



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Υλοποίηση μηχανισμού πρόβλεψης της κίνησης χρηστών  
κινητών συσκευών και μεταφόρτωσης υπολογισμών για  
εφαρμογές αναγνώρισης εικόνων**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Κωνσταντίνος Αποστολόπουλος**

**Επιβλέπων :** Συμεών Παπαβασιλείου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2022





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Υλοποίηση μηχανισμού πρόβλεψης της κίνησης χρηστών  
κινητών συσκευών και μεταφόρτωσης υπολογισμών για  
εφαρμογές αναγνώρισης εικόνων**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
Κωνσταντίνος Αποστολόπουλος

**Επιβλέπων :** Συμεών Παπαβασιλείου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 19<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου 2022.

.....  
Συμεών Παπαβασιλείου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Θεοδώρα Βαρβαρίγου  
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

.....  
Ιωάννα Ρουσσάκη  
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2022

.....

Κωνσταντίνος Αποστολόπουλος

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

Copyright © Κωνσταντίνος Αποστολόπουλος, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

## Περίληψη

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν η ανάπτυξη τεχνικής διαμοιρασμού υπολογισμών μεταξύ έξυπνων κινητών συσκευών και εξυπηρετητών στο άκρο του δικτύου. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή αναγνώρισης αντικειμένων εξασφαλίζοντας εγγυημένη απόδοση της υπηρεσίας στους χρήστες κινητών συσκευών. Η αναγνώριση αντικειμένων είναι μια εφαρμογή που απαιτεί πολλούς υπολογιστικούς πόρους, με αποτέλεσμα στις κινητές συσκευές να εκτελείται αργά και να καταναλώνει αρκετή ενέργεια. Για την εξοικονόμηση ενέργειας και πόρων, ο χρήστης μπορεί να αποστέλλει τα δεδομένα του σε ένα εξυπηρετητή που είναι γρήγορα προσβάσιμος στα άκρα του δικτύου.

Συγκεκριμένα, έγινε μελέτη των τεχνικών εύρεσης σε πραγματικό χρόνο της σχετικής τοποθεσίας ενός χρήστη κινητής συσκευής σε έναν χώρο μέσω διαφόρων τεχνικών και σύγκριση αυτών των μεθόδων για την εύρεση του πιο αποδοτικού για την συγκεκριμένη εφαρμογή. Η γνώση της κινητικότητας του χρήστη είναι αναπόσπαστο κομμάτι της πληροφορίας που χρειάζεται η εφαρμογή και, σε συνεργασία με την γνώση της σχετικής θέσης των εξυπηρετητών στον ίδιο χώρο, χρησιμοποιήθηκε για την βέλτιστη επιλογή βάσει συνθηκών του κατάλληλου εξυπηρετητή για την εκτέλεση της υπηρεσίας αναγνώρισης εικόνας με βάση έναν αλγόριθμο γεωμετρικού προσδιορισμού και ελαχιστοποίησης συνάρτησης κόστους με μετρικές απόστασης, ταχύτητας και συχνότητας μεταφοράς δεδομένων μεταξύ κινητής συσκευής και εξυπηρετητή.

Στα πλαίσια της εργασίας χρησιμοποιήθηκε κινητή συσκευή Raspberry Pi 3 συνδεδεμένο με φορητή μπαταρία και εξυπηρετητές τύπου linux στον χώρο του Εργαστηρίου Διαχείρισης & Βέλτιστου Σχεδιασμού Δικτύων Τηλεματικής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η εφαρμογή υλοποιήθηκε με την χρήση του λογισμικού Django για την παροχή της υπηρεσίας των εξυπηρετητών μέσω ασύρματων δικτύων WiFi και TensorFlow για την εφαρμογή αναγνώρισης εικόνας. Η χρήση των συγκεκριμένων εργαλείων έγινε με στόχο την απλότητα, ταχύτητα, ευελιξία και κλιμακωσιμότητα που προσφέρουν.

## Λέξεις Κλειδιά

Διαμοιρασμός Υπολογισμών, Υπολογισμός Άκρων, Τοπικό Υπολογιστικό Νέφος, Αναγνώριση Εικόνων, Τεχνητή Νοημοσύνη, Συστήματα Εντοπισμού Θέσης, Ασύρματο Δίκτυο Υπολογιστών, Έξυπνες Συσκευές, Αισθητήρες, Κινητικότητα.



## **Abstract**

The purpose of this thesis was to develop computational offloading techniques between smart mobile devices and servers at the network edge. This technique was used on an image recognition application ensuring guaranteed performance of the service to mobile users. Object recognition is an application that requires a lot of computing resources, resulting in high processing delays in mobile devices and consuming a lot of power. To save energy and resources, the user can upload his data to a server that is quickly accessible at the network edge.

Specifically, real-time methods of finding a mobile device user's relative location in a space were studied using various techniques used in literature and comparing these to find the most efficient one for that particular application. Awareness of user mobility is an integral part of the information needed by the application and, in conjunction with prior knowledge of the relative position of servers in the same site, was used to optimally select under the specific conditions the appropriate server to perform the image recognition service, based on a geometric algorithm for determining and minimizing the cost function with metrics of distance, speed, and frequency of data transfer between mobile device and server.

As part of the project, a Raspberry Pi 3 mobile device connected to a portable battery and linux-type servers were used in the area of the Network Management and Optimal Design Laboratory (NETMODE) of the National Technical University of Athens. The server functionality was implemented using Django software to provide the service via WiFi wireless networks and TensorFlow for handling the image recognition application. The use of these tools was made with the aim of providing simplicity, speed, flexibility and scalability.

## **Keywords**

Computational Offloading, Edge Computing, Cloudlet, Image Recognition, Artificial Intelligence, Positioning Systems, Wireless Computer Network, Smart Devices, Sensors, Mobility.





## Ευχαριστίες

Με την παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνονται οι σπουδές μου στην Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κύριο Συμεών Παπαβασιλείου για την επίβλεψη της διπλωματικής μου εργασίας καθώς επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ στους μεταδιδακτορικούς ερευνητές του εργαστηρίου για τη καθοδήγηση τους και για την υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Παράλληλα θέλω να ευχαριστήσω θερμά τους φίλους μου και συνάδελφους μου με τους οποίους ξεκινήσαμε μαζί και επισφραγίζουμε το τέλος των σπουδών μας πάλι μαζί. Ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ οφείλω στα άτομα του εργαστηρίου για την παρέα τους, την βοήθεια τους και την φαντασία που επιδείκνυαν στα διαλείμματα αυτής της διπλωματικής.

Τέλος οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου, που παρά τις όποιες δυσκολίες, με στήριξε και βοήθησε στο να φτάσω εδώ που είμαι σήμερα.

Κωνσταντίνος Αποστολόπουλος



## Περιεχόμενα

<b>Περίληψη</b> .....	5
Abstract.....	7
Ευχαριστίες.....	9
Περιεχόμενα.....	11
1. Εισαγωγή.....	13
1.1 Διαμοιρασμός Υπολογισμών.....	14
1.2 Προκλήσεις στον Διαμοιρασμό Υπολογισμών.....	15
1.3 Εντοπισμός Θέσης σε Εσωτερικά Περιβάλλοντα.....	16
1.4 Αντικείμενο της διπλωματικής.....	17
1.5 Συνεισφορά.....	17
1.6 Οργάνωση του τόμου.....	18
2. Βιβλιογραφία.....	19
2.1 Τεχνικές Προσδιορισμού Θέσης σε Εσωτερικά Περιβάλλοντα.....	19
2.1.1 Συστήματα με βάση το δίκτυο.....	20
2.1.2 Αδρανειακά συστήματα.....	23
2.1.3 Υβριδικά Συστήματα Προσδιορισμού Θέσης.....	24
2.2 Διαμοιρασμός Υπολογισμών.....	26
2.2.1 Μέθοδοι Προσέγγισης Μεταφόρτωσης Υπολογισμών.....	26
2.2.2 Κριτήρια Διαχωρισμού των Μοντέλων Εφαρμογών.....	27
2.2.3 Κατηγοριοποίηση Βιβλιογραφίας.....	29
3. Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	33
3.1 Αισθητήρες Χαμηλού Επιπέδου.....	33
3.1.1 Επιταχυνσιόμετρο.....	33
3.1.2 Γυροσκόπιο.....	34
3.1.3 Μαγνητόμετρο.....	34
3.1.4 Ολοκληρωμένο Μικρο-ηλεκτρονικό κύκλωμα αισθητήρων.....	35
3.2 Αισθητήρες Υψηλού Επιπέδου και Φίλτρα.....	38
3.3 Γωνίες Euler και Μετασχηματισμός Αξόνων.....	40
3.4 Τετραδόνια (Quaternions) και Μετασχηματισμός Αξόνων.....	42
3.5 Ο αλγόριθμος K Κοντινότερων Γειτόνων (KKΓ).....	44
4. Σχεδίαση Συστήματος.....	47
4.1 Το Πρόβλημα.....	47
4.2 Περιγραφή Συνιστωσών Υλοποίησης.....	47
4.2.1 Συστήματα Εντοπισμού Θέσης.....	47
4.2.1.2 Σύστημα Βάσει Εμβέλειας.....	48
4.2.1.3 Σύστημα Ανεξαρτήτου Εμβέλειας.....	53
4.2.1.4 Αδρανειακό σύστημα περιτύλιξης.....	54
4.2.1.5 Σύστημα Βήματος και Κατεύθυνσης.....	55
4.2.2 Μεταφόρτωση Διεργασιών σε Εξυπηρετητή.....	58
4.2.2.1 Το μοντέλο του χρήστη.....	58
4.2.2.2 Το μοντέλο του εξυπηρετητή.....	59
5. Πειραματική Αξιολόγηση.....	61
5.1 Λεπτομέρειες Υλοποίησης.....	61
5.2 Πειραματικές Μετρήσεις και Αξιολόγηση.....	62
5.2.1 Πείραμα Α: Εντοπισμός Θέσης Με Τριγωνοποίηση (Triangulation).....	62

5.2.2 Πείραμα Β: Εντοπισμός Θέσης Με Δικτυακό Αποτύπωμα.....	67
5.2.3 Πείραμα Γ: Εντοπισμός Θέσης Με Τσιπ Μετρήσεως Αδρανειακών Δυνάμεων .....	72
5.2.4 Πείραμα Δ: Εντοπισμός Θέσης Με Μέτρηση Βημάτων Και Κατεύθυνσης..	74
5.2.5 Πείραμα Ε: Εξυπηρετητής Μεταφόρτωσης Διεργασιών Με Δυνατότητα Κινητικότητας Χρήστη.....	79
6. Συμπεράσματα και Μελλοντική Εργασία .....	83
6.1 Σύνοψη συμπερασμάτων αξιολόγησης.....	83
6.2 Μελλοντικές Προεκτάσεις .....	84
Βιβλιογραφία .....	85

# 1. Εισαγωγή

Η Βιομηχανία 4.0 (Industry 4.0) είναι η ονομασία που δόθηκε στην τρέχουσα τάση της αυτοματοποίησης και της ανταλλαγής δεδομένων στις τεχνολογίες παραγωγής. Περιλαμβάνει τα αυτό-ελεγχόμενα με αλγόριθμο συστήματα (cyber-physical systems – CPS), το Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things – IoT), τον Υπολογισμό Νέφους (cloud computing) και την Τεχνητή Νοημοσύνη (artificial intelligence – AI). Η βιομηχανία 4.0 αναφέρεται συνήθως ως η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση.

Η βιομηχανία 4.0 ενισχύει αυτό που ονομάστηκε «Υπολογιστή Ευφυΐα». Μέσα σε συστοιχία υπολογιστικών συστημάτων με νοημοσύνη (modular structured smart factories), τα αυτό-ελεγχόμενα συστήματα παρακολουθούν και εποπτεύουν τις φυσικές διαδικασίες, δημιουργούν ένα εικονικό αντίγραφο του φυσικού κόσμου και παίρνουν αποκεντρωμένες αποφάσεις. Μέσω του Διαδικτύου των πραγμάτων, τα έξυπνα αυτά συστήματα επικοινωνούν και συνεργάζονται μεταξύ τους αλλά και με ανθρώπους σε πραγματικό χρόνο, τόσο εσωτερικά όσο και σε οργανωτικές υπηρεσίες που προσφέρονται και χρησιμοποιούνται από συμμετέχοντες της αλυσίδας παραγωγής (value chain).

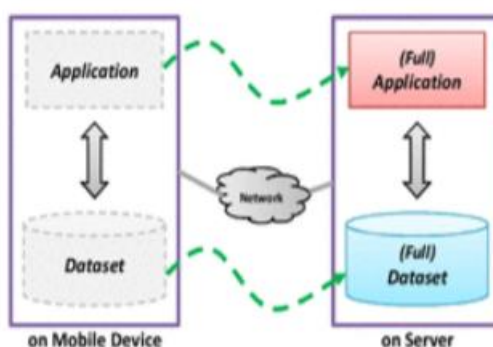
Κανείς πλέον δεν μπορεί να αρνηθεί τον ρόλο της έλευσης των έξυπνων κινητών συσκευών στην μετάβαση στην νέα αυτή βιομηχανική επανάσταση. Χρησιμοποιούνται καθημερινά από δισεκατομμύρια ανθρώπων και έχει γίνει αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής μας. Αν και ξεκίνησαν απλά ως συσκευές επικοινωνίας, αποκτούν όλο και περισσότερες δυνατότητες και λειτουργίες, με την αρχιτεκτονική τους πλέον να αναπαριστά ολοκληρωμένο υπολογιστικό σύστημα.

Ομοίως, τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα (smartphones) κερδίζουν επίσης τεράστια δημοτικότητα χάρη στην υποστήριξη για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως τα παιχνίδια, η επεξεργασία εικόνων, η επεξεργασία βίντεο, το ηλεκτρονικό εμπόριο και οι υπηρεσίες κοινωνικών δικτύων στο διαδίκτυο. Καθώς οι εφαρμογές smartphone αυξάνουν την πολυπλοκότητα, το ίδιο συμβαίνει και με τη ζήτηση για υπολογιστικούς πόρους. Δυστυχώς, η πρόοδος στον εξοπλισμό smartphone και η διάρκεια ζωής της μπαταρίας ήταν αργή για να ανταποκριθεί στις υπολογιστικές απαιτήσεις των εφαρμογών που εξελίχθηκαν με την πάροδο των ετών. Επομένως, πολλές εφαρμογές εξακολουθούν να είναι ακατάλληλες για smartphones λόγω περιορισμών, όπως χαμηλή ισχύς επεξεργασίας, περιορισμένη μνήμη, απρόβλεπτη συνδεσιμότητα δικτύου και περιορισμένη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Σε γενικές γραμμές, για να καταστήσουμε τα smartphones ενεργειακά αποδοτικά και ικανά για κάθε είδος υπολογισμούς, απαιτούνται αλλαγές σε σημαντικό επίπεδο υλικού και λογισμικού, πράγμα που απαιτεί από τους προγραμματιστές και τους κατασκευαστές να συνεργαστούν. Λόγω περιορισμών μεγέθους, μόνο οι αλλαγές στο επίπεδο υλικού ενδέχεται να μην επιτρέπουν στα smartphone να επιτύχει αληθινή απεριόριστη υπολογιστική ισχύ. Επομένως, οι αλλαγές στο επίπεδο λογισμικού είναι πιο αποτελεσματικές, όπου ο υπολογισμός πραγματοποιείται σε απομακρυσμένους πόρους με μερική υποστήριξη του υλικού ενός smartphone [1]. Ο Διαμοιρασμός Υπολογισμών (Computational Offloading) είναι μια διαδικασία που μετακινεί τους υπολογισμούς έντονης χρήσης πόρων από μια κινητή συσκευή στο πλούσιο σε πόρους Υπολογιστικό Νέφος (cloud) ή διακομιστή (server - ονομάζεται κοντινή υποδομή). Ο Διαμοιρασμός Υπολογισμών με βάση το Υπολογιστικό Νέφος βελτιώνει την απόδοση των εφαρμογών, μειώνει την

κατανάλωση ενέργειας της μπαταρίας και εκτελεί εφαρμογές που δεν είναι σε θέση να εκτελέσουν λόγω ανεπαρκών πόρων smartphone. Επιπλέον, το cloud προσφέρει υπηρεσίες αποθήκευσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ξεπεραστούν οι περιορισμοί αποθήκευσης των smartphones. Επί του παρόντος, υπάρχουν πολλές εφαρμογές που υποστηρίζονται από πολλούς τομείς, όπως το εμπόριο [2], η υγειονομική περίθαλψη [3] [4], η εκπαίδευση [5] [6], τα δίκτυα κοινωνικής δικτύωσης, το παιχνίδι [7] και την αναζήτηση [8], μεταξύ άλλων. [9]

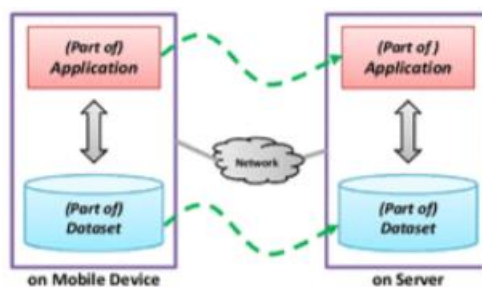
## 1.1 Διαμοιρασμός Υπολογισμών

Η έννοια του διαμοιρασμού υπολογισμών περιλαμβάνει την μεταφόρτωση του έργου που θα εκτελεστεί από τον απομακρυσμένο διακομιστή. Με βάση το τμήμα της εφαρμογής που πρέπει να εκφορτωθεί από το κινητό τηλέφωνο στον εξυπηρετητή, θα μπορούσε ο διαμοιρασμός υπολογισμών να διαχωριστεί σε δύο ομάδες, που είναι η μερική μεταφόρτωση και η πλήρης μεταφόρτωση. Στην πλήρη αρχιτεκτονική μεταφόρτωσης, το κινητό διαμοιράζει την πλήρη εφαρμογή μαζί με όλα τα δεδομένα που σχετίζονται με αυτό στον εξυπηρετητή όπου λαμβάνεται ολόκληρος ο υπολογισμός θέσης και τα τελικά αποτελέσματα στέλνονται πίσω στην κινητή συσκευή όπως φαίνεται στο σχήμα 1.1 [10]



Σχήμα 1.1.α: Πλήρης διαμοιρασμός (πλήρης μεταφόρτωση)

Στη μερικής μεταφόρτωσης αρχιτεκτονική μόνο το μέρος της εφαρμογής που καταναλώνει περισσότερη ενέργεια ή έχει πολυπλοκότητα όσον αφορά τον υπολογισμό έχει εκφορτωθεί στον εξυπηρετητή. Σε αυτό το είδος διαμοιρασμού, το κινητό τηλέφωνο και το Υπολογιστικό Νέφος είναι υπεύθυνοι για τον υπολογισμό και τα τελικά αποτελέσματα έρχονται μετά τη συγχώνευση των επιμέρους αποτελεσμάτων και των δύο υπολογισμών, δηλαδή σε κινητή συσκευή και στο νέφος όπως φαίνεται στο σχήμα 1.1.β. Η μερική μεταφόρτωση υπολογίζει την εργασία σε τοπικό επίπεδο, η οποία θα μπορούσε να ήταν πολύπλοκη λόγω έλλειψης πόρων όρους λογισμικού, υποδομής κλπ. Επιπλέον, η πολυπλοκότητα και ο χρόνος εκτέλεσης θα μπορούσαν επίσης να ελαχιστοποιηθούν αν ο κώδικας εκφορτωθεί στο Υπολογιστικό Νέφος για εκτέλεση. [10]



Σχήμα 1.1.β: Μερικός διαμοιρασμός (μερική μεταφόρτωση)

## 1.2 Προκλήσεις στον Διαμοιρασμό Υπολογισμών

Ο υπολογισμός ομίχλης (Fog Computing) θεωρείται ως η πολλά υποσχόμενη επέκταση του παραδείγματος υπολογισμού του Cloud για την αντιμετώπιση των σχετικών με το IoT ζητημάτων στα άκρα του δικτύου. Ωστόσο, στον υπολογισμό ομίχλης, οι υπολογιστικοί κόμβοι είναι ετερογενείς και διανεμόνται. Εκτός αυτού, οι υπηρεσίες που βασίζονται σε ομίχλη πρέπει να αντιμετωπίζουν διάφορες πτυχές του περιορισμένου περιβάλλοντος. Η διασφάλιση της ασφάλειας είναι επίσης κυρίαρχη στον υπολογισμό ομίχλης.

Αναλύοντας τα χαρακτηριστικά του Υπολογισμού ομίχλης όσον αφορά την αρχιτεκτονική, τον προσανατολισμό στις υπηρεσίες και τις προοπτικές ασφάλειας, οι προκλήσεις σε αυτόν τον τομέα μπορούν να αναφερθούν ως εξής:

- Αρχιτεκτονική:

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικές αρχιτεκτονικές δομές τόσο στο άκρο όσο και στο κεντρικό δίκτυο ως δυνητική υποδομή υπολογιστικής ομίχλης. Συνήθως αυτές οι συσκευές είναι εξοπλισμένες με διάφορα είδη επεξεργαστών αλλά δεν χρησιμοποιούνται για υπολογισμό γενικού σκοπού. Η πρόβλεψη των στοιχείων με υπολογισμό γενικού σκοπού πέρα από τις παραδοσιακές τους δραστηριότητες θα είναι πολύ δύσκολο.

- Προσφερόμενες υπηρεσίες:

Πρέπει να προσδιοριστούν οι πολιτικές για τη διανομή υπολογιστικών εργασιών και υπηρεσιών μεταξύ των αισθητήρων συσκευών IoT, των υποδομών Fog and Cloud. Η οπτικοποίηση δεδομένων μέσω διαδικτυακών διεπαφών είναι επίσης δύσκολο να σχεδιαστεί σε υπολογιστές ομίχλης. Στον υπολογισμό ομίχλης, η Συμφωνία για το Επίπεδο Υπηρεσίας (SLA) επηρεάζεται συχνά από πολλούς παράγοντες όπως το κόστος υπηρεσίας, η κατανάλωση ενέργειας, τα χαρακτηριστικά εφαρμογής, η ροή δεδομένων, η κατάσταση δικτύου κλπ. Επομένως, σε ένα συγκεκριμένο σενάριο, είναι πολύ δύσκολο να προσδιοριστεί οι μετρήσεις παροχής υπηρεσιών και οι αντίστοιχοι στόχοι επιπέδου υπηρεσίας (SLO). Εκτός αυτού, είναι πολύ απαραίτητο να διατηρηθεί το θεμελιώδες Επίπεδο Ποιότητας Υπηρεσιών (QoS) των κόμβων ομίχλης για τους οποίους έχουν σχεδιαστεί πραγματικά.

- Ζητήματα ασφαλείας:

Δεδομένου ότι ο εξυπηρετητής έχει σχεδιαστεί με παραδοσιακά στοιχεία δικτύωσης, είναι ιδιαίτερα ευάλωτος στις επιθέσεις ασφαλείας. Η αυθεντική πρόσβαση στις υπηρεσίες και η διατήρηση της ιδιωτικής ζωής σε ένα ευρέως καταναμημένο παράδειγμα, όπως ο υπολογισμός ομίχλης, είναι δύσκολο να εξασφαλιστούν. Η εφαρμογή μηχανισμών ασφαλείας για την ακεραιότητα των δεδομένων μπορεί να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό το QoS του Fog computing.

Εκτός από την επεκτασιμότητα των υπηρεσιών προκλήσεων που προαναφέρθηκαν, οι τελικοί χρήστες QoE, η ευαισθητοποίηση σχετικά με το περιβάλλον, η υποστήριξη της κινητικότητας είναι πολύ σημαντικοί δείκτες επιδόσεων για τον διαμοιρασμό υπολογισμού και είναι πολύ δύσκολο να αντιμετωπιστούν οι αλληλεπιδράσεις σε πραγματικό χρόνο.

### 1.3 Εντοπισμός Θέσης σε Εσωτερικά Περιβάλλοντα

Η εκτίμηση της θέσης ενός στόχου σε ένα υπαίθριο περιβάλλον συνήθως επιλύεται χρησιμοποιώντας τα Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης (Global Navigation Satellite Systems - GNSS) όπως το γνωστό σε όλους μας GPS, το κινέζικο Beidou, το Ρωσικό GLONASS και λοιπά. Παρ'όλα αυτά, στην περίπτωση των εσωτερικών χώρων υπάρχει απουσία ενός τυποποιημένου συστήματος εντοπισμού θέσης που μπορεί να εφαρμοστεί παγκοσμίως. Για το λόγο αυτό, οι ερευνητικές προσπάθειες συγγραφέων που εργάζονται στον τομέα του εντοπισμού θέσης έχουν επικεντρωθεί πρόσφατα σε εσωτερικά σενάρια.

Τα συστήματα εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο (Συστήματα εσωτερικής τοποθέτησης - Indoor Positioning Systems - IPS) έχουν σχεδιαστεί για την παροχή πληροφοριών σχετικά με τη θέση ενός ατόμου ή ενός αντικειμένου μέσα σε ένα κτίριο. Στην πραγματικότητα, η εξέλιξη των IPS διευκολύνει τη δημιουργία εσωτερικών υπηρεσιών βάσει τοποθεσίας (Indoor Location Based Services - ILBS), οι οποίες αναπτύσσουν εφαρμογές πάνω από τη γνώση της θέσης. Παραδείγματα τέτοιων υπηρεσιών είναι η θέση των προϊόντων που αποθηκεύονται σε μια αποθήκη, η παρακολούθηση του εξοπλισμού μέσα σε ένα νοσοκομείο, η καθοδήγηση των πυροσβεστών μέσα στα κτίρια με μειωμένη ορατότητα λόγω του καπνού, μεταξύ άλλων, όπως η καθοδήγηση ατόμων εντός αεροδρομίων ή η ανάπτυξη συστημάτων υποβοηθούμενης διαβίωσης για τη φροντίδα των ηλικιωμένων.

Πράγματι, η προβλεπόμενη αγοραία αξία των υπηρεσιών εσωτερικής τοποθεσίας για το 2020 είναι 10 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ [11]. Ως εκ τούτου, υπάρχει ένα ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη IPS που μπορεί εύκολα να κλιμακωθεί σε εφαρμογές μαζικής αγοράς και να αναπτυχθεί σε εκατομμύρια κτίρια στον κόσμο. Υπάρχουν τρεις βασικές απαιτήσεις για ένα IPS που αποσκοπεί στην εφαρμογή σε εφαρμογές μαζικής αγοράς:

- (i) το σύστημα πρέπει να παρέχει ακριβείς εκτιμήσεις θέσης,
- (ii) το σύστημα πρέπει να είναι εύκολα κλιμακωτό, και
- (iii) το κόστος της υποδομής του συστήματος πρέπει να μειωθεί. [12]

Η τρέχουσα τάση μείωσης του κόστους των συστημάτων είναι η χρήση των ασύρματων υποδομών που έχουν ήδη αναπτυχθεί για επικοινωνίες ως ορόσημο για τον



εντοπισμό θέσης σε εσωτερικό χώρο. Μεταξύ της πληθώρας διαθέσιμων τεχνολογιών για επικοινωνίες όπως τα δίκτυα τέταρτης γενιάς (LTE), ασύρματες τεχνολογίες μεταφοράς δεδομένων WiFi (Wireless Fidelity), Bluetooth, ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (Wireless Sensor Networks - WSN) η Δίκτυα Ευρείας Ζώνης (Ultra Wide Band - UWB), η τεχνολογία WiFi είναι η πιο συνηθισμένη, επειδή χρησιμοποιείται ήδη σε παγκόσμιο επίπεδο, παρόλο που τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων WSN χρησιμοποιούνται επίσης ευρέως λόγω του βασικού ρόλου που διαδραματίζουν στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) και στο μέλλον των έξυπνων πόλεων. Ομοίως, η ανάπτυξη των Μικροηλεκτρομηχανικών Συστημάτων (Microelectromechanical Systems - MEMS) μας παρέχει αισθητήρες αδρανείας χαμηλού κόστους που μπορούν επίσης να εκτιμήσουν τη θέση ενός πεζού χωρίς την ανάγκη οποιασδήποτε υποδομής στο κτίριο. Σημειώστε ότι οι περισσότερες από αυτές τις τεχνολογίες είναι ήδη διαθέσιμες στα σημερινά smartphone, μετατρέποντας το smartphone στην τέλεια συσκευή για μαζικά συστήματα εντοπισμού θέσης στην αγορά.

#### 1.4 Αντικείμενο της διπλωματικής

Η μεταφόρτωση όλων των εργασιών στο νέφος μπορεί να επιβαρύνει σημαντικά το δίκτυο. Ένας πολλά υποσχόμενος τρόπος για την επίλυση αυτού του προβλήματος είναι ο Υπολογισμός στα Άκρα (Edge Computing), όπου οι εξυπηρετητές παρέχονται στα άκρα του δικτύου. Στο Edge Computing για το IoT, καθώς η διαδικασία δημιουργίας εργασιών είναι εξαιρετικά δυναμική και οι στατιστικές πληροφορίες δύσκολα μπορούν να ληφθούν ή να προβλεφθούν με ακρίβεια, είναι πολύ σημαντικό να επιτευχθεί η αποτελεσματική αποφόρτιση των εργασιών εφαρμογής για να επιτευχθεί ο συνδυασμός μεταξύ κόστους μεταφόρτωσης και απόδοσης.

Πλέον, οι ασύρματες κινητές συσκευές έχουν πρόσβαση στο υπολογιστικό νέφος μέσω ασύρματης επικοινωνίας, όπως Wi-Fi, 3G / 4G, κ.λπ. Ο Υπολογισμός άκρων παρέχει ένα τοπικό υπολογιστικό νέφος, προσβάσιμο στον χρήστη μέσω του άκρου του δικτύου που όμως δεν έχει άφθονους πόρους, όπως το απομακρυσμένο Υπολογιστικό Νέφος. Ο χρήστης ο οποίος βρίσκεται σε ένα ασύρματο μητροπολιτικό δίκτυο (wireless metropolitan area networks) [13] θα επιλέξει, για να ελαχιστοποιήσει τους πόρους που θα καταναλώσει, να συνδεθεί στο καλύτερο για αυτόν υπολογιστικό άκρο για να εκφορτώσει πιο αποτελεσματικά την διεργασία του. Παράλληλα, κατά την διάρκεια επεξεργασίας του αιτήματος, ο χρήστης θα έχει κινηθεί μέσα στον χώρο με αποτέλεσμα να βρίσκεται εκτός εμβέλειας του συγκεκριμένου υπολογιστικού άκρου αλλά εντός πάντα του ασύρματου μητροπολιτικού δικτύου.

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας υλοποιήθηκαν και δοκιμάστηκαν αρχικά διάφοροι αλγόριθμοι εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο και μετά υλοποιήθηκε ένας απλός αλγόριθμος με βάση τον οποίο ο χρήστης, με βάση την κινητικότητα του και τους διαθέσιμους υπολογιστικούς πόρους, επιλέγει υπολογιστικό άκρο για να αποστείλει την διεργασία του, και ταυτόχρονα μελετήθηκε η περίπτωση όπου τα υπολογιστικά άκρα είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους και ανταλλάσσουν πληροφορίες ή λειτουργούν αυτοτελώς.

#### 1.5 Συνεισφορά

Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι ο αλγόριθμος είναι μία γρήγορη και κλιμακωτή λύση στο πρόβλημα κινητικότητας χρήστη κατά τον διαμοιρασμό υπολογιστικών πόρων. Στην περίπτωση που οι εξυπηρετητές είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους έχουμε πολύ καλύτερη εκμετάλλευση του εύρους ζώνης της σύνδεσης και του χρόνου επεξεργασίας αλλά με μικρή σπατάλη πόρων για τον υπολογισμό παραμέτρων για την επιλογή του εξυπηρετητή. Στην περίπτωση που είναι αυτόνομοι, τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων έδειξαν παρόμοια αποτελέσματα με τα θεωρητικά, σε σχέση με τον αλγόριθμο που εξετάστηκε και συγκρίθηκε. [14]

## 1.6 Οργάνωση του τόμου

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι οργανωμένη σε έξι κεφάλαια. Εργασίες σχετικές με το αντικείμενο της διπλωματικής παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 2. Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο, καθώς και οι βασικές έννοιες και τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν στη διπλωματική εργασία. Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται εκτενώς το πρόβλημα, και οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν στην διπλωματική για την επίλυση του. Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζουμε τα πειραματικά αποτελέσματα των μετρήσεων και ακολουθεί ανάλυση αυτών και παρουσίαση των συμπερασμάτων της διπλωματικής. Το Κεφάλαιο 6 παρέχει ιδέες και κατευθύνσεις για την προοπτική μελλοντικής εξέλιξής της.

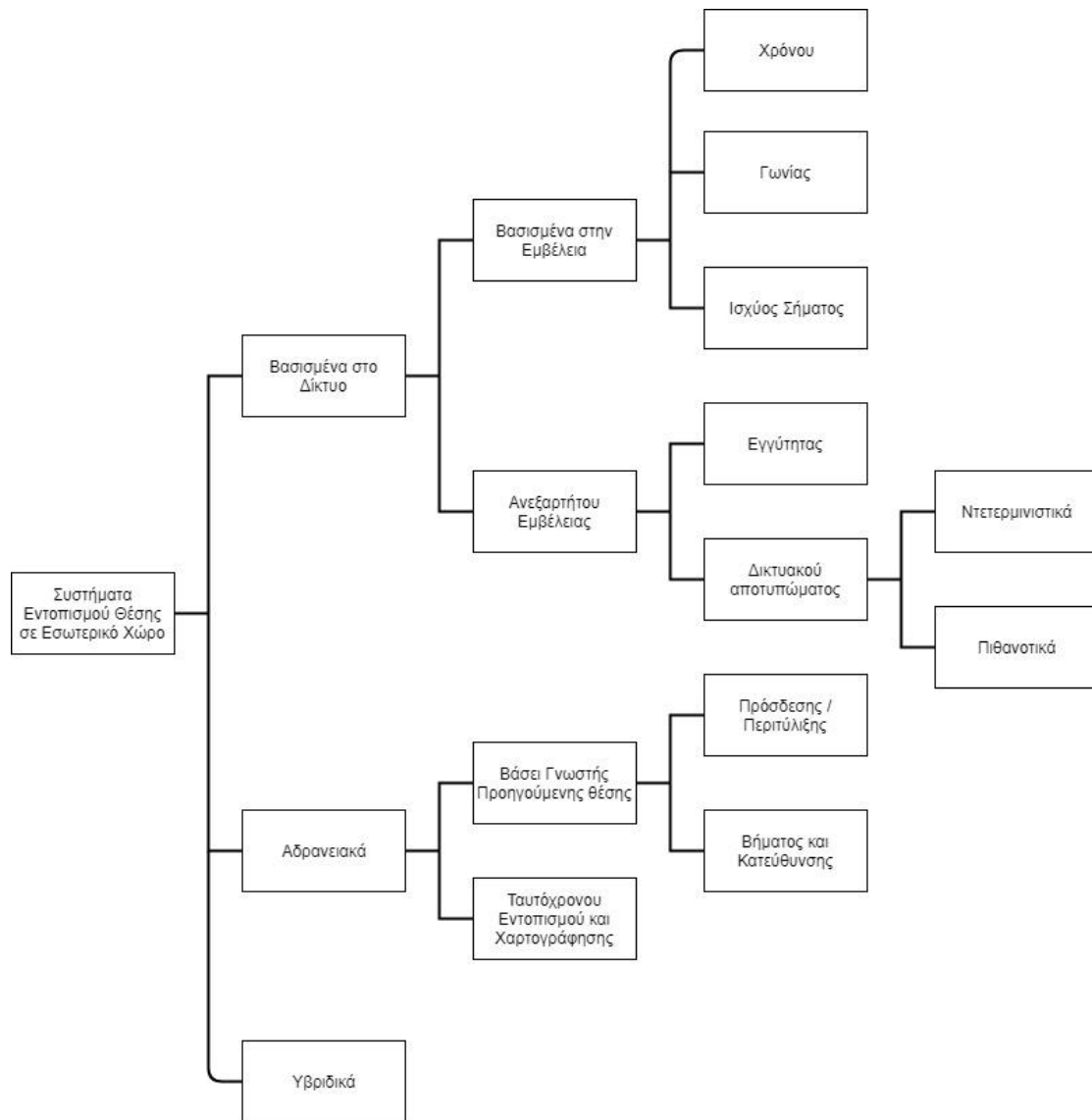
## 2. Βιβλιογραφία

### 2.1 Τεχνικές Προσδιορισμού Θέσης σε Εσωτερικά Περιβάλλοντα

Στο μέρος αυτό θα αναλυθούν η υπάρχουσες τεχνικές προσδιορισμού θέσης σε εσωτερικά περιβάλλοντα (IPS – Indoor Positioning Systems). Πρώτα απ' όλα, ταξινομούμε και αξιολογούμε τα αυτοτελή IPS και στη συνέχεια αναλύουμε τις πιο πολλά υποσχόμενες υβριδικές μεθόδους. Συνολικά, τα συστήματα IPS μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις ομάδες:

- **Συστήματα που βασίζονται στο δίκτυο:** Αυτά τα συστήματα βασίζονται στην ύπαρξη ενός ασύρματου δικτύου στο χώρο και χρησιμοποιούν τις πληροφορίες των ασύρματων σημάτων για να εκτιμήσουν τη θέση του χρήστη που μεταφέρει μια ασύρματη συσκευή με δυνατότητα ανίχνευσης των σημάτων αυτών.
- **Αδρανειακά συστήματα:** Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν αυτόνομους αισθητήρες που μετρούν την κίνηση του χρήστη και εκτιμούν τη θέση του σε σχέση με το σημείο εκκίνησης, χωρίς να χρειάζεται οποιαδήποτε φυσική υποδομή να αναπτυχθεί στο κτίριο.
- **Υβριδικά συστήματα:** Τα συστήματα αυτά συνδυάζουν από κοινού δύο ή περισσότερες διαφορετικές μεθόδους προκειμένου να ενισχύσουν την εκτίμηση της θέσης.

Πλήρης ταξινόμηση των IPS παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.1 Τα υβριδικά συστήματα δεν έχουν υποκλάσεις. Υπάρχουν πολλοί δυνατοί συνδυασμοί IPS που μπορούν να αποτελέσουν ένα υβριδικό σύστημα και μια γενική ταξινόμηση αυτών των συστημάτων δεν είναι εφικτή.



Σχήμα 2.1: Ταξινόμηση συστημάτων εσωτερικού εντοπισμού θέσης

### 2.1.1 Συστήματα με βάση το δίκτυο

Μπορούμε να ταξινομήσουμε τα IPS συστήματα με βάση το δίκτυο σύμφωνα με τις πληροφορίες που λαμβάνονται από τα ασύρματα σήματα σε δύο ομάδες:

- (i) μεθόδους βάσει εμβέλειας και
- (ii) μεθόδους ανεξαρτήτου εμβέλειας.

Οι μέθοδοι βάσει εμβέλειας εξάγουν γεωμετρικές πληροφορίες (απόσταση ή γωνία) από τα σήματα διαφόρων κόμβων στο ασύρματο δίκτυο και στη συνέχεια συνδυάζουν τους γεωμετρικούς περιορισμούς κάθε ασύρματου σταθμού για να αποκτήσουν τη θέση του χρήστη. Αντίθετα, οι μέθοδοι ανεξαρτήτου εμβέλειας βασίζονται στις πληροφορίες διασύνδεσης μεταξύ κόμβων ή στην αναγνώριση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών σήματος που εξαρτώνται από την τοποθεσία.

## **1. Βάσει εμβέλειας**

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για την εξαγωγή γεωμετρικών πληροφοριών από τα ασύρματα σήματα, οι πιο συνηθισμένοι είναι οι μέθοδοι που βασίζονται στο χρόνο διάδοσης του σήματος, μεταξύ του πομπού και του δέκτη, της γωνίας άφιξης (Angle of Arrival - AoA) ή της έντασης λήψης σήματος (Received Signal Strength - RSS).

### **1.1) Βασισμένα στη Διαφορά Χρόνου**

Οι αλγόριθμοι εντοπισμού με βάση το χρόνο μετρούν το χρόνο μετάδοσης ενός σήματος μεταξύ του πομπού και του δέκτη, επίσης γνωστού ως Time of Flight (ToF) και υπολογίζουν την απόσταση μεταξύ του χρήστη και του κόμβου. Η απλούστερη προσέγγιση είναι γνωστή ως Χρόνος άφιξης (Time of Arrival - ToA).

Ένα παράδειγμα ενός συστήματος εντοπισμού θέσης με βάση το χρόνο είναι το σύστημα Active Bat [17]. Αυτό το σύστημα βασίζεται στο TDoA των σημάτων υπερήχων. Ο χρήστης μεταφέρει έναν πομπό και τα σήματα λαμβάνονται από ένα πλέγμα δεκτών τοποθετημένων στην οροφή, οι οποίοι συγχρονίζονται με ενσύρματη σύνδεση. Το σύστημα αναφέρει ακρίβεια σε απόσταση 9cm για το 95% των μετρήσεων. Τα κύρια μειονεκτήματα του συστήματος σχετίζονται με την τοποθέτηση των δεκτών στο ταβάνι που αυξάνει το κόστος και μειώνει την επεκτασιμότητα.

Ένα άλλο παράδειγμα που βασίζεται επίσης σε σήματα υπερήχων είναι το σύστημα Cricket [18]. Η αρχή λειτουργίας του συστήματος Cricket είναι παρόμοια με το σύστημα Active Bat αλλά στην περίπτωση αυτή ο υπολογισμός της θέσης εκτελείται από τον χρήστη που φέρει δέκτη υπερήχων. Ένα σύνολο πομπών υπερήχων αναπτύσσεται γύρω από το κτίριο, το οποίο επίσης μεταδίδει σήματα ραδιοσυχνοτήτων για συγχρονισμό.

### **1.2) Βασισμένα στη Γωνία λήψης**

Οι μέθοδοι εντοπισμού βάσει γωνίας χρησιμοποιούν τη γωνία άφιξης ενός σήματος για τον υπολογισμό της θέσης του δέκτη. Η αρχή λειτουργίας είναι παρόμοια με τις μεθόδους που βασίζονται στο χρόνο, αλλά αντί να χρησιμοποιούν τις αποστάσεις από τους κόμβους χρησιμοποιούνται οι γωνίες. Οι Niculescu και συνεργάτες έδειξαν ότι εάν είναι γνωστή η θέση των κορυφών ενός τριγώνου, είναι δυνατόν να υπολογίσουμε τη θέση οποιουδήποτε κόμβου μέσα στο τρίγωνο γνωρίζοντας τη γωνία στην οποία το εσωτερικό σημείο βλέπει τις κορυφές [24].

Στο έργο [26] οι συγγραφείς έδειξαν πως ο υπολογισμός των ακριβών γωνιακών εκτιμήσεων είναι δαπανηρός όσον αφορά το υπολογιστικό κόστος και επηρεάζεται αρνητικά από τον χαμηλό λόγο σήματος προς θόρυβο (Signal to Noise Ratio - SNR) και από μικρά σφάλματα στις εκτιμήσεις του RSS ή του ToA. Επομένως, η κλιμακωσιμότητα του συστήματος περιορίζεται από την αύξηση του κόστους. Σε γενικές γραμμές, τα συστήματα AoA δεν χρησιμοποιούνται συνήθως για εντοπισμό σε εσωτερικούς χώρους λόγω του πρόσθετου εξοπλισμού και της υπολογιστικής ισχύος που απαιτείται.

### **1.3) Βασισμένα στην Ισχύ Σήματος Λήψης**

Οι μέθοδοι εντοπισμού βάσει RSS υπολογίζουν την απόσταση μεταξύ του χρήστη και ενός ασύρματου σταθμού εκπομπής χρησιμοποιώντας την ισχύ του ληφθέντος σήματος.

Ένα παράδειγμα ενός συστήματος εντοπισμού με βάση το RSS μπορεί να βρεθεί στο έργο του Yang και συνεργατών [28], όπου οι συγγραφείς χρησιμοποιούν τη συσχέτιση μεταξύ των δειγμάτων RSS σε κοντινά σημεία για να εντοπίσουν διαφορετικά μοντέλα απώλειας διαδρομής ανάλογα με τη θέση του χρήστη και επομένως να προσαρμοστούν στις αλλαγές του μοντέλου διάδοσης μεταξύ περιοχών του ίδιου κτιρίου.

## 2. Συστήματα Ανεξαρτήτου Εμβέλειας

Οι μέθοδοι ελεύθερης εμβέλειας βασίζονται στις πληροφορίες συνδεσιμότητας ενός ασύρματου δικτύου, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της θέσης χωρίς υπολογισμό οποιασδήποτε μέτρησης εμβέλειας σε έναν σταθμό εκπομπής. Υπάρχουν κυρίως δύο είδη αλγόριθμων χωρίς μέτρηση εμβέλειας :

- **Μέθοδοι προσέγγισης:** αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούν τις πληροφορίες συνδεσιμότητας για να εκτιμήσουν άμεσα τη θέση του χρήστη με βάση τον αριθμό των σταθμών εκπομπής στην περιοχή.
- **Μέθοδοι δικτυακών αποτυπωμάτων:** αυτές οι μέθοδοι βασίζονται σε χαρακτηριστικά εξαρτώμενα από τη θέση των σημάτων που λαμβάνονται από το ασύρματο δίκτυο. Σε ένα πρώτο βήμα, συλλέγεται μια βάση δεδομένων με τα χαρακτηριστικά και την πραγματική θέση όπου μετρήθηκαν. Στη συνέχεια, σε ένα δεύτερο βήμα, η θέση εκτιμάται επιλέγοντας τη θέση του δείγματος βάσης δεδομένων που ταιριάζει καλύτερα με τα πραγματικά δεδομένα.

### 2.1) Βασισμένα στην Εγγύτητα

Οι αλγόριθμοι εγγύτητας βασίζονται στην ακόλουθη απλή ιδέα: εάν ένας χρήστης λαμβάνει ένα σήμα από έναν κόμβο, η θέση του χρήστη πρέπει να βρίσκεται κοντά στη θέση του κόμβου.

Ένα από τα πρώτα συστήματα για την εφαρμογή της μεθόδου εγγύτητας ήταν το σύστημα Active Badge [33]. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιεί ένα δίκτυο υπέρυθρων αισθητήρων που ανιχνεύει τα σήματα που μεταδίδονται από το ενεργό σήμα και παρέχει μια εκτίμηση εντοπισμού με ακρίβεια δωματίου.

### 2.2) Αποτύπωση δικτυακών αποτυπωμάτων

Οι μέθοδοι δικτυακών αποτυπωμάτων βασίζονται στη μοναδικότητα των ασύρματων σημάτων που λαμβάνονται σε διαφορετικές θέσεις, γεγονός που οφείλεται στα προβλήματα διάδοσης στο περίπλοκο εσωτερικό περιβάλλον. Συνήθως, σε εσωτερικούς χώρους μπορούν να ληφθούν διαφορετικά είδη ραδιοφωνικών σημάτων, όπως αυτά που λαμβάνονται από δίκτυα WiFi, WSN ή Bluetooth .

Ένα από τα πρώτα ντετερμινιστικά συστήματα εκτύπωσης ήταν το σύστημα RADAR που αναπτύχθηκε από τη Microsoft [36]. Το σύστημα συλλέγει τα RSS και SNR ως δικτυακά αποτυπώματα από ένα δίκτυο WiFi και αναφέρει ακρίβεια 3 μέτρων. Η θέση υπολογίζεται ως η θέση του δικτυακού αποτυπώματος που ελαχιστοποιεί την ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των τρεχόντων (online) μετρήσεων και των αποθηκευμένων αποτυπωμάτων. Η μεθοδολογία αναζήτησης που χρησιμοποιείται είναι η προσέγγιση k πλησιέστερων γειτόνων (k Nearest Neighbors - kNN). Ομοίως, στο [37] οι συγγραφείς παρουσιάζουν μια μέθοδο αποτυπωμάτων με βάση την επέκταση του αλγόριθμου kNN με σταθμισμένο μέσο.

## 2.1.2 Αδρανειακά συστήματα

Συστήματα που βασίζονται στην αδράνεια (inertial based) υπολογίζουν τη θέση χωρίς οποιαδήποτε ανάγκη ύπαρξης φυσικής υποδομής. Οι αδρανειακοί αισθητήρες μετρούν τις δυνάμεις που ασκούνται στον αισθητήρα, και έτσι μπορεί να υπολογιστεί η κίνηση του αντικειμένου στο οποίο είναι τοποθετημένος ο αισθητήρας. Συνήθως, οι αδρανειακοί αισθητήρες τοποθετούνται σε μια συστοιχία (κοινό τσιπ) σχηματίζοντας την μονάδα αδρανειακής μέτρησης (Inertial Measurement Unit - IMU), η οποία αποτελείται από επιταχυνσιόμετρο 3 αξόνων, γυροσκόπιο 3 αξόνων και μαγνητόμετρο 3 αξόνων (Το μαγνητόμετρο δεν είναι αισθητήρας αδρανείας, ωστόσο σε αυτή την εργασία το ομαδοποιούμε με τις αδρανειακές μονάδες μέτρησης, καθώς αυτός είναι ο τυπικός όρος που χρησιμοποιείται στη βιβλιογραφία). Υπάρχουν δύο βασικά είδη συστημάτων αδρανειακής πλοήγησης [51]:

- **Σύστημα περιτύλιξης:** αυτά τα συστήματα ολοκληρώνουν (μαθηματικά) δύο φορές την επιτάχυνση του χρήστη για να εκτιμήσουν τη θέση.
- **Συστήματα βημάτων και κατεύθυνσης (Step and Heading Systems - SHS):** αυτά τα συστήματα υπολογίζουν τη θέση του χρήστη, προσθέτοντας στην αρχική θέση τα διανύσματα θέσης που αντιπροσωπεύουν το μήκος βήματος και την κατεύθυνση του βήματος του χρήστη.

### 1. Συστήματα περιτύλιξης

Τα συστήματα αδρανειακής πλοήγησης περιτύλιξης (δηλαδή ότι ο αισθητήρας βρίσκεται πάνω στον χρήστη και ακολουθεί την κίνησή του) βασίζονται στην ιδέα ότι η θέση είναι η διπλή ολοκλήρωση της επιτάχυνσης. Έτσι, η πρώτη ολοκλήρωση του σήματος επιτάχυνσης  $a(t) = [a_x(t), a_y(t), a_z(t)]$  παράγει την ταχύτητα και η ολοκλήρωση της ταχύτητας παράγει τη θέση. Γενικά, το σφάλμα στην εκτίμηση της θέσης αυξάνεται κυβικά με το χρόνο λόγω της ολοκλήρωσης των σημάτων του επιταχυνσιόμετρου και του γυροσκοπίου. Ο Titterton και συνεργάτες απέδειξαν πως χρησιμοποιώντας την τρέχουσα τεχνολογία MEMS, η εκτίμηση της θέσης θα αποκλίνει παραπάνω από ένα μέτρο σε δευτερόλεπτα, καθιστώντας μακροπρόθεσμα την εκτίμηση της τροχιάς ενός ανθρώπου ακατάλληλη [53].

Πρόσφατα, οι συγγραφείς Foxlin και συνεργάτες [54] κατέδειξαν ότι με τη χρήση ενός προσαρμοσμένου στο πόδι IMU, η χρονική εξάρτηση των σφαλμάτων εκτίμησης της θέσης στα συστήματα περιτύλιξης, που τυπικά αυξάνεται κυβικά με το χρόνο, μπορεί να μειωθεί σε γραμμική αύξηση αν εφαρμοστεί η τεχνική Ενημερώσεων Μηδενικής Ταχύτητας - ZUPT (Zero Velocity Update).

## 2. Συστήματα Βήματος και Κατεύθυνσης

Αντίθετα με τα συστήματα περιτίλξης, τα συστήματα βημάτων και κατεύθυνσης δεν χρησιμοποιούν την ολοκλήρωση του σήματος επιτάχυνσης για τον υπολογισμό της θέσης του χρήστη. Αντ' αυτού, αυτά τα συστήματα ανιχνεύουν τα βήματα και υπολογίζουν το μήκος και την κατεύθυνση κάθε βήματος από τα σήματα επιταχυνσιόμετρου και γυροσκοπίου.

Στο έργο [67], οι συγγραφείς ανέπτυξαν ένα σύστημα για φορητά smartphones. Ομοίως, στο [63] αναλύεται ένα SHS (Step and Heading System) για smartphone που τοποθετείται στην τσέπη του χρήστη όπου τα βήματα ανιχνεύονται χρησιμοποιώντας το σήμα γυροσκοπίου.

## 3. Συστήματα Ταυτόχρονου Εντοπισμού και Χαρτογράφησης

Η τεχνική ταυτόχρονου εντοπισμού και χαρτογράφησης (Simultaneous Localization And Mapping - SLAM) επεκτείνει το πρόβλημα εντοπισμού με την συμπεριλαμβανομένη εκτίμηση ενός χάρτη. Αναπτύχθηκε από τη ρομποτική κοινότητα και η βασική ιδέα είναι ότι ένα κινητό ρομπότ που κινείται μέσα σε ένα εσωτερικό περιβάλλον μπορεί να χτίσει έναν σταθερό χάρτη του κτιρίου και ταυτόχρονα να καθορίζει τη δική του θέση στον συγκεκριμένο χάρτη, χωρίς προηγούμενη πληροφόρηση σχετικά με τη θέση ή τον χάρτη [72].

Το 2012, οι Angermann και συνεργάτες, ανέπτυξαν το σύστημα FootSLAM που προέκυψε από την εφαρμογή του προβλήματος SLAM στον εντοπισμό ενός πεζού σε ένα εσωτερικό περιβάλλον [73]. Το σύστημα FootSLAM χαρτογραφεί το περιβάλλον με ένα κανονικό πλέγμα εξάγωνων και δημιουργεί έναν πιθανοτικό χάρτη που υπολογίζει την πιθανότητα ένας πεζός να διασχίσει τη μετάβαση μεταξύ δύο γειτονικών εξαγώνων.

### 2.1.3 Υβριδικά Συστήματα Προσδιορισμού Θέσης

Ένα υβριδικό σύστημα εντοπισμού θέσης εξ' ορισμού είναι ένα σύστημα που συνδυάζει δύο ή περισσότερα συστήματα προκειμένου να βελτιώσει τις επιδόσεις που προσφέρονται από αυτά τα συστήματα ξεχωριστά. Επί του παρόντος, υπάρχουν στη βιβλιογραφία πολλά υβριδικά συστήματα εντοπισμού θέσης που συνδυάζουν τα διαφορετικά IPS που έχουν αναλυθεί μέχρι στιγμής.

Μια πλήρης ταξινόμηση υβριδικών συστημάτων εντοπισμού θέσης δεν είναι εφικτή λόγω της μεγάλης ποσότητας πιθανών συνδυασμών IPS που μπορούν να σχηματίσουν ένα υβριδικό σύστημα. Επομένως, σε αυτό το τμήμα θα εξετάσουμε τρεις ομάδες:

- **Υβριδικά συστήματα RSS-IMU:** εδώ συμπεριλαμβάνουμε τις μεθόδους που συνδυάζουν τις αδρανειακές μετρήσεις με τις μετρήσεις RSS χρησιμοποιώντας είτε ένα μοντέλο διάδοσης ή μια προσέγγιση δικτυακών αποτυπωμάτων.
- **Υβριδικά συστήματα χάρτη:** εδώ κατατάσσουμε τις μεθόδους που εκτός από τις μετρήσεις RSS και / ή IMU χρησιμοποιούν επίσης τον χάρτη του κτιρίου για να ενισχύσουν την απόδοση ενός IPS.



- **Υβριδικά συστήματα Smartphone:** εδώ συμπεριλαμβάνουμε τα υβριδικά συστήματα RSS-IMU και χάρτη που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για smartphones.

### **1. Υβριδικά Συστήματα RSS-IMU**

Το πιο συνηθισμένο είδος υβριδικού συστήματος RSS είναι αυτό που το συνδυάζει με αδρανειακούς αισθητήρες. Το κίνητρο είναι σαφές: και τα δύο συστήματα έχουν συμπληρωματικά σφάλματα. Τα συστήματα που βασίζονται σε αδρανειακά συστήματα αποκτούν βραχυπρόθεσμα εκτιμήσεις θέσεων υψηλής ακρίβειας, ενώ τα συστήματα με βάση το RSS είναι λιγότερο ακριβή, αλλά οι εκτιμήσεις της θέσης είναι χρονικά αμετάβλητες. Ένα παράδειγμα αυτού του είδους των υβριδικών συστημάτων βρίσκεται στο έργο του Frank και συνεργατών [76] όπου οι συγγραφείς ανέπτυξαν ένα σύστημα που συνδυάζει την εκτίμηση θέσης ενός πιθανολογικού συστήματος δικτυακού αποτυπώματος WiFi με τις πληροφορίες ενός SHS που έχει τοποθετηθεί στο πόδι, χρησιμοποιώντας ένα Extended Kalman Filter (EKF) για την ένωση των συστημάτων. Παρομοίως, σε άλλες εργασίες, οι πληροφορίες βήματος ενός IMU που τοποθετήθηκε στο ισχίο συνδυάζονται με τις εκτιμήσεις θέσης ενός συστήματος RSS βασισμένου στο εύρος. Οι Jimenez et al [77] συνδύασαν ένα αδρανειακό σύστημα πρόσδεσης με IMU τοποθετημένο στο πόδι με σύστημα RSS με ετικέτες RFID χρησιμοποιώντας ένα EKF.

### **2. Υβριδικά Συστήματα Χαρτών**

Εδώ ο χάρτης του κτιρίου είναι γνωστός εκ των προτέρων από τον χρήστη, η υψηλή πολυπλοκότητα μπορεί να αποτελέσει πλεονέκτημα για το IPS, καθώς μπορεί να περιορίσει τις πιθανές θέσεις και να βελτιώσει την ακρίβεια των εκτιμήσεων. Για παράδειγμα, στο έργο του Evennou και Marx [78] οι μετρήσεις μιας πιθανολογικής δικτυακής αποτύπωσης RSS συνδυάζονται με τις μετρήσεις ενός SHS που έχει τοποθετηθεί σε ζώνη. Στη συνέχεια, ένα PF (Particle Filter) συγχωνεύει τις μετρήσεις με τις πληροφορίες χάρτη. Ομοίως, στο έργο [79] οι συγγραφείς χρησιμοποιούν ένα ισοδύναμο σύστημα, αλλά η IMU τοποθετείται στο πόδι του χρήστη.

### **3. Υβριδικά Συστήματα Smartphone**

Η άνοδος των smartphone σε όλο τον κόσμο μετέτρεψε το smartphone στην τέλεια συσκευή για την εύρεση τοποθεσίας. Οποιοδήποτε IPS που μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα smartphone έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί από εκατομμύρια ανθρώπους, παρέχοντας πρόσβαση στη μαζική αγορά χωρίς την ανάγκη επένδυσης σε συσκευές για εντοπισμό θέσης σε εσωτερικά περιβάλλοντα.

Για παράδειγμα, στο έργο SubwayPS [81] αναπτύχθηκε ένα IPS για υπόγεια δημόσια συστήματα μεταφορών με βάση τις πληροφορίες σχετικά με τις διαδρομές και τους αδρανειακούς αισθητήρες. Ένα άλλο παράδειγμα μπορεί να βρεθεί στο έργο του Pei και συνεργατών [82], όπου οι συγγραφείς χρησιμοποιούν μια μηχανή διανυσματικής υποστήριξης ελαχίστων τετραγώνων (Least Square Support Vector Machine - LS-SVM) για την ταξινόμηση της θέσης του smartphone (χέρι, τσέπη, κεφαλή κλπ.) και στη συνέχεια συνδυάζουν τα αδρανειακά δεδομένα με μετρήσεις από μια μέθοδο Wi-Fi αποτυπώματος χρησιμοποιώντας ένα Hidden Markov Model (HMM).

## 2.2 Διαμοιρασμός Υπολογισμών

Όπως είναι γνωστό, η διάρκεια ζωής της μπαταρίας των κινητών συσκευών και οι δυνατότητες των περιορισμένων σε ισχύ επεξεργαστών παραμένουν βασικοί περιοριστικοί παράγοντες στο σχεδιασμό των εφαρμογών κινητών. Σήμερα, η ζήτηση για εφαρμογές έντονης κατανάλωσης πόρων, όπως τα τρισδιάστατα βιντεοπαιχνίδια και η αναγνώριση φωνής, αυξάνεται καθημερινά. Για να κλείσει αυτό το χάσμα μεταξύ της ζήτησης των χρηστών και των περιορισμών για τις κινητές συσκευές, οι ερευνητικές μελέτες έχουν διερευνήσει την μεταφόρτωση υπολογισμών στο MCC (Δίκτυο Υπολογισμού Νέφους για Κινητά – Mobile Cloud Computing) για να φέρουν τη δύναμη του cloud computing στην περιορισμένη χωρητικότητα των κινητών συσκευών.

### 2.2.1 Μέθοδοι Προσέγγισης Μεταφόρτωσης Υπολογισμών

Η μεταφόρτωση μεταφέρει ένα έργο που απαιτεί πολύπλοκες εργασίες από το SMD (Εξυπνη Κινητή Συσκευή – Smart Mobile Device) σε έναν απομακρυσμένο διακομιστή. Η μεταφόρτωση είναι μια διαδικασία που περιλαμβάνει βασικά τρία βήματα: την κατανομή των εφαρμογών, την προετοιμασία και την απόφαση μεταφόρτωσης.

#### 1. Βήματα Μεταφόρτωσης

- **Κατανομή των Εφαρμογών:** Το πρώτο βήμα είναι η διαμέριση εφαρμογών, το οποίο είναι πολύ σημαντικό για την μεταφόρτωση υπολογισμών. Διαχωρίζει την εφαρμογή σε διεργασίες που μπορούν να μεταφορτωθούν και αυτές που δεν μπορούν να μεταφορτωθούν, πράγμα που σημαίνει ποια εξαρτήματα πρέπει να διατηρούνται στην κινητή συσκευή και ποια να 'μεταναστεύσουν' στο διακομιστή υπολογιστικού νέφους. Η απόφαση αν ένα στοιχείο είναι μεταφορτώσιμο μπορεί να ληφθεί με βάση διαφορετικές πληροφορίες. Ο προγραμματιστής μπορεί να επισημάνει στοιχεία της εφαρμογής, για παράδειγμα μέσω ενός ειδικού API, ως μεταφορτώσιμα.
- **Προετοιμασία:** Το στάδιο προετοιμασίας εκτελεί όλες τις ενέργειες που απαιτούνται για τις μεταφορτώσιμες διεργασίες για να επιτρέπεται η χρήση τους σε κινητές εφαρμογές. Αυτό περιλαμβάνει την επιλογή ενός απομακρυσμένου διακομιστή, τη μεταφορά και την εγκατάσταση του κώδικα, ως την έναρξη των διαδικασιών διακομιστή μεσολάβησης που λαμβάνουν και εκτελούν εργασίες για λογαριασμό της SMD. Εκτός από τη μεταφορά του κώδικα, ενδέχεται επίσης να μεταφερθούν δεδομένα για την προετοιμασία της απομακρυσμένης εκτέλεσης.
- **Απόφαση μεταφόρτωσης:** Η απόφαση μεταφόρτωσης είναι το τελικό βήμα πριν ξεκινήσει η απομακρυσμένη εκτέλεση για εξαρτήματα που μπορούν να μεταφορτωθούν. Η χρήση ενός εγκατεστημένου απομακρυσμένου στοιχείου στην εφαρμογή SMD ή όχι εξαρτάται συνήθως από το πλαίσιο εκτέλεσης. Εάν η απόφαση λαμβάνεται κατά το χρόνο εκτέλεσης, υπάρχουν ακριβέστερες πληροφορίες, για παράδειγμα, εάν η SMD έχει ασύρματη σύνδεση ή η κατανάλωση ενέργειας για τη μεταφορά δεδομένων για την απομακρυσμένη εκτέλεση είναι υπερβολικά υψηλή. Όποτε αλλάζει η κατάσταση, η

μεταφόρτωση μπορεί να προσαρμοστεί. Μια τέτοια απόφαση χρόνου εκτέλεσης προκαλεί κάποια επιβάρυνση που τυπικά δεν υπάρχει εάν η απόφαση ληφθεί κατά το σχεδιασμό.

## 2. Δομικές κλάσεις

Σύμφωνα με το πότε λαμβάνεται η απόφαση για την μεταφόρτωση υπολογισμών σε έναν απομακρυσμένο διακομιστή, μπορούμε να διακρίνουμε δύο τύπους πλαισίων μεταφόρτωσης. Η πρώτη κατηγορία είναι στατικά πλαίσια μεταφόρτωσης. Εδώ όλα τα βήματα εκτελούνται κατά το χρόνο ανάπτυξης / σχεδιασμού, πριν φορτωθεί η εφαρμογή στην κινητή συσκευή. Η άλλη κατηγορία είναι δυναμικά πλαίσια φόρτωσης. Σε αυτά τα πλαίσια, η τελική απόφαση για το αν πρέπει να εκφορτωθεί ένας υπολογισμός λαμβάνεται κατά το χρόνο εκτέλεσης.

## 3. Δομικοί Μηχανισμοί

Παρόλο που υπάρχουν αρκετοί μηχανισμοί μεταφόρτωσης που είναι διαθέσιμοι για την μεταφόρτωση τμημάτων εφαρμογών εντατικής χρήσης υπολογιστικών πόρων στο νέφος, μπορούμε να τα κατατάξουμε σε δύο ευρείες κατηγορίες:

- Δομές που βασίζονται στην κλωνοποίηση εικονικής μηχανής (VM Cloning).
- Δομές βασισμένες στην μεταφόρτωση κώδικα (Code Cloning).

Εφαρμογές βασισμένες στην μεταφόρτωση του κώδικα των συστατικών εφαρμογών εντατικής μεταφόρτωσης, καλώντας μια κλήση απομακρυσμένης διαδικασίας (Remote Procedure Call - RPC) χρησιμοποιώντας επισημάνσεις, ειδική μεταγλώττιση (compilation) ή δυαδική τροποποίηση (binary modification). Στην κλωνοποίηση εικονικών μηχανών, η πλήρης εικόνα της κινητής συσκευής συλλαμβάνεται και αποθηκεύεται στον εξυπηρετητή σύννεφων. Κατά τη διάρκεια της μεταφόρτωσης, η εκτέλεση του κινητού τερματίζεται και μεταφέρεται στον κλώνο VM και τελικά στο Υπολογιστικό Νέφος.

### 2.2.2 Κριτήρια Διαχωρισμού των Μοντέλων Εφαρμογών

Αυτή η ενότητα επισημαίνει διάφορες παραμέτρους που παίζουν ζωτικό ρόλο στην αποδοχή οποιουδήποτε μοντέλου εφαρμογής για εφαρμογές νέφους. Επομένως, τα μοντέλα εφαρμογών για φορητούς υπολογιστές που ικανοποιούν τις περισσότερες από τις ακόλουθες παραμέτρους θεωρούνται ως πρωταρχικά. Τα επιλεγμένα μοντέλα εφαρμογών κινητού νέφους που παρουσιάζονται στο τμήμα 2.2.3 συγκρίνονται με βάση τις παραμέτρους που αναλύονται στις επόμενες υποενότητες.

1. **Γνώση συνθηκών:** Η γνώση συνθηκών σχετικά με ένα μοντέλο εφαρμογής αφορά την γνώση του σχετικά με τις οντότητες και τις παραμέτρους που μπορούν να επηρεάσουν την απόφαση μεταφόρτωσης. Βασικά, είναι πολύ σημαντικό για ένα μοντέλο εφαρμογής να είναι συνειδητό το περιβάλλον, επειδή η στατική μεταφόρτωση δεν είναι πάντοτε ωφέλιμη, και μπορεί να συμβούν περιπτώσεις όπου η απόδοση των εφαρμογών υποβαθμίζεται με την μεταφόρτωση [83].

2. **Καθυστέρηση Μεταφοράς:** Στο κινητό υπολογιστικό νέφος, ο λανθάνων χρόνος ορίζεται ως ο χρόνος που εμπλέκεται στην μεταφορά του υπολογισμού και στην ανάκτηση των αποτελεσμάτων από την κοντινή υποδομή ή το Υπολογιστικό Νέφος, που μερικές φορές αναφέρεται ως χρόνος μεταφοράς. Η καθυστέρηση μεταφοράς εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το μέγεθος κώδικα, το μέγεθος των εισερχόμενων δεδομένων, ο τόπος των απαιτούμενων δεδομένων, το πλάνο συγχρονισμού και ο βαθμός λεπτομέρειας (granularity), το εύρος ζώνης δικτύου, η καθυστέρηση εκτέλεσης και το μέγεθος δεδομένων.
3. **Χρήση Εύρους Ζώνης:** Στα μοντέλα εφαρμογών, η χρήση του εύρους ζώνης αναφέρεται στην ποσότητα δεδομένων / κώδικα που μεταφορτώθηκε προς το νέφος. Επομένως, εάν ο υπολογισμός απαιτεί μεγάλη ποσότητα δεδομένων που πρέπει να μεταφερθεί κατά τη διάρκεια εκτέλεσης, τότε μπορεί να προκύψουν μεγαλύτερες καθυστερήσεις μεταφοράς.
4. **Γενικότητα:** Η γενικότητα ενός μοντέλου εφαρμογής αναφέρεται στην υποστήριξή του για ένα φάσμα εφαρμογών. Στην πράξη, υπάρχουν πολλαπλές μορφές εφαρμογών με διαφορετικές απαιτήσεις και συμπεριφορά πόρων.
5. **Ιδιωτικότητα:** Με τις εξελίξεις στην τεχνολογία των κινητών συσκευών, αισθητήρες όπως το GPS έχουν γίνει φθηνοί και είναι διαθέσιμοι σε όλα σχεδόν τα τελευταία smartphones. Επομένως, οι πληροφορίες θέσης των χρηστών μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα ιδιωτικού απορρήτου, ιδίως όταν είναι ήδη γνωστές άλλες σχετικές με το χρήστη πληροφορίες. Ομοίως, η ιδιωτικότητα δεδομένων είναι επίσης σημαντική και αποτελεί ένα από τα κύρια εμπόδια που περιορίζουν τους καταναλωτές από την υιοθέτηση του cloud computing.
6. **Πολυπλοκότητα:** Οι εφαρμογές που αναπτύσσονται για τις πλατφόρμες του cloud για κινητά πρέπει να είναι σε θέση να εκτελούνται τόσο στο κινητό όσο και σε εξυπηρετητή. Επιπλέον, οι εφαρμογές πρέπει να χρησιμοποιούν ελάχιστο εύρος ζώνης με σημαντική καθυστέρηση. Επομένως, ορισμένα μοντέλα (που αναφέρονται στην ενότητα 2.4) χωρίζουν τις εφαρμογές σε μεταφορτώσιμα και μη στοιχεία (υποστοιχεία) που μπορούν να μετακινηθούν στο Υπολογιστικό Νέφος με απαίτηση ελάχιστου εύρους ζώνης. Επιπλέον, ορισμένα μοντέλα εφαρμογών χρησιμοποιούν παραλληλισμό στο Υπολογιστικό Νέφος για να μειώσουν την καθυστέρηση εκτέλεσης, αλλά ανάλογα με την υπηρεσία cloud, ο παραλληλισμός μπορεί να μην υποστηρίζεται πάντα.
7. **Ασφάλεια:** Στον υπολογισμό cloud για κινητά, η ασφάλεια πρέπει να αναλυθεί από δύο όψεις, δηλαδή στο smartphone και στο cloud. Τα smartphones πρέπει να είναι καθαρά από τους κακόβουλο κώδικα, όπως ιούς, κακόβουλο λογισμικό και ενπιθύμητα προγράμματα. Οι κακόβουλοι κώδικες αποτελούν απειλές για την ασφάλεια και μπορούν να αλλάξουν τη συμπεριφορά μιας εφαρμογής, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει διαρροή δεδομένων ή αλλοίωση δεδομένων. Εναλλακτικά, από την άποψη της ασφάλειας του cloud, τα δεδομένα που αποθηκεύονται στο Υπολογιστικό Νέφος μπορούν να χαθούν, να τροποποιηθούν, να απορριφθούν ή να διαρρεύσουν. Επομένως, τα δεδομένα που αποθηκεύονται στο Υπολογιστικό Νέφος πρέπει να έχουν πολλαπλά αντίγραφα ασφαλείας με υποστήριξη ακεραιότητας για να αποφευχθεί η απώλεια δεδομένων και ανεπιθύμητες τροποποιήσεις.
8. **Προγραμματιστική Αφαιρετικότητα:** Οι πλατφόρμες του cloud υποστηρίζουν διαφορετικά API, μοντέλα δεδομένων, γλώσσες προγραμματισμού και μοντέλα κόστους. Ομοίως, τα smartphones

χρησιμοποιούν διαφορετικά λειτουργικά συστήματα που έχουν μεταβλητές απαιτήσεις υλικού και λογισμικού. Ως εκ τούτου, οι ετερογένειες στα smartphones και στις πλατφόρμες του cloud καθιστούν την ανάπτυξη εφαρμογών για υπολογιστικά νέφη πολύπλοκη. Ωστόσο, οι ετερογένειες προκύπτουν λόγω της έλλειψης προτύπων και μερικές φορές δημιουργούνται από τους πωλητές για να διατηρήσουν τους χρήστες.

9. **Κλιμακωσιμότητα:** Η κλιμακωσιμότητα είναι ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του cloud computing. Επομένως, τα μοντέλα εφαρμογών για φορητούς υπολογιστές πρέπει να υποστηρίζουν την ανάπτυξη εφαρμογών που μπορούν να κλιμακωθούν στο Υπολογιστικό Νέφος για να καλύψουν τις απρόβλεπτες απαιτήσεις των χρηστών. Επιπλέον, τα μοντέλα εφαρμογών πρέπει να βελτιώσουν τις υποστηριζόμενες λειτουργίες ώστε να ενσωματώσουν έγκαιρα νέους τύπους εφαρμογών.
10. **Πόρος Εκτέλεσης:** Οι εφαρμογές για υπολογιστικά νέφη εκτελούνται με δύο τρόπους. Στην πρώτη περίπτωση, οι εφαρμογές εκτελούνται στην κοντινή υποδομή που λειτουργεί ως (εικονικό) Υπολογιστικό Νέφος, για παράδειγμα, προσωπικοί υπολογιστές, φορητοί υπολογιστές και διακομιστές. Στη δεύτερη περίπτωση, οι εφαρμογές εκτελούνται σε απομακρυσμένο Υπολογιστικό Νέφος, για παράδειγμα, το Amazon EC2, το Google App Engine και το Microsoft Live Mesh. Επομένως, τα μοντέλα εφαρμογών για φορητούς υπολογιστές ενδέχεται να υποστηρίζουν την εκτέλεση των εφαρμογών είτε σε κοντινή υποδομή, είτε σε Υπολογιστικό Νέφος είτε αμφότερα.
11. **Πλατφόρμες:** Μια πλατφόρμα είναι η βασική τεχνολογία λογισμικού των smartphones στα οποία βασίζονται τα μοντέλα εφαρμογών. Τα smartphones που κατασκευάζονται από διαφορετικούς κατασκευαστές μπορούν να ομαδοποιηθούν με βάση τα λειτουργικά συστήματα που λειτουργούν στις συσκευές. Τα γνωστά λειτουργικά συστήματα smartphone είναι το Android, το iOS, το Symbian και το BlackBerry OS.

### 2.2.3 Κατηγοριοποίηση Βιβλιογραφίας

Τα κριτήρια βελτιστοποίησης της απόδοσης της εφαρμογής (Μοντέλα Εφαρμογών – Application Models) για κινητούς υπολογιστές έχουν σχεδιαστεί για να επιτύχουν ένα συγκεκριμένο στόχο, όπως η εκτέλεση εφαρμογών που δεν διαθέτουν επαρκείς πόρους για την τοπική εκτέλεση, την ενίσχυση της απόδοσης των εφαρμογών (από άποψη χρόνου υπολογισμού) ή την επίτευξη ενεργειακής απόδοσης σε κινητές συσκευές. Σε ορισμένα σενάρια, ένα ενιαίο μοντέλο εφαρμογής μπορεί να επιτύχει πολλαπλούς στόχους. Αντιθέτως, η επίτευξη ενός στόχου μπορεί να επηρεάσει και άλλους. Για παράδειγμα, εάν ο πρωταρχικός στόχος ενός μοντέλου εφαρμογής είναι η επίτευξη ενεργειακής απόδοσης, τότε μπορεί να παρουσιαστούν ορισμένες περιπτώσεις στις οποίες η απόδοσή τους θα είναι μειωμένη. Επομένως, τα μοντέλα εφαρμογής πρέπει να υιοθετηθούν λαμβάνοντας υπόψη τους στόχους και τις επιπτώσεις τους. Από τη σκοπιά του σχεδιασμού, τα μοντέλα που υποστηρίζουν πολλαπλούς στόχους θεωρούνται ως πρωταρχικά λόγω της υποστήριξης για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών και σεναρίων. Με βάση τους στόχους των εξεταζόμενων μοντέλων εφαρμογών, κατατάσσουμε τα μοντέλα μεταφορτώσιμων εφαρμογών για κινητά σε τέσσερις κατηγορίες που απαριθμούνται ως εξής.

1. **Μοντέλα εφαρμογών που βασίζονται στην απόδοση:** Ο πρωταρχικός στόχος των μοντέλων εφαρμογών που βασίζονται στην απόδοση είναι η βελτίωση της απόδοσης των εφαρμογών των κινητών συσκευών χρησιμοποιώντας τους πόρους νέφους. Επομένως, οι υπολογισμοί έντονης χρήσης πόρων πλησιάζουν στο Υπολογιστικό Νέφος υψηλής ταχύτητας όπου ο υπολογισμός εκτελείται σε λιγότερο χρόνο σε σύγκριση με την κινητή συσκευή. Συνεπώς, οι εφαρμογές εκτελούνται σε κινητές συσκευές με βελτιωμένη απόδοση (όσον αφορά τον χρόνο υπολογισμού) χρησιμοποιώντας τους πόρους του cloud.
  - 1) **CloneCloud:** Το CloneCloud [84] βασίζεται στην τεχνική διαμοιρασμένης (ενισχυμένης) εκτέλεσης εφαρμογής, που μεταφορτώνει επιλεκτικά τμήματα της εφαρμογής στην κοντινή υποδομή ή Υπολογιστικό Νέφος για εκτέλεση. Το CloneCloud δεν απαιτεί υποστήριξη από προγραμματιστές για τη μετατροπή εφαρμογών (για περιβάλλον cloud) και μεταφορτώνει τμήματα της ανεπεξέργαστης εφαρμογής από την κινητή συσκευή στον κλώνο smartphone (στο cloud). Στο CloneCloud, η διαδικασία διαμέρισης εφαρμογών είναι πλήρως δυναμική. Επομένως, αναλύεται μια εφαρμογή και παράγεται ένα γράφημα στατικού ελέγχου ροής που δημιουργεί ένα διαχωρισμένο γράφημα και διευκολύνει την κατάτμηση της εφαρμογής. Όταν εκτελείται μια εφαρμογή, τα τμήματα κώδικα μετακινούνται από την κινητή συσκευή στο νέφος σε αυτόματα επιλεγμένα σημεία.
  - 2) **Zhang και συνεργάτες [85] :** Στο συγκεκριμένο έργο προτείνεται ένα μοντέλο που βασίζεται στην τεχνική των ελαστικών εφαρμογών, όπου μια ενιαία ελαστική εφαρμογή χωρίζεται σε πολλαπλά συστατικά που ονομάζονται webllets. Ένα weblet μπορεί να οριστεί ως μια ανεξάρτητη λειτουργική μονάδα μιας εφαρμογής που μπορεί να υπολογίζει, να αποθηκεύει και να επικοινωνεί διατηρώντας τη θέση εκτέλεσης διαφανή. Η απόφαση μεταφόρτωσης εξαρτάται από το φορτίο της CPU, τη μνήμη, τις συνθήκες δικτύου, τις προτιμήσεις των χρηστών και το επίπεδο μπαταρίας. Επιπλέον, τα webllets μπορούν να είναι ανεξάρτητα από την πλατφόρμα ή εξαρτώμενα από την πλατφόρμα, με βάση την τεχνολογία προγραμματισμού που χρησιμοποιείται. Η τοπολογία των ελαστικών εφαρμογών εμπίπτει σε πολλαπλούς τύπους μοτίβων, που ονομάζονται μοτίβα ελαστικότητας. Τα webllets υποστηρίζουν τρεις τύπους προτύπων ελαστικότητας.
  - 3) **Η εργασία [90]** εστιάζει στη χρήση μιας Edge Computing υποδομής για την έγκαιρη ανίχνευση πυρκαγιών. Μη επανδρωμένα οχήματα επιτηρούν μεγάλες δασικές εκτάσεις και μεταφορτώνουν τις φωτογραφίες που συλλέγουν σε κοντινά cloudlet για περαιτέρω επεξεργασία. Σε περίπτωση πυρκαγιάς, ο αριθμός των αιτήσεων αυξάνεται σημαντικά με αποτέλεσμα να είναι αναγκαία η δυναμική διαχείρισή πόρων. Για τη μοντελοποίηση της εφαρμογής για την επεξεργασία εικόνας έγινε χρήση γραμμικών καταστατικών συστημάτων.
  - 4) **Στην εργασία [91]** η μοντελοποίηση της εφαρμογής συνδυάστηκε με ελεγκτές ανάδρασης για τη βέλτιστη διαχείριση των πόρων των cloudlets.
  - 5) **Στην εργασία [92],** σχεδιάστηκε μια γενική μεθοδολογία μοντελοποίησης και ελέγχου IoT(Internet Of Things) εφαρμογών που στηρίζονται σε Edge Computing υποδομές. Για τη μοντελοποίηση χρησιμοποιήθηκαν γραμμικά διακοπτικά συστήματα με περιορισμούς, ενώ για τη διαχείριση των πόρων

σχεδιάστηκαν ελεγκτές ανάδρασης στηριζόμενοι στη σύγχρονη θεωρία ελέγχου. Επίσης επιλύθηκε ένα πρόβλημα μικτού ακεραίου προγραμματισμού για την τοποθέτηση και αυξομείωση των ενεργών VM ανάλογα με το μεταβαλλόμενο φορτίο των εφαρμογών.

2. **Μοντέλα εφαρμογών που βασίζονται στην Κατανάλωση Ενέργειας:** Τα μοντέλα εφαρμογών με βάση την ενέργεια έχουν σχεδιαστεί για να μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας των εφαρμογών κινητής συσκευής χρησιμοποιώντας πηγές Υπολογιστικού Νέφους. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μείωση των υπολογιστικών επιβαρύνσεων των εφαρμογών μέσω της μεταφόρτωσης υπολογισμού. Κατά συνέπεια, οι υπολογιστικές εργασίες που απαιτούν χρήση πόρων εκτελούνται στο Υπολογιστικό Νέφος και οι εφαρμογές καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια σε κινητές συσκευές.

- 1) **μCloud:** Το μοντέλο μCloud [86] επικεντρώνεται στη σύνθεση εφαρμογών από ετερογενή εξαρτήματα για να υποστηρίξει την ευελιξία, τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης και την ασφάλεια. Επομένως, για να επιτευχθεί η σύνθεση των εφαρμογών από ετερογενή συστατικά, τα συστατικά στοιχεία της εφαρμογής παρουσιάζονται με τη μορφή γραφήματος, όπου κάθε στοιχείο μπορεί να εκτελεστεί σε ένα smartphone, cloud ή αμφότερα (που ονομάζονται υβριδικά συστατικά). Στο μCloud, οι εφαρμογές παρουσιάζονται ως κατευθυνόμενα γραφήματα, όπου οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν συστατικά και οι άκρες αντιπροσωπεύουν την ροή ελέγχου μεταξύ των συστατικών. Επομένως, όταν εκτελείται ένα γράφημα εφαρμογής, κάθε στοιχείο εισάγει την έξοδο του στις επόμενες συνιστώσες.

3. **Μοντέλα εφαρμογών που βασίζονται σε περιορισμούς:** Τα μοντέλα εφαρμογών βασισμένα σε περιορισμούς είναι σχεδιασμένα για να εκτελούν εφαρμογές σε περιβάλλον με περιορισμένους πόρους (όπως smartphones) με τη χρήση πόρων νέφους, όπως για παράδειγμα μια κινητή συσκευή που διαθέτει ανεπαρκείς τοπικούς πόρους (μη διαθέσιμους ή υπερφορτωμένους) για την εκτέλεση μιας εφαρμογής. Σε αυτά τα μοντέλα, τα ελαφριά εξαρτήματα εφαρμογής του βάρους εκτελούνται σε κινητή συσκευή ενώ τα συστατικά έντασης πόρων εκτελούνται στο Υπολογιστικό Νέφος. Κατά συνέπεια, αυτά τα μοντέλα επιτρέπουν σε εφαρμογές που έχουν υψηλές απαιτήσεις πόρων να εκτελούνται σε συσκευές περιορισμένων πόρων.

- 1) **Satyanarayanan και συνεργάτες [87] :** Οι συγγραφείς προτείνουν ένα μοντέλο που βασίζεται στην τεχνική διαμοιρασμένης (επαυξημένης) εκτέλεσης. Το μοντέλο χρησιμοποιεί μια έννοια της εικονικής μηχανής που τρέχει σε έναν αξιόπιστο και πλούσιο σε πόρους υπολογιστή ή ένα σύμπλεγμα υπολογιστών που ονομάζεται cloudlet. Επιπλέον, οι κινητές συσκευές λειτουργούν σαν ένα αδύναμη ισχύος χρήστη και μεταφορτώνουν τις εργασίες που απαιτούν εντατικές πηγές πόρων στο cloudlet. Το άρθρο παρουσιάζει δύο προσεγγίσεις για τον υπολογισμό της ροής, δηλαδή της μεταφόρτωσης VM και της σύνθεσης VM. Η προσέγγιση μεταφόρτωσης VM αναστέλλει την εκτέλεση του VM και αποθηκεύει τις καταστάσεις του επεξεργαστή, του δίσκου και της μνήμης. Στη συνέχεια, το VM μεταφέρεται στο cloudlet και ξαναρχίζει την εκτέλεση από το αποθηκευμένο σημείο.

- 2) **Giurgiu και συνεργάτες** [88]: Εδώ προτείνεται ένα μοντέλο που επικεντρώνεται στην μερική μεταφόρτωση των εφαρμογών στο cloud / server. Το προτεινόμενο μοντέλο βασίζεται στην τεχνική κατανεμημένων στρωμάτων, στην οποία διανέμονται λειτουργικά επίπεδα μεταξύ του smartphone και του διακομιστή για τη βελτιστοποίηση της καθυστέρησης, της καθυστέρησης μεταφοράς δεδομένων και του κόστους.
- 3) **eXCloud**: Το eXCloud (Extensible Cloud) [89] υποστηρίζει την μεταφόρτωση υπολογισμού επιπέδου VM στιγμιότυπων του cloud. Το eXCloud χρησιμοποιεί το Stack-On-Demand (SOD) πάνω από τα συστήματα VM για τη μετεγκατάσταση των κορυφαίων πλαισίων στοίβας ή τμημάτων των πλαισίων στο νέφος. Τα δεδομένα του κώδικα και των σωρών παραμένουν στο smartphone και μεταφέρεται αργότερα κατόπιν ζήτησης.
4. **Μοντέλα Εφαρμογών Πολλαπλών Στόχων**: Σκοπός αυτών των μοντέλων είναι να επιτύχουν πολλαπλούς στόχους, κυρίως την απόδοση και την ενεργειακή μείωση ταυτόχρονα με ένα δίκαιο μοίρασμα μεταξύ των απαιτούμενων στόχων. Αυτά τα μοντέλα θεωρούνται πιο αποτελεσματικά καθώς υποστηρίζουν πολλαπλούς στόχους σε αντίθεση με τα μοντέλα που βασίζονται στην απόδοση και την ενέργεια σε αντίθεση με αυτά που είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να επιτυγχάνουν ένα μοναδικό στόχο και μπορεί να αποβούν θύματα ενεργειακής κατανάλωσης ή απόδοσης αντίστοιχα.
  - 1) **MAUI**: Το MAUI [14] παρέχει έναν κώδικα εφαρμογών με πολλά μικρά συστατικά, με ελάχιστη παρέμβαση προγραμματιστή. Ο κύριος στόχος αυτού του μοντέλου είναι η ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας των κινητών συσκευών, η οποία αποτελεί την κύρια πρόκληση της κινητής βιομηχανίας. Ως εκ τούτου, το MAUI μεταφορτώνει όλες τις μεθόδους που απαιτούν σημαντικές πηγές στη κοντινή υποδομή ή στο Υπολογιστικό Νέφος, υπό την προϋπόθεση ότι η μεταφόρτωση είναι ωφέλιμη από πλευράς ενέργειας. Το MAUI χρησιμοποιεί έναν αναλυτή (μηχανισμό βελτιστοποίησης) που αναλύει την κατανάλωση ενέργειας που εμπλέκεται στην τοπική και απομακρυσμένη εκτέλεση του κώδικα.
  - 2) **ThinkAir**: Το ThinkAir [44] υποστηρίζει τη μετακίνηση ενός clone smartphone σε ένα επίπεδο κέντρου smartphone που εκτελείται στο cloud. Είναι σχεδιασμένο να επιτυγχάνει το επιθυμητό QoS εκτελώντας παράλληλα πολλαπλούς κλώνους του smartphone [60]. Το ThinkAir απαιτεί ελάχιστες τροποποιήσεις στον πηγαίο κώδικα των εφαρμογών. Ως εκ τούτου, είναι καθήκον των προγραμματιστών να εντοπίσουν όλες τις μεθόδους έντονης χρήσης πόρων που μπορούν να φτάσουν στο νέφος για απομακρυσμένη εκτέλεση.
  - 3) **Cuckoo**: Το cuckoo [119] βασίζεται σε μερική εξάπλωση των εφαρμογών στη Υπολογιστικό Νέφος / κοντινή υποδομή και έχει σχεδιαστεί με στόχο να καταστήσει εύκολο τον προγραμματισμό για τους προγραμματιστές, ενσωματώνοντας τα υπάρχοντα εργαλεία ανάπτυξης που είναι γνωστά στους προγραμματιστές. Επιπλέον, το Cuckoo έχει σχεδιαστεί για πλατφόρμα Android και υποστηρίζει τόσο τοπικές όσο και απομακρυσμένες υλοποιήσεις μεθόδων.



### 3. Θεωρητικό Υπόβαθρο

#### 3.1 Αισθητήρες Χαμηλού Επιπέδου

##### 3.1.1 Επιταχυνσιόμετρο

Το επιταχυνσιόμετρο (Accelerometer) μετράει αλλαγές στην επιτάχυνση σε 3 διαφορετικές κατευθύνσεις, αλλά επηρεάζεται από τη βαρύτητα. Το επιταχυνσιόμετρο είναι αισθητήρας αδρανειακού πλαισίου (inertial-frame sensor), αυτό σημαίνει ότι όταν η συσκευή βρίσκεται σε ελεύθερη πτώση, η επιτάχυνση είναι  $0 \text{ m/s}^2$  κατά την κατεύθυνση προς τα κάτω και όταν μια συσκευή είναι επίπεδη σε ένα τραπέζι, η επιτάχυνση προς τα πάνω θα είναι ίση με τη βαρύτητα της γης, δηλαδή  $g \equiv 9,8 \text{ m/s}^2$ , καθώς μετρά τη δύναμη του τραπεζιού που πιέζει τη συσκευή προς τα πάνω.

Τα επιταχυνσιόμετρα είναι λιγότερο χρήσιμα από μόνα τους και συχνά συμμετέχουν σε μετρήσεις σε συστοιχίες διαφορετικών τύπων αισθητήρων (αισθητήρες ένωσης – Sensor Fusion), αλλά έχουν ορισμένους σκοπούς όπως η καταγραφή κινήσεων, βημάτων και λοιπές όμοιες δραστηριότητες.

Συχνά για τέτοιες περιπτώσεις χρήσης, ο χρήστης ενδιαφέρεται για τη γραμμική επιτάχυνση (linear acceleration), η οποία είναι η αντιστάθμιση βαρύτητας. Επίσης, ένας προγραμματιστής ενδιαφέρεται για την απομονωμένη βαρύτητα, προκειμένου να γνωρίζει το βαρυτικό διάνυσμα, το οποίο μπορεί να είναι χρήσιμο σε μερικούς τύπους υψηλού επιπέδου αισθητήρων (Combined Sensors) , όπως η δημιουργία μιας μαγνητικής πυξίδας.

Για επιτάχυνση, συνήθως ενδιαφέρουν οι μεγάλες αλλαγές και πρέπει να αποφύγεται ο θόρυβος, όπως η βαρύτητα, κι έτσι ένα φίλτρο υψηλής διέλευσης (high pass filter) μπορεί να βοηθήσει στην απομόνωση της γραμμικής επιτάχυνσης και ένα φίλτρο χαμηλής διέλευσης (low pass filter) μπορεί να βοηθήσει στην απομόνωση της βαρύτητας. Ένα φίλτρο χαμηλής διέλευσης μπορεί έτσι να είναι χρήσιμο για τη μέτρηση μιας κλίσης. Ωστόσο, κάθε φίλτρο υψηλής διέλευσης ή φίλτρο χαμηλής διέλευσης εισάγει καθυστέρηση που μπορεί ή όχι να είναι αποδεκτή.

Καθώς τα επιταχυνσιόμετρα αναφέρουν την επιτάχυνση, πρέπει ολοκληρώσουμε για να πάρουμε την ταχύτητα:

$$v = \int a \times dt$$

Και πάλι για την θέση:

$$x = \int v \times dt$$

Μια ολοκλήρωση δημιουργεί απόκλιση και ένα διπλό ολοκλήρωμα ενισχύει ότι:

$$a = g \times \sin(\theta), x = \frac{1}{2} \times at^2$$

Έτσι, η θέση από ένα επιταχυνσιόμετρο είναι πολύ ανακριβής και δεν είναι πολύ χρήσιμη.

### 3.1.2 Γυροσκόπιο

Ένα γυροσκόπιο μετράει την γωνιακή ταχύτητα, σε σχέση με τον εαυτό του, κι έτσι μετρά τη δική του περιστροφή, χρησιμοποιώντας μια αδρανειακή δύναμη που ονομάζεται Coriolis effect. Τα γυροσκόπια ταλαντώνονται σε σχετική υψηλή συχνότητα για να μετρηθούν αυτά και είναι επομένως ένας από τους αισθητήρες κίνησης που επηρεάζονται περισσότερο από τον θόρυβο. Αυτό σημαίνει επίσης ότι μπορούν εύκολα να επηρεαστούν από άλλους κραδασμούς, όπως μοτέρ δόνησης ή ηχείο στην ίδια συσκευή.

Προκειμένου να αποκτήσουμε την περιστροφή (γωνία) από γυροσκόπιο, το οποίο ανιχνεύει τη γωνιακή ταχύτητα, πρέπει να εκτελέσουμε μια ολοκλήρωση:

$f \equiv$  συχνότητα

$$\int \cos(2\pi \times ft) = (1 / (2\pi \times f)) \times \sin(2\pi \times ft)$$

Πρέπει να γνωρίζουμε όμως ότι η ολοκλήρωση μετατρέπει τον θόρυβο σε παραμόρφωση. Όπως βλέπουμε παραπάνω, η ολοκλήρωση πολλαπλασιάζεται μετά με το  $1 / f$ , πράγμα που σημαίνει ότι ο θόρυβος υψηλής συχνότητας ( $f$ ) εξαφανίζεται με την ολοκλήρωση, δηλαδή ο θόρυβος της συχνότητας θα μειωθεί κατά ένα συντελεστή τάξης 100, αλλά θα ενισχυθεί η πολύ χαμηλή συχνότητα, δηλαδή το γυροσκόπιο θα αποκλίνει με την πάροδο του χρόνου.

Έτσι, για να το διορθώσουμε, πρέπει να γίνουν οι μετρήσεις γρήγορα και όπως βλέπουμε παρακάτω, πολλαπλασιάζουμε με το  $\delta t$ , οπότε κάθε σφάλμα στην αναφερόμενη διαφορά χρόνου θα εκδηλωθεί σαν την παραπάνω απόκλιση.

$$\theta_n = \theta_{n-1} + \omega \times \delta t$$

Το  $\omega$  να δηλώνει τη γωνιακή ταχύτητα και  $\theta$  την προκύπτουσα γωνία.

Οι περισσότεροι αισθητήρες γυροσκοπίου εκτελούν βαθμονόμηση εφαρμόζοντας κάποιο είδος αντιστάθμισης μετατόπισης στο υλικό (drift compensation) για γνωστή χαμηλή συχνότητα που προκαλείται από παρακείμενο υλικό στη συσκευή.

### 3.1.3 Μαγνητόμετρο

Τα μαγνητόμετρα είναι αισθητήρες μαγνητικού πεδίου, πράγμα που σημαίνει ότι χωρίς καμία ισχυρή μαγνητική επιρροή κοντά, θα αισθανθεί το μαγνητικό πεδίο της Γης. Το πεδίο αυτό δείχνει στην κατεύθυνση του μαγνητικού Βορρά, που αποκλίνει ουσιαστικά από τον αληθή Βορρά, φαινόμενο που ονομάζεται Σφάλμα η Παραλλαγή πυξίδας [93].

Οι κατευθύνσεις του αληθινού και του μαγνητικού Βορρά δεν ταυτίζονται. Σχηματίζουν γωνία που ονομάζεται μαγνητική απόκλιση και δεν είναι σταθερό μέγεθος, αλλά μεταβάλλεται για τρεις κύριους λόγους. Από τόπο σε τόπο, εξ' αιτίας της ανομοιομορφίας έντασης του μαγνητικού πεδίου της γης με την πάροδο του χρόνου, λόγω της κίνησης των μαγνητικών σε σχέση με τους γεωγραφικούς πόλους, και λόγω των τοπικών διαταραχών του μαγνητικού πεδίου μιας περιοχής που μπορεί να είναι παροδικές [94].

Πρακτικά, τα μαγνητόμετρα είναι πολύ ευαίσθητα στην εξωτερική επιρροή, όπως οτιδήποτε σε τραπέζι που έχει ελαφρώς μαγνητιστεί, και επηρεάζεται ακόμη και από άλλα πράγματα μέσα σε μια συσκευή, αν και ο κατασκευαστής της συσκευής μπορεί κάτι τέτοιο να το προβλέψει και να το αντισταθμίσει. Στην πράξη όμως, αυτοί οι αισθητήρες λειτουργούν αρκετά καλά για τις περισσότερες κοινές περιπτώσεις χρήσης.

Σε περίπτωση που τίποτα που μαγνητίζεται στο γύρω περιβάλλον δεν κινείται, οι μετρήσεις του μαγνητομέτρου είναι αρκετά σταθερές ώστε να χρησιμοποιηθούν για την απομόνωση της βαρύτητας όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

Το μαγνητόμετρο είναι ένας αισθητήρας 3 αξόνων, που σημαίνει ότι δίνει ένα 3D διάνυσμα που δείχνει το ισχυρότερο μαγνητικό πεδίο. Σημαίνει επίσης ότι δεν επιβάλλει συγκεκριμένο προσανατολισμό συσκευής για να λειτουργήσει.

Ωστόσο, για να βρούμε πώς συγκρατείται η συσκευή, χρειάζεται ένα διάνυσμα βαρύτητας, το οποίο ως ελάχιστο απαιτεί ένα επιταχυνσιόμετρο στην περίπτωση φίλτρου χαμηλής διέλευσης και επιπλέον ένα γυροσκόπιο εάν χρειάζονται πιο ακριβείς μετρήσεις. Αυτό ονομάζεται αντιστάθμιση κλίσης (tilt compensation).

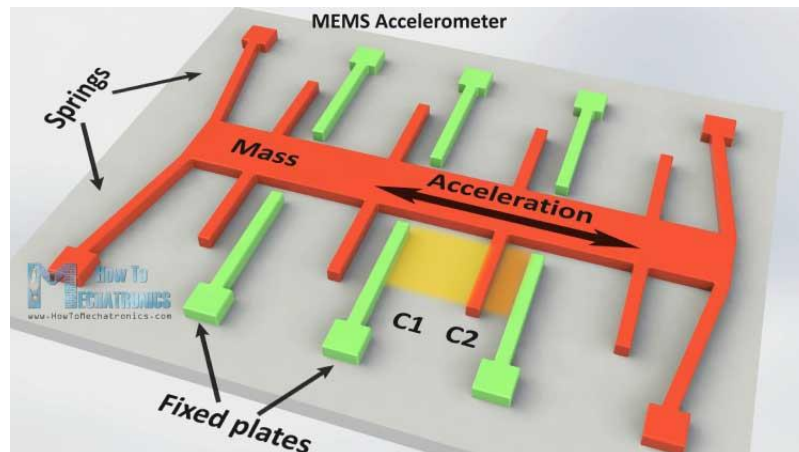
Η συνηθέστερη περίπτωση χρήσης για τα μαγνητόμετρα είναι ως μέρος της ένωσης αισθητήρων, προκειμένου να δημιουργηθεί ένας αισθητήρας προσανατολισμού που είναι ακίνητος στο γήινο επίπεδο, ή μια πυξίδα, η οποία βασικά είναι όπως προηγουμένως με διορθώσεις στην κλίση ανάλογα με τη θέση γεωγραφικής θέσης, όπως να δείχνει τον αληθινό Βορρά.

### 3.1.4 Ολοκληρωμένο Μικρο-ηλεκτρονικό κύκλωμα αισθητήρων

Τα MEMS είναι πολύ μικρά συστήματα ή συσκευές, αποτελούμενα από μικροστοιχεία μεγέθους από 0,001 mm έως 0,1 mm. Αυτά τα εξαρτήματα είναι φτιαγμένα από πυρίτιο, πολυμερή, μέταλλα και / ή κεραμικά και συνήθως συνδυάζονται με ένα CPU (μικροελεγκτή) για την ολοκλήρωση του συστήματος. Τώρα θα εξηγήσουμε εν συντομία πώς λειτουργεί ο καθένας από αυτούς τους αισθητήρες Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS).

- **MEMS Επιταχυνσιόμετρο:** Μετράει την επιτάχυνση μετρώντας την μεταβολή της χωρητικότητας. Η μικροδομή του μοιάζει με το σχήμα 3.1. Έχει μια μάζα προσαρτημένη σε ένα ελατήριο που περιορίζεται για να κινείται κατά μήκος μιας κατεύθυνσης και σταθερές εξωτερικές πλάκες. Έτσι, όταν επιταχυνθεί η συγκεκριμένη κατεύθυνση, η μάζα θα κινηθεί και η χωρητικότητα μεταξύ των πλακών και της μάζας θα αλλάξει. Αυτή η μεταβολή της χωρητικότητας θα

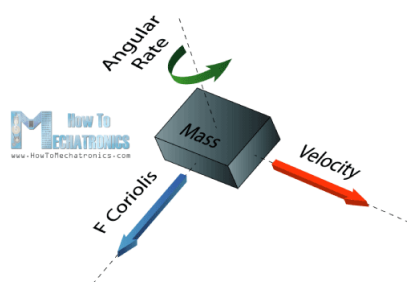
μετρηθεί, θα υποστεί επεξεργασία και θα αντιστοιχηθεί σε μια συγκεκριμένη τιμή επιτάχυνσης.



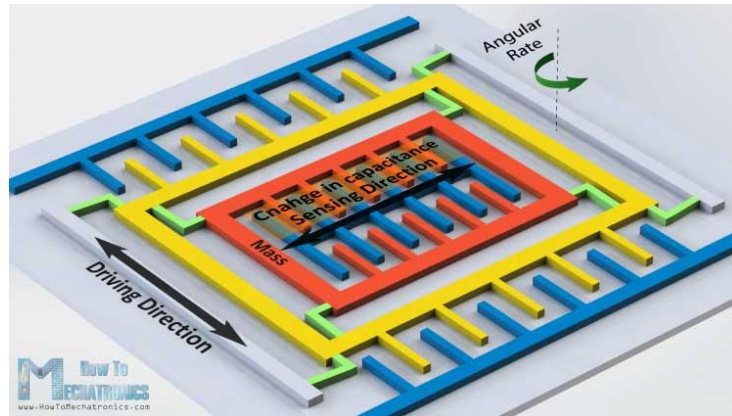
Σχήμα 3.1: Μικροδομή Επιταχυνσιόμετρου

- **MEMS Γυροσκόπιο:** Το γυροσκόπιο μετρά γωνιακό ρυθμό χρησιμοποιώντας το φαινόμενο Coriolis. Όταν μια μάζα κινείται σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση με μια συγκεκριμένη ταχύτητα και όταν εφαρμόζεται ένας εξωτερικός γωνιακός ρυθμός, όπως φαίνεται με το πράσινο βέλος στο σχήμα 3.2, θα υπάρξει δύναμη, όπως φαίνεται με το μπλε κόκκινο βέλος, που θα προκαλέσει κάθετη μετατόπιση της μάζας. Παρόμοιο με το επιταχυνσιόμετρο, αυτή η μετατόπιση θα προκαλέσει μεταβολή της χωρητικότητας που θα μετρηθεί, θα υποστεί επεξεργασία και θα αντιστοιχηθεί σε ένα συγκεκριμένο γωνιακό ρυθμό.

Η μικροδομή του γυροσκοπίου μοιάζει με το σχήμα 3.3. Μια μάζα που κινείται συνεχώς ή ταλαντεύεται και όταν εφαρμόζεται ο εξωτερικός γωνιακός ρυθμός θα κινηθεί ένα εύκαμπτο τμήμα της μάζας και θα κάνει την κάθετη μετατόπιση.

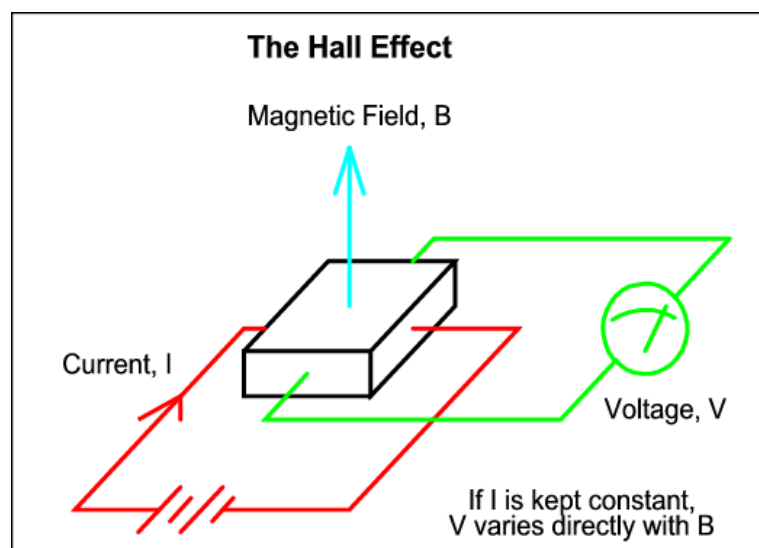


Σχήμα 3.2: Αναπαράσταση δυνάμεων που οφείλονται σε γωνιακή ταχύτητα



Σχήμα 3.3: Μικροδομή Γυροσκοπίου

- MEMS Μαγνητόμετρο:** Μετράει το γήινο μαγνητικό πεδίο χρησιμοποιώντας Hall Effect ή Magneto Resistive Effect. Στην πραγματικότητα, σχεδόν το 90% των αισθητήρων στην αγορά χρησιμοποιούν το Hall Effect και φαίνεται πώς λειτουργεί στο σχήμα 3.4. Εάν έχουμε μια αγώγιμη πλάκα όπως φαίνεται στο σχήμα 3.4 και έχουμε ρυθμίσει ρεύμα να ρέει μέσα από αυτό, τα ηλεκτρόνια θα ρέουν κατευθείαν από την μία στην άλλη πλευρά της πλάκας. Αν φέρουμε κάποιο μαγνητικό πεδίο κοντά στην πλάκα θα διαταράξουμε την ευθύγραμμη ροή και τα ηλεκτρόνια θα εκτρέπονται στη μία πλευρά της πλάκας και τους θετικούς πόλους στην άλλη πλευρά της πλάκας. Αυτό σημαίνει ότι αν βάλουμε ένα μετρητή τώρα ανάμεσα στις δύο αυτές πλευρές θα έχουμε κάποια τάση που εξαρτάται από τη δύναμη του μαγνητικού πεδίου και την κατεύθυνση του. Το άλλο 10% των αισθητήρων στην αγορά χρησιμοποιεί το μαγνητοαντιστασιακό (Magneto-resistive) φαινόμενο. Αυτοί οι αισθητήρες χρησιμοποιούν υλικά που είναι ευαίσθητα στο μαγνητικό πεδίο, συνήθως αποτελούμενα από σίδηρο (Fe) και νικέλιο (Ni). Έτσι, όταν αυτά τα υλικά εκτίθενται σε μαγνητικό πεδίο αλλάζουν την αντίστασή τους.



Σχήμα 3.4: Το Φαινόμενο Hall

## 3.2 Αισθητήρες Υψηλού Επιπέδου και Φίλτρα

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, κάθε αισθητήρας έχει τα δικά του θέματα, όπως είναι ο θόρυβος και η μετατόπιση, και συχνά χρειάζονται κάποιο είδος αντιστάθμισης χρησιμοποιώντας είσοδο από διαφορετικό αισθητήρα. Με άλλο τρόπο, ένας αισθητήρας μπορεί να μην είναι πολύ ακριβής από μόνος του, αλλά το άθροισμα των πολλαπλών αισθητηριακών εισροών μπορεί να είναι πολύ πιο σταθερό.

Δυστυχώς, οι αισθητήρες χρειάζονται ισχύ και όσο περισσότεροι αισθητήρες και όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα μέτρησης, τόσο μεγαλύτερη είναι η κατανάλωση ενέργειας. Το γυροσκόπιο τυπικά θεωρείται το πιο ενεργοβόρο, καθώς χρειάζεται να δονείται σε μια ορισμένη συχνότητα για να μετρήσει τη γωνιακή ταχύτητα.

Για τους παραπάνω λόγους, είναι πάντα σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη το ελάχιστο σύνολο αισθητήρων που λύνει μια εργασία ικανοποιητικά. Δεδομένου ότι πολλές συσκευές σήμερα μπορούν να κάνουν ορισμένα είδη ένωσης αισθητήρων (sensor fusion) στο υλικό, είναι πιο λογικό να τα χρησιμοποιούμε από άποψη ισχύος και απόδοσης.

Τύπος Αισθητήρα	Υποκείμενοι Φυσικοί Αισθητήρες <i>E – Επιταχυνσιόμετρο</i> <i>Γ - Γυροσκόπιο</i> <i>M - Μαγνητόμετρο</i>
Σχετικού Προσανατολισμού	E, Γ, δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί M
Απόλυτου Προσανατολισμού	E, M και όταν υπάρχει Γ
Γεωμαγνητικού Προσανατολισμού	E, M, δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί Γ
Αισθητήρας Βαρύτητας	E, Γ
Γραμμικής Επιτάχυνσης	E και είτε Γ είτε M

Πίνακας 3.1: Λίστα αισθητήρων ένωσης και από ποιους αισθητήρες αποτελούνται συνήθως. Περισσότερες πληροφορίες στην διεύθυνση [95]

Για να κατασκευάσουμε αυτούς τους ‘τεχνητούς αισθητήρες’, πρέπει να έχουμε έναν αποτελεσματικό τρόπο ένωσης των μεμονωμένων. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούμε φίλτρα σήματος. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, είναι δυνατό να αφαιρεθεί ο θόρυβος (υψηλή ή χαμηλή συχνότητα) με φίλτρα χαμηλής και υψηλής συχνότητας διέλευσης. Όπως λένε τα ονόματα, τα φίλτρα αφήνουν τις χαμηλές ή υψηλές συχνότητες να περάσουν και έτσι να κόψουν ή να ελαχιστοποιήσουν την επίδραση ανεπιθύμητων συχνοτήτων.

- **Βαθυπερατό Φίλτρο:** Ένας κοινός τρόπος για να δημιουργήσουμε ένα φίλτρο χαμηλής διέλευσης είναι να χρησιμοποιήσουμε μόνο ένα ποσοστό της τελευταίας τιμής και να πάρουμε τα υπόλοιπα από την υπάρχουσα τιμή. Κατά κάποιο τρόπο αυτό σημαίνει ότι το φίλτρο θυμάται τις κοινές τιμές και έτσι εξομαλύνει τις ασυνήθιστες τιμές, οι οποίες είναι συνήθως αποτέλεσμα θορύβου. Καθώς χρησιμοποιεί ένα μεγάλο ποσοστό της υπάρχουσας τιμής, αυτή η λύση εισάγει καθυστέρηση στην καταγραφή των πραγματικών γεγονότων. Ονομάζεται εκθετικά σταθμισμένος κινούμενος μέσος όρος (exponentially weighted moving average) με τύπο:

$$y_i = \alpha x_i + (1 - \alpha)y_{i-1} \quad \text{όπου} \quad \alpha := \frac{\Delta_T}{RC + \Delta_T}$$

Όπου  $\alpha$  ο παράγοντας εξομάλυνσης (smoothing factor). Το φίλτρο αυτό αποτελεί ουσιαστικά τη διακριτή μορφή (discrete-time) ενός απλού φίλτρου χαμηλής διέλευσης RC, άπειρης απόκρισης παλμού (infinite impulse response filter), πρώτης τάξης (first-order).

- **Υψιπερατό φίλτρο:** Το φίλτρο διέλευσης υψηλών συχνοτήτων λειτουργεί όπως το φίλτρο χαμηλής διέλευσης, αλλά επιτρέπει την διέλευση μόνο των υψηλών συχνοτήτων. Αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο για να απαλλαγούμε από την απόκριση που συσσωρεύεται με την πάροδο του χρόνου με μετρήσεις γυροσκοπίου. Το πιο απλό είναι το πρώτης τάξης συνεχούς χρόνου (continuous-time first-order) στην διακριτή του μορφή με τύπο:

$$y_i = \alpha y_{i-1} + \alpha(x_i - x_{i-1}) \quad \text{όπου} \quad \alpha \triangleq \frac{RC}{RC + \Delta_T}$$

Αποτελεί την διακριτή μορφή ενός υψιπερατού RC φίλτρου.

- **Συμπληρωματικό Φίλτρο (Complementary Filter):** Ένα συμπληρωματικό φίλτρο μπορεί να θεωρηθεί ως φίλτρο χαμηλής διέλευσης και φίλτρο υψηλής διέλευσης σε ένα, συμπληρώνοντας τις τιμές γυροσκοπίου με τις τιμές του επιταχυνσιόμετρου:

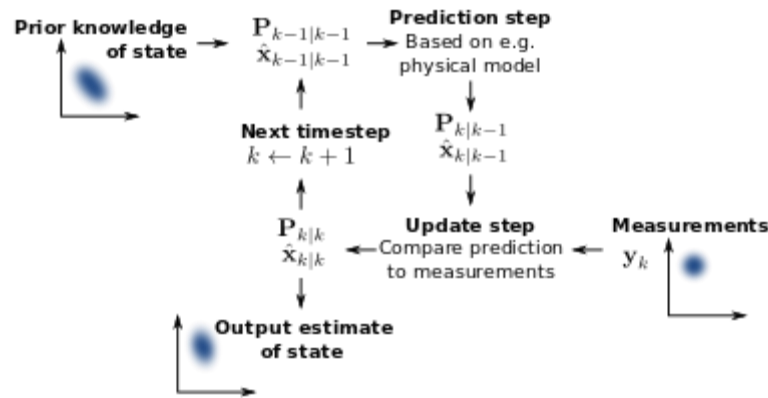
$$\theta_n = \alpha \times (\theta_{n-1} + \omega \times \delta t) + (1,0 - \alpha) \times a$$

όπου  $\alpha$  είναι η σταθερά βαρύτητας,  $a$  η επιτάχυνση από το επιταχυνσιόμετρο,  $\omega$  η γωνιακή ταχύτητα από το γυροσκόπιο και  $\delta t$  είναι ο χρόνος μεταξύ των μετρήσεων. Χρησιμοποιείται κυρίως για την μέτρηση γωνιών.

Μια κοινή τιμή για το  $\alpha$  είναι 0,98, πράγμα που σημαίνει ότι το 98% του βάρους βρίσκεται στις μετρήσεις γυροσκοπίου.

- **Φίλτρο Kalman:** Στη θεωρία στατιστικής και ελέγχου, το φίλτρο Kalman, επίσης γνωστό ως γραμμική τετραγωνική εκτίμηση (Linear Quadratic Estimation - LQE), είναι ένας αλγόριθμος που χρησιμοποιεί μια σειρά μετρήσεων που παρατηρούνται με το χρόνο, που περιέχουν στατιστικό θόρυβο και άλλες ανακρίβειες και παράγει εκτιμήσεις άγνωστων μεταβλητών, που τείνουν να είναι περισσότερο ακριβείς από εκείνες που βασίζονται μόνο σε μία μόνο μέτρηση, υπολογίζοντας μια κοινή κατανομή πιθανότητας στις μεταβλητές για κάθε χρονικό πλαίσιο.

Ο αλγόριθμος λειτουργεί σε μια διαδικασία δύο σταδίων. Στο βήμα πρόβλεψης, το φίλτρο Kalman παράγει εκτιμήσεις των μεταβλητών της τρέχουσας κατάστασης, μαζί με τις αβεβαιότητές τους. Μόλις παρατηρηθεί το αποτέλεσμα της επόμενης μέτρησης (αναγκαστικά επιφορτωμένο με κάποιο ποσό σφάλματος, συμπεριλαμβανομένου του τυχαίου θορύβου), οι εκτιμήσεις αυτές ενημερώνονται χρησιμοποιώντας τον σταθμισμένο μέσο όρο, δίνοντας μεγαλύτερη βαρύτητα σε εκτιμήσεις με μεγαλύτερη βεβαιότητα. Ο αλγόριθμος είναι αναδρομικός. Μπορεί να λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας μόνο τις τρέχουσες μετρήσεις εισόδου και την κατάσταση που είχε υπολογιστεί προηγουμένως και τον πίνακα αβεβαιότητας, χωρίς να απαιτούνται πρόσθετες παρελθούσες πληροφορίες.



### 3.3 Γωνίες Euler και Μετασχηματισμός Αξόνων

Οι γωνίες του Euler είναι τρεις γωνίες που εισήγαγε ο Leonhard Euler για να περιγράψει τον προσανατολισμό ενός άκαμπτου σώματος σε σχέση με ένα σταθερό σύστημα συντεταγμένων. Μπορούν επίσης να αντιπροσωπεύουν τον προσανατολισμό ενός κινητού πλαισίου αναφοράς στη φυσική ή τον προσανατολισμό μιας γενικής βάσης στην τρισδιάστατη γραμμική άλγεβρα.

Οποιοσδήποτε προσανατολισμός μπορεί να επιτευχθεί συνθέτοντας τρεις στοιχειώδεις περιστροφές, δηλαδή περιστροφές γύρω από τους άξονες ενός συστήματος συντεταγμένων. Οι γωνίες του Euler μπορούν να οριστούν από τρεις από αυτές τις περιστροφές. Μπορούν επίσης να οριστούν με στοιχειώδη γεωμετρία και ο γεωμετρικός ορισμός καταδεικνύει ότι τρεις περιστροφές είναι πάντοτε επαρκείς για την επίτευξη οποιουδήποτε πλαισίου.

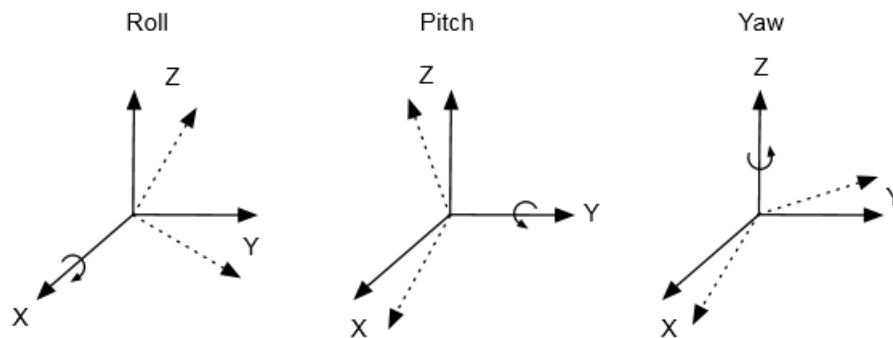
Οι τρεις στοιχειώδεις περιστροφές μπορεί να είναι εξωγενείς (περιστροφές γύρω από τους άξονες XYZ του αρχικού συστήματος συντεταγμένων, το οποίο υποτίθεται ότι παραμένει ακίνητο), ή εγγενείς (περιστροφές γύρω από τους άξονες του περιστρεφόμενου συστήματος συντεταγμένων XYZ, αλληλέγγυα με το κινούμενο σώμα, το οποίο αλλάζει προσανατολισμό μετά από κάθε αξονική περιστροφή).

Οι γωνίες Euler χαρακτηρίζονται τυπικά ως  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  ή  $\phi$ ,  $\theta$ ,  $\psi$ . Διαφορετικοί συγγραφείς μπορούν να χρησιμοποιούν διαφορετικά σύνολα αξόνων περιστροφής για να ορίσουν γωνίες Euler ή διαφορετικά ονόματα για τις ίδιες γωνίες. Επομένως, κάθε συζήτηση που χρησιμοποιεί γωνίες Euler πρέπει πάντα να προηγείται από τον ορισμό τους.

Χωρίς να εξετάζεται η πιθανότητα να χρησιμοποιηθούν δύο διαφορετικές συμβάσεις για τον ορισμό των αξόνων περιστροφής (εγγενείς ή εξωγενείς), υπάρχουν δώδεκα πιθανές ακολουθίες αξόνων περιστροφής, χωρισμένες σε δύο ομάδες, τις σωστές γωνίες Euler και τις Γωνίες Tait-Bryan. Οι γωνίες Tait-Bryan ονομάζονται επίσης Καρδιακές γωνίες; ναυτικές γωνίες; κατεύθυνση, ανύψωση και βουτιά; ή στροφή, κλίση και κύλιση (Cardan angles; nautical angles; heading, elevation, and bank; or yaw, pitch, and roll). Μερικές φορές, και τα δύο είδη ακολουθιών ονομάζονται "γωνίες Euler". Στην περίπτωση αυτή, οι ακολουθίες της πρώτης ομάδας ονομάζονται ορθές ή κλασικές γωνίες Euler.



Ανεξάρτητα από την προσέγγιση που χρησιμοποιείται, το πρώτο βήμα ενός αδρανειακού συστήματος πλοήγησης είναι ο υπολογισμός του σχετικού προσανατολισμού του αισθητήρα και του σώματος του χρήστη. Οι μετρήσεις ενός IMU εκφράζονται στο πλαίσιο συντεταγμένων του αισθητήρα, και άρα κάθε φορά που προσαρμόζουμε το IMU στο σώμα του χρήστη, οι άξονες του πλαισίου συντεταγμένων του αισθητήρα μπορεί να μην συμπίπτουν με τους άξονες του πλαισίου πλοήγησης. Οποιαδήποτε κακή ευθυγράμμιση στους άξονες προκαλεί σφάλματα στις μετρήσεις. Επομένως, η εκτίμηση του σχετικού προσανατολισμού είναι ένα κρίσιμο μέρος ενός συστήματος αδρανειακής πλοήγησης. Ο σχετικός μετασχηματισμός μεταξύ δύο πλαισίων συντεταγμένων μπορεί να επιτευχθεί με τη διαδοχική περιστροφή γύρω από τρεις άξονες, όπου οι γωνίες περιστροφής εκφράζονται ως γωνίες Euler, δηλαδή την στροφή ( $\phi_x$ ), την κλίση ( $\theta_y$ ) και την κατεύθυνση ( $\psi_z$ ). Ο ορισμός των γωνιών του Euler φαίνεται στο σχήμα 3.5.



Σχήμα 3.5: Γωνίες (περιστροφές) Euler.

Ο μετασχηματισμός μεταξύ πλαισίων συντεταγμένων γίνεται χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες μήτρες περιστροφής:

$$\mathbf{O}_{\phi_x} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\cos(\phi_x) & \sin(\phi_x) \\ 0 & \sin(\phi_x) & \cos(\phi_x) \end{bmatrix} \mathbf{O}_{\theta_y} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_y) & 0 & \sin(\theta_y) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\theta_y) & 0 & \cos(\theta_y) \end{bmatrix} \mathbf{O}_{\psi_z} = \begin{bmatrix} \cos(\psi_z) & \sin(\psi_z) & 0 \\ -\sin(\psi_z) & \cos(\psi_z) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

όπου το  $\mathbf{O}$  αντιπροσωπεύει τη μήτρα περιστροφής. Οι περιστροφές εφαρμόζονται με την ακόλουθη σειρά:

$$\mathbf{O}_T = \mathbf{O}_{\phi_x} \mathbf{O}_{\theta_y} \mathbf{O}_{\psi_z},$$

και οι μετρήσεις της IMU στο πλαίσιο πλοήγησης  $\mathbf{z}_{IMU}^{NF}$  αποκτώνται πολλαπλασιάζοντας τις μετρήσεις IMU στο πλαίσιο αισθητήρα  $\mathbf{z}_{IMU}^{SF}$  με τη μήτρα περιστροφής  $\mathbf{O}_T$

$$\mathbf{z}_{IMU}^{NF} = \mathbf{O}_T \mathbf{z}_{IMU}^{SF}.$$

Προκειμένου να εκτιμηθούν οι γωνίες περιστροφής, τυπικά χρησιμοποιείται το πεδίο βαρύτητας της γης, που μετράται από τα επιταχυνσιόμετρα. Ελλείψει οποιασδήποτε εξωτερικής επιτάχυνσης, η έξοδος ενός επιταχυνσιόμετρου αντιστοιχεί στο πεδίο βαρύτητας της γης. Επομένως, είναι δυνατόν να εκτιμηθούν οι γωνίες στροφής και κλίσης, γνωρίζοντας ότι αν το πλαίσιο συντεταγμένων του αισθητήρα είναι ευθυγραμμισμένο με το πλαίσιο συντεταγμένων γης, ο φορέας βαρύτητας πρέπει να πέσει στον άξονα  $z$  [96], δηλαδή,

$$\tan \phi_x = \frac{a_y}{a_z},$$

$$\tan \theta_y = \frac{-a_x}{\sqrt{a_y^2 + a_z^2}},$$

όπου  $a_x$ ,  $a_y$  και  $a_z$  είναι οι έξοδοι του επιταχυνσιόμετρου στον άξονα  $x$ ,  $y$  και  $z$ , αντίστοιχα. Δυστυχώς το πεδίο βαρύτητας είναι αμετάβλητο στην περιστροφή της γωνίας κατεύθυνσης και ως εκ τούτου η γωνία κατεύθυνσης παραμένει άγνωστη χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο. Αυτό το γεγονός παρακάμπτεται στα συστήματα εσωτερικής θέσης υποθέτοντας τη γνώση για τον αρχικό προσανατολισμό του χρήστη ή με τον υπολογισμό του αρχικού προσανατολισμού χρησιμοποιώντας το γήινο μαγνητικό πεδίο.

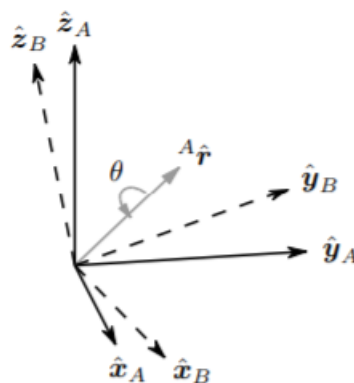
Για την μέτρηση της τελευταίας γωνίας, αυτής της κατεύθυνσης, χρησιμοποιούνται οι γωνίες που μετρήθηκαν προηγουμένως, δηλαδή οι στροφής και κλίσης. Δεδομένου του διανύσματος  $[B_{px}, B_{py}, B_{pz}]$  που αντιπροσωπεύει τις συνιστώσες του σήματος μαγνητόμετρου και με τον αλγόριθμο αντιστάθμισης κλίσης (tilt compensation) έχουμε ότι η γωνία της κατεύθυνσης υπολογίζεται ως [97]:

$$\tan(\psi) = \left( \frac{-B_{fz}}{B_{fx}} \right) = \left( \frac{(B_{pz} - V_z) \sin \phi - (B_{py} - V_y) \cos \phi}{(B_{px} - V_x) \cos \theta + (B_{py} - V_y) \sin \theta \sin \phi + (B_{pz} - V_z) \sin \theta \cos \phi} \right)$$

και λαμβάνει υπ'όψιν την στρόφη και την κλίση του κινητού.

### 3.4 Τετραδόνια (Quaternions) και Μεταχηματισμός Αξόνων

Ένα τετραδόνιο (quaternion) είναι ένας τετραδιάστατος μιγαδικός αριθμός που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναπαραστήσει τον προσανατολισμό ενός στέρεου σώματος ή ενός πλαισίου συντεταγμένων σε τρισδιάστατο χώρο [98]. Ένας αυθαίρετος προσανατολισμός του πλαισίου  $B$  σε σχέση με το πλαίσιο  $A$  μπορεί να επιτευχθεί μέσω περιστροφής γωνίας  $\theta$  γύρω από έναν άξονα  ${}^A\hat{r}$  που ορίζεται στο πλαίσιο  $A$ . Αυτό απεικονίζεται γραφικά στο σχήμα 3.6 όπου οι αμοιβαίως ορθογωνικοί μοναδιαίοι φορείς  $\hat{x}_A$ ,  $\hat{y}_A$  και  $\hat{z}_A$ , και  $\hat{x}_B$ ,  $\hat{y}_B$  και  $\hat{z}_B$  ορίζουν τους κύριους άξονες των πλαισίων συντεταγμένων  $A$  και  $B$  αντίστοιχως. Το τετραδόνιο που περιγράφει αυτόν τον προσανατολισμό,  ${}^A_B\hat{q}$ , ορίζεται από την εξίσωση (1) όπου  $r_x$ ,  $r_y$  και  $r_z$  καθορίζουν τα στοιχεία του μοναδιαίου φορέα  ${}^A\hat{r}$  στους άξονες  $x$ ,  $y$  και  $z$  του πλαισίου  $A$  αντίστοιχα.



Σχήμα 3.6: Ο προσανατολισμός του πλαισίου  $B$  επιτυγχάνεται με μια περιστροφή, με ευθυγράμμιση στο πλαίσιο  $A$ , μέσω μιας γωνίας  $\theta$  γύρω από τον άξονα  ${}^A\hat{r}$ .

Ένα σύστημα συμβολισμού προπορευόμενων υπερδεικτών και υποδεικτών που υιοθετήθηκαν από τον Craig [99] χρησιμοποιούνται για να υποδηλώσουν τα σχετικά

πλαίσια των προσανατολισμών και φορέων. Ένας προπορευόμενος υποδείκτης υποδηλώνει το πλαίσιο που περιγράφεται και ένας προπορευόμενος υπερδείκτης υποδηλώνει το πλαίσιο αυτό είναι σε σχέση με. Για παράδειγμα,  ${}^A_B\hat{q}$  περιγράφει τον προσανατολισμό του πλαισίου B σε σχέση με το πλαίσιο A και το  ${}^A\hat{r}$  είναι ένας φορέας που περιγράφεται στο πλαίσιο A. Η αριθμητική τετραδονίων συχνά απαιτεί την πρώτη κανονικοποίηση ενός τετραδονίου που περιγράφει έναν προσανατολισμό. Επομένως είναι σύνηθες για όλα τα τετραδόνια που περιγράφουν έναν προσανατολισμό να έχουν μήκος μονάδας.

$${}^A_B\hat{q} = [q_1 \ q_2 \ q_3 \ q_4] = [\cos\frac{\theta}{2} \ -r_x\sin\frac{\theta}{2} \ -r_y\sin\frac{\theta}{2} \ -r_z\sin\frac{\theta}{2}] \quad (1)$$

Το τετραδόνιο συζυγές, που δηλώνεται με \*, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εναλλαγή των σχετικών πλαισίων που περιεγράφηκαν από έναν προσανατολισμό. Για παράδειγμα,  ${}^B_A\hat{q}$  είναι το συζυγές του  ${}^A_B\hat{q}$  και περιγράφει τον προσανατολισμό του πλαισίου A σε σχέση με το πλαίσιο B. Το συζυγές του  ${}^A_B\hat{q}$  ορίζεται από την εξίσωση (2)

$${}^A_B\hat{q}^* = {}^B_A\hat{q} = [q_1 \ -q_2 \ -q_3 \ -q_4] \quad (2)$$

Ο πολλαπλασιασμός τετραδονίων, που υποδηλώνεται με  $\otimes$ , μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό σύνθετων προσανατολισμών. Για παράδειγμα, για δύο προσανατολισμούς που περιγράφονται από το  ${}^A_B\hat{q}$  και  ${}^B_C\hat{q}$ , ο σύνθετος προσανατολισμός  ${}^A_C\hat{q}$  μπορεί να οριστεί με την εξίσωση (3).

$${}^A_C\hat{q} = {}^B_C\hat{q} \otimes {}^A_B\hat{q} \quad (3)$$

Για τα δύο τετραδόνια, a και b, ο πολλαπλασιασμός τετραδονίων μπορεί να προσδιοριστεί χρησιμοποιώντας τον κανόνα Hamilton και ορίζεται ως εξίσωση (4). Ένα τετραδονικό προϊόν δεν είναι προσαίτηριστικό. Δηλαδή,  $a \otimes b \neq b \otimes a$ .

$$\begin{aligned} \mathbf{a} \otimes \mathbf{b} &= [a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4] \otimes [b_1 \ b_2 \ b_3 \ b_4] \\ &= \begin{bmatrix} a_1b_1 - a_2b_2 - a_3b_3 - a_4b_4 \\ a_1b_2 + a_2b_1 + a_3b_4 - a_4b_3 \\ a_1b_3 - a_2b_4 + a_3b_1 + a_4b_2 \\ a_1b_4 + a_2b_3 - a_3b_2 + a_4b_1 \end{bmatrix}^T \end{aligned} \quad (4)$$

Ένας τρισδιάστατος φορέας μπορεί να περιστραφεί με ένα τετραδόνιο χρησιμοποιώντας τη σχέση που περιγράφεται στην εξίσωση (5) [100]. Τα  ${}^A\mathbf{u}$  και  ${}^B\mathbf{u}$  είναι ο ίδιος φορέας που περιγράφεται στο πλαίσιο A και το πλαίσιο B αντίστοιχα, όπου κάθε φορέας περιέχει ένα 0 που έχει εισαχθεί ως το πρώτο στοιχείο για να τα κάνει διανύσματα σειράς 4 στοιχείων.

$${}^B\mathbf{v} = {}^A_B\hat{q} \otimes {}^A\mathbf{v} \otimes {}^A_B\hat{q}^* \quad (5)$$

Ο προσανατολισμός που περιγράφεται από τον  ${}^A_B\hat{q}$  μπορεί να αναπαρασταθεί ως η μήτρα περιστροφής  ${}^A_BR$  με την εξίσωση (6) [100].

$${}^A_B \mathbf{R} = \begin{bmatrix} 2q_1^2 - 1 + 2q_2^2 & 2(q_2q_3 + q_1q_4) & 2(q_2q_4 - q_1q_3) \\ 2(q_2q_3 - q_1q_4) & 2q_1^2 - 1 + 2q_3^2 & 2(q_3q_4 + q_1q_2) \\ 2(q_2q_4 + q_1q_3) & 2(q_3q_4 - q_1q_2) & 2q_1^2 - 1 + 2q_4^2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Οι γωνίες του Euler  $\psi$ ,  $\theta$  και  $\phi$  στη λεγόμενη αεροδιαστημική αλληλουχία (aerospace sequence) [100] περιγράφουν έναν προσανατολισμό του πλαισίου B που επιτυγχάνεται με τις διαδοχικές περιστροφές, από την ευθυγράμμιση με το πλαίσιο A, από  $\psi$  γύρω από  $\hat{z}_B$ ,  $\theta$  γύρω από  $\hat{y}_B$  και από  $\phi$  γύρω από  $\hat{x}_B$ . Αυτή η γωνιακή απεικόνιση του Euler του  ${}^A_B \hat{q}$  ορίζεται από το εξισώσεις (7), (8) και (9).

$$\psi = \text{Atan2}(2q_2q_3 - 2q_1q_4, 2q_1^2 + 2q_2^2 - 1) \quad (7)$$

$$\theta = -\sin^{-1}(2q_2q_4 + 2q_1q_3) \quad (8)$$

$$\phi = \text{Atan2}(2q_3q_4 - 2q_1q_2, 2q_1^2 + 2q_4^2 - 1) \quad (9)$$

Γενικά, τα τετραδόνια προτιμούνται για τον χειρισμό των γωνιών και των μετασχηματισμών αξόνων, λόγω 2 ουσιαστικών πλεονεκτημάτων, πέραν του μειονεκτήματος που έχουν ότι είναι δύσκολα στην κατανόηση και δεν μπορούν να αναπαρασταθούν λόγω της τετραδιάστης φύσης τους:

- Οι γωνίες Euler έχουν το θέμα του λεγόμενου Gimbal Lock. Είναι η απώλεια ενός βαθμού ελευθερίας σε ένα τρισδιάστατο μηχανισμό τριών αντίβαρων που συμβαίνει όταν οι άξονες των δύο από τα τρία αντίζυγα οδηγούνται σε μια παράλληλη διαμόρφωση, κλείνοντας το σύστημα σε περιστροφή σε ένα εκφυλισμένο, δισδιάστατο χώρο.
- Μια περιστροφή με τετραδόνια απαιτεί 28 αριθμητικές πράξεις ενώ με μήτρες περιστροφής 45.

### 3.5 Ο αλγόριθμος K Κοντινότερων Γειτόνων (KKG)

Ο Αλγόριθμος K Κοντινότερων Γειτόνων (K Nearest Neighbors - KNN) είναι μία πολύ γνωστή και ευρεία χρησιμοποιούμενη τεχνική κατηγοριοποίησης που στηρίζεται στη χρήση μέτρων βασισμένων στην απόσταση.

Η κεντρική ιδέα είναι πως η τιμή της συνάρτησης-στόχου για ένα νέο στιγμιότυπο βασίζεται αποκλειστικά και μόνο στις αντίστοιχες τιμές των k πιο «κοντινών» στιγμιότυπων εκπαίδευσης, τα οποία αποτελούν τους «γείτονες» του. Δύο ζητήματα πρέπει να αποφασιστούν προκειμένου να καθοριστεί πλήρως ο αλγόριθμος:

1. Ο ορισμός της απόστασης μεταξύ δύο στιγμιότυπων, δηλαδή μιας τιμής πάνω στο χώρο των στιγμιότυπων, που θα εκφράζει την εγγύτητα, ή αλλιώς την «ομοιότητα» μεταξύ των στιγμιότυπων.
2. Η τιμή του k.

Για το πρώτο ζήτημα, υπάρχουν πολλές εναλλακτικές επιλογές. Η απόφαση εξαρτάται από τα ειδικά χαρακτηριστικά του χώρου στιγμιότυπων του προβλήματος. Ιδιαίτερη σημασία έχει αν στην αναπαράσταση των στιγμιότυπων περιλαμβάνονται αριθμητικά ή συμβολικά χαρακτηριστικά. Στον «παραδοσιακό» k-NN αλγόριθμο, στον οποίο τα στιγμιότυπα θεωρούνται πως ανήκουν στον n-διαστατό χώρο  $\mathbb{R}^n$ , μια μέτρηση που

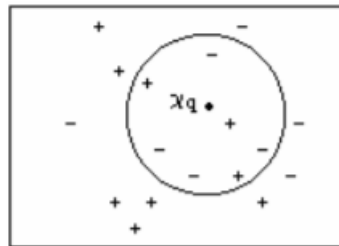
υιοθετείται συχνά είναι η γνωστή Ευκλείδεια απόσταση. Πιο συγκεκριμένα, αν τα στιγμιότυπα αναπαρίστανται ως διανύσματα από χαρακτηριστικά που παίρνουν τιμές πραγματικούς αριθμούς, δηλαδή το στιγμιότυπο  $x$  αναπαρίσται από το διάνυσμα:

$$\langle a_1(x), a_2(x), \dots, a_n(x) \rangle,$$

όπου  $a_r(x)$  δηλώνει την τιμή του  $r$ -οστού χαρακτηριστικού του  $x$ , τότε η απόσταση  $d(x_i, x_j)$  μεταξύ δύο στιγμιότυπων  $x_i$  και  $x_j$  ορίζεται ως:

$$d(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{r=1}^n (a_r(x_i) - a_r(x_j))^2}$$

Φυσικά, είναι δυνατόν να επιλεχθούν και άλλα μέτρα ομοιότητας - ανομοιότητας, αντί της Ευκλείδειας.



Σχήμα 3.7: Οπτικοποίηση της κατηγοριοποίησης με τον αλγόριθμο ΚΚΓ

Στο σχήμα 3.7 φαίνεται η λειτουργία του  $k$ -NN. Τα “+” και τα “-” δείχνουν τα στιγμιότυπα εκπαίδευσης της κάθε κλάσης και το  $x_q$  ένα στιγμιότυπο προς κατάταξη. Φαίνεται πως ο 1-NN κατατάσσει το  $x_q$  ως “+” ενώ ο 7-NN το κατατάσσει ως “-”.

Ένα μειονέκτημα που παρουσιάζεται στο προηγούμενο παράδειγμα είναι πως όλα τα χαρακτηριστικά θεωρούνται ισοδύναμα κατά τον υπολογισμό της απόστασης. Αυτό είναι ιδιαίτερα προβληματικό αν δεν είναι όλα τα χαρακτηριστικά σχετικά με τη συγκεκριμένη συνάρτηση-στόχο που επιδιώκεται να προσεγγιστεί, αλλά και γενικότερα, οποτεδήποτε υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των χαρακτηριστικών ως προς την αξία τους στον προσδιορισμό της συνάρτησης. Σε μία τέτοια περίπτωση, οι παραπάνω μετρήσεις είναι παραπλανητικές, από την άποψη πως μερικά στιγμιότυπα που σχετίζονται πραγματικά μεταξύ τους, είναι δυνατόν να θεωρούνται απομακρυσμένα λόγω των διαφορών τους σε άσχετα ή ασήμαντα χαρακτηριστικά. Μια λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι κάθε χαρακτηριστικό να αποτιμάται διαφορετικά στον υπολογισμό της απόστασης, ανάλογα με την αξία του. Η μέθοδος αυτή λέγεται αποτίμηση των χαρακτηριστικών (feature weighting). Με βάση αυτήν, ο τύπος της Ευκλείδειας θα μπορούσε να γίνει:

$$d(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{r=1}^n w_r (a_r(x_i) - a_r(x_j))^2}$$

όπου  $w_r$  είναι το βάρος του χαρακτηριστικού  $a_r$ . Ο Αλγόριθμος του παρακάτω σχήματος περιγράφει τη χρήση του KNN.

---

```

Είσοδος:  $T$  // Σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης
            $K$  // Αριθμός κοντινότερων γειτόνων
            $t$  // πλειάδα προς κατηγοριοποίηση
Έξοδος:  $c$  // Κλάση όπου θα κατηγοριοποιηθεί η  $t$ 
Αλγόριθμος  $\_K\_Κοντινότερων\_Γειτόνων$ 
   $N = \emptyset$ 
  Για κάθε  $d \in T$  επανάλαβε
    Αν  $|N| \leq K$  τότε
       $N = N \cup \{d\}$ ;
    Αλλιώς
      Αν  $\exists u \in N$  τέτοιο ώστε  $\text{dist}(t,u) \leq \text{dist}(t,d)$ , τότε
         $N = N - \{u\}$ ;
         $N = N \cup \{d\}$ ;
      Τέλος_αν
  Τέλος_επανάληψης
   $c =$  κλάση όπου τα περισσότερα  $u \in N$  κατηγοριοποιούνται
Τέλος αλγορίθμου

```

---

Σχήμα 3.8: Βήματα αλγορίθμου KNN.

## 4. Σχεδίαση Συστήματος

Στην ενότητα αυτή προτείνεται ένας γρήγορος αλγόριθμος με δυνατότητες επέκτασης, για την μείωση του μέσου χρόνου απόκρισης (average response time) της μεταφόρτωσης των εργασιών σε εξυπηρετητή στο κοντινό δίκτυο και της επιστροφής των αποτελεσμάτων. Αναλύονται επίσης οι αλγόριθμοι για την εύρεση της τοποθεσίας του χρήστη σε εσωτερικό περιβάλλον καθώς και ο σχεδιασμός του συστήματος εξυπηρετητή με δυνατότητες διαμοιρασμού διεργασιών.

### 4.1 Το Πρόβλημα

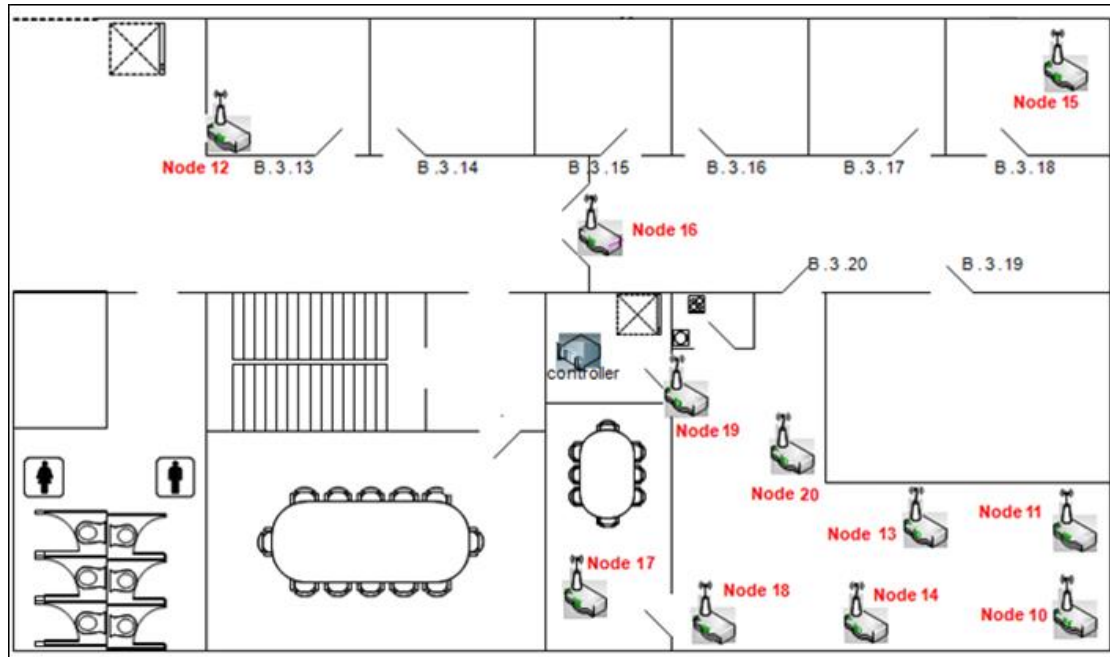
Ένας χρήστης έξυπνου κινητού (smartphone) εισέρχεται σε έναν χώρο  $X$ , στον οποίο έχει 'χτιστεί' ένα ασύρματο δίκτυο εξυπηρετητών  $S$  με  $n$  εξυπηρετητές  $S_i$ ,  $i..n$ , με δυνατότητα διαμοιρασμού διεργασιών. Ο χρήστης επιθυμεί να εκτελέσει μια εργασία  $A$  και την οποία υποστηρίζουν οι εξυπηρετητές για ενδεχόμενη μεταφόρτωση. Θεωρώντας πως ο χρήστης επιλέγει πάντα την μεταφόρτωση της διεργασίας σε εξυπηρετητή  $S_i$ , γνωρίζοντας την θέση του  $x,y$  και την ταχύτητά του  $\vec{u}$ , τον μέσο χρόνο εκτέλεσης της διεργασίας  $E$  και την τοποθεσία των εξυπηρετητών  $xS_i,yS_i$ , επιλέγει να συνδεθεί ασύρματα με τον εκάστοτε εξυπηρετητή  $S_i$  κατά την φάση της μεταφόρτωσης και αργότερα κατά την φάση της λήψης των αποτελεσμάτων.

### 4.2 Περιγραφή Συνιστωσών Υλοποίησης

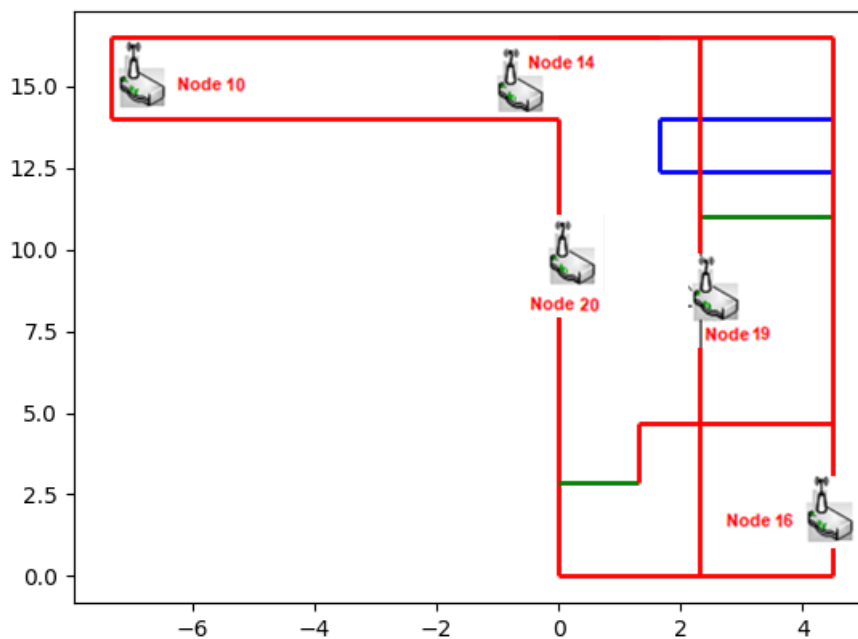
Για την επίλυση του προβλήματος, χρειάστηκε να αναλυθεί σε δυο ξεχωριστές συνιστώσες, αυτή της επίλυσης του προβλήματος του όσο το δυνατόν καλύτερου υπολογισμού της τοποθεσίας του χρήστη, και αυτή της σχεδίασης ενός συστήματος εξυπηρετητών με μικρό επεξεργαστικό αποτύπωμα και δυνατότητα συνεργασίας για τον διαμοιρασμό των αποτελεσμάτων, ώστε να αποσταλούν στον χρήστη.

#### 4.2.1 Συστήματα Εντοπισμού Θέσης

Για τα συστήματα εντοπισμού θέσης, αρχικά είναι αναγκαίο να αναλυθεί ο χώρος στον οποίο πρέπει να γίνει η αναγνώριση τοποθεσίας και να καθοριστεί ένα σύστημα συντεταγμένων. Για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκε ο χώρος του εργαστηρίου του NETMODE στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, στον οποίο έχει αναπτυχθεί πειραματική υποδομή ασύρματου δικτύου, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1 . Στον χώρο αυτό συστήθηκε το σύστημα συντεταγμένων που φαίνεται στο σχήμα 4.2, μαζί με την θέση των κόμβων που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα.



Σχήμα 4.1: Τοπολογία Ασύρματου Δικτύου NETMODE



Σχήμα 4.2: Σύστημα συντεταγμένων πειράματος.

Στο συγκεκριμένο σύστημα συντεταγμένων, για τις ανάγκες του πειράματος, δημιουργούμε μια διαδρομή από τον κόμβο 10 μέχρι τον κόμβο 16, η οποία διασχίζει όλους τους κόμβους, εξ 'ου και η επιλογή χρήσης των συγκεκριμένων κόμβων.

#### 4.2.1.2 Σύστημα Βάσει Εμβέλειας

Το πρώτο σύστημα εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο που δοκιμάστηκε ήταν βάσει μετρήσεων ισχύος σήματος WiFi. Όλα τα συστήματα που διαθέτουν την τεχνολογία WiFi έχουν την δυνατότητα να 'σκανάρουν' μια περιοχή για την αναζήτηση



ασύρματων δικτύων και να αναγνωρίσουν πληροφορίες για αυτά όπως η ισχύς εκπομπής τους και η ισχύς λήψης από την συσκευή, που μετράται σε dBm (dB milliwatt). Την ισχύ αυτή την ονομάζουμε RSSI (Received Signal Strength) . Ιδανικά η ισχύς αυτή μειώνεται λογαριθμικά με βάση την απόσταση, όπως φαίνεται στον τύπο  $RSSI = n \times \log(d) + C$  .

Στην πραγματικότητα όμως, λόγω της ύπαρξης εμποδίων στην μη ιδανική διαδρομή, η εξίσωση αυτή μπορεί να υπερεκτιμήσει την απόσταση, επειδή συγκεκριμένα αντικείμενα προκαλούν εξασθένηση του σήματος, όπως φαίνεται στον πίνακα 4.1, όπου αναλύεται η απόσβεση που προκαλούν διάφορα αντικείμενα στην ισχύ του σήματος λήψης, η ακόμα και να υποεκτιμήσει την απόσταση, λόγω της λήψης σήματος ισχυρότερου από του κανονικού (φαινόμενα σύνθεσης σημάτων λόγω περίθλασης και άλλα). Κατά κανόνα, στις περισσότερες περιπτώσεις παρατηρείται υποεκτίμηση της απόστασης, και επειδή αυτό το σφάλμα εξαρτάται από τον χώρο και όχι από κάποια σταθερή απόκλιση, η οποία θα είχε ως αποτέλεσμα την αμοιβαία εξάλειψη σφαλμάτων και την σχετικά ακριβή μέτρηση, η μέτρηση της απόστασης είναι ανακριβής με μεγάλο σφάλμα και θα χρειαζόταν κάποιος μελέτη του χώρου και γνώση εκ των προτέρων των αντικειμένων σε αυτό για να μπορέσει να ελαττώσει σε σημαντικό βαθμό αυτά τα σφάλματα.

ΥΛΙΚΟ	2.4GHZ	5GHZ
ΞΥΛΙΝΗ ΠΟΡΤΑ	4dB	7dB
ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΙΟΣ ΤΟΙΧΟΣ	20dB	30dB
ΓΥΑΛΙΝΟ ΠΑΡΑΘΥΡΟ	3dB	8dB
ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΠΟΡΤΑ	20dB	30dB
ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΣΩΜΑ	3dB	5dB
ΔΕΝΤΡΑ / ΒΛΑΣΤΗΣΗ	0.5dB/meter	1dB/meter

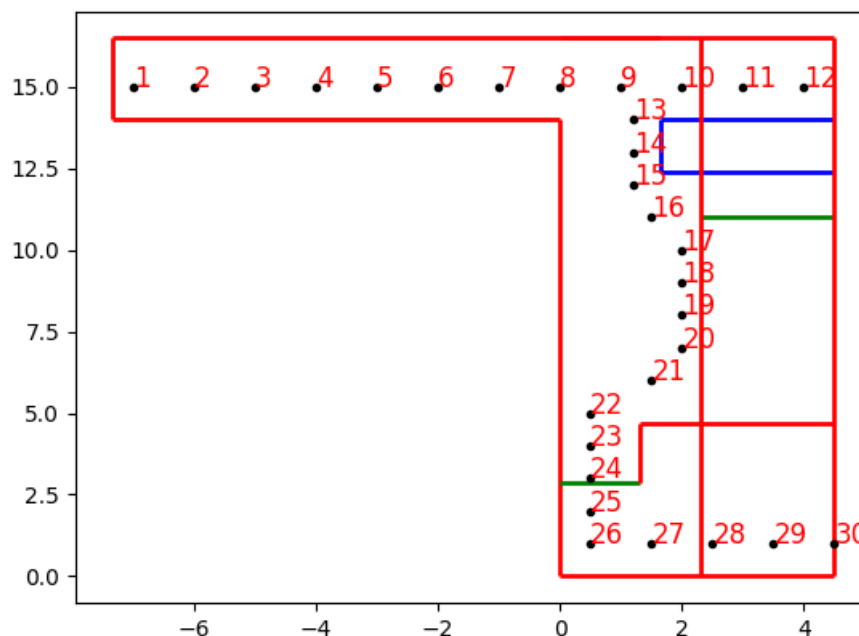
Πίνακας 4.1: Απώλειες λήψης σήματος ισχύος από κάθε υλικό σε διαφορετικές συχνότητες. [101]

Απαραίτητη προϋπόθεση για την υλοποίηση αυτού του τύπου σε έναν χώρο είναι η βαθμονόμηση. Επειδή κάθε σημείο εκπομπής ήταν διαφορετικό και ως προς την κεραία εκπομπής αλλά και σε χαρακτηριστικά του χώρου όπως το ύψος, το γεγονός ότι ήταν μέσα στο ταβάνι, δίπλα σε τοίχο η μη κλπ, μας αναγκάζει για την ακρίβεια του πειράματος να δειγματοληπτούμε τον χώρο και να προσδιορίσουμε, για κάθε σημείο εκπομπής ξεχωριστά, τις μεταβλητές  $n$  και  $C$  του τύπου  $n \times \log(d) + C$  που χρησιμοποιήθηκε.

Αρχικά λοιπόν, τοποθετούμε στο χώρο σημεία μετρήσεων, όπως φαίνονται στο σχήμα 4.3, τα οποία καλύπτουν το χώρο για τις ανάγκες του πειράματος και είναι σε απόσταση περίπου ενός μέτρου το καθένα από το προηγούμενο/επόμενο. Στην συνέχεια, για κάθε σημείο, λαμβάνονται μετρήσεις ισχύος για κάποιο χρονικό διάστημα, υπό πολλές γωνίες έτσι ώστε να ληφθεί υπόψιν το σφάλμα το οποίο προκαλείται όταν μεσολαβούν είτε διάφορα αντικείμενα, είτε ο ίδιος ο χρήστης του τερματικού, είτε πιθανές αστάθειες της κεραίας εκπομπής. Τις μετρήσεις αυτές τις αποθηκεύουμε σε μία βάση δεδομένων με κλειδί το σημείο εκπομπής και στην συνέχεια, χρησιμοποιώντας την εξίσωση προσαρμογής της προκύπτουσας καμπύλης (curve fitting), εξάγουμε τις δυο αυτές μεταβλητές για κάθε σημείο εκπομπής.

Για την αποθήκευση των μεταβλητών, την χρήση της εξίσωσης, την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων και την εξαγωγή των συμπερασμάτων χρησιμοποιήθηκαν οι έτοιμες βιβλιοθήκες της γλώσσας Python<sup>1</sup>, Matplotlib<sup>2</sup>, Pandas<sup>3</sup> και SciPy<sup>4</sup>. Η πρώτη βιβλιοθήκη διευκολύνει την δημιουργία γραφημάτων και γραφικών παραστάσεων, η δεύτερη την αποθήκευση μετρήσεων στην βάση και εύκολη επεξεργασία και η τρίτη περιέχει έτοιμη την —σχετικά περίπλοκη—αλγεβρική υλοποίηση της εξίσωσης προσαρμογής της προκύπτουσας καμπύλης, χρησιμοποιώντας μη γραμμικά ελάχιστα τετράγωνα για να προσαρμόσει μια συνάρτηση,  $f$ , σε δεδομένα<sup>5</sup>.

Η βιβλιοθήκη αυτή μας παρέχει κατευθείαν τις μεταβλητές  $n$  και  $C$  (όπου  $n$ =εκθέτης απωλειών εκπομπής και  $C$ =ισχύς εκπομπής σε απόσταση ενός μέτρου) και μάλιστα με την δυνατότητα να θέσουμε περιορισμούς στο μέγεθος των μεταβλητών αυτών, γεγονός πολύ σημαντικό δεδομένου πως αυτές οι τιμές μπορούν να επηρεαστούν σε αρκετά μεγάλο βαθμό από ακραίες τιμές μετρήσεων που περιέχουν το μεγαλύτερο σφάλμα μέτρησης. Επιπλέον, εμπειρικές μετρήσεις από άλλους ερευνητές μας δίνουν μια διαίσθηση των ορίων στα οποία μπορούν να βρεθούν αυτές οι μεταβλητές, με αποτέλεσμα να μπορούμε να καταλάβουμε εάν οι τιμές είναι αποδεκτές ή πρέπει να περιορίσουμε επιπλέον το εύρος τιμών μας. Θεωρητικά, η τιμή  $n$  κυμαίνεται μεταξύ 1 και 3.5 και η τιμή  $C$ , η οποία αναπαριστά την τιμή ισχύος εκπομπής στο 1 μέτρο απόσταση από τον σταθμό εκπομπής, κυμαίνεται μεταξύ 20 και 40. Τα σφάλματα όμως είναι αθροιστικά, και καθιστούν δύσκολο τον ακριβή προσδιορισμό των μεταβλητών αυτών για να προσεγγίζουν οι μετρήσεις την θεωρητική καμπύλη.



Σχήμα 4.3: Σημεία δειγματοληψίας στον χώρο του εργαστηρίου.

<sup>1</sup> <https://www.python.org/>

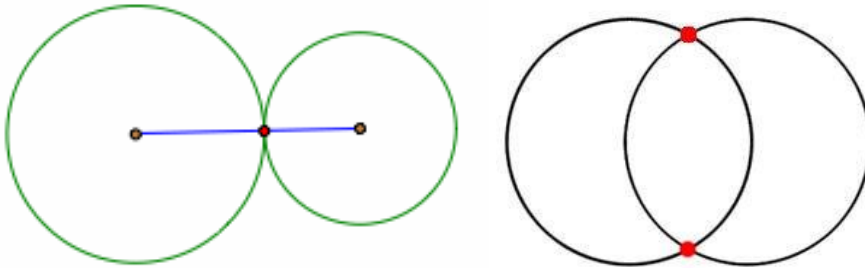
<sup>2</sup> <https://matplotlib.org/>

<sup>3</sup> <https://pandas.pydata.org/>

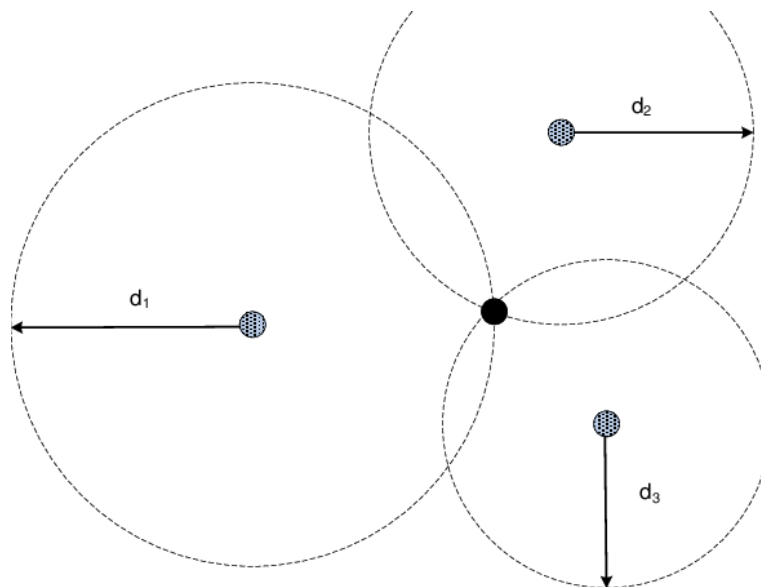
<sup>4</sup> <https://www.scipy.org/>

<sup>5</sup> [https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.optimize.curve\\_fit.html](https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.optimize.curve_fit.html)

Γνωρίζοντας την απόσταση από έναν κόμβο και την θέση του κόμβου αυτού, μπορούμε να θεωρήσουμε έναν νοητό κύκλο με κέντρο την θέση του κόμβου και ακτίνα την απόσταση από τον κόμβο που υπολογίσαμε. Ο χρήστης θα βρίσκεται υποχρεωτικά σε κάποιο σημείο πάνω στην περιφέρεια αυτού του κύκλου. Αν έχουμε 2 σήματα και άρα 2 αποστάσεις, δηλαδή 2 νοητούς κύκλους, θα έχουμε ένα ή δύο σημεία τομής (Σχήμα 4.4). Για 3 κύκλους και άνω, θα έχουμε 1 κοινό σημείο τομής στον δυσδιάστατο χώρο (Σχήμα 4.5).



Σχήμα 4.4: Τομή 2 κύκλων. Περίπτωση 1 σημείου τομής και 2 αντίστοιχα.



Σχήμα 4.5: Τομή 3 κύκλων σε ιδανικές συνθήκες.

Το πρόβλημα προκύπτει από το γεγονός πως οι μετρήσεις δεν είναι ποτέ ιδανικές, με αποτέλεσμα οι κύκλοι αυτοί να μην τέμνονται σε ένα κοινό σημείο. Σε πολλές περιπτώσεις, οι κύκλοι δεν τέμνονται σε κανένα σημείο, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.6. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να βρούμε έναν τρόπο εύρεσης της θέσης μέσω ελαχιστοποίησης σφάλματος, μετατρέποντας το πρόβλημα απόφασης σε πρόβλημα βελτιστοποίησης.

Το σφάλμα ενός σημείου  $X(x,y)$  από κάθε κύκλο  $L_i(x_r,y_r,d_i)$  ορίζεται ως η ελάχιστη απόσταση του σημείου από τον κύκλο.

$$e_1 = d_1 - \text{dist}(X, L_1)$$

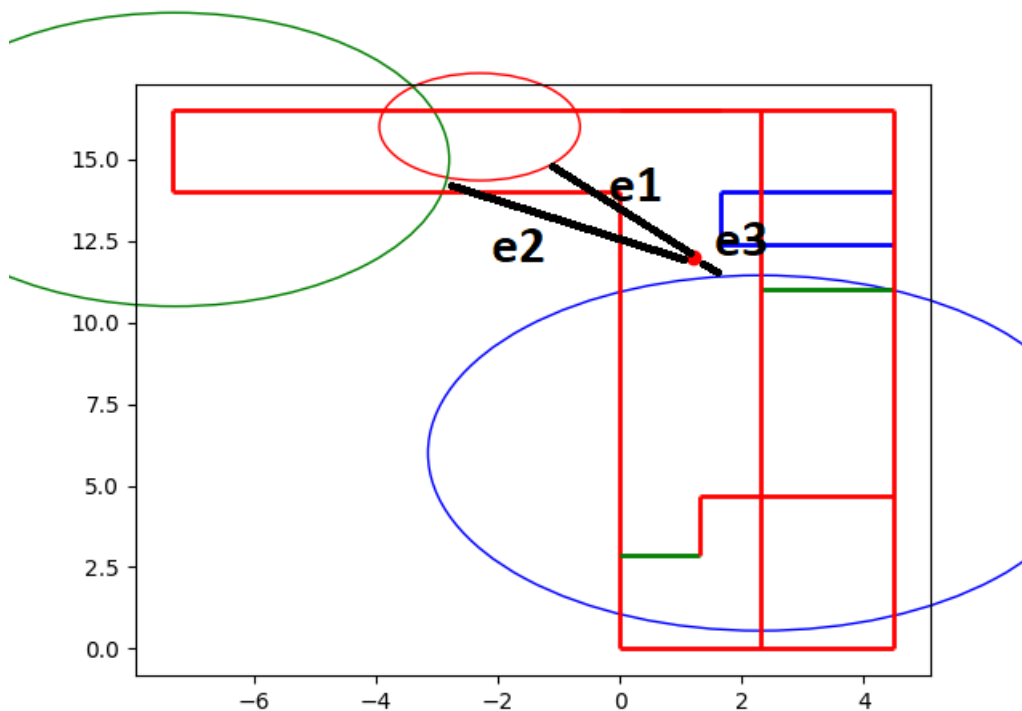
$$e_2 = d_2 - \text{dist}(X, L_2)$$

$$e_3 = d_3 - \text{dist}(X, L_3)$$

Το συνολικό σφάλμα μπορεί να μετρηθεί ως ο μέσος όρος των τετραγώνων των μεμονωμένων σφαλμάτων.

$$\frac{\sum [d_i - \text{dist}(X, L_i)]^2}{N}$$

Όπως κάθε αλγόριθμος βελτιστοποίησης, χρειαζόμαστε να θέσουμε ένα σημείο ως αρχική μέτρηση, και για αυτό το λόγο σαν αρχική πρόβλεψη βάζουμε το κέντρο του κύκλου με το μικρότερο σφάλμα (αναφέρεται διότι επηρεάζει την τελική λύση και την ταχύτητα σύγκλισης του αλγορίθμου). Ως αλγόριθμο βελτιστοποίησης χρησιμοποιήσαμε τον αλγόριθμο Περιορισμένης Μνήμης Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno (Limited-memory BFGS (L-BFGS or LM-BFGS)), του οποίου η υλοποίηση πραγματοποιήθηκε με χρήση της βιβλιοθήκης γενικών επιστημονικών πράξεων Scipy που αναφέρθηκε παραπάνω<sup>6</sup>.



Σχήμα 4.6: Παράδειγμα πραγματικών μετρήσεων ισχύος σήματος.

<sup>6</sup> <https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/optimize.minimize-lbfgsb.html>

### 4.2.1.3 Σύστημα Ανεξαρτήτου Εμβέλειας

Το δεύτερο σύστημα εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο το οποίο δοκιμάστηκε ήταν βάσει δικτυακών αποτυπωμάτων σήματος WiFi. Σε αυτό το σύστημα εντοπισμού θέσης κάνουμε εκτεταμένη χρήση των γνώσεων που εξαγάγαμε από το πρώτο πείραμα που περιεγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο, και πιο συγκεκριμένα την ισχύ λήψης εκπομπής και την βάση δεδομένων με την ισχύ λήψης σε κάθε σημείο (ακολουθώντας το ίδιο σύστημα συντεταγμένων και σημείων).

Τα συστήματα αυτά χρειάζονται μια βάση δεδομένων με την ισχύ του σήματος σε έναν γνωστό χώρο, τον οποίο διαιρούμε σε υποπεριοχές και με την βοήθεια ενός αλγορίθμου κατηγοριοποίησης μπορούμε να προσδιορίσουμε τον υποχώρο στον οποίο ταιριάζουν καλύτερα οι μετρήσεις μας, μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Ο αλγόριθμος αυτός μπορεί να είναι κάποιος απλός, όπως ο αλγόριθμος K Κοντινότερων Γειτόνων που περιεγράφηκε στην παράγραφο 3.5, η κάποιος άλλος πιο εξελιγμένος όπως κάποιος αλγόριθμος μηχανικής μάθησης η και βαθιάς μάθησης. Για τις ανάγκες του πειράματος δοκιμάστηκαν οι κυριότεροι αλγόριθμοι εποπτευόμενης μηχανικής μάθησης (Supervised Learning) ως προς την ακρίβειά τους και φαίνονται στον Πίνακα 5.2, όμως χρησιμοποιήθηκε ο ΚΚΓ λόγω της απλότητάς του και της ικανοποιητικής του ακρίβειας.

Σαν πρώτο βήμα, χρησιμοποιήσαμε τις μετρήσεις από το πρώτο πείραμα, τις οποίες τροφοδοτήσαμε στον αλγόριθμο ΚΚΓ για το στάδιο της *μάθησης*. Στην συνέχεια, ο χρήστης κινούταν στον χώρο λαμβάνοντας μετρήσεις, τροφοδοτώντας με αυτές τις μετρήσεις τον αλγόριθμο ΚΚΓ για το στάδιο της *κατηγοριοποίησης*. Η εκτέλεση του πειράματος έγινε μόνο με αυτόν τον αλγόριθμο, του οποίου η υλοποίηση έγινε με τη χρήση της βιβλιοθήκης της γλώσσας Python, scikit-learn<sup>7</sup>. Πιο συγκεκριμένα μπορεί κάποιος να βρει πληροφορίες για την υλοποίηση του ΚΚΓ στην διεύθυνση<sup>8</sup>.

---

<sup>7</sup> <https://scikit-learn.org/>

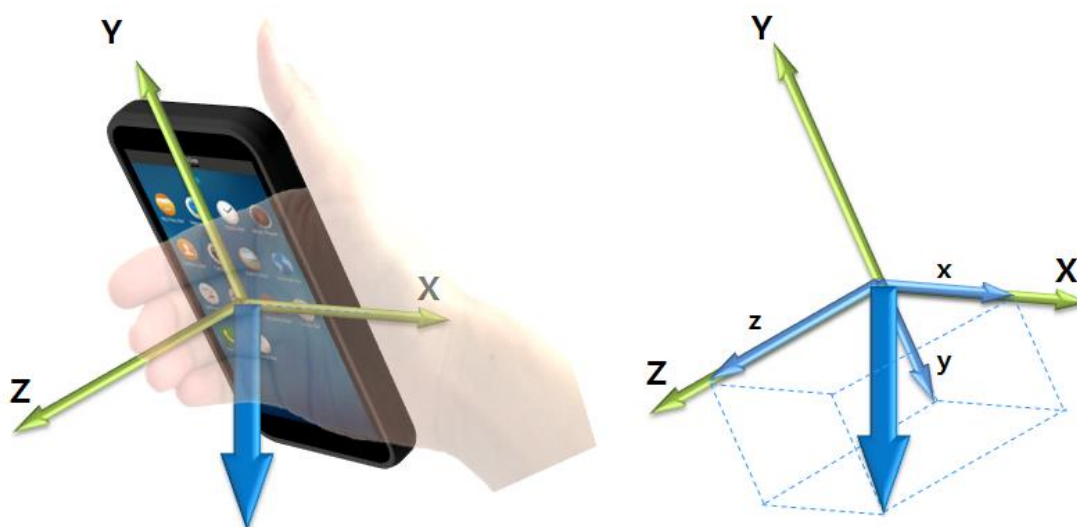
<sup>8</sup> <https://scikit-learn.org/stable/modules/neighbors.html#nearest-neighbors-classification>

#### 4.2.1.4 Αδρανειακό σύστημα περιτύλιξης

Περνώντας στα αδρανειακά συστήματα εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο, το επόμενο πείραμα είναι η πιο απλή μορφή αυτού του είδους συστημάτων, δηλαδή του συστήματος περιτύλιξης. Η υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος δεν είναι δύσκολη, απαιτεί όμως καλή κατανόηση των εννοιών που εξηγήθηκαν κυρίως στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο.

Υπάρχουν δυο τρόποι υλοποίησης, με τον απλούστερο να είναι αυτός της απλής ολοκλήρωσης των διανυσμάτων επιτάχυνσης που δέχεται το κινητό τερματικό κατά την κίνηση του χρήστη. Επειδή όμως σε μια τέτοια υλοποίηση υπάρχουν πολλαπλές πηγές σφάλματος, όπως ανακρίβειες μετρήσεων που αθροίζονται λόγω πολλών αξόνων, αστάθειες στην κίνηση του χρήστη και στον τρόπο με τον οποίο κρατάει στο χέρι του το έξυπνο κινητό και δυσκολίες στον καθορισμό των αξόνων για κάθε χώρο στον οποίο αναλύουμε την κίνηση, επιλέχθηκε ένας εναλλακτικός τρόπος, ο οποίος χρησιμοποίησε την υλοποίηση του καθορισμού της κατεύθυνσης κίνησης από το επόμενο πείραμα.

Για την απλοποίηση του πειράματος, διαιρέσαμε το πρόβλημα του προσδιορισμού της κίνησης στις 2 κύριες συνιστώσες, το μέτρο και την κατεύθυνση. Για το μέτρο της κίνησης μπορούμε εύκολα να εκτελέσουμε διπλή ολοκλήρωση του μέτρου της επιτάχυνσης, δηλαδή διπλή ολοκλήρωση του μέτρου των 3 μετρήσεων επιτάχυνσης που εύκολα λαμβάνουμε από το ολοκληρωμένο. Σε αυτό το μέτρο περιλαμβάνεται και η δύναμη της βαρύτητας ( $g=9.81\text{m/s}^2$ ) το οποίο δεν θέλουμε να συμπεριλάβουμε στην μέτρηση. Γνωρίζουμε ότι η δύναμη της βαρύτητας έχει πάντα κατεύθυνση προς το κέντρο της γης, παραταύτα είναι δύσκολο να την απομονώσουμε από τις μετρήσεις μας, διότι ανάλογα με τον τρόπο με το οποίο έχει τοποθετηθεί το smartphone στον χώρο, μπορεί να επηρεάσει από έναν μέχρι και τους 3 άξονες επιτάχυνσης, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.7.



Σχήμα 4.7: Ανάλυση των συνιστωσών της επιτάχυνσης της βαρύτητας.

Μία μέθοδος εξάλειψης της βαρύτητας είναι με χρήση φίλτρων που περιεγράφηκαν στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο. Επειδή η βαρύτητα είναι μια επιτάχυνση αργά μεταβαλλόμενη με τον χρόνο, σύμφωνα και με την ανάλυση της μεθόδου βάδισης του ανθρώπου, μπορούμε με την χρήση του απλού βαθυπερατού φίλτρου να την διαχωρίσουμε και να την αφαιρέσουμε στην συνέχεια από τις μετρήσεις μας.

Μια άλλη μέθοδος είναι με την διανυσματική αφαίρεση της βαρύτητας από τις μετρήσεις μας. Το διάνυσμα της βαρύτητας έχει πάντα μέτρο  $g$  και κατεύθυνση προς τα κάτω στο παγκόσμιο σύστημα συντεταγμένων. Το γεγονός αυτό μας επιτρέπει:

A) να περιστρέψουμε τα διανύσματα επιτάχυνσης που μετρήθηκαν από τον αισθητήρα από το τοπικό σύστημα συντεταγμένων του κινητού στο παγκόσμιο και να κάνουμε μετά την διανυσματική αφαίρεση ή εναλλακτικά

B) να περιστρέψουμε μόνο το διάνυσμα της βαρύτητας από το παγκόσμιο σύστημα συντεταγμένων στο τοπικό του έξυπνου τερματικού.

Στα πειράματα που έγιναν, δοκιμάστηκαν και οι δυο μέθοδοι. Για την πρώτη μέθοδο χρησιμοποιήθηκε ένα βαθυπερατό φίλτρο όπως αυτό εξηγήθηκε στο κεφάλαιο 3.2, ενώ για την δεύτερη μέθοδο δοκιμάστηκαν και οι δύο μορφές της, με τις μεθόδους περιστροφής αξόνων που εξηγήθηκαν στα κεφάλαια 3.3 και 3.4. Για την εκτίμηση της τοποθέτησης στον χώρο του κινητού (pose estimation), χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη RTIMULib<sup>9</sup>. Η βιβλιοθήκη αυτή έχει εφαρμογή σε ενσωματωμένα Linux συστήματα για την απόκτηση δεδομένων γωνιών Euler μέσω της χρήσης φίλτρων RTQF (Περιστρεφόμενο φίλτρο τετραδονίων – Rotated Quaternion Filter) ή Kalman.

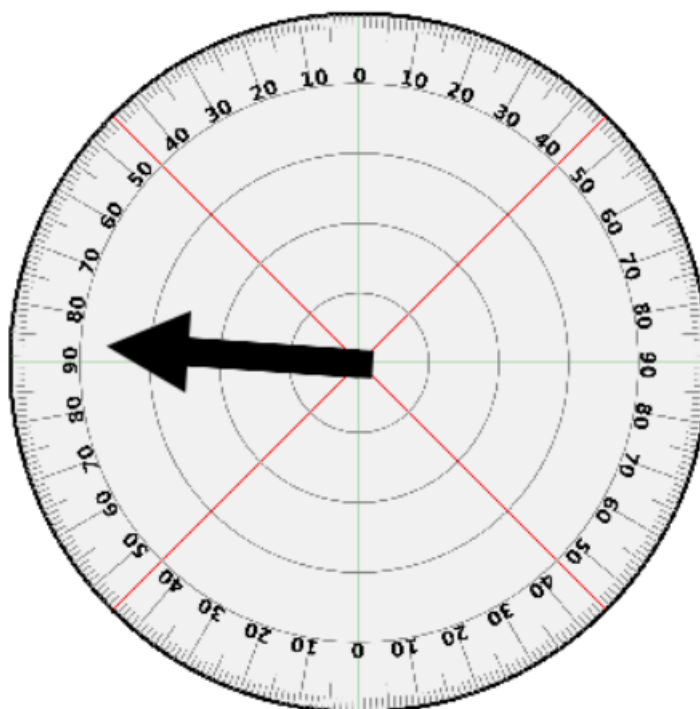
#### 4.2.1.5 Σύστημα Βήματος και Κατεύθυνσης

Περνώντας στο επόμενο πείραμα, χρησιμοποιήσαμε το ίδιο ολοκληρωμένο τσιπ (Invensense MPU-9250) με ενσωματωμένο επιταχυνσιόμετρο, μαγνητόμετρο και γυροσκόπιο για να υλοποιήσουμε μια πιο πολλά υποσχόμενη μέθοδο εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο, αυτής του συστήματος βήματος και κατεύθυνσης.

Η διαδικασία προετοιμασίας του πειράματος είναι αρκετά παρόμοια με αυτή του προηγούμενου πειράματος, διατηρώντας δηλαδή τον βασικό διαχωρισμό της μετακίνησης του χρήστη σε μέτρο και κατεύθυνση. Την κατεύθυνση την λαμβάνουμε έτοιμη από την βιβλιοθήκη RTIMULib, η οποία εκτελεί την κατάλληλη συνένωση αισθητήρων και μας υποδεικνύει την κατεύθυνση του κινητού. Για τις ανάγκες του πειράματος, χρειάστηκε να γίνει μια μέτρηση της απόκλισης του βορρά από το σύστημα συντεταγμένων της γης στο σύστημα συντεταγμένων του εργαστηρίου και βρέθηκε πειραματικά στις περίπου  $-90^\circ$ , και φαίνεται στο σχήμα 4.8.

---

<sup>9</sup> <https://github.com/richardstechnotes/RTIMULib2>



Σχήμα 4.8: Πειραματική μέτρηση απόκλισης του συστήματος συντεταγμένων του πειράματος από το παγκόσμιο.

Για τον υπολογισμό του μέτρου της κατεύθυνσης, θεωρήσαμε το κάθε βήμα του χρήστη ως σταθερό και ίσο με 0.65m, τιμή την οποία βρήκαμε πειραματικά. Για κάθε βήμα, προσθέτουμε στην τοποθεσία του χρήστη  $A(x,y)$  την διανυσματική απόσταση που διένυσε με μέτρο ένα μήκος βήματος και κατεύθυνση αυτή που μετρήθηκε στο τέλος του βήματος (ένα βήμα διαρκεί περίπου 0.2-0.5 δευτερόλεπτα και άρα η κατεύθυνση του βήματος δεν αλλάζει ριζικά κατά την διάρκεια του). Η νέα τοποθεσία του χρήστη  $A'(x',y')$  μετά από ένα βήμα με κατεύθυνση  $\varphi$  μοίρες θα είναι:

$$\begin{aligned}x' &= x + \cos(\varphi) \\y' &= y + \sin(\varphi)\end{aligned}$$

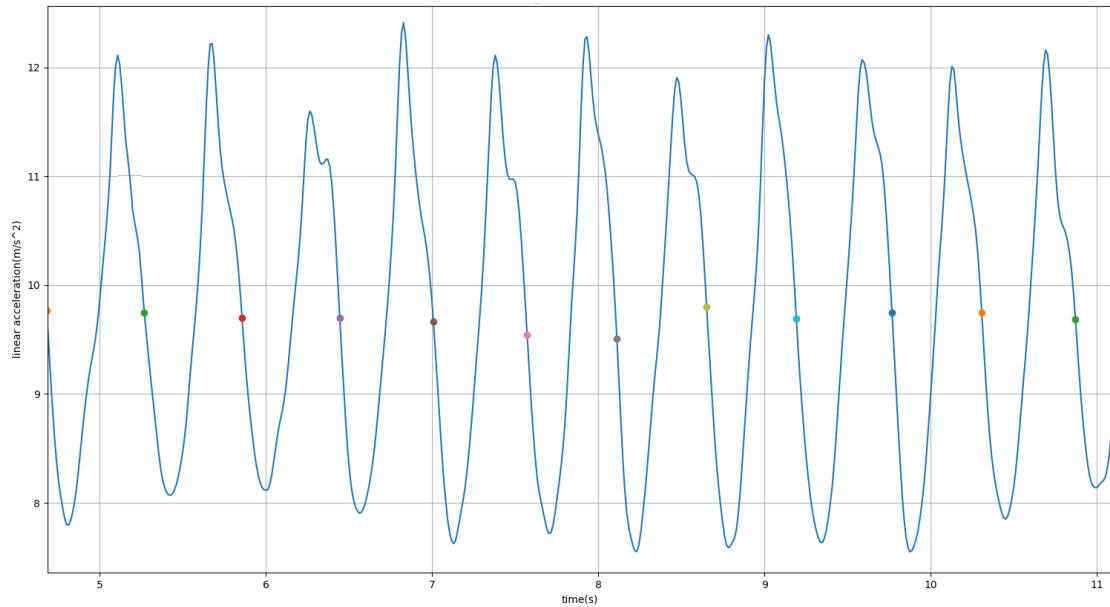
Επειδή όμως τα σφάλματα από την μέτρηση της κατεύθυνσης συσσωρεύονται με τον χρόνο και δημιουργούν μεγάλες αποκλίσεις, για το συγκεκριμένο πείραμα επιτρέψαμε μόνο 4 κατευθύνσεις,  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  και  $270^\circ$ . Έτσι κάθε γωνία θα εμπίπτει σε μία από τις τέσσερις αυτές γωνίες με βάση τον κανόνα:

$$\begin{aligned}-45^\circ < \wedge \leq 45^\circ &\rightarrow 0^\circ \\45^\circ < \wedge \leq 145^\circ &\rightarrow 90^\circ \\145^\circ < \wedge \leq 215^\circ &\rightarrow 180^\circ \\215^\circ < \wedge \leq 315^\circ &\rightarrow 270^\circ\end{aligned}$$

Για τον καθορισμό των βημάτων, μετρήθηκε πειραματικά η επιτάχυνση στον z-άξονα και εξαγάγαμε το συμπέρασμα πως, επιτάχυνση μεγαλύτερη από  $2\text{m/s}^2$  από κορυφή σε κορυφή μπορεί να μετρηθεί ως έγκυρο βήμα αλλιώς είναι άκυρο. Στο σχήμα 4.9 φαίνεται η επιτάχυνση στον z-άξονα κατά την διάρκεια βαδίσματος.



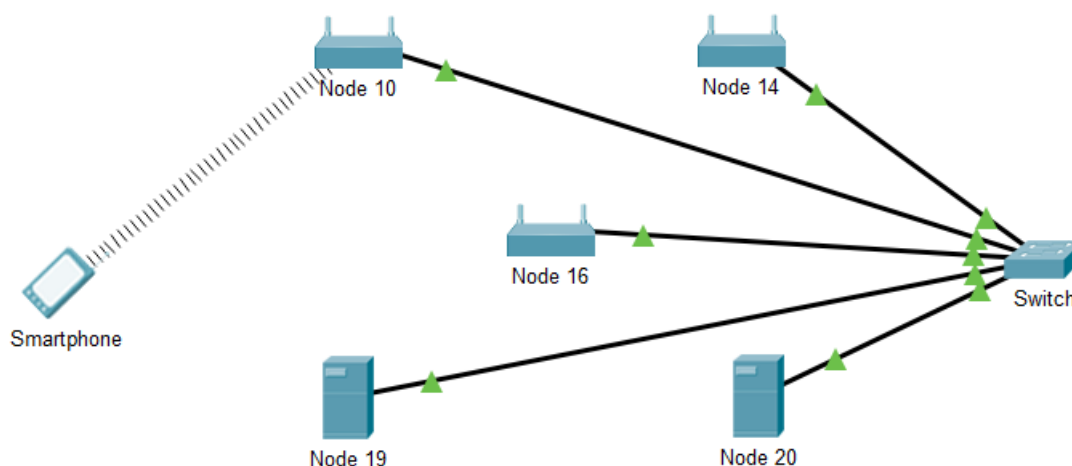
Παρατηρούμε πως το κέντρο των μετρήσεων είναι η τιμή της βαρύτητας. Με την χρωματιστή τελεία σημειώνουμε τα έγκυρα βήματα. Η συχνότητα των βημάτων είναι περίπου 2-2.5 ανά δευτερόλεπτο. Για αυτό το λόγο θέσαμε επίσης μια επιπλέον συνθήκη για να είναι ένα βήμα έγκυρο, να έχει διάρκεια μεγαλύτερη από 0.2 δευτερόλεπτα.



Σχήμα 4.9: Επιτάχυνση κατά την διάρκεια βαδίσματος.

## 4.2.2 Μεταφόρτωση Διεργασιών σε Εξυπηρετητή

Σε αυτό το πείραμα θα περιγράψουμε τις θεμελιώδεις συνιστώσες ενός συστήματος τερματικού-εξυπηρετητή, με το τερματικό να έχει την δυνατότητα να μεταφορτώσει μια διεργασία στον εξυπηρετητή προς εκτέλεση και να δεχτεί τα αποτελέσματα, ενώ κινείται στον χώρο.



Σχήμα 4.10: Η τοπολογία του εργαστηρίου σε επίπεδο δικτύου.

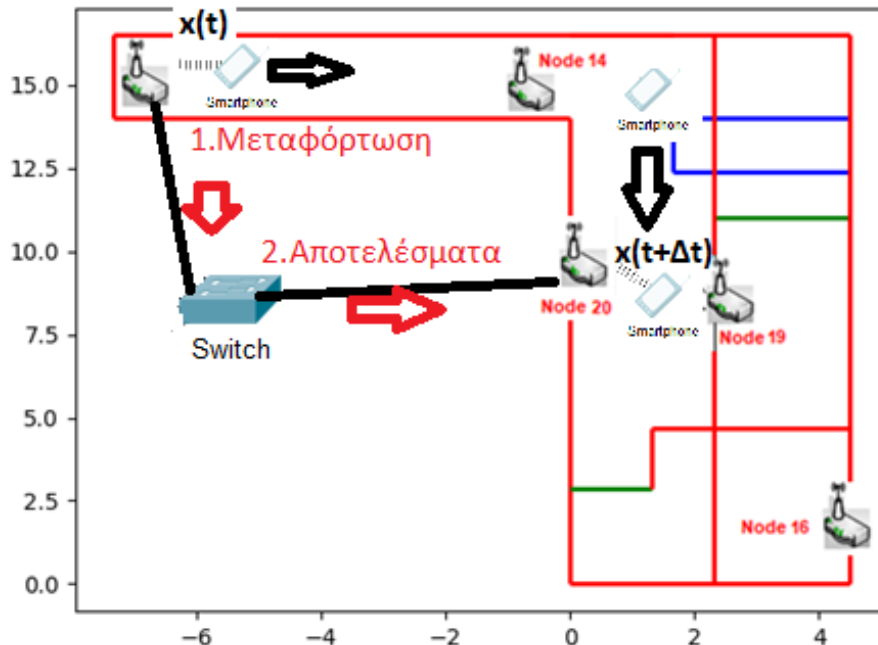
### 4.2.2.1 Το μοντέλο του χρήστη

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.10, ο χρήστης συνδέεται στον κόμβο με το ισχυρότερο σήμα. Στον συγκεκριμένο κόμβο, αφού ενημερωθεί ότι η ζεύξη ολοκληρώθηκε, αποστέλλει μια διεργασία προς επεξεργασία. Στο συγκεκριμένο πείραμα, επιλέχθηκε ως διεργασία η επεξεργασία εικόνας, λόγω του ότι πρόκειται για μια διεργασία με μεγάλο ενεργειακό και επεξεργαστικό φορτίο και επίσης είναι εξίσου δύσκολη στην μεταφόρτωση, λόγω του μεγάλου μεγέθους των εικόνων υψηλής ανάλυσης.

Ο χρήστης, αφού στείλει την εικόνα προς επεξεργασία, μπορεί να κινηθεί στον χώρο και να συνδεθεί με τον κατάλληλο κάθε φορά εξυπηρετητή από τον οποίο και θα λάβει τα αποτελέσματα της επεξεργασίας της εικόνας που είχε στείλει προηγουμένως. Ο αλγόριθμος επιλογής του κατάλληλου εξυπηρετητή εξαρτάται από την θέση του χρήστη στον χώρο. Ανάλογα με την θέση του και την κατεύθυνσή του, επιλέγει κάθε φορά τον εξυπηρετητή με το ισχυρότερο σήμα την στιγμή που τα αποτελέσματα της επεξεργασίας της εικόνας που μεταφόρτωσε θα είναι έτοιμα. Αν λοιπόν ο χρήστης στείλει την χρονική στιγμή  $t$  μια εικόνα στον εξυπηρετητή, γνωρίζοντας τον μέσο χρόνο επεξεργασίας της εικόνας  $\Delta t$ , την θέση του  $x(t)$  και την κατεύθυνση  $\vec{u}$ , υπολογίζει πως την χρονική στιγμή  $t+\Delta t$  θα βρίσκεται στην θέση  $x(t+\Delta t)$  και στην οποία ο εξυπηρετητής με το δυνατότερο σήμα θα είναι αυτός με την μικρότερη απόσταση από το σημείο  $x(t+\Delta t)$ .

Για παράδειγμα στο σχήμα 4.11, ο χρήστης είναι συνδεδεμένος την στιγμή  $t$  στον κόμβο 10. Μεταφορτώνει την εικόνα προς επεξεργασία και μετά από  $\Delta t$  βρίσκεται στην θέση  $x' = x(t+\Delta t)$  στην οποία και συνδέεται με τον κόμβο 20. Αυτός ο αλγόριθμος

εξασφαλίζει πως ο χρήστης θα αποφύγει πιθανή σύνδεση με ενδιαμέσους κόμβους, όπως ο κόμβος 14, ο οποίος δεν εξυπηρετεί τον χρήστη καθώς όταν θα βρίσκεται στην εμβέλεια του τα αποτελέσματα της επεξεργασίας δεν θα είναι έτοιμα και άρα η σύνδεση με αυτόν αποτελεί σπατάλη επεξεργαστικών πόρων και ενέργειας.



Σχήμα 4.11: Αλγόριθμος επιλογής εξυπηρετητή.

#### 4.2.2.2 Το μοντέλο του εξυπηρετητή

Ο εξυπηρετητής διαχωρίζεται σε δυο μέρη, την frontend υπηρεσία και την backend υπηρεσία, ονομασίες οι οποίες πηγάζουν από το γεγονός ότι η μία υπηρεσία εκτίθεται στον χρήστη και αποτελεί τον πυρήνα του συστήματος ενώ η άλλη είναι μη προσβάσιμη στον χρήστη και επιτελεί ρόλο ενδοεπικοινωνίας μεταξύ συστημάτων.

Η frontend υπηρεσία εκθέτει στον χρήστη ένα «σημείο εισόδου» (entrypoint) στο οποίο ο χρήστης αποστέλλει την εικόνα του προς επεξεργασία. Η υπηρεσία αυτή επίσης επιτελεί την επεξεργασία της εικόνας σε ένα ξεχωριστό νήμα επεξεργασίας (thread) και στέλνει πίσω τα αποτελέσματα στον χρήστη. Η αποστολή των αποτελεσμάτων μπορεί να γίνει

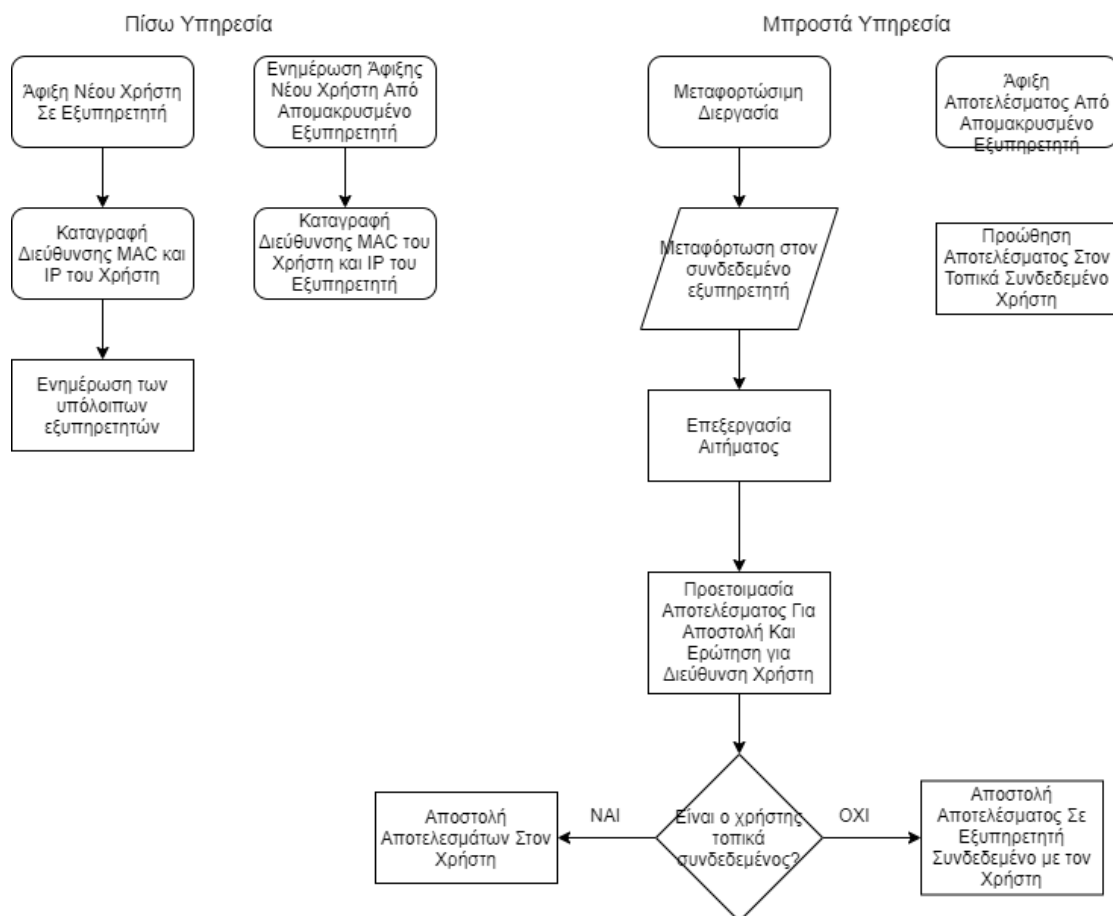
- άμεσα, δηλαδή όταν ο χρήστης είναι συνδεδεμένος με τον συγκεκριμένο κόμβο στον οποίο έγινε η επεξεργασία εικόνας ή
- έμμεσα, όταν ο χρήστης μετακινήθηκε σε άλλο κόμβο, και ο κόμβος που έκανε την επεξεργασία προωθεί τα αποτελέσματα στον κόμβο με τον οποίο είναι συνδεδεμένος εκείνη την στιγμή ο χρήστης (σχήμα 4.11).

Η backend υπηρεσία έχει την υπευθυνότητα της διατήρησης των συσχετισμών χρηστών – εξυπηρετητών. Ουσιαστικά διατηρεί την βάση δεδομένων της εφαρμογής στην οποία καταγράφονται οι χρήστες και ο αντίστοιχος εξυπηρετητής που είναι συνδεδεμένος ο χρήστης. Για αυτό λοιπόν έχει διπλό ρόλο στην περίπτωση άφιξης νέου χρήστη σε κάποιον εξυπηρετητή, αρχικά να ενημερώσει την βάση δεδομένων του συγκεκριμένου εξυπηρετητή και έπειτα να ενημερώσει και τους υπόλοιπους

εξυπηρετητές για την άφιξη του χρήστη σε αυτόν. Επίσης, ακούει σε αιτήματα των υπόλοιπων εξυπηρετητών για την μετακίνηση χρηστών σε άλλους εξυπηρετητές. Με αυτό τον τρόπο, καταφέρνουμε να έχουμε μια μη κεντρικοποιημένη βάση δεδομένων, την οποία έχουν κοινή από άποψη εγγραφών όλοι οι εξυπηρετητές και την οποία ο καθένας έχει την ευθύνη να κρατήσει ενήμερη.

Η καταγραφή των χρηστών έπρεπε να γίνει με κάποιο χαρακτηριστικό μοναδικό για κάθε χρήστη, για αυτό και επιλέχθηκε η διεύθυνση MAC. Η αντιστοίχιση έγινε μεταξύ διεύθυνσης MAC και διεύθυνσης IP του χρήστη, όταν αυτός είναι συνδεδεμένος τοπικά (στον συγκεκριμένο εξυπηρετητή) αλλιώς διεύθυνση MAC με διεύθυνση IP του εξυπηρετητή στον οποίο είναι συνδεδεμένος ο χρήστης. Όταν ένας εξυπηρετητής δέχεται ένα αίτημα για επεξεργασία, το οποίο αναλαμβάνει η frontend υπηρεσία, κάνει αίτημα στην backend υπηρεσία για την ταυτότητα (διεύθυνση MAC του χρήστη). Όταν τα η επεξεργασία φτάσει στο τέλος και πρέπει να αποσταλούν τα αποτελέσματα, η frontend υπηρεσία κάνει αίτηση στην backend υπηρεσία για την τοποθεσία του χρήστη και μαθαίνει που θα προωθήσει ανάλογα τα αποτελέσματα. Ο διαχωρισμός αυτών των υπηρεσιών εξασφαλίζει ευκολία συντήρησης, ασφάλειας και κλιμακωσιμότητας.

Η συνολική λειτουργία του εξυπηρετητή, την μπροστά και την πίσω υπηρεσία, που αναλύθηκε παραπάνω, παρουσιάζεται σχηματικά στο Σχήμα 4.12:



Σχήμα 4.12: Αρμοδιότητες του εξυπηρετητή.

## 5. Πειραματική Αξιολόγηση

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν οι τεχνικές λεπτομέρειες και η πειραματική αξιολόγηση των αλγορίθμων που περιεγράφηκαν, καθώς και τα πειραματικά αποτελέσματα.

### 5.1 Λεπτομέρειες Υλοποίησης

Όλα τα πειράματα εκτελέστηκαν στον χώρο του πολυτεχνείου και συγκεκριμένα στον χώρο του εργαστηρίου NETMODE, χρησιμοποιώντας την αρχιτεκτονική του χώρου και την τοπολογία δικτύου που περιεγράφηκαν στο κεφάλαιο 4. Στο συγκεκριμένο δίκτυο, από τους 5 κόμβους που χρησιμοποιήθηκαν:

- οι *Node10*, *Node 14* και *Node16* ήταν **Alix-based** ολοκληρωμένα υπολογιστικά συστήματα με υπολογιστική κάρτα **alix3d2** (Επεξεργαστής: 500 MHz AMD Geode LX800, Μνήμη: 256 MB DDR DRAM, Δίσκος: 1GB flash card storage device, Ασύρματη κάρτα δικτύου: 802.11 a/b/g).
- οι *Node 19* και *Node 20* ήταν υπολογιστικοί πύργοι με επεξεργαστή Intel(R) Atom(TM), Σκληρό δίσκο 250GB και ασύρματη κάρτα δικτύου 802.11 a/b/g.

Εύκολα διακρίνεται πως οι υπολογιστικοί πύργοι ήταν ισχυρότεροι από τα ολοκληρωμένα υπολογιστικά συστήματα τα οποία είχαν περιορισμένη επεξεργαστική ισχύ, έτσι ώστε να διατηρήσουν το μικρό μέγεθος τους, την κατανάλωση και την παραγωγή θερμότητας σε χαμηλά επίπεδα.

Ως έξυπνη συσκευή χρησιμοποιήθηκε ολοκληρωμένη πλακέτα Raspberry Pi 3b+, σε συνδυασμό με ολοκληρωμένο τσιπ μέτρησης αδρανειακών δυνάμεων Invensense(R) MPU9250 IMU και φορητό power bank Xiaomi Mi Power Bank 2 10000mAh. Για τις ανάγκες του πειράματος, η ολοκληρωμένη πλακέτα αυτή ήταν ιδανική λόγω φορητότητας, υπολογιστικής ισχύος και αξιοπιστίας λειτουργίας.

Για όλα τα πειράματα, έγινε ανάπτυξη κώδικα σε προσωπικό υπολογιστή με επεξεργαστή Intel(R) Core(TM) i5-7300H CPU @ 2.20GHz με μνήμη 8.00 GB και x64-based processor, με λειτουργικό σύστημα Ubuntu 18.04. Για προσομοιώσεις της τοπολογίας δικτύου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό προσομοιώσεων mininet<sup>10</sup> λόγω της ευκολίας χρήσης και της σταθερότητάς του.

Παρά λοιπόν τις διαφορές σε επεξεργαστική ισχύ μεταξύ των εξυπηρετητών, στα πειράματά μας θεωρούμε μια μέση τιμή καθυστέρησης επεξεργασίας μιας μεταφορτώσιμης διεργασίας, για να εστιάσουμε την προσοχή μας στην απόδοση των μεθόδων που παρουσιάστηκαν και όχι σε ιδιομορφίες της τοπολογίας του πειράματος. Παρόλα αυτά, η ισχύ εκπομπής των κόμβων μετρήθηκε πειραματικά, έτσι ώστε να αντανakλά καλύτερα πραγματικές συνθήκες πειράματος, με πολλαπλούς χρήστες και πλήθος τοπολογιών χώρων και δικτύων.

---

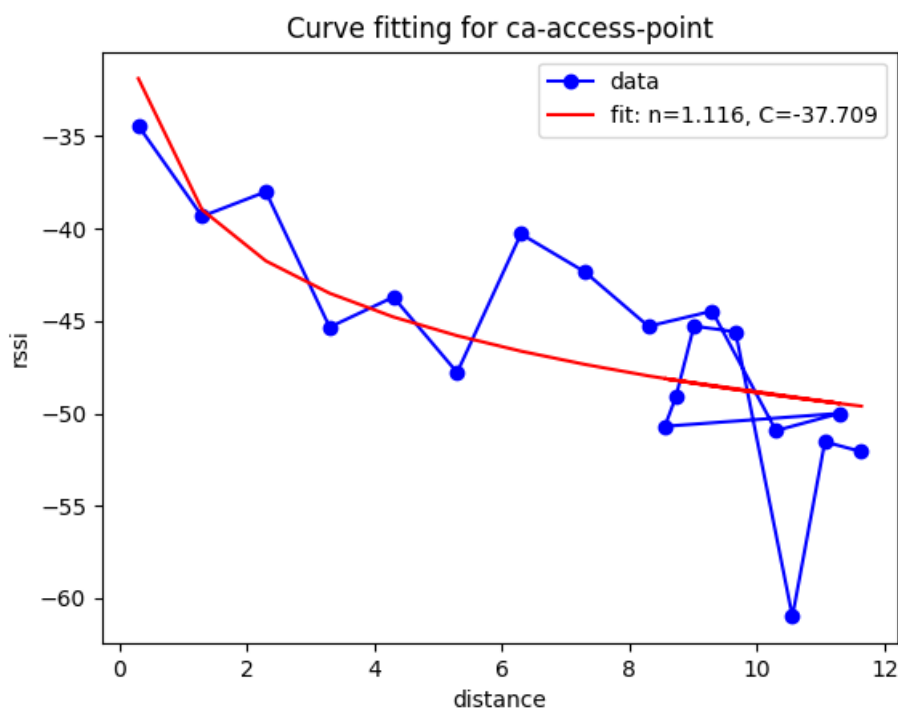
<sup>10</sup> <http://mininet.org/>

## 5.2 Πειραματικές Μετρήσεις και Αξιολόγηση

Στις επόμενες υποενότητες περιλαμβάνονται τα αποτελέσματα από τα πειράματα που εκτελέστηκαν και συμπεριλαμβάνουν την ακρίβεια των μεθόδων εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο, την απόδοση και το επεξεργαστικό-ενεργειακό αποτύπωμα των αλγορίθμων μεταφόρτωσης εργασιών.

### 5.2.1 Πείραμα A: Εντοπισμός Θέσης Με Τριγωνοποίηση (Triangulation)

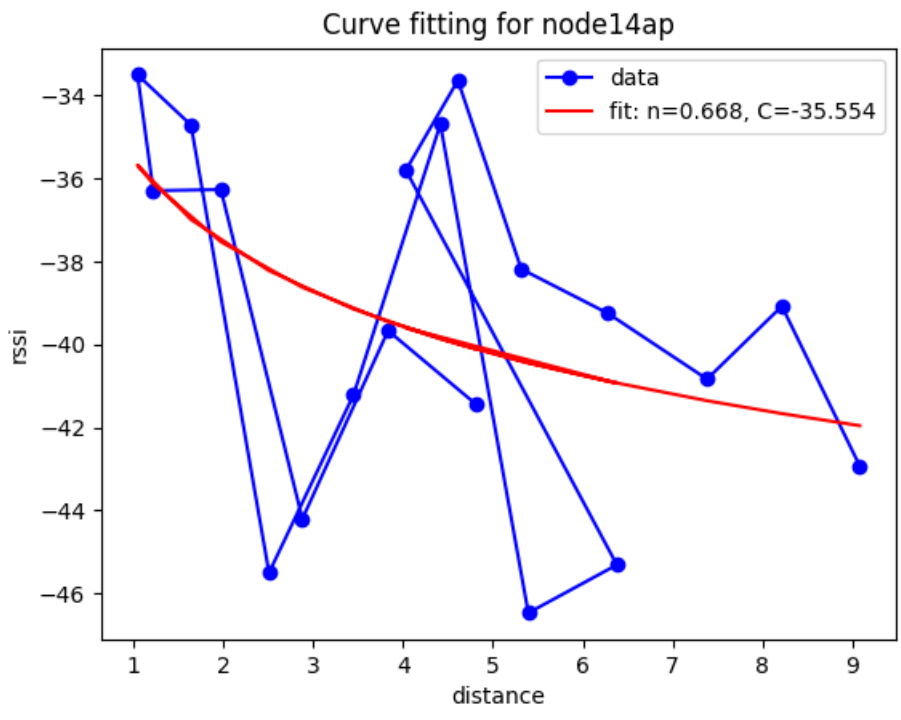
Όπως αναλύθηκε εκτενώς στο κεφάλαιο 4, το πρώτο βήμα σε αυτό το πείραμα είναι να ανακαλύψουμε τις τιμές  $n$  (εκθέτης απωλειών εκπομπής),  $C$  (σταθερά εκπομπής σε απόσταση ενός μέτρου) για τον τύπο υπολογισμού απόστασης από την ισχύ σήματος, ανά κόμβο. Για να τα βρούμε, θα πρέπει να υπολογίσουμε την καμπύλη εξασθένισης σήματος εκπομπής. Τα σχεδιαγράμματα των μετρήσεών μας και της καμπύλης που υπολογίσαμε που ελαχιστοποιεί τον κανόνα ελαχίστων τετραγώνων ανά κόμβο, φαίνονται παρακάτω:



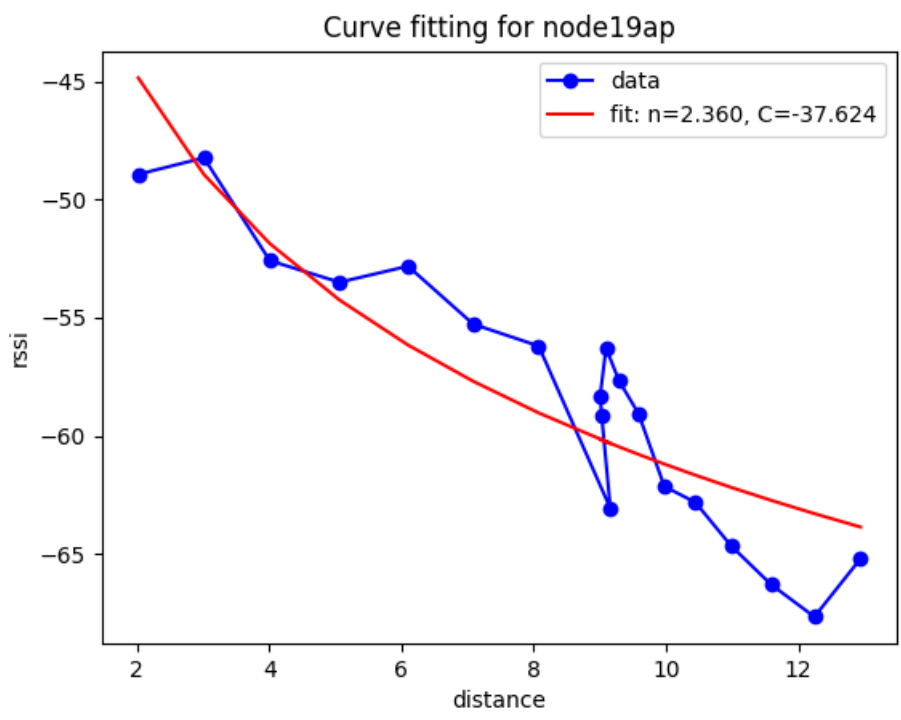
Σχήμα 5.1: Καμπύλη εξασθένισης σήματος για τον κόμβο *Node10*.

Σημείωση 1: Ο κόμβος 10 εξέπεμπε με εναλλακτικό όνομα *ca-access-point*. Το γεγονός αυτό δεν επηρεάζει τις μετρήσεις μας.

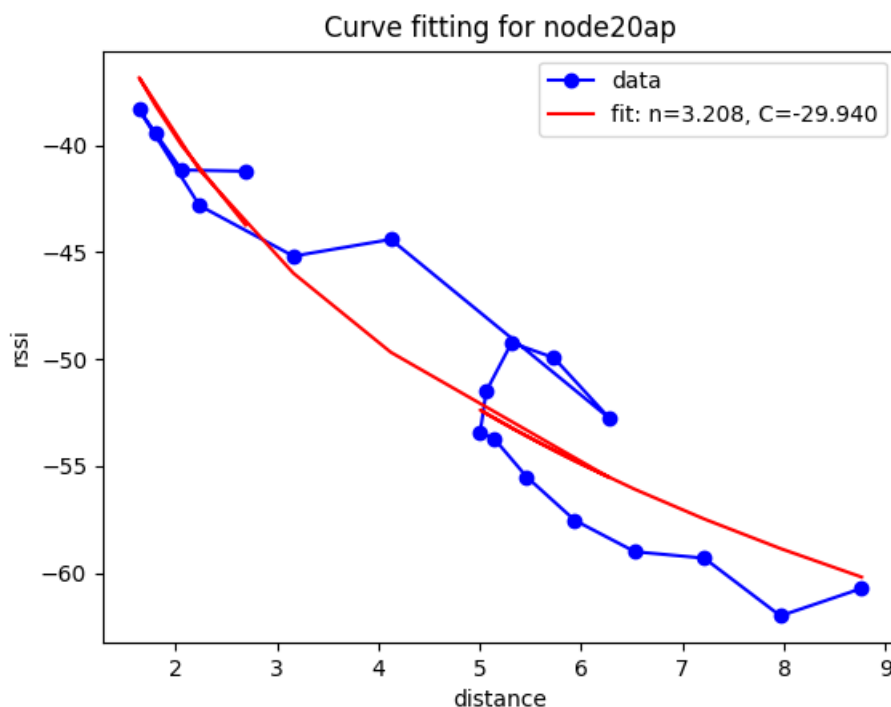
Σημείωση 2: Οι μετρήσεις αυτές είναι ο μέσος όρος πολλαπλών μετρήσεων, ώστε να απαλείψουμε όσο γίνεται τις ακραίες τιμές και τις απότομες μεταβολές ισχύος εκπομπής των κόμβων/λήψης του κινητού.



Σχήμα 5.2: Καμπύλη εξασθένησης σήματος για τον κόμβο *Node14*.



Σχήμα 5.3: Καμπύλη εξασθένησης σήματος για τον κόμβο *Node19*.



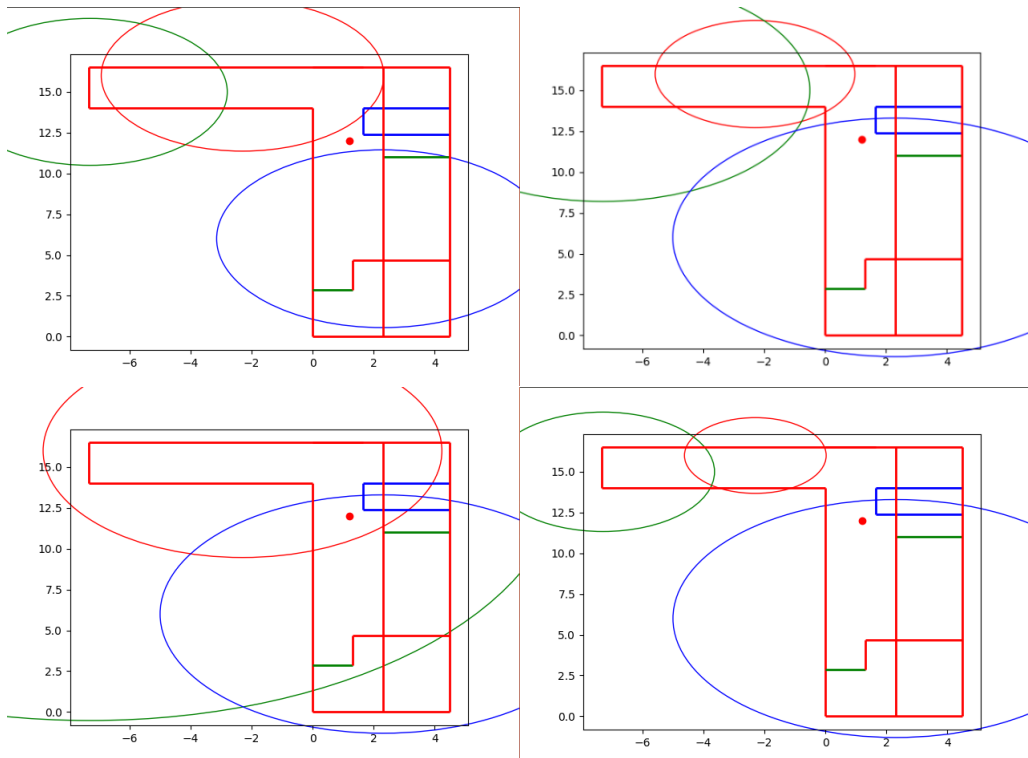
Σχήμα 5.4: Καμπύλη εξασθένησης σήματος για τον κόμβο *Node20*.

Με μια καλύτερη ματιά στα δεδομένα, παρατηρούμε πως:

- A. Οι καμπύλες που υπολογίσαμε προσεγγίζουν από μικρό έως ικανοποιητικό βαθμό τις μετρήσεις μας. Σε πολλές περιπτώσεις, όπως στον κόμβο 14, οι μετρήσεις βρίσκονται σε μεγάλη απόκλιση από την «βέλτιστη» καμπύλη.
- B. Για τους κόμβους 10 και 14, οι οποίοι βρίσκονται μέσα στο ταβάνι του εργαστηρίου, υπάρχουν μεγαλύτερες διακυμάνσεις, σε σχέση με τους κόμβους 19 και 20 που βρίσκονται μέσα στο εργαστήριο πάνω στα γραφεία.
- C. Το γεγονός πως ένας κόμβος εκπέμπει σε απόσταση  $x$  μέτρα ισχύ  $P$  και σε απόσταση  $x' > x$  μεγαλύτερη ισχύ  $P' > P$ , πράγμα το οποίο αντιτίθεται στον τύπο ο οποίος αναφέρει λογαριθμική εξασθένηση σήματος με βάση την απόσταση, οφείλεται σε φαινόμενα συμβολής στο σημείο  $x'$  ή/και σε φαινόμενα εξασθένησης στο σημείο  $x$ .

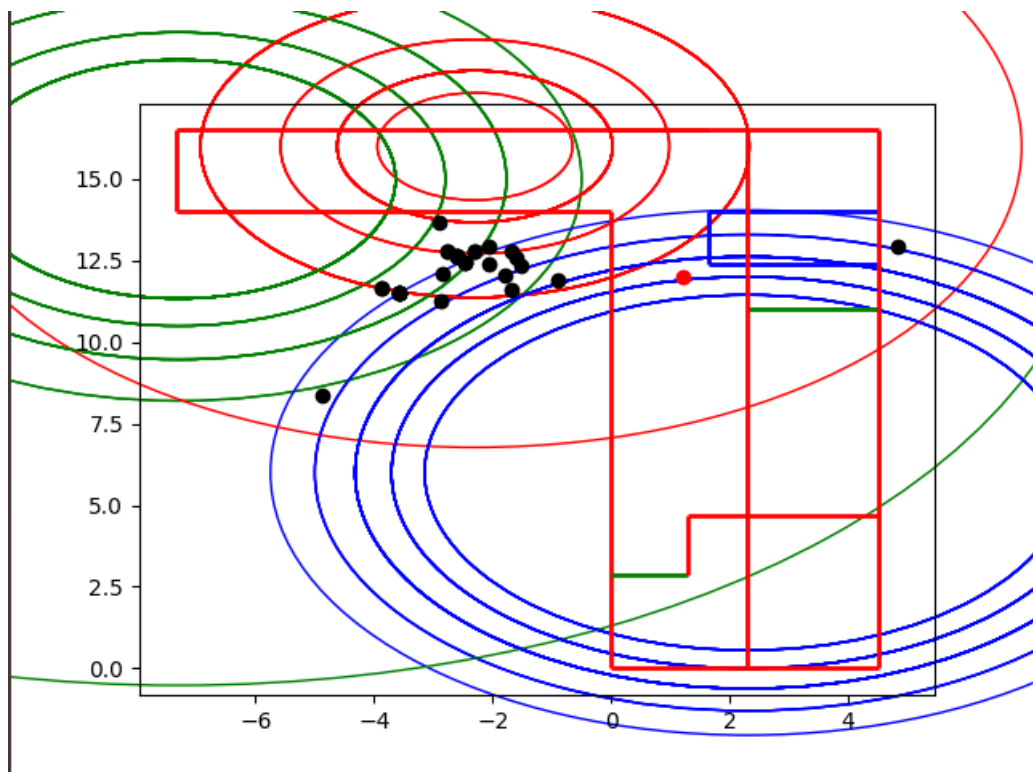
Έχοντας υπολογίσει του τύπους μετατροπής ισχύος σήματος σε απόσταση ανά κόμβο, περνάμε στο επόμενο στάδιο που είναι ο υπολογισμός θέσης με τριγωνοποίηση. Όπως αναλύσαμε και προηγουμένως, η καμπύλη έχει απόκλιση από τις πειραματικές μετρήσεις. Επιπλέον, όπως ανακαλύψαμε και στην συνέχεια, το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τις απότομες μεταβολές ισχύος εκπομπής των κόμβων, οδηγούν σε αθροιστικό στιγμιαίο σφάλμα με αποτέλεσμα ο χρήστης, παραμένοντας στο ίδιο σημείο και χωρίς καμία αλλαγή, να δέχεται σήματα από τον ίδιο κόμβο με διαφορετική ισχύ, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα. Με κόκκινη τελεία σημειώνεται η τοποθεσία του χρήστη και με κύκλο η εκτίμηση απόστασης ανά κόμβο.



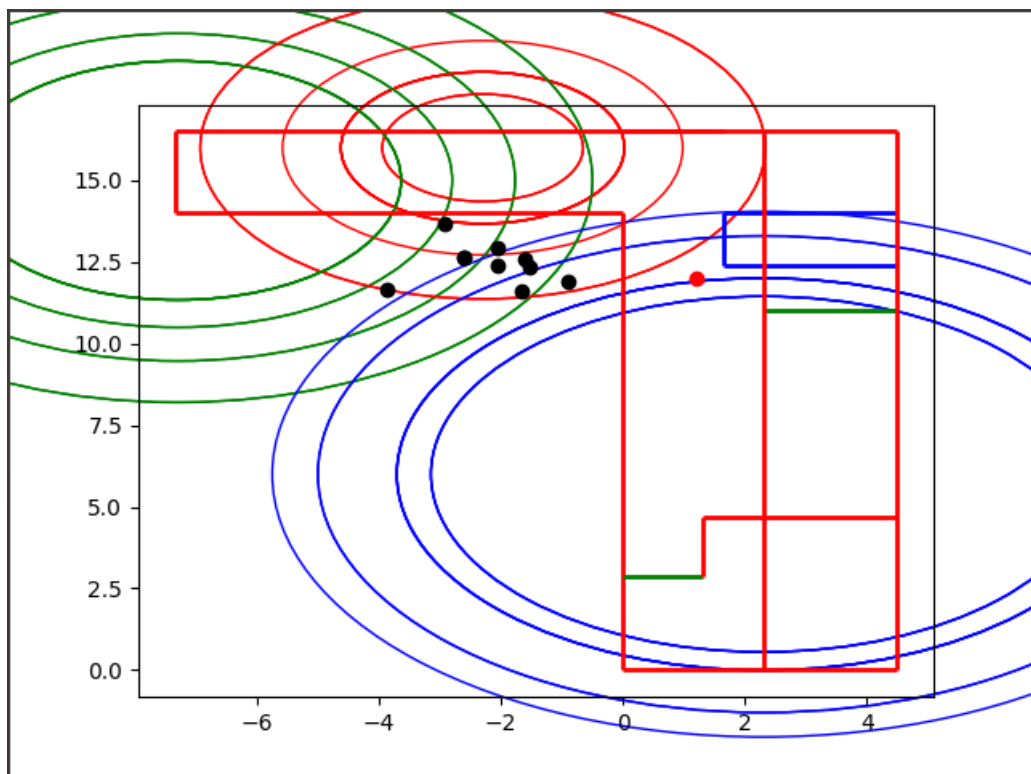


Σχήμα 5.5: Μέγεθος διακυμάνσεων ισχύος λήξης εκτομής των κόμβων.

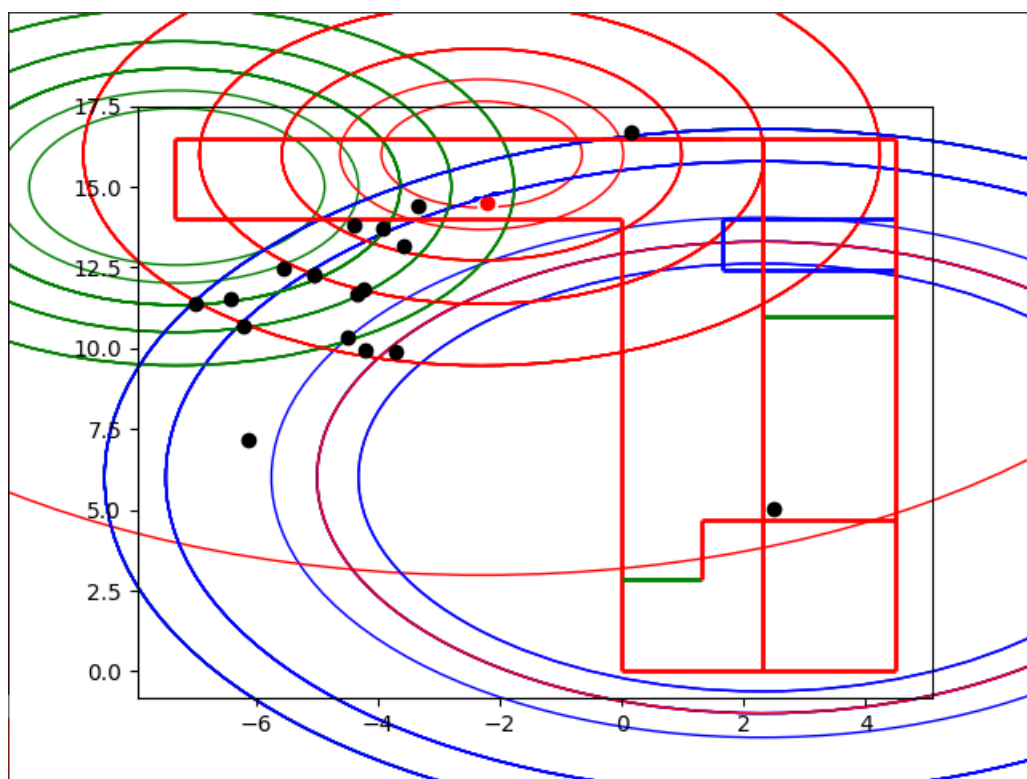
Περνώντας στο πείραμα, θα δείξουμε μια χαρακτηριστική περίπτωση, από την οποία θα εξάγουμε όλα τα συμπεράσματα (σχήματα 5.6, 5.7). Με μαύρες κουκίδες σημειώνονται οι μετρήσεις θέσης ενώ με κόκκινες η πραγματική θέση. Οι μετρήσεις έγιναν σε διάρκεια 15 δευτερολέπτων.



Σχήμα 5.6: Πείραμα τριγωνοποίησης χωρίς μετατροπές.



Σχήμα 5.7: Πείραμα τριγωνοποίησης με απόρριψη ακραίων τιμών.

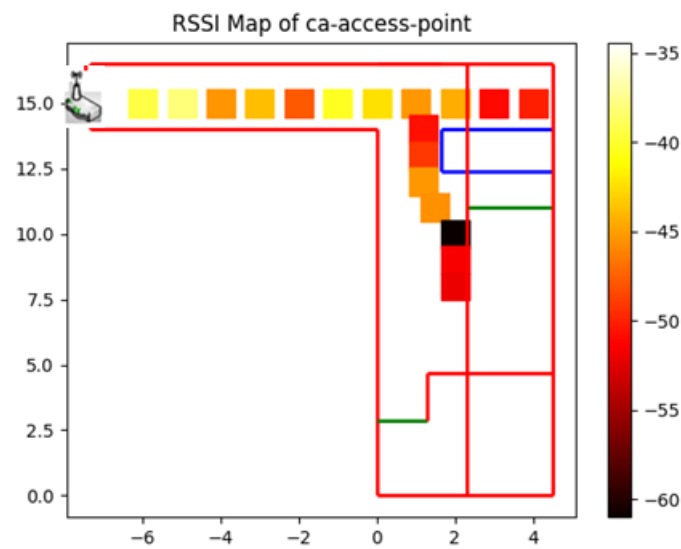


Σχήμα 5.8: Πείραμα τριγωνοποίησης σε διαφορετική τοποθεσία.

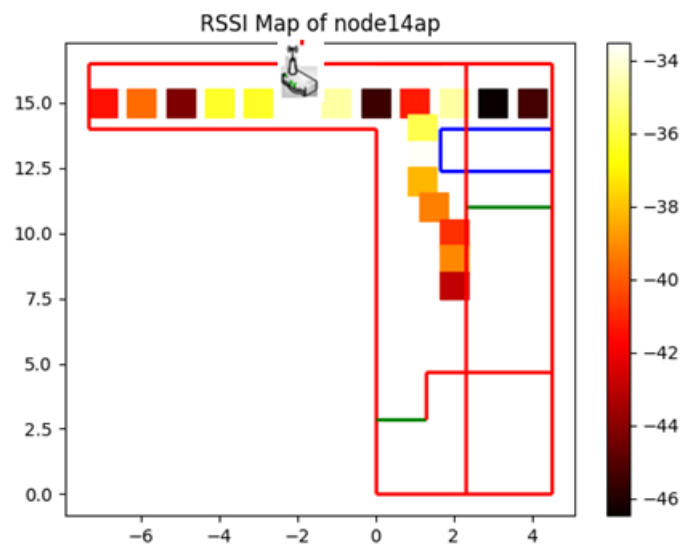
Η διαφορά στα αποτελέσματα στο σχήμα 5.6 με το 5.7 είναι πως έχουμε περιορίσει τις μετρήσεις μας απορρίπτοντας τις ακραίες τιμές. Σε κάθε περίπτωση, ο αλγόριθμος αποτυγχάνει να υπολογίσει την θέση του χρήστη με το σφάλμα να εκτείνεται από 2 μέχρι και τα 7 μέτρα και από 2 μέχρι 5 μέτρα απορρίπτοντας τις ακραίες τιμές μετρήσεων. Παρατηρούμε πως η ισχύς λήψης, παρόλο που ο χρήστης δεν κινήθηκε, είχε πολύ μεγάλες μεταβολές. Δοκιμάζοντας μια ακόμα θέση, παρατηρούμε το σφάλμα να παραμένει στα ίδια επίπεδα (σχήμα 5.8).

### 5.2.2 Πείραμα Β: Εντοπισμός Θέσης Με Δικτυακό Αποτύπωμα

Για το επόμενο πείραμα, όπως αναλύσαμε και στο κεφάλαιο 4, μελετάμε τα χαρακτηριστικά εκπομπής ισχύος των κόμβων στο χώρο. Για κάθε κόμβο, έχουμε τον εξής χάρτη εκπομπής:

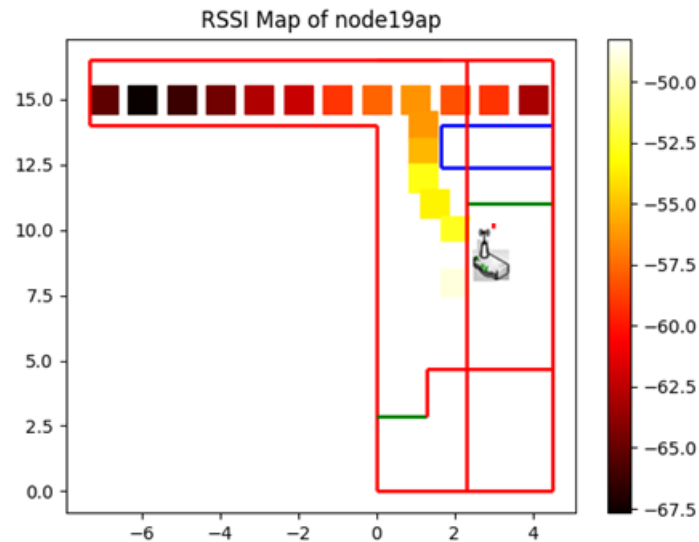


Σχήμα 5.9: Χάρτης εκπομπής για τον κόμβο *Node10*.

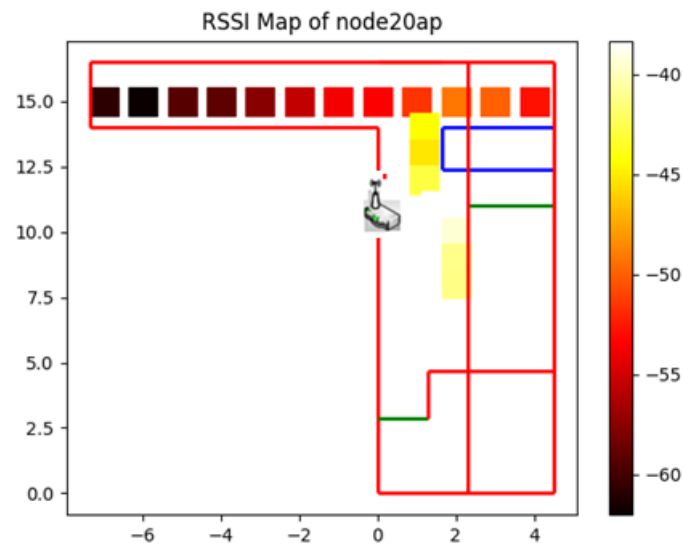


Σχήμα 5.10: Χάρτης εκπομπής για τον κόμβο *Node14*.

Σημείωση: Από άσπρο προς κόκκινο αναπαριστάται η ισχύς σήματος από ισχυρό σε πιο αδύναμο. Οι μετρήσεις σταματούν στο σημείο (2,7.5) για να διατηρηθεί η βάση δεδομένων σε μικρό μέγεθος και να μην επιβαρύνεται υπερβολικά ο χρήστης, από άποψη επεξεργαστικών και αποθηκευτικών πόρων.



Σχήμα 5.11: Χάρτης εκπομπής για τον κόμβο *Node19*.



Σχήμα 5.12: Χάρτης εκπομπής για τον κόμβο *Node20*.

Παρατηρήσεις:

- Στο σχήμα 5.10 διακρίνεται ξεκάθαρα το φαινόμενο μεταβολής ισχύος σήματος από φαινόμενα συμβολής / απόσβεσης.
- Η ισχύς σήματος είναι, όπως αναμέναμε, πολύ ισχυρή κοντά στους κόμβους και μειώνεται σε σχέση με την απόσταση.
- Σύμφωνα και με τον πίνακα 5.1, χρησιμοποιώντας οποιονδήποτε κόμβο έχουμε πλήρη κάλυψη του εργαστηρίου, όσον αφορά την διατήρηση της ασύρματης ζεύξης.

- Παρόλα αυτά, όταν απομακρυνόμαστε από έναν κόμβο, παρατηρείται μείωση της έντασης ισχύος λήψης εκπομπής και αύξηση του θορύβου έναντι του ωφέλιμου σήματος που οφείλεται στην διαρρύθμιση του χώρου του εργαστηρίου. Σύμφωνα με τον πίνακα 5.3, η διατήρηση της ζεύξης με έναν μόνο κόμβο μπορεί να κριθεί απαγορευτική λόγω της μείωσης του εφικτού ρυθμού δεδομένων όταν ο χρήστης αποκτά απόσταση από τον κόμβο. Σε κάποιες εφαρμογές, όπως η μεταφόρτωση διεργασιών, χαμηλά επίπεδα ρυθμού μεταφοράς και μεγάλες καθυστερήσεις κρίνονται ανεπαρκείς για εύρυθμη λειτουργία και ανταπόκριση στην Ποιότητα των Υπηρεσιών (QoS).

Ισχύς Σήματος	Κατηγορία	Σχόλια	Αναγκαίο Για
-30 dBm	Πολύ Ισχυρό	Μέγιστη δυνατή ισχύ σήματος. Ο χρήστης μπορεί να απέχει λίγα μόνο μέτρα από το σημείο εκπομπής για να το πετύχει αυτό. Δεν είναι τυπικό ή επιθυμητό στον πραγματικό κόσμο.	Δ/Α
-67 dBm	Ισχυρό	Ελάχιστη ισχύς σήματος για εφαρμογές που απαιτούν πολύ αξιόπιστη και έγκαιρη παράδοση πακέτων δεδομένων.	VoIP/VoWiFi, streaming video
-70 dBm	Ικανοποιητικό	Ελάχιστη ισχύς σήματος για αξιόπιστη παράδοση πακέτων.	Email, web
-80 dBm	Αδύναμο	Ελάχιστη ισχύς σήματος για βασική συνδεσιμότητα. Η παράδοση πακέτων μπορεί να είναι αναξιόπιστη.	Δ/Α
-90 dBm	Απαγορευτικό	Προσεγγίζοντας ή ξεπερνώντας το όριο του θορύβου. Οποιαδήποτε λειτουργία είναι εξαιρετικά απίθανη.	Δ/Α

Πίνακας 5.1: Κατηγοριοποίηση σήματος βάσει ισχύος. [102]

Target Data Rate	Recommended Min RSSI (dBm)	Recommended Min SNR (dB)
54	-56	40
36	-58	33
24	-62	27
18	-65	26
11 or 12	-67	25
9	-71	24
5.5 or 6	-74	23
2	-76	21
1	-79	19

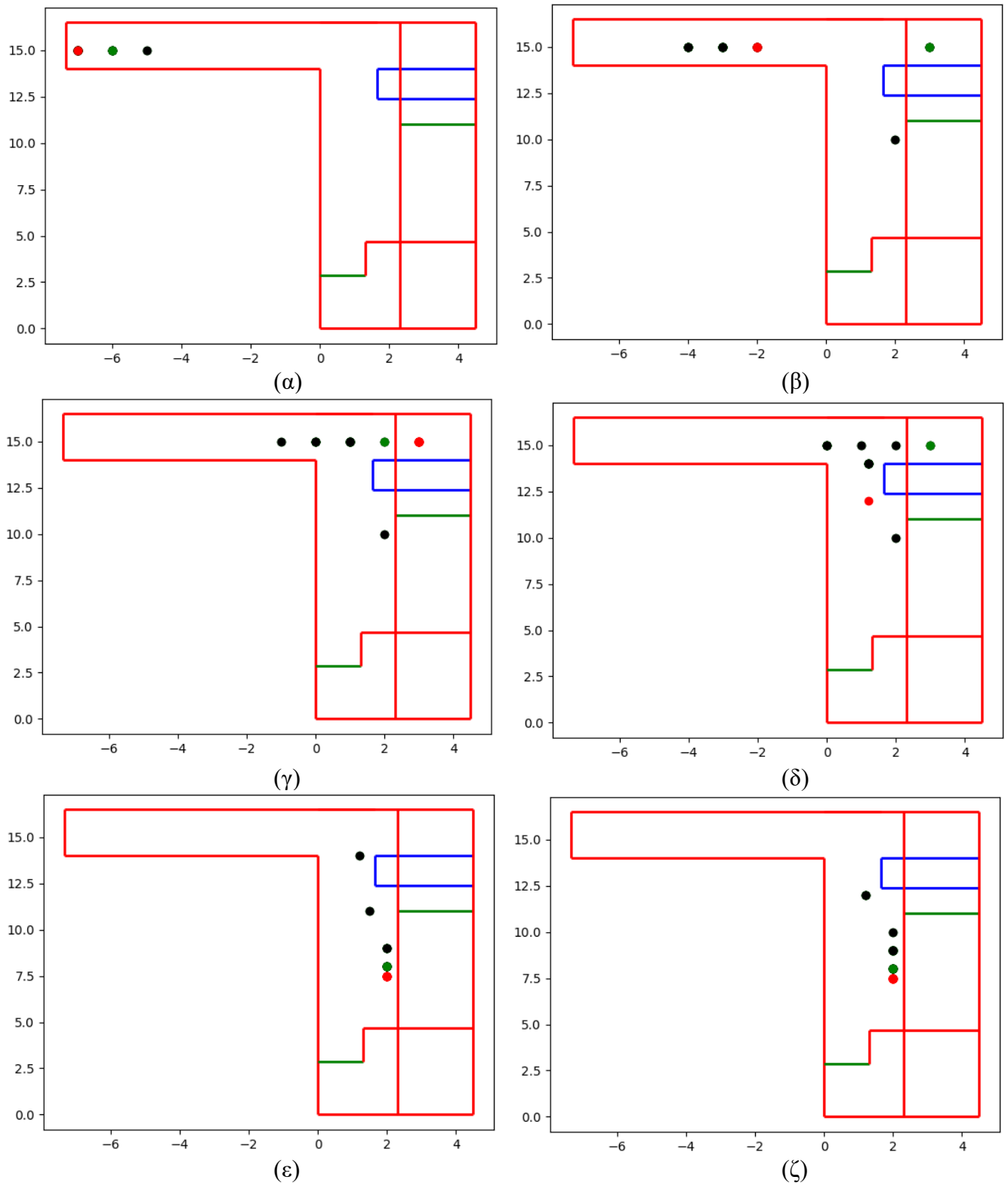
Πίνακας 5.3: Προτεινόμενη ελάχιστη Ένταση Ισχύος Λήψης Εκπομπής (RSSI) και Αναλογία Ισχύος Λήψης προς Θόρυβο (SNR) για την επίτευξη επιθυμητών Ρυθμών Δεδομένων (Data Rate).

Την ανάλυση του χώρου έπεται η ανάλυση του κατηγοριοποιητή (classifier) που θα χρησιμοποιηθεί και θα κάνει την αντιστοίχιση των μετρήσεων σε κάποια θέση στο χώρο. Για τις ανάγκες του πειράματος δοκιμάστηκαν πολλοί αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης και η ακρίβειά τους φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Ο αλγόριθμος που επιλέξαμε ήταν ο αλγόριθμος K Κοντινότερων Γειτόνων με 2 γείτονες.

Κατηγοριοποιητής	Ακρίβεια Σε Γνωστά Δεδομένα		Ακρίβεια Σε Άγνωστα Δεδομένα	
	Χωρίς Καν/ση	Με Καν/ση	Χωρίς Καν/ση	Με Καν/ση
<b>2 K Nearest Neighbors</b>	0.708	0.721	0.526	0.474
<b>3 K Nearest Neighbors</b>	0.654	0.65	0.474	0.526
<b>Linear SVM</b>	0.479	0.083	0.895	0.053
<b>RBF SVM</b>	0.988	0.562	0.053	0.632
<b>Gaussian Process</b>	0.346	0.317	0.421	0.316
<b>Decision Tree</b>	0.525	0.525	0.526	0.526
<b>Random Forest</b>	0.721	0.75	0.737	0.579
<b>Neural Net</b>	0.388	0.338	0.316	0.526
<b>AdaBoost</b>	0.162	0.162	0.105	0.105
<b>Naive Bayes</b>	0.467	0.467	0.737	0.737
<b>Quadratic Discriminant Analysis</b>	0.708	0.721	0.526	0.474

Πίνακας 5.2: Ακρίβεια αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης στα δεδομένα του εργαστηρίου (Καν/ση = Κανονικοποίηση).

Τέλος, περνάμε στα αποτελέσματα των μετρήσεων. Με κόκκινη κουκίδα φαίνεται η πραγματική θέση του χρήστη, με μαύρη οι προηγούμενες μετρήσεις και με πράσινη η τωρινή μέτρηση (οι εικόνες είναι σε πραγματικό χρόνο). Θα δείξουμε μετρήσεις για 5 διαφορετικά σημεία (για το τελευταίο σημείο παραθέτουμε 2 μετρήσεις). Σε κάθε σημείο, ο χρήστης ήταν σταθερός με το κινητό τερματικό στο χέρι, μεταβάλλοντας όμως την κατεύθυνσή του (περιστρεφόμενος δηλαδή ως προς τον κάθετο του άξονα), έτσι ώστε να δοκιμαστούν όλες οι πιθανές περιπτώσεις.



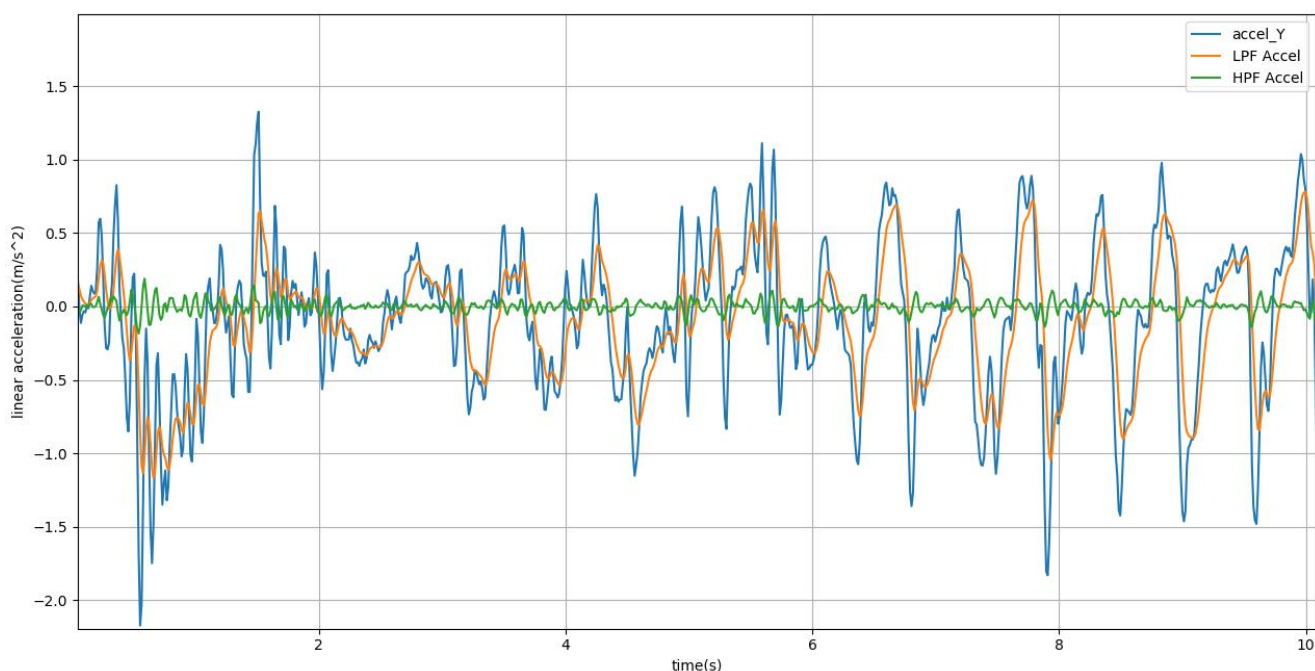
Σχήμα 5.13: Δοκιμές Εντοπισμού Δικτυακού Αποτυπώματος για διαφορετικά σημεία.  
 (α) [-7,15], (β) [-2,15], (γ) [3,15], (δ) [1,12], (ε)-(ζ) [2,8]

Παρατηρήσεις: Γενικά το πείραμα είχε μεγάλη επιτυχία σε σχέση με το προηγούμενο, γεγονός το οποίο αποδεικνύεται από τα αποτελέσματα που δείξαμε, τα οποία σε γενικές γραμμές αποδεικνύουν αποδεκτό εντοπισμό του χρήστη με μέσο

σφάλμα 2 μέτρα και μέγιστο 7. Παρατηρούμε όπως και προηγουμένως πως το σφάλμα που προκύπτει από τις στιγμιαίες μεταβολές στην ισχύ εκπομπής των κόμβων επηρεάζει σημαντικά το πείραμα δημιουργώντας κάποιες ακραίες μετρήσεις.

### 5.2.3 Πείραμα Γ: Εντοπισμός Θέσης Με Τσιπ Μετρήσεως Αδρανειακών Δυνάμεων

Σε αυτό το πείραμα θέλαμε να δοκιμάσουμε κατά πόσο είναι εφικτό να ολοκληρώσουμε τις μετρήσεις από ένα τσιπ αδρανειακών μετρήσεων και να έχουμε ακριβή αποτελέσματα μέτρησης ταχύτητας και θέσης. Για αρχή, θα δούμε στο σχήμα την μορφή που παίρνουν οι μετρήσεις επιτάχυνσης με τον χρόνο και την επίδραση ενός βαθυπερατού (πορτοκαλί) και ενός υψιπερατού (πράσινο) φίλτρου σε αυτές. Η επιτάχυνση αυτή μετρήθηκε κατά την διάρκεια βαδίσματος, κρατώντας το τσιπ σε όσο το δυνατόν πιο κάθετη θέση (ώστε η βαρύτητα να μην επηρεάζει την μέτρηση). Η επιτάχυνση που μετρήθηκε είναι στον άξονα βάδισης.

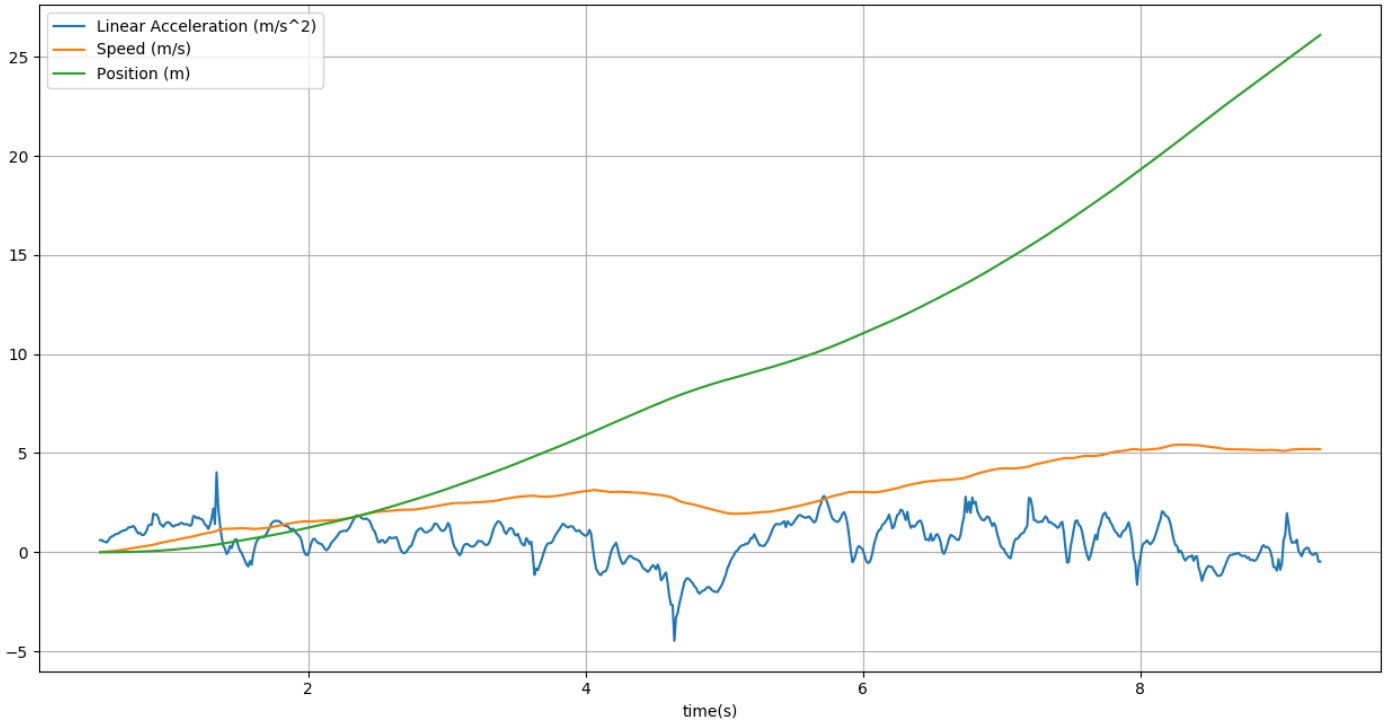


Σχήμα 5.14: Η μετρούμενη επιτάχυνση σε σχέση με τον χρόνο.

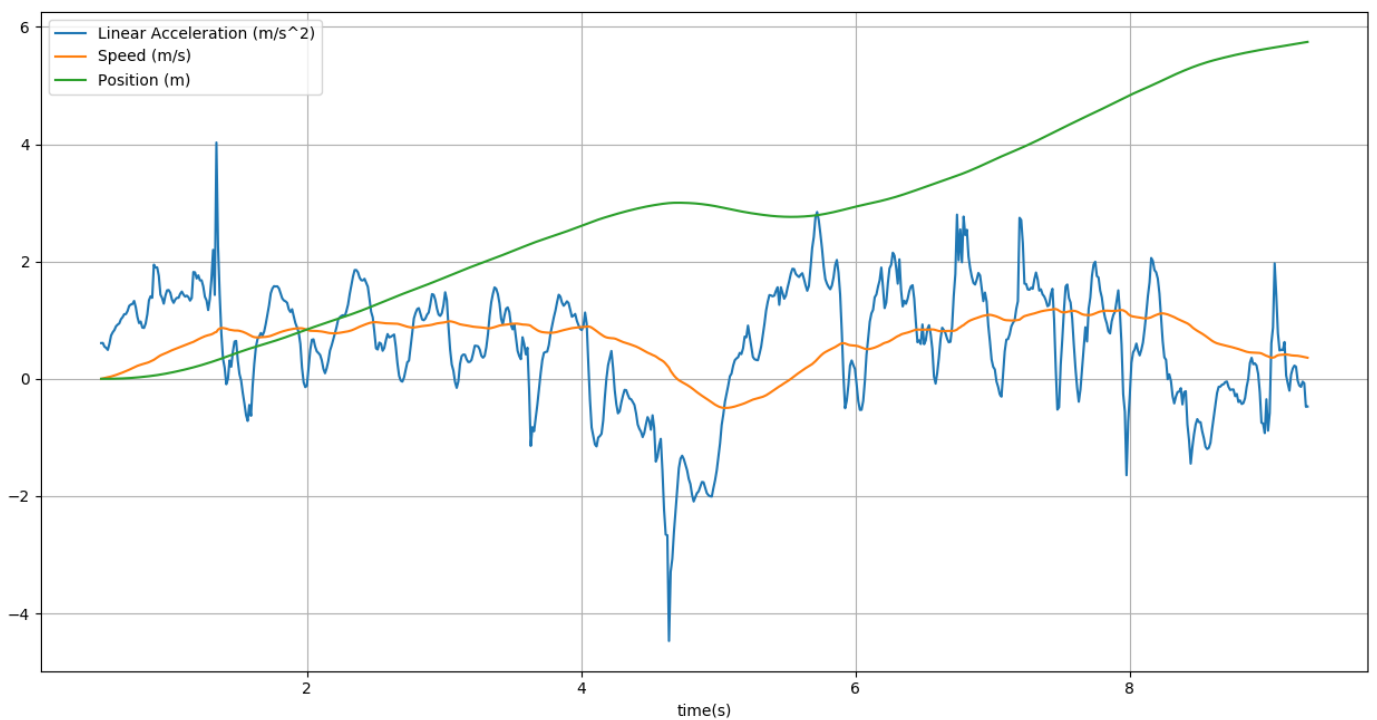
Αμέσως παρατηρούμε πως, παρόλο που ο χρήστης έκανε απλό βάδισμα, οι μετρήσεις υποδεικνύουν επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις καθ'όλη την διάρκεια της μέτρησης. Ακολουθώντας, στο σχήμα 5.15, φαίνεται μια άλλη διεξαγωγή του πειράματος κατά την οποία επίσης ο χρήστης περπατούσε με το τσιπ σε κάθετη θέση για 10 δευτερόλεπτα. Παρατηρούμε πως, ενώ αναμέναμε η ταχύτητα να βρίσκεται σταθερά στην τιμή 1.5 (ταχύτητα βάδισης ανθρώπου) και η μετατόπιση να αυξάνεται με σταθερό ρυθμό, οι τιμές αυτές αντιθέτως συνεχώς αυξάνονται, η μεν ταχύτητα σταθερά και η δε επιτάχυνση με αυξανόμενο ρυθμό. Αυτό οφείλεται στην υπερευαισθησία του τσιπ μετρήσεως επιτάχυνσης, το οποίο μετράει πραγματικά στιγμιαίες επιταχύνσεις οι οποίες περιέχουν και ταλαντώσεις του ανθρώπινου χεριού, στιγμιαίες ανεπαίσθητες επιταχύνσεις και άλλα είδους σφάλματα.



Στο σχήμα 5.16 έχουμε την ίδια μέτρηση, αλλά ακολουθώντας τις οδηγίες του κατασκευαστή (STMicroelectronics) έχουμε χρησιμοποιήσει έναν παράγοντα εξασθένησης (fading factor), έτσι ώστε οι μετρήσεις ταχύτητας να τείνουν προς το 0 σε περίπτωση αδράνειας. Αυτό επίσης ομαλοποιεί την ταχύτητα κατά την περίοδο βαδίσματος, δεν μπορεί όμως να εφαρμοστεί στην πράξη ως αποδεκτή τεχνική διότι αποτελεί κυρίως ένα τέχνασμα παρά μια μόνιμη αποδεκτή λύση στο πρόβλημα. Με τον τρόπο αυτό έγινε ορατή η διακοπή στην βάδιση που έγινε στα μισά του χρόνου.



Σχήμα 5.15: Η μετρούμενη επιτάχυνση, ταχύτητα και μετατόπιση σε σχέση με τον χρόνο.

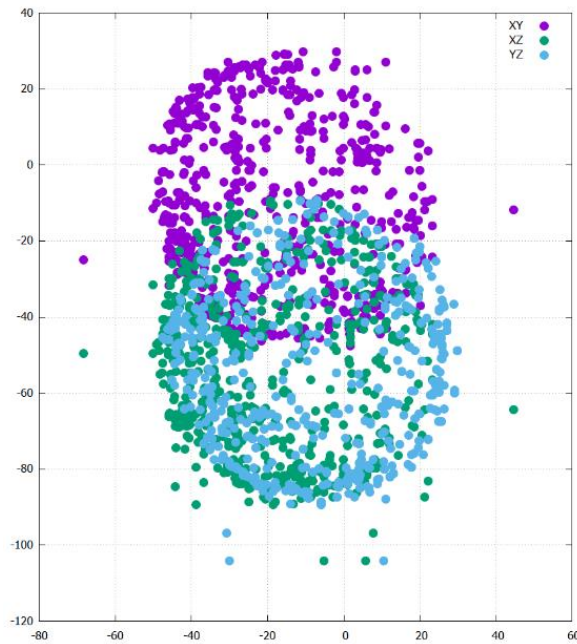


Σχήμα 5.16: Η μετρούμενη επιτάχυνση, ταχύτητα και μετατόπιση στον χρόνο με παράγοντα εξασθένησης.

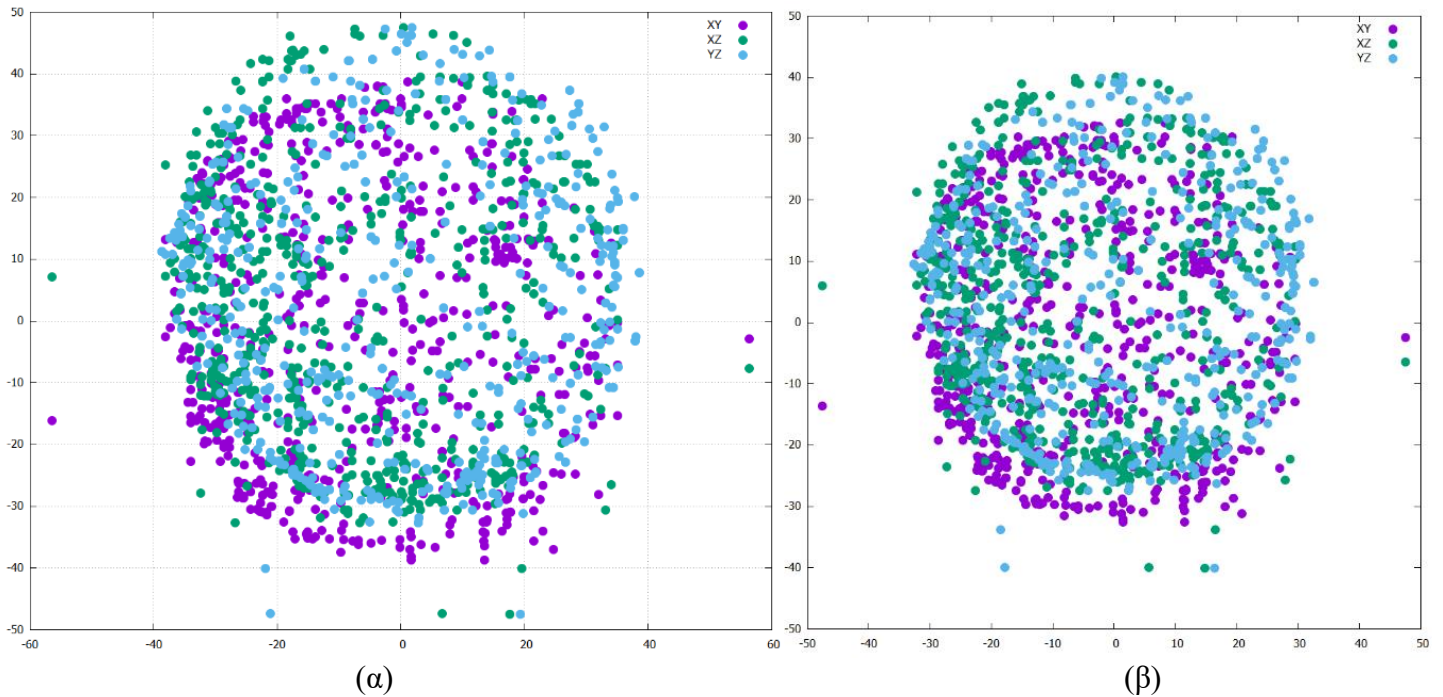
Τα αποτελέσματα του πειράματος μας επιβεβαιώνουν πως η τεχνική της μέτρησης του μέτρου της επιτάχυνσης από το τσιπ δεν είναι επαρκής μέθοδος εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο διότι απαιτεί πολλά τεχνάσματα και τεχνικές εξάλειψης θορύβου, έχει εξάρτηση από το τσιπ που χρησιμοποιείται και από τον επεξεργαστή που επεξεργάζεται τις μετρήσεις, είναι ευαίσθητο σε πολύ μικρές και ακούσιες κινήσεις και τέλος συσσωρεύει σφάλμα στις μετρήσεις το οποίο αυξάνεται με ρυθμούς τετραγώνου λόγω διπλής ολοκλήρωσης.

#### 5.2.4 Πείραμα Δ: Εντοπισμός Θέσης Με Μέτρηση Βημάτων Και Κατεύθυνσης

Το πείραμα αυτό αποτελεί μια «εξελιγμένη» μέθοδος του προηγούμενου, κατά την οποία μετράμε τα βήματα ως μέτρο για την μετατόπιση και όχι το μέτρο της επιτάχυνσης με διπλή ολοκλήρωση. Σε αυτό το πείραμα χρειάζεται επιπλέον προσοχή, διότι έχουμε 2 πηγές σφάλματος, από το μέτρο και από την κατεύθυνση. Για την κατεύθυνση, για να μειώσουμε το σφάλμα, θα χρειαστεί να κάνουμε αρχικά βαθμονόμηση της πυξίδας, δηλαδή του μαγνητόμετρου του τσιπ. Ευτυχώς, η σουίτα RTIMULib που χρησιμοποιήσαμε έχει έτοιμη βιβλιοθήκη για βαθμονόμηση. Γενικά, μαγνητικά πεδία ή ύπαρξη μετάλλων επιδρούν στην μέτρηση μιας πυξίδας. Υπάρχουν 2 είδη βαθμονόμησης που μπορούν να γίνουν, ονόματι Σκληρού Σίδηρου (Hard Iron) και Μαλακού Σίδηρου (Soft Iron). Η πρώτη στοχεύει στην ομαλοποίηση μετρήσεων λόγω ύπαρξης μόνιμων μετάλλων η πομπών πεδίων (πχ ηχείο) κοντά στο τσιπ μέτρησης που επηρεάζει τις μετρήσεις, ενώ η δεύτερη στοχεύει στην ύπαρξη εκτροπών ή αλλοιώσεων στο υπάρχον μαγνητικό πεδίο. Όπως θα δούμε και στο σχήμα, προσπαθούμε όσο το δυνατόν οι μετρήσεις να βρίσκονται σε ομόκεντρους κύκλους (από ετερόκεντρες ελλείψεις όταν δεν είναι βαθμονομημένο).



Σχήμα 5.17: Μετρήσεις μη βαθμονομημένου μαγνητόμετρου.



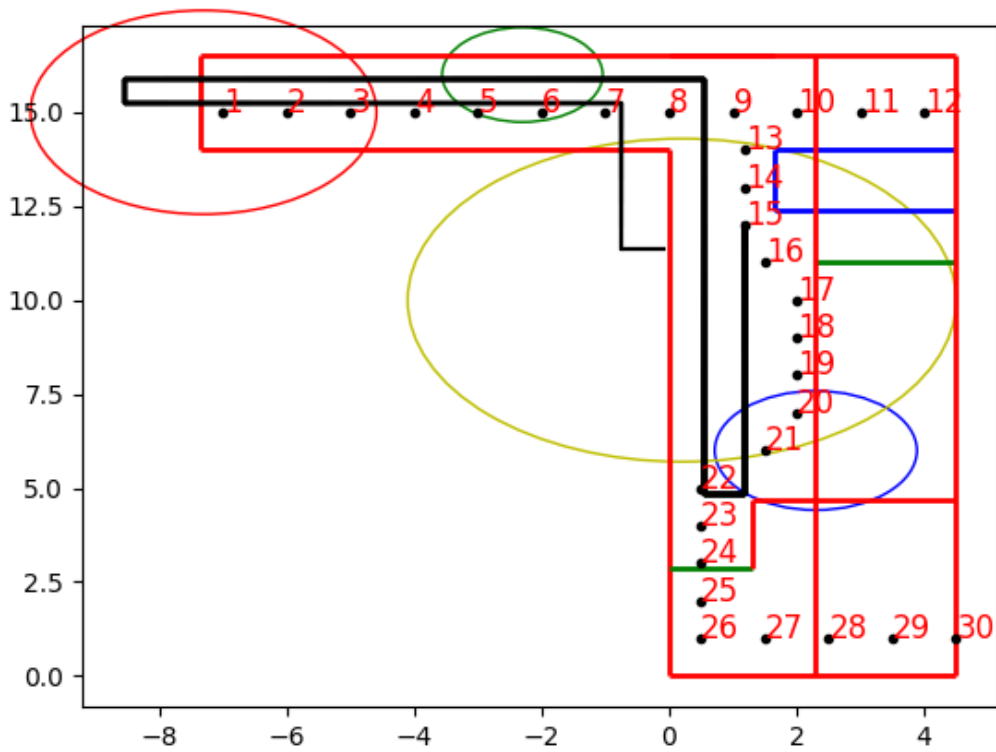
(α) Σχήμα 5.18: Μετρήσεις βαθμονομημένου μαγνητόμετρου, Σκληρού Σίδηρου (α) και Μαλακού Σίδηρου (β).

Έχοντας βαθμονομήσει την πυξίδα, μπορούμε να περάσουμε στις μετρήσεις θέσης. Για τις ανάγκες του πειράματος, ο χρήστης κρατούσε τον φορητό υπολογιστή στο χέρι βαδίζοντας στον χώρο του εργαστηρίου, ξεκινώντας και τελειώνοντας στην αφετηρία. Θα δείξουμε 2 μετρήσεις και θα αναλύσουμε τα αποτελέσματα παρακάτω.

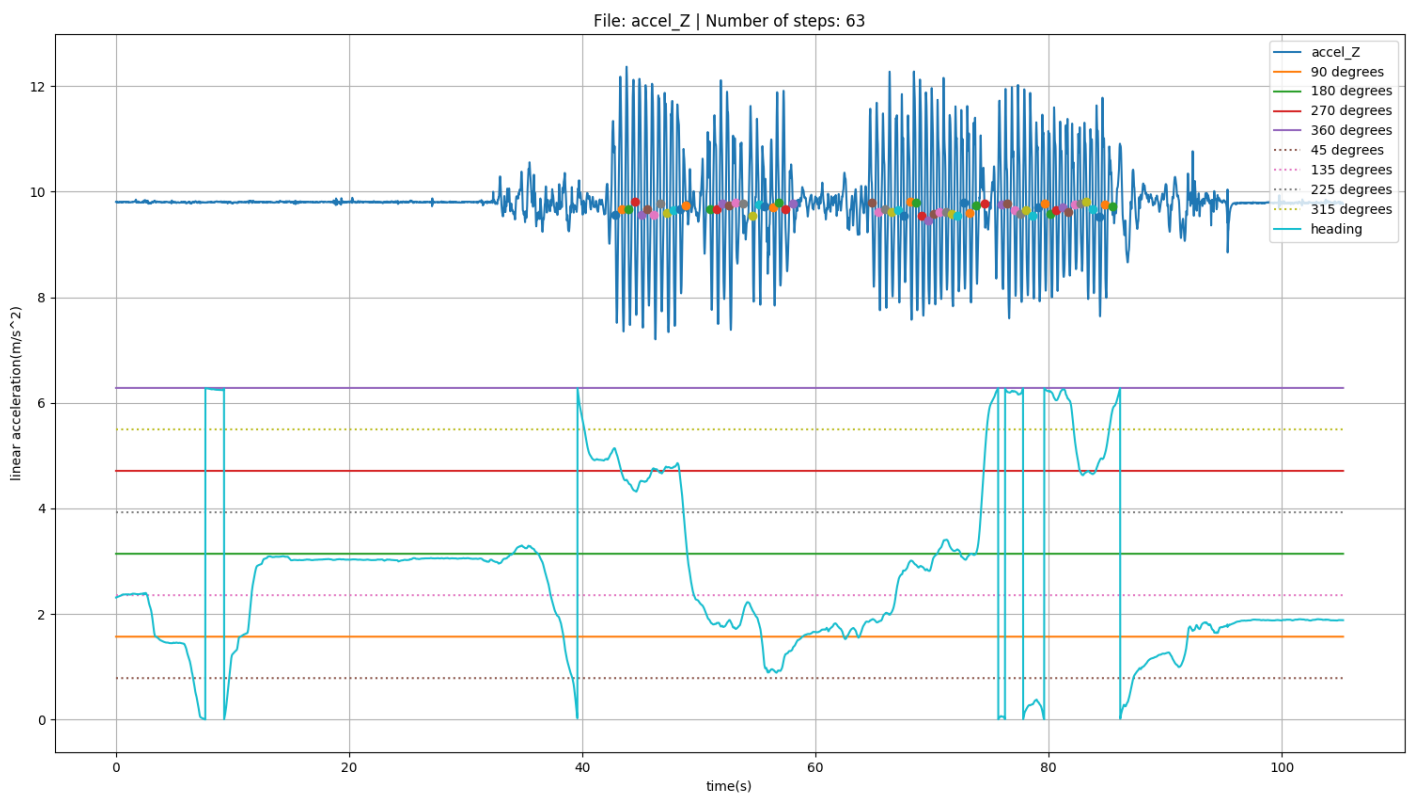
Στο πρώτο πείραμα, ο χρήστης εκτέλεσε ένα κύκλο (Σχήμα 5.19) και συνολικά 65 βήματα, ενώ ο αλγόριθμός μας μέτρησε 63 βήματα (Σχήμα 5.20). Αντίστοιχα, στο δεύτερο πείραμα, ο χρήστης εκτέλεσε δυο κύκλους (Σχήμα 5.21) και συνολικά 91

βήματα, ενώ ο αλγόριθμός μας μέτρησε 88 βήματα (Σχήμα 5.22). Χοντρικά λοιπόν, μπορούμε να πούμε πως ο αλγόριθμος έχει σφάλμα, μόνο κατά μέτρο, 1 βήμα στα 30 δηλαδή περίπου 3% σφάλμα άρα 2 μέτρα στα 65 μέτρα. Στα δεδομένα των πειραμάτων μπορούμε να διακρίνουμε τις κορυφές στις μετρήσεις, οι οποίες κατά κανόνα αναπαριστούν τα βήματα.

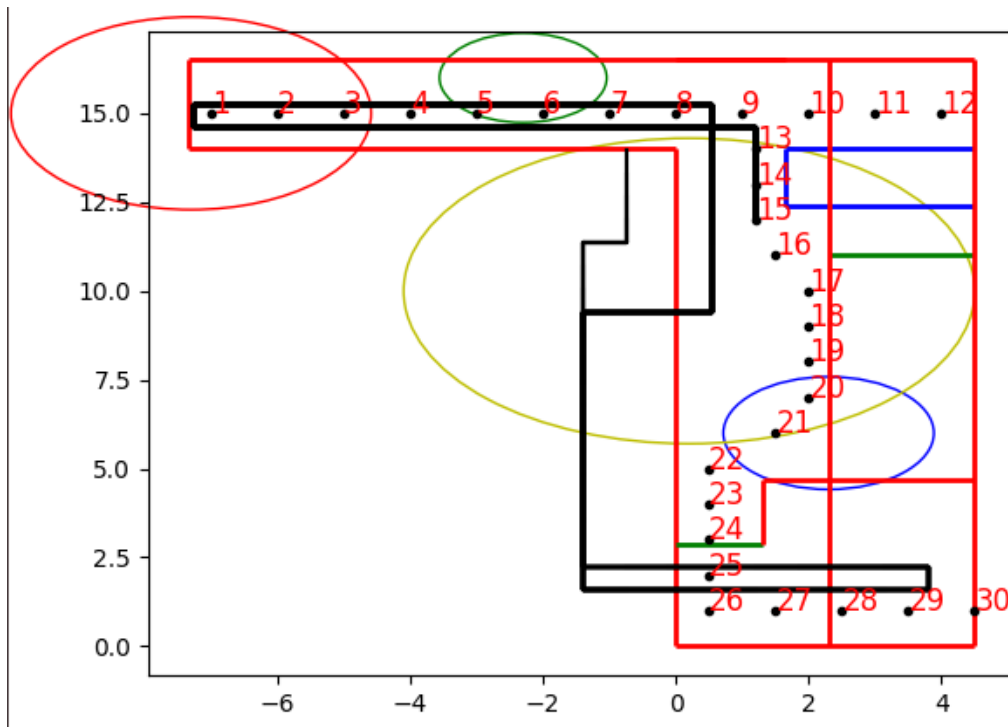
Παρατηρούμε πως και στα 2 πειράματα, η θέση του χρήστη στο τέλος της διαδρομής δεν ταυτίζεται με την αφετηρία (Σχήματα 5.19, 5.21). Η απόκλιση οφείλεται σαφώς στην κακή μέτρηση βημάτων, όπως αναφέραμε παραπάνω, όμως στο σφάλμα πλέον προστίθεται και η απόκλιση σε μετρήσεις κατεύθυνσης, παρόλο που προσπαθήσαμε να «κβαντίσουμε» την κατεύθυνση βάδισης σε συνολικά 4 κατευθύνσεις. Τον αλγόριθμο επιλογής της κατεύθυνσης μπορούμε να διακρίνουμε στα διαγράμματα με τα δεδομένα των πειραμάτων και συγκεκριμένα στις κάτω γραφικές, οι οποίες μας δείχνουν με συνεχή μπλε γραμμή τα δεδομένα των μετρήσεων, με συνεχείς γραμμές τις 4 κατευθύνσεις βάδισης και με διακεκομμένες γραμμές τις περιοχές αποφάσεων, δηλαδή σε ποια από τις 4 κατευθύνσεις υπάγεται μια μέτρηση.



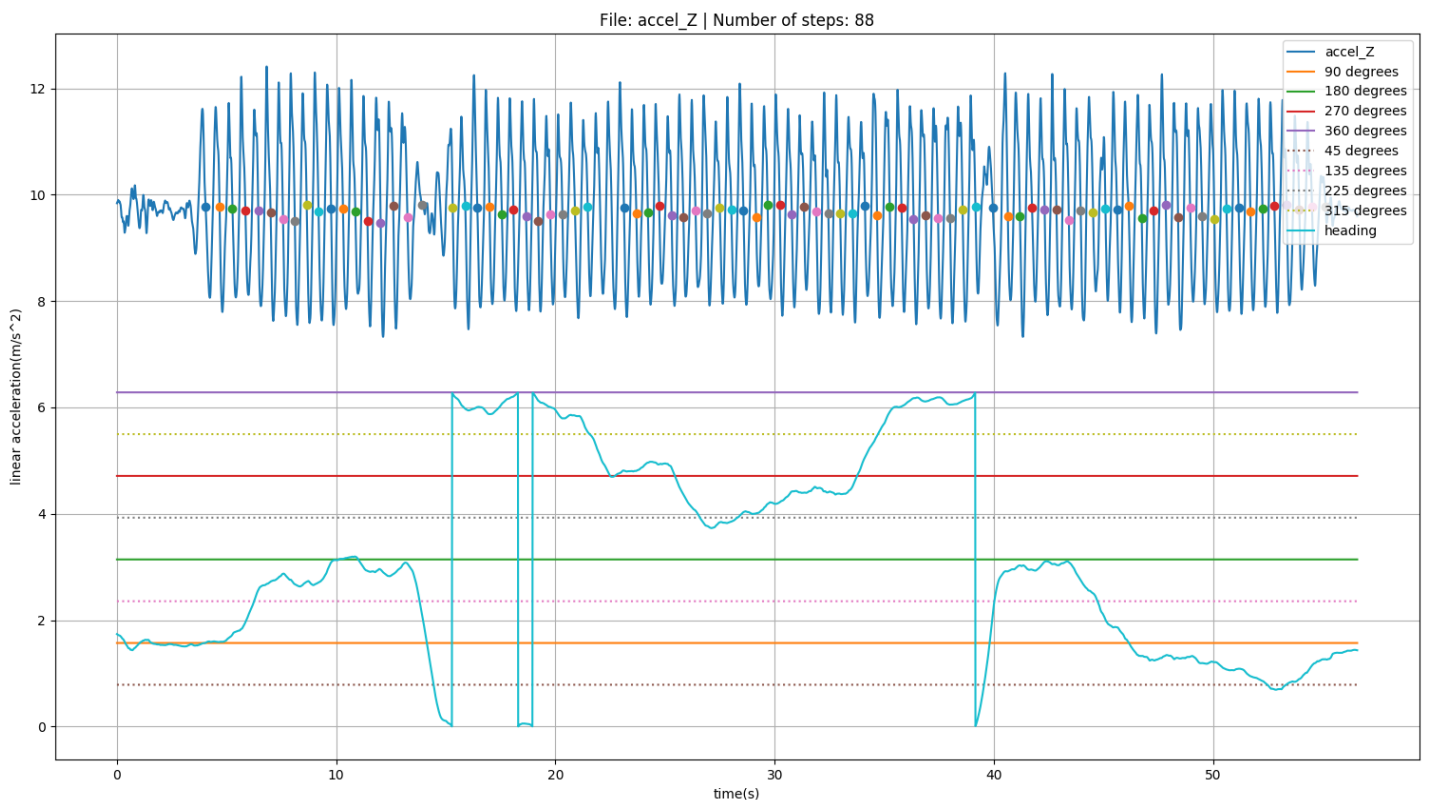
Σχήμα 5.19: Εντοπισμός θέσης στο εργαστήριο με σύστημα βήματος και κατεύθυνσης (1 κύκλος).



Σχήμα 5.20: Δεδομένα εντοπισμού θέσης στο εργαστήριο με σύστημα βήματος και κατεύθυνσης (1 κύκλος).



Σχήμα 5.21: Εντοπισμός θέσης σε εσωτερικό χώρο στο εργαστήριο με σύστημα βήματος και κατεύθυνσης (2 κύκλοι).



Σχήμα 5.22: Δεδομένα εντοπισμού θέσης στο εργαστήριο με σύστημα βήματος και κατεύθυνσης (2 κύκλοι).

## 5.2.5 Πείραμα Ε: Εξυπηρετητής Μεταφόρτωσης Διεργασιών Με Δυνατότητα Κινητικότητας Χρήστη

Στο τελευταίο πείραμα, δοκιμάσαμε τον αλγόριθμό μας για την μεταφόρτωση εικόνας σε εξυπηρετητή από χρήστη κινούμενο στον χώρο. Η πορεία που ακολούθησε ο χρήστης μπορεί να φανεί στο σχήμα 4.11, κατά την οποία ο χρήστης συνδέεται στον κόμβο 10, αποστέλλει 6 διαφορετικές εικόνες για επεξεργασία (αναγνώριση ύπαρξης φωτιάς η μη σε χώρο εξοχής), υπολογίζει μέσο χρόνο επεξεργασίας εικόνας 2 δευτερόλεπτα (σύνολο 12 δευτερόλεπτα) και ταυτόχρονα κινείται στον χώρο. Όταν τα αποτελέσματα είναι έτοιμα, ο χρήστης δέχεται το πιο δυνατό σήμα από τον κόμβο 20, στον οποίο συνδέεται και δέχεται τα αποτελέσματα. Στις παρακάτω εικόνες, με την σειρά, φαίνεται το τερματικό του εξυπηρετητή *Node10*, του εξυπηρετητή *Node20* και τέλος του χρήστη.

```
Quit the server with CONTROL-C.
New client connected, coming from ip 127.0.0.1
New client connected, coming from ip 10.0.0.10
Mac: 12:34:56:78:90:ab, IP: 10.0.0.10, Local: False

[13/Nov/2019 22:31:24] "GET /back/notify?mac=12:34:56:78:90:ab&ip=10.1
.10.12 HTTP/1.1" 200 0
Server with ip 10.0.0.1 did not get notified!
Server with ip 10.0.0.2 did not get notified!
Mac: 12:34:56:78:90:ab, IP: 10.1.10.12, Local: True

[13/Nov/2019 22:31:27] "GET /back/notify?mac=12:34:56:78:90:ab&ip=10.1.10.12 HT
P/1.1" 200 0
GET MAC OF 10.1.10.12
Request from IP: 10.1.10.12, MAC: 12:34:56:78:90:ab
@MultiValueDict: {'file': [(<TemporaryUploadedFile: y5.jpg ()>)]}
END

[13/Nov/2019 22:31:32] "POST /front/imageUpload HTTP/1.1" 202 0
GET MAC OF 10.1.10.12
Request from IP: 10.1.10.12, MAC: 12:34:56:78:90:ab
@MultiValueDict: {'file': [(<TemporaryUploadedFile: n1.jpg ()>)]}
END

[13/Nov/2019 22:31:33] "POST /front/imageUpload HTTP/1.1" 202 0
GET MAC OF 10.1.10.12
Request from IP: 10.1.10.12, MAC: 12:34:56:78:90:ab
@MultiValueDict: {'file': [(<TemporaryUploadedFile: y3.jpg ()>)]}
END

[13/Nov/2019 22:31:34] "POST /front/imageUpload HTTP/1.1" 202 0
GET MAC OF 10.1.10.12
Request from IP: 10.1.10.12, MAC: 12:34:56:78:90:ab
@MultiValueDict: {'file': [(<TemporaryUploadedFile: y6.jpg ()>)]}
END

[13/Nov/2019 22:31:34] "POST /front/imageUpload HTTP/1.1" 202 0
GET MAC OF 10.1.10.12
Request from IP: 10.1.10.12, MAC: 12:34:56:78:90:ab
@MultiValueDict: {'file': [(<TemporaryUploadedFile: n3.jpg ()>)]}
END

[13/Nov/2019 22:31:35] "POST /front/imageUpload HTTP/1.1" 202 0
GET MAC OF 10.1.10.12
Request from IP: 10.1.10.12, MAC: 12:34:56:78:90:ab
@MultiValueDict: {'file': [(<TemporaryUploadedFile: y6.jpg ()>)]}
END

[13/Nov/2019 22:31:36] "POST /front/imageUpload HTTP/1.1" 202 0
New client connected, coming from ip 10.0.0.20
Mac: 12:34:56:78:90:ab, IP: 10.0.0.20, Local: False

[13/Nov/2019 22:31:37] "GET /back/notify?mac=12:34:56:78:90:ab&ip=10.1
.20.12 HTTP/1.1" 200 0
WARNING:tensorflow:From /home/konstantinos/Desktop/edge_service/front_service/ta
sks/classify.py:16: FastGFile.__init__ (from tensorflow.python.platform.gfile) i
s deprecated and will be removed in a future version.
Instructions for updating:
Use tf.gfile.GFile.
Responding to IP: 10.0.0.20, Mac: 12:34:56:78:90:ab
Client 12:34:56:78:90:ab is not local, forwarding response to server 10.0.0.20 .
..
Forwarding response to server 10.0.0.20 successful!
Responding to IP: 10.0.0.20, Mac: 12:34:56:78:90:ab
Client 12:34:56:78:90:ab is not local, forwarding response to server 10.0.0.20 .
..
Forwarding response to server 10.0.0.20 successful!
Responding to IP: 10.0.0.20, Mac: 12:34:56:78:90:ab
Client 12:34:56:78:90:ab is not local, forwarding response to server 10.0.0.20 .
..
Forwarding response to server 10.0.0.20 successful!
Responding to IP: 10.0.0.20, Mac: 12:34:56:78:90:ab
Client 12:34:56:78:90:ab is not local, forwarding response to server 10.0.0.20 .
..
Forwarding response to server 10.0.0.20 successful!
Responding to IP: 10.0.0.20, Mac: 12:34:56:78:90:ab
Client 12:34:56:78:90:ab is not local, forwarding response to server 10.0.0.20 .
..
Forwarding response to server 10.0.0.20 successful!
Responding to IP: 10.0.0.20, Mac: 12:34:56:78:90:ab
Client 12:34:56:78:90:ab is not local, forwarding response to server 10.0.0.20 .
..
Forwarding response to server 10.0.0.20 successful!
```

← Ο Χρήστης συνδέθηκε

← Ενημέρωση των υπολοίπων εξυπηρετητών (απουχία για αυτούς που δεν υπάρχουν στην τοπολογία)

Ο Χρήστης Στέλνει τις εικόνες για επεξεργασία

Τα αποτελέσματα είναι έτοιμα αλλά ο χρήστης μετακινήθηκε σε άλλο εξυπηρετητή

Σχήμα 5.23: Έξοδος εξυπηρετητή που δέχεται τις εικόνες και προωθεί τα αποτελέσματα

```

System check identified no issues (0 silenced).
November 13, 2019 - 22:30:28
Django version 2.2, using settings 'edge_service.settings'
Starting development server at http://0.0.0.0:8000/
Quit the server with CONTROL-C.
New client connected, coming from ip 10.0.0.10
Mac: 12:34:56:78:90:ab, IP: 10.0.0.10, Local: False

[13/Nov/2019 22:31:24] "GET /back/notify?mac=12x3a34x3a56x3a78x3a90x3aab&ip=10.1,10.12 HTTP/1.1" 200 0
New client connected, coming from ip 127.0.0.1
New client connected, coming from ip 10.0.0.20
Mac: 12:34:56:78:90:ab, IP: 10.0.0.20, Local: False

[13/Nov/2019 22:31:37] "GET /back/notify?mac=12x3a34x3a56x3a78x3a90x3aab&ip=10.1,20.12 HTTP/1.1" 200 0
Server with ip 10.0.0.1 did not get notified!
Server with ip 10.0.0.2 did not get notified!
Mac: 12:34:56:78:90:ab, IP: 10.1,20.12, Local: True

[13/Nov/2019 22:31:40] "GET /back/notify?mac=12:34:56:78:90:ab&ip=10.1,20.12 HTTP/1.1" 200 0
Forwarding response from 10.0.0.10 to IP: 10.1.20.12, Mac: 12:34:56:78:90:ab
Responding to 12:34:56:78:90:ab
Response to 12:34:56:78:90:ab successful!
[13/Nov/2019 22:31:41] "GET /front/forward?field+fire=0,54892105&field=0,451079&mac=12x3a34x3a56x3a78x3a90x3aab HTTP/1.1" 200 0
Forwarding response from 10.0.0.10 to IP: 10.1.20.12, Mac: 12:34:56:78:90:ab
Responding to 12:34:56:78:90:ab
Response to 12:34:56:78:90:ab successful!
[13/Nov/2019 22:31:42] "GET /front/forward?field=0,83241653&field+fire=0,16758344&mac=12x3a34x3a56x3a78x3a90x3aab HTTP/1.1" 200 0
Forwarding response from 10.0.0.10 to IP: 10.1.20.12, Mac: 12:34:56:78:90:ab
Responding to 12:34:56:78:90:ab
Response to 12:34:56:78:90:ab successful!
[13/Nov/2019 22:31:43] "GET /front/forward?field+fire=0,94383425&field=0,05616577&mac=12x3a34x3a56x3a78x3a90x3aab HTTP/1.1" 200 0
Forwarding response from 10.0.0.10 to IP: 10.1.20.12, Mac: 12:34:56:78:90:ab
Responding to 12:34:56:78:90:ab
Response to 12:34:56:78:90:ab successful!
[13/Nov/2019 22:31:44] "GET /front/forward?field+fire=0,9508001&field=0,049199894&mac=12x3a34x3a56x3a78x3a90x3aab HTTP/1.1" 200 0
Forwarding response from 10.0.0.10 to IP: 10.1.20.12, Mac: 12:34:56:78:90:ab
Responding to 12:34:56:78:90:ab
Response to 12:34:56:78:90:ab successful!
[13/Nov/2019 22:31:44] "GET /front/forward?field=0,9841278&field+fire=0,015872175&mac=12x3a34x3a56x3a78x3a90x3aab HTTP/1.1" 200 0
Forwarding response from 10.0.0.10 to IP: 10.1.20.12, Mac: 12:34:56:78:90:ab
Responding to 12:34:56:78:90:ab
Response to 12:34:56:78:90:ab successful!
[13/Nov/2019 22:31:45] "GET /front/forward?field+fire=0,9508001&field=0,049199894&mac=12x3a34x3a56x3a78x3a90x3aab HTTP/1.1" 200 0

```



Ο Χρήστης συνδέθηκε στον κόμβο 10 και δεχόμαστε την ενημέρωση



Ο Χρήστης μετακινήθηκε και πλέον είναι συνδεδεμένος εδώ



Προώθηση των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας από άλλον κόμβο

Σχήμα 5.24: Έξοδος εξυπηρετητή που δέχεται τα αποτελέσματα και τα προωθεί στον χρήστη.

```

Server running at localhost:8088...
Request sent to server 10.1.10.1, took 0.778242111206 seconds
Request sent to server 10.1.10.1, took 0.731603145599 seconds
Request sent to server 10.1.10.1, took 0.742467880249 seconds
Request sent to server 10.1.10.1, took 0.73376083374 seconds
Request sent to server 10.1.10.1, took 0.743568897247 seconds
Request sent to server 10.1.10.1, took 0.735198020935 seconds
Pending requests: 6
Pending requests: 6
Pending requests: 6
Pending requests: 6
Pending requests: 6
10.1.20.1 -- [14/Nov/2019 00:31:41] "POST / HTTP/1.1" 200 -
field fire : 0,54892105
field : 0,451079
Pending requests: 5
10.1.20.1 -- [14/Nov/2019 00:31:42] "POST / HTTP/1.1" 200 -
field : 0,83241653
field fire : 0,16758344
Pending requests: 4
10.1.20.1 -- [14/Nov/2019 00:31:43] "POST / HTTP/1.1" 200 -
field fire : 0,94383425
field : 0,05616577
Pending requests: 3
10.1.20.1 -- [14/Nov/2019 00:31:44] "POST / HTTP/1.1" 200 -
field fire : 0,9508001
field : 0,049199894
10.1.20.1 -- [14/Nov/2019 00:31:44] "POST / HTTP/1.1" 200 -
field : 0,9841278
field fire : 0,015872175
Pending requests: 1
10.1.20.1 -- [14/Nov/2019 00:31:45] "POST / HTTP/1.1" 200 -
field fire : 0,9508001
field : 0,049199894
All activities done.Press any key...

```



Ο Χρήστης στέλνει τις εικόνες για επεξεργασία στον κόμβο 10 και ανοίγει την πόρτα 8088 περιμένοντας τα αποτελέσματα.



Ο Χρήστης Δέχεται τα αποτελέσματα από τον κόμβο 20

Σχήμα 5.25: Έξοδος χρήστη, όταν μετακινείται μεταξύ εξυπηρετητών.



Με αυτόν τον τρόπο λοιπόν επιτυγχάνεται μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας από τον χρήστη, ενώ η ενδοεπικοινωνία των εξυπηρετητών μειώνει το κόστος διατήρησης μιας κοινής βάσης δεδομένων και εξασφαλίζει το ότι ο χρήστης θα λάβει τα αποτελέσματα ανεξάρτητα από το που βρίσκεται στον χώρο του εργαστηρίου. Σε μια άλλη δοκιμή, ο χρήστης συνδέεται στον κόμβο 14, επιλέγει να αποστείλει τις εικόνες προς επεξεργασία σε αυτόν και επίσης δέχεται τα αποτελέσματα από αυτόν, γεγονός που συμβαίνει επειδή παραμένει συνδεδεμένος σε αυτόν καθ' όλη την διάρκεια λόγω της εμβέλειας του κόμβου 14 σε όλο το εργαστήριο (Σχήμα 5.10). Τα αποτελέσματα και η έξοδος του κόμβου και του χρήστη φαίνονται παρακάτω:

```
New client connected, coming from ip 127,0,0,1
New client connected, coming from ip 10,0,0,14
Mac: 12:34:56:78:90:ab, IP: 10,0,0,14, Local: False

[13/Nov/2019 22:33:33] "GET /back/notify?mac=12%3A34%3A56%3A78%3A90%3Aab&ip=10.1.14.12 HTTP/1.1" 200 0
Server with ip 10,0,0,1 did not get notified!
Server with ip 10,0,0,2 did not get notified!
Mac: 12:34:56:78:90:ab, IP: 10.1.14.12, Local: True

[13/Nov/2019 22:33:36] "GET /back/notify?mac=12:34:56:78:90:ab&ip=10.1.14.12 HTTP/1.1" 200 0
GET MAC OF 10.1.14.12
Request from IP: 10.1.14.12, MAC: 12:34:56:78:90:ab
<MultiValueDict: {'file': [<TemporaryUploadedFile: y1.jpg (>>)]>
END
[13/Nov/2019 22:34:17] "POST /front/imageUpload HTTP/1.1" 202 0
GET MAC OF 10.1.14.12
Request from IP: 10.1.14.12, MAC: 12:34:56:78:90:ab
<MultiValueDict: {'file': [<TemporaryUploadedFile: n1.jpg (>>)]>
END
[13/Nov/2019 22:34:18] "POST /front/imageUpload HTTP/1.1" 202 0
GET MAC OF 10.1.14.12
Request from IP: 10.1.14.12, MAC: 12:34:56:78:90:ab
<MultiValueDict: {'file': [<TemporaryUploadedFile: y3.jpg (>>)]>
END
[13/Nov/2019 22:34:19] "POST /front/imageUpload HTTP/1.1" 202 0
GET MAC OF 10.1.14.12
Request from IP: 10.1.14.12, MAC: 12:34:56:78:90:ab
<MultiValueDict: {'file': [<TemporaryUploadedFile: y6.jpg (>>)]>
END
[13/Nov/2019 22:34:20] "POST /front/imageUpload HTTP/1.1" 202 0
GET MAC OF 10.1.14.12
Request from IP: 10.1.14.12, MAC: 12:34:56:78:90:ab
<MultiValueDict: {'file': [<TemporaryUploadedFile: y9.jpg (>>)]>
END
[13/Nov/2019 22:34:20] "POST /front/imageUpload HTTP/1.1" 202 0
GET MAC OF 10.1.14.12
Request from IP: 10.1.14.12, MAC: 12:34:56:78:90:ab
<MultiValueDict: {'file': [<TemporaryUploadedFile: y4.jpg (>>)]>
END
[13/Nov/2019 22:34:21] "POST /front/imageUpload HTTP/1.1" 202 0
WARNING:tensorflow:From /home/konstantinos/Desktop/edge_service/front_service/tasks/classify.py:16: FastGFile.__init__ (from tensorflow.python.platform.gfile) is deprecated and will be removed in a future version.
Instructions for updating:
Use tf.gfile.GFile.
Responding to IP: 10.1.14.12, Mac: 12:34:56:78:90:ab
Client 12:34:56:78:90:ab is local, responding from this server
Response to 12:34:56:78:90:ab successful!
Responding to IP: 10.1.14.12, Mac: 12:34:56:78:90:ab
Client 12:34:56:78:90:ab is local, responding from this server
Response to 12:34:56:78:90:ab successful!
Responding to IP: 10.1.14.12, Mac: 12:34:56:78:90:ab
Client 12:34:56:78:90:ab is local, responding from this server
Response to 12:34:56:78:90:ab successful!
Responding to IP: 10.1.14.12, Mac: 12:34:56:78:90:ab
Client 12:34:56:78:90:ab is local, responding from this server
Response to 12:34:56:78:90:ab successful!
Responding to IP: 10.1.14.12, Mac: 12:34:56:78:90:ab
Client 12:34:56:78:90:ab is local, responding from this server
Response to 12:34:56:78:90:ab successful!
Responding to IP: 10.1.14.12, Mac: 12:34:56:78:90:ab
Client 12:34:56:78:90:ab is local, responding from this server
Response to 12:34:56:78:90:ab successful!
```



Ο χρήστης συνδέεται στον κόμβο 14



Ο εξυπηρετητής δέχεται τις εικόνες προς επεξεργασία



Επειδή ο χρήστης παραμένει να βρίσκεται συνδεδεμένος, ο εξυπηρετητής στέλνει τα αποτελέσματα απευθείας στον χρήστη.

Σχήμα 5.26: Έξοδος εξυπηρετητή που δέχεται τις εικόνες και στέλνει απευθείας τα αποτελέσματα.

```

Server running at localhost:8088...
Request sent to server 10.1.14.1, took 0.736539840698 seconds
Request sent to server 10.1.14.1, took 0.769335985184 seconds
Request sent to server 10.1.14.1, took 0.740206956863 seconds
Request sent to server 10.1.14.1, took 0.733258962631 seconds
Request sent to server 10.1.14.1, took 0.859237909317 seconds
Request sent to server 10.1.14.1, took 0.739239931107 seconds
Pending requests: 6
Pending requests: 6
Pending requests: 6
Pending requests: 6
Pending requests: 6
10.1.14.1 - - [14/Nov/2019 00:34:27] "POST / HTTP/1.1" 200 -
field fire ; 0.9533869
field : 0.04661318
Pending requests: 5
10.1.14.1 - - [14/Nov/2019 00:34:28] "POST / HTTP/1.1" 200 -
field : 0.83241653
field fire ; 0.16758344
Pending requests: 4
10.1.14.1 - - [14/Nov/2019 00:34:28] "POST / HTTP/1.1" 200 -
field fire ; 0.94383425
field : 0.05616577
Pending requests: 3
10.1.14.1 - - [14/Nov/2019 00:34:29] "POST / HTTP/1.1" 200 -
field fire ; 0.9508001
field : 0.049199894
Pending requests: 2
10.1.14.1 - - [14/Nov/2019 00:34:30] "POST / HTTP/1.1" 200 -
field fire ; 0.748798
field : 0.251202
10.1.14.1 - - [14/Nov/2019 00:34:30] "POST / HTTP/1.1" 200 -
field fire ; 0.9926852
field : 0.0073147444
All activities done.Press any key...

```

Ο χρήστης συνδέεται στον κόμβο, στέλνει τις εικόνες και δέχεται τα αποτελέσματα από τον ίδιο εξυπηρετητή.

Σχήμα 5.27: Έξοδος χρήστη, όταν δεν μετακινείται μεταξύ εξυπηρετητών.

## 6. Συμπεράσματα και Μελλοντική Εργασία

### 6.1 Σύνοψη συμπερασμάτων αξιολόγησης

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής, υλοποιήσαμε και κάναμε πειραματική αξιολόγηση σε μεθόδους εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο ενός χρήστη έξυπνου κινητού τηλεφώνου, όπως επίσης και σε δίκτυο εξυπηρετητών με την δυνατότητα μεταφόρτωσης εργασιών με υποστήριξη κινητικότητας χρήστη. Όσον αφορά τον εντοπισμό θέσης σε εσωτερικό χώρο, αξιολογήθηκαν δύο μέθοδοι που βασίζονται στην ύπαρξη ενός ασύρματου δικτύου WiFi στον χώρο και ακόμα δύο με χρήση τσιπ μέτρησης αδρανειακών και μαγνητικών δυνάμεων.

Από τα πρώτα δύο πρώτα πειράματα, αυτό που βασίζεται στην μετρούμενη απόσταση με βάση την ισχύ σήματος είχε αρκετά μεγάλη προετοιμασία και κακή σταθερότητα και ακρίβεια, ενώ το δεύτερο που βασίζεται σε δικτυακά αποτυπώματα είχε πολύ μεγάλη ακρίβεια αλλά και χρονοβόρα προετοιμασία. Γενικά, η πρώτη μέθοδος συστήνεται για περιπτώσεις όπου είναι γνωστή μόνο η θέση των κόμβων εκπομπής και ίσως και η ισχύς εκπομπής τους, ενώ η δεύτερη σε περιπτώσεις καλής γνώσης του χώρου και επαρκών δεδομένων μετρήσεων ισχύος εκπομπής σε πολλαπλά σημεία του.

Περνώντας στα επόμενα δύο πειράματα, το πρώτο που βασίζεται στην ολοκλήρωση της μετρούμενης επιτάχυνσης για την εύρεση της ταχύτητας και της θέσης αποδείχτηκε απαγορευτικό στην πράξη και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πραγματικές εφαρμογές, όσον αφορά τον κλάδο του εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο. Το δεύτερο από αυτά είχε αξιοσημείωτη ακρίβεια στην μέτρηση, απλότητα στην προετοιμασία αλλά εξάρτηση από τα δεδομένα του χρήστη όπως το μήκος βήματος. Σε πραγματικές εφαρμογές, η χρήση αυτού του τρόπου μέτρησης βημάτων είναι εκτενής και συνάμα η μέτρηση μέσω αυτού της δραστηριότητας, των θερμίδων κλπ.

Τέλος, το τελευταίο πείραμα, που λόγω περιορισμένου χρόνου και εξάρτησης από την εφαρμογή στην οποία γίνεται χρήση, δεν αναλύθηκε εκτενώς, αφορούσε την δυνατότητα επιλογής του χρήστη ενός εξυπηρετητή με κριτήρια εξοικονόμησης μπαταρίας και δικτυακής απόδοσης, για μεταφόρτωση εικόνας προς επεξεργασία. Το πείραμα ήταν αρκετά ελπιδοφόρο καθώς αποδεικνύει πως είναι απολύτως δυνατό, από την πλευρά και του χρήστη αλλά και του παρόχου υπηρεσιών, να δημιουργηθεί ένα μητροπολιτικό δίκτυο με εξυπηρετητές έτοιμους να επεξεργαστούν αιτήματα χρηστών με περιορισμένους επεξεργαστικούς πόρους. Ο αλγόριθμός μας, αν και αρκετά απλός, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην πράξη, με μικρές αλλαγές ανάλογα την εφαρμογή, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση χρήσης δικτύου τηλεφωνίας 5G.

## 6.2 Μελλοντικές Προεκτάσεις

Το έργο της παρούσας διπλωματικής εργασίας μπορεί να επεκταθεί και στις εξής ακόλουθες ενδεικτικές, αλλά συγκεκριμένες, κατευθύνσεις:

- Τον συνδυασμό, όπως αναλύθηκε στην βιβλιογραφία, μιας μεθόδου εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο με βάση το δίκτυο και μιας μεθόδου με βάση το αδρανειακό τσιπ. Η συνδυασμένη αυτή μέθοδος εκμεταλλεύεται την «μακροπρόθεσμη» ακρίβεια των μεθόδων δικτύου, ότι δηλαδή δεν αποκλίνουν με βάση τον χρόνο αλλά έχουν σταθερό σφάλμα, και την «βραχυπρόθεσμη» ακρίβεια των μεθόδων με το τσιπ, ότι έχουν σταθερό μικρό σφάλμα το οποίο όμως λειτουργεί αθροιστικά με την πάροδο του χρόνου. Πιστεύουμε ότι οι δυνατότητες του ενός αλληλοσυμπληρώνουν τις αδυναμίες του άλλου και θα δημιουργηθεί μια μέθοδος εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο με μακροπρόθεσμη και βραχυπρόθεσμη ακρίβεια με σφάλμα έως 2 μέτρα.
- Την μελέτη επιπλέον αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης, εκτός από τον πιο απλό που είναι ο K Κοντινότερων Γειτόνων, για την μέθοδο δικτυακού αποτυπώματος. Πολλά υποσχόμενη θα είναι και η χρήση τεχνικών βαθιάς μάθησης σε αυτό το πείραμα, η οποία τείνει να παραγκωνίσει όλες τις υπόλοιπες μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης, με κατάλληλη ρύθμιση υπερπαραμέτρων και συνεχή ανατροφοδότηση.
- Την χρήση ελλειψοειδούς ταιριάσματος (ellipsoid fitting) για την βαθμονόμηση της πυξίδας, που είναι πιο εξελιγμένη μαθηματικά μέθοδος βαθμονόμησης και μπορεί να είναι το κλειδί για την σωστή λειτουργία της μεθόδου βήματος και κατεύθυνσης χωρίς την ανάγκη του περιορισμού των δυνατών κατευθύνσεων σε ακέραιο αριθμό.
- Την δοκιμή όλων των πειραμάτων εντοπισμού θέσης σε μεγαλύτερους χώρους εργαστηρίων και με χρήση smartphone.
- Την δοκιμή του πειράματος μεταφόρτωσης εργασιών σε εξυπηρετητές με μεγάλη επεξεργαστική ισχύ, γεγονός το οποίο θα μας ανάγκαζε στην αναβάθμιση του αλγορίθμου επιλογής εξυπηρετητή λόγω της δυσκολίας ακριβών μετρήσεων θέσης και χρόνου αναμονής επεξεργασίας.

## Βιβλιογραφία

- [1] R. Kemp, N. Palmer, T. Kielmann, F. Seinstra, N. Drost και J. Maassen, «eyedentify: Multimedia cyber foraging from a smartphone,» *Multimedia, 2009. ISM'09. 11th IEEE International Symposium on. IEEE*, pp. 392-399, 2009.
- [2] X. Yang, T. Pan και J. Shen, «On 3g mobile e-commerce platform,» *Ubi-media Computing (U-Media), 2010, IEEE*.
- [3] C. Doukas, T. Pliakas και a. I. Maglogiannis, «Mobile healthcare information management utilizing cloud computing and android os,» *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2010 Annual*, pp. 1037-1040, 2010.
- [4] W.-T. Tang, C.-M. Hu και a. C.-Y. Hsu, «A mobile phone based homecare management system on the cloud,» *Biomedical Engineering and Informatics (BMEI), 2010 3rd International Conference on, vol. 6.IEEE*, pp. 2442-2445, 2010.
- [5] R. Khalife και I. Ferzli, «Mobile cloud computing educational tool for image/video processing algorithms,» *Digital Signal Processing Workshop and IEEE Signal Processing Education Workshop*, pp. 529-533, 2011.
- [6] W. Zhao, Y. Sun και a. L. Dai, «Improving computer basis teaching through mobile communication and cloud computing technology,» *Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE), 2010 3rd International Conference on, vol. 1*, pp. 1-452, 2010.
- [7] E. Cuervo, A. Balasubramanian, D.-k. Cho, A. Wolman και S. Saroiu, «“Maui: making smartphones last longer with code offload,» *Proc. 8th international conference on Mobile systems*, pp. 49-62, 2010.
- [8] V. S. P. Holliday και a. J., «Performing intelligent mobile searches in the cloud using semantic technologies,» *Granular Computing (GrC), 2010 IEEE International Conference*, pp. 381-386, 2010.
- [9] K. Atta ur Rehman, O. Mazliza, M. Sajjad Ahmad and U. K. Samee, "A Survey of Mobile Cloud Computing Application Models," *IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, VOL. 16, NO. 1*, p. 1, 2014.
- [10] B. Abhishek και N. Shivangi, «A Study on the Techniques of Computational Offloading from Mobile Devices to Cloud,» *Advances in Computational Sciences and Technology*, pp. 2039-2040, 2017.
- [11] B. D. Connolly P., «Indoor Location in Retail: Where Is the Money? Business Models Analysis Report,» London, UK, 2003.
- [12] C. Alejandro, B. Marc, M. Antoni και V. Jose Lopez, «A Review of Pedestrian Indoor Positioning Systems for Mass Market Applications,» *MDPI: Sensors*, p. 1, 22 August 2017.
- [13] M. Jia, J. Cao και a. W. Liang, «Optimal cloudlet placement and user to cloudlet allocation in wireless metropolitan area networks,» *IEEE Transactions on Cloud Computing*, 2015.
- [14] E. Asma, R. Md. Abdur, M. H. Mohammad, A. Atif και F. Giancarlo, «A Mobility-Aware Optimal Resource Allocation Architecture for Big Data Task

- Execution on Mobile Cloud in Smart Cities,» *IEEE Communications Magazine Volume: 56 Issue: 2*, pp. 110 - 117, 2017.
- [15] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee και J. Liu, «Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems,» *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part C*, pp. 37, 1067–1080, 2007.
- [16] A. Boukerche, H. Oliveira, E. Nakamura και A. Loureiro, «Localization systems for wireless sensor networks,» *Wirel. Commun. IEEE*, αρ. 14, p. 6–12, 2007.
- [17] A. Harter, A. Hopper, P. Steggles, A. Ward και P. Webster, «The Anatomy of a Context-aware Application,» *In Proceedings of the 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, Seattle, WA, USA, 15–19 August 1999*, p. 59–68.
- [18] N. Priyantha, A. Chakraborty και H. Balakrishnan, «The Cricket Location-support System,» *In Proceedings of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, Boston, MA, USA, 6–11 August 2000*, p. 32–43.
- [19] S. Gezici, Z. Tian, G. Giannakis, H. Kobayashi, A. Molisch, H. Poor και Z. Sahinoglu, «Localization via ultra-wideband radios: A look at positioning aspects for future sensor networks,» *IEEE Signal Process. Mag. 2005*, 22, p. 70–84.
- [20] Y. Shen και M. Win, «Fundamental Limits of Wideband Localization; Part I: A General Framework,» *IEEE Trans. Inf. Theory 2010*, 56, p. 4956–4980.
- [21] Y. Shen, H. Wymeersch και M. Win, «Fundamental Limits of Wideband Localization; Part II: Cooperative Networks,» *IEEE Trans. Inf. Theory 2010*, 56, p. 4981–5000.
- [22] X. Cui, T. Gulliver και H. Li J. Zhang, «Vehicle Positioning Using 5G Millimeter-Wave Systems,» *IEEE Access 2016*, 4, p. 6964–6973.
- [23] N. Patwari, J. Ash, S. Kyperountas, A. Hero, R. Moses και N. Correal, «Locating the nodes: Cooperative localization in wireless sensor networks,» *IEEE Signal Process. Mag. 2005*, 22, p. 54–69.
- [24] D. Niculescu και B. Nath, «Ad hoc positioning system (APS) using AOA,» *In Proceedings of the Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, San Francisco, CA, USA, 30 March–3 April 2003; Volume 3*, p. 1734–1743.
- [25] V. Pierlot και M. Droogenbroeck, «A New Three Object Triangulation Algorithm for Mobile Robot Positioning,» *IEEE Trans. Robot. 2014*, 30, p. 566–577.
- [26] G. Mao, B. Fidan και B. Anderson, «Wireless sensor network localization techniques,» *Comput. Netw. 2007*, 51, p. 2529–2553.
- [27] X. Li, «Collaborative Localization With Received-Signal Strength in Wireless Sensor Networks,» *IEEE Trans. Veh. Technol. 2007*, 56, p. 3807–3817.
- [28] C. Y. Yang J., «Indoor Localization Using Improved RSS-Based Lateration Methods,» *In Proceedings of the 28th IEEE Global Telecommunications Conference on Global telecommunications, Honolulu, HI, USA, 30 November–4 December 2009*, p. 1–6.
- [29] A. Zanella, «Best Practice in RSS Measurements and Ranging,» *IEEE Commun. Surv. Tutor. 2016*, 18,, p. 2662–2686.

- [30] A. Correa, M. Llado, A. Morell και J. Vicario, «Indoor Pedestrian Tracking by On-Body Multiple Receivers,» *IEEE Sens. J.* 2016, 16, p. 2545–2553.
- [31] F. Palumbo, P. Barsocchi, S. Chessa και J. Augusto, «A stigmergic approach to indoor localization using Bluetooth Low Energy beacons,» *In Proceedings of the 2015 12th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS), Karlsruhe, Germany, 25–28 August 2015*, pp. 1–6.
- [32] N. Patwari, A. Hero, M. Perkins, N. Correal και R. O’Dea, «Relative location estimation in wireless sensor networks,» *IEEE Trans. Signal Process.* 2003, 51, p. 2137–2148.
- [33] A. Harter και A. Hopper, «A distributed location system for the active office,» *IEEE Netw.* 1994, 8, p. 62–70.
- [34] X. Lin, T. Ho, C. Fang, Z. Yen, B. Yang και F. Lai, «A mobile indoor positioning system based on iBeacon technology,» *In Proceedings of the 2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Milan, Italy, 25–29 August 2015*, p. 4970–4973.
- [35] N. Bulusu, J. Heidemann και D. Estrin, «GPS-less low-cost outdoor localization for very small devices,» *IEEE Pers. Commun.* 2000, 7, p. 28–34.
- [36] P. Bahl και V. Padmanabhan, «RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system,» *In Proceedings of the Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, TelAviv, Israel, 26–30 March 2000*, pp. 775–784.
- [37] D. Han, S. Jung, M. Lee και G. Yoon, «Building a Practical Wi-Fi-Based Indoor Navigation System,» *IEEE Perv. Comput.* 2014, 13, p. 72–79.
- [38] G. Nuño Barrau και J. Páz-Borrillo, «A New Location Estimation System for Wireless Networks Based on Linear Discriminant Functions and Hidden Markov Models,» *EURASIPJ. Appl. SignalProcess.* 2006,2006, p. 159.
- [39] M. Youssef και A. Agrawala, «The Horus WLAN Location Determination System,» *In Proceedings of the 3rd International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services, Seattle, WA, USA, 6–8 June 2005*, p. 205–218.
- [40] D. Madigan, E. Einahrawy, R. Martin, W. Ju, P. Krishnan και A. Krishnakumar, «Bayesian indoor positioning systems,» *In Proceedings of the IEEE 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, Miami, FL, USA, 13–17 March 2005*, pp. 1217–1227.
- [41] P. Mirowski, P. Whiting, H. Steck, R. Palaniappan, M. MacDonald, D. Hartmann και T. Ho, «Probability Kernel Regression for WiFi Localisation,» *J. Locat. Based Serv.* 2012, 6,, p. 81–100.
- [42] J. Chung, M. Donahoe, C. Schmandt, I. Kim, P. Razavai και M. Wiseman, «Indoor Location Sensing Using Geo-magnetism,» *In Proceedings of the 9th International Conference on Mobile Systems, Applications and Services, Bethesda, MD, USA, 28 June–1 July 2011*, pp. 141–154.
- [43] B. Li, T. Gallagher, D. A.G. και C. Rizos, «How feasible is the use of magnetic field alone for indoor positioning?,» *In Proceedings of the 2012 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), Sydney, Australia, 13–15 November 2012*, pp. 1–9.
- [44] K. Subbu, B. Gozick και R. Dantu, «Indoor localization through dynamic time warping,» *In Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on*

- Systems, Man, and Cybernetics, Anchorage, AK, USA, 9–12 October 2011*, pp. 1639-1644.
- [45] H. Wu, S. He και S. Chan, «Efficient Sequence Matching and Path Construction for Geomagnetic Indoor Localization,» *In Proceedings of the 2017 International Conference on Embedded Wireless Systems and Networks, Uppsala, Sweden, 20–22 February 2017*, p. 156–167.
- [46] L. Merry, R. Faragher και S. Scheduling, «Comparison of Opportunistic Signals for Localisation,» *IFACProc.Vol. 2010, 43,*, p. 109–114.
- [47] A. Hossain και W. Soh, «A survey of calibration-free indoor positioning systems,» *Comput. Commun. 2015, 66*, pp. 1-13.
- [48] B. Dil και P. Havinga, «On the calibration and performance of RSS-based localization methods,» *In Proceedings of the 2010 Internet of Things (IOT), Tokyo, Japan, 29 November–1 December 2010*, p. 1–8.
- [49] A. Khalajmehrabadi, N. Gatsis και D. Akopian, «Modern WLAN Fingerprinting Indoor Positioning Methods and Deployment Challenges,» *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, 2017.
- [50] S. Jung, B. Moon και D. Han, «Performance Evaluation of Radio Map Construction Methods for Wi-Fi Positioning Systems,» *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. 2017, 18*, p. 880–889, 2017.
- [51] R. Harle, «A Survey of Indoor Inertial Positioning Systems for Pedestrians,» *IEEE Commun. Surv. Tutor. 2013, 15*, p. 1281–1293.
- [52] Woodman O.J., «An Introduction to Inertial Navigation,» *Computer Laboratory, University of Cambridge: Cambridge, UK, 2007*, pp. 1476-2986.
- [53] D. Titterton και J. Weston, «Strapdown Inertial Navigation Technology,» σε *Electromagnetics and Radar Series*, London, UK, Institution of Engineering and Technology, 2004.
- [54] E. Foxlin, «Pedestrian tracking with shoe-mounted inertial sensors,» *IEEEComput. Graph. Appl. 2005,25*, p. 38–46.
- [55] S. Rajagopal, «Personal Dead Reckoning System with Shoe Mounted Inertial Sensors,» *Master's Thesis, KTH, Stockholm, Sweden, 2008*.
- [56] J. Borenstein, L. Ojeda και S. Kwanmuang, «Heuristic reduction of gyro drift in IMU-based personnel tracking systems,» *Proc. SPIE 2009, 7306, 73061H*.
- [57] A. Jiménez, F. Seco, J. Prieto και J. Guevara, «Indoor pedestrian navigation using an INS/EKF framework for yaw drift reduction and a foot-mounted IMU,» *In Proceedings of the 2010 7th Workshop on Positioning Navigation and Communication (WPNC), Dresden, Germany, 11–12 March 2010*, p. 135–143.
- [58] F. Zampella, M. Khider, P. Robertson και A. Jiménez, «Unscented Kalman filter and Magnetic Angular Rate Update (MARU) for an improved Pedestrian Dead-Reckoning,» *In Proceedings of the 2012 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium, Myrtle Beach, SC, USA, 23–26 April 2012*, pp. 129-139.
- [59] Q. Ladetto, «On foot navigation: Continuous step calibration using both complementary recursive prediction and adaptive Kalman filtering,» *In Proceedings of the 13th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 2000), Salt Lake City, UT, USA, 19–22 September 2000*, p. 1735–1740.



- [60] S. A. Beauregard, «Helmet-Mounted Pedestrian Dead Reckoning System,» *In Proceedings of the 3rd International Forum on Applied Wearable Computing, Bremen, Germany, 15–16 March 2006*, p. 1–11.
- [61] S. Lee και K. Mase, «Recognition of walking behaviors for pedestrian navigation,» *In Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Control Applications, Mexico City, Mexico, 7 September 2001*, p. 1152–1155.
- [62] R. Levi και T. Judd, «Dead Reckoning Navigational System Using Accelerometer to Measure Foot Impacts». *U.S. Patent 5,583,776, 10 December 1996*.
- [63] E. Munoz Diaz, «Inertial pocket navigation system: Unaided 3D positioning,» *Sensors 2015, 15*, p. 9156–9178.
- [64] K. Xiaomin, H. Baoqi και Q. Guodong, «A Novel Walking Detection and Step Counting Algorithm Using Unconstrained Smartphones». *Sensors (Basel). 2018 Jan; 18(1): 297*.
- [65] Weinberg H., «Using the ADXL202 in pedometer and personal navigation applications,» *Analog Devices AN 602 Appl. Note 2002, 2*, p. 1–6.
- [66] L. Klingbeil και T. Wark, «A Wireless Sensor Network for Real-Time Indoor Localisation and Motion Monitoring,» *In Proceedings of the IPSN '08, International Conference on Information Processing in Sensor Networks, St. Louis, MO, USA, 22–24 April 2008*, p. 39–50.
- [67] W. Kang και Y. Han, «SmartPDR: Smartphone-based pedestrian dead reckoning for indoor localization». *IEEE Sens. J. 2015, 15*, doi:10.1109/JSEN.2014.2382568.
- [68] A. Jimenez, F. Seco, C. Prieto και J. Guevara, «A comparison of Pedestrian Dead-Reckoning algorithms using low-cost MEMS IMU,» *In Proceedings of the WISP 2009 IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing, Budapest, Hungary, 26–28 August 2009*, p. 37–42.
- [69] A. Dirican και S. Aksoy, «Step Counting Using Smartphone Accelerometer and Fast Fourier Transform,» *Sigma. 2017, 8*, p. 175–182.
- [70] N. Ho, P. Truong και G. Jeong, «Step-Detection and Adaptive Step-Length Estimation for Pedestrian Dead-Reckoning at Various Walking Speeds Using a Smartphone,» *Sensors 16:1423*, 2016.
- [71] A. Brajdic και R. Harle, «Walk detection and step counting on unconstrained smartphones,» *Proceedings of the ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing; Zurich, Switzerland. 8–12 September 2013*, p. 225–234.
- [72] H. Durrant-Whyte και T. Bailey, «Simultaneous localization and mapping: Part I. & Part II,» *IEEE Robot. Autom. Mag. 2006, 13*, pp. 99-110, 108-117.
- [73] M. Angermann και P. Robertson, «FootSLAM: Pedestrian Simultaneous Localization and Mapping without Exteroceptive Sensors - Hitchhiking on Human Perception and Cognition,» *Proc. IEEE 2012, 100*, p. 1840–1848.
- [74] M. Garcia Puyol, M. Frassl και P. Robertson, «Collaborative Mapping for Pedestrian Navigation in Security Applications,» *In Proceedings of the 7th Security Research Conference on Future Security 2012, Bonn, Germany, 4–6 September 2012*, p. 49–60.

- [75] S. Kaiser και E. Diaz, «PocketSLAM based on the principle of the FootSLAM algorithm,» *In Proceedings of the 2015 International Conference on Location and GNSS (ICL-GNSS), Gothenburg, Sweden, 22–24 June 2015*, pp. 1-5.
- [76] K. Frank, B. Krach, N. Catterall και P. Robertson, «Development and Evaluation of a Combined WLAN & Inertial Indoor Pedestrian Positioning System».*In Proceedings of the 22nd International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2009), Savannah, GA, USA, 22–25 September 2009.*
- [77] A. Jimenez, F. Granja, J. Honorato και J. Rosas, «Accurate Pedestrian Indoor Navigation by Tightly Coupling Foot-Mounted IMU and RFID Measurements,» *IEEE Trans. Instrum. Measur.* 2012, 61, p. 178–189.
- [78] F. Evennou και F. Marx, «Advanced Integration of WIFI and Inertial Navigation Systems for Indoor Mobile Positioning,» *EURASIP J. Appl. Signal Process.* 2006, p. 164, 2006.
- [79] O. Woodman και R. Harle, «Pedestrian Localisation for Indoor Environments,» *In Proceedings of the 10th International Conference on Ubiquitous Computing, Seoul, Korea, 21–24 September 2008*, p. 114–123.
- [80] Q. Jiuchao, P. Ling, M. Jiabin, Y. Rendong και L. Peilin, «Vector Graph Assisted Pedestrian Dead Reckoning Using an Unconstrained Smartphone,» *Sensors* 2015, 15, pp. 5032-5057, 2 March 2015.
- [81] T. Stockx, B. Hecht και J. Schöning, «SubwayPS: Towards Smartphone Positioning in Underground Public,» 4–7 November 2014.
- [82] L. Pei, J. Liu, R. Guinness, Y. Chen, H. Kuusniemi και R. Chen, «Using LS-SVM based motion recognition for smartphone indoor wireless positioning,» σε *Sensors* 2012, 12.
- [83] K. Kumar και Y.-H. Lu, «Cloud computing for mobile users: Can offloading computation save energy?,» *Computer*, vol. 43, no. 4, p. 51–56, 2010.
- [84] B. G. Chun, S. Ihm, P. Maniatis και M. Naik, «Clonecloud: boosting mobile device applications through cloud clone execution.»*arXiv preprint arXiv:1009.3088, 2010.*
- [85] X. Zhang, S. Jeong, A. Kunjithapatham και S. Gibbs, «Towards an elastic application model for augmenting computing capabilities of mobile platforms,» *Mobile wireless middleware, operating systems, and applications. Springer, 2010*, p. 161–174.
- [86] V. March, Y. Gu, E. Leonardi, G. Goh, M. Kirchberg και B. S. Lee, «μcloud: towards a new paradigm of rich mobile applications,» *Procedia Computer Science*, vol. 5, p. 618–624, 2011.
- [87] M. Satyanarayanan, P. Bahl, R. Caceres και N. Davies, «The case for vm-based cloudlets in mobile computing,» *IEEE Pervasive Computing*, vol. 8, no. 4, p. 14–23, 2009.
- [88] K. Kumar και Y.-H. Lu, «Cloud computing for mobile users: Can offloading computation save energy?,» *Computer*, vol. 43, no. 4, p. 51–56, 2010.
- [89] R. K. Ma, K. T. Lam και C.-L. Wang, «excloud: Transparent runtime support for scaling mobile applications in cloud,» *Cloud and Service Computing (CSC), 2011 International Conference on. IEEE*, p. 103–110, 2011.
- [90] N. Kalatzis, M. Avgeris, D. Dechouniotis, K. Papadakis-Vlachopapadopoulos, I. Roussaki και S. Papavassiliou, «Edge Computing in IoT Ecosystems for

- UAV-Enabled Early Fire Detection,» σε *In 2018 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP)* (pp. 106-114). IEEE, 2018, June.
- [91] M. Avgeris, D. Spatharakis, D. Dechouniotis, N. Kalatzis, I. Roussaki και S. Papavassiliou, «Where there is fire there is smoke: a scalable edge computing framework for early fire detection,» σε *Sensors*, 19(3), p.639, 2019.
- [92] M. Avgeris, D. Dechouniotis, N. Athanasopoulos και S. Papavassiliou, «Adaptive resource allocation for computation offloading: A control-theoretic approach,» σε *ACM Transactions on Internet Technology (TOIT)*, 19(2), p.23, 2019.
- [93] Wikipedia, «Παραλλαγή πυξίδας,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://el.wikipedia.org/wiki/Παραλλαγή\\_πυξίδας](https://el.wikipedia.org/wiki/Παραλλαγή_πυξίδας). [Πρόσβαση 18 2 2020].
- [94] Δ. Καραγεωργίου, «Σφάλμα-πυξίδας,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.psarema-skafos.gr/ell/product/Σφάλμα-πυξίδας..> [Πρόσβαση 18 2 2020].
- [95] R. C. Kenneth και S. Alexander, «Motion Sensors Explainer,» w3c, 30 August 2017. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.w3.org/TR/motion-sensors/>. [Πρόσβαση 6 June 2019].
- [96] M. Pedley, «Tilt sensing using a three-axis accelerometer,» *Freescale Semicond. Appl. Note 2013, 1*, p. 2012–2013.
- [97] T. Ozyagcilar, «Implementing a Tilt-Compensated eCompass using Accelerometer and Magnetometer Sensor,» *Freescale Semiconductor Application Note AN4248*, pp. 1-22, 11 2015.
- [98] Wikipedia, «Τετραδόνιο,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://el.wikipedia.org/wiki/Τετραδόνιο>. [Πρόσβαση 18 2 2020].
- [99] J. J. Craig., *Introduction to Robotics Mechanics and Control*, Pearson Education International, 2005.
- [100] J. B. Kuipers, «Quaternions and Rotation Sequences: A Primer with Applications to Orbits, Aerospace and Virtual Reality,» *Princeton University Press*, 1999.
- [101] A. Wireless, «Why WiFi is Complicated: WiFi Signal Issues,» 30 June 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.accoladewireless.com/wlan-wifi-signal-issues/>. [Πρόσβαση 30 October 2019].
- [102] MetaGeek, LLC., «Understanding RSSI,» MetaGeek, LLC., 2019. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.metageek.com/training/resources/understanding-rssi.html>. [Πρόσβαση 11 November 2019].