELM για την εκτίμηση των θέσεων. Λόγω εξαιρετικά γρήγορης ταχύτητας της ELM, η φάση εκπαίδευσης εκτός σύνδεσης και διαδικτυακής τοπικής προσαρμογής ολοκληρώνεται σε πολύ λιγότερο χρόνο.

#### 5.4.2 *Χρήση Μηχανικής Μάθησης σε Περιβάλλοντα Μετάβασης IO*

Για να πραγματοποιηθεί απρόσκοπτη τοποθέτηση σε IO περιβάλλον, είναι πολύ σημαντικό για να γίνει πρώτα διάκριση μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος. Πάνω από την τελευταία δεκαετία, έχει παρατηρηθεί ότι η πλειονότητα των ερευνών στον τομέα της εύρεσης τοποθεσίας σε εσωτερικούς χώρους μετατοπίζεται στην ανίχνευση περιβάλλοντος. Προκειμένου να συγχωνευθούν το εσωτερικό περιβάλλον με το εξωτερικό, η απρόσκοπτη ανίχνευση μετάβασης από το ένα περιβάλλον στο άλλο είναι εξαιρετικά απαραίτητη.

Επειδή ο εντοπισμός σε εξωτερικούς χώρους βασίζεται κυρίως στο GPS, θα αναφερθούμε σε τεχνολογίες εντοπισμού με χρήση μηχανικής μάθησης σε συνδυασμό με GPS και χωρίς GPS.

##### 5.4.2.1. *Μηχανική Μάθηση σε συνδυασμό με GPS*

Τα σήματα GPS διαδίδονται πολύ καλά στον εξωτερικό χώρο, αλλά διακόπτονται στον εσωτερικό χώρο λόγω εμποδίων. Στο [156], οι συγγραφείς παρουσίασαν ένα σχέδιο για την ανίχνευση εσωτερικών, εξωτερικών και ημι-υπαίθριων περιβάλλοντων με βάση το σήμα GPS. Η απόδοση ελέγχεται χρησιμοποιώντας εποπτευόμενους ταξινομητές όπως SVM, Naive Bayes, kNN και ANN μαζί με Λογιστική Οπισθοδρόμηση (Logistic Refression). Τα ακατέργαστα σήματα GPS μετασχηματίζονται εφαρμόζοντας τεχνικές μετασχηματισμού δεδομένων για την εξαγωγή χαρακτηριστικών. Ωστόσο, η προσέγγιση, αποκλειστικά με βάση το GPS είναι δύσκολο να εφαρμοστεί σε συμφωνημένους εξωτερικούς χώρους όπου υπάρχουν ψηλά κτίρια ή άλλα εμπόδια. Οι πληροφορίες κατεύθυνσης μπορούν να βοηθήσουν στην παρακολούθηση του σήματος GPS σε ένα τέτοιο σενάριο. Η μέθοδος που προτείνεται στο [157] ανιχνεύει εναλλαγή εσωτερικού-

εξωτερικού περιβαλλοντικός με χρήση GPS μαζί με πληροφορίες κατεύθυνσης ενός αισθητήρα πυξίδας. Μεταξύ των ληφθέντων δορυφορικών πληροφοριών, ο συνδυασμός της ανύψωσης και SNR επιλέγεται ως το βασικό χαρακτηριστικό για το SVM. Αυτή η προσέγγιση χρειάζεται υψηλό SNR για να επιτύχει καλή απόδοση που μπορεί να επηρεάζεται από τον ηλεκτρονικό θόρυβο καθώς και από παράγοντες όπως οι κραδασμοί, ο άνεμος. Στο [158], ένας συνδυασμός GPS με πολλαπλούς αισθητήρες όπως η ένταση του φωτός, η ισχύς του σήματος της κυψέλης, το πλάτος του ήχου, οι αισθητήρες εγγύτητας και το μαγνητικό πεδίο χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό. Αυτό το πολυτροπικό σύνολο δεδομένων βοηθά στον εντοπισμό των περιβαλλοντικών αλλαγών εκτός και εντός κτιρίου. Επίσης, η χρήση διαφόρων αισθητήρων διευκολύνει την επιλογή του απαιτούμενου αισθητήρα για αντίστοιχο περιβάλλον. Στη διαδικασία ταξινόμησης που βασίζεται στη συνεκπαίδευση, δύο ανεξάρτητα σύνολα μετρήσεων αισθητήρων χρησιμοποιούνται για ταξινόμηση. Η εποπτευόμενη φάση εκπαίδευσης εκτός σύνδεσης ακολουθείται από μια φάση εκμάθησης χωρίς επίβλεψη, όταν σε κάθε ταξινομητή παρέχονται περαιτέρω δεδομένα εκπαίδευσης.

Η χρήση της μάθησης συνόλου παρατηρείται στην πρόσφατη ερευνητική τάση. Στο [159], εφαρμόζεται ταξινόμηση τυχαίου δένδρου (Random Forest) που μαθαίνει τις τιμές χαρακτηριστικών του συνόλου δεδομένων εκπαίδευσης που λαμβάνεται από αραιά δεδομένα GPS. Οι τιμές χαρακτηριστικών που αποτελούνται από την ακρίβεια εντοπισμού θέσης, τα χωρικά χαρακτηριστικά και τα χρονικά χαρακτηριστικά υπολογίζονται από τα συμπλέγματα GPS των μετρούμενων θέσεων. Το σύστημα που έχει μάθει στη συνέχεια ταξινομεί άγνωστη ακολουθία μετρούμενων θέσεων σε εσωτερικές ή εξωτερικές θέσεις με αμελητέα σφάλματα.

Στο [160], ένας αλγόριθμος ανίχνευσης μετάβασης IO έχει προταθεί με βάση το μοντέλο ταξινόμησης συνόλου στοιβάς που χρησιμοποιεί δεδομένα αρχικής εκπαίδευσης για την εκμάθηση βασικών μαθητών και τα προβλεπόμενα αποτελέσματα χρησιμοποιούνται ως νέο σύνολο εκπαίδευσης για τη δημιουργία νέου μοντέλου. Το μοντέλο αποτελείται από εποπτευόμενες τεχνικές εκμάθησης, συμπεριλαμβανομένων των SVM, Random Forest, Adaboost, Light GBM και XGBoost. Η κατανομή της χωρικής γεωμετρίας, η χρονική ακολουθία και τα στατιστικά χαρακτηριστικά από το σήμα GNSS (GPS και GLONASS) εξάγονται που τονίζουν τις περιβαλλοντικές διαφορές. Το μοντέλο συνόλου υπερτερεί των επιμέρους μοντέλων. Το αποτέλεσμα της ανίχνευσης περιβάλλοντος φιλτράρεται χρησιμοποιώντας το Κρυμμένο Μοντέλο Markov (Hidden Markov Model).

Το GPS έχει χρησιμοποιηθεί επίσης στην πλοήγηση οχημάτων. Στο [161], οι συγγραφείς πρότειναν ένα σύστημα πλοήγησης οχημάτων που βασίζεται σε smartphone που ονομάζεται eNav. Ο χρήστης μπορεί να εισέλθει και να εξέλθει από τη λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας της εφαρμογής πλοήγησης σε smartphone αντικαθιστώντας τον εντοπισμό θέσης GPS με νεκρό υπολογισμό χρησιμοποιώντας λιγότερο δαπανηρούς αισθητήρες. Η απενεργοποίηση της οθόνης του τηλεφώνου είναι ένας άλλος τρόπος εξοικονόμησης ενέργειας. Ο εντοπισμός θέσης GPS επανεκκινείται αυτόματα όταν το εκτιμώμενο σφάλμα τοποθεσίας ξεπεράσει το επιτρεπόμενο εύρος. Για να βελτιωθεί η απόδοση ενός συστήματος πλοήγησης οχήματος που βασίζεται σε αδρανειακό αισθητήρα και GPS, οι συγγραφείς πρότειναν ένα πλαίσιο βαθιάς μάθησης [162] που αποτελείται από πολλαπλή μακροπρόθεσμη - βραχυπρόθεσμη μνήμη (multiple-long short-term

memory - multi-LSTM). Το σύστημα προβλέπει την αύξηση της θέσης του οχήματος. Με βάση μια συνθήκη κυκλοφορίας στον αλγόριθμο ταξινόμησης, ενεργοποιείται κατάλληλη ενότητα LSTM. Για την αφαίρεση απροσδόκητου θορύβου, χρησιμοποιήθηκε ένα βελτιωμένο εκτεταμένο φίλτρο (IEKF). Αυτή η συνδυασμένη προσέγγιση IEKF και multi-LSTM είναι χρήσιμη ειδικά σε περίπτωση διακοπών του GPS σε δυναμικά περιβάλλοντα.

#### 5.4.2.2. Μηχανική Μάθηση χωρίς GPS

Δεδομένου ότι το GPS είναι ένας αισθητήρας που απαιτεί ενέργεια και δεν λειτουργεί καλά σε πυκνές αστικές περιοχές, μερικές πρόσφατες ερευνητικές πρωτοβουλίες έχουν επίσης διερευνήσει το πρόβλημα χωρίς τη χρήση GPS. Στο [163], οι συγγραφείς πρότειναν έναν ανιχνευτή IO με βάση υπερήχων που μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα smartphone. Η κινητή συσκευή εκπέμπει περιοδικά ένα υπερηχητικό ακουστικό σήμα (ping) και ακούει συνεχώς για ηχώ. Ο αριθμός και η ένταση των ηχών πρέπει να είναι υψηλότερη σε εσωτερικούς χώρους παρά σε εξωτερικούς χώρους λόγω της παρουσίας μεγαλύτερου αριθμού εμποδίων. Ο ταξινομητής Naive Bayes χρησιμοποιείται για ταξινόμηση. Ένας άλλος ανιχνευτής κατάλληλος για εμπορικά smartphone προτείνεται στο [164] με βάση δεδομένα μαγνητικού πεδίου. Δεκαέξι χωρικά χαρακτηριστικά των δεδομένων μαγνητικού πεδίου, όπως ο μέσος όρος, η διάμεσος, η διακύμανση, η τυπική απόκλιση, κ.λπ. επιλέγονται για σκοπούς ταξινόμησης. Μια μέθοδος συνόλου που βασίζεται στη στοίβαξη εφαρμόζεται για τρεις διαφορετικές πειραματικές περιοχές. Για το σύνολο εφαρμόζονται πολλαπλοί ταξινομητές, συμπεριλαμβανομένων των Decision Tree, kNN, Naive Bayes, SVM.

Μία από τις κοινές δυσκολίες που αντιμετωπίζει η εποπτευόμενη μάθηση είναι η συλλογή και η διατήρηση τεράστιου αριθμού δεδομένων με ακρίβεια. Στο [165], ένα μικρό υποσύνολο δεδομένων επισημαίνεται (εσωτερικός ή εξωτερικός χώρος) ενώ το υπόλοιπο σύνολο δεδομένων παραμένει χωρίς ετικέτα. Οι ερευνητές εξέτασαν τρεις διαφορετικές ημι-εποπτευόμενες μεθόδους μάθησης, το συστάδα – μαρκάρισμα (cluster – then labeled), την αυτο-εκπαίδευση και τη συνεκπαίδευση ικανή για μάθηση στη συσκευή, κατάλληλη για ανίχνευση σε άγνωστα περιβάλλοντα. Στη μέθοδο cluster-then-label, χρησιμοποιούνται k-means και μεγιστοποίηση της προσδοκίας (Expectation Maximization) για την ομαδοποίηση και την επισήμανση των δεδομένων σε κάθε συστάδα. Στη συνέχεια χρησιμοποιούνται εποπτευόμενοι ταξινομητές όπως ο Naive Bayes για εκπαίδευση. Το SVM και το Naive Bayes χρησιμοποιούνται για τη μέθοδο συνεκπαίδευσης, αν και η απόδοσή του εξαρτάται από την κατάταξη των χαρακτηριστικών σύμφωνα με την αποτελεσματικότητα για τους αντίστοιχους ταξινομητές.

Μια άλλη ημιεποπτευόμενη μέθοδος εκμάθησης για την ανίχνευση IO έχει προταθεί στο [137] με βάση μερικώς επισημασμένα δεδομένα κυψελοειδούς ραδιοφώνου. Για να κατανοηθεί η ανάγκη της ημιεποπτευόμενης μάθησης, η απόδοση της ανίχνευσης IO έχει αναλυθεί χωριστά χρησιμοποιώντας μεθόδους εποπτευόμενης μάθησης (SVM, Random Forest, ANN) και ομαδοποίησης k-means σε σύνολο δεδομένων δοκιμής του ίδιου περιβάλλοντος που επιτυγχάνει καλή ακρίβεια. Για διαφορετικά περιβάλλοντα παρατηρείται υποβάθμιση της απόδοσης. Για να

λυθεί αυτό, προτείνεται ημι-εποπτευόμενη μέθοδος μάθησης δύο φάσεων. Αρχικά, τα δεδομένα χωρίς ετικέτα επισημαίνονται χρησιμοποιώντας το Bayesian Gaussian Mixture (BGM) και στη συνέχεια χρησιμοποιώντας αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος SVM ή βασισμένος σε βαθιά μάθηση για την εκμάθηση του περιβάλλοντος. Έχει σχεδιαστεί ένας αλγόριθμος Βελτιστοποιητής Χρόνου (Time Optimizer) που ελέγχει εάν τα δεδομένα δεν έχουν ετικέτες ή εσφαλμένα. Η υπόθεση είναι ότι ένας χρήστης δεν μπορεί να αλλάξει το περιβάλλον του δύο φορές μέσα σε τριάντα δευτερόλεπτα. Τέλος, τα δεδομένα επισημαίνονται σωστά και διατηρούνται στο δεύτερο σύμπλεγμα.

Μια προσέγγιση βασισμένη σε ομαδοποίηση έχει προταθεί στο [166] για την ανίχνευση ΙΟ. Η τεχνική βασίζεται καθαρά σε τιμές δακτυλικών αποτυπωμάτων Wi-Fi. Για τη μέτρηση της απόστασης μεταξύ δύο δακτυλικών αποτυπωμάτων, χρησιμοποιείται η συσχέτιση Spearman. Ο αλγόριθμος DBSCAN χρησιμοποιείται για ομαδοποίηση, στην οποία κάθε δακτυλικό αποτύπωμα αρχικά συσχετίζεται με ένα μόνο σύμπλεγμα και αργότερα, τα δακτυλικά αποτυπώματα των λαμβανόμενων σημάτων από κοινά AP ομαδοποιούνται στα ίδια συμπλέγματα. Η προσέγγιση φαίνεται καλή για τις αστικές περιοχές με κυκλοφοριακή συμφόρηση λόγω της διαθεσιμότητας σημείων πρόσβασης Wi-Fi. Όπου δεν είναι διαθέσιμο το Wi-Fi, το περιβάλλον μπορεί να ανιχνευθεί χρησιμοποιώντας επίσης αδρανειακούς αισθητήρες. Στο [167], οι συγγραφείς πρότειναν μια τεχνική ανίχνευσης ΙΟ που βασίζεται σε έξι καθημερινές ανθρώπινες δραστηριότητες (περπάτημα, παράλειψη, τρέξιμο, παραμονή, αναρρίχηση σκαλοπατιών πάνω και κάτω) που μετρώνται με αδρανειακούς αισθητήρες. Για κάθε δραστηριότητα, επιλέγεται ένα σύνολο χαρακτηριστικών και τροφοδοτείται για να συνδυάζουν μεθόδους εκμάθησης, όπως Random Forest και AdaBoost για την ταξινόμηση των τύπων περιβάλλοντος. Σημαντικά χαρακτηριστικά εξάγονται από δεδομένα αδρανειακών αισθητήρων όπως μέση, διάμεσος, διακύμανση, μέγιστη, ελάχιστη, τυπική απόκλιση, συσχέτιση κ.λπ. Η προτεινόμενη μέθοδος εκτιμάται για την απλότητά της. Ωστόσο, η θέση κράτησης του smartphone είναι θέμα σημασίας.

Ένας άλλος αισθητήρας, το Bluetooth, έχει χρησιμοποιηθεί για τη σύνδεση όλων των δεδομένων για την επισήμανση. Το σύστημα αποδίδει καλά όταν δοκιμάζεται με μεθόδους Random Forest και Naive Bayes. Το σύστημα έχει ικανοποιητική απόδοση προσδιορίζοντας εσωτερικούς, εξωτερικούς και ημιυπαίθριους χώρους, αλλά μερικές φορές λανθασμένα ταξινομεί τους ημιεσωτερικούς χώρους ως εξωτερικούς. Αυτό συμβαίνει επειδή το ορατό φως διασχίζει άπταιστα σε ημι-εσωτερικούς χώρους, όπως δωμάτια με μεγάλες πόρτες και παράθυρα. Τέσσερα είδη περιβαλλόντων, συμπεριλαμβανομένου του ανοιχτού εξωτερικού, του ημιυπαίθριου, του ελαφρού εσωτερικού και του βαθιά εσωτερικού χώρου έχουν ανιχνευθεί στο [168]. Οι συγγραφείς εφάρμοσαν ML για να προσδιορίσουν το τρέχον περιβάλλον του χρήστη με ταξινόμηση την ισχύ σήματος του κυψελοειδούς σταθμού βάσης GSM σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Η απόδοση της ταξινόμησης αξιολογείται με διάφορες τεχνικές, όπως το Decision Tree, Random Forest, SVM, kNN, Logistic Regression, Naive Bayes και ANN. Το σύστημα ελέγχεται χρησιμοποιώντας μόνο ένα smartphone. και μπορεί να θεωρηθεί ως εφαρμόσιμο στην πραγματική ζωή μόνο μετά από δοκιμή σε περισσότερες συσκευές.

## 5.5 Συμπεράσματα

Οι τεχνολογίες εύρεσης τοποθεσίας και πλοήγησης τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους έχουν φέρει επανάσταση σε διάφορους τομείς εφαρμογών, από την παρακολούθηση περιουσιακών στοιχείων έως την ενδυνάμωση της βιομηχανίας. Στο πρόσφατο ερευνητικό παράδειγμα, η μηχανική μάθηση είναι μια από τις κύριες κινητήριες δυνάμεις. Έτσι, σε αυτό το κεφάλαιο, έγινε μια προσπάθεια να καλυφθεί παλαιότερη έρευνα, τόσο στον τομέα των συστημάτων που βασίζονται σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση που βασίζεται στη μηχανική μάθηση. Μία από τις σημαντικές προκλήσεις στον εντοπισμό αλλά και στην απρόσκοπτη αλλαγή τοποθέσιας από εσωτερικό σε εξωτερικό περιβάλλον με χρήση μηχανικής μάθησης είναι η σπανιότητα των συνόλων δεδομένων αναφοράς. Παραθέσαμε ορισμένα από τα δημόσια διαθέσιμα σύνολα δεδομένων (κυρίως σε εσωτερικούς χώρους) όπου χρησιμοποιούνται παραδοσιακοί ταξινομητές τελευταίας τεχνολογίας, καθώς και σύνολα δεδομένων εικόνας όπου έχουν αναφερθεί προσεγγίσεις που βασίζονται στο CNN ή το RNN στη διαδικασία εκμάθησης. Στον τομέα της ανίχνευσης ΙΟ, έχει παρατηρηθεί ότι την περασμένη δεκαετία, η έρευνα που διεξήχθη με χρήση GPS επικεντρώθηκε περισσότερο σε εποπτευόμενες προσεγγίσεις ενώ η έρευνα χωρίς GPS έγινε κυρίως χρησιμοποιώντας ημι-εποπτευόμενες προσεγγίσεις που συνδυάζουν ταξινόμηση και ομαδοποίηση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι σύγχρονες υποδομές αξιοποιώντας το IoT μπορούν να προσφέρουν βελτιωμένες υπηρεσίες στους χρήστες. Οι νέες τεχνολογικές εξελίξεις μπορούν να βοηθήσουν τους χρήστες στην καθημερινή τους ζωή, διευκολύνοντας τους, στους τομείς του συστήματος υγειονομικής περίθαλψης, του χώρου εργασίας και της ψυχαγωγίας. Λόγω του τεράστιου φάσματος υπηρεσιών που μπορεί να παρέχονται με τη χρήση του IoT, η εύρεση της τοποθεσίας έχει αποκτήσει τεράστια δημοτικότητα. Προκειμένου να βελτιωθούν οι υπηρεσίες που παρέχονται στους χρήστες, έχουν παρουσιαστεί στη βιβλιογραφία πολλές λύσεις που βασίζονται σε διαφορετικές τεχνολογίες και τεχνικές για τη βελτίωση των υπηρεσιών εντοπισμού.

### 6.1 Ευρήματα και παρατηρήσεις

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, έγινε μία προσπάθεια μελέτης και περιγραφής των συστημάτων και τεχνικών για τον προσδιορισμό της τοποθεσίας στην εποχή του IoT. Παρουσιάστηκαν οι τεχνικές και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται καθώς και εξετάστηκαν λύσεις όσον αφορά τις χρησιμοποιούμενες μεθοδολογίες και τεχνολογίες εύρεσης τοποθεσίας. Δόθηκε μια πλήρη παρουσίαση συστημάτων εντοπισμού με παραδείγματα εφαρμογής αυτών στην υπάρχουσα βιβλιογραφία.

Στο Κεφάλαιο 1, έγινε η εισαγωγή στις έννοιες του εντοπισμού τοποθεσίας και αναλύθηκαν οι λόγους για τους οποίους ο προσδιορισμός της τοποθεσίας είναι σημαντικός στην σύγχρονη εποχή. Αναφερθήκαμε στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων, έγινε μία εκτενής ανάλυση του και παρουσιάσαμε το πόσο στενά συνδεδεμένο είναι με τις διαδικασίες εντοπισμού στην σύγχρονη εποχή.

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάστηκαν οι τεχνικές εντοπισμού. Αρχικά αναφερθήκαμε στις πραγματοποιούμενες μετρήσεις και των μεγεθών υπολογισμού που χρησιμοποιούνται για πραγματοποίηση του εντοπισμού τοποθεσίας. Στην συνέχεια αναλύθηκαν τα κυριότερα είδη των τεχνικών εντοπισμού. Παρατηρήθηκε, όπως ήταν φυσικό ότι δεν υπάρχει κάποια τεχνική εντοπισμού η οποία να επιτυγχάνει τα μέγιστα αποτελέσματα σε όλες τα περιβάλλοντα λειτουργίας. Αυτό οφείλεται φυσικά στην διαφορετικότητα του κάθε περιβάλλοντος στα φαινόμενα τα οποία δυσχεραίνουν την λειτουργία κάποιων τεχνικών.

Στο Κεφάλαιο 3 αναφερθήκαμε στα κριτήρια απόδοσης των συστημάτων εντοπισμού, κριτήρια τα οποία είναι απαραίτητα για την αξιολόγηση των τεχνικών εντοπισμού όπως η ακρίβεια η καθυστέρηση, το κόστος, η ισχύς η πολυπλοκότητα η επεκτασιμότητα η σταθερότητα η αξιοπιστία και η καθυστέρηση. Χρησιμοποιώντας τα κριτήρια αυτά, μπορούμε να επιτύχουμε μια κατηγοριοποίηση των συστημάτων εντοπισμού και αποτελούν ένα μέτρο σύγκρισης μεταξύ τους. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα κριτήρια είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους, και επιζητώντας καλύτερα αποτελέσματα όπως αυτό του χαμηλού κόστους αποτυγχάνουμε να έχουμε πολύ καλά αποτελέσματα στον παράγοντα της ακρίβειας, ή σε κάποιο άλλο στοιχείο. Το λεγόμενο trade-off

που πολύ συχνά παρατηρούμε και στις τηλεπικοινωνίες γενικά εμφανίζεται και στα συστήματα εντοπισμού.

Στο Κεφάλαιο 4 πραγματοποιήθηκε η ανάλυση των συστημάτων εντοπισμού θέσης. Τα συστήματα αυτά αναλύθηκαν ως προς τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται, που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 2 και έγινε και μια αξιολόγησή τους με βάση τα κριτήρια του Κεφαλαίου 3. Η ανάλυση έγινε αρχικά στον διαχωρισμό των συστημάτων σε εξωτερικούς και εσωτερικούς χώρους. Για τον εντοπισμό εξωτερικών χώρων τα συστήματα PNT, με κύριο παράδειγμα αυτό του GPS, έχουν εξέχουσα θέση καθώς αποτελούν τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα συστήματα. Έγινε μια εκτενής ανάλυση στην χρήση και εφαρμογή του GPS καθώς επίσης και αναφορά σε εφάμιλλά συστήματα όπως αυτά του Beidou και του GLONASS. Επίσης για εξωτερικούς χώρους μπορούν να χρησιμοποιηθούν και τεχνολογίες δικτύων GSM καθώς και συστήματα με χρήση αισθητήρων. Για τον εντοπισμό εσωτερικών χώρων διαχωρίσαμε τα συστήματα αναλόγως τεχνολογίας σε Ήχου, Ραδιοσυχνοτήτων (Bluetooth, Wi-Fi, UWB, ZigBee, LoRa, RFID, FM, κυψελωτά δίκτυα, Αδρανειακοί αισθητήρες), Οπτικής Τεχνολογίας. Σε όλα τα συστήματα έγινε ανάλυση στην χρήση της τεχνολογίας τους αλλά και στις εφαρμογές τους με παραδείγματα από την βιβλιογραφία

Στο Κεφάλαιο 5, και με όσα είχαμε αναλύσει στο προηγούμενο κεφάλαιο αναλύσαμε την ανάγκη για την χρησιμοποίηση της Μηχανικής Μάθησης για τον εντοπισμό. Έγινε, λοιπόν, μια προσπάθεια ανάλυσης των πιο σύγχρονων τεχνικών εντοπισμού που βασίζονται στην Μηχανική Μάθηση. Αναφερθήκαμε στους λόγους της ανάγκης που υπάρχει για την χρήση της ML, αναλύθηκε το ευρύ πλαίσιο της λειτουργίας της, από την συλλογή, επεξεργασία και την επιλογή δεδομένων.. Στην συνέχεια αναλύσαμε τις τεχνικές μηχανικής μάθησης και αναφερθήκαμε στην χρήση αυτής της τεχνολογίας στο σύγχρονο περιβάλλον.

Τέλος η παρούσα διπλωματική εργασία μελέτη παρείχε ένα σύνολο εφαρμογών περιπτώσεων χρήσης που βασίζονται σε διαφορετικές λύσεις προσδιορισμού τοποθεσίας, ειδικά με τις τεχνολογίες με δυνατότητα IoT. Εκτός από τη σύγκριση των τρεχουσών μεθοδολογιών και τεχνολογιών, παρέχονται οι μετρήσεις που είναι σημαντικές στις λύσεις εντοπισμού θέσης.

## 6.2 Εργασίες για περαιτέρω διερεύνηση

Υποσχόμενο αντικείμενο μελλοντικής προσπάθειας μπορεί να αποτελέσει η περεταίρω ανάλυση και εμβάθυνση σε αντικείμενα που αφορούν την επίτευξη πιο αποτελεσματικής απόδοσης των συστημάτων εντοπισμού με τομείς ανάλυσης όπως την μελέτη για την ελαχιστοποίηση και την επίδραση των φαινομένων πολλαπλών διαδρομών (multipath) καθώς επίσης και των διαφόρων παρεμβολών που δημιουργούνται από αντικείμενα που βρίσκονται στον χώρο. Όπως παρατηρήσαμε και τα δύο αποτελούν ένα από τα συχνότερα προβλήματα απόδοσης των περισσότερων τεχνικών και συστημάτων εντοπισμού.

Επίσης πολύ ενδιαφέρον παρουσιάζει η χρησιμοποίηση, με κατάλληλη ανάλυση των πληροφοριών που συλλέγονται, των λεγόμενων Μεγάλων Δεδομένων (Big Data) και την ενσωμάτωσή τους σε εφαρμογές μηχανικής μάθησης για την άντληση χρήσιμων πληροφοριών

που απαιτούν τα συστήματα εύρεσης τοποθεσίας. Η αφθονία αυτών των δεδομένων είναι τεράστια αν αναλογιστεί κανείς ότι στα πλαίσια του IoT δημιουργείται αφθονία διαφορετικού τύπου δεδομένων από τις συσκευές που χρησιμοποιούν οι χρήστες.

Επιπλέον θα μπορούσε να αναλυθεί η επίδραση στα συστήματα εντοπισμού που έχει το γεγονός ότι οι συσκευές που χρησιμοποιούν οι χρήστες είναι διαφορετικές. Αυτό επιδρά, εντελώς διαφορετικά από σύστημα σε σύστημα τόσο στην επίδοση αλλά και στην αποτελεσματικότητα τους. Επίσης η μη διαθεσιμότητα ενός ή περισσότερων υπαρχόντων αισθητήρων σε νέες συσκευές αφού το πιο θεμελιώδες μέρος της απρόσκοπτης εντοπισμού είναι οι αισθητήρες. Με την ταχεία τεχνολογική πρόοδο, θα υλοποιηθεί η ανάπτυξη νέων αισθητήρων και νέων διαμορφώσεων smartphone. Είναι απαραίτητο να κατασκευαστούν συστήματα που μπορούν να αφομοιώσουν τα νέα δεδομένα που παράγονται από τους αισθητήρες, επομένως αυτό από μόνο του αποτελεί μια ερευνητική πρόκληση.

Όπως αναφερθήκαμε στο κεφάλαιο 2 οι μέτρησες επίδοσης είναι η αρχή των συστημάτων εντοπισμού. Η ακρίβεια αυτών των μετρήσεων εντοπισμού αποτελεί εφιαλτήριο για περεταίρω έρευνα. Το πόσο πιο ακριβείς θα μπορούσαν αυτές να γίνουν ή η επιλογή κάποιων παραμέτρων έτσι ώστε τα συστήματα θα είναι πιο αποτελεσματικά. Για παράδειγμα, η επιλογή ενός κατάλληλου ορίου στην τιμή του RSSI για την αφαίρεση των ακραίων τιμών, ή ο καθορισμός του αριθμού των WAP/BS που πρέπει να είναι αναπτυχθεί στην περιοχή των δοκιμών σε περιπτώσεις τροποποίησης για την ακρίβεια των μετρήσεων.

Ένα άλλο πεδίο περεταίρω διεύρυνσης αποτελεί η χαρτογράφηση εσωτερικών χώρων και απόκτηση δεδομένων. Η ανάπτυξη εικονικών χαρτών που καθορίζουν την τοπολογία των εσωτερικών χώρων είναι απαραίτητη για τον εντοπισμό και τη στόχευση ενός αντικειμένου ή ενός ατόμου σε έναν πραγματικό κόσμο. Για κάθε προσέγγιση που επιλέγεται για τη διαδικασία εντοπισμού σε εσωτερικό περιβάλλον, η συλλογή και η προ επεξεργασία είναι πολύ σημαντική. Το περιβάλλον εντοπισμού είναι επίσης επιρρεπές σε αλλαγές με την πάροδο του χρόνου, καθιστώντας δύσκολη τη διατήρηση ενός καλά σχολιασμένου συνόλου δεδομένων εκπαίδευσης. Πρόσφατες τάσεις μηχανικής μάθησης, όπως η θετική μάθηση χωρίς ετικέτα και οι έννοιες των παραγωγικών δικτύων αντιπάλου θα μπορούσαν να διερευνηθούν για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

Πεδίο ενδιαφέροντος αποτελεί ο εντοπισμός σε σχέση με πολλαπλούς ορόφους. Σε περίπτωση εντοπισμού σε πολλούς ορόφους, είναι σημαντικό να συμπεριληφθεί ο αριθμός ορόφου ως σημαντικό μέρος της ετικέτας πρόβλεψης. Η αναγνώριση ορόφων μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ακρίβεια εντοπισμού σε πολυώροφες κατασκευές όπου ο χρήστης μπορεί να ταξιδέψει μεταξύ των ορόφων. Επιπλέον, ο εντοπισμός ενός ατόμου που ταξιδεύει μέσα από σκάλες, ανελκυστήρες ή κυλιόμενες σκάλες είναι μια πρόκληση που περιλαμβάνει στρατηγικές 3D εντοπισμού. Ο τρισδιάστατος εντοπισμός βάσει αισθητήρα είναι ένας ανοιχτός τομέας έρευνας επί του παρόντος και μπορεί να εξεταστεί.

Σημαντικός παράγοντας αποτελεί και η ασφάλεια και το απόρρητο. Η διασυνδεσιμότητα των συστημάτων στην εποχή του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), εγείρει προβλήματα ασφάλειας και απόρρητου. Σχετικά με τα ζητήματα της ασφάλειας, άτομα ή συσκευές μπορούν να εκμεταλλευτούν τα τρωτά σημεία ασφαλείας που μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο τη φυσική



ασφάλεια ενός ατόμου. Επιπλέον, αποτελεί πρόκληση να διασφαλιστεί ότι τα δεδομένα που σχετίζονται με τον εντοπισμό το κάνουν να μην παραβιαστεί. Η μεταφόρτωση όλων των ιχνών τοποθεσίας στο cloud θα μπορούσε να παρεμποδίσει το απόρρητο των χρηστών. Τα μοντέλα μηχανικής μάθησης είναι επιρρεπή σε επιθέσεις αντιστροφής μοντέλων όπου οι εισβολείς μπορούν να δημιουργήσουν τα δεδομένα εκπαίδευσης. Έννοιες όπως η ομοσπονδιακή μάθηση θα πρέπει να διερευνηθούν σε αυτό το πλαίσιο. Θα πρέπει να διερευνηθεί η κατανομή αποθήκευση και η κατασκευή του μοντέλου ταξινόμησης σε επίπεδο συσκευής.

Σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης σε εσωτερικό περιβάλλον, οι υπάρχουσες προσεγγίσεις πλοήγησης αποτυγχάνουν να λειτουργήσουν. Σε τέτοιες περιπτώσεις, ο σχηματισμός πλήθους είναι φυσικός. Η κατανόηση της τροχιάς του πλήθους και η πρόβλεψη των προτύπων κινητικότητας είναι μια σημαντική ερευνητική πρόκληση εδώ. Για οποιαδήποτε κατάσταση πανδημίας, ο σχηματισμός πλήθους θα μπορούσε να έχει μοιραίες επιπτώσεις στην κοινωνία. Έτσι, η έρευνα σε συστήματα απρόσκοπτου εντοπισμού θα μπορούσε να διερευνήσει ασφαλείς διαδρομές πλοήγησης σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, να εντοπίσει εκ των προτέρων τα πιθανά σημεία σχηματισμού πλήθους και επίσης να παρακολουθήσει τη συμπεριφορά της κίνησης του πλήθους. Αισθητήρες θέσης όπως, οι πομποδέκτες Bluetooth θα μπορούσαν να ενσωματωθούν σε συγκεκριμένα σημεία πιθανού σχηματισμού πλήθους για την καλύτερη διαχείριση του πλήθους με οικονομικό τρόπο. Τέτοια συστήματα εντοπισμού θα βοηθούσαν πάρα πολύ τις αρχές να σχεδιάσουν και να δοκιμάσουν διάφορες στρατηγικές μετριασμού του πλήθους στους δημόσιους χώρους.

Τέλος, στην παρούσα βιομηχανική επανάσταση ή στη βιομηχανία 4.0, η απρόσκοπτη τοποθέτηση είναι εξαιρετικά σημαντική όχι μόνο στον τομέα της τοπικής προσαρμογής των χρηστών, αλλά σε πολλές τέτοιες εφαρμογές που περιλαμβάνουν επικοινωνία από μηχανή με μηχανή. Η διεπαφή ανθρώπου μηχανής είναι επίσης ζωτικής σημασίας για την ευρεία υιοθέτηση τέτοιων συστημάτων. Η εμπειρία χρήστη και η ευκολία χρήσης για τέτοιες εφαρμογές εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες εκτός από το σχεδιασμό φιλικών προς το χρήστη διεπαφών. Ο πυρήνας ενός τέτοιου συστήματος, δηλαδή η μεθοδολογία ανάλυσης δεδομένων για την πρόβλεψη τοποθεσίας θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τέτοιους παράγοντες, όπως η διακοπτόμενη σύνδεση στο Διαδίκτυο καθώς και ο περιορισμός αποθήκευσης των smartphone, προκειμένου να προσφέρει αξιοπρεπή ποιότητα εμπειρίας.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] J. Geng, L. Xia, D. Wu, Attitude and Heading Estimation for Indoor Positioning Based on the Adaptive Cubature Kalman Filter, in: *Micromachines*, 12, Jan. 2021, <https://doi.org/10.3390/mi12010079>.
- [2] Light-Weight Integration and Interoperation of Localization Systems in IoT - Scientific Figure on ResearchGate. DOI:[10.3390/s18072142](https://doi.org/10.3390/s18072142).
- [3] J. Walker and J. Awange, “Global Navigation Satellite System,” in *Surveying for Civil and Mine Engineers*, Cham: Springer International Publishing, 2020, pp. 281–294. doi: 10.1007/978-3-030-45803-4\_14.
- [4] S. Bian, P. Hevesi, L. Christensen, P. Lukowicz, Induced Magnetic Field-Based Indoor Positioning System for Underwater Environments, *Sensors* 21 (6) (Mar. 2023) 2218, <https://doi.org/10.3390/s21062218>.
- [5] C. Du, B. Peng, Z. Zhang, W. Xue, M. Guan, KF-kNN: Low-cost and high-accurate FM-based indoor localization model via fingerprint technology, *IEEE Access* 8 (2023) 197523–197531, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3031089>.
- [6] B. Li, K. Zhao, E.B. Sandoval, A UWB-Based Indoor Positioning System Employing Neural Networks, *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis* 4 (2) (Dec. 2023) 18, <https://doi.org/10.1007/s41651-020-00059-2>.
- [7] C. Gentner, M. Ulmschneider, I. Kuehner, and A. Dammann, “WiFi-RTT Indoor Positioning,” in *2020 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS)*, Apr. 2020, pp. 1029–1035. doi: [10.1109/PLANS46316.2020.9110232](https://doi.org/10.1109/PLANS46316.2020.9110232).
- [8] A. Toyama, K. Mitsugi, K. Matsuo, E. Kulla, L. Barolli, Implementation of an Indoor Position Detecting System Using Mean BLE RSSI for Moving Omnidirectional Access Point Robot, Springer, Cham (2021) 225–234, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-79725-6\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-030-79725-6_22).
- [9] C. H. Cheng and S. J. Syu, “Improving area positioning in ZigBee sensor networks using neural network algorithm,” *Microsystem Technologies*, vol. 27, no. 4, pp. 1419–1428, 2021, DOI:[10.1007/s00542-019-04309-2](https://doi.org/10.1007/s00542-019-04309-2).
- [10] J. Zhen, B. Liu, Y. Wang, Y. Liu, An improved method for indoor positioning based on ZigBee technique, *International Journal of Embedded Systems* 13 (3) (2020) 292, <https://doi.org/10.1504/IJES.2020.109963>.
- [11] P. Gertzell et al., “5G multi-BS positioning with a single-antenna receiver,” *IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, PIMRC*, vol. 2020 -August, pp. 1–5, 2020, DOI:[10.1109/PIMRC48278.2020.9217124](https://doi.org/10.1109/PIMRC48278.2020.9217124).
- [12] Y. Zhang, W. Rao, M. Yuan, J. Zeng, P. Hui, Context-aware Telco Outdoor Localization, *IEEE Transactions on Mobile Computing* (2020) 1, doi: 10.1109/TMC.2020.3025127.
- [13] H. Rizk and M. Youssef, “MonoDCell: A ubiquitous and low-overhead deep learning-based indoor localization with limited cellular information,” in *GIS: Proceedings of the ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems*, Nov. 2019, pp. 109–118. <https://doi.org/10.1145/3347146.3359065>.
- [14] Towards a definition of the Internet of Things (IoT), May 2015, IEEE [https://www.researchgate.net/publication/317588072\\_Towards\\_a\\_definition\\_of\\_the\\_Internet\\_of\\_Things\\_IoT](https://www.researchgate.net/publication/317588072_Towards_a_definition_of_the_Internet_of_Things_IoT)

- [15] [https://en.wikipedia.org/wiki/Internet\\_of\\_things](https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things) (Accessed Jul 2024).
- [16] Slavica Tomovic, Kenji Yoshigoe, Ivo Maljevic, Igor Radusinovic (2016). Software-Defined Fog Network Architecture for IoT DOI:[10.1007/s11277-016-3845-0](https://doi.org/10.1007/s11277-016-3845-0).
- [17] <https://medium.com/datadriveninvestor/10-powerful-iot-examples-worth-your-attention-1c06276a2e54> (Accessed Jul 2024).
- [18] <https://www.linkedin.com/pulse/advantages-disadvantages-internet-things-iot-tommy-quek> (Accessed Jul 2024).
- [19] T. Mustafa and A. Varol, “Review of the Internet of Things for Healthcare. “Monitoring,” in 2020 8th International Symposium on Digital Forensics and Security (ISDFS), Jun. 2020, pp. 1–6. DOI:[10.1109/ISDFS49300.2020.9116305](https://doi.org/10.1109/ISDFS49300.2020.9116305).
- [20] M.U. Ali, S. Hur, Y. Park, Wi-Fi-based effortless indoor positioning system using IoT sensors, *Sensors (Switzerland)* 19 (7) (Mar. 2019) 1496, <https://doi.org/10.3390/s19071496>.
- [21] H. Rizk, H. Yamaguchi, M. Youssef, and T. Higashino, “Gain without Pain: Enabling Fingerprinting-based Indoor Localization using Tracking Scanners,” in *GIS: Proceedings of the ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems*, Nov. 2020, pp. 550–559. <https://doi.org/10.1145/3397536.3422207>.
- [22] T. Wang, H. Xiong, H. Ding, L. Zheng, A Hybrid Localization Algorithm Based on TOF and TDOA for Asynchronous Wireless Sensor Networks, *IEEE Access* 7 (2019) 158981–158988, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2951140>.
- [23] S. He, S.H.G. Chan, Wi-Fi fingerprint-based indoor positioning: Recent advances and comparisons, *IEEE Communications Surveys and Tutorials* 18 (1) (2016) 466–490, <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2464084>.
- [24] Safar M. Maghdid , halgurd maghdid . Outdoor Localization Solutions in IoT era: Research Challenges and Future Perspectives. *TechRxiv*. August 13, 2021. DOI: 10.36227/techrxiv.15138609.v1.
- [25] S. Heier, Grid Integration of Wind Energy Conversion Systems, vol. 21, no. 3–4. 2000Z. Sahinoglu and I. Guvenc, “Threshold-based TOA estimation for impulse radio UWB systems,” in *Proceedings of the IEEE International Conference on Ultra-Wideband*, 2005, pp. 420–425. DOI:[10.1109/ICU.2005.1570024](https://doi.org/10.1109/ICU.2005.1570024).
- [26] Alfakih, Marwan. (2019). Indoor and Outdoor Localization. DOI:[10.13140/RG.2.2.33486.28480](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33486.28480).
- [27] J. J. Caffery, *Wireless location in CDMA cellular radio systems*. Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [28] J. G. Proakis, *Digital communications*. McGraw-Hill, New York, 1995.
- [29] S. Gezici, “A survey on wireless position estimation,” *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 44, no.3, pp. 263–282, Feb. 2008. <https://doi.org/10.1007/s11277-007-9375-z>.
- [30] J. Zhou, K. M. Chu, and J. K. Ng, “Providing location services within a radio cellular network using ellipse propagation model,” in *Proceedings of the 19th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA’05)*, 2005, vol.1, pp. 559–564. DOI:[10.1109/AINA.2005.286](https://doi.org/10.1109/AINA.2005.286).
- [31] Zafari, Faheem & Gkelias, Athanasios & Leung, Kin. (2017). A Survey of Indoor Localization Systems and Technologies. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. PP. 10.1109/COMST.2019.2911558.

- [32] A. Povalač and Š. Jiri, “Phase of arrival ranging method for UHF RFID tags using instantaneous frequency measurement,” in Proceedings of the 20th International Conference on Applied Electromagnetics and Communications, 2010, pp. 1–4.  
<https://ieeexplore.ieee.org/document/5729715>
- [33] H.S. Maghdid, I.A. Lami, K.Z. Ghafour, J. Lloret, Seamless Outdoors-Indoors Localization Solutions on Smartphones, ACM Computing Surveys 48 (4) (May 2016) 1–34,  
<https://doi.org/10.1145/2871166>.
- [34] E. DEMİR, A. ÖZTEKİN, Automatic Positioning of Mobile Users via GSM Signal Measurements, Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering 9 (2) (Apr. 2021) 152–160, <https://doi.org/10.17694/bajece.852963>.
- [35] E.S. Pino, C. Montez, O.T. Valle, E. Leao, R. Moraes, An Indoor Positioning System Using Scene Analysis in IEEE 802.15.4 Networks. IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference) 2019, 2019, pp. 2817–2822, <https://doi.org/10.1109/IECON.2019.8926652>.
- [36] R.K. Pallasena, M. Sharma, V. Krishnaswamy, Context-sensitive smart devices - definition and a functional taxonomy, International Journal of Social and Humanistic Computing 3 (2) (2019) 108, DOI:[10.1504/IJSHC.2019.101593](https://doi.org/10.1504/IJSHC.2019.101593).
- [37] S. Kumar, Performance Analysis of RSS-Based Localization in Wireless Sensor Networks, Wireless Personal Communications 108 (2) (2019) 769–783, <https://doi.org/10.1007/s11277-019-06428-5>.
- [38] A. A. Sohan, M. Ali, F. Fairouz, A. I. Rahman, A. Chakrabarty, and M. R. Kabir, “Indoor positioning techniques using RSSI from wireless devices,” 2019 22nd International Conference on Computer and Information Technology, ICCIT 2019, no. July 2020, 2019, doi: 10.1109/ICCIT48885.2019.9038591.
- [39] T. Li, S. Ai, S. Tateno, and Y. Hachiya, “Comparison of Multilateration Methods Using RSSI for Indoor Positioning System,” in 2019 58th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE), Sep. 2019, pp. 371–375. doi: 10.23919/SICE.2019.8859906.
- [40] J. Kunhoth, A. Karkar, S. Al-Maadeed, A. Al-Attiyah, Comparative analysis of computer-vision and BLE technology based indoor navigation systems for people with visual impairments, International Journal of Health Geographics 18 (1) (Dec. 2019) 29,  
<https://doi.org/10.1186/s12942-019-0193-9>.
- [41] D. Harvey, H. Kar, S. Verma, and V. Bhadauria, Lecture Notes in Electrical Engineering 683 Advances in VLSI, Communication, and Signal Processing. 2019. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-6840-4>.
- [42] L. Shi, et al., 5G Internet of Radio Light Positioning System for Indoor Broadcasting Service, IEEE Transactions on Broadcasting 66 (2) (Jun. 2020) 534–544,  
<https://doi.org/10.1109/TBC.2020.2981755>.
- [43] X. Guo, N. Ansari, F. Hu, Y. Shao, N.R. Elikplim, L. Li, A survey on fusion-based indoor positioning, IEEE Communications Surveys and Tutorials 22 (1) (2020) 566–594,  
<https://doi.org/10.1109/COMST.2019.2951036>.
- [44] K. Cengiz, Comprehensive Analysis on Least-Squares Lateration for Indoor Positioning Systems, IEEE Internet of Things Journal 8 (4) (2021) 2842–2856,  
<https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.3020888>.
- [45] E. Puschita, et al., Performance Evaluation of the UWB-based CDS Indoor Positioning Solution. 2020 International Workshop on Antenna Technology (iWAT), Feb. 2020, pp. 1–4, doi: 10.1109/iWAT48004.2020.1570609927.

- [46] B. Li, K. Zhao, E.B. Sandoval, A UWB-Based Indoor Positioning System Employing Neural Networks, *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis* 4 (2) (Dec. 2020) 18, <https://doi.org/10.1007/s41651-020-00059-2>.
- [47] J. Sidorenko, V. Schatz, N. Scherer-Negenborn, M. Arens, U. Hugentobler, Error Corrections for Ultrawideband Ranging, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 69 (11) (2020) 9037–9047, doi: 10.1109/TIM.2020.2996706.
- [48] V. D. Kuptsov, S. I. Ivanov, A. A. Fedotov, and V. L. Badenko, “High-precision analytical TDoA positioning algorithm for eliminating the ambiguity of coordinates determination,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 904, no. 1. doi: 10.1088/1757-899X/904/1/012013.
- [49] O. Hashem, M. Youssef, and K. A. Harras, “WiNar: RTT-based Sub-meter Indoor Localization using Commercial Devices,” 18th Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, PerCom 2020, 2020, doi: 10.1109/PerCom45495.2020.9127363.
- [50] J.H. Seong, S.H. Lee, W.Y. Kim, D.H. Seo, High-precision rtt-based indoor positioning system using rcdn and rpn, *Sensors* 21 (11) (2021) 1–16, <https://doi.org/10.3390/s21113701>.
- [51] I. Martin-Escalona, E. Zola, Passive round-trip-time positioning in dense ieee 802.11 networks, *Electronics (Switzerland)* 9 (8) (2020) 1–19, <https://doi.org/10.3390/electronics9081193>.
- [52] L. P. Nalla Perumal and A. S. Arockia Doss, “Sensor Fusion for Automotive Dead Reckoning Using GPS and IMU for Accurate Position and Velocity Estimation,” Springer, Singapore, 2021, pp. 83–95. DOI:[10.1007/978-981-15-4488-0\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-15-4488-0_8).
- [53] J. Zhang, M. Ren, P. Wang, J. Meng, Y. Mu, Indoor localization based on VIO system and three-dimensional map matching, *Sensors (Switzerland)* 20 (10) (2020), <https://doi.org/10.3390/s20102790>.
- [54] S. Yuan, H. Wang, L. Xie, Survey on Localization Systems and Algorithms for Unmanned Systems, *Unmanned Systems* 9 (2) (2021) 129–163, <https://doi.org/10.1142/S230138502150014X>.
- [55] H. Wang, C. Wang, L. Xie, Intensity-SLAM: Intensity Assisted Localization and Mapping for Large Scale Environment, *IEEE Robotics and Automation Letters* 6 (2) (2021) 1715–1721, <https://doi.org/10.1109/LRA.2021.3059567>.
- [56] Hayder Dibs, Shattri Mansor, Noordin Ahmad, Biswajeet Pradhan, Nadhir Al- Ansari, Automatic Fast and Robust Technique to Refine Extracted SIFT Key Points for Remote Sensing Images, *Journal of Civil Engineering and Architecture* 14 (6) (2020) 339–350, DOI:[10.17265/1934-7359/2020.06.005](https://doi.org/10.17265/1934-7359/2020.06.005).
- [57] Z. Zhou, R. Lan, Y. Rui, L. Dong, X. Cai, A new algebraic solution for acoustic emission source localization without premeasuring wave velocity, *Sensors (Switzerland)* 21 (2) (2021) 1–18, <https://doi.org/10.3390/s21020459>.
- [58] S.R. Gunasekara, H.N.T.K. Kaldera, M.B. Dissanayake, A Systematic Approach for MRI Brain Tumor Localization and Segmentation Using Deep Learning and Active Contouring, *Journal of Healthcare Engineering* 2021 (2021), <https://doi.org/10.1155/2021/6695108>.
- [59] K.F.P. Wye, S.M.M.S. Zakaria, L.M. Kamarudin, A. Zakaria, N.B. Ahmad, K. Kamarudin, RSS-based Fingerprinting Localization with Artificial Neural Network, *Journal of Physics: Conference Series* (1) (1755) 2021, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1755/1/012033>.
- [60] W. Nan, T. T. T. Nguyen, Y. Nagao, L. Lanante, M. Kurosaki, and H. Ochi, “Low- Complexity and High-Accuracy Positioning Protocol Based on an Asynchronous Protocol,” in 2019 IEEE 90th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Fall), Sep. 2019, pp. 1–5.

DOI: [10.1109/VTCFall.2019.8891468](https://doi.org/10.1109/VTCFall.2019.8891468).

- [61] [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/document/download/5f5587c6-914e-46ec-955f-c032c6a6423f\\_en?filename=JRC\\_Afternoon.pdf](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/document/download/5f5587c6-914e-46ec-955f-c032c6a6423f_en?filename=JRC_Afternoon.pdf).
- [62] G. Retscher, A. Leb, Development of a smartphone-based university library navigation and information service employing Wi-Fi location fingerprinting, *Sensors (Switzerland)* 21 (2) (Jan. 2021) 1–37, <https://doi.org/10.3390/s21020432>.
- [63] C. Sun, H. Zhao, L. Bai, J. W. Cheong, A. G. Dempster, and W. Feng, “GNSS-5G Hybrid Positioning Based on TOA/AOA Measurements,” in *Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol. 652 LNEE, no. June, 2020, pp. 527–537. DOI:[10.1007/978-981-15-3715-8\\_47](https://doi.org/10.1007/978-981-15-3715-8_47).
- [64] J. B.-Y. Tsui, *Fundamentals of global positioning system receivers*, 2nd ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2005. <https://nguyenduyliemgis.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/09/fundamentals-of-global-positioning-system-receivers-a-software-approach-2005.pdf>.
- [65] B. Parkinson, J. Spilker Jr., P. Axelrad, and P. Enge, “Satellite constellation and geometric dilution of precision,” in *Global Positioning System: Theory and Applications, Volume I*, Washington DC: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996, pp. 177–208. <https://doi.org/10.2514/5.9781600866388.0177.0208>.
- [66] F. Evennou, “Techniques et technologies de localisation avancées pour terminaux mobiles dans les environnements indoor,” Université Joseph-Fourier-Grenoble I, 2007.
- [67] J. H. Keong, “Determining heading and pitch using a single difference GPS/GLONASS approach,” University of Calgary, 1999. <https://dx.doi.org/10.11575/PRISM/40124>.
- [68] J.-M. Piéplu, *GPS et Galileo, systèmes de navigation par satellites*, Editions E. 2011.
- [69] The State Council Information Office of the People’s Republic of China, *China’s BeiDou navigation satellite system*, 1st ed., no. June. Foreign Languages Press Co. Ltd, 2016. [http://english.scio.gov.cn/m/whitepapers/2022-11/04/content\\_78501894\\_2.htm](http://english.scio.gov.cn/m/whitepapers/2022-11/04/content_78501894_2.htm).
- [70] R. S. Campos, “Evolution of positioning techniques in cellular networks, from 2G to 4G,” *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, vol. 2017, pp. 1–17, 2017. DOI:[10.1155/2017/2315036](https://doi.org/10.1155/2017/2315036).
- [71] A. Noureldin, T. B. Karamat, and J. Georgy, *Fundamentals of inertial navigation, satellitebased positioning and their integration*, 1st ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-30466-8>.
- [72] M.U. Liaquat, H.S. Munawar, A. Rahman, Z. Qadir, A.Z. Kouzani, M.A. P. Mahmud, Localization of Sound Sources: A Systematic Review, *Energies* 14 (13) (Jun. 2021) 3910, <https://doi.org/10.3390/en14133910>.
- [73] M. Wang, et al., Indoor PDR Positioning Assisted by Acoustic Source Localization, and Pedestrian Movement Behavior Recognition, Using a Dual-Microphone Smartphone, *Wireless Communications and Mobile Computing 2021* (Jul. 2021) 1–16, <https://doi.org/10.1155/2021/9981802>.
- [74] X. Bai, L. Zhang, T. Yang, and Z. Hu, “Semi-Supervised Learning Based Acoustic NLOS Identification for Smartphone Indoor Positioning,” in *2019 IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Computing (ICSPCC)*, Sep. 2019, pp. 1–6. DOI: [10.1109/ICSPCC46631.2019.8960779](https://doi.org/10.1109/ICSPCC46631.2019.8960779).
- [75] A. Mandal, C. V. Lopes, T. Givargis, A. Haghghat, R. Jurdak, and P. Baldi, “Beep: 3D indoor positioning using audible sound,” in *Proceedings of the Second IEEE Consumer Communications and Networking Conference.*, 2005, pp. 348–353 DOI: [10.1109/CCNC.2005.1405195](https://doi.org/10.1109/CCNC.2005.1405195).

- [76] M. McCarthy, P. Duff, H. L. Muller, and C. Randell, “Accessible ultrasonic positioning,” *IEEE Pervasive Comput.*, vol. 5, no. 4, pp. 86–93, Oct. 2006. DOI: [10.1109/MPRV.2006.65](https://doi.org/10.1109/MPRV.2006.65).
- [77] “The Bat ultrasonic location system.” [Online]. Available: <http://www.cl.cam.ac.uk/research/dtg/attarchive/bat/>. [Accessed: 25-Jul-2024].
- [78] N. B. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan, “The Cricket location-support system,” in *Proceedings of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking - MobiCom '00*, 2000, pp. 32–43. <https://doi.org/10.1145/345910.3459>.
- [79] Y. You, C. Wu, Hybrid Indoor Positioning System for Pedestrians With Swinging Arms Based on Smartphone IMU and RSSI of BLE, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 70 (2021) 1–15, <https://doi.org/10.1109/TIM.2021.3084286>.
- [80] S. Naghdi, K. O’Keefe, Detecting and correcting for human obstacles in BLE trilateration using artificial intelligence, *Sensors (Switzerland)* 20 (5) (Feb. 2020) 1350, <https://doi.org/10.3390/s20051350>.
- [81] A. Kotanen, M. Hannikainen, H. Leppakoski, and T. D. Hamalainen, “Experiments on local positioning with Bluetooth,” in *Proceedings of the International Conference on Information Technology: Coding and Computing*, 2003, pp. 297–303. DOI: [10.1109/ITCC.2003.1197544](https://doi.org/10.1109/ITCC.2003.1197544).
- [82] Wireless Indoor Localization Systems and Techniques: Survey and Comparative Study - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: [https://www.researchgate.net/figure/The-System-Architecture-of-Topaz-Local-Positioning-Solution\\_fig4\\_328702721](https://www.researchgate.net/figure/The-System-Architecture-of-Topaz-Local-Positioning-Solution_fig4_328702721) [accessed 7 Jul, 2024]
- [83] L. Tian, S. Santi, A. Seferagić, J. Lan, J. Famaey, Wi-Fi HaLow for the Internet of Things: An up-to-date survey on IEEE 802.11ah research, *Journal of Network and Computer Applications* 182 (March, 2021), <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2021.103036>.
- [84] <https://wp.stolaf.edu/it/gis-precision-accuracy/> (Accessed Jul 2024)
- [85] B. R. Ignjatovic, B. B. Andjelinic, and M. I. Simic, “Impact of the user orientation on WLAN positioning based upon the access point with the strongest signal,” in *Proceedings of the 11th International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services (TELSIKS)*, 2013, pp. 233–236. DOI: [10.1109/TELSIKS.2013.6704925](https://doi.org/10.1109/TELSIKS.2013.6704925).
- [86] F. Wang, Z. Huang, H. Yu, X. Tian, X. Wang, and J. Huang, “EESM-based fingerprint algorithm for Wi-Fi indoor positioning system,” in *Proceedings of the IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC)*, 2013, pp. 674–679. DOI: [10.1109/ICCCChina.2013.6671197](https://doi.org/10.1109/ICCCChina.2013.6671197).
- [87] V. Pichaimani, K.R. Manjula, Positioning of WiFi devices for indoor floor planning using principal featured Kohonen deep structure, *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* 12 (6) (2021) 6841–6851, <https://doi.org/10.1007/s12652-022-04218-9>.
- [88] W. Shao, H. Luo, F. Zhao, H. Tian, S. Yan, A. Crivello, Accurate Indoor Positioning Using Temporal-Spatial Constraints Based on Wi-Fi Fine Time Measurements, *IEEE Internet of Things Journal* 7 (11) (2020) 11006–11019, <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.2992069>.
- [89] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, “RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system,” in *Proceedings IEEE INFOCOM Conference on Computer Communications. 18th IEEE Annual Joint Conference of the Computer and Communications Societies*, 2000, vol. 2, pp. 775–784. DOI: [10.1109/INFCOM.2000.832252](https://doi.org/10.1109/INFCOM.2000.832252).
- [90] M. Youssef and A. Agrawala, “The Horus WLAN location determination system,” in *Proceedings of the 3rd International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services - MobiSys '05*, 2005, pp. 205–218. <https://doi.org/10.1145/1067170.106719>.

- [91] T. King, S. Kopf, T. Haenselmann, C. Lubberger, and W. Effelsberg, “COMPASS: A probabilistic indoor positioning system based on 802.11 and digital compasses,” in Proceedings of the 1st International Workshop on Wireless Network Testbeds, Experimental Evaluation & Characterization - WiNTECH '06, 2006, pp. 34–40. <https://doi.org/10.1145/1160987.116099>.
- [92] M. Ridolfi, J. Fontaine, B. van Herbruggen, W. Joseph, J. Hoebeke, E. de Poorter, UWB anchor nodes self-calibration in NLOS conditions: a machine learning and adaptive PHY error correction approach, in: Wireless Networks, 27, May 2021, pp. 3007–3023, <https://doi.org/10.1007/s11276-021-02631-0>.
- [93] W. You, F. Li, L. Liao, M. Huang, Data Fusion of UWB and IMU Based on Unscented Kalman Filter for Indoor Localization of Quadrotor UAV, IEEE Access 8 (2020) 64971–64981, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2985053>.
- [94] H. Lu, T. Wang, F. Ge, Y. Shen, A robust UWB array localization scheme through passive anchor assistance, China Communications 18 (4) (Apr. 2021) 1–13, <https://doi.org/10.23919/JCC.2021.04.001>.
- [95] Q. Tian, K.I.-K. Wang, Z. Salcic, A Low-Cost INS and UWB Fusion Pedestrian Tracking System, IEEE Sensors Journal 19 (10) (May 2019) 3733–3740, <https://doi.org/10.1109/JSEN.2019.2894714>.
- [96] S. Vandermeeren, H. Steendam, PDR/UWB Based Positioning of a Shopping Cart, IEEE Sensors Journal 21 (9) (May 2021) 10864–10878, <https://doi.org/10.1109/JSEN.2021.3060110>.
- [97] “Ubisense.” [Online]. Available: <http://www.ubisense.com> (Accessed Jun 2024)
- [98] A. P. Singh and P. Tomar, “AI and IoT Capabilities: Standards, Procedures, Applications, and Protocols,” in Artificial Intelligence to Solve Pervasive Internet of Things Issues, Academic Press, 2021, pp. 67–83. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818576-6.00004-6>.
- [99] A. Lazaro, M. Lazaro, R. Villarino, Room-Level Localization System Based on LoRa Backscatters, IEEE Access 9 (2021) 16004–16018, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3053144>.
- [100] F.U. Khan, M. Awais, M.B. Rasheed, B. Masood, Y. Ghadi, A Comparison of Wireless Standards in IoT for Indoor Localization Using LoPy, IEEE Access 9 (2021) 65925–65933, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3076371>.
- [101] K. Kim, et al., Feasibility of LoRa for smart home indoor localization, Applied Sciences (Switzerland) 11 (1) (2021) 1–17, <https://doi.org/10.3390/app11010415>.
- [102] F. Martín, C. Herrojo, J. Mata-Contreras, F. Paredes, Time-Domain Signature Barcodes for Chipless-RFID and Sensing Applications, 647, Cham: Springer International Publishing, 2020, <https://doi.org/10.1007/978-3-030-39726-5>.
- [103] “Wherenet.” [Online]. Available: <https://www.zebra.com/us/en/products/location-technologies/wherenet.html> [Accessed: 21-Jul-2024].
- [104] J. Peng, M. Zhu, and K. Zhang, “New algorithms based on sigma point Kalman filter technique for multi-sensor integrated RFID indoor/outdoor positioning,” in Proceedings of the International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, 2011, pp. 21–23. <http://hdl.handle.net/20.500.12708/82770>.
- [105] X. Liu, J. Peng, and T. Liu, “A novel indoor localization system based on passive RFID technology,” in Proceedings of the International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology, 2011, pp. 4285–4288 [doi:10.1109/EMEIT.2011.6023112](https://doi.org/10.1109/EMEIT.2011.6023112).



- [106] B. Tao, H. Wu, Z. Gong, Z. Yin, H. Ding, An RFID-Based Mobile Robot Localization Method Combining Phase Difference and Readability, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering* 18 (3) (Jul. 2020) 1–11, DOI:[10.1109/TASE.2020.3006724](https://doi.org/10.1109/TASE.2020.3006724).
- [107] J. Zhang, et al., Robust RFID Based 6-DoF Localization for Unmanned Aerial Vehicles, *IEEE Access* 7 (2019) 77348–77361, DOI:[10.1109/ACCESS.2019.2922211](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2922211).
- [108] J. Yan, H. Zhao, X. Luo, C. Chen, X. Guan, RSSI-based heading control for robust long-range aerial communication in UAV Networks, *IEEE Internet of Things Journal* 6 (2) (2019) 1675–1689, <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2875428>.
- [109] P. Chaudhary, D. Nagre, C. Chaudhari, A. Nelwade, D. Bavkar, IRJET- VISITOR LOCALISATION USING ULTRAWIDE BAND, *International Research Journal of Engineering and Technology* 06 (2) (2019) 1830.
- [110] Chai M, Li C, Huang H. A New Indoor Positioning Algorithm of Cellular and Wi-Fi Networks. *Journal of Navigation*. 2020;73(3):509-529. doi:10.1017/S0373463319000742.
- [111] A. A. Abdallah, K. Shamaei, and Z. M. Kassas, “Indoor localization with LTE carrier phase measurements and synthetic aperture antenna array,” in Proceedings of the 32nd International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, ION GNSS+ 2019, Oct. 2019, pp. 2670–2679. <https://doi.org/10.33012/2019.17030>.
- [112] K. Han, Y. Liu, Z. Deng, L. Yin, L. Shi, Direct Positioning Method of Mixed Far- Field and Near-Field Based on 5G Massive MIMO System, *IEEE Access* 7 (2019) 72170–72181, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2906330>.
- [113] L. Han, R. Liu, Z. Wang, X. Yue, J.S. Thompson, Millimeter-Wave MIMO-NOMA-Based Positioning System for Internet-of-Things Applications, *IEEE Internet of Things Journal* 7 (11) (2020) 11068–11077, <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.2995916>.
- [114] Y. Zhao, Improved Algorithm of WiFi Fingerprint Location Based on Signal Strength, *American Institute of Science* 7 (1) (2021) 1–4. <http://www.publicscienceframework.org/journal/paperInfo/pj?paperId=5280>
- [115] T. Shin, Lee Donghyun, Shin Jung-Ho, Yu Beomju, Kyung Changsu, Choi Hankyeol, Kim Dongwook, Lee Yeji, A Study on Altitude Estimation using Smartphone Pressure Sensor for Emergency Positioning, *Journal of Positioning, Navigation, and Timing* 9 (3) (2020) 175–182, <https://doi.org/10.11003/JPNT.2020.9.3.175>.
- [116] R. Want, A. Hopper, V. Falcão, and J. Gibbons, “The active badge location system,” *ACM Trans. Inf. Syst.*, vol. 10, no. 1, pp. 91–102, Jan. 1992. DOI:[10.1145/128756.128759](https://doi.org/10.1145/128756.128759).
- [117] M. S. Mir, B. Majlesein, B. G. Guzman, J. Rufo, and D. Giustiniano, “LED-to-LED based VLC systems,” in Proceedings of the Workshop on Internet of Lights, Jun. 2021, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1145/3469264.3469805>.
- [118] H. Song, S. Wen, D. Yuan, L. Huang, Z. Yan, W. Guan, Robust LED region-of-interest tracking for visible light positioning with low complexity, *Optical Engineering* 60 (05) (May 2021), 053102, DOI : [10.1117/1.OE.60.5.053102](https://doi.org/10.1117/1.OE.60.5.053102).
- [119] L. Li, H. Pan, P. Chunyi, S. Guobin, and Z. Feng, “Epsilon: A visible light based positioningsystem,” in Proceedings of the 11th USENIX Conference on Networked Systems Design and Implementaion, 2014, pp. 331–343 [https://www.researchgate.net/publication/308582276\\_Epsilon\\_A\\_visible\\_light\\_based\\_positioning\\_system](https://www.researchgate.net/publication/308582276_Epsilon_A_visible_light_based_positioning_system).
- [120] Q. Huang, Y. Zhang, Z. Ge, and C. Lu, “Refining Wi-Fi based indoor localization with Li-Fi

- assisted model calibration in smart buildings,” (2016)  
[https://www.researchgate.net/publication/301872754\\_Refining\\_Wi-Fi\\_Based\\_Indoor\\_Localization\\_with\\_Li-Fi\\_Assisted\\_Model\\_Calibration\\_in\\_Smart\\_Buildings](https://www.researchgate.net/publication/301872754_Refining_Wi-Fi_Based_Indoor_Localization_with_Li-Fi_Assisted_Model_Calibration_in_Smart_Buildings).
- [121] B. Brumitt, B. Meyers, J. Krumm, A. Kern, and S. Shafer, “EasyLiving: Technologies for intelligent environments,” in *Proceedings of the International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing*, P. Thomas and H. Gellersen, Eds. Springer, Berlin, Heidelberg, 2000, pp. 12–29 <https://doi.org/10.1007/3-540-39959-3>.
- [122] L. Cong, J. Tian, H. Qin, A Practical Floor Localization Algorithm Based on Multifeature Motion Mode Recognition Utilizing FM Radio Signals and Inertial Sensors, *IEEE Sensors Journal* 20 (15) (2020) 8806–8819, DOI:[10.1109/JSEN.2020.2985934](https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.2985934).
- [123] S.A. Maghdid, H.S. Maghdid, S.R. HmaSalah, K.Z. Ghafoor, A.S. Sadiq, S. Khan, Indoor human tracking mechanism using integrated onboard smartphones Wi-Fi device and inertial sensors, *Telecommunication Systems* 71 (3) (Jul. 2019) 447–458, <https://doi.org/10.1007/s11235-018-0517-2>.
- [124] N. Kumar, D. Acharya, D. Lohani, An IoT-Based Vehicle Accident Detection and Classification System Using Sensor Fusion, *IEEE Internet of Things Journal* 8 (2) (2021) 869–880, <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.3008896>.
- [125] P. Spachos, K.N. Plataniotis, BLE Beacons for Indoor Positioning at an Interactive IoT-Based Smart Museum, *IEEE Systems Journal* 14 (3) (2020) 3483–3493, <https://doi.org/10.1109/JSYST.2020.2969088>.
- [126] R. Kanan and H. Arbess, “An IoT-Based Intelligent System for Real-Time Parking Monitoring and Automatic Billing,” in *2020 IEEE International Conference on Informatics, IoT, and Enabling Technologies, ICIoT 2020*, Feb. 2020, pp. 622–626. doi: 10.1109/ICIoT48696.2020.9089589
- [127] Md. S. Rahman, A. Chakraborty, K. Sunderasan, and S. Rangarajan, “DynoLoc: Infrastructure-free RF Tracking in Dynamic Indoor Environments,” pp. 1–15, 2021, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2110.07365>.
- [128] H. Satra, M. Usma, P. Chauhan, A. Almedia, Location Based Smart Resource Management, *International Research Journal of Engineering and Technology* (2021). Accessed Jun. 5, 2024. [Online]. Available, [www.irjet.net](http://www.irjet.net). <https://www.irjet.net/archives/V8/i6/IRJET-V8I6624.pdf>
- [129] M. K. Almutairi and S. Bhattacharjee, “A Survey in Localization Techniques Used in Location-based Access Control,” in *2021 IEEE World AI IoT Congress (AIIoT)*, May 2021, pp. 0427–0432. DOI:[10.1109/AIIoT52608.2021.9454195](https://doi.org/10.1109/AIIoT52608.2021.9454195).
- [130] Y. Hu et al., “Experience: Practical Indoor Localization for Malls; Experience: Practical Indoor Localization for Malls,” p. 12, <https://doi.org/10.1145/3495243.35170>.
- [131] A. Frank’o, G. Vida, P. Varga, Reliable Identification Schemes for Asset and Production Tracking in Industry 4.0, *Sensors* 20 (13) (Jul. 2020) 3709, <https://doi.org/10.3390/s20133709>.
- [132] C. K. M. Lee, C. M. Ip, T. Park, and S. Y. Chung, “A Bluetooth Location-based Indoor Positioning System for Asset Tracking in Warehouse,” in *2019 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, Dec. 2019, pp. 1408–1412. doi: 10.1109/IEEM44572.2019.8978639.
- [133] T. Alam, Cloud-based iot applications and their roles in smart cities, *Smart Cities* 4 (3) (Sep. 01, 2021) 1196–1219, <https://doi.org/10.3390/smartcities4030064>.
- [134] Manjarini Mallik, Ayan Kumar Panja, Chandreyee Chowdhury, Paving the way with machine learning for seamless indoor–outdoor positioning: A survey, *Information Fusion*, Volume 94,

2023, Pages 126-151, ISSN 1566-2535, <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2023.01.023>.

- [135] L. Ran, Y. Zhang, Q. Zhang, T. Yang, Convolutional neural network-based robot navigation using uncalibrated spherical images, *Sensors* 17 (6) (2017) 1341. <https://doi.org/10.3390/s17061341>
- [136] P.S. Varma, V. Anand, Random forest learning based indoor localization as an IoT service for smart buildings, *Wirel. Pers. Commun.* 117 (4) (2021) 3209–3227. DOI:[10.1007/s11277-020-07977-w](https://doi.org/10.1007/s11277-020-07977-w).
- [137] I. Saffar, M. L. A. Morel, K. D. Singh and C. Viho, "Machine Learning with partially labeled Data for Indoor Outdoor Detection," 2019 16th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, USA, 2019, pp. 1-8, doi: 10.1109/CCNC.2019.8651736
- [138] H. Yang, R. Zhang, J. Bordoy, F. Höflinger, W. Li, C. Schindelhauer, L. Reindl, Smartphone-based indoor localization system using inertial sensor and acoustic transmitter/receiver, *IEEE Sens. J.* 16 (22) (2016) 8051–8061. DOI:[10.1109/JSEN.2016.2604424](https://doi.org/10.1109/JSEN.2016.2604424).
- [139] A. Alitalishi, H. Jazayeriy, J. Kazemitabar, Affinity propagation clustering-aided two-label hierarchical extreme learning machine for Wi-Fi fingerprintingbased indoor positioning, *J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.* 13 (6) (2022) 3303–3317. DOI:[10.1007/s12652-022-03777-1](https://doi.org/10.1007/s12652-022-03777-1).
- [140] K. Kaji, N. Kawaguchi, Design and implementation of WiFi indoor localization based on Gaussian mixture model and particle filter, in: 2012 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, IPIN, IEEE, 2012, pp. 1–9. [https://ipin-conference.org/2012/proceedings/submissions/89\\_Paper.pdf](https://ipin-conference.org/2012/proceedings/submissions/89_Paper.pdf).
- [141] M. Alfakih, M. Keche, H. Benoudnine, A. Meche, Improved Gaussian mixture modeling for accurate Wi-Fi based indoor localization systems, *Phys. Commun.* 43 (2020) 101218. <https://doi.org/10.1016/j.phycom.2020.101218>.
- [142] S. Nilwong, D. Hossain, S.-i. Kaneko, G. Capi, Deep learning-based landmark detection for mobile robot outdoor localization, *Machines* 7 (2) (2019) 25. <https://doi.org/10.3390/machines7020025>
- [143] A. Mulahuwaish, W. Towne, K.Z. Ghafoor, H.S. Maghdid, An efficient localization for indoor environment using classification algorithms, in: 2020 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence, CSCI, IEEE, 2020, pp. 182–187. DOI:[10.1109/CSCI51800.2020.00038](https://doi.org/10.1109/CSCI51800.2020.00038).
- [144] G.-B. Huang, Q.-Y. Zhu, C.-K. Siew, Extreme learning machine: theory and applications, *Neurocomputing* 70 (1–3) (2006) 489–501 <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2005.12.126>.
- [145] H. Zou, X. Lu, H. Jiang, L. Xie, A fast and precise indoor localization algorithm based on an online sequential extreme learning machine, *Sensors* 15 (1) (2015) 1804–1824. <https://doi.org/10.3390/s150101804>.
- [146] X. Lu, H. Zou, H. Zhou, L. Xie, G.-B. Huang, Robust extreme learning machine with its application to indoor positioning, *IEEE Trans. Cybern.* 46 (1) (2015) 194–205. doi: 10.1109/TCYB.2015.2399420.
- [147] S.J. Pan, V.W. Zheng, Q. Yang, D.H. Hu, Transfer learning for wifi-based indoor localization, in: Association for the Advancement of Artificial Intelligence (AAAI) Workshop, vol. 6, The Association for the Advancement of Artificial Intelligence Palo Alto, 2008. <https://aaai.org/papers/ws08-13-008-transfer-learning-forwifi-based-indoor-localization/>.
- [148] Y.-S. Chen, C.-S. Hsu, C.-Y. Huang, H.-M. Hung, Outdoor localization for LoRaWans using semi-supervised transfer learning with grid segmentation, in: 2019 IEEE VTS Asia Pacific

- Wireless Communications Symposium, APWCS, IEEE, 2019, pp. 1–5.  
<https://doi.org/10.3390/s21082640>.
- [149] N. Reljin, D. Pokrajac, Classification of performers using support vector machines, in: 2008 9th Symposium on Neural Network Applications in Electrical Engineering, IEEE, 2008, pp. 165–169. DOI:[10.1109/NEUREL.2008.4685601](https://doi.org/10.1109/NEUREL.2008.4685601).
- [150] J. Yang, X. Zhao, Z. Li, Crowdsourcing indoor positioning by light-weight automatic fingerprint updating via ensemble learning, IEEE Access 7 (2019) 26255–26267.  
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:77390089>.
- [151] M.T. Hoang, Y. Zhu, B. Yuen, T. Reese, X. Dong, T. Lu, R. Westendorp, M. Xie, A soft range limited K-nearest neighbors algorithm for indoor localization enhancement, IEEE Sens. J. 18 (24) (2018) 10208–10216. DOI:[10.1109/JSEN.2018.2874453](https://doi.org/10.1109/JSEN.2018.2874453).
- [152] A.H. Salamah, M. Tamazin, M.A. Sharkas, M. Khedr, An enhanced WiFi indoor localization system based on machine learning, in: 2016 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, IPIN, IEEE, 2016, pp. 1–8. doi: 10.1109/IPIN.2016.7743586.
- [153] L. Kanaris, A. Kokkinis, A. Liotta, S. Stavrou, Fusing bluetooth beacon data with Wi-Fi radiomaps for improved indoor localization, Sensors 17 (4) (2017) 812.  
<https://doi.org/10.3390/s17040812>.
- [154] C. Zhang, N. Qin, Y. Xue, L. Yang, Received signal strength-based indoor localization using hierarchical classification, Sensors 20 (4) (2020) 1067. <https://doi.org/10.3390/s20041067>.
- [155] H. Ma, K. Wang, Fusion of RSS and phase shift using the Kalman filter for RFID tracking, IEEE Sens. J. 17 (11) (2017) 3551–3558. doi: 10.1109/JSEN.2017.2696054.
- [156] V. Bui, N.T. Le, T.L. Vu, V.H. Nguyen, Y.M. Jang, GPS-based indoor/outdoor detection scheme using machine learning techniques, Appl. Sci. 10 (2) (2020) 500.  
<https://doi.org/10.3390/app10020500>.
- [157] M. Okamoto, C. Chen, Improving GPS-based indoor-outdoor detection with moving direction information from smartphone, in: Adjunct Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers, 2015, pp. 257–260.  
<https://doi.org/10.1145/2800835.2800939>.
- [158] N. Kroll, J. Michael, S. Sebastian, Context-aware indoor-outdoor detection for seamless smartphone positioning, 2016. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:38965424>.
- [159] S. Iwata, K. Ishikawa, T. Takayama, M. Yanagisawa, N. Togawa, Robust indoor/outdoor detection method based on sparse GPS positioning information, in: 2018 IEEE 8th International Conference on Consumer Electronics-Berlin (ICCE-Berlin), IEEE, 2018, pp. 1–4.  
<https://doi.org/10.1587/transfun.E102.A.860>
- [160] Y. Zhu, H. Luo, Q. Wang, F. Zhao, B. Ning, Q. Ke, C. Zhang, A fast indoor/ outdoor transition detection algorithm based on machine learning, Sensors 19 (4) (2019) 786.  
<https://doi.org/10.3390/s19040786>.
- [161] S. Hu, L. Su, S. Li, S. Wang, C. Pan, S. Gu, M.T. Al Amin, H. Liu, S. Nath, R. Roy Choudhury, T. F. Abdelzaher, Experiences with eNav: A low-power vehicular navigation system, in: Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, 2015, pp. 433–444. <https://doi.org/10.1145/2750858.28042>.
- [162] J. Liu, G. Guo, Vehicle localization during GPS outages with extended Kalman filter and deep learning, IEEE Trans. Instrum. Meas. (2021). doi: 10.1109/TIM.2021.3097401.

- [163] I. Bisio, A. Delfino, F. Lavagetto, Poster: Detecting if a smartphone is indoors or outdoors with ultrasounds, 2015, <http://dx.doi.org/10.1145/2742647.2745907>.
- [164] I. Ashraf, S. Hur, Y. Park, MagIO: Magnetic field strength based indoor-outdoor detection with a commercial smartphone, *Micromachines* 9 (10) (2018) 534. <https://doi.org/10.3390/mi9100534>
- [165] V. Radu, P. Katsikouli, R. Sarkar, M.K. Marina, A semi-supervised learning approach for robust indoor-outdoor detection with smartphones, in: *Proceedings of the 12th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems*, 2014, pp. 280–294. <http://doi.acm.org/10.1145/2668332.2668347>.
- [166] Shtar, G., Shapira, B. & Rokach, L. Clustering Wi-Fi fingerprints for indoor–outdoor detection. *Wireless Netw* 25, 1341–1359 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11276-018-1753-9>.
- [167] A. Esmaeili Kelishomi, A. Garmabaki, M. Bahaghighat, J. Dong, Mobile user indoor-outdoor detection through physical daily activities, *Sensors* 19 (3) (2019) 511. <https://doi.org/10.3390/s19030511>.
- [168] W. Wang, Q. Chang, Q. Li, Z. Shi, W. Chen, Indoor-outdoor detection using a smart phone sensor *Sensors* 16 (10) (2016) 1563. <https://doi.org/10.3390/s16101563>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Πίνακας 2. Συγκεντρωτικός Πίνακας Μετρούμενων Μεγεθών Τεχνικών Εντοπισμού.

Τύπος Μέτρησης	Ακρίβεια	Ευαισθησία σε Φαινόμενα Πολλαπλών Διαδρομών	Απαιτείται Πρόσθετο Υλικό	Προβλήματα Εξασθένησης	Κόστος	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Χρόνος Αφίξης (Time of Arrival)	Υψηλή	Ναι	Ναι	Χαμηλός	Μεσαίο	<p>Δεν απαιτείται βάση δεδομένων δακτυλικών αποτυπωμάτων</p> <p>Έχει υψηλό επίπεδο ακρίβειας όσον αφορά τον εντοπισμό.</p>	<p>Απαιτείται ο ακριβής χρονικός συγχρονισμός όλων των συσκευών, συμπεριλαμβανομένων των σημείων πρόσβασης (Access Points – AP) και των συσκευών/στόχων.</p> <p>Σε περιβάλλον χαμηλού εύρους ζώνης, είναι δύσκολο να εφαρμοστεί.</p> <p>Αναμένεται οπτική επαφή.</p> <p>Πρέπει να καθοριστεί η θέση του σημείου πρόσβασης.</p>
Χρόνος Διαφοράς Αφίξης (Time Difference of Arrival – TDOA)	Υψηλή	Ναι	Ναι	Χαμηλός	Μεσαίο	<p>Δεν απαιτείται βάση δεδομένων δακτυλικών αποτυπωμάτων.</p> <p>Δεν χρειάζεται συγχρονισμός χρόνου μεταξύ των συσκευών σημείων πρόσβασης (AP) και των συσκευών προορισμού. Ο συγχρονισμός χρόνου που μόλις απαιτείται μεταξύ των συσκευών AP.</p> <p>Παρέχει εντοπισμό υψηλής ακρίβειας</p>	<p>Απαιτούνται προηγούμενες πληροφορίες για την άρση της ασάφειας θέσης</p> <p>Σε περιβάλλον χαμηλού εύρους ζώνης, είναι δύσκολο να εφαρμοστεί.</p> <p>Απαιτείται ακριβής συγχρονισμός χρόνου μεταξύ των συσκευών AP.</p> <p>Αναμένεται οπτική επαφή</p>
Χρόνος Πτήσης Μετ'Επιστροφής (Round Trip Time of Flight - RTOF)	Υψηλή	Ναι	Ναι	Χαμηλός	Μεσαίο	<p>Ξεπερνά το πρόβλημα συγχρονισμού που απαιτείται στην τεχνική TOA και ως εκ τούτου μειώνεται η πολυπλοκότητα του συστήματος</p>	<p>Υποφέρει από προβληματικούς λανθασμένους χρόνους για εφαρμογές Υπηρεσιών βάσει τοποθεσίας, όπου οι κινητές συσκευές προορισμού κινούνται γρήγορα.</p> <p>Δημιουργεί σημαντικό φόρτο κίνησης δικτύου.</p> <p>Πρόβλημα καθυστέρησης σήματος</p> <p>Σφάλματα μέτρησης λόγω μη παραλαβής επηρεασμένος από το φαινόμενο μη οπτικής επαφής (No Line of Sight NLOS)</p>
Γωνία Αφίξης (Angle of Arrival - AOA)	Μεσαία	Ναι	Ναι	Μεσαίο	Υψηλός	<p>Απαιτεί τουλάχιστον δύο δέκτες</p> <p>Δεν χρειάζεται καθόλου συγχρονισμός χρόνου, οι πληροφορίες χρονισμού των πομπών κωδικοποιούνται στο σήμα.</p>	<p>Απαιτούνται πρόσθετες κεραίες με δυνατότητα μέτρησης γωνιών, γεγονός που αυξάνει το κόστος υλοποίησής του</p> <p>Επηρεάζεται από ανακλαστικές επιφάνειες, συμπεριλαμβανομένων</p>

«Συστήματα και Τεχνικές Εντοπισμού με Εφαρμογές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων»,  
Α. Κ. Κατσαβριάς, Διπλωματική Εργασία

Τύπος Μέτρησης	Ακρίβεια	Ευαισθησία σε Φαινόμενα Πολλαπλών Διαδρομών	Απαιτείται Πρόσθετο Υλικό	Προβλήματα Εξασθένησης	Κόστος	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
							τοίχων και άλλων ανακλαστικών αντικειμένων, πολλαπλών διαδρομών και μετάδοσης σήματος NLOS.
Ισχύς Λαμβανόμενου Σήματος (Received Signal Strength - RSS)	Μεσαία	Ναι	Όχι	Υψηλός	Χαμηλός	<p>Δεν απαιτείται ειδικό υλικό κινητού σταθμού σε σύγκριση με άλλες μετρήσεις, συμπεριλαμβανομένων των AOA και TDOA.</p> <p>Δεν απαιτείται συγχρονισμός χρόνου και μετρήσεις γωνίας.</p> <p>Απλό να εφαρμοστεί.</p>	<p>Για τεχνικές ανάλυσης σκιής, απαιτείται βάση δεδομένων δακτυλικών αποτυπωμάτων. Η δημιουργία ενός ραδιοχάρτου (βάση δεδομένων δακτυλικών αποτυπωμάτων) απαιτεί σημαντική προσπάθεια και χρόνο. Η βάση δεδομένων χρειάζεται να ενημερωθεί εάν υπάρχουν οποιεσδήποτε αλλαγές</p> <p>Ευαίσθητο σε θόρυβο και NLOS</p>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Πίνακας 3. Συγκεντρωτικός Πίνακας Συστημάτων Εντοπισμού.

Σύστημα	Ακρίβεια	Χρησιμοποιούμενη Τεχνική (Μετρήσεις)	Κάλυψη	Ελεκτασιμότητα (Scalability)	Περίπλοκο (Complexity)	Κόστος	Αποκριτικότητα	Τύπος Περιβάλλοντος	Παρατηρήσεις
GNSS	3 έως 5 μ	TOA, TDOA	Σφαίρα	Χαμηλή	Υψηλό	Υψηλό	~ 1 λεπτό για το πρώτο και μετά σχεδόν σε πραγματικό χρόνο	Καλό σε εξωτερικούς χώρους Κακό σε εσωτερικούς χώρους	Ο χρόνος επεξεργασίας και ο υπολογισμός είναι αργοί.
Οπτικός	0,1 έως 2 μ	TOA, AOA, TDOA, RSSI, Cell-Id	Επίπεδο δωματίου (λίγα μέτρα)	Χαμηλή	Χαμηλό	Μεσαίο	Σχεδόν σε πραγματικό χρόνο	Εσωτερικό	Μικρή εμβέλεια ανίχνευσης.  Απαλλαγμένο από φαινόμενα πολλαπλών διαδρομών  Δεν μπορεί να περάσει μέσα από τοίχους και άλλα εμπόδια, απαιτεί LoS  Η συντήρηση συστημάτων υπέρυθρων είναι ακριβή  Περιορισμός σε συγκεκριμένα περιβάλλοντα.  Ευκολία εγκατάστασης στο χώρο εργασίας
Wi-Fi	1 έως 5 μ	RSSI, RTT, TOA, TDOA, AOA, AP-Id	Επίπεδο ορόφου (περίπου 35 m)	Υψηλή	Χαμηλό	Χαμηλό	Λίγα δευτερόλεπτα	Εξωτερικό / Εσωτερικό	Υποδομές παντού διαθέσιμες.  Η αρχική εγκατάσταση είναι δαπανηρή.



«Συστήματα και Τεχνικές Εντοπισμού με Εφαρμογές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων»,  
Α. Κ. Κατσαβριάς, Διπλωματική Εργασία

Σύστημα	Ακρίβεια	Χρησιμοποιούμενη Τεχνική (Μετρήσεις)	Κάλυψη	Επεκτασιμότητα (Scalability)	Περίπλοκο (Complexity)	Κόστος	Αποκριτικότητα	Τύπος Περιβάλλοντος	Παρατηρήσεις
									<p>Ελαφρώς ευαίσθητο σε φαινόμενα πολλαπλών διαδρομών.</p> <p>Τα σήματα Wi-Fi μπορούν να διεισδύσουν στους τοίχους</p> <p>Δεν χρειάζεται επιπλέον υποδομή</p> <p>Πρόβλημα παρεμβολής ραδιοσυχνοτήτων</p> <p>Η λήψη δακτυλικών αποτυπωμάτων απαιτεί επιπλέον προσπάθεια</p>
UWB	0,01 έως 1μ	TOA, TDOA, RSSI, AOA	Λίγα μέτρα	Χαμηλή	Χαμηλό	Υψηλό	Σχεδόν σε πραγματικό χρόνο	Εσωτερικό	<p>Περιβαλλοντικά ευαίσθητο.</p> <p>Η απόδοση υποβαθμίζεται σε διάδοση NLOS</p> <p>Ανοσία σε παρεμβολές</p> <p>Χωρίς πολλαπλή εισβολή.</p> <p>Μικρότερη εμβέλεια, η κάλυψη είναι περιορισμένη</p> <p>Απαιτείται πρόσθετο υλικό</p>

«Συστήματα και Τεχνικές Εντοπισμού με Εφαρμογές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων»,  
Α. Κ. Κατσαβριάς, Διπλωματική Εργασία

Σύστημα	Ακρίβεια	Χρησιμοποιούμενη Τεχνική (Μετρήσεις)	Κάλυψη	Επεκτασιμότητα (Scalability)	Περίπλοκο (Complexity)	Κόστος	Αποκριτικότητα	Τύπος Περιβάλλοντος	Παρατηρήσεις
									σε διαφορετικές συσκευές.
RFID	0,5 έως 5 μ	AP-ID, RSSI	Επίπεδο δωματίου	Μεσαία	Χαμηλό	Χαμηλό	Κοντά σε πραγματικό χρόνο	Εσωτερικό	Απόκριση υψηλού χρόνου.  Χειροκίνητος προγραμματισμός.  Ανοσία σε φαινόμενα πολλαπλών διαδρομών  Ξεπερνά την απόφραξη
Bluetooth	1 έως 3 μ	AP-ID, RSSI, TOA	Γύρω στα 10μ	Υψηλή	Χαμηλό	Χαμηλό-Μεσαίο	Λίγα δευτερόλεπτα	Εσωτερικό και Εξωτερικό	Η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων είναι υψηλή.  Περιορισμός κινητικότητας.  Δεν χρειάζεται επιπλέον υποδομή  Ζητήματα παρεμβολών ραδιοσυχνότητας και διακυμάνσεων σήματος  Περιορισμένη κάλυψη
Αδρανειακή	> 5μ	DR	Οροφος	Υψηλή	Χαμηλό	Χαμηλό	Λίγα δευτερόλεπτα	Εσωτερικό - Εξωτερικό	Σωρευτικά σφάλματα  Λειτουργεί ανεξάρτητα

«Συστήματα και Τεχνικές Εντοπισμού με Εφαρμογές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων»,  
Α. Κ. Κατσαβριάς, Διπλωματική Εργασία

Σύστημα	Ακρίβεια	Χρησιμοποιούμενη Τεχνική (Μετρήσεις)	Κάλυψη	Επεκτασιμότητα (Scalability)	Περίπλοκο (Complexity)	Κόστος	Αποκριτικότητα	Τύπος Περιβάλλοντος	Παρατηρήσεις
ZigBee	3 έως 5 μ	AP ID, RSSI	Οροφος	Χαμηλή	Χαμηλό	Μεσαίο	Λίγα δευτερόλεπτα	Εσωτερικό	Χαμηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων.  Μεγάλη διάρκεια ζωής μπαταρίας  Υψηλή ασφάλεια  Ευάλωτο σε παρεμβολές.
LoRa	2 έως 15 μ	TDOA, RSSI	έως 20 χλμ	Μεσαία	Χαμηλός	Μεσαίο	Λίγα δευτερόλεπτα	Εσωτερικό - Εξωτερικό	Σημαντική εξασθένηση του σήματος από εξωτερικούς χώρους σε εσωτερικούς χώρους λόγω των τοίχων του κτιρίου.  Σχεδιασμένο για τα δίκτυα IoT και αισθητήρων.  Μεγάλη διάρκεια ζωής μπαταρίας  Χαμηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων (λίγα kilobyte).  Μεγάλη εμβέλεια, απαιτείται λιγότερος αριθμός συσκευών  Μειωμένες παρεμβολές.  Χαμηλή ακρίβεια

«Συστήματα και Τεχνικές Εντοπισμού με Εφαρμογές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων»,  
Α. Κ. Κατσαβριάς, Διπλωματική Εργασία

Σύστημα	Ακρίβεια	Χρησιμοποιούμενη Τεχνική (Μετρήσεις)	Κάλυψη	Επεκτασιμότητα (Scalability)	Περίπλοκο (Complexity)	Κόστος	Αποκριτικότητα	Τύπος Περιβάλλοντος	Παρατηρήσεις
FM	2 έως 4 μ	RSSI	100 χλμ	Χαμηλή	Χαμηλός	Χαμηλό	Λίγα δευτερόλεπτα	Εσωτερικό - Εξωτερικό	<p>Λιγότερο ευαίσθητο αντικείμενο.</p> <p>Σε μικρή απόσταση, εμφανίζεται μια μεγάλη αλλαγή σήματος.</p> <p>Το σήμα είναι ισχυρό. λόγω αυτού μπορεί να καλύπτει μεγάλες εκτάσεις.</p> <p>Δεν χρειάζεται πρόσθετη υποδομή φάρων</p>
Κυτταρικός	2,5 έως 25μ	RSSI, TOA	80 χλμ	Μεσαία	Υψηλός	Υψηλό	Κοντά σε πραγματικό χρόνο	Εσωτερικό - Εξωτερικό	<p>Δίκτυα διαθέσιμα σε όλες τις τοποθεσίες.</p> <p>Δεν απαιτείτε επιπλέον εξοπλισμός</p> <p>Χαμηλή ακρίβεια.</p>
Ήχος	0,1 έως 2 μ	TOA, TDOA, TOF	Επίπεδο δωμάτιο	Χαμηλή	Χαμηλός	Ακουστικός (Χαμηλό) Υπερήχους (Υψηλό)	Σχεδόν σε πραγματικό χρόνο	Εσωτερικό	<p>Θέμα παρεμβολών</p> <p><u>Υπερηχητικός</u></p> <p>Χαμηλότερη απορρόφηση</p> <p>Υψηλή εξάρτηση από την τοποθέτηση του αισθητήρα</p> <p><u>Ακουστικός</u> Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ιδιόκτητες</p>

«Συστήματα και Τεχνικές Εντοπισμού με Εφαρμογές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων»,  
 Α. Κ. Κατσαβριάς, Διπλωματική Εργασία

Σύστημα	Ακρίβεια	Χρησιμοποιούμενη Τεχνική (Μετρήσεις)	Κάλυψη	Επεκτασιμότητα (Scalability)	Περίπλοκο (Complexity)	Κόστος	Αποκριτικότητα	Τύπος Περιβάλλοντος	Παρατηρήσεις
									εφαρμογές με υψηλή ακρίβεια  Επηρεασμένο από την ηχορύπανση του περιβάλλοντος χώρου, που απαιτεί πρόσθετα σημεία αγκύρωσης

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Πίνακας 4. Συγκεντρωτικός Πίνακας Τεχνικών Μηχανικής Μάθησης.

ΜΕΘΟΔΟΣ	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑ
K – Κοντινότερος Γείτονας (K-Nearest Neighbor)	Στον εντοπισμό/τοπικό εντοπισμό ΙΟ χρησιμοποιούνται αριθμητικά σύνολα δεδομένων στις περισσότερες περιπτώσεις, τα οποία είναι μικρότερα σε μέγεθος. Ως εκ τούτου, η μάθηση (lazy learning) δεν θα αντισταθεί στην απόδοση	Μπορεί να μην είναι εφικτή η συλλογή επαρκούς ποσότητας δεδομένων από κάθε τοποθεσία της συνολικής περιοχής ΙΟ.
Υποστηρικτικό Διάνυσμα Μηχανής (Support Vector Machine)	Στην περίπτωση ανίχνευσης ΙΟ, το SVM είναι κατάλληλο καθώς αποδίδει πολύ καλά για δυαδική ταξινόμηση.	Για λεπτόκοκκο εντοπισμό, καθώς ο αριθμός των κλάσεων αυξάνεται, ο συντονισμός παραμέτρων μπορεί να είναι δύσκολο να επιτευχθεί
Τυχαίο Δάσος (Random Foresy)	Σε κάθε θέση, η τιμή του αισθητήρα ενδέχεται να μην λαμβάνεται. Το Random Forest είναι σε θέση να χειριστεί τιμές που λείπουν	Για λεπτόκοκκο εντοπισμό, καθώς αυξάνεται ο αριθμός των δέντρων απόφασης, ο συντονισμός της συνολικής απόδοσης μπορεί να γίνει περίπλοκος.
Τεχνικό Νευρωνικό Δίκτυο (Artificial Neural Network)	Το ANN είναι γρήγορο και αποτελεσματικό για την εκτίμηση τοποθεσίας, καθώς για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται κυρίως αριθμητικά δεδομένα.	Σε κάθε σημείο τοποθεσίας μπορεί να μην συλλέγεται επαρκής ποσότητα δεδομένων, σε αυτήν την περίπτωση η απόδοση μπορεί να υποβαθμιστεί καθώς το ANN απαιτεί επαρκή ποσότητα δεδομένων για να αποκτήσει γνώση οποιασδήποτε περίπλοκης σχέσης που υπάρχει στα δεδομένα.
K-μέσο (K-means)	Δεδομένου ότι είναι απλός και γρήγορος, αυτός ο αλγόριθμος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των ζωνών εντός της περιοχής ΙΟ και αργότερα μπορεί να χρησιμοποιήσει άλλους αλγόριθμους για εντοπισμό λεπτών κόκκων εντός της καθορισμένης ζώνης	Ενδέχεται να μην συλλέγεται ο ίδιος όγκος δεδομένων από κάθε σημείο τοποθεσίας, με αποτέλεσμα τα συμπλέγματα να έχουν διαφορετικές πυκνότητες και μεγέθη, και σε αυτήν την περίπτωση ενδέχεται να μην ληφθούν εμφανή όρια συμπλέγματος.
DBSCAN	Δεν απαιτεί εκ των προτέρων καθορισμό του αριθμού των συστάδων, επομένως οι πειραματικές ζώνες μπορούν να αναγνωριστούν στο επίπεδο που παρέχει την καλύτερη ακρίβεια	Εάν οι αποστάσεις μεταξύ των σημείων τοποθεσίας ποικίλλουν έντονα, καθίσταται δύσκολο να προσδιοριστεί η τιμή του έψιλον.
Συγγενής Διάδοση (Affinity Propagation)	Η μη επισημασμένη πειραματική περιοχή μπορεί να χωριστεί σε σημεία τοποθεσίας με βάση τις ομοιότητες μεταξύ των διανυσμάτων δεδομένων.	Είναι κυρίως χρήσιμο για εντοπισμό χονδρόκοκκων, καθώς είναι δύσκολη η πρόβλεψη των προτιμήσεων των παραμέτρων για την απόδοση της βέλτιστης ομαδοποίησης με λεπτόκοκκο.

«Συστήματα και Τεχνικές Εντοπισμού με Εφαρμογές στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων»,  
Α. Κ. Κατσαβριάς, Διπλωματική Εργασία

Επαναλαμβανόμενο Νευρωνικό Δίκτυο (RNN)	Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εντοπισμό τροχιάς χρησιμοποιώντας το επίπεδο μνήμης, αντί να εντοπίζει τη θέση μία κάθε φορά.	Κατά τον εντοπισμό διακριτών σημείων τοποθεσίας, το RNN αυξάνει την πολυπλοκότητα του συστήματος.
Συνελκτικό Νευρωνικό Δίκτυο (CNN)	Το CNN χρησιμοποιείται για εντοπισμό βάσει εικόνας. Ειδικά όπου υπάρχουν διαθέσιμα διάφορα ορόσημα, γίνεται ευκολότερο να προσδιοριστεί η ζώνη που εφαρμόζει το CNN.	Η συνολική περιοχή ΙΟ αναμένεται να διατηρηθεί τόσο λίγο πολύ όσο το μοντέλο εκπαιδεύεται στις εικόνες εισόδου της πειραματικής περιοχής.
Εκμάθηση Μεταφοράς (Transfer Learning)	Βελτιώνει την απόδοση για συνεχή παρακολούθηση χρήστη/αντικειμένου καθώς η προηγούμενη γνώση μεταφέρεται και χρησιμοποιείται για την επίλυση επερχόμενου προβλήματος	Αυξάνει την πολυπλοκότητα και το κόστος για απλά προβλήματα εντοπισμού, για παράδειγμα, εντοπισμό βάσει δωματίου.