



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ
ΣΤΗ ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΗ

**Εντοπισμός χρήστη σε εσωτερικό χώρο με χρήση φορητών και
φορετών συσκευών**

Παπαδόπουλος Γεώργιος

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Υπεύθυνος
Σπάχος Πέτρος
Επίκουρος Καθηγητής

Λαμία, 2024



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ
ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΗ**

**Εντοπισμός χρήστη σε εσωτερικό χώρο με χρήση φορητών και
φορετών συσκευών**

Παπαδόπουλος Γεώργιος

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Επιβλέπων/σα
Σπάχος Πέτρος
Επίκουρος Καθηγητής**

Λαμία, 2024

Με ατομική μου ευθύνη και γνωρίζοντας τις κυρώσεις ⁽¹⁾, που προβλέπονται από της διατάξεις της παρ. 6 του άρθρου 22 του Ν. 1599/1986, δηλώνω ότι:

1. Δεν παραθέτω κομμάτια βιβλίων ή άρθρων ή εργασιών άλλων αυτολεξεί **χωρίς να τα περικλείω σε εισαγωγικά** και χωρίς να αναφέρω το συγγραφέα, τη χρονολογία, τη σελίδα. Η αυτολεξεί παράθεση χωρίς εισαγωγικά χωρίς αναφορά στην πηγή, είναι λογοκλοπή. Πέραν της αυτολεξεί παράθεσης, λογοκλοπή θεωρείται και η παράφραση εδαφίων από έργα άλλων, συμπεριλαμβανομένων και έργων συμφοιτητών μου, καθώς και η παράθεση στοιχείων που άλλοι συνέλεξαν ή επεξεργάστηκαν, χωρίς αναφορά στην πηγή. Αναφέρω πάντοτε με πληρότητα την πηγή κάτω από τον πίνακα ή σχέδιο, όπως στα παραθέματα.
2. Δέχομαι ότι η αυτολεξεί **παράθεση χωρίς εισαγωγικά**, ακόμα κι αν συνοδεύεται από αναφορά στην πηγή σε κάποιο άλλο σημείο του κειμένου ή στο τέλος του, είναι αντιγραφή. Η αναφορά στην πηγή στο τέλος π.χ. μιας παραγράφου ή μιας σελίδας, δεν δικαιολογεί συρραφή εδαφίων έργου άλλου συγγραφέα, έστω και παραφρασμένων, και παρουσίασή τους ως δική μου εργασία.
3. Δέχομαι ότι υπάρχει επίσης περιορισμός στο μέγεθος και στη συχνότητα των παραθεμάτων που μπορώ να εντάξω στην εργασία μου εντός εισαγωγικών. Κάθε μεγάλο παράθεμα (π.χ. σε πίνακα ή πλαίσιο, κλπ), προϋποθέτει ειδικές ρυθμίσεις, και όταν δημοσιεύεται προϋποθέτει την άδεια του συγγραφέα ή του εκδότη. Το ίδιο και οι πίνακες και τα σχέδια
4. Δέχομαι όλες τις συνέπειες σε περίπτωση λογοκλοπής ή αντιγραφής.

Ημερομηνία: 6/9/2024

Ο – Η Δηλ.

(1) «Όποιος εν γνώσει του δηλώνει ψευδή γεγονότα ή αρνείται ή αποκρύπτει τα αληθινά με έγγραφη υπεύθυνη δήλωση του άρθρου 8 παρ. 4 Ν. 1599/1986 τιμωρείται με φυλάκιση τουλάχιστον τριών μηνών. Εάν ο υπαίτιος αυτών των πράξεων σκόπευε να προσπορίσει στον εαυτόν του ή σε άλλον περιουσιακό όφελος βλάπτοντας τρίτον ή σκόπευε να βλάψει άλλον, τιμωρείται με κάθειρξη μέχρι 10 ετών.

**Εντοπισμός χρήστη σε εσωτερικό χώρο με χρήση φορητών και
φορετών συσκευών**

Παπαδόπουλος Γεώργιος

Τριμελής Επιτροπή:

Ονοματεπώνυμο, Βαθμίδα(επιβλέπων/σα)

Ονοματεπώνυμο, Βαθμίδα.....

Ονοματεπώνυμο, Βαθμίδα.....

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Πέτρο Σπάχο, Επίκουρο Καθηγητή του τμήματος Πληροφορικής με εφαρμογές στην βιοϊατρική, για την καθοδήγηση που μου προσέφερε καθώς και την ευκαιρία παρούσα πτυχιακή εργασία να αποτελεί πλέον ερευνητικό κείμενο στον οργανισμό IEEE, επιπλέον τον ευχαριστώ για το χρόνο που διέθεσε στα πλαίσια εκπόνησης της ερευνητικής εργασίας δίνοντας μου χρήσιμες συμβουλές και οδηγίες για την ολοκλήρωση της. Στο ίδιο πλαίσιο ευγνωμοσύνης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συμμετείχαν στην πειραματική διαδικασία πρακτικά, καθώς και ψυχικά (βοήθεια και παραινέσεις) για την ολοκλήρωση της εργασίας μου.

Περίληψη

Οι υπηρεσίες εσωτερικού εντοπισμού και παρακολούθησης είναι απαραίτητες για πολλές δημοφιλείς εργασίες, από την παρακολούθηση περιουσιακών στοιχείων έως το μάρκετινγκ βάσει τοποθεσίες. Η χρήση συσκευών Internet of Things (IoT) σε αυτές τις υπηρεσίες έχει αυξηθεί λόγω του χαμηλού κόστους και της ευκολίας εγκατάστασης τους. Ωστόσο, οι εσωτερικές υπηρεσίες παρουσιάζουν σημαντικές προκλήσεις λόγω της έλλειψης σημάτων GPS, καθώς και της πολυπλοκότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος. Εναλλακτικές προσεγγίσεις, κυρίως συμπεριλαμβανομένων των ασυρμάτων τεχνολογιών, πρέπει να χρησιμοποιηθούν. Σε αυτή την εργασία εξετάζουμε τη δυνατότητα χρήσης εμπορικά διαθέσιμων φορετών συσκευών (Commercially available Wearable IoT devices) για εσωτερικό εντοπισμό. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούμε έξυπνα ρολόγια (Smartwatches) και εξετάζουμε την απόδοση του Wi-Fi και του Bluetooth Low Energy (BLE) για εσωτερικό εντοπισμό. Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα, το Bluetooth Low Energy ξεπέρασε το Wi-Fi όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση, ενώ το Wi-Fi, από την άλλη πλευρά, έδειξε ελαφρώς καλύτερη ακρίβεια σε συνθήκες ευθείας οπτικής επαφής (Line of Sight conditions).

Λέξεις κλειδιά: Εντοπισμός, παρακολούθηση, έξυπνα ρολόγια, ασύρματες τεχνολογίες, διαδίκτυο των πραγμάτων.

Abstract

Indoor localization and tracking services are necessary for several popular applications from asset monitoring to location-based marketing. The use of Internet of Things (IoT) devices in those services has increased due to their low cost and easy of deployment. However, indoor services pose significant challenges due to the lack of GPS signals as well as the complexity of the indoor environment. Alternative approaches, mainly including wireless technologies, should be used. In this work, we examine the feasibility of using commercially available wearable IoT devices for indoor tracking. Specifically, we use smartwatches, and we examine the performance of Wi-Fi and Bluetooth Low Energy (BLE) for indoor tracking. According to experimental results, BLE outperformed Wi-Fi in terms of energy efficiency while Wi-Fi, on the other hand, demonstrated a slightly better accuracy in Line-of-Sight conditions.

Key Words: Localization, tracking, smartwatches, wireless, Internet of Things.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	3
Περίληψη	4
Abstract	4
Κατάλογος Συντομογραφιών	8
Κατάλογος Γραφημάτων	9
Κεφάλαιο 1	10
Εισαγωγή.....	10
Ο ρόλος των φορητών συσκευών στην καθημερινή ζωή	10
Εσωτερική παρακολούθηση μέσω φορητών συσκευών	11
Σύγκριση Wi-Fi και Bluetooth Low Energy για εσωτερικό Εντοπισμό.....	12
Πειραματική μελέτη για την αξιολόγηση των τεχνολογιών Wi-Fi και Bluetooth Low Energy.....	12
Συνεισφορές της εργασίας	12
Κεφάλαιο 2	13
Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	13
Ασύρματες Τεχνολογίες.....	15
Τεχνικές Εντοπισμού	16
Τεχνικές Φιλτραρίσματος του Σήματος.....	17
Κεφάλαιο 3	18
Επισκόπηση συστήματος	18
Λίστα συσκευών και προδιαγραφές.....	18
Ανάπτυξη Android εφαρμογών.....	19
Υπολογισμός απόστασης μέσω RSSI	20
Τεχνικές φιλτραρίσματος.....	22
Κεφάλαιο 4	26
Πειραματική Διαδικασία.....	26
Πειραματικό Περιβάλλον	26
Κατανάλωση Ενέργειας	26
Γραμμή Ορατότητας και Μη Γραμμή Ορατότητας	27
Κεφάλαιο 5	28
Αποτελέσματα και Συζήτηση	28
Ακατέργαστες τιμές	28
Φιλτράρισμα Δεδομένων	28
Κεφάλαιο 6	33

Συμπεράσματα	33
Πηγές.....	35

Κατάλογος Συντομογραφιών

GPS	Παγκόσμιο σύστημα Εντοπισμού Θέσης
RFID	Αναγνώριση μέσω Ραδιοσυχνοτήτων
BLE	Bluetooth Χαμηλής Ενέργειας
LOS	Οπτική Επαφή
NLOS	Μη Οπτική Επαφή
P3CT	Εφαρμογή Ιδιωτικής Ιχνηλάτησης Επαφών
IoT	Διαδίκτυο των Πραγμάτων
IEEE	Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών
DBm	Decibel-milliwatt
RSS	Ισχύς Σήματος
KNN	Κ Πλησιέστεροι Γείτονες
API	Διεπαφή Προγραμματισμού Εφαρμογών
WAP	Ασύρματο Σημείο Πρόσβασης
T.μ	Τετραγωνικό μέτρο

Κατάλογος Γραφημάτων

Σχήμα 1: Path-loss model για Wi-Fi.....	21
Σχήμα 2: Path-loss model για BLE.....	21
Σχήμα 3: Πειραματικά σενάρια.....	27
Σχήμα 4: Πειραματικά αποτελέσματα.....	30
Σχήμα 5: Συμπεριφορά τεχνικών φιλτραρίσματος σε συνθήκες NLOS χρησιμοποιώντας BLE.....	31
Σχήμα 6: Συμπεριφορά τεχνικών φιλτραρίσματος σε συνθήκες NLOS χρησιμοποιώντας Wi-Fi.....	32

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Ο εσωτερικός εντοπισμός και η παρακολούθηση αντικειμένων ή ατόμων σε εσωτερικούς χώρους, είναι ένα πεδίο που παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον και σημαντικές προκλήσεις. Σε αντίθεση με τον εξωτερικό χώρο, όπου η τεχνολογία του GPS χρησιμοποιείται ευρέως για τον ακριβή εντοπισμό θέσης, στους εσωτερικούς χώρους δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά. Αυτό συμβαίνει διότι τα σήματα GPS δεν διαπερνούν αποτελεσματικά τοίχους, οροφές ή άλλα εμπόδια που υπάρχουν σε κλειστά περιβάλλοντα, με αποτέλεσμα να είναι αναξιόπιστα ή ακόμη και ανύπαρκτα σε ακραίες συνθήκες.

Η έλλειψη αυτής της δυνατότητας ακριβούς εντοπισμού έχει δημιουργήσει την ανάγκη για ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και μεθόδων που θα μπορούσαν να προσφέρουν λύσεις σε αυτό το πρόβλημα. Η παρακολούθηση θέσης και κίνησης σε εσωτερικού χώρους είναι εξαιρετικά χρήσιμη σε πολλές εφαρμογές, όπως η διαχείριση αποθεμάτων σε αποθήκες, η παρακολούθηση κίνησης των ανθρώπων σε εμπορικά κέντρα ή μουσεία, καθώς και η παροχή κατευθύνσεων σε χρήστες φορητών ή φορετών συσκευών. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε υπηρεσίες υγείας για την παρακολούθηση ασθενών, τη βελτίωση της ασφάλειας σε κτίρια ή ακόμα και την καθοδήγηση των επισκεπτών σε μεγάλες εγκαταστάσεις.

Προκειμένου να αντιμετωπισθούν οι προκλήσεις αυτές που παρουσιάζει η έλλειψη GPS, έχουν αναπτυχθεί εναλλακτικές εφαρμογές για εσωτερικό εντοπισμό με την χρήση διαφορετικών τεχνολογιών, όπως το Wi-Fi, το Bluetooth Low Energy, η τεχνολογία RFID και η υπερηχητική τεχνολογία. Κάθε μία από αυτές τις τεχνολογίες προσφέρει διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα όσον αφορά την ακρίβεια, την ενεργειακή απόδοση, την πολυπλοκότητα εγκατάστασης και το κόστος.

Συνοπτικά, ο εσωτερικός εντοπισμός αποτελεί ένα πεδίο τεχνολογικής καινοτομίας που προσπαθεί να γεφυρώσει το κενό που αφήνει το GPS στους εσωτερικούς χώρους, προσφέροντας νέες δυνατότητες και λύσεις για ποικίλες εφαρμογές και κλάδους.

Οι φορητές συσκευές, όπως και τα έξυπνα ρολόγια, οι αισθητήρες παρακολούθησης υγείας, και άλλα wearable τεχνολογικά προϊόντα, έχουν αναμφίβολα επιφέρει σημαντικές αλλαγές στην καθημερινότητα μας. Καθώς η τεχνολογία συνεχώς, εξελίσσεται, οι συσκευές αυτές δεν περιορίζονται πλέον σε απλές λειτουργίες, όπως η εμφάνιση της ώρας ή η καταγραφή του καρδιακού παλμού, αλλά μπορούν να κάνουν πολύ περισσότερα. Έχουν την δυνατότητα να συνδεθούν με άλλες συσκευές, να συλλέξουν και να αναλύσουν δεδομένα, να παράσχουν εξατομικευμένες υπηρεσίες και να βελτιώσουν πολλές πτυχές της καθημερινής ζωής. Αυτές οι συσκευές έχουν γίνει αναπόσπαστο κομμάτι του σύγχρονου τρόπου ζωής, επηρεάζοντας την επικοινωνία, την υγεία, την ψυχαγωγία και άλλες καθημερινές δραστηριότητες.

Ο ρόλος των φορητών συσκευών στην καθημερινή ζωή

Η ανάπτυξη φορητών συσκευών άλλαξε τον τρόπο που αλληλοεπιδρούμε με την τεχνολογία και, κατά συνέπεια, με το περιβάλλον μας. Για παράδειγμα, τα έξυπνα ρολόγια (smartwatches) επιτρέπουν την εύκολη διαχείριση εισερχομένων κλήσεων και μηνυμάτων χωρίς την ανάγκη άμεσης πρόσβασης στο κινητό τηλέφωνο. Οι αισθητήρες παρακολούθησης υγείας μπορούν να καταγράψουν δεδομένα όπως ο καρδιακός

παλμός, ο αριθμός βημάτων, η ποιότητα του ύπνου, ακόμη και το επίπεδο οξυγόνου στο αίμα. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν αν αναλυθούν από εξειδικευμένες εφαρμογές, παρέχοντας χρήσιμες προτάσεις για την βελτίωση της υγείας το χρήστη.

Επιπλέον οι φορητές συσκευές έχουν γίνει εργαλείο για την ενίσχυση της φυσικής κατάστασης, καθώς πολλές από αυτές ενσωματώνουν δυνατότητες προπόνησης, καθοδηγούμενης γυμναστικής, καθώς και καθορισμού στόχων υγείας. Με την βοήθεια αυτών των συσκευών, οι χρήστες μπορούν να παρακολουθούν την πρόοδο τους σε πραγματικό χρόνο και να λαμβάνουν ειδοποιήσεις όταν χρειάζονται κίνηση ή όταν πλησιάζουν τους καθημερινούς τους στόχους. Αυτή η άμεση ανατροφοδότηση βοηθάει στην ενθάρρυνση ενός υγιεινού τρόπου ζωής και στη βελτίωση της φυσικής κατάστασης.

Ένα άλλο σημαντικό πεδίο όπου οι φορητές συσκευές κάνουν την παρουσία τους αισθητή είναι η ψυχαγωγία. Με τη δυνατότητα σύνδεσης με άλλες έξυπνες συσκευές, όπως ακουστικά ή ηχεία, μπορούν να αναπαράγουν μουσική, να παρέχουν οδηγίες μέσω GPS, ακόμη και να επιτρέπουν τη διαχείριση κοινωνικών δικτύων ή την παρακολούθηση βίντεο. Με αυτόν τον τρόπο, οι φορητές συσκευές έχουν μετατραπεί σε κέντρα ψυχαγωγίας, ενισχύοντας τις δυνατότητες των χρηστών για επικοινωνία, ενημέρωση και ψυχαγωγία.

Εσωτερική παρακολούθηση μέσω φορητών συσκευών

Η τεχνολογία των φορητών συσκευών δεν περιορίζεται μόνο στις καθημερινές μας δραστηριότητες, αλλά αρχίζει να επεκτείνεται και σε άλλες σημαντικές εφαρμογές, όπως ο εσωτερικός εντοπισμός και η παρακολούθηση. Ο εσωτερικός εντοπισμός μέσω αυτών των συσκευών έχει αρχίσει να γίνεται μία από τις πιο καινοτόμες λύσεις για την παρακολούθηση βάση της θέσης και της κίνησης ατόμων και αντικειμένων εντός κλειστών χώρων, όπως γραφεία, νοσοκομεία, εμπορικά κέντρα και αποθήκες.

Το γεγονός ότι το GPS δεν λειτουργεί αξιόπιστα σε εσωτερικούς χώρους, λόγω της αδυναμίας των δορυφορικών σημάτων να διαπεράσουν κτίρια, έχει οδηγήσει στην ανάγκη ανάπτυξης νέων τεχνολογιών που θα μπορέσουν να καλύψουν αυτό το κενό. Σε αυτό το πλαίσιο, η χρήση τεχνολογιών όπως το Wi-Fi και το Bluetooth Low Energy έχει αναδειχθεί ως εξαιρετικά υποσχόμενη για εσωτερική παρακολούθηση. Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν την ανίχνευση θέσης με την χρήση των υπαρχόντων δικτύων Wi-Fi ή Bluetooth, παρέχοντας ακριβή δεδομένα σχετικά με την τοποθεσία και την κίνηση του χρήστη σε κλειστούς χώρους.

Η τεχνολογία Wi-Fi, η οποία χρησιμοποιείται για την παροχή ασύρματης πρόσβασης στο διαδίκτυο, μπορεί επίσης να αξιοποιηθεί για τον εντοπισμό θέσης σε εσωτερικούς χώρους. Τα router και οι κεραίες Wi-Fi μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υπολογίσουν την απόσταση του χρήστη από την πηγή του σήματος, επιτρέποντας την παρακολούθηση της κίνησής του. Η χρήση αυτής της τεχνολογίας είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιβάλλοντα με μεγάλη πυκνότητα Wi-Fi σημείων, όπως εμπορικά κέντρα ή αεροδρόμια, όπου μπορεί να επιτευχθεί υψηλή ακρίβεια στον εντοπισμό θέσης.

Από την άλλη πλευρά, το BLE είναι μια τεχνολογία που έχει σχεδιαστεί για να παρέχει ασύρματη επικοινωνία με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, καθιστώντας την ιδανική για εφαρμογές όπως η παρακολούθηση θέσης με τη χρήση φορητών συσκευών. Η τεχνολογία αυτή επιτρέπει τη σύνδεση συσκευών σε κοντινή απόσταση, ενώ παράλληλα διατηρεί την κατανάλωση ενέργειας σε πολύ χαμηλά επίπεδα, γεγονός που την καθιστά κατάλληλη για φορητές συσκευές, όπως τα έξυπνα ρολόγια και οι αισθητήρες.

Σύγκριση Wi-Fi και Bluetooth Low Energy για εσωτερικό Εντοπισμό

Αν και οι δύο τεχνολογίες, Wi-Fi και Bluetooth Low Energy (BLE), μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εσωτερικό εντοπισμό, υπάρχουν σημαντικές διαφορές που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την αξιολόγηση της καταλληλότητας τους για συγκεκριμένες εφαρμογές. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα του Wi-Fi είναι ότι μπορεί να προσφέρει μεγαλύτερη ακρίβεια σε σενάρια όπου υπάρχει άμεση οπτική επαφή (LOS). Αυτό σημαίνει ότι σε περιπτώσεις όπου χρήστης βρίσκεται σε κλειστό χώρο χωρίς εμπόδια, το Wi-Fi μπορεί να προσφέρει ακριβέστερα δεδομένα θέσης.

Ωστόσο, το BLE υπερέχει στην ενεργειακή αποδοτικότητα, γεγονός που το καθιστά ιδανική επιλογή για εφαρμογές που απαιτούν συνεχή παρακολούθηση, όπως η παρακολούθηση της κίνησης ασθενών σε νοσοκομεία ή η παρακολούθηση πελατών σε καταστήματα. Το BLE έχει χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας από το Wi-Fi, με αποτέλεσμα να παρατείνει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας των φορητών συσκευών. Αυτή η πτυχή είναι κρίσιμη για φορητές συσκευές, καθώς η μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας είναι συχνά ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες για τους χρήστες.

Ακόμη, το BLE έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμο σε εφαρμογές όπου υπάρχουν πολλά εμπόδια στον χώρο, όπως τοίχοι ή έπιπλα. Σε πολύπλοκα σενάρια μη άμεσης οπτικής επαφής (NLOS), το BLE μπορεί να προσφέρει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα από το Wi-Fi, καθώς η τεχνολογία του είναι σχεδιασμένη για να λειτουργεί σε περιβάλλοντα με παρεμβολές και εμπόδια.

Πειραματική μελέτη για την αξιολόγηση των τεχνολογιών Wi-Fi και Bluetooth Low Energy

Για να κατανοηθεί καλύτερα, η απόδοση και οι δυνατότητες των δύο τεχνολογιών, πραγματοποιήθηκαν πειράματα με την χρήση έξυπνων ρολογιών και των δύο συστημάτων για εσωτερικό εντοπισμό. Τα πειράματα αυτά σχεδιάστηκαν για να μετρήσουν την ακρίβεια εντοπισμού, την κατανάλωση ενέργειας και την ανθεκτικότητα των συστημάτων σε περιβάλλοντα με και χωρίς άμεση οπτική επαφή (NLOS/LOS).

Συνεισφορές της εργασίας

Οι κύριες συνεισφορές αυτής της εργασίας, συνοψίζονται παρακάτω:

- Πειραματική σύγκριση των δύο τεχνολογιών, Wi-Fi και Bluetooth Low Energy, όσον αφορά την ακρίβεια και την κατανάλωση ενέργειας.
- Ανθεκτικότητα στην ακρίβεια σε απλά σενάρια οπτικής επαφής (LOS) και σε πολύπλοκα σενάρια χωρίς οπτική επαφή (NLOS)

Κεφάλαιο 2

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Τα συστήματα εσωτερικού εντοπισμού είναι δημοφιλή σε έξυπνα οικοσυστήματα και περιβάλλοντα. Έχουν χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της υγειονομικής περίθαλψης, ειδικά στη φροντίδα ηλικιωμένων [1]. Σε αυτό το πλαίσιο, η χρήση φορητών συσκευών, όπως έξυπνα ρολόγια και αισθητήρες, είναι καθοριστική. Οι φορητά αισθητήρες ενσωματωμένοι σε αυτές τις συσκευές επιτρέπουν την συνεχή παρακολούθηση της υγείας και της ασφάλειας των ηλικιωμένων, κάτι που είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτίωση της ποιότητας της ζωής τους και τη μείωση του κινδύνου ατυχημάτων. Ειδικά στις περιπτώσεις ηλικιωμένων ατόμων, τα οποία ενδέχεται να αντιμετωπίζουν κινητικά προβλήματα ή να υποφέρουν από χρόνιες ασθένειες (πχ άνοια), η δυνατότητα παρακολούθησης της τοποθεσίας τους μέσα στο σπίτι είναι εξαιρετικά σημαντική. Οι φορητές συσκευές, με τη χρήση τεχνολογιών εντοπισμού θέσης όπως το Wi-Fi ή το Bluetooth Low Energy (BLE), μπορούν να παρακολουθούν συνεχώς τη θέση του ηλικιωμένου ατόμου και να στείλουν ειδοποιήσεις σε φροντιστές ή συγγενείς σε περίπτωση που εντοπιστούν ανησυχητικές αλλαγές στη συμπεριφορά ή στην κίνησή του.

Για παράδειγμα, αν ένας ηλικιωμένος απομακρυνθεί από τον ασφαλή χώρο ή παραμείνει ακίνητος για μεγάλο χρονικό διάστημα, το σύστημα μπορεί να στείλει ειδοποίηση ώστε να παρεμβεί άμεσα ένας φροντιστής ή κάποιο συγγενικό πρόσωπο. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι εξαιρετικά χρήσιμο για την πρόληψη ατυχημάτων, όπως πτώσεις ή κρίσεις υγείας, που είναι συνηθισμένα σε ηλικιωμένους με περιορισμένη κινητικότητα ή ευθραυστότητα. Τα έξυπνα ρολόγια, τα οποία είναι άμεσα συνδεδεμένα με την τεχνολογία IoT, αποτελούν ιδανική λύση για την υγειονομική παρακολούθηση, δεδομένου ότι είναι εύκολα στη χρήση και φοριοούνται άνετα στον καρπό. Ταυτόχρονα, παρέχουν δεδομένα όπως ο καρδιακός παλμός, η πίεση και τα επίπεδα φυσικής δραστηριότητας, ενισχύοντας έτσι την ικανότητα των φροντιστών να παρακολουθούν τη γενική κατάσταση υγείας του ηλικιωμένου.

Συνοψίζοντας, τα συστήματα εσωτερικού εντοπισμού και οι φορητές συσκευές παρέχουν ζωτικής σημασίας λύσεις για τη φροντίδα των ηλικιωμένων, επιτρέποντας την άμεση παρακολούθηση της τοποθεσίας και της υγείας τους, με σκοπό την πρόσληψη κινδύνων και την παροχή έγκαιρης βοήθειας.

Λόγω της ευρείας χρήσης των φορητών συσκευών από το ευρύ κοινό, εξειδικευμένες εφαρμογές για την αντιμετώπιση ή την πρόληψη εκτάκτων αναγκών είναι πλέον εύκολα προσβάσιμες [2]. Η εξέλιξη και η υιοθέτηση των φορητών συσκευών, όπως τα έξυπνα ρολόγια, οι αισθητήρες υγείας και άλλες φορητές τεχνολογίες, έχουν επιτρέψει τη δημιουργία και διάθεση εφαρμογών που μπορούν να βοηθήσουν σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.

Για παράδειγμα, πολλές εφαρμογές μπορούν να παρακολουθήσουν την υγεία του χρήστη σε πραγματικό χρόνο, συλλέγοντας δεδομένα. Αν εντοπισθούν ανησυχητικές αλλαγές στα δεδομένα, οι εφαρμογές αυτές μπορούν να στείλουν ειδοποιήσεις σε επείγουσες καταστάσεις είτε στον ίδιο το χρήστη, είτε στους φροντιστές του ή ακόμα και σε επαγγελματίες υγείας.

Επιπλέον, υπάρχουν εφαρμογές που χρησιμοποιούν την τεχνολογία εντοπισμού θέσης για να παρακολουθούν την τοποθεσία του χρήστη και να προλάβουν επικίνδυνες

καταστάσεις. Για παράδειγμα, σε περίπτωση ατυχήματος, όπως μια πτώση ή άλλη κρίσιμη κατάσταση, οι συσκευές μπορούν να στείλουν σήμα για βοήθεια.

Γενικά η ανάπτυξη των εξειδικευμένων αυτών εφαρμογών έχει γίνει εφικτή λόγω της τεχνολογικής προόδου στις φορητές συσκευές [3], οι οποίες είναι πλέον οικονομικά προσιτές, εύχρηστες και διαθέτουν μεγάλη διαθεσιμότητα σε ένα ευρύ φάσμα πληθυσμού. Αυτό έχει μετατρέψει τις φορητές συσκευές σε ένα εργαλείο που δεν περιορίζεται μόνο στη βελτίωση της καθημερινής ζωής των χρηστών, αλλά και σε ένα μέσο πρόληψης και διαχείρισης έκτακτων αναγκών.

Κατά τη διάρκεια της πανδημίας Covid-19, δημιουργήθηκε ακόμη μία εφαρμογή, η οποία είχε ως στόχο την παρακολούθηση της επιδημιολογικής έκθεσης μέσω σημάτων από φορητές συσκευές που χρησιμοποιούν τεχνολογία Bluetooth Low Energy [4].

Πιο συγκεκριμένα αναπτύχθηκε μια εφαρμογή ιδιωτικής ιχνηλάτησης επαφών (P3CT), η οποία στοχεύει στην ανώνυμη και ασφαλή παρακολούθηση κοντινών επαφών από την νόσο Covid-19. Η τεχνολογία αυτή βασίζεται στη χρήση φορητών συσκευών, τα οποία καταγράφουν δεδομένα όταν δύο χρήστες βρίσκονται σε κοντινή απόσταση, μετρώντας την ισχύ του σήματος (RSS). Τα δεδομένα αυτά, που περιλαμβάνουν πληροφορίες για το περιβάλλον και την ώρα, αποθηκεύονται τοπικά στην συσκευή του χρήστη.

Σε περίπτωση που κάποιος χρήστης διαγνωστεί με την νόσο, η συσκευή του ανεβάζει τα δεδομένα που έχουν καταγραφεί τις τελευταίες 14 ημέρες, σε μια βάση δεδομένων, χωρίς να αποκαλύπτεται η ταυτότητα του. Οι υπόλοιποι χρήστες κατεβάζουν ανώνυμα δεδομένα και οι συσκευές τους πραγματοποιούν τοπική σύγκριση με τα δικά τους αποθηκευμένα δεδομένα. Εάν υπάρχει ταύτιση (matching), η φορητή συσκευή, ειδοποιεί τον χρήστη ότι έχει έρθει σε επαφή με κάποιον που έχει μολυνθεί από την νόσο, δίνοντας του τη δυνατότητα να λάβει άμεσα μέτρα, όπως αυτοαπομόνωση ή τεστ για τον ιό. Αυτή η διαδικασία διασφαλίζει την ανωνυμία των χρηστών, καθώς η ταυτότητα του μολυσμένου ατόμου δεν αποκαλύπτεται σε κανένα στάδιο ενώ παράλληλα γίνεται άμεση ενημέρωση στους υπόλοιπους προκειμένου να ληφθούν άμεσα μέτρα πρόληψης.

Οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν για την παραπάνω εφαρμογή ήταν καταναλωτικές συσκευές (consumer devices), οι οποίες είναι ευρέως διαθέσιμες και χρησιμοποιούνται από το ευρύ κοινό. Αυτές οι συσκευές συμμορφώνονται με συγκεκριμένα τεχνικά πρότυπα, τα οποία καθορίζονται από διεθνείς οργανισμούς, όπως το IEEE [5], που θέτει τα πρότυπα για τη λειτουργικότητα και την ασφάλεια των φορητών καταναλωτικών συσκευών.

Το πρότυπο IEEE για φορητές καταναλωτικές συσκευές εξασφαλίζει ότι οι συσκευές πληρούν ορισμένες απαιτήσεις που αφορούν την αξιοπιστία, την ανθεκτικότητα, την ενεργειακή απόδοση και τη συνδεσιμότητα. Αυτό είναι κρίσιμο, ιδιαίτερα για συσκευές που προορίζονται να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές όπως η υγειονομική φροντίδα, όπου η ακριβής καταγραφή δεδομένων και η άμεση ανταπόκριση σε επείγουσες καταστάσεις μπορεί να έχουν σημαντικές συνέπειες για την υγεία και την ασφάλεια των χρηστών.

Οι καταναλωτικές συσκευές, όπως τα έξυπνα ρολόγια και οι φορητοί αισθητήρες, συμμορφώνονται με αυτά τα πρότυπα για να εξασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία τους σε διαφορετικά περιβάλλοντα και η λειτουργικότητα τους με άλλες συσκευές και συστήματα. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να ενσωματωθούν εύκολα σε πλατφόρμες που βασίζονται σε τεχνολογίες όπως το Wi-Fi ή το Bluetooth,

επιτρέποντας την παρακολούθηση της θέσης και της τοποθεσίας των χρηστών σε πραγματικό χρόνο.

Η συμμόρφωση με τα πρότυπα IEEE παρέχει επίσης ένα επίπεδο ασφαλείας και προστασίας προσωπικών δεδομένων, το οποίο είναι κρίσιμο, ιδιαίτερα σε εφαρμογές που αφορούν ευαίσθητα δεδομένα. Οι καταναλωτικές συσκευές που συμμορφώνονται με τα πρότυπα αυτά είναι πιο αξιόπιστες και προσφέρουν μεγαλύτερη διασφάλιση ως προς την προστασία των δεδομένων των χρηστών.

Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις εφαρμογών όπου χρησιμοποιήθηκαν φορητές συσκευές που αναπτύχθηκαν ειδικά για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, με στόχο τη βελτιστοποίηση της απόδοσης τους, ιδίως όσον αφορά τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και την ακρίβεια [6, 7, 8]. Οι προσαρμοσμένες αυτές συσκευές έχουν σχεδιαστεί ώστε να ανταποκρίνονται καλύτερα σε συγκεκριμένες ανάγκες, όπως η ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας για μεγαλύτερη αυτονομία ή η επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας στην παρακολούθηση της θέσης του χρήστη. Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπου απαιτείται εξαιρετική απόδοση, η χρήση τέτοιων εξειδικευμένων συσκευών μπορεί να προσφέρει πλεονεκτήματα που δεν μπορούν να επιτευχθούν με τα τυπικά καταναλωτικά προϊόντα.

Παρόλα αυτά στην παρούσα εργασία επικεντρώναστε στις καταναλωτικές φορητές συσκευές, οι οποίες είναι πιο προσιτές και εύχρηστες για τον γενικό πληθυσμό.

Η ευρεία υιοθέτηση αυτών των συσκευών επιτρέπει την ανάπτυξη εφαρμογές παρακολούθησης και εντοπισμού με μεγαλύτερη ευκολία και χαμηλότερο κόστος, ενώ παράλληλα διασφαλίζει ότι οι χρήστες έχουν πρόσβαση σε λειτουργίες που βελτιώνουν την ποιότητα της καθημερινής τους ζωής. Επιπλέον, οι καταναλωτικές συσκευές είναι συνήθως συμβατές με ευρέως διαδεδομένα πρότυπα, όπως το Bluetooth και το Wi-Fi, επιτρέποντας την άμεση διασύνδεσή τους με άλλα συστήματα και εφαρμογές, χωρίς την ανάγκη για εξειδικευμένη εγκατάσταση ή εκπαίδευση.

Εν ολίγοις, η εστίασή μας στις καταναλωτικές φορητές συσκευές αντανακλά την πρακτικότητα και τη διαθεσιμότητα τους στην καθημερινή ζωή, καθιστώντας τις ιδανική επιλογή για εφαρμογές που στοχεύουν στην παρακολούθηση θέσης, υγείας ή άλλων παραμέτρων σε ένα μεγάλο εύρος χρηστών.

Ασύρματες Τεχνολογίες

Το Wi-Fi είναι μία από τις πιο δημοφιλείς τεχνολογίες για εσωτερικό εντοπισμό, κυρίως λόγω της ευκολίας με την οποία μπορεί να εφαρμοστεί σε καταναλωτικές φορητές συσκευές, όπως έξυπνα ρολόγια και έξυπνα κινητά (smartphones), χωρίς να απαιτείται πρόσθετος εξοπλισμός. Στην πράξη, το Wi-Fi είναι εγκατεστημένο σε ευρύ φάσμα εγκαταστάσεων όπως γραφεία, εμπορικά κέντρα, κατοικίες, αεροδρόμια και πολλά άλλα, καθιστώντας το προσβάσιμο και εύκολο στη χρήση για την παρακολούθηση και τον εντοπισμό θέσης σε εσωτερικούς χώρους. Αυτή η καθιέρωση της τεχνολογίας Wi-Fi έχει καταστήσει την εφαρμογή της οικονομικά αποδοτική, ιδίως σε περιπτώσεις που δεν απαιτείται πρόσθετος εξοπλισμός ή αναβάθμιση στις υποδομές [12, 13].

Ωστόσο, ένα σημαντικό μειονέκτημα της τεχνολογίας Wi-Fi είναι η υψηλή κατανάλωση ενέργειας, η οποία είναι ζωτικής σημασίας όταν πρόκειται για φορητές συσκευές οι οποίες βασίζονται στην αυτονομία της μπαταρίας για συνεχή λειτουργία.

Οι φορητές συσκευές καταναλώνουν αρκετή ενέργεια όταν βασίζονται στο Wi-Fi για τον εντοπισμό θέσης, με αποτέλεσμα να περιορίζεται η διάρκεια ζωής της μπαταρία, γεγονός που τις καθιστά λιγότερο κατάλληλες για μακροχρόνια χρήση χωρίς φόρτιση.

Σε αντίθεση με το Wi-Fi, η τεχνολογία Bluetooth και ειδικότερα το BLE, αποτελεί μια εξαιρετικά αποτελεσματική λύση για εφαρμογές εσωτερικού εντοπισμού. Η BLE τεχνολογία είναι επίσης διαθέσιμη στις περισσότερες σύγχρονες φορητές συσκευές και έχει ως κύριο πλεονέκτημα τη χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας, καθιστώντας την ιδιαίτερα κατάλληλη για εφαρμογές που απαιτούν παρατεταμένη διάρκεια χρήσης χωρίς να επιβαρύνουν την μπαταρία του χρήστη [11]. Αυτή η ενεργειακή αποδοτικότητα επιτρέπει τη συχνή δειγματοληψία σήματος, κάτι που είναι κρίσιμο για την ακριβή παρακολούθηση της θέσης του χρήστη σε εσωτερικούς χώρους. Η δυνατότητα υψηλής δειγματοληψίας επιτρέπει την ταχύτερη και πιο λεπτομερή ενημέρωση σχετικά με την τοποθεσία του χρήστη, γεγονός που βελτιώνει την συνολική ακρίβεια του σήματος [14].

Επιπλέον, η τεχνολογία BLE έχει μελετηθεί εκτενώς και έχει αποδείξει την αξιοπιστία της εσωτερικά συστήματα εντοπισμού. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν περιπτώσεις όπου η ακρίβεια του εντοπισμού με τη χρήση BLE μπορεί να επηρεάζεται από την θέση του πομπού. Αν ο πομπός δεν είναι τοποθετημένος σε κατάλληλο σημείο, μπορεί να προκύψουν σφάλματα στον εντοπισμό θέσης, ειδικά σε σενάρια με πολλαπλά εμπόδια, όπως τοίχοι ή έπιπλα, που μπορούν να μειώσουν την ποιότητα και την ακρίβεια του σήματος [10].

Συνοψίζοντας, ενώ τόσο το Wi-Fi όσο και το BLE προσφέρουν λύσεις για εσωτερικό εντοπισμό, το Wi-Fi παρουσιάζει προβλήματα κατανάλωσης ενέργειας που το καθιστούν λιγότερο αποδοτικό για φορητές συσκευές, ενώ το BLE, αν και πιο ενεργειακά αποδοτικό, μπορεί να επηρεαστεί σε περιβάλλοντα με εμπόδια, καθιστώντας την επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας θέμα προτεραιοτήτων και περιβαλλοντικών συνθηκών.

Τεχνικές Εντοπισμού

Η τεχνική εντοπισμού με βάση τον Δείκτη Ισχύος Λήψης Σήματος (RSSI) είναι μία από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους που χρησιμοποιούνται σε ασύρματα περιβάλλοντα, όπως το Wi-Fi και το Bluetooth, για τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ πομπού και δέκτη. Το RSSI εκφράζεται συνήθως σε dB και αντιπροσωπεύει την ισχύ με την οποία ένα σήμα λαμβάνεται από τον δέκτη. Η βασική αρχή πίσω από αυτήν την τεχνική είναι ότι όσο πιο ισχυρό είναι το σήμα που λαμβάνει ο δέκτης, τόσο πιο κοντά βρίσκεται στον πομπό. Με αυτόν τον τρόπο, το RSSI μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της απόστασης μεταξύ πομπού και δέκτη, κάτι που το καθιστά κατάλληλο για εφαρμογές εσωτερικού εντοπισμού [12].

Παρόλο που η χρήση του RSSI είναι εύκολη μπορεί να εφαρμοστεί σε ποικίλα ασύρματα περιβάλλοντα, υπάρχουν ορισμένοι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την ακρίβεια των μετρήσεων. Αυτοί οι παράγοντες περιλαμβάνουν διαφορές στις συσκευές, τις αλλαγές στο περιβάλλον και τον προσανατολισμό της κεραίας του δέκτη. Αυτά τα χαρακτηριστικά μπορούν να προκαλέσουν διαφοροποιήσεις στην ένταση του σήματος, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε λανθασμένες εκτιμήσεις της απόστασης, ειδικά όταν η απόσταση αυξάνεται [13].

Ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια του RSSI είναι το ανθρώπινο σώμα, το οποίο μπορεί να εμποδίσει τη γραμμική οπτικής επαφής (LOS) μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Το σώμα απορροφά ή διαχέει τα ραδιοκύματα, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ισχύς του σήματος που λαμβάνεται από

τον δέκτη. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε υπερεκτιμήσεις της απόστασης, καθώς το σήμα φαίνεται ασθενέστερο από ό,τι θα έπρεπε, δεδομένης της πραγματικής απόστασης μεταξύ των δύο συσκευών [14].

Εκτός από τα προβλήματα που προκαλούνται από την γραμμική οπτικής επαφής, οι συνθήκες χωρίς οπτική επαφή (NLOS), που συνήθως προκύπτουν λόγω εμποδίων στο περιβάλλον, επιδεινώνουν περαιτέρω την ακρίβεια της μέτρησης του RSSI. Τα φυσικά εμπόδια, όπως τοίχοι, έπιπλα και άλλες δομές, μπορούν να μειώσουν την ποιότητα του σήματος, με αποτέλεσμα τη λήψη ασθενέστερων σημάτων και συνεπώς, την υποεκτίμηση της απόστασης. Στα εσωτερικά περιβάλλοντα, οι συχνές καταστάσεις χωρίς οπτική επαφή αποτελούν σημαντική πρόκληση για την ακρίβεια του RSSI, γι' αυτό και συχνά απαιτούνται επιπλέον τεχνικές φιλτραρίσματος ή συνδυασμός διαφορετικών τεχνολογιών για την ενίσχυση της ακρίβειας του εντοπισμού.

Συνολικά, η μέθοδος του RSSI παρέχει μια εύκολη και χαμηλού κόστους λύση για τον υπολογισμό αποστάσεων σε ασύρματα περιβάλλοντα, αλλά απαιτεί προσεκτική διαχείριση και αντιμετώπιση των παραγόντων που επηρεάζουν την ακρίβεια για να είναι αποτελεσματική σε πιο περίπλοκα εσωτερικά περιβάλλοντα.

Τεχνικές Φιλτραρίσματος του Σήματος

Η διαδικασία φιλτραρίσματος του RSSI αποτελεί ένα κρίσιμο στάδιο στη διαχείριση ασυρμάτων δικτύων, καθώς επιτρέπει την αποτελεσματική επεξεργασία των σημάτων που λαμβάνονται από τις ασύρματες συσκευές, αυξάνοντας έτσι την ακρίβεια σε εφαρμογές όπως ο εσωτερικός εντοπισμός. Δεδομένου ότι το RSSI επηρεάζεται από ποικίλους παράγοντες, όπως εμπόδια, παρεμβολές και μεταβολές στο περιβάλλον, η εφαρμογή κατάλληλων αλγορίθμων φιλτραρίσματος κρίνεται αναγκαία για την βελτίωση της ποιότητας των δεδομένων.

Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις για το φιλτράρισμα του RSSI, με πολλές από αυτές να περιλαμβάνουν τη χρήση αλγορίθμων φιλτραρίσματος σήματος. Σε προηγούμενες εφαρμογές, συναντήθηκαν φίλτρα όπως το φίλτρο Kalman, το οποίο έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματικό στην παροχή ακρίβειας σε ποικίλες εφαρμογές. Το φίλτρο Kalman είναι ένα βέλτιστο φίλτρο που λειτουργεί καλά σε δυναμικά συστήματα και χρησιμοποιείται ευρέως για την εκτίμηση της θέσης και της ταχύτητας, εξομαλύνοντας τα αποτελέσματα με βάση τις προηγούμενες μετρήσεις και τις εκτιμήσεις του συστήματος [15, 16]. Αυτός ο αλγόριθμος έχει συμβάλει σημαντικά στη βελτίωση της ακρίβειας του εντοπισμού σε εσωτερικά περιβάλλοντα, όπου οι μεταβολές του σήματος είναι συχνές.

Πέρα από το φίλτρο Kalman, σε πολλές εφαρμογές έχουν μελετηθεί υβριδικά μοντέλα φιλτραρίσματος που συνδυάζουν το Gaussian και το Kalman φίλτρο. Αυτή η προσέγγιση συνδυάζει τα πλεονεκτήματα και των δύο αλγορίθμων, προσφέροντας μια πιο αποτελεσματική και ακριβή επεξεργασία του σήματος. Το Gaussian φίλτρο μπορεί να χειριστεί καλύτερα τυχαίες διακυμάνσεις, ενώ το φίλτρο Kalman εξομαλύνει τις μεταβολές με βάση προηγούμενες εκτιμήσεις. Ο συνδυασμός αυτών των δύο αλγορίθμων έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνει σημαντικά την ακρίβεια του RSSI και, κατ' επέκταση, του εντοπισμού σε εσωτερικά περιβάλλοντα [17].

Εκτός από τα παραδοσιακά φίλτρα σήματος, έχουν αναπτυχθεί επίσης εφαρμογές που εξετάζουν την χρήση απλών μοντέλων μηχανικής μάθησης για την επίτευξη του στόχου φιλτραρίσματος του RSSI. Ένα κλασσικό μοντέλο που χρησιμοποιείται για αυτόν τον σκοπό είναι ο αλγόριθμος K-κοντινών γειτόνων (KNN), ο οποίος παρέχει μια διαφορετική προσέγγιση στο φιλτράρισμα του RSSI. Ο KNN είναι ένας απλός αλλά αποτελεσματικός αλγόριθμος ταξινόμησης που βασίζεται στη

σύγκριση των πιο κοντινών σημείων δεδομένων. Αν και δεν είναι ένα τυπικό φίλτρο σήματος, έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια της επικοινωνίας σε ασύρματα δίκτυα, προσφέροντας εναλλακτικούς τρόπους φιλτραρίσματος RSSI και βελτίωσης της αξιοπιστίας της ασύρματης επικοινωνίας [18].

Συνολικά, το φιλτράρισμα του RSSI αποτελεί έναν κρίσιμο παράγοντα για την αξιοπιστία των ασυρμάτων δικτύων και τη βελτίωση της ακρίβειας του εσωτερικού εντοπισμού. Οι διαφορετικές προσεγγίσεις φιλτραρίσματος, από τα κλασσικά φίλτρα Kalman και Gaussian έως τα μοντέλα μηχανικής μάθησης, προσφέρουν ευέλικτες και αποδοτικές λύσεις για τη βελτίωση της απόδοσης των συστημάτων εντοπισμού σε πολύπλοκα και δυναμικά περιβάλλοντα.

Κεφάλαιο 3

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα παρουσιάσουμε αναλυτικά τα εξαρτήματα (Hardware components) που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα, περιγράφοντας τη λειτουργία και το ρόλο τους στην πειραματική διαδικασία, περιγράφοντας τη λειτουργία και το ρόλο τους στην πειραματική διαδικασία. Έπειτα, θα συζητήσουμε την ανάπτυξη της εφαρμογής Android, η οποία δημιουργήθηκε ειδικά για να διευκολύνει τη διεξαγωγή των πειραμάτων. Η εφαρμογή αυτή αναπτύχθηκε ώστε να συλλέγει και να επεξεργάζεται δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, διασφαλίζοντας την ομαλή αλληλεπίδραση με υλικά εξαρτήματα και την αποτελεσματική εκτέλεση των πειραμάτων.

Στη συνέχεια, θα περιγράψουμε τη διαδικασία που ακολουθήθηκε για την κατασκευή του μοντέλου απώλειας σήματος (pathloss), δίνοντας έμφαση στα στάδια της διαδικασίας και στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν. Τέλος, θα συζητήσουμε τη σημασία του απαραίτητου φιλτραρίσματος των δεδομένων, καθώς και τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για να διασφαλιστεί η ακρίβεια και η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Επισκόπηση συστήματος

Λίστα συσκευών και προδιαγραφές

Στην παρούσα μελέτη, χρησιμοποιήθηκαν τα εξής υλικά και συσκευές, τα οποία επιλέχθηκαν για να καλύψουν τις απαιτήσεις του συστήματος μας:

1. LG Nexus 5 smartphone

Μία από τις βασικές απαιτήσεις του συστήματος μας ήταν η χρήση ενός Android Smartphone, το οποίο θα περιλάμβανε τις ειδικά σχεδιασμένες εφαρμογές για την υλοποίηση του πειράματος. Επιλέξαμε το Nexus 5, το οποίο είναι εξοπλισμένο με το λειτουργικό σύστημα Android 6.0.1. Η συσκευή αυτή υποστηρίζει λειτουργίες BLE και Wi-Fi που είναι απαραίτητες για την επίτευξη των στόχων του συστήματος μας, το οποίο απαιτεί τη λειτουργία της συσκευής ως Beacon.

Πιο συγκεκριμένα, το Nexus 5 υποστηρίζει Bluetooth 4.0 και Wi-Fi 802.11 a/b/g/n/ac, τα οποία αποτελούν βασικά σημεία ενδιαφέροντος για την εσωτερικό εντοπισμό (indoor localization) στην έρευνα μας. Οι λειτουργίες

αυτές είναι απαραίτητες για τη συλλογή δεδομένων από κοντινές συσκευές και για την μετάδοση σημάτων εντός κλειστών χώρων, γεγονός που καθιστά τη συσκευή κατάλληλη για χρήση ως συσκευή εκπομπής σημάτων (Beacon) [19]. Η χρήση BLE και Wi-Fi για εσωτερικό εντοπισμό έχει μελετηθεί εκτενώς στη βιβλιογραφία.

2. Fossil Sport 2257

Δεδομένου ότι το βασικό σημείο του συστήματος μας είναι η χρήση μιας φορητής συσκευής (Wearable device), επιλέξαμε το Fossil Sport 2257. Το Fossil Sport 2257 διαθέτει το λειτουργικό σύστημα Android Wear OS 3, το οποίο μας επιτρέπει να ενσωματώσουμε εύκολα τις εφαρμογές που σχεδιάσαμε. Επιπλέον, η δυνατότητα του BLE και του Wi-Fi που προσφέρει η συγκεκριμένη συσκευή μας επιτρέπει να την χρησιμοποιήσουμε ως σαρωτή (Scanner) στο σύστημα μας.

Πιο συγκεκριμένα, το Fossil Sport 2257 υποστηρίζει Bluetooth 4.2 Low Energy και Wi-Fi 802.11 b/g/n, που επίσης αποτελούν βασικά σημεία ενδιαφέροντος για εσωτερικό εντοπισμό. Η ικανότητα των φορητών συσκευών να σαρώνουν και να καταγράφουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο έχει δειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμη σε πολλά συστήματα εντοπισμού σε εσωτερικούς χώρους [20]. Η συνδυασμένη χρήση BLE και Wi-Fi για τη συλλογή δεδομένων καθιστά το Fossil Sport 2257 ιδανική επιλογή για το σύστημα μας.

Ανάπτυξη Android εφαρμογών

Στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας, αναπτύξαμε δύο εφαρμογές για τη διεξαγωγή πειραγμάτων με τεχνολογίες Wi-Fi και BLE. Κάθε εφαρμογή έχει σχεδιαστεί για να εξυπηρετεί διαφορετικούς σκοπούς και λειτουργίες. Η παρακάτω ανάλυση εξηγεί αναλυτικά τη λειτουργία των εφαρμογών και τις προκλήσεις που αντιμετωπίσαμε κατά την ανάπτυξη τους.

Εφαρμογή Wi-Fi

Στην εφαρμογή για το smartphone, ο στόχος ήταν η δημιουργία ενός mobile hotspot που θα λειτουργεί ως WAP. Η εφαρμογή για το Smartwatch είχε ως στόχο τη σάρωση των γύρω Wi-Fi δικτύων και την καταγραφή των τιμών RSSI από το συγκεκριμένο WAP που δημιουργεί το smartphone.

Η εφαρμογή για το smartphone χρησιμοποιεί το Wi-Fi Manager API για τη δημιουργία ενός mobile hotspot. Το mobile hotspot λειτουργεί ως σημείο πρόσβασης, επιτρέποντας σε άλλες συσκευές, όπως το smartwatch, να συνδεθούν σε αυτό. Το smartphone λειτουργεί ως πηγή Wi-Fi σήματος, και το hotspot διατηρείται ενεργό καθ' όλη τη διάρκεια των πειραμάτων. Στο πλαίσιο των πειραμάτων μας, το smartphone δεν χρειάζεται να επεξεργάζεται ή να αναλύει τα σήματα RSSI, ο κύριος στόχος του είναι να παρέχει ένα σταθερό και αξιόπιστο Wi-Fi δίκτυο.

Η εφαρμογή του smartwatch, από την άλλη πλευρά, είναι υπεύθυνη για την ανίχνευση των Wi-Fi δικτύων γύρω από το ρολόι και για την καταγραφή της έντασης σήματος (RSSI) από το συγκεκριμένο hotspot που δημιουργείται από το smartphone. Για να επιτευχθεί αυτό, χρησιμοποιούμε επίσης το Wi-Fi Manager API. Η εφαρμογή σαρώνει το περιβάλλον κάθε 2 δευτερόλεπτα για να εντοπίσει τα διαθέσιμα δίκτυα και να συλλέξει τις τιμές RSSI. Οι τιμές RSSI

καταγράφονται και αποθηκεύονται, και στην περίπτωση που εντοπιστεί το συγκεκριμένο WAP που δημιουργήθηκε από το smartphone, οι τιμές RSSI καταγράφονται και παρουσιάζονται στον χρήστη.

Ένα σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίσαμε ήταν η διαχείριση της μπαταρίας στο smartwatch. Η λειτουργία της εφαρμογής που σαρώνει για Wi-Fi δίκτυα κάθε 2 δευτερόλεπτα προκαλούσε έκλεινε την εφαρμογή πρόωρα. Για να αντιμετωπίσουμε αυτό το πρόβλημα, υιοθετήσαμε τη χρήση foreground service. Το foreground service εξασφαλίζει ότι η εφαρμογή παραμένει ενεργή και συνεχίζει να λειτουργεί, ακόμη και όταν το σύστημα διαχειρίζεται τη μπαταρία.

Εφαρμογή Bluetooth Low Energy

Στην εφαρμογή για το smartphone, η Bluetooth κεραία ανοίγει για την αδιάλειπτη εκπομπή σήματος ως beacon. Στην εφαρμογή για το smartwatch, η σάρωση BLE πραγματοποιείται με τον ίδιο τρόπο όπως με το Wi-Fi, αλλά δεν απαιτείται η λειτουργία ως foreground service.

Η εφαρμογή του smartwatch σαρώνει για BLE σήματα κάθε 2 δευτερόλεπτα, χρησιμοποιώντας τον Bluetooth LE Scanner. Όπως και με το Wi-Fi, η εφαρμογή συλλέγει τιμές RSSI από τα σήματα που ανιχνεύει. Σε αυτήν τη περίπτωση δεν είναι απαραίτητο να λειτουργεί ως foreground service, αλλά απαιτεί συνεχή σάρωση για την ακριβή μέτρηση του σήματος BLE.

Η ανάπτυξη της εφαρμογής BLE παρουσίασε λιγότερα προβλήματα συγκριτικά με την εφαρμογή Wi-Fi. Η κύρια πρόκληση ήταν συνεπής διαχείριση των σαρώσεων BLE για να διασφαλιστεί η ακριβής καταγραφή των τιμών RSSI. Οι περιοδικές σαρώσεις κάθε 2 δευτερόλεπτα απαιτούν την συνεχόμενη λειτουργία της εφαρμογής, αλλά χωρίς να χρειάζεται foreground service, η κατανάλωση της μπαταρίας είναι πιο διαχειρίσιμη.

Η ανάπτυξη των εφαρμογών για Wi-Fi και BLE απαιτούσε προσεκτική σχεδίαση και διαχείριση των πόρων, κυρίως λόγω των περιορισμών του λειτουργικού συστήματος και της ανάγκης για ακριβείς μετρήσεις. Οι εφαρμογές Wi-Fi και BLE σχεδιάστηκαν για να συνεργάζονται αποτελεσματικά, με το smartphone να παρέχει το σήμα και το smartwatch να ανιχνεύει και να καταγράφει τις τιμές του RSSI.

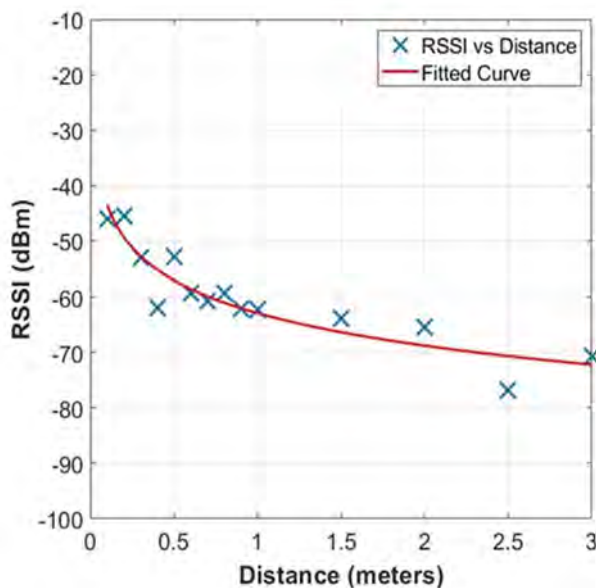
Η εφαρμογή Wi-Fi απαιτούσε της χρήση foreground service για τη διαχείριση της υψηλής κατανάλωσης μπαταρίας και τη διατήρηση της εφαρμογής ενεργής. Αντίθετα, η εφαρμογή BLE μπορούσε να λειτουργεί χωρίς foreground service, αν και η περιοδική σάρωση εξακολουθούσε να απαιτεί συνεχή παρακολούθηση και διαχείριση των πόρων.

Συνολικά, οι εφαρμογές που αναπτύχθηκαν παρέχουν μια ολοκληρωμένη λύση για την ανάλυση της έντασης του σήματος μέσω Wi-Fi και BLE, καλύπτοντας τις απαιτήσεις των πειραμάτων μας και προσφέροντας πολύτιμα δεδομένα για περαιτέρω ανάλυση.

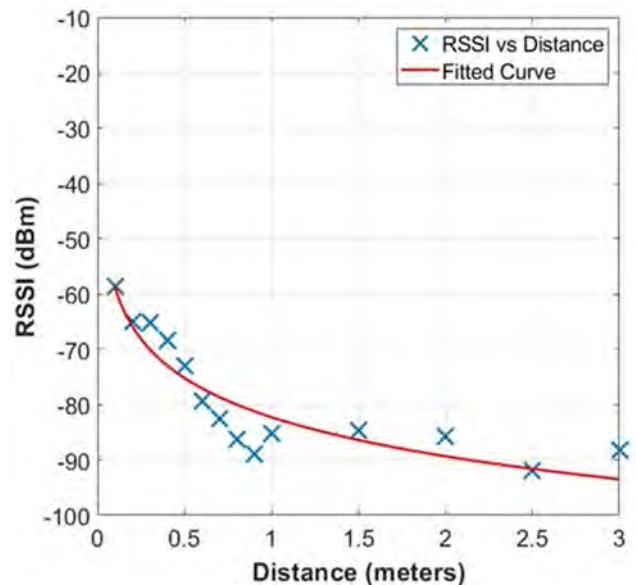
Υπολογισμός απόστασης μέσω RSSI

Μετά την ανάπτυξη των εφαρμογών για την σάρωση των σημάτων RSSI, έπρεπε να υπολογίσουμε την απόσταση μεταξύ των δύο συσκευών από το λαμβανόμενο σήμα RSSI. Για να το επιτύχουμε, τοποθετήσαμε και τις δύο συσκευές, το Fossil Sport 2257 και το LG Nexus 5, σε συνθήκες Οπτικής Επαφής (LOS). Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήσαμε μετρήσεις στις αποστάσεις των 0.1μ, 0.2μ, 0.3μ, 0.4μ, 0.5μ, 0.6μ, 0.7μ, 0.8μ, 0.9μ, 1.0μ, 1.5μ, 2.0μ, 2.5μ, 3.0μ και 3.5μ. Αυτοί οι υπολογισμοί ήταν απαραίτητοι για να οριστεί ο υπολογισμός της απόστασης βάσει της εξής εξίσωσης:

$$D = 10^{\frac{Co-RSSI}{10n}} \quad (1)$$



Σχήμα 2: Path-loss model για Wi-Fi



Σχήμα 1: Path-loss model για BLE

Για την εξίσωση υπολογισμού της απόστασης, αναζητούμε τις παραμέτρους n (που αναφέρεται ως εκθετικός συντελεστής απόσβεσης) και Co (η σταθερά ισχύος του σήματος στην απόσταση αναφοράς). Αυτές οι παράμετροι ποικίλλουν σε κάθε σενάριο, καθώς επηρεάζονται από περιβαλλοντικούς παράγοντες, την ισχύ του πομπού, καθώς και τον τύπο και την ποιότητα του υλικού γύρω από τις συσκευές.

Για το δικό μας σενάριο, χρησιμοποιούμε τη μέση τιμή του σήματος RSSI που λαμβάνεται σε διάφορες αποστάσεις. Για κάθε απόσταση, λάβαμε 100 μετρήσεις RSSI, και στη συνέχεια υπολογίσαμε τον μέσο όρο αυτών των μετρήσεων. Αφού αποκτήσαμε τις μέσες τιμές του RSSI για κάθε απόσταση, σχεδιάσαμε αυτές τις τιμές χρησιμοποιώντας τη λειτουργία καμπύλης προσαρμογής (curve fitting) στο MATLAB.

Συγκεκριμένα, οι μέσες τιμές του RSSI τοποθετήθηκαν σε γραφική παράσταση σε σχέση με την απόσταση, και χρησιμοποιήσαμε την καμπύλη προσαρμογής για να βρούμε τις βέλτιστες τιμές των παραμέτρων n και Co . Όπως φαίνεται και στις εικόνες 1 και 2, οι καμπύλες προσαρμογής αποδίδουν τα δεδομένα που προκύπτουν για τα

σήματα Wi-Fi και BLE, αντίστοιχα. Από αυτές τις καμπύλες, μπορέσαμε να εκτιμήσουμε τις τιμές του n και του C_0 για κάθε είδος σήματος.

Με την εκτίμηση των παραμέτρων n και C_0 είμαστε σε θέση να τις ενσωματώσουμε στην Εξίσωση 1. Αυτή η εξίσωση χρησιμοποιείται και στις δύο εφαρμογές που αναπτύξαμε για τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ των δύο συσκευών, βασιζόμενοι στις τιμές του RSSI που λαμβάνονται στον πραγματικό χρόνο. Έτσι, μπορούμε να προσδιορίσουμε με ακρίβεια την απόσταση βάσει του σήματος RSSI, βελτιστοποιώντας τη διαδικασία για το συγκεκριμένο περιβάλλον και τις συγκεκριμένες συνθήκες που επικρατούν.

Τεχνικές φιλτραρίσματος

Χρησιμοποιήσαμε τέσσερις μεθόδους φιλτραρίσματος που περιγράφονται παρακάτω:

A) Φίλτρο Kalman: Μια απλή υλοποίηση του φίλτρου Kalman χρησιμοποιήθηκε στην εφαρμογή του ρολογιού, η οποία λειτουργεί σε δύο στάδια: την πρόβλεψη και την ενημέρωση της τιμής. Η χρήση και των δύο σταδίων είναι κρίσιμη, καθώς επιτρέπει στο φίλτρο να προβλέπει την τιμή του εισερχόμενου σήματος RSSI με βάσει τις προηγούμενες τιμές και στη συνέχεια να ενημερώνει τις μεταβλητές του ώστε να είναι έτοιμο για την επόμενη εκτίμηση. Και τα δύο στάδια είναι απαραίτητα για την ορθή λειτουργία του φίλτρου. Ο αλγόριθμος λειτουργεί παρόμοια με αυτόν που περιγράφεται στην [21]

Στάδιο Πρόβλεψης

Στο στάδιο πρόβλεψης σε μια δεδομένη χρονική στιγμή k :

Πρόβλεψη Κατάστασης: Στην πρόβλεψη κατάστασης, η εκτίμηση της κατάστασης στην χρονική στιγμή k βασίζεται στην κατάσταση που εκτιμήθηκε στην προηγούμενη χρονική στιγμή $k-1$:

$$x(k|k-1) = x(k-1|k-1) \quad (2)$$

Πρόβλεψη Σφάλματος Συστήματος και Συνοχής Θορύβου: Ο συντελεστής συνοχής θορύβου και σφάλματος συστήματος προβλέπεται με την εξής σχέση:

$$P(k|k-1) = P(k-1|k-1) + Q \quad (3)$$

Όπου Q είναι η συνοχή του θορύβου διαδικασίας. Αρχικά, το Q τίθεται στο 0, καθώς, όπως αναφέρεται και στην [21], όλα τα πειράματα διεξάγονται σε ελεγχόμενο περιβάλλον, όπου η απώλεια σήματος έχει ήδη καθοριστεί. Επιπλέον, θεωρείται ότι οι μετρήσεις λαμβάνονται σε στατικό περιβάλλον με απευθείας οπτική επαφή.

Στάδιο Ενημέρωσης

Στο στάδιο ενημέρωσης, το φίλτρο υπολογίζει το κέρδος Kalman και ανανεώνει την εκτίμηση της κατάστασης με βάση τη διαφορά μεταξύ της μετρούμενης τιμής $y(k)$ και της προβλεπόμενης κατάστασης:

Κέρδος Kalman: Το κέρδος Kalman, το οποίο υποδεικνύει πόσο εμπιστοσύνη έχει το φίλτρο στην μετρούμενη τιμή έναντι της προβλεπόμενης τιμής, υπολογίζεται ως εξής:

$$G(k) = \frac{P(k|k-1)}{P(k|k-1) + R} \quad (4)$$

Όπου R είναι μια παράμετρος που προσαρμόζεται για να ταιριάζει στο περιβάλλον μέτρησης και σχετίζεται με τη συνοχή του θορύβου μέτρησης.

Ενημέρωση κατάστασης: Στην χρονική στιγμή k, η κατάσταση του συστήματος ενημερώνεται βάσει της διαφοράς μεταξύ της πραγματικής μετρούμενης τιμής y(k) και της προβλεπόμενης τιμής x(k | k-1):

$$x(k|k) = x(k|k-1) + G(k) * [y(k) - x(k|k-1)] \quad (5)$$

Ενημέρωση Συνοχής Θορύβου και Σφάλματος συστήματος: Το σφάλμα συστήματος και η συνοχή θορύβου ανανεώνονται για να είναι έτοιμα για την επόμενη επανάληψη:

$$P(k|k) = (1 - G(k)) * P(k|k-1) \quad (6)$$

Οι παραπάνω εξισώσεις περιγράφουν τα στάδια πρόβλεψης και ενημέρωσης του φίλτρου Kalman. Στο στάδιο πρόβλεψης, το φίλτρο εκτιμά την κατάσταση συστήματος και προβλέπει τη συνοχή του σφάλματος συστήματος και του θορύβου. Στο στάδιο ενημέρωσης, υπολογίζεται το κέρδος Kalman και η κατάσταση του συστήματος ενημερώνεται με βάση τη διαφορά μεταξύ της μετρούμενης τιμής y(k) και της προβλεπόμενης κατάστασης x(k|k-1). Τέλος, η συνοχή θορύβου και το σφάλμα συστήματος ανανεώνονται για να είναι έτοιμα για την επόμενη επανάληψη εξασφαλίζοντας τη βέλτιστη πρόβλεψη για την επόμενη χρονική στιγμή.

B) Φίλτρο Gaussian: Το φίλτρο Gaussian είναι ένα γραμμικό φίλτρο εξομάλυνσης που επιλέγει τα βάρη με βάση το σχήμα της συνάρτησης Gauss. Το φίλτρο Gaussian είναι αποτελεσματικό στην απομάκρυνση θορύβου, καθώς εφαρμόζει συνέλιξη του σήματος εισόδου με μια κατανομή Gauss. Οι τιμές RSSI ακολουθούν μια Gaussιανή κατανομή $N(\mu, \sigma^2)$ όπου μ είναι η μέση τιμή και σ^2 είναι η διακύμανση.

Φιλτραρίσμα με Προσαρμογή Gaussian: Η συνάρτηση φιλτραρίσματος με προσαρμογή Gaussian δίνεται από τη σχέση:

$$f(RSSI) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(RSSI - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (7)$$

Στην εξίσωση αυτή, το μ αναπαριστά τη μέση τιμή:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n RSSIk \quad (8)$$

Και το σ είναι η τυπική απόκλιση, που υπολογίζεται ως εξής:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (RSSIk - \mu)^2} \quad (9)$$

Το πολύ-κορυφαίο φιλτράρισμα με προσαρμογή Gaussian χρησιμοποιείται για να φιλτράρει τις τιμές RSSI, επιτρέποντας την απομάκρυνση των αποκλίσεων και του θορύβου από τα δεδομένα. Η συνάρτηση προσαρμογής Gaussian μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$RSSI(x) = a_1 e^{-\left(\frac{x_1-b_1}{c_1}\right)^2} + \dots + a_n e^{-\left(\frac{x_n-b_n}{c_n}\right)^2} \quad (10)$$

Όπου $a_1, a_2, \dots, a_n$, είναι το ύψος κορυφής της καμπύλης Gauss, οι $b_1, b_2, \dots, b_n$, αντιπροσωπεύουν τις θέσεις των κορυφών, οι $c_1, c_2, \dots, c_n$ καθορίζουν το ημι-πλάτος των κορυφών, και το n είναι η τάξη της προσαρμογής. Με την πολύ-κορυφαία προσαρμογή Gauss, μπορούμε να αντιπροσωπεύσουμε πολύπλοκα μοτίβα του σήματος RSSI που ενδέχεται να περιλαμβάνουν πολλαπλές πηγές ή χαρακτηριστικά που δεν είναι μόνο-κορυφαία. Έτσι το φίλτρο γίνεται πιο ευέλικτο για περιπτώσεις όπου το σήμα περιέχει διάφορες παραμορφώσεις ή έχει ανάγκη από ανάλυση πολλαπλών καμπυλών για την καλύτερη προσέγγιση του πραγματικού σήματος.

Γ) Φιλτράρισμα Gaussian-Kalman: Βάσει της παραπάνω ανάλυσης, φαίνεται ότι κατά τη διαδικασία εντοπισμού μέσω των τιμών RSSI, τα σημεία με μεγάλες διακυμάνσεις δεν μπορούν να εξαλειφθούν μόνο με χρήση του Gaussian ή του Kalman φίλτρου. Αυτό οφείλεται στους διάφορους παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν το σήμα RSSI, όπως η απορρόφηση, η παρεμβολή και η αντανάκλαση του σήματος στον χώρο. Για αυτόν τον λόγο, έχουμε αναπτύξει έναν συνδυασμένο αλγόριθμο Gaussian-Kalman για το φιλτράρισμα των τιμών RSSI.

Το σύστημα φιλτραρίσματος Gaussian-Kalman παρέχει μια προηγμένη προσέγγιση για την επεξεργασία των τιμών RSSI. Αρχικά, η τρέχουσα τιμή του RSSI περνά από φιλτράρισμα Gaussian, το οποίο χρησιμοποιεί την κατανομή Gauss για την εξομάλυνση των ακραίων τιμών και την μείωση του θορύβου στο σήμα. Αυτή η διαδικασία βοηθά στον περιορισμό των αυθαίρετων αποκλίσεων που μπορεί να προκύψουν από την παρεμβολή ή τον θόρυβο του περιβάλλοντος.

Η προκύπτουσα τιμή από το φίλτρο Gaussian λειτουργεί ως είσοδος για το φίλτρο Kalman. Στη συνέχεια, το φίλτρο Kalman λαμβάνει υπόψη τόσο την προηγούμενη πρόβλεψη όσο και τη νέα τιμή μέτρησης, πραγματοποιώντας μια αποδοτική ενημέρωση της εκτίμησης της τιμής RSSI. Μέσω αυτής της διαδικασίας διπλού φιλτραρίσματος, επιτυγχάνεται αυξημένη ακρίβεια και σταθερότητα στις τιμές RSSI, παρέχοντας μια βελτιωμένη εκτίμηση της ισχύος του ασύρματου σήματος.

Διεξαγωγή Διπλού Φιλτραρίσματος

Η συνδυασμένη προσέγγιση Gaussian-Kalman επιτυγχάνει τα εξής βήματα:

- 1) **Αρχικό φιλτράρισμα Gaussian:** Η τιμή RSSI περνά από το φίλτρο Gaussian, το οποίο εξομαλύνει τις αιχμές και εξαλείφει τον υψηλό θόρυβο, παρέχοντας μια σταθερότερη μέση τιμή.
- 2) **Ενημέρωση με φίλτρο Kalman:** Η τιμή που προέκυψε από το φιλτράρισμα Gaussian εισάγεται στο φίλτρο Kalman, όπου ο αλγόριθμος λαμβάνει

υπόψη τόσο την προηγούμενη εκτίμηση όσο και τη νέα τιμή, κάνοντας μια ακριβέστερη πρόβλεψη.

Αυτός ο συνδυασμός επιτρέπει στον αλγόριθμο να βελτιστοποιεί τον υπολογισμό της απόστασης και της ισχύος του σήματος με τη χρήση αμφοτέρων των φίλτρων για την αντιμετώπιση σύνθετων μεταβολών στις τιμές του RSSI. Έτσι, η τελική εκτίμηση των τιμών RSSI είναι πιο αξιόπιστη, παρέχοντας σταθερές μετρήσεις παρά τις διακυμάνσεις λόγω περιβαλλοντικών παραγόντων. Το φίλτρο Gaussian-Kalman είναι επομένως ιδανικό για την αντιμετώπιση προβλημάτων τοπικής ακρίβειας και για την παροχή μιας πιο ρεαλιστικής εκτίμησης της ισχύος του ασύρματου σήματος σε πραγματικό χρόνο.

Δ) Αλγόριθμος KNN: Ο αλγόριθμος των K-πλησιέστερων Γειτόνων (KNN) χρησιμοποιείται για την αναγνώριση και το φιλτράρισμα των τιμών RSSI σε πραγματικό χρόνο. Στον αλγόριθμο KNN, κάθε τιμή RSSI αναλύεται με βάση τους πλησιέστερους γείτονές της μέσα σε μια καθορισμένη ομάδα (K γείτονες). Οι τιμές RSSI σε πραγματικό χρόνο αποκτώνται συνεχώς, και με την χρήση του αλγορίθμου KNN, επιλέγονται οι K πλησιέστερες τιμές για κάθε νέα μέτρηση. Η εκτιμώμενη τιμή RSSI προκύπτει ως ο μέσος όρος των επιλεγμένων γειτόνων. Με αυτόν τον τρόπο, ο αλγόριθμος KNN επιτυγχάνει το φιλτράρισμα των τιμών RSSI, προσαρμόζοντας δυναμικά την εκτίμηση σε πραγματικό χρόνο, βάσει των πιο πρόσφατων μετρήσεων των γειτόνων.

Ο αλγόριθμος KNN είναι ιδιαίτερα χρήσιμος σε περιβάλλοντα με πολλαπλά σημεία λήψης σήματος, καθώς μπορεί να μειώσει τον θόρυβο και τις διακυμάνσεις στις μετρήσεις της παραμέτρου K καθορίζει πόσες τιμές θα χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση, και πρέπει να επιλέγεται προσεχτικά ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Έτσι, ο αλγόριθμος μπορεί να προσαρμοστεί ώστε να επιτύχει την καλύτερη δυνατή ισορροπία μεταξύ ακρίβειας και ταχύτητας στην ανάλυση των RSSI, ενσωματώνοντας τις πιο πρόσφατες πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για ακριβέστερη εκτίμηση και φιλτράρισμα.

Κεφάλαιο 4

Πειραματική Διαδικασία

Σε αυτή την ενότητα. Περιγράψαμε τα τέσσερα πειράματα που διεξάγαμε για να καθορίσουμε την ακρίβεια του συστήματος στην εσωτερική παρακολούθηση και την κατανάλωση ενέργειας για το συγκεκριμένο σύστημα

Τα πειράματα σχεδιάστηκαν προσεχτικά ώστε να αξιολογηθεί η ικανότητα του συστήματος να παρακολουθεί με ακρίβεια την τοποθεσία σε κλειστούς χώρους και παράλληλα να ελαχιστοποιήσει την κατανάλωση ενέργειας. Κατά την διάρκεια των δοκιμών, συλλέξαμε δεδομένα που μας επέτρεψαν να αναλύσουμε την αποτελεσματικότητα του συστήματος υπό διάφορες συνθήκες, όπως διαφορετικές διατάξεις εσωτερικών χώρων, παρουσίες εμποδίων και μεταβαλλόμενη απόσταση από τα σημεία πρόσβασης.

Επιπλέον, αξιολογήθηκε ο τρόπος με τον οποίο η κατανάλωση ενέργειας επηρεάζεται από τη συνεχή παρακολούθηση των σημάτων RSSI και από την προσαρμογή του αλγορίθμου σε πραγματικό χρόνο. Τα αποτελέσματα από αυτά τα πειράματα μας επέτρεψαν να κατανοήσουμε τις δυνατότητες του συστήματος και τις απαιτήσεις τους σε ενέργεια, και συνέβαλαν στην περαιτέρω βελτιστοποίηση του αλγορίθμου για την επίτευξη ισορροπίας μεταξύ ακρίβειας και ενεργειακής απόδοσης.

Τα πειράματα αυτά αποτελούν βασικά βήματα για την ενίσχυση της αξιοπιστίας του συστήματος σε περιβάλλοντα εσωτερικό χώρο, όπου η ακρίβεια στην τοποθεσία και η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας είναι κρίσιμες παράμετροι για τις περισσότερες εφαρμογές παρακολούθησης.

Πειραματικό Περιβάλλον

Για το πειραματικό μέρος έχουμε τέσσερις διαφορετικές προσεγγίσεις. Όλες οι μετρήσεις για τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε εσωτερικό χώρο, μέσα σε ένα δωμάτιο 23 τ.μ, καθημερινής χρήσης, το οποίο περιλαμβάνει φυσικά αντικείμενα, όπως έπιπλα. Το συγκεκριμένο δωμάτιο αποτελεί ιδανική επιλογή, καθώς προσεγγίζει ένα πραγματικό σενάριο καθημερινής χρήσης. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα πειράματα διεξήχθησαν κατά την διάρκεια μιας κανονικής ανοιξιάτικης ημέρας, με θερμοκρασία περίπου 25 βαθμούς Κελσίου και υγρασία στο 60%. Είναι γνωστό ότι η θερμοκρασία και η υγρασία επηρεάζουν την ισχύ του σήματος RSSI με διαφορετικό τρόπο: η θερμοκρασία έχει αντίστροφη επίδραση, ενώ η υγρασία επιδρά αναλογικά στην ένδειξη RSSI [9].

Αυτές οι περιβαλλοντικές συνθήκες δημιουργούν προκλήσεις στη σταθερότητα και την ακρίβεια του σήματος. Μέσα από την καταγραφή αυτών των δεδομένων, μπορέσαμε να αξιολογήσουμε πως το σύστημα ανταποκρίνεται σε μεταβαλλόμενες συνθήκες περιβάλλοντος, βελτιώνοντας την αξιοπιστία του για πραγματικές εφαρμογές σε εσωτερικούς χώρους.

Κατανάλωση Ενέργειας

Για να έχουμε καλύτερη εικόνα της παρακολούθησης θέσης σε εσωτερικούς χώρους μέσω φορητών συσκευών, μετρήσαμε τη μέση κατανάλωση ενέργειας. Σε κάθε πείραμα μετρήσαμε τη μέση κατανάλωση ενέργειας της συσκευής Fossil Sport 2257 κατά τη διάρκεια 10 λεπτών χρήσης. Αυτές οι μετρήσεις ήταν κρίσιμες για να

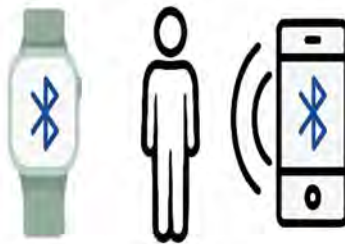
αξιολογήσουμε πόση ενέργεια απαιτεί το σύστημα για την παρακολούθηση σήματος RSSI σε πραγματικές συνθήκες και πως επηρεάζεται η διάρκεια ζωής της μπαταρίας και η απόδοση της συσκευής σε διαφορετικά σενάρια. Η ανάλυση των δεδομένων αυτών μας βοήθησε να κατανοήσουμε τις απαιτήσεις ενέργειας για παρατεταμένη χρήση και να εντοπίσουμε τρόπους για τη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας.

Γραμμή Ορατότητας και Μη Γραμμή Ορατότητας

Ένα άλλο σημείο της πειραματικής διαδικασίας ήταν να μετρήσουμε τη διαφορά μεταξύ της Γραμμής Ορατότητας (LOS) και της Μη γραμμής ορατότητας (NLOS). Στη καθημερινή χρήση, η φορητή συσκευή δεν θα είναι πάντα σε Γραμμή ορατότητας. Ειδικότερα, λόγω της φύσης των φορητών συσκευών, το σώμα του χρήστη μπορεί να παρεμβληθεί στο σήμα μεταξύ του Beacon και της φορητής συσκευής. Είναι γνωστό ότι το ανθρώπινο σώμα μπορεί να προκαλέσει εξασθένηση και/ή διάθλαση του σήματος. Για τον λόγο αυτό, πραγματοποιήσαμε πειράματα και για τα δύο σύνολα εφαρμογών (Wi-Fi και Bluetooth): ένα πείραμα χωρίς παρεμβολές στο σήμα και ένα πείραμα όπου το ανθρώπινο σώμα κάλυπτε τη γραμμή ορατότητας.



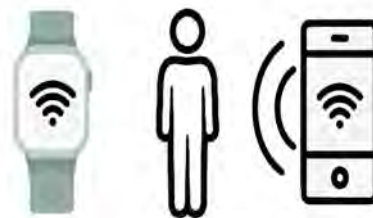
Line of sight Bluetooth



Non Line of Sight Bluetooth



Line of sight Wi-Fi



Non Line of Sight Wi-Fi

Σχήμα 3 Πειραματικά σενάρια

Με τη διαφοροποίηση των πειραμάτων αυτών, μπορέσαμε να καταγράψουμε την επίδραση που έχει το σώμα του χρήστη στη σταθερότητα και την ένταση του

σήματος. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων μας βοήθησε να κατανοήσουμε πως η διακοπή της γραμμής ορατότητας μπορεί να επηρεάσει την απόδοση του συστήματος και να αναπτύξουμε στρατηγικές για τη μείωση της επίδρασης αυτών των παραγόντων. Όλα τα πειράματα απεικονίζονται στο σχήμα 1.

Κεφάλαιο 5

Αποτελέσματα και Συζήτηση

Σε αυτήν την ενότητα, θα συζητήσουμε τα αποτελέσματα των πειραμάτων και ορισμένες ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις που προέκυψαν από αυτά. Όλα τα πειραματικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στις εικόνες 7-10.

Ακατέργαστες τιμές

Παρατηρείται ότι οι ακατέργαστες τιμές RSSI, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιείται η τεχνολογία BLE σε συνθήκες Μη Γραμμικής Ορατότητας (NLOS), παρουσιάζουν μεγαλύτερες αποκλίσεις. Αντιθέτως, το Wi-Fi παρουσιάζει μικρότερες αποκλίσεις και μεγαλύτερη σταθερότητα, καθιστώντας το μια ανώτερη επιλογή και για τις συνθήκες Γραμμικής Ορατότητας (LOS) και Μη Γραμμικής Ορατότητας (NLOS), με βάση μόνο τη σταθερότητα στη μέτρηση απόστασης.

Επιπλέον, το Wi-Fi παρουσιάζει συνεπή πρότυπα αποκλίσεων τόσο σε συνθήκες LOS όσο και σε συνθήκες NLOS. Σε συνθήκες LOS, το Wi-Fi επιδεικνύει καλύτερη ακρίβεια στον υπολογισμό απόστασης σε σύγκριση με το BLE. Ωστόσο, η αυξημένη ευαισθησία του BLE σε μικρές αλλαγές απόστασης είναι εμφανής, καθιστώντας το πιο αξιόπιστο για την παρακολούθηση κινούμενων στόχων, ειδικά σε σενάρια με συχνή κίνηση του χρήστη.

Παράλληλα, παρόλο που το Wi-Fi αρχικά παρουσιάζει καλύτερη ακρίβεια σε μεγαλύτερες αποστάσεις (άνω των 2 μέτρων) σε συνθήκες NLOS, τελικά το BLE καταφέρνει να επιτύχει μεγαλύτερη ακρίβεια. Αυτό το αποτέλεσμα συμφωνεί με την εγγενή ευαισθησία του BLE σε μικρές αλλαγές απόστασης.

Συνοψίζοντας, κατά την αξιολόγηση των ακατέργαστων δεδομένων και στα δύο σενάρια, το Wi-Fi προσφέρει αυξημένη σταθερότητα, που χαρακτηρίζεται από μικρότερες αποκλίσεις. Αντίθετα, η ενισχυμένη ευαισθησία του BLE το καθιστά πιο κατάλληλο για την παρακολούθηση κινούμενων στόχων σε μικρές αποστάσεις. Συνεπώς, η επιλογή μεταξύ Wi-Fi και BLE πρέπει να γίνεται προσεκτικά, λαμβάνοντας υπόψη τις ειδικές απαιτήσεις της εφαρμογής, όπως η ακρίβεια, η σταθερότητα και η ευαισθησία στην κίνηση.

Φιλτράρισμα Δεδομένων

Με την εφαρμογή διαφόρων τεχνικών φιλτραρίσματος (Kalman φιλτράρισμα, Gaussian φιλτράρισμα, KNN φιλτράρισμα και υβριδικό Kalman-Gaussian φιλτράρισμα), παρατηρήθηκε μια σημαντική βελτίωση στα αποτελέσματα, ειδικά όσον αφορά τη συνέπεια και την αξιοπιστία. Μετά το φιλτράρισμα, το BLE παρουσίασε σημαντική μείωση της απόκλισης μετά το φιλτράρισμα, η διαφορά είναι λιγότερο έντονη λόγω της ήδη μικρής απόκλισης των ακατέργαστων τιμών.

Σε σενάρια τόσο LOS όσο και NLOS, η απόδοση κάθε φίλτρου παραμένει σχετικά συνεπής, με ελαφρές διαφοροποιήσεις ανάλογα με την απόσταση.

Αξιοσημείωτο είναι ότι στο BLE, το φιλτράρισμα KNN ξεχωρίζει για τη μεγαλύτερη σταθερότητα, παρουσιάζοντας τη μικρότερη απόκλιση μεταξύ όλων των τεχνικών φιλτραρίσματος. Επιπλέον, το φιλτράρισμα KNN παρουσιάζει την υψηλότερη ακρίβεια τόσο σε συνθήκες LOS όσο και NLOS, εδραιώνοντας την αποτελεσματικότητα του στην τεχνολογία BLE.

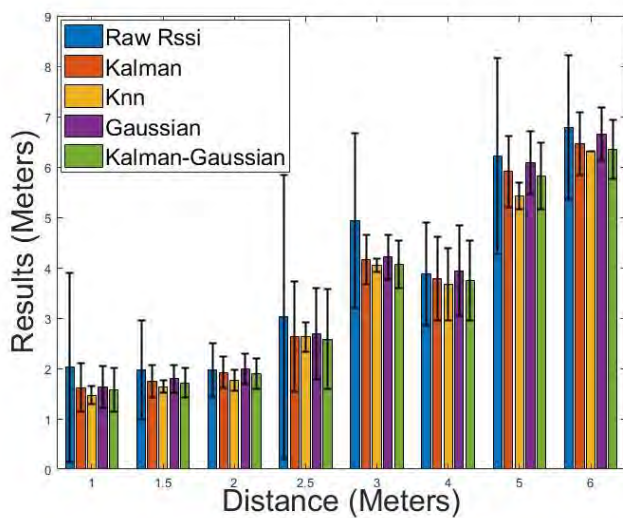
Σε σενάρια Wi-Fi, αν και το φιλτράρισμα KNN αρχικά παρουσιάζει τη μικρότερη απόκλιση σε μικρότερες αποστάσεις, μετά τα 3 μέτρα η απόκλιση εξισώνεται σε όλες τις τεχνικές φιλτραρίσματος με μικρές διαφοροποιήσεις. Ομοίως, η συμπεριφορά των τεχνικών φιλτραρίσματος παραμένει συνεπής σε συνθήκες LOS και NLOS. Όσον αφορά την ακρίβεια, το Gaussian φιλτράρισμα παρουσιάζει την υψηλότερη ακρίβεια σε μικρές αποστάσεις (κάτω των 2 μέτρων), ενώ το KNN φιλτράρισμα υπερέχει σε μεγαλύτερες αποστάσεις.

Συνολικά μετά το φιλτράρισμα, το BLE επιδεικνύει μεγαλύτερη ακρίβεια τόσο σε συνθήκες LOS όσο και NLOS, καθιστώντας το προτιμώμενη επιλογή. Επιπλέον, μεταξύ των τεχνικών φιλτραρίσματος, το KNN φιλτράρισμα αποδεικνύεται ως βέλτιστη επιλογή, προσφέροντας τον καλύτερο συνδυασμό απόκλισης και ακρίβειας και για τις δύο τεχνολογίες και σενάρια.

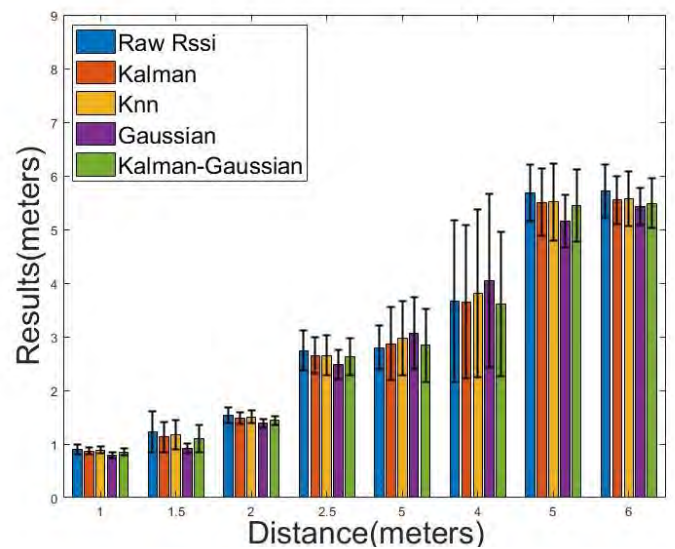
Κατανάλωση Ενέργειας

Όπως αναμενόταν, παρατηρούμε ότι η κατανάλωση ενέργειας χρησιμοποιώντας Wi-Fi είναι μεγαλύτερη από την κατανάλωση ενέργειας χρησιμοποιώντας BLE. Συγκεκριμένα, καταγράψαμε ότι η μπαταρία του Fossil Sport 2257 σε πλήρη φόρτιση καταναλώνει κατά μέσο όρο περίπου 24,5mAh με το BLE και 31,5mAh με το Wi-Fi για το ίδιο πείραμα διάρκειας 10 λεπτών. Γνωρίζοντας ότι η μπαταρία του Fossil Sport 2257 έχει χωρητικότητα 350mAh, παρατηρούμε κατά μέσο όρο 2% μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας στα 10 λεπτά με το Wi-Fi σε σύγκριση με το BLE.

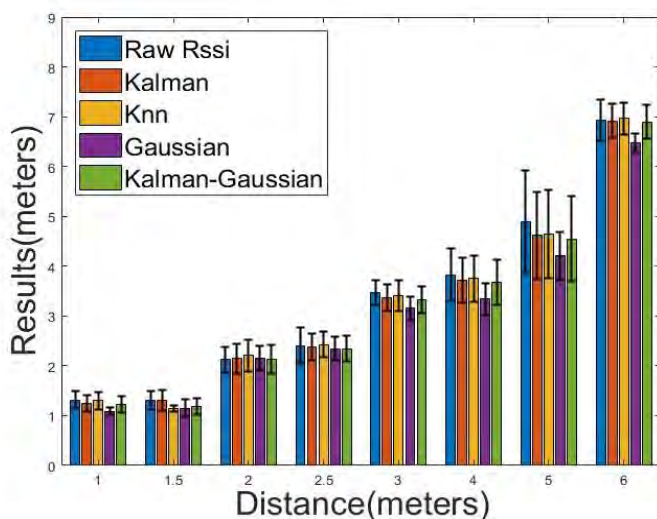
Συμπερασματικά, παρόλο που το Wi-Fi αρχικά υπερέχει του BLE σε ακατέργαστες συνθήκες όσον αφορά την ακρίβεια και την απόκλιση, μετά το φιλτράρισμα το BLE γίνεται η ανώτερη επιλογή. Το KNN φιλτράρισμα ξεχωρίζει ως η πιο αποτελεσματική τεχνική φιλτραρίσματος, προσφέροντας βέλτιστη απόδοση τόσο στην απόκλιση όσο και στην ακρίβεια. Αυτό δείχνει ότι η επιλογή της τεχνολογίας και της τεχνικής φιλτραρίσματος πρέπει να γίνεται ανάλογα με τις συγκεκριμένες ανάγκες της εφαρμογής, όπως ακρίβεια, σταθερότητα, και ευαισθησία στην κίνηση, με γνώμονα την εξισορρόπηση της ακρίβειας και της ενεργειακής κατανάλωσης για μεγαλύτερη απόδοση της συσκευής.



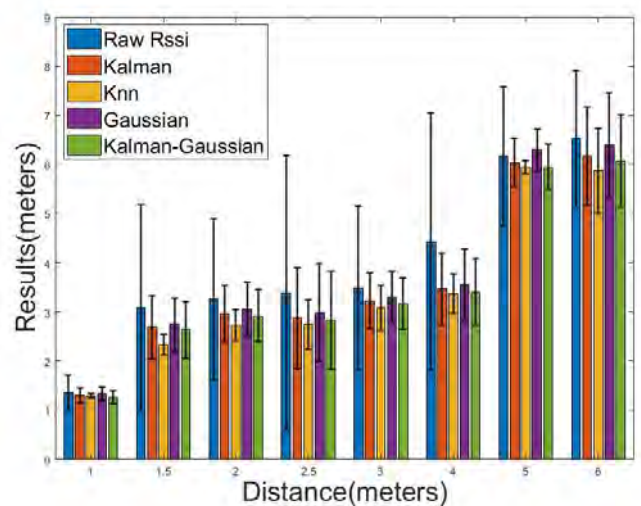
Error plot for accuracy in LOS situation using BLE



Error plot for accuracy in LOS situation using Wi-Fi

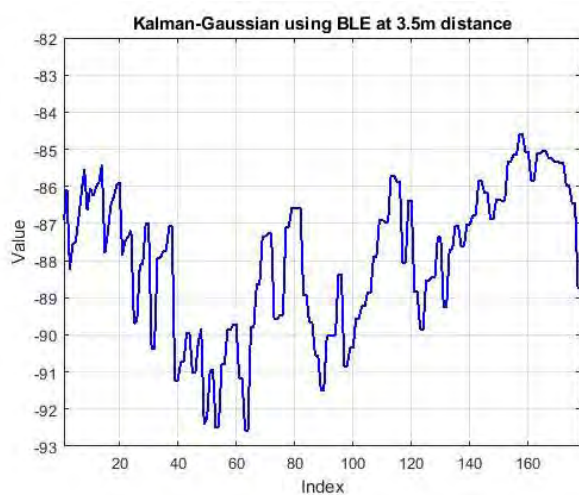


Error plot for accuracy in NLOS situation using Wi-Fi

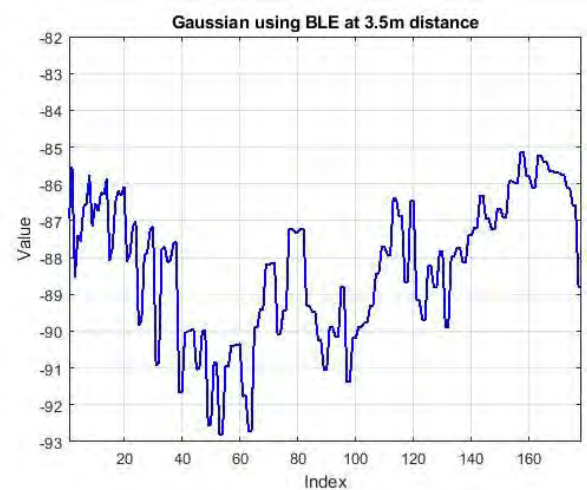


Error plot for accuracy in NLOS situation using BLE

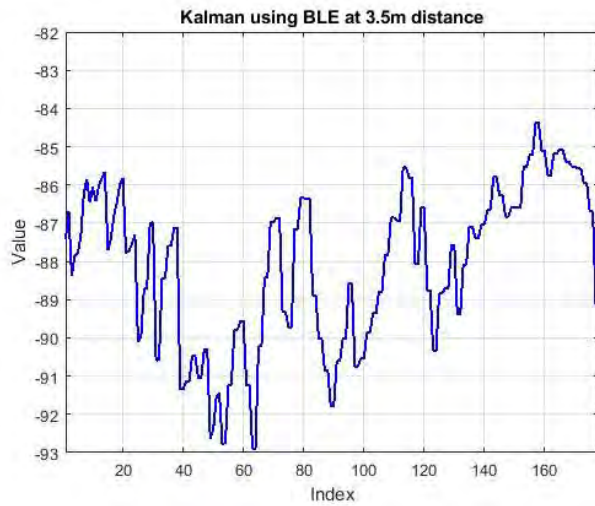
Σχήμα 4: Πειραματικά αποτελέσματα



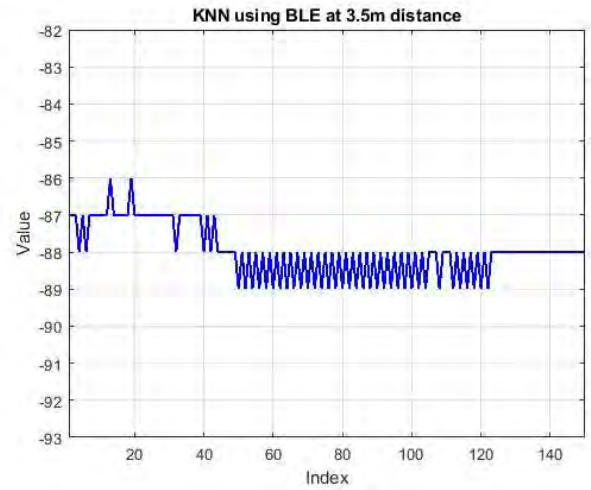
Kalman-Gaussian Filter behavior at 3.5m in NLOS conditions



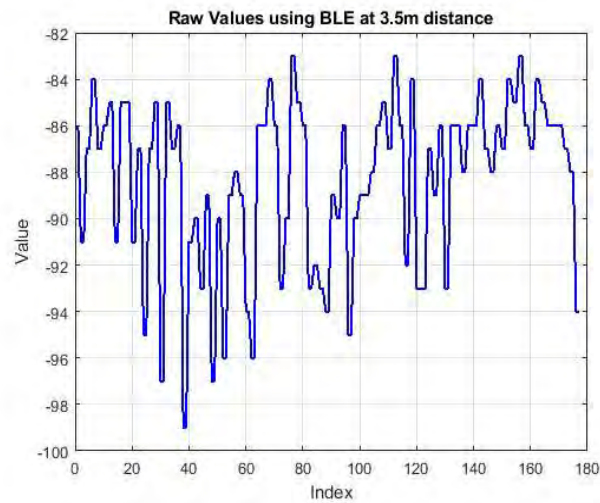
Gaussian Filter behavior at 3.5m in NLOS conditions



Kalman Filter behavior at 3.5m in NLOS conditions

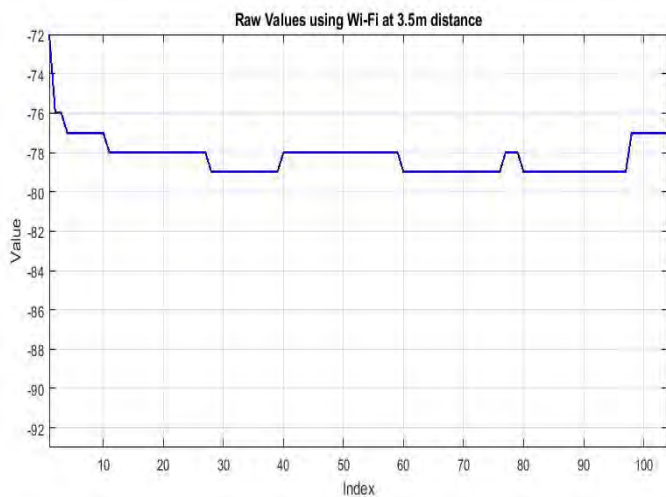


KNN Filter behavior at 3.5m in NLOS conditions

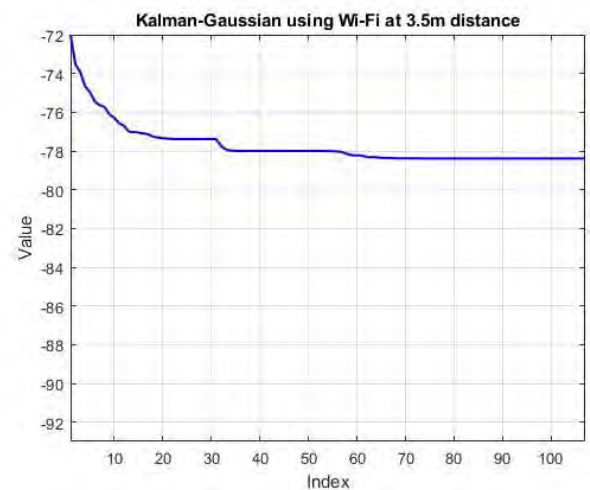


Raw Values at 3.5m in NLOS conditions

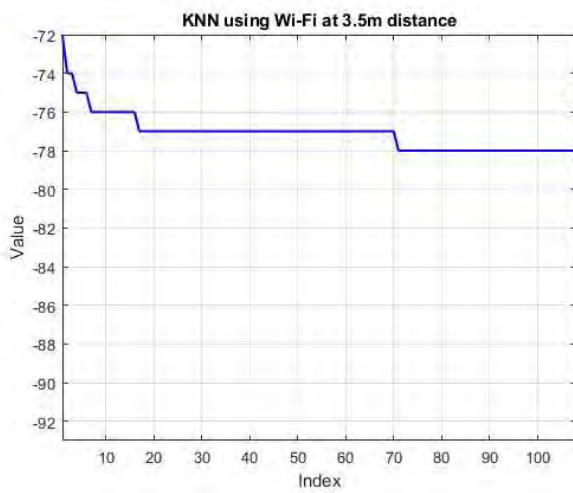
Σχήμα 5: Συμπεριφορά τεχνικών φιλτραρίσματος σε συνθήκες NLOS χρησιμοποιώντας BLE



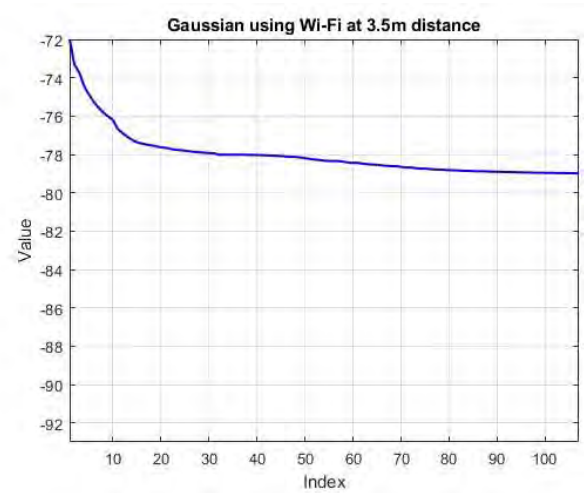
Raw Values at 3.5m in NLOS conditions



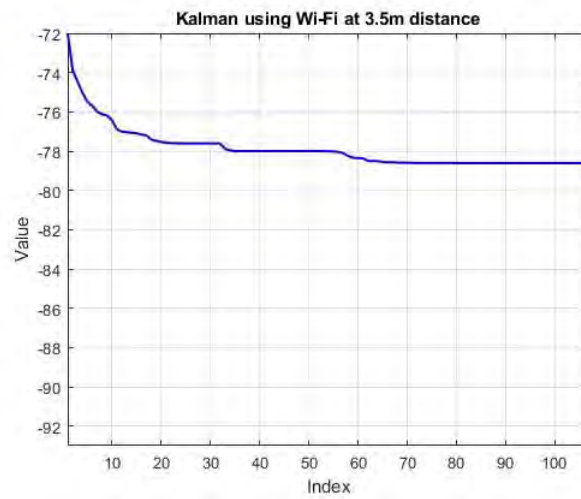
Kalman-Gaussian Filter behavior at 3.5m in NLOS conditions



KNN Filter behavior at 3.5m in NLOS conditions



Gaussian Filter behavior at 3.5m in NLOS conditions



Kalman Filter behavior at 3.5m in NLOS conditions

Σχήμα 6: Συμπεριφορά τεχνικών φιλτραρίσματος σε συνθήκες NLOS χρησιμοποιώντας Wi-Fi

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία, εξετάσαμε και συγκρίναμε την απόδοση φορητών καταναλωτικών συσκευών IoT για εσωτερικό εντοπισμό θέσης, με κύριο άξονα σύγκρισης τις τεχνολογίες Wi-Fi και BLE, βασιζόμενη στο RSSI για την εκτίμηση των αποστάσεων. Τα πειράματα κάλυψαν βασικές πτυχές, όπως η κατανάλωση ενέργειας και η ακρίβεια της μέτρησης, ενώ αξιολογήθηκαν τόσο οι συνθήκες Γραμμής Ορατότητας (LOS) όσο και μη Γραμμής ορατότητας (NLOS). Τα αποτελέσματα προσφέρουν σημαντικές ενδείξεις για την καταλληλότητα κάθε τεχνολογίας αναλόγως του περιβάλλοντος και των αναγκών της εφαρμογής.

Παρόλου που το Wi-Fi παρουσιάζει υψηλή σταθερότητα και συνέπεια στις μετρήσεις του, με μικρότερες αποκλίσεις από το BLE στις ακατέργαστες τιμές, απαιτεί μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας. Αυτό το καθιστά πιο κατάλληλο για εφαρμογές όπου η ακρίβεια έχει κρίσιμο ρόλο, όπως σε βιομηχανικά περιβάλλοντα ή σε εφαρμογές εσωτερικής πλοήγησης που απαιτούν διαρκή παρακολούθηση. Αντίθετα το BLE διακρίνεται για την αυξημένη ευαισθησία του σε μικρές αλλαγές απόστασης, ιδιαίτερα όταν η συσκευή είναι κοντά στον πομπό, και τη σημαντικά μικρότερη κατανάλωση ενέργειας. Αυτά τα χαρακτηριστικά το καθιστούν ιδανικό για εφαρμογές παρακολούθησης θέσης σε φορητές συσκευές, όπου η εξοικονόμηση ενέργειας είναι κρίσιμη για παρατεταμένη χρήση.

Τα πειραματικά αποτελέσματα κατέδειξαν επίσης τη σημασία της τεχνικής φιλτραρίσματος στις μετρήσεις RSSI. Μέσω της εφαρμογής τεχνικών φιλτραρίσματος, όπως το KNN φιλτράρισμα, το BLE παρουσίασε εντυπωσιακή βελτίωση σε συνθήκες NLOS, όπου παρατηρήθηκε μείωση της απόκλισης και αύξηση της ακρίβειας. Συγκεκριμένα, το KNN φιλτράρισμα υπερέχει σε απόδοση έναντι άλλων μεθόδων, όπως το Kalman και το Gaussian φιλτράρισμα, διατηρώντας την απόκλιση σε χαμηλά επίπεδα και ενισχύοντας την αξιοπιστία της τεχνολογίας BLE. Έτσι, το BLE με KNN φιλτράρισμα αποτελεί μια ιδανική επιλογή για παρακολούθηση σε δυναμικά περιβάλλοντα με συχνές αλλαγές στη θέση του χρήστη, όπως σε εφαρμογές φορητών συσκευών για τον αθλητισμό ή την υγεία.

Η σύγκριση της κατανάλωσης ενέργειας μεταξύ Wi-Fi και BLE έδειξε ότι το BLE υπερτερεί σαφώς σε ενεργειακή αποδοτικότητα. Για παράδειγμα, μετρήσεις σε φορητή συσκευή Fossil Sport 2257 έδειξαν πως το BLE καταναλώνει περίπου 24.5mAh, ενώ το Wi-Fi περίπου 31.5mAh για 10 λεπτά χρήσης. Αυτή η διαφορά μπορεί να είναι κρίσιμη για εφαρμογές που απαιτούν συνεχή παρακολούθηση σε περιβάλλοντα με περιορισμένες πηγές ενέργειας. Η χαμηλότερη κατανάλωση του BLE το καθιστά, συνεπώς, την προτιμώμενη τεχνολογία για εφαρμογές σε φορητές συσκευές με αυστηρές απαιτήσεις διάρκειας μπαταρίας.

Συνολικά, η επιλογή μεταξύ Wi-Fi και BLE για εφαρμογές εσωτερικού εντοπισμού θέσης θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τους συγκεκριμένους στόχους της εφαρμογής, το περιβάλλον λειτουργίας και τις απαιτήσεις απόδοσης και ενέργειας. Το Wi-Fi μπορεί να υπερέχει σε εφαρμογές που απαιτούν ακρίβεια και σταθερότητα σε μεγαλύτερες αποστάσεις, ενώ το BLE, ιδιαίτερα όταν συνδυάζεται με προηγμένα φίλτρα όπως το KNN, είναι ιδανικό για φορητές συσκευές και εφαρμογές με αυξημένη κινητικότητα, προσφέροντας έναν αποτελεσματικό συνδυασμό ακρίβειας και ενεργειακής απόδοσης.

Η συγκεκριμένη μελέτη δείχνει ότι οι φορητές συσκευές για εσωτερικό εντοπισμό θέσης έχουν μεγάλες δυνατότητες και μπορούν να προσαρμοστούν σε

ποικίλες εφαρμογές, από την παρακολούθηση θέσης σε βιομηχανικά περιβάλλοντα μέχρι και σε προσωπικές συσκευές για καθημερινή χρήση. Με την κατάλληλη επιλογή τεχνολογίας και φιλτραρίσματος, οι φορητές συσκευές IoT μπορούν να παρέχουν υψηλή απόδοση, προσφέροντας έτσι λύσεις για τις προκλήσεις της εσωτερικής παρακολούθησης σε καθημερινά σενάρια.

Πηγές

- [1] Raul Montoliu, Emilio Sansano, Arturo Gascó, Oscar Belmonte, Antonio Caballer, "Indoor Positioning for Monitoring Older Adults at Home: Wi-Fi and BLE Technologies in Real Scenarios", MDPI, 28 April 2020..
- [2] IEEE Standard for Wearable Consumer Electronic Devices–Overview and Architecture," in IEEE Std 360-2022 , vol., no., pp.1-35, 25 April 2022, doi: 10.1109/IEEESTD.2022.9762855.
- [3] An Evaluation of Smartwatch Contribution in Improving Human Health Kok Yin Long, Kamalanathan Shanmugam, Muhammad Eshan Rana, 2023 17th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (IMCOM) , January 2023
- [4] Pai Chet NG, Petros Spachos, Stefano Gregori, Konstantinos Plataniotis, "Epidemic Exposure Tracking With Wearables: A Machine Learning Approach to Contact Tracing", IEEE Access, 31 January, 2022
- [5] "IEEE Standard for Wearable Consumer Electronic Devices–Overview and Architecture," in IEEE Std 360-2022 , vol., no., pp.1-35, 25 April 2022, doi: 10.1109/IEEESTD.2022.976285
- [6] S. Silva, P. M. Mendes and L. Domingues, "Magtag- A wearable wrist device for localization applications," 2010 4th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare, Munich, Germany, 2010, pp. 1-2, doi: 10.4108/ICST.PERVASIVEHEALTH2010.8890.
- [7] B. Krykpayev, M. F. Farooqui, R. M. Bilal and A. Shamim, "A WiFi tracking device printed directly on textile for wearable electronics applications," 2016 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS), San Francisco, CA, USA, 2016, pp. 1-4, doi: 10.1109/MWSYM.2016.7540334.
- [8] A. S. Salazar, L. Aguilar and G. Licea, "Estimating Indoor Zone-Level Location Using Wi-Fi RSSI Fingerprinting Based on Fuzzy Inference System," 2013 International Conference on Mechatronics, Electronics and Automotive Engineering, Morelos, Mexico, 2013, pp. 178-184, doi: 10.1109/ICMEAE.2013.27.
- [9] N. Honma, R. Tazawa, A. Miura, Y. Sugawara and H. Minamizawa, "RSS-Based DOA / DOD Estimation Using Bluetooth Signal and its Application for Indoor Tracking," 2018 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), Nantes, France, 2018, pp. 1-7, doi: 10.1109/IPIN.2018.8533719.
- [10] K. K. Lie, K. S. Yeo, A. K. Ngoh Ting and D. H. Tze Chieng, "Indoor Tracking with Bluetooth Low Energy Devices Using K-Nearest Neighbour Algorithm," 2020 IEEE 10th Symposium on Computer Applications Industrial Electronics (ISCAIE), Malaysia, 2020, pp. 155 159, doi: 10.1109/ISCAIE47305.2020.9108790.

- [11] M. Ji, J. Kim, J. Jeon and Y. Cho, "Analysis of positioning accuracy corresponding to the number of BLE beacons in indoor positioning system," 2015 17th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), PyeongChang, Korea (South), 2015, pp. 92-95, doi: 10.1109/ICACT.2015.7224764.
- [12] Z. El Khaled, H. Mcheick and F. Petrillo, "WiFi Coverage Range Characterization for Smart Space Applications," 2019 IEEE/ACM 1st International Workshop on Software Engineering Research Practices for the Internet of Things (SERP4IoT), Montreal, QC, Canada, 2019, pp. 61-68, doi: 10.1109/SERP4IoT.2019.00018.
- [13] X. Li, Z. Deng, F. Yang, X. Zheng, L. Zhang and Z. Zhou, "WiFi Indoor Location Method Based on RSSI," 2021 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), Cracow, Poland, 2021, pp. 1036-1040, doi: 10.1109/IDAACS53288.2021.9660916.
- [14] L. Yi, L. Tao and S. Jun, "RSSI localization method for mine underground based on RSSI hybrid filtering algorithm," 2017 IEEE 9th International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN), Guangzhou, China, 2017, pp. 327-332, doi: 10.1109/ICCSN.2017.8230129.
- [13] I. G. Tudorache, I. Rasool and A. H. Kemp, "Indoor RSSI-based ranging consistency and error factors in wireless sensor networks," 2012 20th Telecommunications Forum (TELFOR), Belgrade, Serbia, 2012, pp. 607-610, doi: 10.1109/TELFOR.2012.6419283
- [14] W. P. L. Cully, S. L. Cotton, W. G. Scanlon and J. B. McQuiston, "Body shadowing mitigation using differentiated LOS / NLOS channel models for RSSI-based Monte Carlo personnel localization," 2012 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Paris, France, 2012, pp. 694-698, doi: 10.1109/WCNC.2012.6214458.
- [15] A. Mackey and P. Spachos, "Performance evaluation of beacons for indoor localization in smart buildings," 2017 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP), Montreal, QC, Canada, 2017, pp. 823-827, doi: 10.1109/GlobalSIP.2017.8309075.
- [16] L. Khalil and P. Jung, "Scaled Unscented Kalman Filter for RSSI-based Indoor Positioning and Tracking," 2015 9th International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies, Cambridge, UK, 2015, pp. 132-137, doi: 10.1109/NGMAST.2015.20.
- [17] Kaibi Zhang, Yangchuan Zhang and Subo Wan, "Research of RSSI indoor ranging algorithm based on Gaussian- Kalman linear filtering," 2016 IEEE Advanced Information Management, Communication, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC), Xi'an, China, 2016, pp. 1628-1632, doi: 10.1109/IMCEC.2016.7867493.

- [18] P. Koovimol and S. Pattaramalai, "Experimental Machine Learning for RSSI fingerprint in Indoor WiFi Localization," 2021 18th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), Chiang Mai, Thailand, 2021, pp. 1018-1021, doi: 10.1109/ECTI-CON51831.2021.9454865
- [19] Faragher, R., & Harle, R. (2015). Location Fingerprinting With Bluetooth Low Energy Beacons. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 33(11), 2418-2428.
- [20] Wang, J., Wu, W., & Gu, T. (2020). Indoor Localization Using Wearable Devices: A Review. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22(3), 1979-2000.
- [21] A. Mackey and P. Spachos, "Performance evaluation of beacons for indoor localization in smart buildings," 2017 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP), Montreal, QC, Canada, 2017, pp. 823-827, doi: 10.1109/GlobalSIP.2017.8309075.

