



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

“Αναγνώριση θέσης αντικειμένων με χρήση BLE Beacons”

Φοιτητής
Παναγιώτης Πύργας, 15672

Επιβλέπων
Αντωνόπουλος Χρήστος, Επίκουρος Καθηγητής

ΠΑΤΡΑ 2023

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

Πάτρα, 10/07/2023

Επιτροπή Αξιολόγησης

1. Χρήστος Αντωνόπουλος
2. Νικόλαος Βώρος
3. Νικόλαος Πετρέλλης

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τη συγκεκριμένη εργασία.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Παναγιώτη Πύργα που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	6
1.1 Εισαγωγή στο localization.....	6
1.2 Δυσκολίες του localization.....	8
1.3 Εφαρμογές του localization.....	10
2. Localization στο Internet of Things (IOT).....	12
2.1 Προσεγγίσεις του Localization.....	15
2.2 Τεχνικές του Localization.....	18
2.3 Τεχνολογίες του Localization.....	23
2.3.1 Device-based.....	23
2.3.2 Device-free.....	26
3. Wireless Sensor Network (WSN).....	28
3.1 Εισαγωγή στα Wireless Sensor Network.....	28
3.2 Τύποι WSN.....	29
3.3 Προκλήσεις των WSN στο IoT.....	31
3.4 Εφαρμογές του WSN.....	33
4. Bluetooth Low Energy (BLE).....	37
4.1 Ιστορία του Bluetooth.....	37
4.2 Ιστορία του Bluetooth Low Energy.....	38
4.3 Πως λειτουργεί το BLE.....	39
4.4 Εφαρμογές του BLE.....	44
5. Embedded Systems, Microcontrollers και System-on-Chip (SoC).....	44
5.1 Εισαγωγή στα ενσωματωμένα συστήματα.....	45
5.2 Χαρακτηριστικά ενός ενσωματωμένου συστήματος.....	45
5.3 Βασική δομή ενός ενσωματωμένου συστήματος.....	46
5.4 Είδη ενσωματωμένων συστημάτων.....	47
5.5 Microcontroller.....	47
5.6 System-on-Chip.....	49
6. Παρουσίαση βασικών περιφερειακών.....	50
6.1 CC2650 SensorTag.....	50
6.2 ESP32 Thing.....	52
7. Σχεδίαση και ανάπτυξη συστήματος εντοπισμού σχετικής θέσης.....	53

7.1 CC2650 SensorTag.....	53
7.2 ESP32 Thing.....	54
8. Αξιολόγηση συστήματος.....	55
9. Συμπεράσματα και μελλοντικές επεκτάσεις.....	59
10. Βιβλιογραφία.....	60

Περίληψη

Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η σχεδίαση, ανάπτυξη, υλοποίηση και αξιολόγηση ενός συστήματος εντοπισμού σχετικής θέσης χρησιμοποιώντας τις RSSI τιμές που εκπέμπονται μέσω του Bluetooth Low Energy. Οι σύγχρονες πλατφόρμες ανοιχτού κώδικα που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της πτυχιακής είναι ο CC2650 SensorTag της Texas Instruments με την ανάπτυξη του κώδικα να γίνεται μέσω του Code Composer Studio σε γλώσσα C και ο ESP32 Thing της SparkFun όπου για αυτόν χρησιμοποιήθηκε το Arduino IDE σε C++. Με αυτά μπορούμε να υλοποιήσουμε ένα σύστημα εντοπισμού θέσης χρησιμοποιώντας τα SensorTag ως σταθερά beacons σε διάφορα σημεία στο χώρο και το ESP ως μια κινητή μονάδα που θέλουμε να γνωρίζουμε την θέση της, με τα δεδομένα του(σε ποιο beacon βρίσκεται πιο κοντά) να στέλνονται μέσω MQTT στο cloud. Αυτό θα μπορούσε να έχει πολλές εφαρμογές, όπως για παράδειγμα, σε ένα έξυπνο σπίτι για την παρακολούθηση (από συγγενείς ή ιατρικό προσωπικό) ενός ηλικιωμένου ανθρώπου.

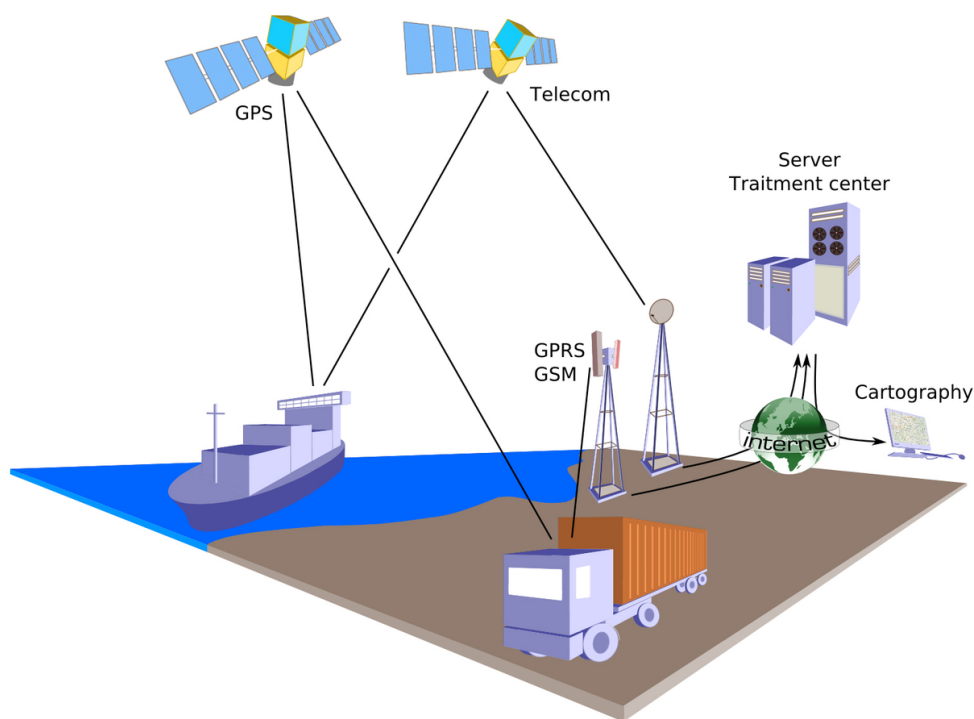
Abstract

The goal of the following thesis is the design, development, implementation and evaluation of a relative localization system using the RSSI values that are gathered through Bluetooth Low Energy broadcasts. The development boards used for this thesis are the CC2650 SensorTag of Texas Instruments, along with the IDE, Code Composer Studio and the ESP32 Thing of SparkFun along with Arduino IDE. The programming languages used are C and C++. With these two components we can build a relative localization system using multiple SensorTags as static beacons and the ESP as a mobile unit whose position we want to know, with its data(which beacon is the closest), being sent to the cloud using MQTT. This could have many applications, for example, in a smart home to monitor (by relatives and doctors) elderly people.

1. Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή στο localization

Η πληροφορία της θέσης ενός αντικειμένου αποτελεί βασικό στοιχείο του Internet of Things σε εσωτερικούς αλλά και εξωτερικούς χώρους. Για εξωτερικούς χώρους η τοποθεσία αποκτάται μέσω GPS ή κάποιο άλλο Global Navigation Satellite System. Αλλά για να προσδιοριστεί η θέση ενός ανθρώπου ή αντικειμένου σε έναν κλειστο χώρο το GPS δεν μπορεί να δουλέψει λόγω της μη υπαρκτής καθαρής γραμμής προς τον δορυφόρο λόγω του κλειστού περιβάλλοντος, λόγω παρεμβολών από θορύβους και άλλα. Εδώ έρχονται τα συστήματα εντοπισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους για να λύσουν αυτό το πρόβλημα.



Εικόνα 1: Εντοπισμός θέσης μέσω GPS

Το Internet of Things σε συνδυασμό με την μαζικό πολλαπλασιασμό των έξυπνων συσκευών όπως τα κινητά και άλλες ασύρματες συσκευές τα τελευταία χρόνια, έχουν βοηθήσει στην ανάπτυξη διαφόρων υπηρεσιών συμπεριλαμβανομένου του εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο. Ο εντοπισμός της εσωτερικής συσκευής έχει διερευνηθεί εκτενώς τις τελευταίες δεκαετίες, κυρίως σε βιομηχανίες και για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και ρομποτική.



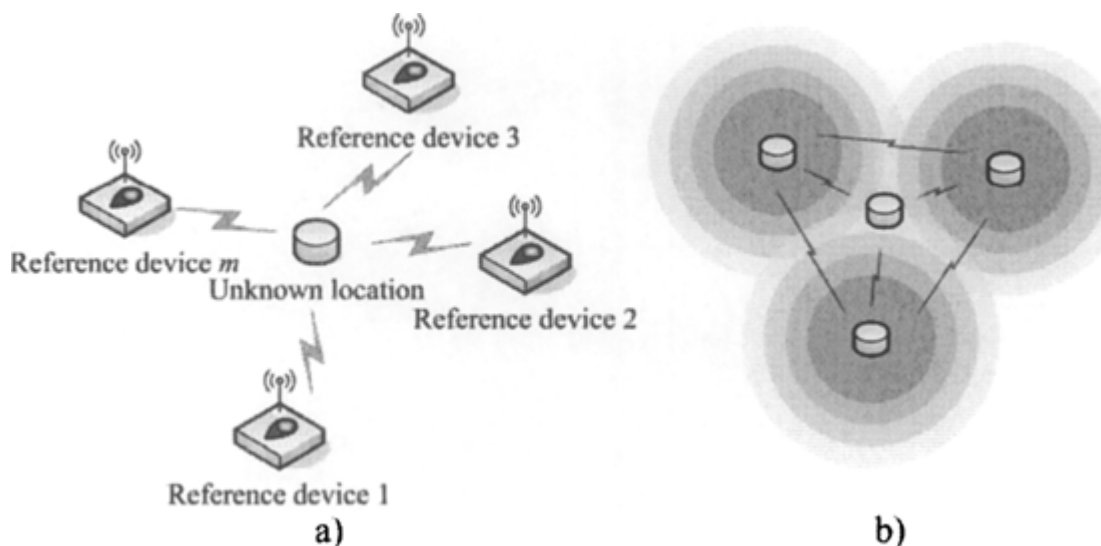
Εικόνα 2: Εντοπισμός θέσης μέσω RSSI

Υπάρχουν δύο ειδών εντοπισμού θέσης. Ο απόλυτος και ο σχετικός.

Ο απόλυτος εντοπισμός είναι μια μέθοδος προσδιορισμού της ακριβούς θέσης ενός αντικειμένου στο χώρο, ανεξάρτητα από οποιαδήποτε σημεία αναφοράς ή αντικείμενα. Επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός συνδυασμού αισθητήρων, αλγορίθμων και μαθηματικών μοντέλων για τον υπολογισμό της θέσης και του προσανατολισμού του αντικειμένου σε σχέση με ένα απόλυτο πλαίσιο αναφοράς, όπως η επιφάνεια της Γης ή το κέντρο του σύμπαντος. Μια προσέγγιση στον απόλυτο εντοπισμό είναι το visual localization, το οποίο χρησιμοποιεί κάμερες ή άλλους

αισθητήρες για να ανιχνεύσει και να αναγνωρίσει χαρακτηριστικά στο περιβάλλον, όπως ορόσημα, κτίρια ή άλλα αντικείμενα. Συγκρίνοντας τα χαρακτηριστικά που ανιχνεύονται στα δεδομένα του αισθητήρα με έναν προκατασκευασμένο χάρτη ή μοντέλο του περιβάλλοντος, η θέση και ο προσανατολισμός του αντικειμένου μπορούν να υπολογιστούν με υψηλή ακρίβεια. Ο οπτικός εντοπισμός χρησιμοποιείται συνήθως σε εφαρμογές ρομποτικής, επαυξημένης πραγματικότητας και εικονικής πραγματικότητας.

Ο σχετικός εντοπισμός είναι μια μέθοδος προσδιορισμού της θέσης και του προσανατολισμού ενός αντικειμένου σε σχέση με άλλα αντικείμενα ή σημεία αναφοράς κοντά του. Επιτυγχάνεται μετρώντας την κίνηση του αντικειμένου ή τις αλλαγές στο περιβάλλον του με την πάροδο του χρόνου και χρησιμοποιώντας αυτές τις πληροφορίες για τον υπολογισμό της σχετικής θέσης και του προσανατολισμού του. Μια προσέγγιση του σχετικού εντοπισμού είναι τα radio frequencies, τα οποία χρησιμοποιούν σήματα από beacons ή άλλες πηγές για να προσδιορίσουν την θέση του αντικειμένου σε σχέση με τους beacons ή τις πηγές. Τα radio frequencies χρησιμοποιούνται συχνά σε εσωτερικά περιβάλλοντα όπου τα σήματα GPS είναι αδύναμα ή μη διαθέσιμα και μπορούν να παρέχουν υψηλή ακρίβεια όταν βαθμονομούνται σωστά.



Εικόνα 3: α) απόλυτος εντοπισμός θέσης β) σχετικός εντοπισμός θέσης

1.2 Δυσκολίες του localization

Παρά τις εξελίξεις στην τεχνολογία εντοπισμού Θέσης, εξακολουθούν να υπάρχουν πολλές προκλήσεις και δυσκολίες που σχετίζονται με τον ακριβή και αξιόπιστο προσδιορισμό της θέσης των αντικειμένων.

Μία από τις κύριες δυσκολίες εντοπισμού είναι το ζήτημα των περιβαλλοντικών παραγόντων. Το περιβάλλον μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ακρίβεια της τεχνολογίας εντοπισμού, ιδιαίτερα σε εξωτερικά περιβάλλοντα όπου οι καιρικές συνθήκες όπως η βροχή, η ομίχλη και ο άνεμος μπορεί να επηρεάσουν τα σήματα από δορυφόρους ή άλλα συστήματα εντοπισμού. Ομοίως, τα εσωτερικά περιβάλλοντα μπορούν να δημιουργήσουν προκλήσεις λόγω εμποδίων όπως τοίχοι, έπιπλα και άλλα αντικείμενα που μπορεί να παρεμβαίνουν στα σήματα και να προκαλέσουν ανακρίβειες.

Μια άλλη σημαντική πρόκληση είναι το ζήτημα της παρεμβολής πολλαπλών διαδρομών. Αυτό συμβαίνει όταν τα σήματα από ένα σύστημα εντοπισμού αναπηδούν από πολλές επιφάνειες πριν φτάσουν στον δέκτη, προκαλώντας ανακρίβειες στα δεδομένα τοποθεσίας. Αυτό το πρόβλημα είναι ιδιαίτερα κοινό σε εσωτερικά περιβάλλοντα όπου τα σήματα μπορούν να αναπηδήσουν από τοίχους, δάπεδα και άλλες επιφάνειες, με αποτέλεσμα ένα φαινόμενο γνωστό ως «multipath effect».

Η τεχνολογία εντοπισμού Θέσης αντιμετωπίζει επίσης προκλήσεις που σχετίζονται με την ισχύ και τη διαθεσιμότητα του σήματος. Σε ορισμένα περιβάλλοντα, όπως βαθιά μέσα σε κτίρια ή υπόγεια, μπορεί να υπάρχει περιορισμένη ή καθόλου πρόσβαση σε δορυφορικά σήματα ή άλλες πηγές δεδομένων τοποθεσίας, καθιστώντας τον ακριβή εντοπισμό δύσκολη ή αδύνατη.

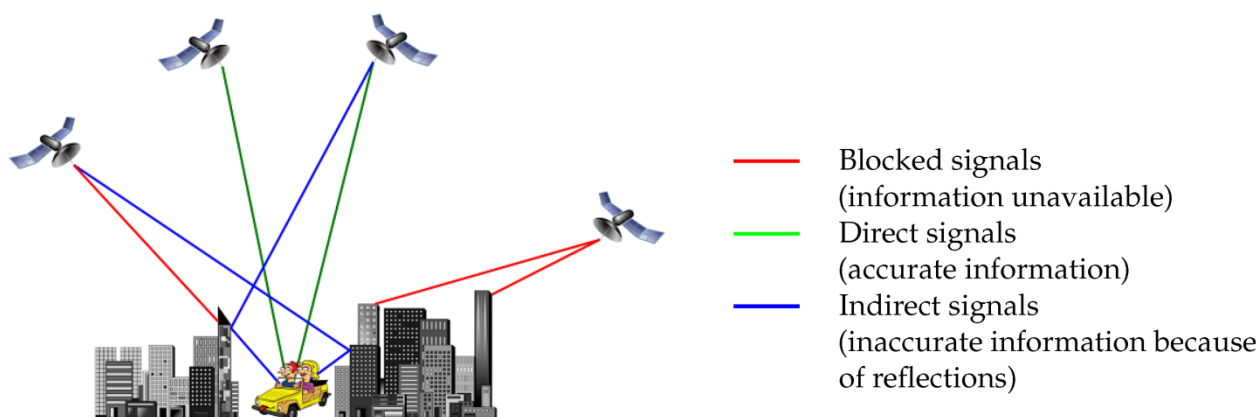
Μια ακόμη δυσκολία είναι η ανάγκη για ενημερώσεις σε πραγματικό χρόνο και συνεχή παρακολούθηση. Σε πολλές εφαρμογές, όπως τα συστήματα πλοήγησης, είναι σημαντικό να ενημερώνεται συνεχώς η θέση των αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο. Αυτό απαιτεί αξιόπιστη και ακριβή τεχνολογία παρακολούθησης που μπορεί να λειτουργεί με συνέπεια για μεγάλες

χρονικές περιόδους, χωρίς να επηρεάζεται από παράγοντες όπως η διάρκεια ζωής της μπαταρίας ή η ισχύς του σήματος.

Επιπλέον, η τεχνολογία εντοπισμού πρέπει συχνά να αντιμετωπίζει το ζήτημα της ακρίβειας έναντι του κόστους. Τα συστήματα εντοπισμού υψηλότερης ακρίβειας απαιτούν συνήθως πιο προηγμένη τεχνολογία και υλικό, με αποτέλεσμα υψηλότερο κόστος. Αυτό μπορεί να είναι μια σημαντική πρόκληση για πολλούς κλάδους, ιδιαίτερα αυτούς με περιορισμένους προϋπολογισμούς ή περιορισμένους πόρους.

Οι ανησυχίες για το απόρρητο μπορεί επίσης να δημιουργήσουν δυσκολίες για την τεχνολογία εντοπισμού. Σε ορισμένες εφαρμογές, όπως η παρακολούθηση ατόμων ή οχημάτων, ενδέχεται να υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με τη συλλογή και τη χρήση δεδομένων τοποθεσίας. Αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη τεχνολογιών που βελτιώνουν το απόρρητο, όπως το διαφορικό απόρρητο, το οποίο μπορεί να προστατεύσει την ταυτότητα των ατόμων, ενώ εξακολουθεί να παρέχει ακριβή δεδομένα τοποθεσίας.

Τέλος, η τεχνολογία εντοπισμού πρέπει επίσης να είναι σε θέση να προσαρμόζεται σε διαφορετικούς τύπους αντικειμένων και περιβαλλόντων. Διαφορετικά αντικείμενα, όπως οχήματα, άνθρωποι και ζώα, ενδέχεται να απαιτούν διαφορετικούς τύπους τεχνολογίας εντοπισμού και η τεχνολογία πρέπει να μπορεί να προσαρμόζεται σε διαφορετικά περιβάλλοντα και σενάρια προκειμένου να παρέχει ακριβή δεδομένα.



Εικόνα 4: Παράδειγμα δυσκολίας εύρεσης ακριβής θέσης λόγω περιβαλλοντικών παραγόντων και πολλαπλών διαδρομών

1.3 Εφαρμογές του localization

Ο εντοπισμός θέσης, έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών σε διάφορους τομείς. Με την πρόοδο της τεχνολογίας, η χρήση του εντοπισμός θέσης έχει γίνει όλο και πιο σημαντική και χρησιμοποιείται πλέον σε πολλές βιομηχανίες. Ακολουθούν μερικές από τις εφαρμογές:

Πλοήγηση: Ο εντοπισμός θέσης είναι απαραίτητος για την πλοήγηση, τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους. Η τεχνολογία GPS, η οποία χρησιμοποιεί εντοπισμό για τον προσδιορισμό της θέσης ενός αντικειμένου ή ενός ατόμου, χρησιμοποιείται ευρέως στην πλοήγηση. Έχει φέρει επανάσταση στον τρόπο που ταξιδεύουμε και έχει διευκολύνει την πλοήγηση σε άγνωστες περιοχές.

Ρομποτική: Ο εντοπισμός θέσης είναι κρίσιμος για τη ρομποτική. Τα ρομπότ πρέπει να γνωρίζουν τη θέση και τον προσανατολισμό τους για να εκτελούν εργασίες αυτόνομα. Ο εντοπισμός θέσης χρησιμοποιείται για να βοηθήσει τα ρομπότ να πλοηγούνται σε άγνωστα περιβάλλοντα, να αναγνωρίζουν αντικείμενα και να αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον τους.

Υγειονομική περίθαλψη: Ο εντοπισμός θέσης είναι σημαντικός στην υγειονομική περίθαλψη για διάφορους σκοπούς. Χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση ιατρικού εξοπλισμού, ασθενών και προσωπικού σε νοσοκομείο ή ιατρική εγκατάσταση. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την εξ αποστάσεως παρακολούθηση ασθενών, όπως στην τηλεϊατρική, όπου ένας γιατρός μπορεί να παρακολουθεί τα ζωτικά σημεία ενός ασθενούς από μια απομακρυσμένη τοποθεσία.

Λιανικό εμπόριο: Οι επιχειρήσεις λιανικής χρησιμοποιούν εντοπισμός θέσης για να βελτιώσουν την εμπειρία των πελατών. Οι έμποροι λιανικής χρησιμοποιούν εντοπισμός θέσης για να παρακολουθούν τις κινήσεις των πελατών στο κατάστημα για να εντοπίσουν δημοφιλείς περιοχές, να βελτιστοποιήσουν τη διάταξη του καταστήματος και για να βελτιώσουν την

τοποθέτηση προϊόντων. Ο εντοπισμός θέσης χρησιμοποιείται επίσης για την αποστολή εξατομικευμένων ειδοποιήσεων και προσφορών σε πελάτες με βάση την τοποθεσία τους.

Ασφάλεια: Ο εντοπισμός θέσης χρησιμοποιείται σε συστήματα ασφαλείας για την παρακολούθηση της θέσης αντικειμένων και ανθρώπων. Για παράδειγμα, ο εντοπισμός θέσης χρησιμοποιείται σε συστήματα ελέγχου πρόσβασης, όπου επαληθεύεται η ταυτότητα ενός ατόμου και παρακολουθείται η τοποθεσία του για να διασφαλιστεί ότι έχει εξουσιοδότηση πρόσβασης σε μια συγκεκριμένη περιοχή.

Παιχνίδι: Ο εντοπισμός θέσης είναι μια ουσιαστική πτυχή του παιχνιδιού, ειδικά σε παιχνίδια εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας. Βοηθά στη δημιουργία μιας πιο καθηλωτικής εμπειρίας παιχνιδιού, επιτρέποντας στο παιχνίδι να αντιδρά στις κινήσεις και τη θέση του παίκτη.

Γεωργία: Ο εντοπισμός θέσης χρησιμοποιείται στη γεωργία, η οποία περιλαμβάνει τη χρήση τεχνολογίας για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης των καλλιεργειών και τη μείωση των απορριμμάτων. Οι αγρότες μπορούν να χρησιμοποιήσουν τον εντοπισμό θέσης για να παρακολουθούν την ανάπτυξη των φυτών και τις συνθήκες του εδάφους και να εφαρμόζουν λιπάσματα και φυτοφάρμακα μόνο όπου χρειάζονται.

Μεταφορά: Ο εντοπισμός θέσης χρησιμοποιείται στις μεταφορές για την παρακολούθηση της θέσης των οχημάτων, την παρακολούθηση της κυκλοφορίας και τη βελτιστοποίηση των διαδρομών. Χρησιμοποιείται επίσης σε αυτόνομα οχήματα, τα οποία βασίζονται στην τεχνολογία εντοπισμού για την πλοήγηση και την αποφυγή εμποδίων.

Logistics: Ο εντοπισμός θέσης χρησιμοποιείται στα logistics για την παρακολούθηση της κίνησης αγαθών και υλικών σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού. Βοηθά στη βελτιστοποίηση της διανομής των αγαθών, στη μείωση των απορριμμάτων και στη βελτίωση των χρόνων παράδοσης.

Αθλητισμός: Ο εντοπισμός θέσης χρησιμοποιείται στα αθλήματα για διάφορους σκοπούς. Για παράδειγμα, στο ποδόσφαιρο, η τεχνολογία εντοπισμού θέσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση των κινήσεων των παικτών και την ανάλυση της απόδοσης. Στο τένις, ο

εντοπισμός θέσης χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί εάν μια μπάλα είναι εντός ή εκτός ορίων.

Βιομηχανία: Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τη μέτρηση της ποιότητας του αέρα σε εσωτερικούς χώρους, την παρακολούθηση των επιπέδων τοξικών αερίων και οξυγόνου εντός των χημικών εργοστασίων για τη διασφάλιση της ασφάλειας των εργαζομένων, της ιδιοκτησίας και τον εντοπισμό πόρων χρησιμοποιώντας παθητικά και ενεργά tags. Η συνδεδεμένη βιομηχανία μέσω της ανάπτυξης αισθητήρων και συνδεδεμένων βιομηχανικών αντικειμένων, επιτρέπει καλύτερη γνώση των βιομηχανικών συστημάτων και εκπαιδεύει υψηλή παραγωγικότητα μέσω αποτελεσματικής προληπτικής συντήρησης, μεγαλύτερης απόκρισης και μείωσης κόστους.

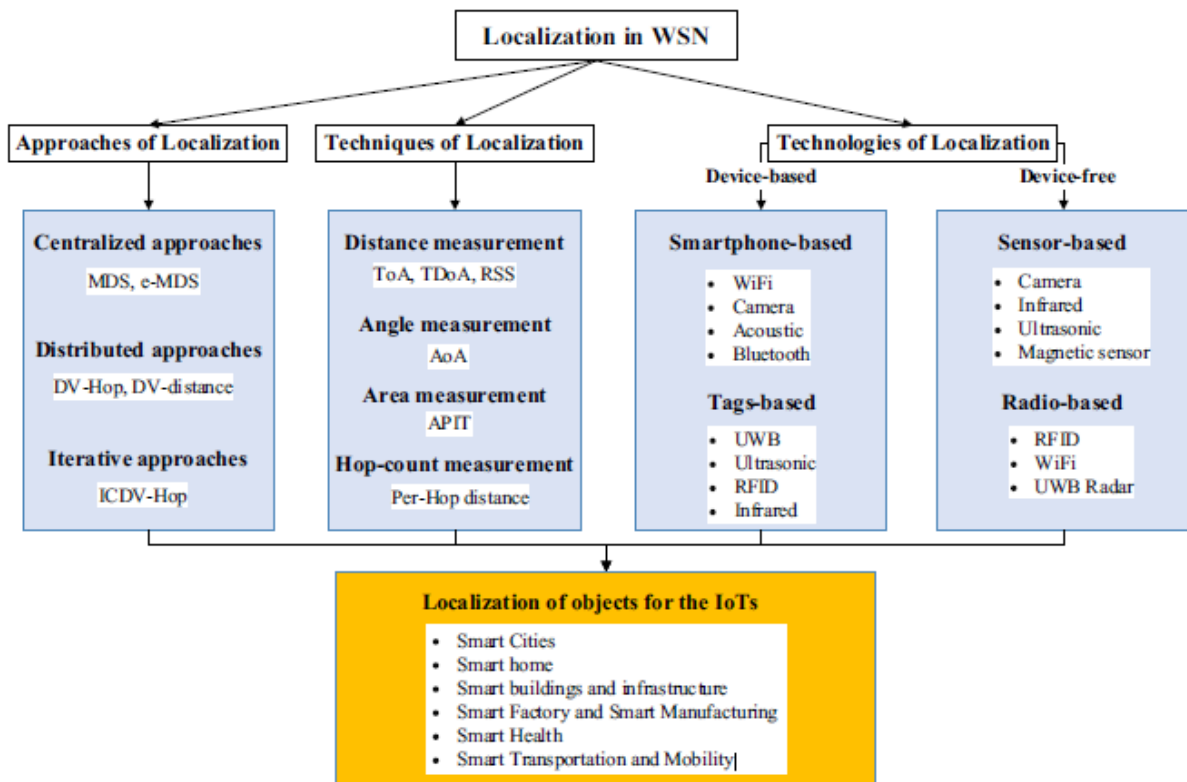
Έξυπνη πόλη: Ο εντοπισμός θέσης παίζει καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη έξυπνων πόλεων. Καθορίζοντας με ακρίβεια τη θέση των ανθρώπων, των οχημάτων και των περιουσιακών στοιχείων, οι πόλεις μπορούν να βελτιστοποιήσουν την κατανομή των πόρων, να βελτιώσουν τις μεταφορές και να ενισχύσουν τη δημόσια ασφάλεια. Οι τεχνολογίες εντοπισμού όπως το GPS, το Wi-Fi και το Bluetooth μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της κίνησης ανθρώπων και οχημάτων, ενώ οι αισθητήρες μπορούν να ανιχνεύσουν αλλαγές στο περιβάλλον, όπως η ποιότητα του αέρα και τα επίπεδα θορύβου. Οι έξυπνες πόλεις μπορούν επίσης να χρησιμοποιούν δεδομένα εντοπισμού για την παρακολούθηση και τη διαχείριση της υποδομής, συμπεριλαμβανομένων των φωτεινών σηματοδοτών και των συστημάτων διαχείρισης απορριμμάτων, για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και τη μείωση του κόστους.

Έξυπνα κτίρια: Ο εντοπισμός θέσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και της άνεσης των έξυπνων κτιρίων. Με την ακριβή παρακολούθηση της θέσης των ενοίκων, τα συστήματα των κτιρίων, όπως ο φωτισμός και ο έλεγχος θερμοκρασίας μπορούν να προσαρμοστούν ώστε να καλύπτουν τις ανάγκες τους. Επιπλέον, τα δεδομένα εντοπισμού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας και τη μείωση του κόστους, καθώς και για τη βελτίωση της ασφάλειας.

Localization systems	Technologies of localization	Techniques of localization	Approaches of localization
Localization for smart cities	UWB [82]	Distance measurement: ToA	Distributed approach
	Infrared [84]	Distance measurement: RSSI	Centralised approach
	Wi-Fi [85, 88]	Distance measurement: RSSI	Iterative approach
Localization for smart home, smart buildings and infrastructure	Bluetooth [89, 91]	Distance measurement: RSSI	Centralized approach
	Wi-Fi [90]	Distance measurement: RSSI	Distributed approach
Localization for smart factory and smart manufacturing	Wi-Fi [93]	Angle measurement: AoA	Centralized approach
	RF and UWB [94]	Distance measurement: TDoA	Iterative approach
	Bluetooth [96]	Distance measurement: RSSI	Centralized approach
Localization for smart health	Zig-bee [97] acoustic [98]	Distance measurement: RSSI	Centralized approach
	RFID [99]	Distance measurement: ToA	Iterative approach
Localization in smart transportation and mobility	Camera [102] RFID, Bluetooth [103]	Distance measurement: RSSI	Centralized approach

Εικόνα 5: Ταξινόμηση των κύριων συστημάτων εντοπισμού θέσης στο Internet of Things

2. Localization στο Internet of Things



Εικόνα 6: Ταξινόμηση ασύρματων συστημάτων εντοπισμού θέσης

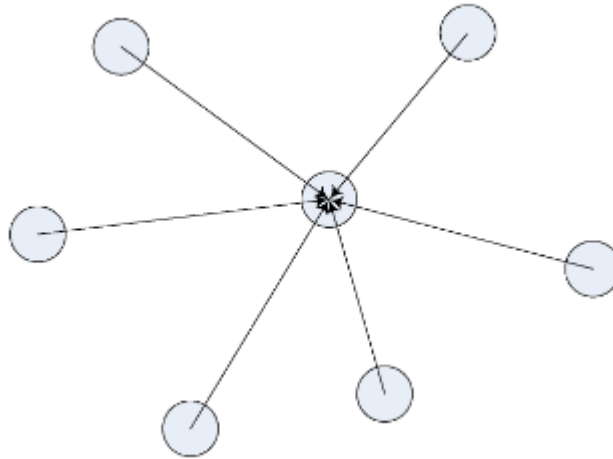
2.1 Προσεγγίσεις του Localization

Centralized localization:

Στο centralized localization οι αλγόριθμοι σχεδιάζονται με την προοπτική ότι μια κεντρική μονάδα θα κάνει όλες τις πράξεις. Οι κόμβοι τριγύρω μαζεύουν τις πληροφορίες από το περιβάλλον και τις μεταδίδουν στην κεντρική μονάδα. Οι centralized αλγόριθμοι παρακάμπτουν το πρόβλημα περιορισμένων πόρων των κόμβων αποδέχοντας πολύ υψηλό επικοινωνιακό κόστος για την αποστολή των δεδομένων στην κεντρική μονάδα. Αυτοί οι αλγόριθμοι μπορούν να γίνουν κοστοβόροι όσο αυξάνεται το μέγεθος του δικτύου. Αυτό μπορεί να λυθεί με την υλοποίηση πολλών κεντρικών μονάδων. Το centralized localization επιτρέπει τον αλγόριθμο να είναι πιο περίπλοκος καθώς οι υπολογισμοί γίνονται αποκλειστικά από την κεντρική μονάδα και όχι στους κόμβους.

Οι MDS (Multidimensional Scaling) αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται για να υπολογίσουν την μικρότερη διαδρομή μεταξύ όλων των ζευγών κόμβων. Εάν καθοριστούν οι αποστάσεις που ακολουθούν μια διαδρομή και συνδέουν δύο κόμβους, η απόσταση μεταξύ των δύο κόμβων κατά μήκος της συντομότερης διαδρομής μπορεί να υπολογιστεί. Αυτές οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για τη δημιουργία ενός πίνακα απόστασης για MDS, όπου η είσοδος (i, j) αντιπροσωπεύει την απόσταση κατά μήκος της συντομότερης διαδρομής μεταξύ των κόμβων i και j . Εάν είναι διαθέσιμες μόνο οι πληροφορίες συνδεσιμότητας, η είσοδος (i, j) αντιπροσωπεύει τότε τον μικρότερο αριθμό μεταπηδήσεων μεταξύ των κόμβων i και j . Στη συνέχεια, το MDS εφαρμόζεται στον πίνακα απόστασης και προκύπτει μια κατά προσέγγιση τιμή των σχετικών συντεταγμένων κάθε κόμβου. Τέλος, οι σχετικές συντεταγμένες μετατρέπονται στις απόλυτες συντεταγμένες ευθυγραμμίζοντας τις εκτιμώμενες σχετικές συντεταγμένες των anchor κόμβων με τις απόλυτες συντεταγμένες τους. Η ληφθείσα εκτίμηση εντοπισμού με χρήση των προηγούμενων βημάτων μπορεί να βελτιωθεί με βάση την ελαχιστοποίηση των ελαχίστων τετραγώνων. Η βασική μορφή του MDS είναι μια τεχνική centralized localization και μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε ένα κανονικό δίκτυο όπου η απόσταση μεταξύ δύο κόμβων κατά μήκος της συντομότερης διαδρομής είναι κοντά στην Ευκλείδεια απόστασή τους. Ωστόσο, προτείνονται διαφορετικές παραλλαγές του αλγορίθμου MDS προκειμένου να επιτραπεί η εφαρμογή του MDS σε κατανεμημένα περιβάλλοντα και ακανόνιστα δίκτυα.

Μια άλλη έκδοση του MDS, με όνομα Enhanced Multidimensional Scaling (eMDS) επιτρέπει την εύρεση των σχετικών συντεταγμένων ολόκληρων ομάδων από τη γνώση των αποστάσεων μεταξύ κόμβων. Ωστόσο, η έκδοση του MDS υποφέρει από γεωμετρικές ασάφειες, όπως περιστροφή, μετάφραση και αναστροφή. Ο αλγόριθμος βασίζεται στην ταχύτητα του κόμβου για να συσχετίσει τους σχετικούς χάρτες σε δύο διαδοχικές στιγμές.



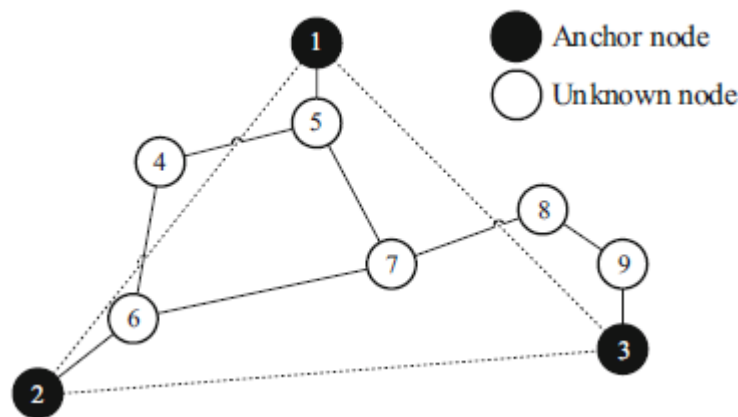
Εικόνα 7: Παράδειγμα centralized δικτύου

Distributed localization:

Στο distributed localization, όλοι οι κόμβοι επικοινωνούν με τους γείτονές τους για να εκτιμήσουν τις αποστάσεις και να ανταλλάξουν τις γειτονικές πληροφορίες προκειμένου να εξάγουν τη θέση τους. Στο τέλος της διαδικασίας εντοπισμού, ωστόσο, κάθε κόμβος πρέπει να καθορίσει τη θέση του καθώς και των γειτόνων του χωρίς τη βοήθεια κάποιας κεντρικής μονάδας. Οι καταναμημένοι αλγόριθμοι γενικά προεκτείνουν τις θέσεις των κόμβων από αυτές των anchors. Έτσι, εντοπίζουν τους κόμβους απευθείας στο παγκόσμιο σύστημα συντεταγμένων αυτών των anchors. Καθώς οι θέσεις καθορίζονται από τους ίδιους τους κόμβους, οι καταναμημένοι αλγόριθμοι δεν είναι σύνθετοι ως αποτέλεσμα. Για δίκτυα μεγάλης κλίμακας, θεωρείται ότι είναι απαραίτητη μια καταναμημένη μέθοδος, επειδή οι centralized μέθοδοι θα απαιτούσαν υπερβολική επικοινωνία για τη δρομολόγηση πληροφοριών στην κεντρική μονάδα και επομένως θα κατανάλωσαν υπερβολική ενέργεια.

Το DV-hop είναι ένα παράδειγμα που χρησιμοποιεί μέτρα συνδεσιμότητας για να εκτιμήσει τις θέσεις των non-anchor κόμβων. Ο αλγόριθμος ξεκινά με τη διάχυση όλων των anchor κόμβων μέσω των τοποθεσιών τους στους άλλους κόμβους του δικτύου. Εφόσον τα μηνύματα διαδίδονται hop-hop, υπάρχει ένας μετρητής hop στο μήνυμα. Κάθε κόμβος διατηρεί έναν πίνακα πληροφοριών στον anchor κόμβο και υπολογίζει τον μικρότερο αριθμό αλμάτων που τον χωρίζουν από έναν anchor κόμβο. Εάν ένας anchor κόμβος λάβει ένα μήνυμα από έναν άλλο anchor κόμβο, υπολογίζει τη μέση απόσταση ενός άλματος χρησιμοποιώντας τις θέσεις των δύο anchors και του μετρητή αναπήδησης που επιστρέφει στο δίκτυο ως παράγοντα διόρθωσης. Στην περίπτωση της λήψης του συντελεστή διόρθωσης, ένας non-anchor κόμβος μπορεί να εκτιμήσει την απόστασή του με τους anchor κόμβους και εκτελέσει trilateration για να εξετάσει τη θέση του, ειδικά όταν είναι διαθέσιμες οι αποστάσεις του με τουλάχιστον τρεις anchor κόμβους.

Ο αλγόριθμος DV-distance δεν είναι μόνο παρόμοιος με τον αλγόριθμο DV-hop αλλά περιλαμβάνει επίσης τις μετρούμενες αποστάσεις στη διαδικασία εντοπισμού. Η βασική ιδέα του αλγορίθμου DV-distance είναι η διάδοση της μετρούμενης απόστασης μεταξύ γειτονικών κόμβων αντί για αριθμούς αναπήδησης.



Εικόνα 8: Παράδειγμα DV-hop

Iterative localization:

Στην iterative προσέγγιση, το δίκτυο χωρίζεται σε μια μεγάλη τοπολογία δικτύου αποτελούμενη από πολλών μικρών στοιχείων δικτύου. Ένα στοιχείο μπορεί να είναι είτε ένας μεμονωμένος κόμβος είτε μια ομάδα κόμβων. Κάθε στοιχείο έχει το δικό του πλαίσιο συντεταγμένων. Σε αυτή

την προσέγγιση, η σύντηξη είναι απαραίτητη για την κοινή χρήση ενός πλαισίου συντεταγμένων και τη δημιουργία ενός πιο σημαντικού στοιχείου. Αυτή η λειτουργία συγχώνευσης μπορεί να εφαρμοστεί αναδρομικά. Όλα τα στοιχεία του δικτύου μπορούν να εντοπιστούν όταν μοιράζονται ένα ενιαίο πλαίσιο συντεταγμένων. Το πλεονέκτημα της iterative προσέγγισης είναι ότι μπορεί να βοηθήσει στην αποφυγή του τοπικού ελάχιστου με μια τεχνική μείωσης διαστάσεων. Από την άλλη πλευρά, οι iterative μηχανισμοί χρησιμοποιούνται από έναν καταναμημένο αλγόριθμο για τη βελτίωση της αρχικής εκτίμησης θέσης, η οποία λαμβάνεται με την προσθήκη περισσότερων μετρήσεων εύρους ή πληροφοριών χωρικών σχέσεων.

Το ICDV-Hop είναι ένα παράδειγμα καταναμημένου αλγορίθμου που χρησιμοποιεί τον iterative μηχανισμό. Ο αλγόριθμος ICDV-Hop επιλέγει τους βέλτιστους κόμβους beacon για υψηλή ακρίβεια εντοπισμού και χρησιμοποιεί το κατώφλι αναπήδησης για να περιορίσει τις αποστάσεις μεταξύ των κόμβων. Στη συνέχεια, χρησιμοποιεί το βαθμό συγγραμμικότητας για να περιορίσει τις σχέσεις τοπολογίας μεταξύ των κόμβων. Όταν το σφάλμα εντοπισμού του εντοπισμένου κόμβου είναι κάτω από το όριο σφάλματος, ορίζεται ως νέο beacon για να βοηθήσει τους υπόλοιπους άγνωστους κόμβους να περιορίσουν, ειδικότερα για να επεκτείνει την κάλυψη θέσης με μια επαναληπτική συνεργασία.

Localization algorithms		Accuracy	Node density	Computation cost	Communication cost	Error propagation
Centralized	MDS	High	Low	High	High	Low
Distributed	Beacon based	Low	High	Low	Low	High
Iterative	ICDV-Hop	Low	High	Low	High	High

Εικόνα 8: Απόδοση των localization αλγορίθμων

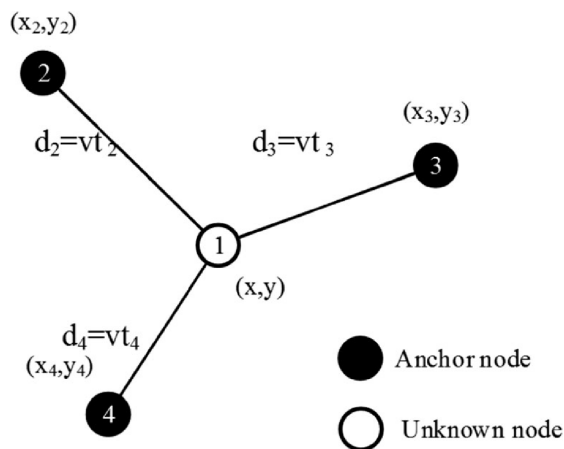
2.2 Τεχνικές του localization

Το localization των Wireless Sensor Networks στο Internet of Things βασίζεται σε διαφορετικές τεχνικές. Αυτές οι τεχνικές μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις κύριες κατηγορίες: μέτρηση απόστασης, μέτρηση γωνίας, μέτρηση επιφάνειας, μέτρηση αλμάτων.

Μέτρηση απόστασης:

Οι αλγόριθμοι εντοπισμού μπορούν να ταξινομηθούν ως μετρήσεις που σχετίζονται με την απόσταση, που περιλαμβάνουν μετρήσεις με βάση το χρόνο διάδοσης, δηλαδή μετρήσεις χρόνου ταξιδιού μονής διαδρομής, μετρήσεις χρόνου μετ' επιστροφής και μετρήσεις Time Difference of Arrival (TDoA). Μετρήσεις με βάση το RSSI (Received Signal Strength Indicator) και μετρήσεις συνδεσιμότητας.

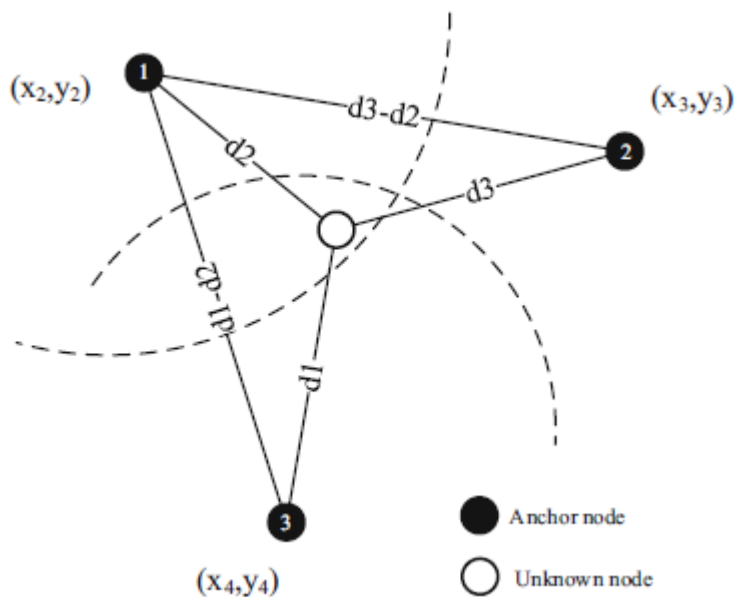
Time of Arrival (ToA): Το Time of Arrival εκμεταλλεύεται το χρόνο διάδοσης του σήματος για να υπολογίσει την απόσταση μεταξύ ενός άγνωστου κόμβου και ενός anchor κόμβου. Η τιμή ToA πολλαπλασιασμένη με την ταχύτητα του φωτός παρέχει τη φυσική απόσταση μεταξύ anchor και του άγνωστου κόμβου. Το ToA πρέπει να μετράται με τουλάχιστον τρία tags προκειμένου να υπολογιστεί η θέση του κινητού κόμβου μέσω triangulation. Ο πομπός διαχέει ένα μήνυμα με χρονική σφραγίδα και τα tags μετρούν την ώρα άφιξης με την ημερομηνία λήψης του μηνύματος. Στην εικόνα 9, το ToA από τρεις διαφορετικούς anchor κόμβους χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των αποστάσεων μεταξύ των anchor κόμβων (2, 3 και 4) και του άγνωστου κόμβου (1). Το triangulation μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του εντοπισμού του άγνωστου κόμβου σε σχέση με τους anchor κόμβους. Το ToA, επομένως, χρειάζεται έναν τέλειο συγχρονισμό του κινητού κόμβου και των ετικετών. Αυτό είναι ένα μειονέκτημα της τεχνικής γιατί θα επηρεάσει την πολυπλοκότητα του συστήματος γεωεντοπισμού.



Εικόνα 9: ToA

Time difference of arrival (TDoA): Αντί να χρησιμοποιείται απόλυτος χρόνος όπως η προηγούμενη μέθοδος, το TDOA βασίζεται στις διαφορές στους χρόνους άφιξης μεταξύ των

anchor κόμβων. Στην εικόνα 10, οι μόνοι άγνωστοι είναι οι συντεταγμένες (x, y) του αντικειμένου προς εντοπισμό. Η λύση αποτελείται από την τομή των υπερβολών των οποίων οι εστίες είναι οι anchor κόμβοι που χρησιμοποιούνται. Δεδομένου ότι οι διαφορετικές αποστάσεις υπολογίζονται με βάση τους χρόνους διάδοσης, αυτή η τεχνική επηρεάζεται επίσης από την καθυστέρηση που μπορεί να εμφανιστεί από το εκπεμπόμενο σήμα.



Εικόνα 10: TDoA

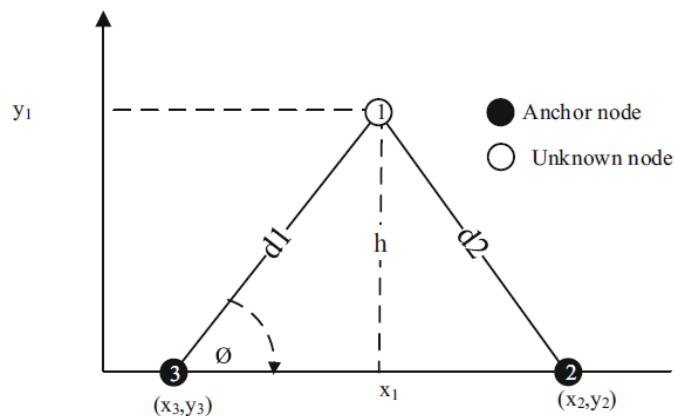
Received Signal Strength (RSS): Η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος μειώνεται γραμμικά ανάλογα με την απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Η ισχύς του ληφθέντος σήματος απαιτεί τουλάχιστον 3 tags για την εκτίμηση της θέσης του κινητού όπως και οι τεχνικές ToA και TDoA, αν και δεν απαιτείται συγχρονισμός των tags. Ωστόσο, αυτή η τεχνική απαιτεί το tx power του πομπού και τα που είναι το κύριο πλεονέκτημά της. Το Received Signal Strength είναι επίσης πολύ ευαίσθητο στις παρεμβολές και μπορεί να έχει σημαντικές αποκλίσεις από τη μια μέτρηση στην άλλη.

Μέτρηση γωνίας:

Στην τριγωνομετρία και τη γεωμετρία, ο τριγωνισμός είναι στην πραγματικότητα η διαδικασία εύρεσης συντεταγμένων και απόστασης σε ένα σημείο με τον υπολογισμό του μήκους μιας πλευράς ενός τριγώνου, λαμβάνοντας υπόψη τις μετρήσεις των γωνιών και των πλευρών του

τριγώνου του σημείου αυτού και δύο άλλων γνωστών σημείων αναφοράς. Ο τριγωνισμός περιλαμβάνει τη γωνιακή πληροφορία που μετράται μεταξύ του αντικειμένου και κάθε σημείου αναφοράς, με τουλάχιστον μία γνωστή απόσταση. Επιπλέον, χρησιμοποιείται για την εύρεση των συντεταγμένων και μερικές φορές της απόστασης.

Angle of Arrival (AoA): Αυτή η τεχνική βασίζεται στη μέθοδο τριγωνοποίησης και απαιτεί τη χρήση δύο anchor κόμβων. Η απόσταση μεταξύ των δύο anchor κόμβων είναι γνωστή (Εικόνα 11). Κάθε anchor υπολογίζει τη γωνία άφιξης του λαμβανόμενου σήματος. Τέλος, η εκτίμηση της θέσης γίνεται από την τομή των αποστάσεων αυτών προς την κατεύθυνση των δύο υπολογιζόμενων γωνιών. Στην πράξη και για μεγαλύτερη ακρίβεια, χρησιμοποιούνται περισσότερα από δύο anchor σημεία. Επιπλέον, αυτή η τεχνική απαιτεί τη χρήση μιας διάταξης κεραιών ή κατευθυντικής κεραίας στο επίπεδο των anchor κόμβων για την εκτίμηση της γωνίας άφιξης του σήματος.



Εικόνα 11: AoA

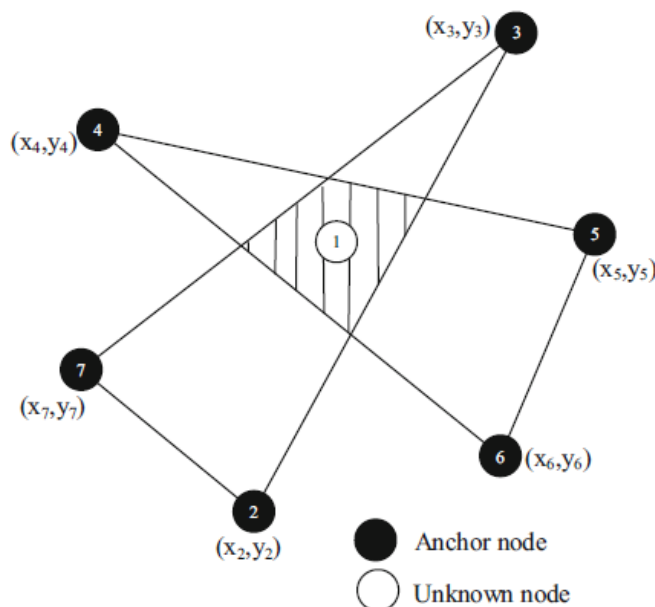
Μέτρηση επιφάνειας:

Η θεμελιώδης ιδέα της εκτίμησης ζώνης είναι να υπολογιστούν οι τομές μεταξύ όλων των επικαλυπτόμενων περιοχών κάλυψης και να επιλεγεί το κέντρο ως εκτίμηση εντοπισμού.

Εκτίμηση περιοχής μιας αναφοράς: Η εκτίμηση μιας περιοχής αναφοράς σημαίνει ότι οι ζώνες λαμβάνονται κατά ζεύγη. Αυτό σημαίνει ότι οι πληροφορίες μιας γεωμετρικής περιοχής αντλούνται από μία μόνο αναφορά σε κάθε βήμα.

Εκτίμηση περιοχής πολλαπλών αναφορών: Μια σχετική προσέγγιση στον εντοπισμό με χρήση εκτίμησης περιοχής είναι η τεχνική APIT. Η μοναδικότητά του συνίσταται στον τρόπο

προσδιορισμού των περιοχών ως τριγώνων μεταξύ διαφορετικών συνόλων κόμβων τριών αναφοράς και όχι κάλυψης ενός κόμβου. Η μέθοδος APIT βοηθά έναν κόμβο να προσδιορίσει το περιβάλλον του είτε είναι εντός είτε εκτός συγκεκριμένου τριγώνου.



Εικόνα 12: APIT

Μέτρηση αλμάτων:

Ένα παράδειγμα, που βασίζεται στον υπολογισμό των hops και χρησιμοποιεί την πολυδιάστατη κλιμακούμενη ανάλυση για να εκτιμήσει τις συντεταγμένες των άγνωστων κόμβων. Η multi-power μετάδοση χρησιμοποιείται στη συνέχεια για να διορθώσει τις συντεταγμένες των κόμβων που μπορεί να έχουν μεγαλύτερα σφάλματα. Αυτή η μέθοδος ονομάζεται μέθοδος απόσβεσης που χρησιμοποιεί μια πολυδιάστατη μέθοδο (BIA-MMS).

Physical measurements		Accuracy	Hardware cost	Computation cost
Distance	RSS	Median	Low	Low
	TDoA	High	High	Low
Angle	AoA	High	High	Low
Area	Signal refernce	Median	Median	Median
	Multi-refemce	Median	Median	High
Hop-count	Per-hop distance	Median	Low	Median

Εικόνα 13: Κατηγοριοποίηση και σύγκριση των localization techniques

2.3 Τεχνολογίες του Localization

Ένα σύστημα γεωεντοπισμού είναι σε θέση να δώσει με ακρίβεια τις συντεταγμένες ενός χρήστη σε περίπτωση περιπλάνησης, κινδύνου ή αιτήματος εντοπισμού απόστασης. Αυτά τα συστήματα παρουσιάζονται στην σε διαφορετικές μορφές: ρολόγια, μενταγιόν, smartphone, ακόμη και παπούτσια. Επιπλέον, ο εντοπισμός αποτελεί απαραίτητη υπηρεσία επιτήρησης εσωτερικού ή εξωτερικού χώρου. Ως εκ τούτου, έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές και αλγόριθμοι για να διασφαλιστεί αυτή η υπηρεσία εντοπισμού. Αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνολογίες που απαιτούν σε ορισμένες περιπτώσεις τη χρήση ορισμένων συσκευών: smartphone, RFID, tag κ.λπ. Υπέρηχος ή ανιχνευτής υπερύθρων (device-free).

2.3.1 Device-based

Οι τεχνικές τοπικής προσαρμογής βάσει συσκευής είναι σε θέση να παρέχουν δεδομένα εντοπισμού στόχου που φέρουν μια συγκεκριμένη συσκευή: για παράδειγμα ένα smartphone ή ένα tag.

Τοπική προσαρμογή βασισμένη σε smartphone

Localization βασισμένο σε Wi-Fi: Το localization μέσω Wi-Fi χρησιμοποιεί τη γνωστή θέση ορισμένων δικτύων Wi-Fi προκειμένου να προσδιορίσει τη θέση μιας συσκευής που είναι συνδεδεμένη σε αυτό το δίκτυο. Έτσι, η ακρίβεια εξαρτάται από την ισχύ του Wi-Fi access point.

Localization βασισμένο σε Camera: Υπάρχει μια προσέγγιση εντοπισμού ενσωματωμένη σε ένα smartphone που χρησιμοποιεί μια οπτική κάμερα και έναν αισθητήρα προσανατολισμού.

Χρησιμοποιείται το αποτύπωμα του σήματος Wi-Fi με βάση τον αλγόριθμο KWNN για να προσδιοριστούν οι γείτονες. Στη συνέχεια, ένας μέσος σταθμισμένος αλγόριθμος εκθέτη με συναρτήσεις εικόνας σχεδιάζεται από το Scale-Invariant Functional Transformation (SIFT) και τον αισθητήρα προσανατολισμού του. Το αποτέλεσμα κατά συνέπεια θα περιορίσει τις τυχαίες

επιλογές εικόνας για έναν κινητό κόμβο σε ένα smartphone, προκειμένου να τελειοποιηθούν τα αποτελέσματα σύμφωνα με έναν multithreaded μηχανισμό.



Εικόνα 14: Παράδειγμα localization βασισμένο σε camera

Localization βασισμένο σε ήχο: Η ακουστική τεχνολογία έχει υιοθετηθεί για το indoor localization. Επομένως, ένα localization με βάση την ακουστική τεχνολογία γίνεται εύκολα εφικτό με υψηλή ακρίβεια χάρη στην ενσωμάτωση του ηχείου και του μικροφώνου στο smartphone.

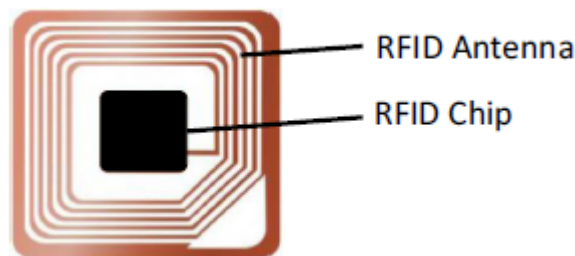
Localization βασισμένο στο Bluetooth: Το Bluetooth, είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας δεδομένων μικρής εμβέλειας. Η θέση ενός smartphone που χρησιμοποιεί αυτήν την τεχνολογία θεωρείται ίδια με το μεμονωμένο cell με το οποίο επικοινωνεί. Ωστόσο, το κύριο μειονέκτημα ενός τέτοιου συστήματος εντοπισμού είναι η ακρίβειά του που εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον αριθμό των εγκατεστημένων cells και τα μεγέθη τους.

Τοπική προσαρμογή βασισμένη σε tags

Ultra Wide Band (UWB) tags localization: Το UltraWide Band είναι ένας νέο είδος ασύρματου ραδιοφώνου που χαρακτηρίζεται από μεγάλο εύρος ζώνης που σέβεται την κεντρική συχνότητα των εκπεμπόμενων κυμάτων. Υπάρχουν δύο παράγοντες πίσω από την ιδέα του UWB: σχετικά μεγάλο εύρος ζώνης και σχετικά μικρή κεντρική συχνότητα. Ενώ το μεγάλο εύρος ζώνης επιτρέπει ακριβείς αναλύσεις χρόνου και σε καλά δομημένα συστήματα προσφέρει καλύτερη εμπιστευτικότητα, η χαμηλή κεντρική συχνότητα επιτρέπει την καλύτερη διέλευση των κυμάτων μέσω διαφορετικών υλικών.

Ultrasonic tags localization: Η Ultrasonic τεχνολογία χρησιμοποιείται για την εξέταση της θέσης των αντικειμένων. Τα περισσότερα συστήματα παρακολούθησης υπερήχων συνδυάζονται με άλλη τεχνολογία για να ληφθεί μια εκτίμηση απόστασης του πομπού / δέκτη. Ο δέκτης λαμβάνει διαδοχικά τον υπέρηχο. Στη συνέχεια, υπολογίζει την απόσταση διαχωρισμού τους σε συνάρτηση με τη μέση ταχύτητα μετατόπισης. Η εκπομπή υπερηχητικών κυμάτων είναι γενικά κατευθυντική, γεγονός που προκαλεί δυσκολίες στην ακριβή οδήγηση του πομποδέκτη.

RFID tags localization: Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει την εξ αποστάσεως αναγνώριση, παρακολούθηση και γνώση των χαρακτηριστικών ενός αντικειμένου χάρη σε μια ετικέτα εκπομπής ραδιοφώνου που συνδέεται ή ενσωματώνεται στο ίδιο το αντικείμενο. Ως εκ τούτου, η τεχνολογία RFID επιτρέπει την ανάγνωση tags ακόμη και χωρίς να είναι στο ορατό πεδίο και μπορεί να περάσει από λεπτά στρώματα υλικών (μπογιά, χιόνι κ.λπ.). Η ετικέτα RFID αποτελείται επιπλέον από ένα τσιπ συνδεδεμένο σε μια κεραία, ενθυλακωμένο σε ένα στήριγμα και διαβάζεται από έναν αναγνώστη που παίρνει και μεταδίδει τα δεδομένα.



Εικόνα 15: RFID tag

Infrared: Πολλά συστήματα εντοπισμού χρησιμοποιούν τεχνολογία υπερέθρων για τον προσδιορισμό της θέσης των στόχων που πρέπει να είναι εξοπλισμένοι με ένα tag υπερέθρων που εκπέμπει μια σειρά υπερέθρων παλμών. Ωστόσο, οι δέκτες διασυνδέονται μεταξύ τους προκειμένου να σχηματίσουν ένα δίκτυο που ανιχνεύει το ενεργό tag.

	Technology	Accuracy	Energy efficient	Cost efficient
Smartphone	Wi-Fi	Medium	Low	High
	Acoustic	High	Medium	High
	Camera	High	High	High
	Bluetooth	Low	Low	Low
Tag	UWB	High	Low	Medium
	RFID: Radio Frequency Identification	Medium	Low	Medium
	Ultrasonic	High	High	High

Εικόνα 16: Σύγκριση device-based τεχνολογιών

2.3.2 Device-free

Η τεχνική εντοπισμού χωρίς συσκευή επιτρέπει την παρακολούθηση στόχων χωρίς τη μεταφορά ειδικών συσκευών. Τα περισσότερα υπάρχοντα περιφερειακά συστήματα εντοπισμού βασίζονται στις τεχνικές ραδιοσυχνοτήτων (RF) και στην υπόθεση ύπαρξης ή κίνησης ανθρώπινων σωμάτων που με τη σειρά τους θα διαταράζουν τα αρχικά μοντέλα ραδιοσυχνοτήτων.

Infrared tag based localization: Η τεχνολογία υπερέθρων είναι ευρέως διαδεδομένη για τον εντοπισμό και τον εντοπισμό ακίνητων συσκευών. Αυτή η τεχνολογία βασίζεται στη διακύμανση της ακτινοβολίας στο εύρος των υπερέθρων φώτων που προκαλείται από τον άνθρωπο. Ωστόσο, υπάρχει μια προφανής διάκριση μεταξύ της θερμοκρασίας του σώματος ενός ατόμου και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος του περιβάλλοντος. Αυτή η διαφορά είναι πιθανό να αναπτύξει ένα σύστημα εντοπισμού. Ωστόσο, αυτός ο τύπος ανιχνευτή είναι σήμερα πολύ διαδεδομένος για την ενεργοποίηση του φωτισμού.

Ultra wide band radar localization: Το UWB ραντάρ είναι μια μορφή localization χωρίς συσκευές. Αποτελείται γενικά από δύο τύπους κόμβων: ο ένας είναι πομπός και ο άλλος δέκτης. Χρησιμοποιείται επίσης για τον εντοπισμό και την παρακολούθηση ενός στόχου που κινείται εντός μιας ζώνης επιτήρησης. Προκειμένου να λυθούν τα προβλήματα που προκαλούνται από τις τυφλές περιοχές, έχει προταθεί ένας αλγόριθμος που βασίζεται στο φιλτράρισμα σωματιδίων με στόχο να επικεντρωθεί στις προβλεπόμενες θέσεις των σωματιδίων.

Ultrasonic localization: Έχουν γίνει πολλές έρευνες για το localization με υπέρηχους. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι η ταχύτητα διάδοσης του ήχου. Αυτό επιτρέπει την ακριβή μέτρηση των χρόνων διάδοσης και έτσι τη λήψη αξιόπιστων εκτιμήσεων απόστασης. Οι αισθητήρες υπέρηχων μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πόρτες για να αναγνωρίσουν τόσο τον κάτοικο όσο και την κατεύθυνσή του. Το μόνο μειονέκτημα της τεχνολογίας αυτής είναι η αδυναμία χρήσης της σε μεγάλες αποστάσεις και συχνά σε θορυβώδη περιβάλλοντα λόγω των εμποδίων και των τοίχων τους.

Wi-Fi based localization: Το Wi-Fi localization προσεγγίζει τη θέση των αντικειμένων με βάση ορισμένα χαρακτηριστικά της μετάδοσης του σήματος. Ωστόσο, το μειονέκτημα του Wi-Fi localization εξαρτάται από μια σχετικά ακριβή υποδομή για να ακολουθήσει ένα άτομο. Παρόλα αυτά, η τεχνολογία εντοπισμού θέσης με Wi-Fi παραμένει η πιο χρήσιμη μέθοδος για γεωεντοπισμό εσωτερικών χώρων, το μόνο που χρειάζεται είναι να ενεργοποιηθεί το Wi-Fi του δέκτη της.

Radio Frequency IDentification(RFID): Το RFID είναι μια τεχνολογία που βασίζεται σε ραδιοκύματα για να αναγνωρίζει αυτόματα αντικείμενα ή ανθρώπους. Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιείται ευρέως σε malls ή καταστήματα για την αποτροπή κλοπής. Για ένα device-free localization συνήθως χρησιμοποιούνται passive RFID tags. Τα passive RFID tags παρέχονται από σήματα ραδιοφώνου και παρέχουν δεδομένα μέσω σήματος χαμηλής οπισθοσκέδασης. Έτσι, υφίστανται σοβαρή απώλεια ανάγνωσης RSSI, ιδιαίτερα με υψηλό ποσοστό δειγματοληψίας ή σε περίπτωση κινούμενου tag. Ως αποτέλεσμα, η ακριβής ανάκτηση των ενδείξεων RSSI που χάνονται παραμένει πάντα μια πρόκληση, ειδικά για μεγάλης κλίμακας χρήση του RFID.

Magnetic sensor based localization: Ο εντοπισμός με βάση μαγνητικούς αισθητήρες είναι μια άλλη λύση όταν δεν υπάρχει σήμα GPS ή ακρόαση των μαγνητικών πεδίων για τη σχεδίαση του χάρτη του κτιρίου εντοπισμού. Το οπλισμένο σκυρόδεμα και ο χάλυβας κλπ. όπως πολλά σύγχρονα υλικά αφήνουν στη μαγνητικά χαρακτηριστικά. Το σύστημα μπορεί έτσι να δημιουργήσει έναν χάρτη θέσεων. Το μαγνητικό πεδίο είναι πολύ αποτελεσματικό όσον αφορά τον γεωεντοπισμό και την καλή του ακρίβεια. Ως αποτέλεσμα, η δυαδικότητα του βοηθά να είναι μια πολύ ενδιαφέρουσα τεχνολογία. Παρόλο που λίγες εταιρείες, στις μέρες μας, βασίζονται αποτελεσματικά σε αυτήν την τεχνολογία.

Camera based localization: Γενικά, οι μέθοδοι εντοπισμού είναι πολλές που βασίζονται στην επεξεργασία εικόνας. Ωστόσο, η δυσκολία συνίσταται στην εξαγωγή σχετικών δεδομένων από τα pixels που σχηματίζουν την εικόνα. Η τελευταία δραστηριότητα της εξαγωγής δεδομένων εικόνων αποτελεί έναν ολόκληρο ξεχωριστό ερευνητικό τομέα. Διάφορα συστήματα εντοπισμού εσωτερικού χώρου έχουν αναπτυχθεί για να αναγνωρίζουν τη θέση των κατοίκων είτε στο σπίτι είτε σε ένα έξυπνο γραφείο. Ως αποτέλεσμα, ορισμένες προσεγγίσεις έχουν βελτιωθεί για την παρακολούθηση των ανθρώπων σε ένα έξυπνο σπίτι χρησιμοποιώντας κάμερες, αν και μισούν τη ζωή που ελέγχεται από κάμερα. Επιπλέον, ακούγεται δύσκολο να πείσουμε τους κατοίκους ότι αυτές οι συσκευές είναι απλώς ανιχνευτές παθητικής κίνησης χωρίς εγγραφή βίντεο.

Technology	Accuracy	Energy efficient	Cost efficient
Infrared	Low	High	Low
Ultra-wide band radar	High	Low	Low
Ultrasonic	Medium	Low	High
Camera	Medium	High	High
Wi-Fi	Medium	Medium	High
RFID: Radio Frequency Identification	High	Low	Low
Localization based magnetic sensor	Low	Medium	Low

Εικόνα 17: Σύγκριση device-free τεχνολογιών

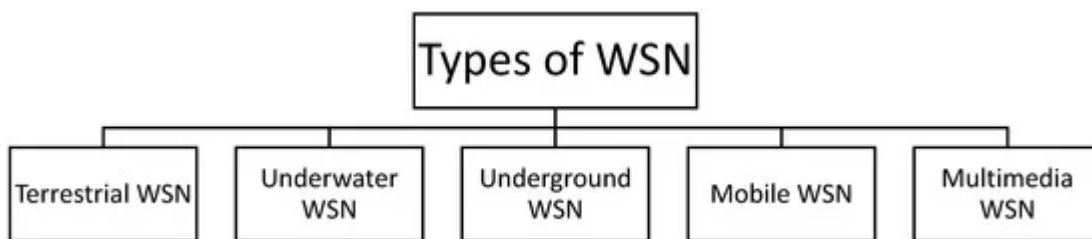
3. Wireless Sensor Network (WSN)

3.1 Εισαγωγή στα Wireless Sensor Network

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN) αποτελούνται από διασκορπισμένους στο χώρο και εξειδικευμένους αισθητήρες που παρακολουθούν και καταγράφουν τις φυσικές συνθήκες του περιβάλλοντος και προωθούν τα δεδομένα που συλλέγονται σε μια κεντρική τοποθεσία. Τα WSN μπορούν να μετρήσουν περιβαλλοντικές συνθήκες όπως η θερμοκρασία, ο ήχος, τα επίπεδα ρύπανσης, η υγρασία και ο άνεμος.

Ένα WSN αποτελείται από "κόμβους" - από λίγους έως εκατοντάδες ή χιλιάδες, όπου κάθε κόμβος συνδέεται με άλλους αισθητήρες. Κάθε τέτοιος κόμβος έχει συνήθως διάφορα μέρη: έναν πομποδέκτη ράδιο με εσωτερική ή εξωτερική κεραία, έναν μικροελεγκτή, ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα για τη διασύνδεση με τους αισθητήρες και μια πηγή ενέργειας, συνήθως μια μπαταρία ή μια ενσωματωμένη μορφή συλλογής ενέργειας. Ένας κόμβος αισθητήρων μπορεί να ποικίλλει σε μέγεθος από ένα κουτί παπουτσιών έως (θεωρητικά) έναν κόκκο σκόνης. Το κόστος των κόμβων αισθητήρων είναι ομοίως μεταβλητό και κυμαίνεται από μερικά έως εκατοντάδες ευρώ, ανάλογα με την πολυπλοκότητα του κόμβου. Οι περιορισμοί μεγέθους και κόστους περιορίζουν πόρους όπως η ενέργεια, η μνήμη, η υπολογιστική ταχύτητα και το εύρος ζώνης επικοινωνίας. Η τοπολογία ενός WSN μπορεί να ποικίλλει από ένα απλό δίκτυο αστέρα έως ένα προηγμένο ασύρματο multi-hop mesh δίκτυο. Η διάδοση μπορεί να χρησιμοποιεί δρομολόγηση ή flooding.

3.2 Τύποι WSN



Εικόνα 21: Τύποι WSN

Terrestrial WSN

Τα επίγεια WSN αποτελούνται από πολυάριθμους μικροσκοπικούς κόμβους αισθητήρων. Αυτοί οι κόμβοι τοποθετούνται τυχαία σε μια συγκεκριμένη περιοχή από όπου χρησιμοποιείται ένα

δίκτυο ad hoc για την επικοινωνία μεταξύ των κόμβων. Αυτοί οι κόμβοι μπορούν να οργανωθούν με βέλτιστη τοποθέτηση, τοποθέτηση σε πλέγμα ή μοντέλα τοποθέτησης 2D και 3D.

Underground WSN

Ένα υπόγειο WSN είναι ένας κόμβος αισθητήρων που τοποθετείται κάτω από το έδαφος για τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με τις υπόγειες συνθήκες. Το μειονέκτημα αυτού του WSN τύπου είναι η περιορισμένη ισχύς της μπαταρίας του, επειδή είναι πολύ δύσκολο να επαναφορτιστεί ή να αλλάξει. Ο κύριος περιορισμός της ασύρματης επικοινωνίας είναι η απώλεια σήματος σε υψηλό δυναμικό. Επομένως, προκειμένου να ενισχυθεί η αξιοπιστία του WSN, απαιτούνται αποτελεσματικοί αλγόριθμοι δρομολόγησης για την επίλυση του περιορισμού της ακρίβειας του WSN κατά τη διαδικασία δρομολόγησης.

Underwater WSN

Ένα υποβρύχιο WSN περιλαμβάνει πολύ ακριβούς κόμβους αισθητήρων, οι οποίοι τοποθετούνται κάτω από το νερό για τη συλλογή δεδομένων και πληροφοριών σχετικά με το υπόγειο περιβάλλον. Ορισμένοι περιορισμοί ή προκλήσεις της ασύρματης υπόγειας επικοινωνίας περιλαμβάνουν την καθυστέρηση του δικτύου, το περιορισμένο εύρος ζώνης και το κακό σήμα του δικτύου.

Mobile WSN

Ένα κινητό WSN έχει το πλεονέκτημα ότι η ισχύς αλλάζει τη θέση του και συνδέεται αυτόματα με το περιβάλλον. Οι κινητοί αισθητήρες συνδέονται και επικοινωνούν με υπολογιστές. Οι κινητοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται για τη συλλογή δεδομένων από μια ευρεία περιοχή ή πληροφοριών από άλλους κόμβους ή αισθητήρες. Οι κύριοι περιορισμοί των κινητών WSN είναι η παρούσα κατάσταση, η περιοχή κάλυψης, η πλοήγηση, η επανατοποθέτηση και η συντήρηση. Τα προαναφερθέντα ζητήματα μπορούν να επιλυθούν με τη χρήση ενός δυναμικού αλγορίθμου δρομολόγησης.

Multimedia WSN

Ένα WSN πολυμέσων αποτελείται από μικροσκοπικούς κόμβους αισθητήρων που μπορούν να ανιχνεύουν, να υπολογίζουν, να ενεργοποιούν και να επικοινωνούν. Μια ποικιλία εφαρμογών του

WSN περιλαμβάνει την παρακολούθηση κατοικιών, συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας και την οικολογική παρακολούθηση. Το WSN πολυμέσων είναι ένα δίκτυο ασύρματα διασυνδεδεμένων συσκευών που είναι σε θέση να ανακτούν παντού μετάδοση βίντεο και ήχου, ακίνητες εικόνες και κλιμακωτά δεδομένα αισθητήρων από το περιβάλλον.

3.3 Προκλήσεις των WSN στο IoT

Real time management

Για τα δίκτυα αισθητήρων με ελεγχόμενους πόρους, πρόκειται για ένα δύσκολο πρόβλημα. Σε αυτή την περίπτωση, απαιτείται ένας αποτελεσματικός σχεδιασμός του service του gateway στο σύστημα IoT για την ελαχιστοποίηση του όγκου των δεδομένων που πρέπει να μεταδοθούν με τη συνεχή αναθεώρηση των δεδομένων του χρήστη και έξυπνος σχεδιασμός ενδιαμέσου λογισμικού με βάση τα δεδομένα για την επικοινωνία πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο μόνο όταν η ανάγνωση υπερβαίνει το όριο.

Security and privacy

Στις εφαρμογές του πραγματικού κόσμου, η ασφάλεια, η εμπιστοσύνη και η ιδιωτικότητα είναι επίσης σημαντικά ζητήματα. Ο τρόπος επίτευξης διαφορετικών επιπέδων ασφάλειας είναι δύσκολος.

Τα WSN μπορούν να έχουν ασφάλεια, επαλήθευση και δυνατότητα χρήσης δεδομένων χωρίς σύνδεση στο Διαδίκτυο, ανάλογα με την πολυπλοκότητα του προγράμματος. Ο επιτιθέμενος απαιτεί φυσική δραστηριότητα κοντά στο WSN για να προσθέσει κακόβουλους κόμβους στο τρέχον δίκτυο. Η σύνδεση των WSN με το διαδίκτυο, ωστόσο, επιτρέπει στους επιτιθέμενους από όλο τον κόσμο να πραγματοποιούν κακόβουλες δραστηριότητες. Τα WSNs θα πρέπει επομένως να αντιμετωπίσουν τα ζητήματα που προκύπτουν από αυτή τη σύνδεση στο Διαδίκτυο.

Quality of service

Όσον αφορά τη νοημοσύνη που προσφέρεται στους κόμβους αισθητήρων, όλες οι ετερογενείς συσκευές του διαδικτύου των πραγμάτων πρέπει να συμβάλλουν στην ποιότητα της υπηρεσίας. Αυτές οι ετερογενείς συσκευές επιτρέπουν την κατανομή του φόρτου εργασίας μεταξύ των κόμβων με τους προσβάσιμους πόρους. Οι τρέχουσες προσεγγίσεις του quality of service που

είναι διαθέσιμες στο Διαδίκτυο εξακολουθούν να απαιτούν βελτίωση λόγω των δυναμικών διαμορφώσεων του δικτύου και των χαρακτηριστικών των συνδέσεων.

Configuration

Μαζί με το quality of service των υπηρεσιών και της ασφάλειας, οι κόμβοι αισθητήρων πρέπει να διαχειρίζονται διάφορες εργασίες, όπως η δικτύωση για την είσοδο νέου κόμβου στο δίκτυο και η διασφάλιση της αυτοθεραπείας με τον εντοπισμό και τη διαγραφή των κόμβων που έχουν υποστεί βλάβη, η διαχείριση διευθύνσεων για την κατασκευή κλιμακούμενου δικτύου κλπ. Ωστόσο, δεν αποτελεί τυπική λειτουργία self-configuring του τελευταίου κόμβου στο Διαδίκτυο. Επομένως, ο χρήστης πρέπει να εγκαταστήσει το κατάλληλο λογισμικό και να λάβει επαρκή μέτρα για την αποφυγή αποτυχιών της συσκευής, εάν αυτή η ρύθμιση δικτύου πρόκειται να λειτουργήσει εύκολα.

Availability

Τα WSNs μπορούν να χρησιμοποιηθούν με την παρουσία παραβιασμένων κόμβων. Για την ενσωμάτωση αλγορίθμου κρυπτογράφησης για την ασφάλεια WSN, θα μπορούσε να χρεωθεί επιπλέον κόστος. Ωστόσο, οι ερευνητές έχουν αναπτύξει σημαντικές μεθόδους στις οποίες κάποιοι τροποποίησαν τον κώδικα και τον επαναχρησιμοποίησαν, κάποιοι χρησιμοποίησαν συμπληρωματικές επικοινωνίες για την επίτευξη των στόχων. Εκτός από αυτό, έχουν σχεδιαστεί μεθοδολογίες για την πρόσβαση στα δεδομένα. Έτσι, η ανάγκη διαθεσιμότητας είναι επιτακτική για τη διατήρηση των λειτουργικών υπηρεσιών των WSN. Βοηθά επίσης στη διατήρηση ολόκληρου του δικτύου μέχρι τον τερματισμό του.

Data integrity

Το WSN μπορεί να τεθεί σε κίνδυνο όταν κακόβουλος κόμβος εισέρχεται στο δίκτυο και εισάγει λάθος δεδομένα ή όταν το ασύρματο κανάλι που μεταβάλλεται αλλοιώνει τα αρχικά δεδομένα. Για παράδειγμα, αν ένας κακόβουλος κόμβος μεταφέρει τα ψευδή δεδομένα στα πακέτα που λαμβάνει, θα επηρεάσει την ακεραιότητα των δεδομένων. Ακόμα, η απώλεια δεδομένων ή η αλλοίωση των δεδομένων μπορεί να προκληθεί λόγω ελαττωματικού δικτύου. Συνεπώς, απαιτείται η διατήρηση της ακεραιότητας των δεδομένων καθ' όλη τη διάρκεια της μετάδοσης των πακέτων δεδομένων.

Confidentiality

Τα δεδομένα διατηρούνται εμπιστευτικά με την επιλογή λειτουργιών κρυπτογράφησης, όπως οι αλγόριθμοι κρυπτογράφησης με κοινό και κοινόχρηστο μυστικό κλειδί, π.χ. ο Blowfish, ο AES και ο Triple DES. Ωστόσο, η διαδικασία κρυπτογράφησης δεν είναι επαρκής για την προστασία της ιδιωτικότητας των δεδομένων και των πληροφοριών από μόνη της ως μηχανισμός ασφαλείας. Μια ανάλυση traffic για τα δεδομένα της κρυπτογράφησης μπορεί να πραγματοποιηθεί από τον επιτιθέμενο, έτσι ώστε τα ευαίσθητα δεδομένα να μπορούν να κλαπούν. Επιπλέον, ο κακόβουλος κόμβος μπορεί να παραβιάσει αποτελεσματικά άλλους κόμβους αισθητήρων και στη συνέχεια να αποκωδικοποιήσει ευαίσθητες πληροφορίες.

3.4 Εφαρμογές του WSN

Environmental monitoring

Αυτονομία: Η ισχύς των μπαταριών πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να μπορεί να υποστηρίξει, για παράδειγμα, έναν μετεωρολογικό σταθμό καθ' όλη τη διάρκεια της λειτουργίας. Η χρήση του ηλιακού συστήματος μπορεί να είναι μια καλή επιλογή.

Αξιοπιστία: Το δίκτυο θα πρέπει να εκτελεί πολύ απλές και αναμενόμενες λειτουργίες. Ο τελικός χρήστης μπορεί να μην έχει αρκετές γνώσεις και οι ενδιαφερόμενες περιοχές είναι απομονωμένες τις περισσότερες φορές. Κατά τη διάρκεια μιας άσχημης κατάστασης του καιρού (όπως πολύ κρύο και πολλή βροχή), το πακέτο θα μπορούσε να χαθεί, οπότε γίνεται πιο δύσκολο να επιτευχθεί αξιοπιστία.

Ανθεκτικότητα: Το δίκτυο θα πρέπει να είναι σε θέση να διαγνώσει ένα πρόβλημα, συμπεριλαμβανομένης της κακής συνδεσιμότητας της ραδιομετάδοσης σε περίπτωση βλάβης υλικού ή κακών καιρικών συνθηκών, όπως η πτώση χιονιού. Έχει παρατηρηθεί ότι η υγρασία μπορεί να οδηγήσει σε βραχυκυκλώματα, τα οποία μπορεί να οδηγήσουν σε επανεκκίνηση των σταθμών. Μερικές φορές είναι καλύτερο να ενσωματώνονται και να αφαιρούνται οι σταθμοί ανάλογα με τις ανάγκες. Ο νέος σταθμός θα μπορούσε να προστεθεί σε οποιοδήποτε σημείο ενδιαφέροντος.

Green Houses

Ο κύριος στόχος είναι η εξοικονόμηση θερμικής ενέργειας στα θερμοκήπια με την ομαλή μέτρηση της θερμοκρασίας με οριζόντια δεδομένα υψηλής ανάλυσης, καθώς και με κατακόρυφα δεδομένα, για την επίτευξη κατάλληλων και έγκυρων αποτελεσμάτων με τη βοήθεια των προαναφερθέντων μονάδων που χρησιμοποιήθηκαν σε συνεργασία με ένα γεωργικό θάλαμο.

Industrial and business

Το WSN είναι πολύ χρήσιμο σε μια βιομηχανική εφαρμογή. Οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση, τον έλεγχο και την επεξεργασία δεδομένων, όπως η πίεση, η δόνηση, η θερμοκρασία και το ιξώδες. Οι αισθητήρες συλλέγουν τα δεδομένα ή τις πληροφορίες που αποστέλλονται στη διαχείριση του συστήματος ελέγχου. Ένας καλύτερος αλγόριθμος δρομολόγησης μας παρέχει μεγάλο χρονικό διάστημα, ένα εύχρηστο σύστημα και συσκευές χαμηλού κόστους, οι οποίες είναι πολύ χρήσιμες σε επιχειρηματικές εφαρμογές. Το WSN χρησιμοποιεί τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων οικοδόμησης, αποφεύγοντας διάφορα προβλήματα στον πραγματικό κόσμο. Το σύστημα υποστήριξης αποφάσεων χρησιμοποιείται επίσης όλο και περισσότερο στη γεωργία για την επίλυση των πιο σύνθετων προβλημάτων της γεωργίας που σχετίζονται με την παρακολούθηση της γης. Αυτή η προσέγγιση θα ισχύει για τη βοήθεια των γεωργών να λαμβάνουν τις σωστές αποφάσεις. Η ταχεία και προοδευτική ανάπτυξη των εφαρμογών WSN στη γεωργία καθιστά δυνατή τη βελτίωση της αποδοτικότητας και της παραγωγικότητας σε διάφορα συστήματα παραγωγής γεωργικών προϊόντων. Επιπλέον, οι αγρότες αποκτούν μια εικόνα και λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τα χωράφια τους και βρίσκουν την καλύτερη δυνατή λύση μέσω της χρήσης του WSN.

Livestock monitoring

Ένα ασύρματο σύστημα ανίχνευσης βοηθά στη διατήρηση της υγείας των ζώων με ελάχιστη χρήση πόρων. Τα RFID tags μπορούν να τοποθετηθούν στα αυτιά των βοοειδών για την κατανόηση της διάθεσης, του στρες και της πείνας τους σε πραγματικό χρόνο. Αισθητήρες μπορούν επίσης να τοποθετηθούν για την εξάλειψη της κλοπής ζώων παρέχοντας την ταχύτητα κινητικότητας της αγελάδας, η οποία χρησιμοποιείται ως αναφορά για οποιαδήποτε μετακίνηση του ζώου.

Habitat monitoring

Οι ερευνητές στις βιοεπιστήμες ανησυχούν όλο και περισσότερο για τις πιθανές επιπτώσεις της ανθρώπινης παρουσίας κατά την παρατήρηση φυτών και ζώων σε συνθήκες πεδίου. Στις επιστήμες της ζωής, τεράστιος αριθμός ερευνητών βασίζεται στις επιπτώσεις της ανθρώπινης παρουσίας κατά την παρατήρηση ζώων και φυτών σε συνθήκες πεδίου. Τα WSN χρησιμοποιούνται επίσης στην παρακολούθηση των οικοτόπων. Τελευταία, έχει παρατηρηθεί ότι λόγω της δραστηριότητας παραβατών σε περιοχές οικοτόπων, δημιουργείται διαταραχή στην αναπαραγωγή των φυτών ή μερικές φορές στην περιοχή εκτροφής των ζώων. Το ανεπιθύμητο στρες έχει ως αποτέλεσμα χαμηλό ποσοστό αναπαραγωγής στα συγκεκριμένα είδη που παρακολουθούνται από το WSN

Forest monitoring

Η αξία του δάσους και η σημασία του στη γη διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στη ζωή του ανθρώπου και έναν απαραίτητο ρόλο στη διατήρηση του βιογεωχημικού κύκλου της ατμόσφαιρας. Λόγω της αστικοποίησης, η αναδάσωση είναι υψίστης σημασίας για την κοινωνία. Η παρακολούθηση του μικροκλίματος στα δάση γίνεται όλο και πιο σημαντική, δεδομένης της προβλεπόμενης κλιματικής αλλαγής. Η σε βάθος γνώση των ατόμων σχετικά με τη φυσική, χημική και βιολογική κατάσταση του εδάφους στο ριζικό σύστημα των δέντρων συμβάλλει σημαντικά στην εντατική παρακολούθηση των δασικών οικοσυστημάτων. Αυτές οι μακροχρόνιες μελέτες αποτελούν προϋπόθεση για την εξαγωγή μέτρων για τη διαχείριση των δασών. Η λειτουργία του δάσους παραμένει ανεπηρέαστη από την ασύρματη μετάδοση των ενδείξεων των αισθητήρων.

Underwater sensor network

Στα υποβρύχια ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, η δρομολόγηση διαφέρει από τα επίγεια ασύρματα δίκτυα αισθητήρων λόγω του περιορισμένου εύρους ζώνης, της κινητικότητας των κόμβων και της end-to-end καθυστέρησης στη μετάδοση πακέτων δεδομένων. Έχουν αναλυθεί τα υπάρχοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης τα οποία διερευνούν την απόδοση βελτιστοποίησης των υπηρεσιών δικτύου, την κινητικότητα των κόμβων, την end-to-end καθυστέρηση και την ενεργειακή αποστράγγιση των κόμβων αισθητήρων. Έχει αναπτυχθεί μεγάλος αριθμός πρωτοκόλλων δρομολόγησης για εκείνα που λειτουργούν σε Underwater Wireless Sensor Network (UWSN).

Αυτά τα πρωτόκολλα αξιολογούν την αποδοτικότητα σε σχέση με την end-to-end καθυστέρηση, την κινητικότητα των κόμβων, την απόδοση του δικτύου και την κατανάλωση ενέργειας. Τα τελευταία χρόνια, οι εφαρμογές των ασύρματων δικτύων αισθητήρων έχουν επεκταθεί σε διάφορους τομείς για χρήση στην παρακολούθηση του καιρού, στην παρακολούθηση της ρύπανσης του νερού, όπως η παρακολούθηση βιολογικών, χημικών, πυρηνικών και μικροοργανισμών και η πρόληψη καταστροφών. Το UWSN χρησιμοποιείται επίσης ευρέως στην υποβρύχια ανίχνευση διάβρωσης αγωγών πετρελαίου και φυσικού αερίου και σε στρατιωτικές εφαρμογές ασφαλείας.

WSN and health

Στον τομέα της υγείας, το WSN χρησιμοποιεί προηγμένους ιατρικούς αισθητήρες για τη βελτίωση των εφαρμογών υγείας. Το WSN χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση ασθενειών όπως το Αλτσχάιμερ και οι καρδιακές προσβολές. Μπορούν επίσης να εξεταστούν το επίπεδο οξυγόνου στο αίμα και ο καρδιακός ρυθμός των ασθενών.

Έχουν σχεδιαστεί πολλές σύγχρονες τεχνολογίες που χρησιμοποιούν ασύρματα δίκτυα, παράγοντας αξιοπρεπή αποτελέσματα και καθιστώντας πολλές δύσκολες και απαιτητικές τεχνολογίες προσιτές και εύκολες στη χρήση. Οι ειδικές ασύρματες συσκευές για συστήματα υγειονομικής περίθαλψης ονομάζονται Wireless Body Area Networks (WBANs). Τα WBAN παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο την κατάσταση της υγείας και στέλνουν ανατροφοδότηση στον τελικό χρήστη ή στους γιατρούς μέσω της συνδεσιμότητας. Κυρίως, χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση φυσιολογικών παραμέτρων, όπως ο καρδιακός παλμός, η θερμοκρασία, το επίπεδο στρες και το επίπεδο οξυγόνου. Παρά τις εν λόγω φυσιολογικές παραμέτρους, παρακολουθούν και αναλύουν επίσης τη ρουτίνα της άσκησης και τις απαιτήσεις του ανθρώπινου σώματος.

WSN and VANET

Το Vehicular Ad-Hoc Network ή VANET μπορεί να είναι μια ποικιλία του Mobile Ad-Hoc Network ή MANET που προσφέρει επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και σταθμών βάσης στην άκρη του δρόμου. Ένα όχημα στο VANET υπολογίζεται ως ένας συνεργαζόμενος ευφυής κινητός κόμβος ικανός να επικοινωνεί με τους γείτονές του και με διαφορετικά οχήματα εντός του δικτύου.

WSN and military

Ο στρατός των Ηνωμένων Πολιτειών χρησιμοποίησε το WSN για πρώτη φορά σε μια στρατιωτική εφαρμογή το 1960, που ονομάστηκε Sound Surveillance System (SOSUS). Αυτό χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό και την παρακολούθηση υποβρυχίων. Σήμερα, το WSN χρησιμοποιείται με πολλούς τρόπους, όπως η παρακολούθηση ή η μετακίνηση ενός στρατιώτη ή οχημάτων κατά τη διάρκεια αποστολών επιτήρησης. Αυτό χρησιμοποιείται επίσης για τη συλλογή δεδομένων ή απαραίτητων πληροφοριών από την περιοχή στόχου και την αποστολή τους στο σταθμό βάσης.

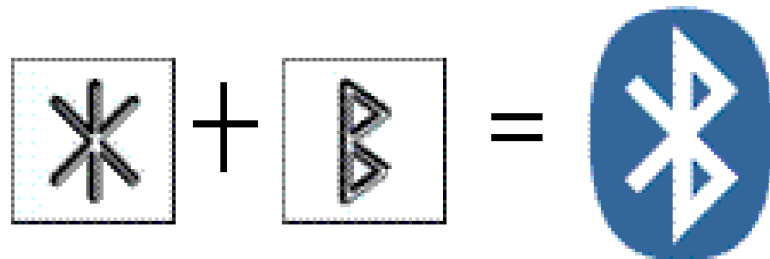
4. Bluetooth Low Energy(BLE)

4.1 Η ιστορία του Bluetooth

Το 1994, η εταιρεία τηλεπικοινωνιών ERICSSON, ξεκίνησε μια μελέτη για τη διερεύνηση της βιωσιμότητας μιας ραδιοεπικοινωνίας χαμηλού κόστους μεταξύ κινητών τηλεφώνων και αξεσουάρ. Ο στόχος ήταν να εξαλειφθούν τα καλώδια μεταξύ των κινητών τηλεφώνων και των καρτών υπολογιστών, ακουστικών, επιτραπέζιων συσκευών κ.λπ. Στις αρχές του 1997, η Ericsson έρχεται πιο κοντά σε άλλους κατασκευαστές φορητών συσκευών για να αυξήσει το ενδιαφέρον για αυτήν την τεχνολογία. Το κίνητρο ήταν απλό: προκειμένου το σύστημα να είναι επιτυχημένο και πραγματικά χρησιμοποιήσιμο, μια κρίσιμη ποσότητα φορητών συσκευών θα πρέπει να χρησιμοποιεί την ίδια τεχνολογία. Τον Φεβρουάριο του 1998, πέντε εταιρείες, η Ericsson, η Nokia, η IBM, η Toshiba και η Intel, ίδρυσαν έναν Όμιλο Ειδικού Ενδιαφέροντος (SIG). Αυτός ο όμιλος περιέχει το τέλειο μείγμα στον επιχειρηματικό τομέα: δύο ηγέτες της αγοράς στην κινητή τηλεφωνία, δύο ηγέτες στην αγορά φορητών υπολογιστών και έναν ηγέτη στην αγορά στην τεχνολογία επεξεργασίας ψηφιακών σημάτων. Στόχος ήταν η δημιουργία μιας παγκόσμιας προδιαγραφής για συνδεσιμότητα χωρίς καλώδια μικρής εμβέλειας. Στις 20 και 21 Μαΐου 1998, το Bluetooth ανακοινώθηκε στο ευρύ κοινό του Λονδίνου (Αγγλία), του Σαν Χοσέ (Καλιφόρνια) και του Τόκιο (Ιαπωνία). Αυτή η παγκόσμια ανακοίνωση προκαλεί την υιοθέτηση της τεχνολογίας για πολλές εταιρείες.

Ο λόγος του ονόματος είναι ότι τον 10ο αιώνα ο βασιλιάς Χάραλντ Β' της Δανίας, με το παρατσούκλι "γαλαζοδόντης" λόγω μιας ασθένειας που του έδινε αυτό το χρώμα στην οδοντοστοιχία του, επανένωσε υπό τη βασιλεία του πολλά μικρά βασίλεια που υπήρχαν στη Δανία και τη Νορβηγία και που λειτουργούσαν με διαφορετικούς κανόνες, το ίδιο πράγμα που κάνει η τεχνολογία Bluetooth, που προωθήθηκε από την Ericsson (Σουηδία) και τη Nokia (Φινλανδία), δύο σκανδιναβικές χώρες.

Το λογότυπο του Bluetooth συνδυάζει την αναπαράσταση των σκανδιναβικών ρούνων Hagalaz (μεταγραφή από 'H') και Berkana (μεταγραφή από 'B') στο ίδιο σύμβολο.



Εικόνα 18: Σύμβολο του Bluetooth

4.2 Ιστορία του Bluetooth Low Energy

Το 2001, οι ερευνητές της Nokia προσδιόρισαν διάφορα σενάρια που δεν αντιμετώπιζαν οι σύγχρονες ασύρματες τεχνολογίες. Η εταιρεία άρχισε να αναπτύσσει μια ασύρματη τεχνολογία προσαρμοσμένη στο πρότυπο Bluetooth, η οποία θα παρείχε χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας και χαμηλότερο κόστος, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις διαφορές της από την τεχνολογία Bluetooth. Τα αποτελέσματα δημοσιεύτηκαν το 2004 χρησιμοποιώντας το όνομα Bluetooth Low End Extension.

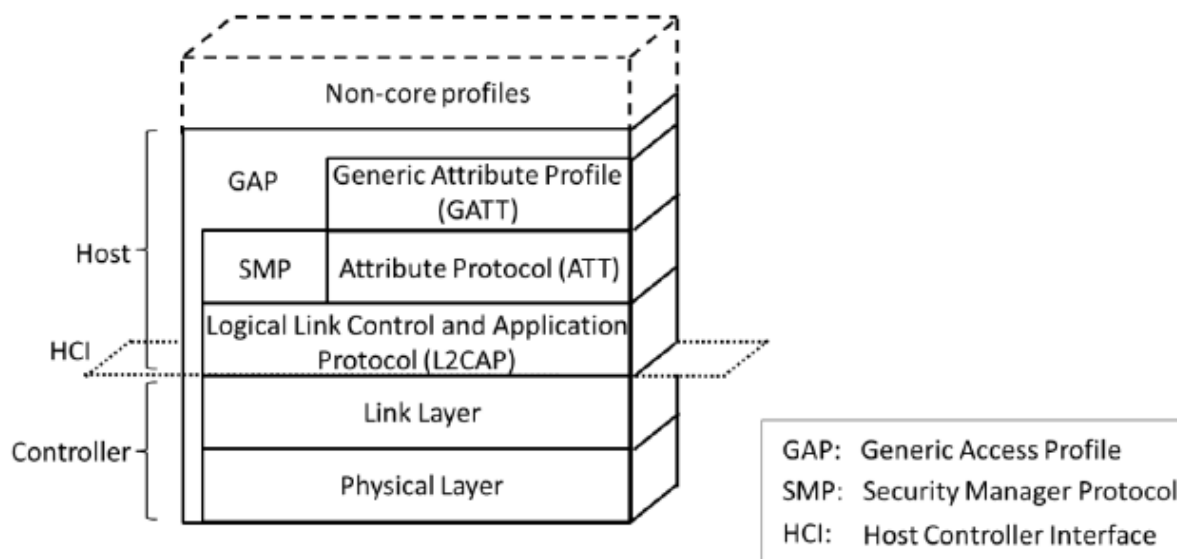
Μετά από περαιτέρω ανάπτυξη με συνεργάτες, ιδίως τη Logitech και στο πλαίσιο του ευρωπαϊκού έργου MIMOSA, και την ενεργή προώθηση και υποστήριξη της STMicroelectronics από το αρχικό της στάδιο, η τεχνολογία κυκλοφόρησε στο κοινό τον Οκτώβριο του 2006 με την επωνυμία Wibree. Μετά από διαπραγματεύσεις με μέλη του Bluetooth SIG, επιτεύχθηκε συμφωνία τον Ιούνιο του 2007 να συμπεριληφθεί το Wibree σε μελλοντικές προδιαγραφές Bluetooth ως τεχνολογία Bluetooth εξαιρετικά χαμηλής κατανάλωσης.

Η τεχνολογία κυκλοφόρησε στην αγορά ως Bluetooth Smart και η ενσωμάτωση στην έκδοση 4.0 του Core Specification ολοκληρώθηκε στις αρχές του 2010. Το πρώτο smartphone που εφάρμοσε την προδιαγραφή 4.0 ήταν το iPhone 4S, που κυκλοφόρησε τον Οκτώβριο του 2011. Διάφοροι άλλοι κατασκευαστές κυκλοφόρησαν συσκευές Bluetooth Low Energy Ready το 2012.

Η Bluetooth SIG παρουσίασε επίσημα το Bluetooth 5 στις 16 Ιουνίου 2016 κατά τη διάρκεια εκδήλωσης στο Λονδίνο. Μια αλλαγή από την πλευρά του μάρκετινγκ είναι ότι ο αριθμός του σημείου απορρίφθηκε, επομένως ονομάζεται απλώς Bluetooth 5 (και όχι Bluetooth 5.0 ή 5.0 LE όπως για το Bluetooth 4.0). Αυτή η απόφαση ελήφθη για να «απλοποιηθεί το μάρκετινγκ και να μεταδοθούν τα οφέλη των χρηστών πιο αποτελεσματικά».

Η Bluetooth SIG κυκλοφόρησε επίσημα τις προδιαγραφές Mesh Profile και Mesh Model στις 18 Ιουλίου 2017. Η προδιαγραφή Mesh επιτρέπει τη χρήση Bluetooth Low Energy για επικοινωνίες συσκευών πολλών-προς-πολλών για οικιακούς αυτοματισμούς, δίκτυα αισθητήρων και άλλες εφαρμογές.

4.3 Πως λειτουργεί το BLE



Εικόνα 19: Δομή του BLE

Physical Layer

Το BLE λειτουργεί στη ζώνη Industrial Scientific Medical (ISM) των 2,4 GHz και ορίζει 40 κανάλια ραδιοσυχνότητας (RF) με απόσταση καναλιών 2 MHz. Υπάρχουν δύο τύποι καναλιών BLE RF: κανάλια διαφήμισης και κανάλια δεδομένων. Τα κανάλια διαφήμισης χρησιμοποιούνται για την ανακάλυψη συσκευών, τη δημιουργία σύνδεσης και τη μετάδοση εκπομπής, ενώ τα κανάλια δεδομένων χρησιμοποιούνται για αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ συνδεδεμένων συσκευών. Τρία κανάλια ορίζονται ως κανάλια διαφήμισης. Σε αυτά τα κανάλια έχουν εκχωρηθεί κεντρικές συχνότητες που ελαχιστοποιούν την επικάλυψη με τα κανάλια 1, 6 και 11 του IEEE 802.11, τα οποία χρησιμοποιούνται συνήθως σε πολλές χώρες. Ένας προσαρμοστικός μηχανισμός μεταπήδησης συχνότητας χρησιμοποιείται πάνω από τα κανάλια δεδομένων για την αντιμετώπιση προβλημάτων παρεμβολών και ασύρματης μετάδοσης, όπως εξασθένιση και πολλαπλή διαδρομή. Αυτός ο μηχανισμός επιλέγει ένα από τα 37 διαθέσιμα κανάλια δεδομένων για επικοινωνία κατά τη διάρκεια ενός δεδομένου χρονικού διαστήματος.

Link Layer

Στο BLE, όταν μια συσκευή χρειάζεται μόνο να μεταδίδει δεδομένα, μεταδίδει τα δεδομένα σε διαφημιστικά πακέτα μέσω των καναλιών διαφήμισης. Κάθε συσκευή που μεταδίδει διαφημιστικά πακέτα ονομάζεται advertiser. Η μετάδοση των πακέτων μέσω των διαφημιστικών καναλιών πραγματοποιείται σε χρονικά διαστήματα που ονομάζονται διαφημιστικά συμβάντα. Σε ένα διαφημιστικό συμβάν, ο διαφημιζόμενος χρησιμοποιεί διαδοχικά κάθε διαφημιστικό κανάλι για μετάδοση πακέτων. Οι συσκευές που στοχεύουν μόνο στη λήψη δεδομένων μέσω των διαφημιστικών καναλιών ονομάζονται scanners.

Η αμφίδρομη επικοινωνία δεδομένων μεταξύ δύο συσκευών απαιτεί τη σύνδεση μεταξύ τους. Η δημιουργία μιας σύνδεσης μεταξύ δύο συσκευών είναι μια ασύμμετρη διαδικασία με την οποία ένας διαφημιστής ανακοινώνει μέσω των διαφημιστικών καναλιών ότι είναι μια συνδεδεμένη συσκευή, ενώ η άλλη συσκευή (αναφέρεται ως εκκινητής) ακούει τέτοιες διαφημίσεις. Όταν ένας εκκινητής βρίσκει έναν διαφημιστή, μπορεί να μεταδώσει ένα μήνυμα αίτησης σύνδεσης στον διαφημιστή, το οποίο δημιουργεί μια σύνδεση σημείου προς σημείο μεταξύ των δύο συσκευών. Και οι δύο συσκευές μπορούν στη συνέχεια να επικοινωνούν χρησιμοποιώντας τα φυσικά

κανάλια δεδομένων. Τα πακέτα για αυτή τη σύνδεση θα αναγνωριστούν από έναν τυχαία δημιουργημένο κωδικό πρόσβασης 32 bit.

Το BLE ορίζει δύο ρόλους συσκευής για μια σύνδεση: τον master και τον slave. Αυτές είναι οι συσκευές που λειτουργούν ως εκκινητές και διαφημιστές κατά τη δημιουργία της σύνδεσης, αντίστοιχα. Ένα master μπορεί να διαχειριστεί πολλαπλές ταυτόχρονες συνδέσεις με διαφορετικούς slaves, ενώ κάθε slave μπορεί να συνδεθεί μόνο σε ένα master. Έτσι, το δίκτυο που αποτελείται από έναν master και τους slaves του, το οποίο ονομάζεται piconet και ακολουθεί μια τοπολογία αστεριών.

Προκειμένου να εξοικονομηθεί ενέργεια, οι slaves βρίσκονται σε κατάσταση αναστολής λειτουργίας από προεπιλογή και ξυπνούν περιοδικά για να ακούν πιθανές λήψεις πακέτων από τον κύριο. Ο κύριος καθορίζει τις στιγμές στις οποίες απαιτείται να ακούσουν οι slaves.

Μόλις δημιουργηθεί μια σύνδεση μεταξύ ενός master και ενός slave, το φυσικό κανάλι χωρίζεται σε μη επικαλυπτόμενες χρονικές μονάδες που ονομάζονται συμβάντα σύνδεσης. Μέσα σε ένα συμβάν σύνδεσης, όλα τα πακέτα μεταδίδονται χρησιμοποιώντας την ίδια συχνότητα καναλιού δεδομένων. Κάθε συμβάν σύνδεσης ξεκινά με τη μετάδοση ενός πακέτου από τον κύριο. Εάν ο slave λάβει ένα πακέτο, ο slave πρέπει να στείλει ένα πακέτο στον master ως απάντηση. Ωστόσο, ο master δεν απαιτείται να στείλει ένα πακέτο κατά την παραλαβή ενός πακέτου από το slave.

L2CAP

Το L2CAP που χρησιμοποιείται στο BLE είναι ένα βελτιστοποιημένο και απλοποιημένο πρωτόκολλο που βασίζεται στο κλασικό Bluetooth L2CAP. Στο BLE, ο κύριος στόχος του L2CAP είναι η πολυπλεξία των δεδομένων τριών πρωτοκόλλων υψηλότερου επιπέδου, σηματοδότησης ελέγχου ATT, SMP και Link Layer, πάνω από μια σύνδεση Layer Link. Τα δεδομένα αυτών των υπηρεσιών διαχειρίζονται από το L2CAP με την καλύτερη δυνατή προσέγγιση και χωρίς τη χρήση μηχανισμών αναμετάδοσης και ελέγχου ροής, οι οποίοι είναι διαθέσιμοι σε άλλες εκδόσεις Bluetooth.

ATT

Το ATT ορίζει την επικοινωνία μεταξύ δύο συσκευών που παίζουν ρόλο server και client, αντίστοιχα, πάνω από ένα αποκλειστικό κανάλι L2CAP. Ο server διατηρεί ένα σύνολο attributes. Ένα attribute είναι μια δομή δεδομένων που αποθηκεύει τις πληροφορίες που διαχειρίζεται η

GATT, το πρωτόκολλο που λειτουργεί πάνω από το ATT. Ο ρόλος του client ή του server καθορίζεται από την GATT και είναι ανεξάρτητος από τον ρόλο slave ή master.

Ο client μπορεί να έχει πρόσβαση στα χαρακτηριστικά του server στέλνοντας αιτήματα, τα οποία ενεργοποιούν μηνύματα απόκρισης από τον server. Για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα, ένας server μπορεί επίσης να στείλει σε έναν client δύο τύπους αυτόκλητων μηνυμάτων που περιέχουν attributes ειδοποιήσεων, τα οποία δεν είναι επιβεβαιωμένα και ενδείξεων, που απαιτούν από τον client να στείλει επιβεβαίωση. Ένας client μπορεί επίσης να στείλει εντολές στον server για να γράψει τιμές χαρακτηριστικών. Οι συναλλαγές αιτήματος/απόκρισης και ένδειξης/επιβεβαίωσης ακολουθούν ένα πρόγραμμα στάσης και αναμονής.

GATT

Η GATT ορίζει ένα πλαίσιο που χρησιμοποιεί το ATT για την ανακάλυψη υπηρεσιών και την ανταλλαγή χαρακτηριστικών από τη μια συσκευή στην άλλη. Χαρακτηριστικό είναι ένα σύνολο δεδομένων που περιλαμβάνει μια τιμή και ιδιότητες. Τα δεδομένα που σχετίζονται με υπηρεσίες και χαρακτηριστικά αποθηκεύονται σε attributes. Για παράδειγμα, ένας server που εκτελεί μια υπηρεσία «αισθητήρα θερμοκρασίας» μπορεί να έχει ένα χαρακτηριστικό «θερμοκρασίας» που χρησιμοποιεί ένα attribute για την περιγραφή του αισθητήρα, ένα άλλο attribute για την αποθήκευση των μετρήσεων της θερμοκρασίας και ένα επιπλέον attribute για τον καθορισμό των μονάδων μέτρησης.

Security

Το BLE προσφέρει διάφορες υπηρεσίες ασφαλείας για την προστασία της ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ δύο συνδεδεμένων συσκευών. Οι περισσότερες από τις υποστηριζόμενες υπηρεσίες ασφαλείας μπορούν να εκφραστούν ως δύο αμοιβαία αποκλειστικές λειτουργίες ασφαλείας που ονομάζονται LE Security Mode 1 και LE Security Mode 2. Αυτές οι δύο λειτουργίες παρέχουν λειτουργικότητα ασφαλείας στο επίπεδο σύνδεσης και στο επίπεδο ATT, αντίστοιχα.

Κάθε λειτουργία ασφαλείας έχει διαφορετικά επίπεδα, τα οποία εκφράζουν απαιτήσεις ως προς τον τύπο σύζευξης που πρέπει να χρησιμοποιηθεί. Η σύζευξη είναι μια διαδικασία με την οποία οι συσκευές δημιουργούν και διανέμουν βασικό υλικό.

Η σύζευξη περιλαμβάνει τρεις φάσεις. Σε πρώτη φάση, οι δύο συνδεδεμένες συσκευές ανακοινώνουν τις δυνατότητες εισόδου/εξόδου τους και βάσει αυτών επιλέγουν την κατάλληλη μέθοδο για τη δεύτερη φάση.

Η δεύτερη φάση έχει σκοπό τη δημιουργία του Short-Term Key (STK), το οποίο θα χρησιμοποιηθεί στην τρίτη φάση για να εξασφαλίσει τη διανομή του βασικού υλικού.

Στην τρίτη φάση, κάθε τελικό σημείο της σύνδεσης μπορεί να διανέμει στο άλλο τελικό σημείο έως και τρία κλειδιά 128-bit που ονομάζονται Long-Term Key (LTK), Connection Signature Resolving Key (CSRK) και Identity Resolving Key (IRK).

Το πρωτόκολλο Security Manager Protocol (SMP) πραγματοποιεί την ανταλλαγή μηνυμάτων των τριών περιγραφόμενων φάσεων ζεύξης. Το SMP λειτουργεί πάνω από ένα σταθερό κανάλι L2CAP.

		Pairing	Encryption	Data Integrity	Layer
LE Security Mode 1	Level 1	No	No	No	Link Layer
	Level 2	Unauthenticated	Yes	Yes	
	Level 3	Authenticated	Yes	Yes	
LE Security Mode 2	Level 1	Unauthenticated	No	Yes	ATT layer
	Level 2	Authenticated	No	Yes	

Εικόνα 20: Υπηρεσίες και χαρακτηριστικά ασφαλείας για τους τρόπους και τα επίπεδα ασφαλείας που ορίζονται στο BLE

GAP and Application Profiles

Το BLE GAP ορίζει τέσσερις ρόλους με συγκεκριμένες απαιτήσεις για τον υποκείμενο ελεγκτή: Broadcaster, Observer, Peripheral και Central. Μια συσκευή στο ρόλο Broadcaster μεταδίδει μόνο δεδομένα (μέσω των καναλιών διαφήμισης) και δεν υποστηρίζει συνδέσεις με άλλες συσκευές. Ο ρόλος του Observer είναι συμπληρωματικός για τον Broadcaster, δηλαδή έχει σκοπό να λαμβάνει τα δεδομένα που μεταδίδονται από τον Broadcaster. Ο Central ρόλος έχει σχεδιαστεί για μια συσκευή που είναι υπεύθυνη για την έναρξη και τη διαχείριση πολλαπλών συνδέσεων, ενώ ο Peripheral ρόλος έχει σχεδιαστεί για απλές συσκευές που χρησιμοποιούν μια μόνο σύνδεση με μια συσκευή στον Central ρόλο. Κατά συνέπεια, οι ρόλοι Central και Peripheral απαιτούν ο ελεγκτής της συσκευής να υποστηρίζει τους ρόλους master και slave, αντίστοιχα.

Μια συσκευή μπορεί να υποστηρίξει διάφορους ρόλους, αλλά μόνο ένας ρόλος μπορεί να υιοθετηθεί σε μια δεδομένη στιγμή.

Τέλος, δεδομένου ότι ορισμένοι τύποι εφαρμογών μπορεί να επωφεληθούν από την επαναχρησιμοποίηση της κοινής λειτουργικότητας, μπορούν να δημιουργηθούν πρόσθετα προφίλ πάνω στο GAP. Το Bluetooth ακολουθεί μια ιεραρχία προφίλ, σύμφωνα με την οποία μπορεί να οριστεί ένα νέο προφίλ που περιλαμβάνει όλες τις απαιτήσεις ενός υπάρχοντος προφίλ. Ένα προφίλ υψηλότερου επιπέδου που καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο οι εφαρμογές μπορούν να διαλειτουργούν ονομάζεται προφίλ εφαρμογής. Τα προφίλ εφαρμογών, τα οποία καθορίζονται επίσης από το Bluetooth SIG, ευνοούν τη διαλειτουργικότητα μεταξύ συσκευών διαφορετικών κατασκευαστών.

4.4 Εφαρμογές του BLE

Ενώ το BLE είναι ανερχόμενο, άλλες ασύρματες τεχνολογίες χαμηλής ισχύος, όπως το ZigBee, το 6LoWPAN ή το Z-Wave, έχουν ήδη επιτύχει σημαντική παρουσία σε διάφορα τμήματα της αγοράς. Ωστόσο, δεν έχουν υψηλές προσδοκίες ανάπτυξης σε συσκευές όπως τα smartphones. Το BLE, από την άλλη πλευρά, είναι αναμένεται να έχει ισχυρή θέση σε αυτές.

Η υγειονομική περίθαλψη, η ευεξία και ο αθλητισμός αποτελούν ένα πεδίο εφαρμογών όπου έχει ήδη χρησιμοποιηθεί το κλασικό Bluetooth και για το οποίο το BLE αποτελεί βελτίωση.

Μια άλλη ευκαιρία για το BLE είναι το ενδεχόμενο το κινητό τηλέφωνο να αποτελέσει ένα καθολικό τηλεχειριστήριο για τις οικιακές συσκευές ενός σπιτιού. Οι εφαρμογές έξυπνης ενέργειας και οικιακής ασφάλειας μπορούν να αξιοποιήσουν περαιτέρω τα κινητά τηλέφωνα με δυνατότητα BLE.

Ο BLE μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για ανέπαφες εφαρμογές, όπως κινητές πληρωμές, έκδοση εισιτηρίων ή έλεγχος πρόσβασης. Ωστόσο, το Near Field Communication (NFC) σχεδιάστηκε κυρίως για αυτό το πεδίο χρήσης, και έκτοτε, η γκάμα των μοντέλων συσκευών που υποστηρίζουν NFC αυξάνεται με μέτριο αλλά σταθερό ρυθμό.

Το BLE είναι επίσης κατάλληλο για βιομηχανικά περιβάλλοντα, τα οποία αποτελούν πρόκληση λόγω της εξασθένησης πολλαπλών διαδρομών και των ραδιοπαρεμβολών από μηχανήματα.

5. Embedded Systems, Microcontrollers και System-on-Chip (SoC)

5.1 Εισαγωγή στα ενσωματωμένα συστήματα

Ένα ενσωματωμένο σύστημα είναι ένα σύστημα υλικού υπολογιστή με μικροεπεξεργαστή και λογισμικό που έχει σχεδιαστεί για να εκτελεί μια ειδική λειτουργία, είτε ως ανεξάρτητο σύστημα είτε ως μέρος ενός μεγάλου συστήματος. Στον πυρήνα του βρίσκεται ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα σχεδιασμένο να εκτελεί υπολογισμούς για λειτουργίες πραγματικού χρόνου.

Οι πολυπλοκότητες κυμαίνονται από έναν μόνο μικροελεγκτή έως πολλαπλούς επεξεργαστές με συνδεδεμένα περιφερειακά και δίκτυα και από καμία διεπαφή χρήστη έως πολύπλοκες γραφικές διεπαφές χρήστη. Η πολυπλοκότητα ενός ενσωματωμένου συστήματος ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με την εργασία για την οποία έχει σχεδιαστεί.

Οι εφαρμογές ενσωματωμένων συστημάτων κυμαίνονται από ψηφιακά ρολόγια και μικροκύματα έως υβριδικά οχήματα και αεροναυπηγική. Το 98% του συνόλου των μικροεπεξεργαστών που κατασκευάζονται χρησιμοποιούνται σε ενσωματωμένα συστήματα.

5.2 Χαρακτηριστικά ενός ενσωματωμένου συστήματος

Μονολειτουργικό

Ένα ενσωματωμένο σύστημα εκτελεί συνήθως μια εξειδικευμένη λειτουργία και κάνει το ίδιο επανειλημμένα. Για παράδειγμα: Ένας βομβητής λειτουργεί πάντα ως βομβητής.

Στενά περιορισμένο

Όλα τα υπολογιστικά συστήματα έχουν περιορισμούς στις μετρικές σχεδιασμού, αλλά αυτοί σε ένα ενσωματωμένο σύστημα μπορεί να είναι ιδιαίτερα αυστηροί. Οι μετρικές σχεδιασμού είναι ένα μέτρο των χαρακτηριστικών μιας υλοποίησης, όπως το κόστος, το μέγεθος, η ισχύς και η απόδοσή της. Πρέπει να αποδίδει αρκετά γρήγορα ώστε να επεξεργάζεται δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και να καταναλώνει ελάχιστη ισχύ ώστε να παρατείνει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας.

Αντιδραστικός και πραγματικός χρόνος

Πολλά ενσωματωμένα συστήματα πρέπει να αντιδρούν συνεχώς στις αλλαγές στο περιβάλλον του συστήματος και να υπολογίζουν ορισμένα αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο χωρίς

καθυστέρηση. Για παράδειγμα ένας ελεγκτή ταχύτητας αυτοκινήτου παρακολουθεί συνεχώς και αντιδρά στους αισθητήρες ταχύτητας και πέδησης. Πρέπει να υπολογίζει επιταχύνσεις ή επιβραδύνσεις επανειλημμένα μέσα σε περιορισμένο χρονικό διάστημα. Ένας καθυστερημένος υπολογισμός μπορεί να οδηγήσει σε αποτυχία του ελέγχου του αυτοκινήτου.

Βασισμένα σε μικροεπεξεργαστές

Πρέπει να βασίζεται σε μικροεπεξεργαστή ή μικροελεγκτή.

Μνήμη

Πρέπει να διαθέτει μνήμη, καθώς το λογισμικό του ενσωματώνεται συνήθως σε ROM. Δεν χρειάζεται δευτερεύουσες μνήμες στον υπολογιστή.

Συνδεδεμένο

Πρέπει να διαθέτει συνδεδεμένα περιφερειακά για τη σύνδεση συσκευών εισόδου και εξόδου.

Συστήματα HW-SW

Το λογισμικό χρησιμοποιείται για περισσότερες δυνατότητες και ευελιξία. Το υλικό χρησιμοποιείται για την απόδοση και την ασφάλεια.

5.3 Βασική δομή ενός ενσωματωμένου συστήματος

Αισθητήρας

Μετράει το φυσικό μέγεθος και το μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα το οποίο μπορεί να διαβαστεί από έναν παρατηρητή ή από οποιοδήποτε ηλεκτρονικό όργανο, όπως ένας μετατροπέας A2D.

Ένας αισθητήρας αποθηκεύει τη μετρούμενη ποσότητα στη μνήμη.

Μετατροπέας A-D

Ένας μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό μετατρέπει το αναλογικό σήμα που στέλνει ο αισθητήρας σε ψηφιακό σήμα.

Επεξεργαστής & ASIC

Οι επεξεργαστές επεξεργάζονται τα δεδομένα για τη μέτρηση της εξόδου και τα αποθηκεύουν στη μνήμη.

Μετατροπέας D-A

Ένας μετατροπέας ψηφιακού σε αναλογικό μετατρέπει τα ψηφιακά δεδομένα που τροφοδοτούνται από τον επεξεργαστή σε αναλογικά δεδομένα

Actuator

Ένας actuator συγκρίνει την έξοδο που δίνει ο μετατροπέας D-A με την πραγματική (αναμενόμενη) έξοδο που είναι αποθηκευμένη σε αυτόν και αποθηκεύει την εγκεκριμένη έξοδο.

5.4 Είδη ενσωματωμένων συστημάτων

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ενσωματωμένων συστημάτων, οι οποίοι μπορούν να οριστούν με βάση τις απαιτήσεις τους σε απόδοση (μικρής, μεσαίας ή μεγάλης κλίμακας) ή με βάση τις λειτουργικές τους απαιτήσεις, όπως:

Κινητά ενσωματωμένα συστήματα

Σχεδιασμένα για να είναι μικρά και φορητά.

Ενσωματωμένα συστήματα δικτύου

Συνδεδεμένα σε δίκτυο για την παροχή εξόδου σε άλλα συστήματα.

Αυτόνομα ενσωματωμένα συστήματα

Δεν εξαρτώνται από ένα κεντρικό σύστημα.

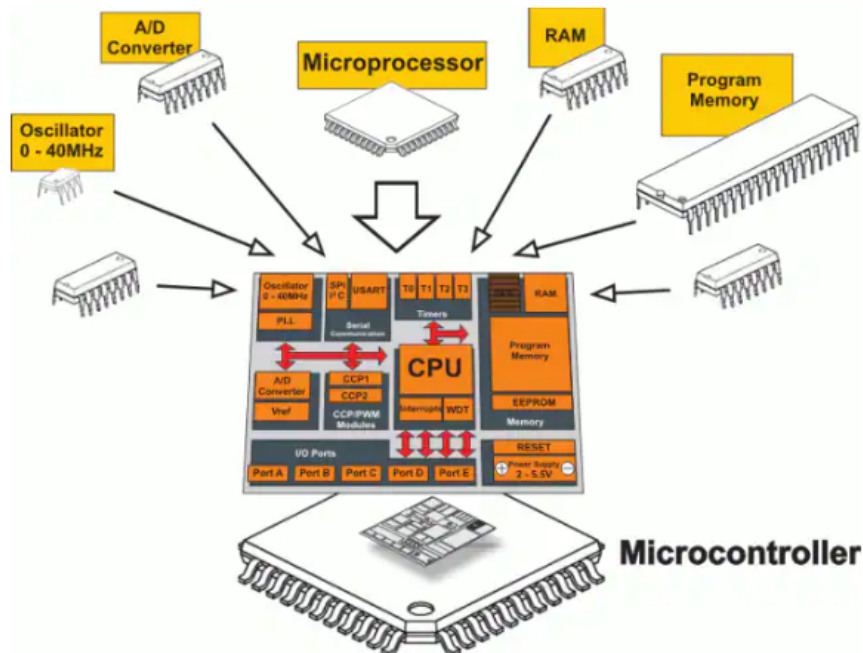
Ενσωματωμένα συστήματα πραγματικού χρόνου

Παροχή της απαιτούμενης εξόδου σε ένα καθορισμένο χρόνο. Αυτοί οι τύποι ενσωματωμένων συστημάτων είναι απαραίτητοι για ορισμένες ιατρικές, στρατιωτικές και βιομηχανικές συσκευές.

5.5 Microcontroller

Ο μικροελεγκτής είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο άλλων τμημάτων ενός ηλεκτρονικού συστήματος, συνήθως μέσω ενός μικροεπεξεργαστή, καποιας μνήμης και ορισμένων περιφερειακών συσκευών. Αυτές οι συσκευές είναι βελτιστοποιημένες για ενσωματωμένες εφαρμογές που απαιτούν τόσο επεξεργαστικές δυνατότητες όσο και ευέλικτη, ανταποκρινόμενη αλληλεπίδραση με ψηφιακά, αναλογικά ή ηλεκτρομηχανικά εξαρτήματα. Οι μικροελεγκτές λειτουργούν συνήθως σε χαμηλότερες ταχύτητες, περίπου στο εύρος από 1 MHz έως 200 MHz, και πρέπει να σχεδιάζονται ώστε να καταναλώνουν λιγότερη ισχύ, επειδή είναι ενσωματωμένοι μέσα σε άλλες συσκευές που μπορεί να έχουν μεγαλύτερη κατανάλωση ισχύος σε άλλους τομείς.

Ένας μικροελεγκτής μπορεί να θεωρηθεί ως ένας μικρός υπολογιστής, λόγω των βασικών συστατικών στο εσωτερικό του: η κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU), η Random-Access Memory (RAM), η μνήμη flash, το Serial Bus Interface, οι θύρες εισόδου/εξόδου (I/O Ports), και σε πολλές περιπτώσεις, η Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (EEPROM).



Εικόνα 22: Δομή ενός microcontroller

5.6 System-on-Chip

Ένα system-on-chip είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα που ενσωματώνει τα περισσότερα ή όλα τα στοιχεία ενός υπολογιστή ή άλλου ηλεκτρονικού συστήματος. Τα στοιχεία αυτά περιλαμβάνουν σχεδόν πάντα κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) στο chip, διεπαφές μνήμης, συσκευές εισόδου/εξόδου, διεπαφές εισόδου/εξόδου και δευτερεύουσες διεπαφές αποθήκευσης, συχνά μαζί με άλλα στοιχεία όπως radio modem και graphics processing unit (GPU) - όλα σε ένα μόνο υπόστρωμα ή μικροτσιπ. Τα SoC μπορεί να περιέχουν ψηφιακές, αλλά και αναλογικές, μικτού σήματος, και συχνά λειτουργίες επεξεργασίας σήματος ραδιοσυχνοτήτων (διαφορετικά μπορεί να θεωρηθεί σε διακριτό επεξεργαστή εφαρμογής). Τα SoCs έρχονται σε αντίθεση με την κοινή παραδοσιακή αρχιτεκτονική H/Y με βάση τη μητρική πλακέτα, η οποία διαχωρίζει τα εξαρτήματα με βάση τη λειτουργία τους και τα συνδέει μέσω μιας κεντρικής πλακέτας διασύνδεσης.

Σε γενικές γραμμές, υπάρχουν τρεις διακριτοί τύποι SoCs:

- Οι SoCs είναι χτισμένες γύρω από έναν μικροελεγκτή.
- SoCs χτισμένα γύρω από έναν μικροεπεξεργαστή, που συναντώνται συχνά σε κινητά τηλέφωνα.
- Εξειδικευμένα ολοκληρωμένα κυκλώματα ειδικών εφαρμογών SoCs σχεδιασμένα για συγκεκριμένες εφαρμογές που δεν εντάσσονται στις δύο παραπάνω κατηγορίες.

Η τοποθέτηση περισσότερων στοιχείων ενός υπολογιστικού συστήματος σε ένα ενιαίο κομμάτι πυριτίου μειώνει τις απαιτήσεις ισχύος, μειώνει το κόστος, αυξάνει την απόδοση και μειώνει το φυσικό μέγεθος. Όλα αυτά βοηθούν δραματικά στην προσπάθεια δημιουργίας ολοένα και πιο ισχυρών smartphones, tablet και φορητών υπολογιστών που καταναλώνουν λιγότερη μπαταρία.

Για παράδειγμα, τα τελευταία 14 χρόνια, η Apple έχει χρησιμοποιήσει SoCs στις σειρές iPhone και iPad. Αρχικά, χρησιμοποίησε SoCs με βάση την ARM που είχαν σχεδιαστεί από άλλες εταιρείες. Το 2010, η Apple παρουσίασε το A4 SoC, το οποίο ήταν το πρώτο iPhone SoC που σχεδιάστηκε από την Apple. Έκτοτε, η Apple επαναλαμβάνει τη σειρά A με μεγάλη επιτυχία. Τα SoC βοηθούν τα iPhone να καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια, ενώ παράλληλα

παραμένουν συμπαγή και γίνονται όλο και πιο ικανά. Άλλοι κατασκευαστές smartphone χρησιμοποιούν επίσης SoCs.

Μέχρι πρόσφατα, τα SoC εμφανίζονταν σπάνια σε επιτραπέζιους υπολογιστές. Το 2020, η Apple παρουσίασε το M1, το πρώτο της SoC για επιτραπέζιους και φορητούς υπολογιστές Mac. Το M1 συνδυάζει CPU, GPU, μνήμη και πολλά άλλα σε ένα κομμάτι πυριτίου. Το 2021, η Apple βελτίωσε το M1 με τα M1 Pro και M1 Max. Και τα τρία αυτά τσιπ δίνουν στους Mac εντυπωσιακές επιδόσεις, ενώ παράλληλα απορροφούν ενέργεια σε σχέση με την παραδοσιακή αρχιτεκτονική διακριτών μικροεπεξεργαστών που συναντάμε στους περισσότερους υπολογιστές.

Το Raspberry Pi 4, χρησιμοποιεί επίσης ένα σύστημα σε ένα τσιπ για τις βασικές λειτουργίες του, το οποίο διατηρεί το κόστος της συσκευής χαμηλό, ενώ παρέχει άφθονη ισχύ.



Εικόνα 23: Apple M1 SoC

6. Παρουσίαση βασικών περιφερειακών

6.1 CC2650 SensorTag

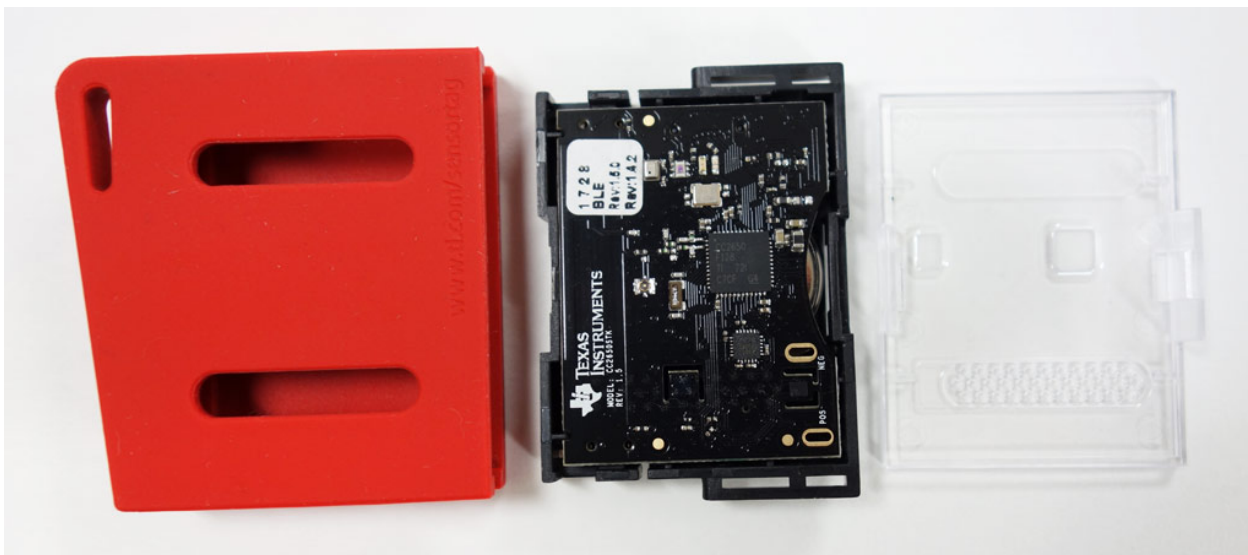
Το CC2650 SensorTag είναι ένα κιτ ανάπτυξης ασύρματων αισθητήρων που σχεδιάστηκε και παράγεται από την Texas Instruments. Πρόκειται για μια μικρή, τροφοδοτούμενη από μπαταρία (CR2032) συσκευή που περιέχει μια ποικιλία αισθητήρων και επιλογών ασύρματης συνδεσιμότητας.

Πιο συγκεκριμένα όπως λέει και το όνομά του αποτελείται από τον cc2650, έναν 32-bit, 2 GHz ARM Cortex M3, με 128KB flash μνήμη και 20 KB RAM.

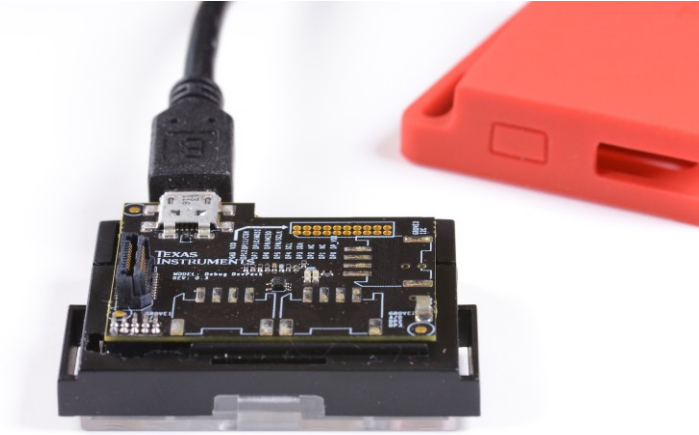
Ο SensorTag έχει 10 χαμηλής κατανάλωσης σένσορες οι οποίες είναι: αισθητήρα φωτεινότητας (OPT3001), αισθητήρα θερμοκρασίας (HDC1000), αισθητήρα infrared θερμοκρασίας (TMP007), επιταχυνσιόμετρο (), γυροσκόπιο (MPU-9250), μαγνητόμετρο (MK24), αισθητήρα πίεσης (BMP280), αισθητήρα υγρασίας (HDC1000), μικρόφωνο (SPK0833) και μαγνητικό αισθητήρα (MK24).

Επίσης ο SensorTag έχει 2 κουμπιά, ένα LED, έναν Buzzer και ένα DevPack Expansion Connector.

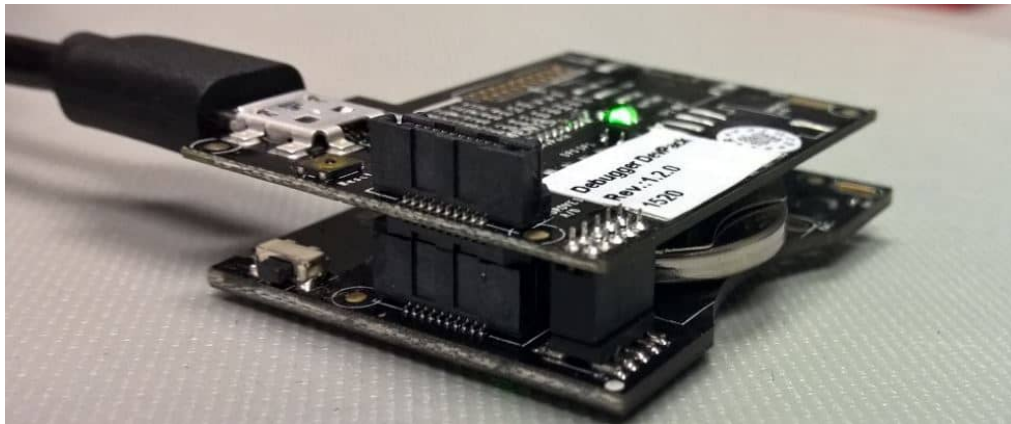
Υποστηρίζει 3 είδη ασύρματης επικοινωνίας: Bluetooth Low Energy, ZigBee και 6LoWPAN
Για να περάσουμε κώδικα στην πλακέτα συνδέουμε την CC-DEVPACK-DEBUG πλακέτα (αποτελείται από έναν XDS 110) στον SensorTag μέσω της JTAG διεπαφής τους και τον XDS στον υπολογιστή μέσω USB για να περάσουμε το .hex αρχείο που έχει δημιουργηθεί στον Code Composer Studio



Εικόνα 24: CC2650 SensorTag



Εικόνα 25: CC-DEVPACK-DEBUG



Εικόνα 26: Ο SensorTag συνδεδεμένος με τον CC-DEVPACK-DEBUG

6.2 ESP32 Thing

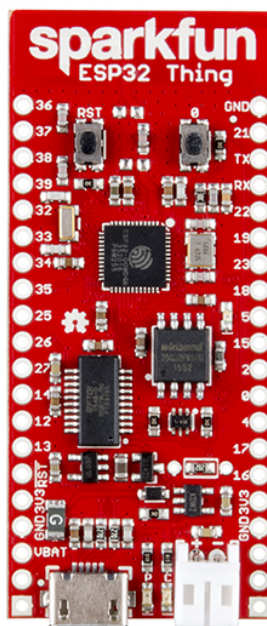
Ο ESP32 Thing έχει κατασκευαστεί από την Sparkfun και είναι συμβατό με Wi-Fi και Bluetooth Low Energy. Ο πυρήνας του αποτελείται από έναν διπύρηνο Tensilica LX6, συχνότητας ρολογιού μέχρι 240 MHz. Διαθέτει 4MB flash μνήμης, 520KB SRAM. Επίσης διαθέτει Hardware accelerated encryption (AES, SHA2, ECC, RSA-4096) και Real Time Clock (RTC).

Το ESP32 Thing περιλαμβάνει έναν FTDI FT231x, το οποίο μετατρέπει το USB σε σειριακό και επιτρέπει τον προγραμματισμό και την επικοινωνία με το ESP32 μέσω υπολογιστή. Διαθέτει επίσης έναν φορτιστή μπαταρίας πολυμερούς λιθίου (LiPo), ώστε το ESP32 να μπορεί να είναι

ασύρματο. Επιπλέον, η πλακέτα περιλαμβάνει 3 LEDs (το ένα προγραμματιζόμενο), 2 κουμπιά (το ένα προγραμματιζόμενο) και 32 GPIOs.

Απο περιφερειακά και I/O, η πλακέτα έχει: 18 ADC κανάλια, 3 SPI, 3 UART, 2 I2C, 16 PWM εξόδους, 2 DAC και 2 I2S. Καθώς η πλακέτα υποστηρίζει pin multiplexing, τα παραπάνω περιφερειακά μπορούν να συνδεθούν σχεδόν σε οποιοδήποτε από τα 28 I/O pin.

Το ESP32 Thing προγραμματίζεται μέσω του Arduino IDE εφόσον έχουν γίνει πρώτα εγκατάσταση οι απαραίτητες βιβλιοθήκες.



Εικόνα 27: ESP32 Thing

7. Σχεδίαση και ανάπτυξη συστήματος εντοπισμού σχετικής θέσης

7.1 CC2650 SensorTag

Τα SensorTags προγραμματίστηκαν ως BLE broadcasters (καθώς δεν χρειάζεται να συνδεθούν σε έναν master) με σκοπό να στέλνουν ένα μήνυμα κάθε 100ms ώστε το ESP να λαμβάνει το RSSI

του. Η Texas Instruments όμως δεν έχει κώδικα broadcaster για τον SensorTag γενικά και ούτε ειδικά για να στέλνεται μήνυμα κάθε 100ms. Για να λυθεί αυτό το θέμα, έγινε port του simple_broadcaster παραδειγματος του cc2650em στην δικιά μας πλακετα μέσω του Code Composer Studio. Οι αλλαγές που έγιναν για να δουλέψει το port ήταν οι εξής:

1. Αλλαγή του CC2650DK_7ID σε CC2650STK στα predefined symbols
2. Αντικατάσταση του cc26xx_app.cmd με το cc26xx_app_oad.cmd στα project files και στο link order
3. Προσθήκη των NO_ROM=1,OAD_IMG_E=1 στο Configuration script arguments που βρίσκεται στα Advanced options του XDCtools

Για να κάνει η συσκευή broadcast καθε 100ms για πάντα πρέπει να αλλαχτούν κάποιες γραμμές σε δύο αρχεια του simple_periperal. Αυτες είναι οι εξής:

broadcaster.c:

Γραμμή 148 -> Αντικατάσταση του GAP_ADTYPE_FLAGS_BREDR_NOT_SUPPORTED με το GAP_ADTYPE_FLAGS_GENERAL

simple_broadcaster.c:

Γραμμή 187-> Αντικατάσταση του GAP_ADTYPE_FLAGS_BREDR_NOT_SUPPORTED με το GAP_ADTYPE_FLAGS_GENERAL

Γραμμές 357,358-> Σχολιασμό/διαγραφή των δύο γραμμων

Αυτές οι αλλαγές έγιναν γιατί στο general discoverable mode η συσκευή κάνει broadcast για πάντα ενώ στο limited discoverable mode η συσκευή κάνει broadcast για λίγο και μετά σταματάει.

Ο χρόνος που θα κάνουν οι συσκευές broadcast ορίζεται στο simple_broadcast.c, στο #define DEFAULT_ADVERTISING_INTERVAL

7.2 ESP32 Thing

Σκοπός του ESP32 είναι να μαζεύει τα RSSI απο τα SensorTag, να υπολογίζει ποια συσκευή είναι πιο κοντά και να ανεβάζει τα αποτελέσματα σε έναν mqtt server. Επειδή όμως το RSSI είναι ασταθές και υπάρχουν πολλοί παράγοντες που μπορούν να βοηθήσουν στην αστάθεια του θα πρέπει να αναπτυχθεί ένας αλγόριθμος φιλτραρίσματος ώστε να προσεγγίσουμε όσο καλύτερα γίνεται την σωστή τιμή.

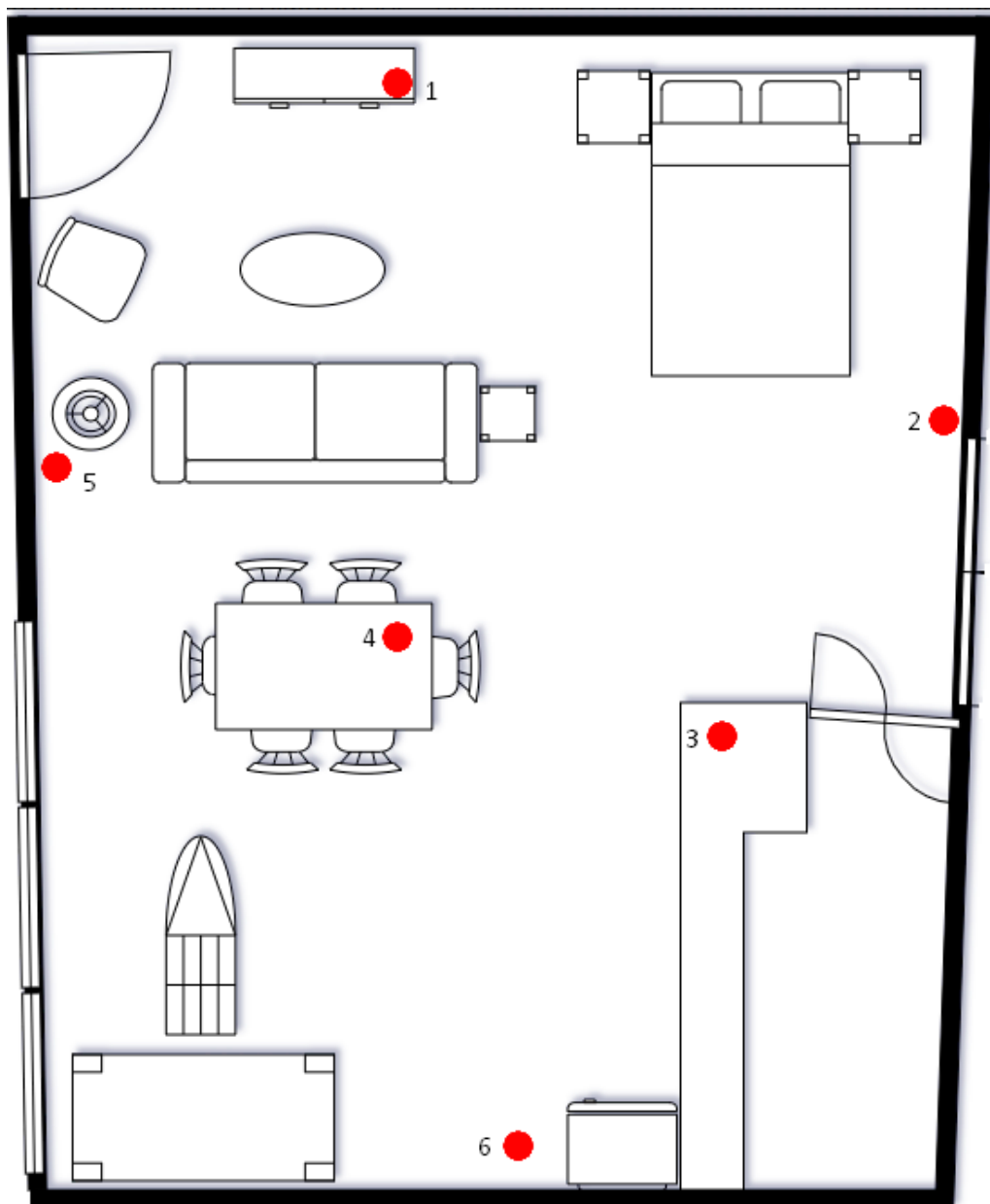
Για την παρούσα πτυχιακή αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος ο οποίος αποθηκεύει σε έναν πίνακα(στην άφιξη μιας νέας RSSI τιμής) τις τελευταίες 5 RSSI τιμές της συσκευής, τις πολλαπλασιάζει με έναν συντελεστή βαρύτητας που πάει αναλόγως με το πόσο πρόσφατη είναι η τιμή. Δηλαδή η νεότερη τιμή πολλαπλασιάζεται με το 0.35, η προηγούμενη με το 0.3, και ούτω καθεξής. Οι συντελεστες είναι οι εξής: 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.35 (η πρόσθεση των συντελεστών πρέπει να κάνει 1). Το άθροισμα των τελικών τιμών (τελικη τιμή = τιμη x συντελεστής βαρύτητας) προστίθεται σε έναν καινούργιο πίνακα 5 τιμών που σε αυτόν υπολογίζεται η διάμεσος όπου είναι και η τιμή που θα συγκριθεί με τις τιμες των υπόλοιπων συσκευών για το ποια είναι πιο κοντά. Ο δεύτερος πίνακας όπως και ο πρώτος με την άφιξη μιας νέας τιμής “διώχνει” την παλαιότερη τιμή ώστε να υπάρχει μια δυναμική και συνεχόμενη ανανέωση τιμών(ουσιαστικά χρησιμοποιείται η μέθοδος FIFO). Για να μην στέλνεται κάθε 100ms περίπου η καινούργια κοντινότερη συσκευή, γίνεται ένας έλεγχος για τον αν η καινούργια κοντινότερη συσκευή ήταν η προηγούμενη κοντινότερη συσκευή, αν ήταν, δεν στέλνεται στον mqtt νέο μήνυμα, ενώ αν δεν ήταν η ίδια, στέλνεται στον mqtt ένα μήνυμα με την νέα κοντινότερη συσκευή.

Επίσης γίνεται έλεγχος για τον αν κάποιος σένσορας έχει σταματήσει να στέλνει. Αν ένας σένσορας έχει σταματήσει να στέλνει για τον οποιοδήποτε λόγο, τότε μηδενίζεται η τελευταία του τιμή ώστε να μην εμποδίζεται η ομαλή λειτουργία του υπόλοιπου αλγορίθμου.

8. Αξιολόγηση συστήματος

Η αξιολόγηση του συστήματος έγινε στο AAL House του ESDA Lab. Η διάταξη του έξυπνου σπιτιού φαίνεται στην εικόνα 28 μαζί με τις τοποθεσίες των SensorTags. Οι σένσορες είναι οι εξής:

- 1: Τηλεόραση
- 2: Πόρτα
- 3: Κουζίνα
- 4: Τραπεζαρία
- 5: Εικόνες
- 6: Βάζα



Εικόνα 28: Διάταξη χώρου και θέσεις των SensorTags

Τα τεστ που έγιναν ήταν τα εξής:

Τεστ 1: Μετρήσεις με τα SensorTag να έχουν line of sight με το ESP32 και να είναι στο ίδιο ύψος.

Τεστ 2: Μετρήσεις με τα SensorTag να έχουν line of sight και το ESP32 να είναι πιο χαμηλά κατά 0,5m από τον πομπό.

Τεστ 3: Μετρήσεις με τα SensorTag να έχουν line of sight και το ESP32 να είναι πιο ψηλά κατά 0,5m από τον πομπό.

Τεστ 4: Τοποθέτηση στατικού εμποδίου (καρέκλα) στο μισό της απόστασης κάθε μέτρησης.

Τεστ 5: Ελλειπτικές κινήσεις από ένα άτομο ανάμεσα στα SensorTag και το ESP32.

Ανάλυση παρακάτω πινάκων:

- Τεστ: κάθε πίνακας είναι ένα διαφορετικό τεστ. Τα 1.1, 1.2 κοκ αναδεικνύουν τα διαφορετικά σενάρια που εκτελέστηκαν (αλλαγή θέσης του ESP32 στον χώρο). Τα 1.1 - 3.1 - 4.1 για παράδειγμα είναι ίδια σενάρια με διαφορετικό τεστ, όπως είναι και τα 1.2 - 3.2 - 4.2. Το ίδιο ισχύει και για τα υπόλοιπα.
- Απόσταση ESP32 απο (σε cm): Αναγράφεται η απόσταση του ESP32 από τους σένσορες σε εκατοστά. Οι “-” δείχνουν ότι ο σένσορας είναι αρκετά μακριά, οπότε δεν είναι υπολογίσιμος.
- Κοντινότερος σένσορας: Ο σένσορας που πρέπει να εμφανίσει το ESP32 ως κοντινότερο.
- Για κάθε σενάριο του κάθε τεστ πάρθηκαν 100 συνεχόμενες μετρήσεις.
- Ποσοστό επιτυχίας: Από τις 100 μετρήσεις, πόσες ήταν σωστές.
- Ποσοστό αποτυχίας: Από τις 100 μετρήσεις, πόσες ήταν λάθος.
- Ανάλυση αποτυχίας: Ποιοί σένσορες εμφανίστηκαν αντί του κοντινότερου και σε τι ποσοστό.

Πίνακας μετρήσεων για το τεστ 1:

Τεστ	Απόσταση ESP32 απο (σε cm):							Ποσοστό επιτυχίας	Ποσοστό αποτυχίας	Ανάλυση αποτυχίας
	Τηλεόραση	Πόρτα	Κουζίνα	Τραπεζαρία	Βάζα	Εικόνες	Κοντινότερος σένσορας			

								Σ		
1.1	-	65	75	-	-	-	Πόρτα	100%	0%	
1.2	80	100	-	-	-	-	Τηλεόραση	100%	0%	
1.3	70	120	140	110	-	-	Τηλεόραση	100%	0%	
1.4	90	-	-	95	-	-	Τηλεόραση	100%	0%	
1.5	100	110	110	115	-	-	Τηλεόραση	100%	0%	
1.6	110	100	90	100	-	-	Κουζίνα	100%	0%	
1.7	-	-	70	65	-	-	Τραπεζαρία	100%	0%	
1.8	-	-	-	65	-	70	Τραπεζαρία	26%	74%	Εικόνες 74%
1.9	-	-	70	70	65	-	Βάζα	100%	0%	
1.10	70	-	-	-	-	80	Τηλεόραση	100%	0%	

Για τα τεστ 2 και 3 οι μετρήσεις που πάρθηκαν ήταν παρόμοιες με αυτές του τεστ 1 οπότε δεν θα υπάρξει ξεχωριστός πίνακας για αυτές

Πίνακας μετρήσεων για το τεστ 4:

Τεστ	Απόσταση ESP32 απο (σε cm):						Κοντινότερος σένσορας	Ποσοστό επιτυχίας	Ποσοστό αποτυχίας	Ανάλυση αποτυχίας
	Τηλεόραση	Πόρτα	Κουζίνα	Τραπεζαρία	Βάζα	Εικόνες				
4.1	-	65	75	-	-	-	Πόρτα	100%	0%	
4.2	80	100	-	-	-	-	Τηλεόραση	100%	0%	
4.3	70	140	-	-	-	-	Τηλεόραση	100%	0%	
4.4	90	-	-	95	-	-	Τραπεζαρία	100%	0%	
4.5	100	110	110	115	-	-	Τηλεόραση	100%	0%	
4.6	110	100	90	100	-	-	Κουζίνα	92%	8%	Πόρτα 8%

4.7	-	-	70	65	-	110	Τραπεζαρία	99%	1%	Εικόνες 1%
4.8	-	-	-	65	-	70	Τραπεζαρία	44%	56%	Εικόνες 56%
4.9	-	-	70	70	65	-	Βάζα	100%	0%	
4.10	70	-	-	-	-	80	Τηλεόραση	100%	0%	

Πίνακας μετρήσεων για το τεστ 5:

Τεστ	Απόσταση ESP32 απο (σε cm):						Κοντινότερος σένσορας	Ποσοστό επιτυχίας	Ποσοστό αποτυχίας	Ανάλυση αποτυχίας
	Τηλε όρα ση	Πόρ τα	Κου ζίνα	Τρα πεζα ρία	Βάζα	Εικόνες				
5.1	-	65	75	-	-	-	Πόρτα	100%	0%	
5.2	75	100	-	-	-	-	Τηλεόραση	100%	0%	
5.3	70	140	-	-	-	-	Τηλεόραση	100%	0%	
5.4	90	-	-	95	-	-	Τηλεόραση	100%	0%	
5.5	100	110	110	115	-	-	Τηλεόραση	75%	25%	Πόρτα 16%/ Κουζίνα 9%
5.6	110	100	90	100	-	-	Κουζίνα	100%	100%	
5.7	-	-	70	65	-	-	Τραπεζαρία	100%	100%	
5.8	-	-	-	65	-	70	Τραπεζαρία	75%	25%	Εικόνες 25%
5.9	-	-	70	70	65	-	Βάζα	100%	100%	
5.10	70	-	-	-	-	80	Τηλεόραση	100%	100%	

Οι μετρήσεις πάρθηκαν μέσω ενός python script, όπου έκανε subscribe στο mqtt topic που έστειλε το ESP32 και τράβαγε τα δεδομένα.

9. Συμπεράσματα και μελλοντικές επεκτάσεις

Συμπεράσματα:

Ολοκληρώνοντας την παρούσα πτυχιακή τα αποτελέσματα δείχνουν ότι μέσω RSSI μπορεί να αναπτυχθεί ένα σύστημα εντοπισμού θέσης, που έχει κάποιες ανακρίβειες, αλλά στο μεγαλύτερο ποσοστό του είναι ακριβές. Περιθώρια βελτίωσης υπάρχουν και μπορούν να επιλεγθούν πολλά μονοπάτια για να επεκταθεί το υπάρχον σύστημα και να γίνει ακόμα πιο ακριβές.

Μελλοντικές επεκτάσεις:

Αλλαγή πρωτοκόλλου επικοινωνίας σε ένα που να δουλεύει στα 900MHz καθώς έχουν μεγαλύτερη εμβέλεια και διαπερνούν τα εμπόδια πιο εύκολα.

Multi-core processing. Χρησιμοποίηση και των δύο πυρήνων του esp32 για την επεξεργασία των διπλάσιων μηνυμάτων την ίδια χρονική στιγμή. Αυτό θα ήταν χρήσιμο στην περίπτωση που δύο σένσορες στείλουν ταυτόχρονα δεδομένα

Αναβάθμιση του συστήματος σε absolute localization. Αυτό θα επιτρέψει την μεγαλύτερη ακρίβεια στην εύρεση θέσης ενός αντικειμένου.

Αν η αναβάθμιση του συστήματος σε absolute localization δεν είναι εφικτή, τότε η χρήση κάποιας άλλης μονάδας απόστασης, εκτός του RSSI, θα μπορούσε να προσφέρει πιο σταθερές και ακριβείς μετρήσεις

Πιθανώς η υλοποίηση ενός πιο περίπλοκου αλγόριθμου φιλτραρίσματος, για παράδειγμα με χρησιμοποίηση του Kalman filter. Το αν θα υπάρξει όντως βελτίωση όμως είναι άγνωστο αν δε γίνουν δοκιμές.

10. Βιβλιογραφία

A REVIEW ON INDOOR LOCALIZATION WITH INTERNET OF THINGS -

C.Basri, A.Elkhadimi

A Survey of Indoor Localization Systems and Technologies - Faheem Zafari, Athanasios Gkelias,
Kin K. Leung

A Survey of Localization Systems in Internet of Things - Fekher Khelifi, Abbas Bradai,
Abderrahim Benslimane, Priyanka Rawat, Mohamed Atri

Bluetooth – Inigo Puy, Hochschule Furtwangen University

Honkanen, M.; Lappetelainen, A.; Kivekas, K. - Low end extension for Bluetooth

Wikipedia – Bluetooth Low Energy

Overview and Evaluation of Bluetooth Low Energy: An Emerging Low-Power Wireless
Technology - Carles Gomez, Joaquim Oller and Josep Paradells

Embedded Systems - Heavy.ai

Embedded Systems - tutorialspoint

Embedded Systems Explained - reboundeu

What Is a Microcontroller? The Defining Characteristics and Architecture of a Common
Component - allaboutcircuits

Introduction to Microcontrollers - arrow

System on a chip - Wikipedia

What is a System on a chip (SOC)? - How-To Geek

Wireless sensor network - Wikipedia

A Comprehensive Survey on Real-Time Applications of WSN - Ahmad Ali, Yu Ming, Sagnik Chakraborty and Saima Iram

A review paper on wireless sensor network techniques in Internet of Things (IoT) - Kamal Gulatia, Raja Sarath Kumar Boddu, Dhiraj Kapila, Sunil L. Bangare, Neeraj Chandnani, G. Saravanan

CC2650 - Texas Instruments

TIDC-CC2650STK-SENSORTAG - Texas Instruments

Multi-Standard CC2650 SensorTag Design Guide - Texas Instruments

SparkFun ESP32 Thing - sparkfun

ESP32 Thing Hookup Guide - sparkfun

SparkFun ESP32 Thing - digikey