



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Συλλογή δεδομένων (data acquisition) σε έξυπνα συστήματα αγροτικής παραγωγής (smart agriculture)

Σίμος Παναγιώτης

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

ΔΡ. ΘΕΟΦΙΛΟΣ ΧΡΥΣΙΚΟΣ
ΔΙΔΑΣΚΩΝ – ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Λαμία 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Συλλογή δεδομένων (data acquisition) σε έξυπνα συστήματα αγροτικής παραγωγής (smart agriculture)

Σίμος Παναγιώτης

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

ΔΡ. ΘΕΟΦΙΛΟΣ ΧΡΥΣΙΚΟΣ

ΔΙΔΑΣΚΩΝ – ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Λαμία 2023



UNIVERSITY OF
THESSALY

SCHOOL OF SCIENCE

DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE & TELECOMMUNICATIONS

Data Acquisition in Smart Farming

Simos Panagiotis

FINAL THESIS
ADVISOR

DR. THEOFILOS CHRYSIKOS

TUTOR – ASSOCIATE UNIVERSITY OF THESSALY

Lamia 2023

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

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

Ημερομηνία: 13/2/2023

Ο – Η Δηλ.

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μοντελοποίηση των απωλειών διαδρομής είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της εξασθένησης ενός σήματος καθώς αυτό ταξιδεύει μέσω ενός μέσου, όπως ο αέρας ή το νερό. Στο πλαίσιο της ασύρματης επικοινωνίας, η μοντελοποίηση απωλειών διαδρομής χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της ισχύος του σήματος σε έναν δέκτη δεδομένης της απόστασης μεταξύ πομπού και δέκτη και των χαρακτηριστικών του μέσου μέσω του οποίου ταξιδεύει το σήμα.

Στο πλαίσιο της έξυπνης γεωργίας, η μοντελοποίηση απωλειών διαδρομής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση της τοποθέτησης ασύρματων αισθητήρων και συσκευών που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές γεωργίας ακριβείας. Με τη μοντελοποίηση των απωλειών διαδρομής μεταξύ ενός αισθητήρα και μιας πύλης, για παράδειγμα, οι αγρότες μπορούν να διασφαλίσουν ότι οι αισθητήρες τους είναι τοποθετημένοι σε βέλτιστες θέσεις ώστε να εξασφαλίζεται αξιόπιστη και ακριβής μετάδοση δεδομένων.

Επιπλέον, η μοντελοποίηση των απωλειών διαδρομής μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού ασύρματων δικτύων που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές έξυπνης γεωργίας. Με τη μοντελοποίηση των χαρακτηριστικών απώλειας διαδρομής των διαφόρων ασύρματων τεχνολογιών, οι αγρότες μπορούν να επιλέξουν την καταλληλότερη τεχνολογία για τη συγκεκριμένη εφαρμογή τους, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως το εύρος, το εύρος ζώνης και η κατανάλωση ενέργειας.

Συνολικά, η μοντελοποίηση των απωλειών διαδρομής αποτελεί σημαντικό εργαλείο για την ανάπτυξη και την εγκατάσταση ασύρματων δικτύων που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές έξυπνης γεωργίας, επιτρέποντας στους αγρότες να βελτιστοποιήσουν τη χρήση της τεχνολογίας για τη βελτίωση της αποδοτικότητας και της παραγωγικότητας των εργασιών τους.

Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν την επικύρωση της μοντελοποίησης απωλειών διαδρομής στην έξυπνη γεωργία, όπως

Περιβαλλοντικοί παράγοντες: Οι περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής όπου επικυρώνεται η μοντελοποίηση απώλειας διαδρομής μπορεί να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην ακρίβεια του μοντέλου. Παράγοντες όπως το έδαφος, η βλάστηση και ο καιρός μπορούν να επηρεάσουν τη διάδοση του σήματος και να εισάγουν μεταβλητότητα στα αποτελέσματα.

Συχνότητα λειτουργίας: Η συχνότητα στην οποία λειτουργεί το σύστημα ασύρματης επικοινωνίας μπορεί επίσης να επηρεάσει την επικύρωση του μοντέλου απωλειών διαδρομής. Διαφορετικές συχνότητες θα παρουσιάσουν διαφορετικά επίπεδα εξασθένησης καθώς διαδίδονται στο περιβάλλον, επομένως είναι σημαντικό να επικυρώνεται το μοντέλο στη συχνότητα ενδιαφέροντος.

Χαρακτηριστικά της κεραίας: Τα χαρακτηριστικά των κεραιών που χρησιμοποιούνται στο σύστημα ασύρματης επικοινωνίας μπορούν επίσης να επηρεάσουν την ακρίβεια του μοντέλου απώλειας διαδρομής. Το κέρδος της κεραίας, η πόλωση και τα μοτίβα ακτινοβολίας μπορούν να επηρεάσουν τη διάδοση του σήματος και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επικύρωση του μοντέλου.

Απόσταση μεταξύ των κόμβων: Η απόσταση μεταξύ των κόμβων ασύρματης επικοινωνίας μπορεί να επηρεάσει την ισχύ και την εμβέλεια του σήματος και θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την επικύρωση του μοντέλου απώλειας διαδρομής.

Εμπόδια: Εμπόδια όπως κτίρια, δέντρα ή άλλες κατασκευές μπορούν επίσης να επηρεάσουν τη διάδοση του σήματος και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επικύρωση του μοντέλου.

Σφάλματα μέτρησης: Τα σφάλματα στη μέτρηση της ισχύος ή της εμβέλειας του σήματος μπορούν επίσης να επηρεάσουν την επικύρωση του μοντέλου απώλειας διαδρομής. Είναι σημαντικό να χρησιμοποιείτε ακριβή εξοπλισμό και τεχνικές μέτρησης για την ελαχιστοποίηση αυτών των σφαλμάτων.

Συνολικά, η επικύρωση της μοντελοποίησης της απώλειας διαδρομής στην έξυπνη γεωργία απαιτεί προσεκτική εξέταση αυτών των παραγόντων, καθώς και των ειδικών απαιτήσεων του συστήματος ασύρματης επικοινωνίας που χρησιμοποιείται στην εφαρμογή.

Στην παρούσα διατριβή διερευνάται η συσχέτιση της έξυπνης γεωργίας και της ευστάθειας της μοντελοποίησης απωλειών διαδρομής. Το πρώτο κεφάλαιο περιλαμβάνει μια συζήτηση σχετικά με τη σημασία των οργανικών καναλιών επικοινωνίας για την έξυπνη γεωργία. Στο δεύτερο κεφάλαιο συζητείται η βασισμένη στο IoT αρχιτεκτονική της έξυπνης γεωργίας. Το τρίτο κεφάλαιο περιλαμβάνει λεπτομερή περιγραφή ενός συστήματος έξυπνης γεωργίας όπου η μοντελοποίηση απωλειών διαδρομής έχει προτεραιότητα έναντι άλλων πτυχών του σχεδιασμού. Τέλος, το τέταρτο κεφάλαιο περιλαμβάνει ένα νέο δοκιμαστικό πεδίο στη Δανία, όπου παρουσιάζονται μετρήσεις με ένα UAV που συμμετέχει στην έξυπνη γεωργία. Συζητείται η υποβάθμιση του SINR και τα αποτελέσματα επεξεργάζονται περαιτέρω σε περιβάλλον MATLAB μέσω προσομοιώσεων. Η διατριβή ολοκληρώνεται με συμπεράσματα και παραπομπές.

ABSTRACT

Path loss modeling is a technique used to estimate the attenuation of a signal as it travels through a medium, such as air or water. In the context of wireless communication, path loss modeling is used to predict the signal strength at a receiver given the distance between the transmitter and receiver and the characteristics of the medium through which the signal travels.

In the context of smart farming, path loss modeling can be used to optimize the placement of wireless sensors and devices used in precision agriculture applications. By modeling the path loss between a sensor and a gateway, for example, farmers can ensure that their sensors are placed in optimal locations to ensure reliable and accurate data transmission.

In addition, path loss modeling can also be used to optimize the design of wireless networks used in smart farming applications. By modeling the path loss characteristics of different wireless technologies, farmers can choose the most appropriate technology for their specific application, taking into account factors such as range, bandwidth, and power consumption.

Overall, path loss modeling is an important tool in the development and deployment of wireless networks used in smart farming applications, enabling farmers to optimize their use of technology to improve the efficiency and productivity of their operations.

There are several factors that influence the validation of path loss modeling in smart farming, including:

Environmental factors: The environmental conditions of the area where the path loss modeling is being validated can have a significant impact on the accuracy of the model. Factors such as terrain, vegetation, and weather can affect the signal propagation and introduce variability into the results.

Frequency of operation: The frequency at which the wireless communication system operates can also influence the validation of the path loss model. Different frequencies will experience different levels of attenuation as they propagate through the environment, so it's important to validate the model at the frequency of interest.

Antenna characteristics: The characteristics of the antennas used in the wireless communication system can also affect the accuracy of the path loss model. Antenna gain, polarization, and radiation patterns can all impact the signal propagation and should be considered when validating the model.

Distance between nodes: The distance between the wireless communication nodes can impact the signal strength and range, and should be considered when validating the path loss model.

Obstructions: Obstacles such as buildings, trees, or other structures can also impact the signal propagation and should be taken into account when validating the model.

Measurement errors: Errors in the measurement of the signal strength or range can also affect the validation of the path loss model. It's important to use accurate measurement equipment and techniques to minimize these errors.

Overall, the validation of path loss modeling in smart farming requires careful consideration of these factors, as well as the specific requirements of the wireless communication system being used in the application.

In this thesis, the correlation of smart farming and path loss modeling robustness is investigated. The first chapter features a discussion on the significance of organic communication channels for smart farming. The second chapter discusses the IoT-based architecture of smart farming. The third chapter features a detailed description of a smart farming system where path loss modeling takes priority over other aspects of design. Finally, the fourth chapter features a novel test-bed in Denmark where measurements featuring a UAV involved in smart farming are presented. The degradation of SINR is discussed and results are further processed in MATLAB environment via simulations. The thesis ends with conclusions and references.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	I
ABSTRACT	III
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΚΑΝΑΛΙΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΚΑΙ SMART FARMING.....	2
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	2
1.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	4
1.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ.....	9
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
2.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ SMART FARMING ΒΑΣΙΣΜΕΝΕΣ ΣΤΟ ΙΟΤ	10
2.3 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΙΟΤ-BASED SMART FARMING ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	12
2.4 ΕΞΟΡΥΞΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ ΓΙΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ GS-TO-UAV ΣΕ ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΞΥΠΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ.....	23
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	23
3.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	27
3.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	46
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	46
4.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	47
4.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ MATLAB.....	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	60
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	61

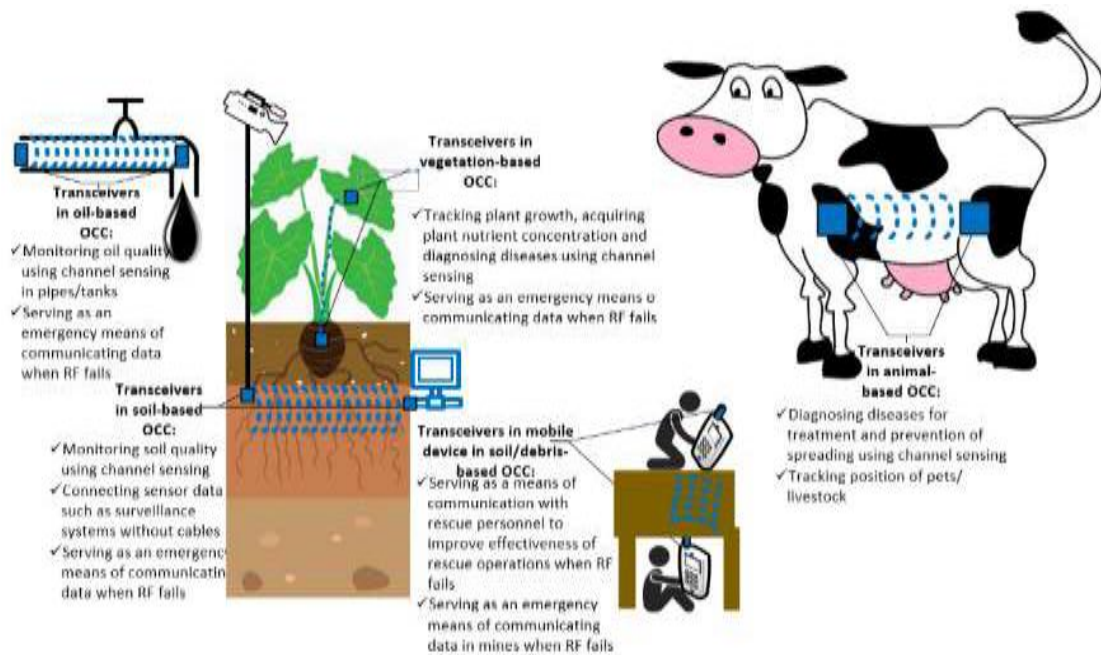
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΚΑΝΑΛΙΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΚΑΙ SMART FARMING

1.1 Εισαγωγή

Τα οργανικά κανάλια επικοινωνίας (OCC) είναι κάθε μέσο με βάση τους υδρογονάνθρακες που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία πληροφοριών. Σε αυτά περιλαμβάνονται, μεταξύ άλλων, οι άνθρωποι, τα φυτά, τα ζώα και το έδαφος. Τα επιτεύγματα της Επικοινωνίας Ανθρώπινου Σώματος (HBC) -που χρησιμοποιεί το ανθρώπινο σώμα ως μέσο επικοινωνίας δεδομένων- για την ιατρική τηλεμετρία στα Δίκτυα Περιοχής Σώματος (BANs) αποδεικνύουν ότι υπάρχουν δυνατότητες με τα OCCs ως εναλλακτική λύση στην επικοινωνία ραδιοσυχνοτήτων (RF) μικρής εμβέλειας, καθώς διευκολύνει την ασφαλέστερη επικοινωνία, τους υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων, την καλύτερη φασματική απόδοση και τη μεγαλύτερη αποδοτικότητα ισχύος [1.1], [1.2].

Ωστόσο, δεν έχει γίνει πολλή δουλειά για την επέκταση των τεχνικών HBC στα άλλα σενάρια OCC. Η επικοινωνία με βάση το έδαφος έχει αποδώσει σχετικά χαμηλούς ρυθμούς δεδομένων [1.3], [1.4] χωρίς να υπάρχει διεθνώς συμφωνημένη μορφή τυποποιημένης επικοινωνίας.

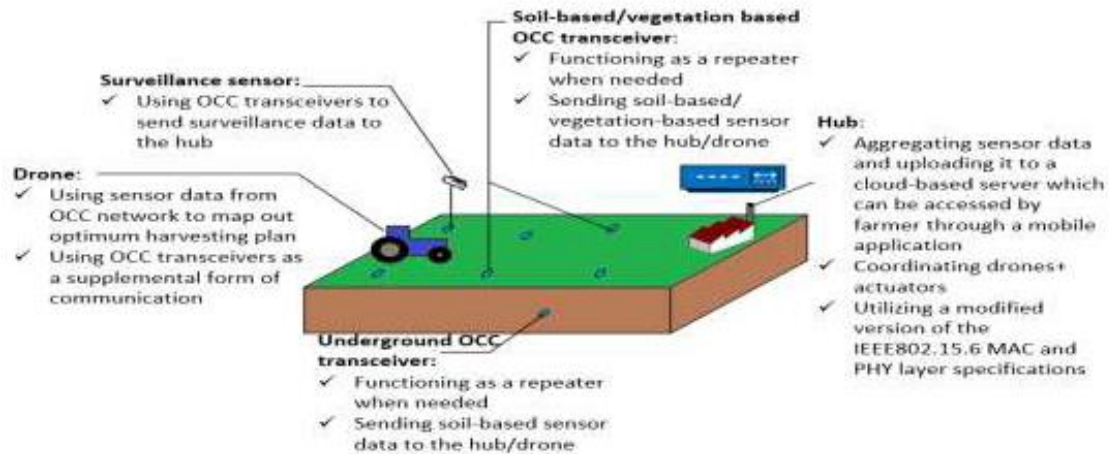
Η έξυπνη γεωργία είναι η εφαρμογή του IoT (Internet of Things) στη γεωργία. Τα OCCs υπόσχονται πολλά όταν εφαρμόζονται σε περιπτώσεις χρήσης έξυπνης γεωργίας, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 1.1. Έτσι, τα OCCs έχουν μεγάλες δυνατότητες όταν εξετάζεται η επικοινωνία χαμηλής ισχύος και η ανίχνευση καναλιών. Ωστόσο, η έξυπνη γεωργία επί του παρόντος δεν χρησιμοποιεί OCCs. Οι τεχνολογίες που βασίζονται σε RF - π.χ. τεχνολογία 3G, Bluetooth, ANT+, WiFi και LoRA - χρησιμοποιούνται συνήθως για τηλεμετρία [1.5]-[1.9]. Εάν οι πομποδέκτες OCC υλοποιηθούν έτσι ώστε οι OCC να συμπληρώνουν τις τεχνικές επικοινωνίας RF, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.1, θα υπάρξει βελτίωση της εξάρτησης από τα δεδομένα.



Σχήμα 1.1 Περιπτώσεις χρήσης των OCCs σε σενάρια έξυπνης γεωργίας [1.1]

Το Σχήμα 1.1 δείχνει επίσης ότι η ανίχνευση καναλιών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απόκτηση δεδομένων από αισθητήρες - τα οποία περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, την κατάσταση ανάπτυξης των φυτών, την ποιότητα των φρούτων, την υγρασία του εδάφους και τη δραστηριότητα των ζώων.

Στο Σχήμα 1.2 παρουσιάζεται μια συγκεκριμένη περίπτωση χρήσης ενός δικτύου οργανικής περιοχής (OAN). Τα OAN μπορούν να ενσωματωθούν σε εφαρμογές έξυπνης γεωργίας. Τα OAN μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές όπως η ρύθμιση της εδαφικής υγρασίας, όπως προτείνεται από το [1.9], σε αντίθεση με τη χρήση των δικτύων 3G/4G. Αυτό προσφέρει τη δυνατότητα ταυτόχρονης μετάδοσης και μέτρησης εδαφικών παραμέτρων μέσω της ενσωμάτωσης τεχνολογιών ανίχνευσης καναλιών. Επιπλέον, οι πομποδέκτες OCC βελτιώνουν την ανθεκτικότητα των δεδομένων όταν χρησιμοποιούνται για τη συμπλήρωση τεχνικών επικοινωνίας με βάση το RF.



Σχήμα 1.2 Μια συγκεκριμένη περίπτωση χρήσης ενός δικτύου οργανικής περιοχής (OAN) [1.1]

Στο [1.5] οι συγγραφείς χαρακτήρισαν κανάλια μεταξύ ζώων στη ζώνη 868 MHz. Ωστόσο, ο χαρακτηρισμός καναλιών εντός οργανικών αντικειμένων έχει μελετηθεί λιγότερο. Έχει γίνει εκτεταμένη εργασία σχετικά με τον χαρακτηρισμό καναλιών OCC με βάση τον άνθρωπο [1.1], [1.10]-[1.16]. Από την έκταση της βιβλιογραφικής έρευνας, δεν έχει γίνει καμία εργασία σχετικά με τον χαρακτηρισμό OCC με βάση τη βλάστηση. Τα OCC με βάση το έδαφος έχουν χαρακτηριστεί για μαγνητική επαγωγή ως τεχνική επικοινωνίας, αλλά δεν υπάρχει τυποποιημένη μορφή επικοινωνίας των OCC με βάση το έδαφος και σε όλα τα άλλα OCC [1.17]-[1.20].

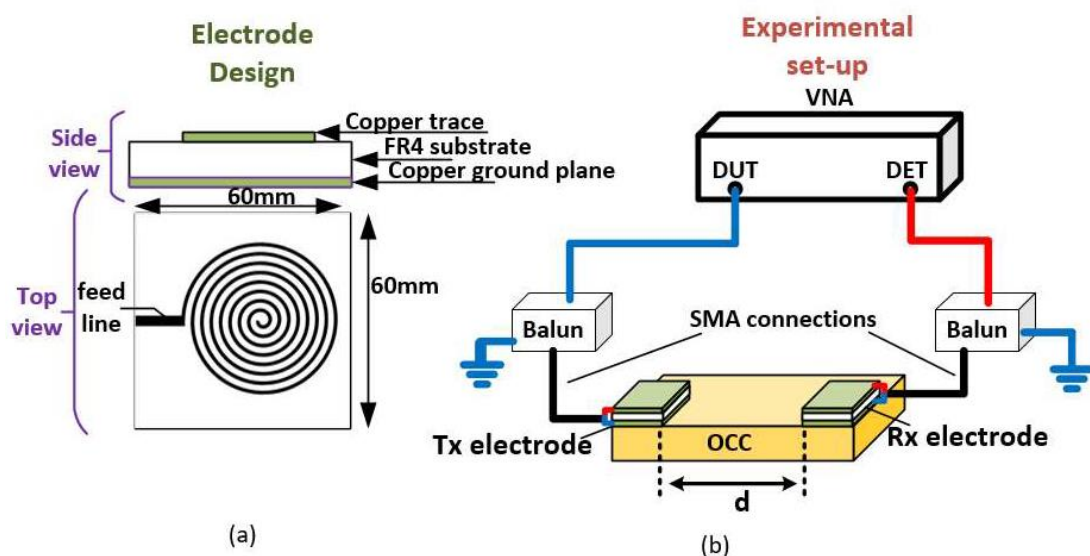
Η αξιολόγηση της απόδοσης και της σκοπιμότητας των OCC εξαρτάται από τον χαρακτηρισμό του καναλιού. Έτσι, για να αντιμετωπιστούν αυτά τα ερευνητικά κενά, η παρούσα εργασία χαρακτηρίζει τα οργανικά κανάλια με βάση τη βλάστηση και το έδαφος, επιπλέον της πρότασης ενός τυποποιημένου πλαισίου για την επικοινωνία OCC με βάση τις τεχνικές HBC.

1.2 Μεθοδολογία

Αυτή η ενότητα καλύπτει τον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνονται οι στόχοι αυτής της έρευνας μέσω του χαρακτηρισμού του καναλιού, της πρότασης του πλαισίου OCC.

Ο χαρακτηρισμός του καναλιού των OCCs ακολούθησε τα εξής στάδια: σχεδιασμός ηλεκτροδίων, μετρήσεις καναλιού και εξαγωγή μοντέλου διάδοσης (στην προκειμένη περίπτωση, εξισώσεις απώλειας διαδρομής).

Τα OCCs που διερευνήθηκαν ήταν ένα στέλεχος παπάγιας (για την αντιπροσώπευση OCCs με βάση τη ποώδη βλάστηση), ένα στέλεχος καρύδας (για την αντιπροσώπευση OCCs με βάση τη ξυλώδη βλάστηση) και μια πλαστική γούρνα γεμάτη με αργιλώδες χώμα με φυτά σχοινόπρασο που αναπτύσσονται (για την εξομοίωση των ριζών σε OCCs με βάση το έδαφος).



Σχήμα 1.3 (α) Ο σχεδιασμός του ηλεκτροδίου OCC (β) Η γενική διάταξη για τον χαρακτηρισμό του καναλιού OCC [1.1]

Στο Σχήμα 1.3(α) παρουσιάζεται το ηλεκτρόδιο που σχεδιάστηκε για την επικοινωνία OCC. Οι τεχνικές HBC μπορούν να κατηγοριοποιηθούν είτε ως eHBC (ηλεκτρικές HBC) - οι οποίες χρησιμοποιούν ηλεκτρικά πεδία μέσω χωρητικής σύζευξης και μεθόδων γαλβανικής σύζευξης - είτε ως mHBC (μαγνητικές HBC) - οι οποίες χρησιμοποιούν μαγνητοκαστατικά πεδία μέσω μαγνητικής επαγωγής [1.1], [1.21]. Αυτά ελήφθησαν υπόψη κατά το σχεδιασμό των ηλεκτροδίων για τις μετρήσεις χαρακτηρισμού καναλιών OCC.

Το mHBC επιτρέπει την ανθεκτικότητα του καναλιού, καθώς η μαγνητική διαπερατότητα των περισσότερων υλικών είναι η ίδια [1.10]. Το eHBC τυποποιείται μέσω του προτύπου IEEE 802.15.6 [1.22] και επιτρέπει μεγαλύτερο εύρος λειτουργίας συχνοτήτων μέσω της τεχνικής χωρητικής σύζευξης. Κατά συνέπεια, επιλέχθηκε η πλακέτα 60cm x 60cm FR4 (Printed circuit board) με γεωμετρία χαλκού με σπείρες, στο Σχήμα 1.3(α). Έτσι, το διαμορφωμένο σήμα θα διαδίδεται μέσω του OCC τόσο μέσω ηλεκτρικών πεδίων -μέσω χωρητικής και γαλβανικής σύζευξης- όσο και μέσω μαγνητοκουασιστικών πεδίων -μέσω μαγνητικής επαγωγής.

Στο Σχήμα 1.3(β) παρουσιάζεται η γενική πειραματική διάταξη για τον χαρακτηρισμό του καναλιού. Ο διανυσματικός αναλυτής δικτύου (VNA) στέλνει ένα γνωστό σήμα στο OCC μέσω των ηλεκτροδίων από τη θύρα της υπό δοκιμή συσκευής (DUT). Το σήμα αυτό διέρχεται από το οργανικό κανάλι και συλλέγεται στα ηλεκτρόδια λήψης και αποστέλλεται στη θύρα DET του VNA, όπου υπολογίζεται η επίδραση στο μέγεθος και τη φάση του εισαγόμενου σήματος. Αυτό καθιστά δυνατό τον υπολογισμό της παραμέτρου S_{21} ή του συντελεστή μετάδοσης μέσω της εξίσωσης (1.1).

$$S_{21} = 20 \log_{10} \left(\frac{V_{Rx}}{V_{Tx}} \right) \quad (1.1)$$

Πού: V_{Tx} είναι η τάση του σήματος που αποστέλλεται από τη θύρα DUT και V_{Rx} είναι η τάση του σήματος που λαμβάνεται στη θύρα ανίχνευσης (DET). Ως εκ τούτου, μπορεί να προκύψει η απόκριση συχνότητας του εξεταζόμενου OCC.

Τα baluns αποσυζεύγουν τον πομπό (θύρα DUT) και τον δέκτη (θύρα DET). Σε μια τυπική περίπτωση χρήσης αισθητήρα, οι γειώσεις του πομποδέκτη δεν συνδέονται ηλεκτρικά στο ίδιο δυναμικό μέσω ενός τέλει αγωγού. Τα baluns αντιμετωπίζουν αυτό το πρόβλημα απομονώνοντας αυτές τις γειώσεις.

Κατά συνέπεια, η επίδραση των γειώσεων της γεννήτριας συναρτήσεων και του αναλυτή φάσματος απομακρύνεται. Η επίδραση των Baluns στην απόκριση του καναλιού συνυπολογίστηκε στη μέτρηση και τη βαθμονόμηση.

Στη ζώνη HBC (18,375 MHz - 23,625 MHz), όπως ορίζεται από το πρότυπο IEEE 802.15.6, έχει ήδη γίνει σημαντική εργασία. Ως εκ τούτου, έγινε χαρακτηρισμός καναλιών στη ζώνη HBC για να αξιολογηθεί η δυνατότητα αξιοποίησης των προτύπων HBC για περιπτώσεις χρήσης OCC που δεν είναι HBC.

Τα ακόλουθα ήταν τα βήματα που ακολουθήθηκαν για τον χαρακτηρισμό του καναλιού:

1. Ρύθμιση του εξοπλισμού όπως φαίνεται στο Σχήμα 3(β) για 42,5 cm (μέγιστο μήκος καναλιού) στελέχους καρύδας ως OCC. Τα ηλεκτρόδια της PCB τοποθετήθηκαν έτσι ώστε η σπείρα με επικάλυψη χαλκού να έρχεται σε επαφή με το οργανικό κανάλι. Το μήκος του καναλιού, d , ρυθμίστηκε αρχικά σε 2,5cm

2. Βαθμονόμηση και διαμόρφωση του VNA για λειτουργία με τρόπο μετάδοσης στη ζώνη HBC. Η ισχύς μετάδοσης ρυθμίστηκε σε 1mW σύμφωνα με το πρότυπο ICNIRP για τη γενική έκθεση του ανθρώπου σε ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία [1.23]. Τα φυτά μπορούν να δεχτούν μεγαλύτερη ισχύ, αλλά με στόχο το καθολικό πρότυπο OCC, η ελαχιστοποίηση της έκθεσης του ανθρώπου έχει προτεραιότητα [1.24].

3. Συλλογή των παραμέτρων S_{21} . Το VNA ρυθμίστηκε ώστε να στέλνει τα σήματα εισόδου και σημειώθηκε το μέγεθος και η φάση της παραμέτρου S_{21} .

Τα παραπάνω βήματα επαναλήφθηκαν μεταβάλλοντας το d μέχρι να γίνει ίσο με το μέγιστο μήκος του καναλιού.

4. Επαναλαμβάνοντας τα βήματα 1-3 για
 - a. 37,5 εκατοστά του στελέχους της παπάγιας και
 - b. 37,5cm αργιλώδους εδάφους

1.3 Μεθοδολογία

Η υιοθέτηση μιας τυποποιημένης μορφής επικοινωνίας για όλα τα OCC βελτιώνει τη φασματική αποδοτικότητα. Το HBC έχει τυποποιηθεί μέσω του

προτύπου IEEE 802.15.6 για ασφαλή επικοινωνία με τη χρήση τεχνικών eHBC. Έτσι, το πρότυπο αυτό μπορεί να υιοθετηθεί και για άλλα OCC. Υπάρχουν σχετικά υψηλές συχνότητες συντονισμού για OCCs με βάση το έδαφος στη ζώνη HBC. Αυτό συνηγορεί υπέρ της εφαρμογής του προτύπου IEEE802.15.6 σε OCC με βάση το έδαφος.

Πίνακας 1.1 Οι προτεινόμενες αλλαγές στο πρότυπο IEEE 802.15.16 για τυποποιημένη επικοινωνία OCC [1.1]

Change Implemented	Reason
Gold code generator should not be implemented to generate the preamble and start frame delimitation (SFD) generation. The output of the gold code generator should be used instead since it is the same for all cases	To reduce transceiver complexity and hence improve transceiver power efficiency
Serial to parallel conversion should not be implemented. The output of this computational block is the same as its input	
CRC8 calculation calculates CRC8 bits for any polynomial	For upgradability
The maximum PSDU (physical layer service data unit) length should be assumed to be 255 bytes to correspond to the input to the Scrambler block from the MAC (Medium Access Control) layer	To address irrationalities. There is a section in the standard that implies the PSDU length consists of the pilot sequence along with the spread frame which limits the range of the MAC frame to an impracticable length.
Pilot sequence not included at the end of frame	The IEEE 802.15.6 standard consists of a valid example that contradicts the stated requirement for pilot insertion at the end of the frame. An assumption was made that there is no pilot insertion at the end of the frame since it is reflected in a framing example given in the same standard. Examples are generally intended to clarify an initial statement.

Ο πίνακας 1.1 δείχνει τις προτεινόμενες αλλαγές στο HBC PHY (φυσικό επίπεδο) του προτύπου IEEE 802.15.6 για την τυποποιημένη επικοινωνία στο επίπεδο OCC PHY.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Βιβλιογραφική Επισκόπηση

2.1 Εισαγωγή

Η γεωργία θεωρείται ως η βάση της ζωής του ανθρώπινου είδους, καθώς αποτελεί την κύρια πηγή τροφικών σπόρων και άλλων πρώτων υλών. Παιζει ζωτικό ρόλο στην ανάπτυξη της οικονομίας της χώρας. Παρέχει επίσης μεγάλες και άφθονες ευκαιρίες απασχόλησης στους ανθρώπους. Η ανάπτυξη του γεωργικού τομέα είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη της οικονομικής κατάστασης της χώρας. Δυστυχώς, πολλοί αγρότες εξακολουθούν να χρησιμοποιούν τις παραδοσιακές μεθόδους καλλιέργειας που έχουν ως αποτέλεσμα τη χαμηλή απόδοση των καλλιεργειών και των φρούτων. Όπου όμως εφαρμόζεται αυτοματοποίηση και ο άνθρωπος αντικαθίσταται από αυτόματα μηχανήματα, η απόδοση βελτιώνεται.

Ως εκ τούτου, υπάρχει ανάγκη εφαρμογής της σύγχρονης επιστήμης και τεχνολογίας στον τομέα της γεωργίας για την αύξηση της απόδοσης. Οι περισσότερες εργασίες υποδηλώνουν τη χρήση ασύρματου δικτύου αισθητήρων το οποίο συλλέγει τα δεδομένα από διαφορετικούς τύπους αισθητήρων και στη συνέχεια τα στέλνει στον κεντρικό διακομιστή χρησιμοποιώντας ασύρματο πρωτόκολλο.

Τα δεδομένα που συλλέγονται παρέχουν πληροφορίες σχετικά με διάφορους περιβαλλοντικούς παράγοντες, οι οποίοι με τη σειρά τους βοηθούν στην παρακολούθηση του συστήματος. Η παρακολούθηση των περιβαλλοντικών παραγόντων δεν είναι αρκετή και πλήρης λύση για τη βελτίωση της απόδοσης των καλλιεργειών. Υπάρχουν αρκετοί άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την παραγωγικότητα. Αυτοί οι παράγοντες περιλαμβάνουν την προσβολή από έντομα και παράσιτα, τα οποία μπορούν να ελεγχθούν με τον ψεκασμό της καλλιέργειας με κατάλληλα εντομοκτόνα και φυτοφάρμακα. Δεύτερον, η επίθεση άγριων ζώων και πτηνών κατά την ανάπτυξη της καλλιέργειας.

Υπάρχει επίσης η πιθανότητα κλοπών όταν η καλλιέργεια βρίσκεται στο στάδιο της συγκομιδής. Ακόμη και μετά τη συγκομιδή, οι αγρότες αντιμετωπίζουν επίσης

προβλήματα στην αποθήκευση της συγκομισμένης σοδειάς. Έτσι, προκειμένου να δοθούν λύσεις σε όλα αυτά τα προβλήματα, είναι απαραίτητο να αναπτυχθεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα το οποίο θα φροντίζει για όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγικότητα σε κάθε στάδιο, όπως η καλλιέργεια, η συγκομιδή και η αποθήκευση μετά τη συγκομιδή. Στο κεφάλαιο αυτό της πτυχιακής εργασίας, παρουσιάζουμε μία εργασία [2.1] που προτείνει ένα σύστημα που είναι χρήσιμο για την παρακολούθηση των δεδομένων του αγρού καθώς και για τον έλεγχο των εργασιών του αγρού, το οποίο παρέχει τις ευελιξία.

2.2 Εφαρμογές smart farming βασισμένες στο IoT

Το νεότερο σενάριο της μείωσης του υδροφόρου ορίζοντα, της ξήρανσης των ποταμών και των δεξαμενών, του απρόβλεπτου περιβάλλοντος παρουσιάζει την επείγουσα ανάγκη της ορθής χρήσης του νερού. Για να αντιμετωπιστεί αυτό η χρήση αισθητήρων θερμοκρασίας και υγρασίας σε κατάλληλες θέσεις για την παρακολούθηση των καλλιεργειών εφαρμόζεται στο [2.2]. Ένας αλγόριθμος που αναπτύχθηκε με τιμές κατωφλίου της θερμοκρασίας και της υγρασίας του εδάφους μπορεί να προγραμματιστεί σε μια πύλη βασισμένη σε μικροελεγκτή για τον έλεγχο της ποσότητας του νερού.

Το σύστημα μπορεί να τροφοδοτείται από φωτοβολταϊκά πάνελ και μπορεί να διαθέτει μια αμφίδρομη σύνδεση επικοινωνίας που βασίζεται σε μια διεπαφή κινητής τηλεφωνίας-διαδικτύου, η οποία επιτρέπει τον προγραμματισμό της επιθεώρησης των δεδομένων και του προγραμματισμού της άρδευσης μέσω μιας ιστοσελίδας [2.2].

Η τεχνολογική ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων αισθητήρων κατέστησε δυνατή τη χρήση τους στην παρακολούθηση και τον έλεγχο των παραμέτρων του θερμοκηπίου στη γεωργία ακριβείας [2.3].

Μετά την έρευνα στον γεωργικό τομέα, οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι η απόδοση της γεωργίας μειώνεται μέρα με τη μέρα. Ωστόσο, η χρήση της τεχνολογίας στον

τομέα της γεωργίας παίζει σημαντικό ρόλο στην αύξηση της παραγωγής καθώς και στη μείωση των επιπλέον ανθρώπινων προσπάθειών. Ορισμένες από τις ερευνητικές προσπάθειες γίνονται για τη βελτίωση των αγροτών, οι οποίες παρέχουν τα συστήματα που χρησιμοποιούν τεχνολογίες χρήσιμες για την αύξηση της γεωργικής απόδοσης.

Ο Y. Kim [2.4] ανέπτυξε ένα σύστημα τηλεπισκόπησης και ελέγχου άρδευσης που χρησιμοποιεί καταναμημένο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων με στόχο την άρδευση με μεταβλητό ρυθμό, την ανίχνευση σε πραγματικό χρόνο στον αγρό, τον έλεγχο ενός συστήματος άρδευσης γραμμικής κίνησης ακριβείας συγκεκριμένης θέσης για τη μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας με ελάχιστη χρήση νερού.

Το σύστημα περιγράφει λεπτομέρειες σχετικά με το σχεδιασμό και την ενοργάνωση της άρδευσης μεταβλητού ρυθμού, το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων και την ανίχνευση και τον έλεγχο σε πραγματικό χρόνο στο πεδίο με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού. Το όλο σύστημα αναπτύχθηκε με τη χρήση πέντε σταθμών αισθητήρων στον αγρό, οι οποίοι συλλέγουν τα δεδομένα και τα αποστέλλουν στο σταθμό βάσης με τη χρήση παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού θέσης (GPS), όπου λαμβάνεται η απαραίτητη δράση για τον έλεγχο της άρδευσης σύμφωνα με τη βάση δεδομένων που διαθέτει το σύστημα. Το σύστημα παρέχει μια πολλά υποσχόμενη ασύρματη λύση χαμηλού κόστους καθώς και απομακρυσμένο έλεγχο για άρδευση ακριβείας.

Στις μελέτες που σχετίζονται με το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, στοχεύουμε σε παραμέτρους που σχετίζονται με το έδαφος, όπως η θερμοκρασία και η υγρασία. Οι αισθητήρες επικοινωνούν με τους κόμβους αναμετάδοσης με τη χρήση αποτελεσματικού πρωτοκόλλου επικοινωνίας που παρέχει πολύ χαμηλό κύκλο λειτουργίας και, ως εκ τούτου, αυξάνει το χρόνο ζωής του συστήματος παρακολούθησης του εδάφους.

Το σύστημα αναπτύχθηκε με τη χρήση μικροελεγκτή, διεπαφής καθολικού ασύγχρονου δέκτη-πομπού (UART) και αισθητήρων, ενώ η μετάδοση γινόταν με ωριαία δειγματοληψία και προσωρινή αποθήκευση των δεδομένων, μετάδοση και

στη συνέχεια έλεγχο των μηνυμάτων κατάστασης. Τα μειονεκτήματα του συστήματος ήταν το κόστος του και η τοποθέτηση του αισθητήρα κάτω από το έδαφος που προκαλεί εξασθένηση των σημάτων ραδιοσυχνότητας (RF) [2.5].

2.3 Αρχιτεκτονική IoT-based smart farming συστήματος

Ένα σύστημα IoT-based smart farming δύναται να αποτελείται από τέσσερα τμήματα: κόμβος1, κόμβος2, κόμβος3 και εφαρμογή Η/Υ ή κινητού τηλεφώνου για τον έλεγχο του συστήματος. Στο παρόν σύστημα, κάθε κόμβος ενσωματώνει διαφορετικούς αισθητήρες και συσκευές και συνδέεται με έναν κεντρικό διακομιστή μέσω μονάδων ασύρματης επικοινωνίας. Ο διακομιστής στέλνει και λαμβάνει πληροφορίες από το άκρο του χρήστη χρησιμοποιώντας σύνδεση στο διαδίκτυο. Υπάρχουν δύο τρόποι λειτουργίας του συστήματος: αυτόματη λειτουργία και χειροκίνητη λειτουργία. Στην αυτόματη λειτουργία το σύστημα λαμβάνει μόνο του τις αποφάσεις του και ελέγχει τις εγκατεστημένες συσκευές, ενώ στη χειροκίνητη λειτουργία ο χρήστης μπορεί να ελέγχει τις λειτουργίες του συστήματος χρησιμοποιώντας εφαρμογή Android ή εντολές υπολογιστή.

Κόμβος 1:

Ο κόμβος1 είναι ένα κινητό ρομπότ που βασίζεται σε GPS και μπορεί να ελεγχθεί εξ αποστάσεως μέσω υπολογιστή, καθώς και να προγραμματιστεί έτσι ώστε να κινείται αυτόνομα εντός των ορίων του αγρού χρησιμοποιώντας τις συντεταγμένες που δίνει η μονάδα GPS.

Το τηλεχειριζόμενο ρομπότ διαθέτει διάφορους αισθητήρες και συσκευές όπως κάμερα, αισθητήρα εμποδίων, σειρήνα, κόφτη, ψεκαστήρα και χρησιμοποιώντας τους θα εκτελεί εργασίες όπως: Διατήρηση επαγρύπνησης, τρομοκράτηση πουλιών και ζώων, βοτάνισμα και ψεκασμός.

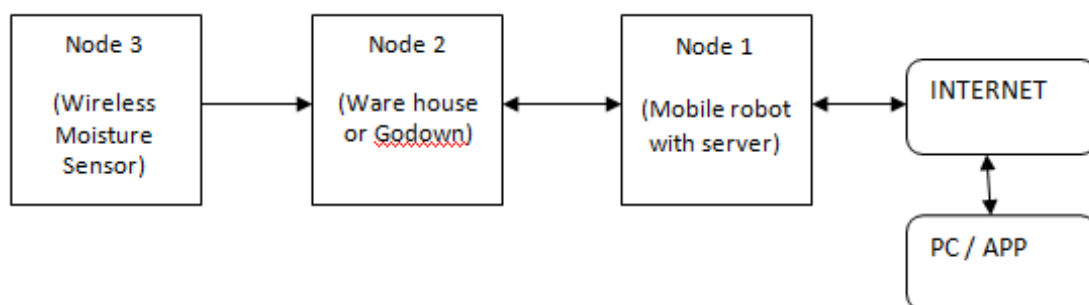
Κόμβος 2:

Ο κόμβος2 θα είναι η αποθήκη. Αποτελείται από ανιχνευτή κίνησης, αισθητήρα φωτός, αισθητήρα υγρασίας, αισθητήρα θερμοκρασίας, θερμαντήρα δωματίου, ανεμιστήρα ψύξης συνολικά διασυνδεδεμένο με μικροελεγκτή AVR. Ο ανιχνευτής κίνησης θα ανιχνεύει την κίνηση στο δωμάτιο όταν η λειτουργία ασφαλείας θα είναι ενεργοποιημένη και με την ανίχνευση της κίνησης, θα στέλνει σήμα ειδοποίησης στο χρήστη μέσω του Raspberry pi και έτσι θα παρέχει ανίχνευση κλοπής.

Ο αισθητήρας θερμοκρασίας και ο αισθητήρας υγρασίας ανιχνεύουν τη θερμοκρασία και την υγρασία αντίστοιχα και αν η τιμή ξεπεράσει το όριο, τότε η θέρμανση του δωματίου ή ο ανεμιστήρας ψύξης θα ενεργοποιούνται/απενεργοποιούνται αυτόματα παρέχοντας συντήρηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας. Ο κόμβος2 θα ελέγχει επίσης την αντλία νερού ανάλογα με τα δεδομένα υγρασίας του εδάφους που αποστέλλονται από τον κόμβο3.

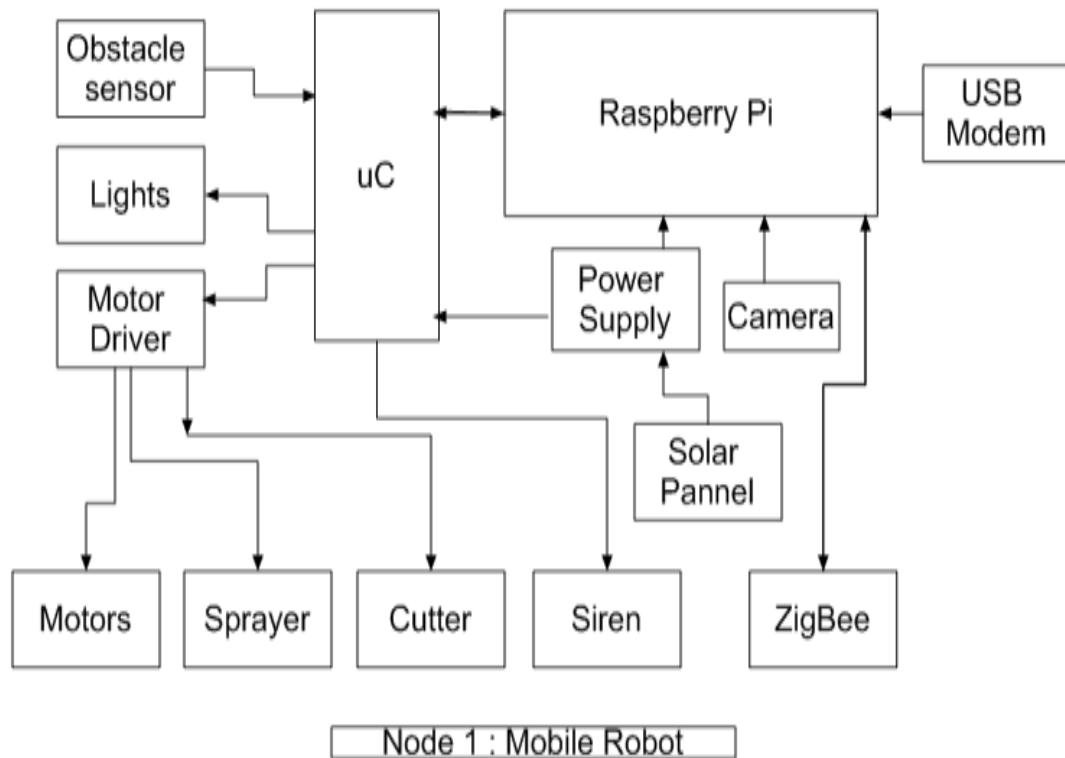
Κόμβος 3:

Ο κόμβος3 είναι ένας έξυπνος κόμβος άρδευσης με χαρακτηριστικά όπως: Έξυπνος έλεγχος της αντλίας νερού με βάση δεδομένα πεδίου σε πραγματικό χρόνο, δηλαδή αυτόματη ενεργοποίηση/απενεργοποίηση της αντλίας μετά την επίτευξη του απαιτούμενου επιπέδου υγρασίας του εδάφους σε αυτόματη λειτουργία, ενεργοποίηση/απενεργοποίηση της αντλίας νερού από απόσταση μέσω κινητού ή υπολογιστή σε χειροκίνητη λειτουργία και συνεχής παρακολούθηση της υγρασίας του εδάφους.

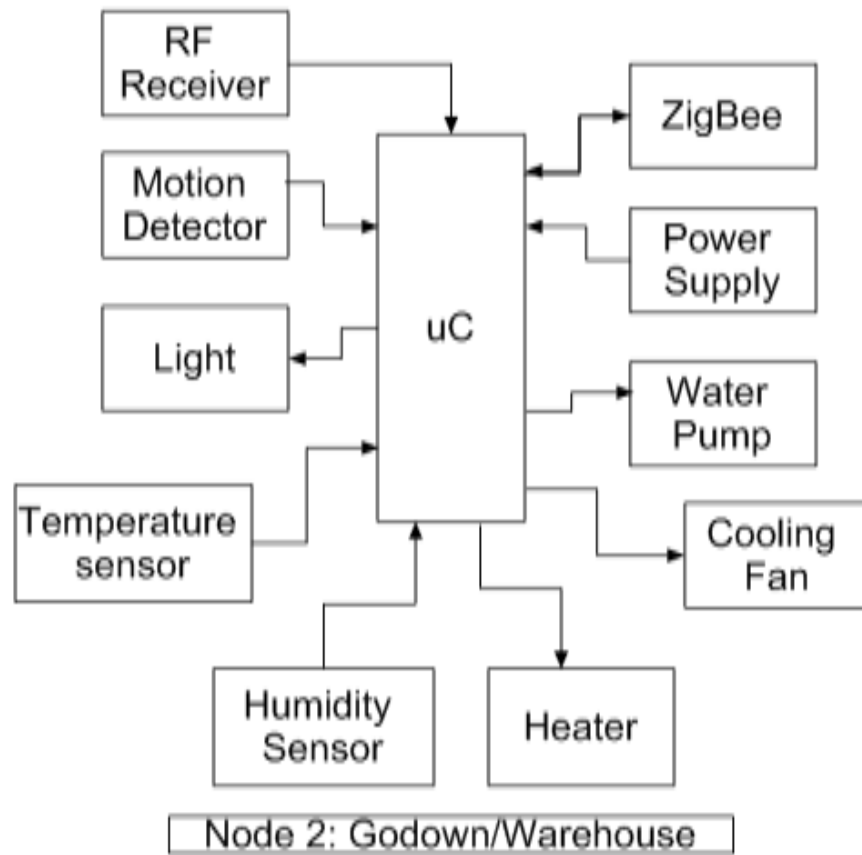


Σχήμα 2.1 Αρχιτεκτονική συστήματος [2.1]

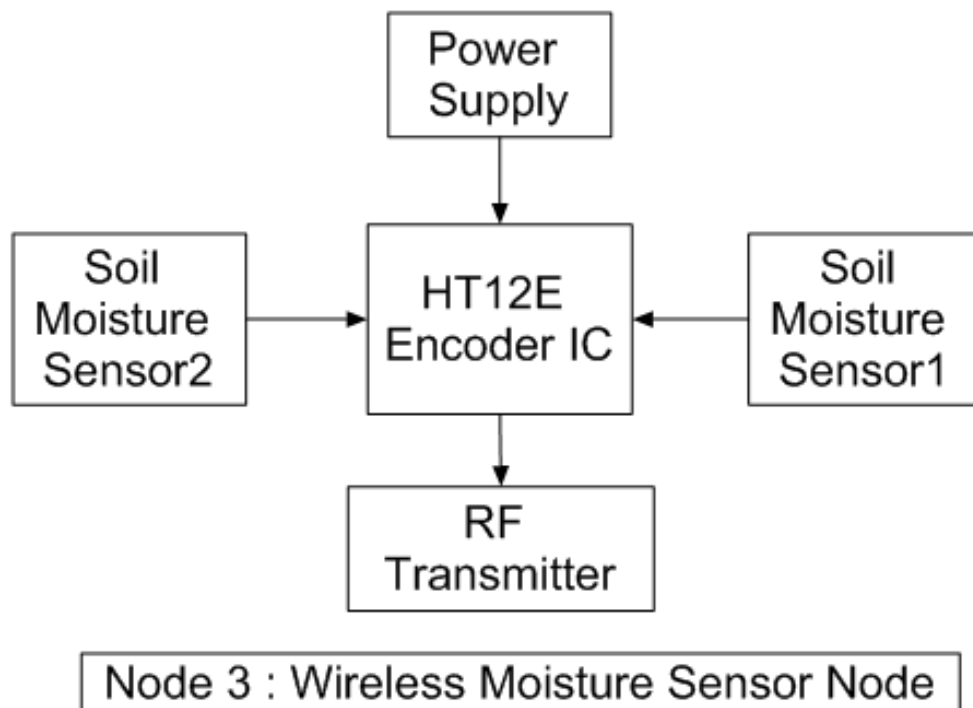
Στον κόμβο3, ο αισθητήρας υγρασίας μεταδίδει τα δεδομένα χρησιμοποιώντας το ολοκληρωμένο κύκλωμα κωδικοποιητή HT12E και έναν πομπό RF. Τα μεταδιδόμενα δεδομένα λαμβάνονται από τον κόμβο2 και εκεί επεξεργάζονται από τον μικροελεγκτή προκειμένου να ελεγχθεί η λειτουργία της αντλίας νερού.



Σχήμα 2.2 Κόμβος 1 [2.1]



Σχήμα 2.3 Κόμβος 2 [2.1]



Σχήμα 2.4 Κόμβος 3 [2.1]

Χρησιμοποιούμενο υλικό[2.6]-[2.12]:

α) Μικροελεγκτής AVR Atmega 16/32:

Ο μικροελεγκτής που χρησιμοποιήθηκε είναι, μικροελεγκτής 8-bit AVR® χαμηλής ισχύος, με 8K Bytes αυτοπρογραμματιζόμενης μνήμης προγράμματος Flash εντός του συστήματος, προγραμματιζόμενη σειριακή USART, ADC 8 καναλιών, 10-bit, 23 προγραμματιζόμενες γραμμές I/O.

β) Μονάδα ZigBee:

Το ZigBee χρησιμοποιείται για την επίτευξη ασύρματης επικοινωνίας μεταξύ των Node1 και Node2. Η εμβέλεια για το Zigbee είναι περίπου 50 μέτρα και μπορεί να αυξηθεί με τη χρήση μονάδων υψηλής ισχύος ή με τη χρήση δικτύου μονάδων. Λειτουργεί στη συχνότητα 2,4 GHz. Η κατανάλωση ενέργειας είναι πολύ χαμηλή και είναι λιγότερο δαπανηρή σε σύγκριση με άλλες ασύρματες μονάδες όπως το Wi-Fi ή το Bluetooth. Χρησιμοποιείται συνήθως για τη δημιουργία ασύρματων τοπικών δικτύων.

γ) Αισθητήρας θερμοκρασίας LM35:

Το LM35 είναι ολοκληρωμένο κύκλωμα αισθητήρα θερμοκρασίας ακριβείας. Η τάση εξόδου του LM35 είναι ευθέως ανάλογη με το Centigrade/Celsius της θερμοκρασίας. Ο LM35 δεν χρειάζεται εξωτερική βαθμονόμηση ή ρύθμιση για να παρέχει ακριβές εύρος θερμοκρασίας. Είναι αισθητήρας πολύ χαμηλού κόστους. Έχει χαμηλή αντίσταση εξόδου και γραμμική έξοδο. Το εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας για τον LM35 είναι από -55° έως +150°C. Με την αύξηση της θερμοκρασίας, η τάση εξόδου του αισθητήρα αυξάνεται γραμμικά και η τιμή της τάσης δίνεται στον μικροελεγκτή, η οποία πολλαπλασιάζεται με τον συντελεστή μετατροπής για να δώσει την τιμή της πραγματικής θερμοκρασίας.

δ) Αισθητήρας υγρασίας:

Ο αισθητήρας υγρασίας εδάφους μετρά την περιεκτικότητα σε νερό στο έδαφος. Χρησιμοποιεί την ιδιότητα της ηλεκτρικής αντίστασης του εδάφους. Η σχέση μεταξύ της μετρούμενης ιδιότητας και της εδαφικής υγρασίας είναι βαθμονομημένη και μπορεί να διαφέρει ανάλογα με περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία,

ο τύπος του εδάφους ή η ηλεκτρική αγωγιμότητα. Εδώ, χρησιμοποιείται για την ανίχνευση της υγρασίας στο χωράφι και τη μεταφορά της στον μικροελεγκτή, προκειμένου να λάβει μέτρα ελέγχου για την ενεργοποίηση/απενεργοποίηση της αντλίας νερού.

Ο DHT11 είναι ένας βασικός, χαμηλού κόστους ψηφιακός αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας. Δίνει ψηφιακή τιμή και ως εκ τούτου δεν υπάρχει ανάγκη χρήσης αλγορίθμου μετατροπής στο ADC του μικροελεγκτή και ως εκ τούτου μπορούμε να δώσουμε την έξοδο του απευθείας στην ακίδα δεδομένων αντί για το ADC. Διαθέτει χωρητικό αισθητήρα για τη μέτρηση της υγρασίας. Το μόνο πραγματικό μειονέκτημα αυτού του αισθητήρα είναι ότι μπορεί κανείς να λάβει νέα δεδομένα από αυτόν μόνο μετά από κάθε 2 δευτερόλεπτα.

ε) Αισθητήρας εμποδίων (υπερηχητικός):

Ο υπερηχητικός αισθητήρας λειτουργεί με βάση την αρχή των ηχητικών κυμάτων και την ιδιότητα της ανάκλασής τους. Διαθέτει δύο μέρη: τον πομπό υπερηχητικού σήματος και τον δέκτη υπερηχητικού σήματος. Ο πομπός εκπέμπει το ηχητικό κύμα των 40 KHz και ο δέκτης λαμβάνει το ανακλώμενο κύμα των 40 KHz και κατά τη λήψη του, στέλνει το ηλεκτρικό σήμα στον μικροελεγκτή. Η ταχύτητα του ήχου στον αέρα είναι ήδη γνωστή.

Ως εκ τούτου, από το χρόνο που απαιτείται για την επιστροφή του εκπεμπόμενου ηχητικού κύματος υπολογίζεται η απόσταση του εμποδίου. Εδώ, χρησιμοποιείται για την ανίχνευση εμποδίων σε περίπτωση κινητού ρομπότ και ως ανιχνευτής κίνησης σε αποθήκες για την πρόληψη κλοπών. Ο υπερηχητικός αισθητήρας επιτρέπει στο ρομπότ να ανιχνεύει και να αποφεύγει τα εμπόδια και επίσης να μετρά την απόσταση από το εμπόδιο. Το εύρος λειτουργίας του υπερηχητικού αισθητήρα είναι 10 cm έως 30 cm.

στ) Raspberry Pi :

Το Raspberry Pi είναι ένας μικρός υπολογιστής μεγέθους τσέπης που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση μικρών υπολογιστικών και δικτυακών λειτουργιών. Είναι το κύριο στοιχείο στον τομέα του διαδικτύου των πραγμάτων. Παρέχει πρόσβαση στο διαδίκτυο και ως εκ τούτου καθίσταται δυνατή η σύνδεση του συστήματος αυτοματισμού με συσκευή ελέγχου απομακρυσμένης θέσης. Το Raspberry Pi διατίθεται σε διάφορες εκδόσεις. Εδώ χρησιμοποιείται το μοντέλο Pi 2 μοντέλο B και διαθέτει τετραπύρηνη CPU ARM Cortex-A53 των 900 MHz και μνήμη RAM 1 GB. διαθέτει επίσης: 40 ακροδέκτες GPIO, πλήρη θύρα HDMI, 4 θύρες USB, θύρα Ethernet, υποδοχή ήχου 3,5 mm, διεπαφή κάμερας βίντεο (CSI), τη διεπαφή οθόνης (DSI) και υποδοχή κάρτας Micro SD.

Λογισμικά που χρησιμοποιούνται [2.6]-[2.12]:

α) AVR Studio Version 4:

Χρησιμοποιείται για τη συγγραφή, την κατασκευή, τη μεταγλώττιση και την αποσφαλμάτωση των ενσωματωμένων κωδικών προγράμματος c που χρειάζεται να ενσωματωθούν στον μικροελεγκτή προκειμένου να εκτελούνται οι επιθυμητές λειτουργίες. Αυτό το λογισμικό παρέχει απευθείας αρχείο .hex το οποίο μπορεί εύκολα να καεί στον μικροελεγκτή.

β) Προσομοιωτής Proteus 8:

Το Proteus 8 είναι ένα από τα καλύτερα λογισμικά προσομοίωσης για διάφορα σχέδια κυκλωμάτων μικροελεγκτών. Έχει σχεδόν όλους τους μικροελεγκτές και τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα άμεσα διαθέσιμα σε αυτό και ως εκ τούτου είναι ευρέως χρησιμοποιούμενος προσομοιωτής.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δοκιμή προγραμμάτων και ενσωματωμένων σχεδίων για ηλεκτρονικά πριν από την πραγματική δοκιμή υλικού. Η προσομοίωση του προγραμματισμού του μικροελεγκτή μπορεί επίσης να γίνει στον Proteus. Με την προσομοίωση αποφεύγεται ο κίνδυνος καταστροφής του υλικού λόγω λανθασμένου σχεδιασμού.

γ) Dip Trace:

Dip race είναι λογισμικό EDA/CAD για τη δημιουργία σχηματικών διαγραμμάτων και πλακετών τυπωμένων κυκλωμάτων. Οι προγραμματιστές παρέχουν πολύγλωσσο περιβάλλον εργασίας και εκπαιδευτικά προγράμματα (επί του παρόντος διατίθενται στα αγγλικά και σε 21 άλλες γλώσσες). Το DipTrace διαθέτει 4 ενότητες: Schematic Capture Editor, PCB Layout Editor με ενσωματωμένο shape-based auto router και 3D Preview & Export, Component Editor και Pattern Editor.

δ) SinaProg:

Το SinaProg είναι μια εφαρμογή λήψης Hex με AVR Dude και Fuse Bit Calculator. Χρησιμοποιείται για τη λήψη κώδικα/προγράμματος και για τη ρύθμιση των fuse bits όλων των μικροελεγκτών που βασίζονται σε AVR.

ε) Λειτουργικό σύστημα Raspbian:

Το λειτουργικό σύστημα Raspbian είναι το ελεύθερο και ανοικτού κώδικα λειτουργικό σύστημα το οποίο βασίζεται στο Debian και είναι βελτιστοποιημένο για το Raspberry Pi. Παρέχει το βασικό σύνολο προγραμμάτων και βοηθητικών προγραμμάτων για τη λειτουργία του Raspberry Pi. Έρχεται με περίπου 35.000 πακέτα τα οποία είναι προ-μεταγλωττισμένα λογισμικά τα οποία είναι συγκεντρωμένα σε μια ωραία μορφή για απρόσκοπτη εγκατάσταση στο Raspberry Pi. έχει καλή κοινότητα προγραμματιστών η οποία τρέχει τις φόρμες συζήτησης και παρέχει λύσεις σε πολλά σχετικά προβλήματα. Ωστόσο, το λειτουργικό σύστημα Raspbian βρίσκεται ακόμα υπό συνεχή ανάπτυξη με κύριο μέλημα τη βελτίωση της απόδοσης και της σταθερότητας όσο το δυνατόν περισσότερων πακέτων Debian.

2.4 Εξόρυξη αποτελεσμάτων

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.5, η πειραματική διάταξη για τον κόμβο 1 αποτελείται από κινητό ρομπότ με κεντρικό διακομιστή, μονάδα GPS, κάμερα και άλλους αισθητήρες. Όλοι οι αισθητήρες διασυνδέονται επιτυχώς με τον μικροελεγκτή και ο μικροελεγκτής διασυνδέεται με το raspberry pi. Το GPS και η κάμερα είναι επίσης συνδεδεμένα με το raspberry pi.



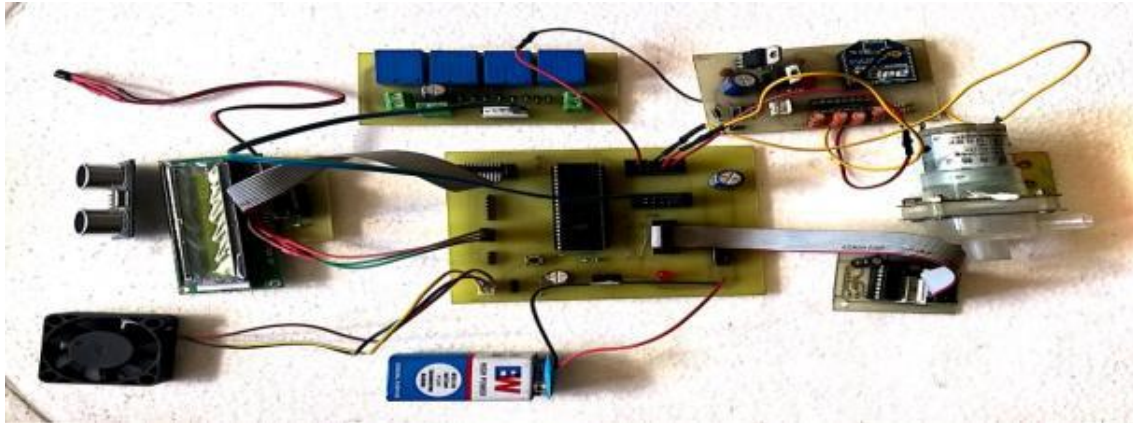
Σχήμα 2.5 Πειραματική διάταξη για τον κόμβο 1 [2.1]

Τα αποτελέσματα των δοκιμών δείχνουν ότι το ρομπότ μπορεί να ελεγχθεί εξ αποστάσεως χρησιμοποιώντας ασύρματη μετάδοση εντολών από τον υπολογιστή στο R-Pi. Το R-Pi προωθεί τις εντολές στον μικροελεγκτή και ο μικροελεγκτής δίνει σήματα στον οδηγό κινητήρα για να οδηγήσει το ρομπότ. Η μονάδα GPS παρέχει τις συντεταγμένες για τη θέση του ρομπότ.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.6, ο κόμβος 2 αποτελείται από ανιχνευτή κίνησης, αισθητήρα θερμοκρασίας, αισθητήρα υγρασίας, ανεμιστήρα ψύξης, αντλία νερού κ.λπ. που συνδέονται με την πλακέτα μικροελεγκτή.

Οι αισθητήρες δίνουν είσοδο στον ελεγκτή και σύμφωνα με αυτό ο μικροελεγκτής ελέγχει τις συσκευές σε αυτόματη λειτουργία και στέλνει επίσης την τιμή των

αισθητήρων στο R-Pi και το R-Pi την προωθεί στην έξυπνη συσκευή του χρήστη χρησιμοποιώντας το διαδίκτυο. Τα αποτελέσματα των δοκιμών δείχνουν ότι όταν το επίπεδο θερμοκρασίας αυξάνεται πάνω από το προκαθορισμένο επίπεδο κατωφλίου, τότε ο ανεμιστήρας ψύξης ενεργοποιείται αυτόματα σε αυτόματη λειτουργία.



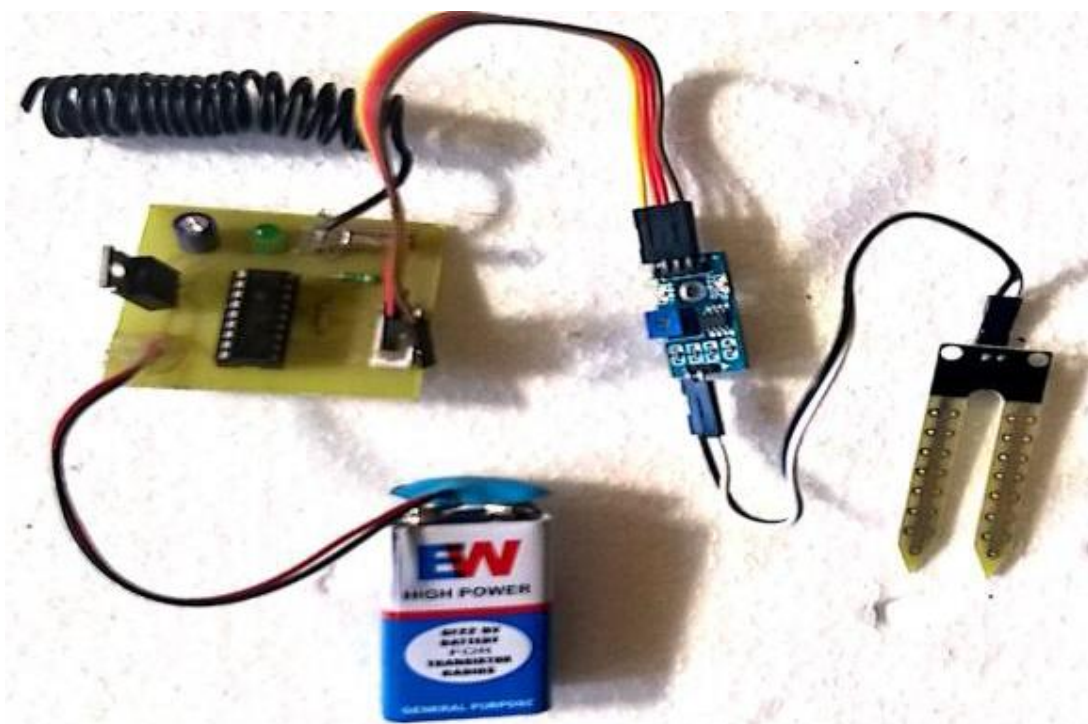
Σχήμα 2.6 Πειραματική διάταξη για τον κόμβο 2 [2.1]

Η αντλία νερού ενεργοποιείται επίσης εάν το επίπεδο υγρασίας πέσει κάτω από την καθορισμένη τιμή κατωφλίου. Στη χειροκίνητη λειτουργία, ο μικροελεγκτής λαμβάνει τα σήματα ελέγχου από το R-Pi μέσω του ZigBee και αναλαμβάνει αντίστοιχα την ενέργεια ελέγχου.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.7, ο κόμβος3 αποτελείται από έναν αισθητήρα υγρασίας συνδεδεμένο στο HT12E. Ο αισθητήρας υγρασίας μεταδίδει τα δεδομένα χρησιμοποιώντας το ολοκληρωμένο κύκλωμα κωδικοποιητή HT12E και έναν πομπό RF στον κόμβο2, όπου επεξεργάζεται από τον μικροελεγκτή και αντίστοιχα ενεργοποιείται/απενεργοποιείται η αντλία νερού.

Οι αισθητήρες και οι μικροελεγκτές και των τριών κόμβων διασυνδέονται επιτυχώς με το raspberry pi και επιτυγχάνεται ασύρματη επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων κόμβων.

Σχήμα 2.6 Πειραματική διάταξη για τον κόμβο 2 [2.1]



Σχήμα 2.7 Πειραματική διάταξη για τον κόμβο 3 [2.1]

Όλες οι παρατηρήσεις και οι πειραματικές δοκιμές αποδεικνύουν ότι το έργο αποτελεί μια ολοκληρωμένη λύση για τις δραστηριότητες στον αγρό, τα προβλήματα άρδευσης και τα προβλήματα αποθήκευσης με τη χρήση τηλεχειριζόμενου ρομπότ, έξυπνου συστήματος άρδευσης και έξυπνου συστήματος διαχείρισης αποθήκης αντίστοιχα. Η εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος στον αγρό μπορεί σίγουρα να βοηθήσει στη βελτίωση της απόδοσης των καλλιεργειών και της συνολικής παραγωγής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ ΓΙΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ GS- TO-UAV ΣΕ ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΞΥΠΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ

3.1 Εισαγωγή

Η έξυπνη γεωργία (Smart Farming, SF)SF είναι μια παγκόσμια τάση για την παραγωγή νέων ευκαιριών για την αγροτική γεωργία. Για τη γεωργία 4.0, η λύση της SF χρειάζεται συστήματα αυτοματοποίησης, ρομποτική, υπηρεσίες πληροφοριών, τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ), UAV (τόσο με πτερύγια όσο και με περιστρεφόμενες πτέρυγες), τεχνητή νοημοσύνη (AI), ανάλυση μεγάλων δεδομένων και Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT). Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα, την μεθοδολογία και τα ευρήματα από μία πρότυπη διαδικασία αξιολόγησης μοντέλων απωλειών διαδρομής στα πλαίσια συγκρότησης συστήματος SF [3.1].

Οι επικοινωνίες που βασίζονται σε UAV αποτελούν τη λύση για την αύξηση των υπηρεσιών στην SF, επειδή έχει επεκταθεί με ταχείς ρυθμούς σε όλους τους τομείς της γεωργίας, συμπεριλαμβανομένου του ψεκασμού φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων, σπορά, παρακολούθηση, αξιολόγηση της ανάπτυξης και χαρτογράφηση [3.1]. Υπάρχουν επίσης εφαρμογές UAV στην SF, όπως χαρτογράφηση, ψεκασμός, φύτευση, συγκομιδή, άρδευση και παρακολούθηση των καλλιεργειών.

Για τη χαρτογράφηση, τα UAV μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διενέργεια τρισδιάστατης (3D) χαρτογράφησης των γεωργικών πεδίων, συμπεριλαμβανομένης της επιφάνειας των γεωργικών εκτάσεων, της παρακολούθησης του εδάφους και της κατάστασης της καλλιέργειας με χάρτη υψηλής ανάλυσης [3.2]. Επιπλέον, η εφαρμογή φύτευσης μπορεί να πραγματοποιηθεί με UAV [3.3].

Ένα τέτοιο σύστημα χρησιμοποιείται για τη διανομή των σπόρων και των θρεπτικών συστατικών των φυτών κατά τη σπορά, ώστε να παρέχονται τέλειες συνθήκες για την ανάπτυξη των φυτών. Επιπλέον, το UAV μπορεί να εντοπίσει τις περιοχές όπου το νερό είναι scarce με βάση την επεξεργασία εικόνας και την απόκτηση δεδομένων για το σύστημα άρδευσης.

Η χρήση UAV εξοπλισμένων με φασματικούς αισθητήρες μπορεί να λάβει δεδομένα για τη διαχείριση του νερού και το σύστημα άρδευσης [3.4]. Στο [3.5], παρουσιάστηκε η τεχνολογία ταυτόχρονου εντοπισμού και χαρτογράφησης (SLAM) σε πραγματικό χρόνο με τη χρήση LiDAR για τη λήψη δεδομένων για χαμηλό υψόμετρο σε φανταστικό επίπεδο. Μπορεί να αναγνωρίζει τη θέση και να εντοπίζει τα αντικείμενα κατά την εκτέλεση των εργασιών του UAV. Για την παρακολούθηση της απόκτησης δεδομένων, τα UAV είναι εξοπλισμένα με πολυλειτουργικούς αισθητήρες σε ένα δίκτυο κινητικότητας, ιδίως σε περιοχές που δεν διαθέτουν δίκτυα κινητών σταθμών [3.6].

Η εστίαση στις επικοινωνίες με βάση τα UAV σε SF σενάρια, όπως η επικοινωνία αέρος-εδάφους (A2G) ή η επικοινωνία εδάφους-αέρος (G2A), έχει περιγραφεί με τη χρήση UAV για την επικοινωνία με συσκευές IoT ή GS, όπως αισθητήρες υγρασίας εδάφους, αισθητήρες υγρασίας ή πολυπεριβαλλοντικούς αισθητήρες. Για την πραγματοποίηση αξιόπιστων επικοινωνιών, ένα αναλυτικό μοντέλο καναλιού μεταξύ GS και UAV απαιτεί το χαρακτηριστικό διάδοσης υπό ορισμένα σενάρια SF [3.7].

Ο δείκτης ισχύος λαμβανόμενου σήματος (RSSI) και το μοντέλο απώλειας διαδρομής είναι σημαντικά βασικές παράμετροι για την ανάλυση του προϋπολογισμού της σύνδεσης. Για τη ζεύξη επικοινωνίας GS προς UAV, η ισχύς του σήματος ισχύος περιορίζεται στο GS όταν το σήμα μεταδίδεται από το GS στο δέκτη του UAV. Κατά συνέπεια, η επαρκής ζώνη κάλυψης για το GS είναι περιορισμένη. Σε αυτή την κατάσταση, η ζεύξη επικοινωνίας θα υποβαθμιστεί, ιδίως όταν το σήμα διαδίδεται σε ελεύθερο χώρο ή σε πυκνές καλλιέργειες. Για το λόγο αυτό, η μεταβλητή της ποιότητας της σύνδεσης μετάδοσης και της απόδοσης διάδοσης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν οι πολλαπλές GS αναπτύσσονται σε SF.

Τα χαρακτηριστικά διάδοσης GS-to-UAV επηρεάζονται σοβαρά από τα περιβάλλοντα. Τόσο το RSSI όσο και τα χαρακτηριστικά απώλειας διαδρομής είναι οι παράμετροι του προϋπολογισμού σύνδεσης που χρησιμοποιούνται για κρίσιμες πτυχές του σχεδιασμού του δικτύου, όπως το κατάλληλο επίπεδο της τροχιάς του UAV και οι θέσεις GS, η πρόβλεψη της κάλυψης, η ζώνη κάλυψης κ.λπ.

Ωστόσο, το πολύπλοκο περιβάλλον SF σε τέτοια δίκτυα καθιστά την πρόβλεψη της απώλειας διαδρομής πιο δύσκολη. Ως εκ τούτου, πρέπει να αντιμετωπιστεί ένα

ακριβές μοντέλο απώλειας διαδρομής στο ασύρματο κανάλι για την πρόβλεψη των χαρακτηριστικών διάδοσης σε SF [3.8]. Ομοίως, απαιτούνται μοντέλα υψηλής ακρίβειας για την πρόβλεψη του μοντέλου απώλειας διαδρομής και την εγγύηση της αποδοτικότητας μεταξύ των επικοινωνιών GS και UAV.

Ως εκ τούτου, τα μοντέλα ML αποτελούν τη λύση για μοντέλα πρόβλεψης υψηλής ακρίβειας. Επιπλέον, η εφαρμογή των μοντέλων ML μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως τα νέα μοντέλα πρόβλεψης δεδομένων σε διάφορες εργασίες [3.9-3.15].

Το μοντέλο των αλγορίθμων ANN και RF με βάση το ML παρουσιάστηκε στο [3.16]. Οι δείκτες απόδοσης δείχνουν ότι το προτεινόμενο μοντέλο RF είχε την καλύτερη απόδοση από το μοντέλο ANN. Παρόλο που η απόδοση του μοντέλου ANN δεν μπορούσε να ξεπεράσει το RF, η μελέτη στο [3.17] δείχνει ότι μπορεί να βελτιστοποιηθεί για την πρόβλεψη απώλειας διαδρομής σε ένα ασύρματο κανάλι πολύ υψηλής συχνότητας (VHF).

Η χρήση πολυεπίπεδου perceptron (MLP) επιτεύχθηκε σε εννέα κρυμμένους νευρώνες και συνάρτηση ενεργοποίησης υπερβολικής εφαιπτομένης σιγμοειδούς και ο αλγόριθμος μάθησης LM βελτιστοποιήθηκε με τις πιθανοτικές παραμέτρους όπως το μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE), το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (MSE), η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE), η τυπική απόκλιση (SD) και το coefficient of προσδιορισμού ή τιμές R-square (R2).

Στο [3.18], παρουσιάστηκε ο αλγόριθμος ANN για την πρόβλεψη της απώλειας διαδρομής που χαρακτηρίζεται στα 450 MHz, 850 MHz, 1800 MHz και 2600 MHz για το ετερογενές δίκτυο (HetNet), όπου τα αποτελέσματα του MAE ήταν κοντά στο μηδέν και το SD ήταν μικρότερο από 7 dB.

Στο [3.19], τέσσερις μέθοδοι ML, όπως το νευρωνικό δίκτυο οπισθοδιάδοσης (BPNN), το SVR, το RF και το AdaBoost, χρησιμοποιήθηκαν για την πρόβλεψη μοντέλων απώλειας διαδρομής για σενάρια καμπίνας αεροσκάφους. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η καλύτερη απόδοση για το χαμηλότερο σφάλμα πρόβλεψης επιτεύχθηκε από τη μέθοδο RF.

Έτσι, μπορεί να φανεί ότι η μέθοδος RF θα ήταν κατάλληλη για τη βέλτιστη απώλεια διαδρομής των μετρούμενων δεδομένων σε εσωτερικό περιβάλλον ή σενάρια εξασθένισης μικρής κλίμακας. Επιπλέον, η απόδοση του SVR έχει παρόμοια

αποτελέσματα με το BPNN για εξωτερικά περιβάλλοντα ή σενάρια εξασθένισης μεγάλης κλίμακας [3.20, 3.21]. Έτσι, το μοντέλο απώλειας διαδρομής με χρήση νευρωνικού δικτύου βαθιάς μάθησης προτάθηκε για την απόδειξη του σφάλματος πρόβλεψης για την κινητή επικοινωνία 5G [3.22].

Στη ζώνη συχνοτήτων 2,6 GHz, το προτεινόμενο μοντέλο με βαθύ νευρωνικό δίκτυο (DNN) μελετήθηκε συγκρίνοντας το μοντέλο ανίχνευσης ακτίνων και το μοντέλο uMa 38.901. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η μέθοδος DNN μπορεί να μειώσει το σφάλμα πρόβλεψης κατά 4,7 dB όταν συγκρίνεται με το μοντέλο ανίχνευσης ακτίνων και το εμπειρικό μοντέλο για την SFαρμογή δορυφορικής εικόνας.

Στο [3.23], οι συγγραφείς παρουσίασαν το μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για την πρόβλεψη του μοντέλου απώλειας διαδρομής για την αστική επικοινωνία χιλιοστομετρικών κυμάτων (MmWave). Στο [3.24], προτάθηκε η ακρίβεια της πρόβλεψης της απώλειας διαδρομής με τη χρήση της μεθόδου DNN για τη λήψη δεδομένων παρατήρησης για το μοντέλο ανίχνευσης ακτίνων. Προς αυτή την κατεύθυνση, οι τεχνικές ML είναι ικανές να εκτιμήσουν το ασύρματο κανάλι.

Ειδικότερα, η έρευνα σχετικά με τις τεχνικές ML για επικοινωνίες που βασίζονται σε UAV παρουσιάστηκε στο [3.25]. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν μερικές εκτιμήσεις των μοντέλων ML για την πρόβλεψη του χαρακτηρισμού της απώλειας διαδρομής σε σενάρια SF.

Η χρήση τεχνικών ML σε SF για την πρόβλεψη της απώλειας διαδρομής πραγματοποιείται για την αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ της θέσης GS και της τροχιάς του UAV.

Οι κύριες συνεισφορές και καινοτομίες της εργασίας [3.1] που παρουσιάζουμε στο τρέχον κεφάλαιο είναι οι εξής:

(1) Παρουσιάζεται το νέο μοντέλο καναλιού που ονομάζεται GS-to-UAV communications in SF με τη διερεύνηση των χαρακτηριστικών RSSI και απώλειας διαδρομής.

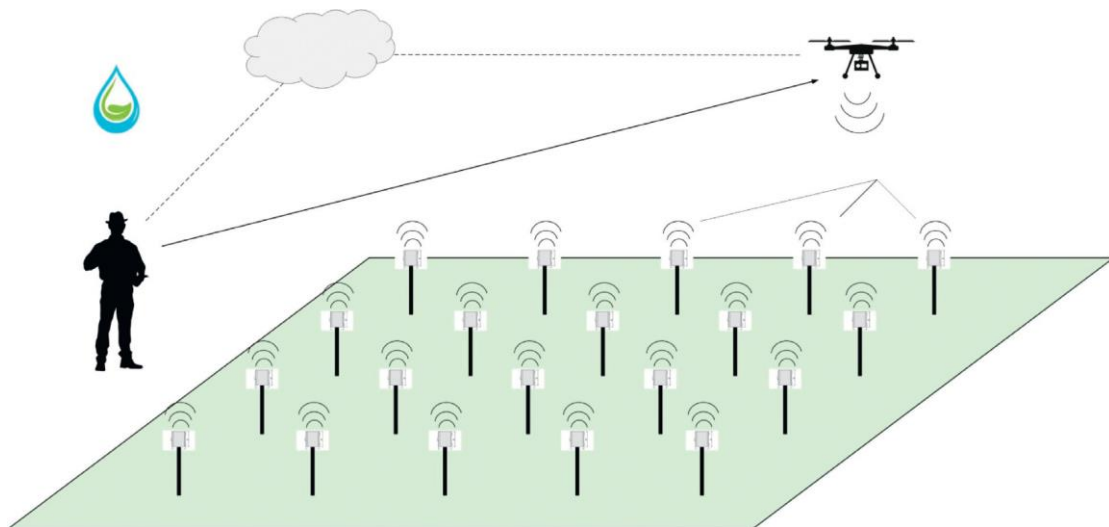
(2) Τα χαρακτηριστικά RSSI και απώλειας διαδρομής προβλέπονται με τη χρήση δύο μοντέλων ML, όπως τα μοντέλα SVR και ANN. Τα μοντέλα SVR και ANN εξετάζονται επειδή αυτοί οι αλγόριθμοι είναι κατάλληλοι για την αξιολόγηση των δεδομένων που οδηγούνται στα σενάρια εξασθένισης μεγάλης κλίμακας. Επίσης, η

πρόβλεψη της απώλειας διαδρομής είναι ένα πρόβλημα παλινδρόμησης με επίβλεψη- επομένως, μπορεί να επιλυθεί από τους αλγορίθμους SVR και ANN.

(3) Το μοντέλο επικύρωσης και τα αποτελέσματα αξιολογούνται με τους στατιστικούς δείκτες σφάλματος όπως MAE, RMSE και R2 και συγκρίνονται με το εμπειρικό μοντέλο απώλειας διαδρομής GUT-R.

3.2 Μεθοδολογία

Η εφαρμογή της επικοινωνίας GS και UAV στην SF περιγράφεται σε αυτό το τμήμα. Λόγω του περιορισμού της ενέργειας ακτινοβολίας από το GS, το UAV ως κινητός σταθμός βάσης (MBS) μπορεί να εξοπλιστεί με μια μονάδα πομποδέκτη για τη μετάδοση σημάτων για πολλαπλά GS.



Σχήμα 3.1 Μοντέλο συστήματος για επικοινωνίες μεταξύ GS και UAV σε SF
[3.1]

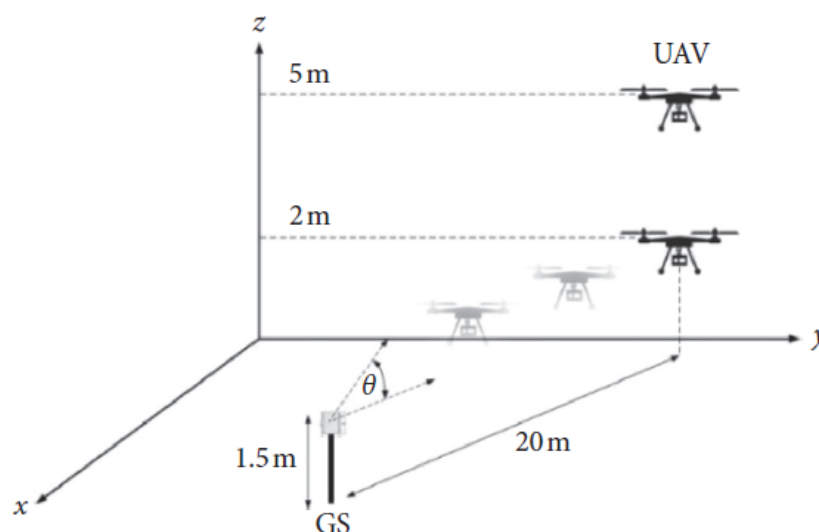
Το Σχήμα 3.1 δείχνει το μοντέλο συστήματος παρακολούθησης της υγρασίας του εδάφους με χρήση πολλαπλών GS και μιας επικοινωνίας με βάση UAV για SF. Το μοντέλο του συστήματος δείχνει ότι πολλαπλά GS εγκαθίστανται στο αγρόκτημα μεγάλης κλίμακας για την ανίχνευση των τιμών της εδαφικής υγρασίας. Το GS αποτελείται από αισθητήρα ηλιακής κυψέλης και τη μονάδα μικροελεγκτή της μονάδας ή κόμβο MCU.

Έτσι, η σύνδεση επικοινωνίας μεταξύ GS και UAV βασίζεται στο πρότυπο Wi-Fi IEEE 802.11 g. Η τάση και το ρεύμα της μονάδας GS χρησιμοποιούνται στα 3,3 V και 240 mA [3.26].

Για την αξιολόγηση του χαρακτηρισμού RSSI και των απωλειών διαδρομής μεταξύ του GS και του UAV του μοντέλου συστήματος, η διάταξη μέτρησης, το μοντέλο GUT-R και το μοντέλο ML περιγράφονται στις ενότητες 3.2.1, 3.2.2 και 3.2.3, αντίστοιχα.

3.2.1. Ρύθμιση μέτρησης

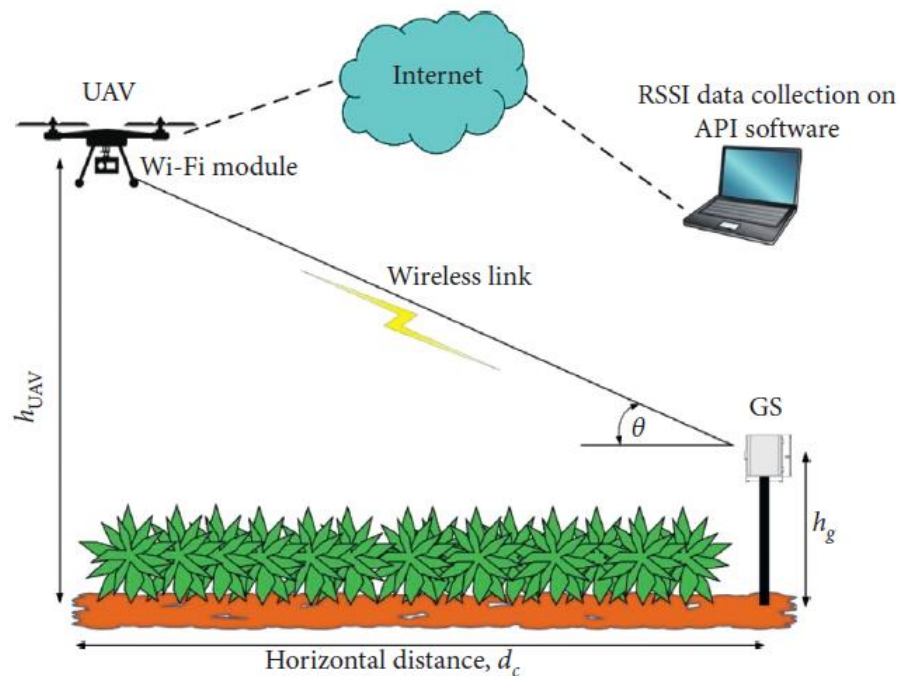
Το γεωμετρικό τρισδιάστατο μοντέλο για τη διάταξη μέτρησης εξετάζεται χρησιμοποιώντας το καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2. Το καρτεσιανό σύστημα (x , y , z) αντιπροσωπεύει τη θέση της εγκατάστασης GS και το υψόμετρο του UAV. Το ύψος του UAV στον άξονα z , h_{UAV} , ορίστηκε στα 2 m και 5 m. Επιπλέον, το ύψος του GS, h_G , ορίστηκε στα 1,5 m, ενώ η οριζόντια απόσταση, d_c , ορίστηκε από το σημείο GS μέχρι τα 20 m. Κατά τη μέτρηση, το UAV ήταν εξοπλισμένο με έναν πομποδέκτη μονάδας Wi-Fi για την επικοινωνία με το GS.



Σχήμα 3.2 Γεωμετρικό τρισδιάστατο μοντέλο για τη ρύθμιση των μετρήσεων

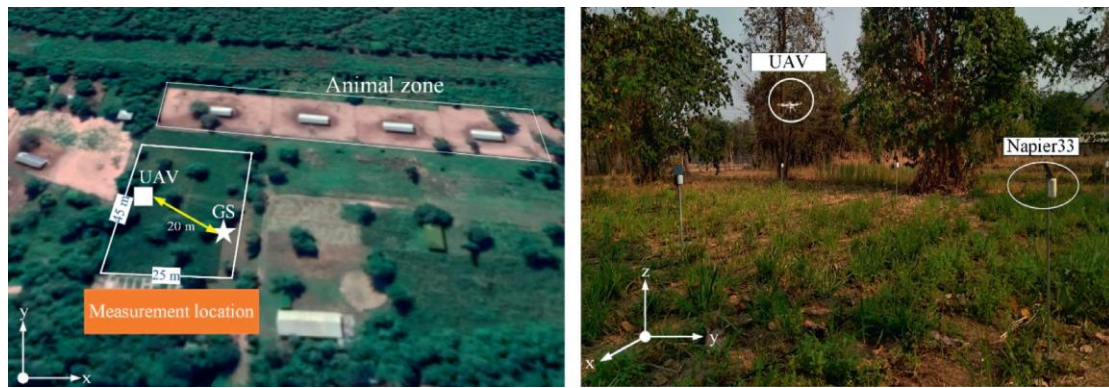
[3.1]

Για τη μέτρηση των χαρακτηριστικών RSSI και απωλειών διαδρομής, θεωρήσαμε μία μόνο θέση του κιτ δοκιμής GS στη θέση Cartesian x_3, y_3, z ή Napier33 καθώς και τη θέση GS στη θέση Cartesian x_1, y_3, z ή Ruzi13. Σε αυτό το πείραμα, το κιτ δοκιμής GS και το UAV συνδέθηκαν χρησιμοποιώντας ασύρματες συνδέσεις Wi-Fi συχνότητας 2,4 GHz και τα δεδομένα μέτρησης του RSSI μπορούν να καταγραφούν μέσω του Διαδικτύου από το λογισμικό διεπαφής προγράμματος εφαρμογής (API), όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.3. Μετά από αυτό, οι τιμές απώλειας διαδρομής μπορούν να υπολογιστούν στη μετα-επεξεργασία offline.



Σχήμα 3.3 Μοντέλο μέτρησης της επικοινωνίας GS-to-UAV για τη συλλογή δεδομένων RSSI [3.1]

Το Σχήμα 3.4 δείχνει την επάνω όψη της θέσης μέτρησης και την πλευρική όψη της διάταξης μέτρησης στο σενάριο Napier. Η διάσταση του σεναρίου Napier ήταν 25 m πλάτος και 45 m μήκος. Στο Σχήμα 3.5 παρουσιάζεται η κάτοψη από πάνω της θέσης μέτρησης και η πλευρική όψη του σεναρίου Ruzi, ενώ η διάσταση του σεναρίου Ruzi ήταν 30 m πλάτος και 50 m μήκος.



Σχήμα 3.4 Άνω όψη της θέσης μέτρησης και πλάγια όψη του παραδείγματος δοκιμής: UAV σε υψόμετρο 2m στο αγρόκτημα Napier [3.1]



Σχήμα 3.5 Άνω όψη της θέσης μέτρησης και πλάγια όψη του παραδείγματος δοκιμής: στο αγρόκτημα Ruzi [3.1]

Ο πίνακας 3.1 παρουσιάζει τις παραμέτρους της διάταξης μέτρησης. Στην παρούσα εργασία, οι θέσεις μέτρησης πραγματοποιήθηκαν πειραματικά στο Tropical Animal Research Institute, Ramkhamhaeng University, Ταϊλάνδη.

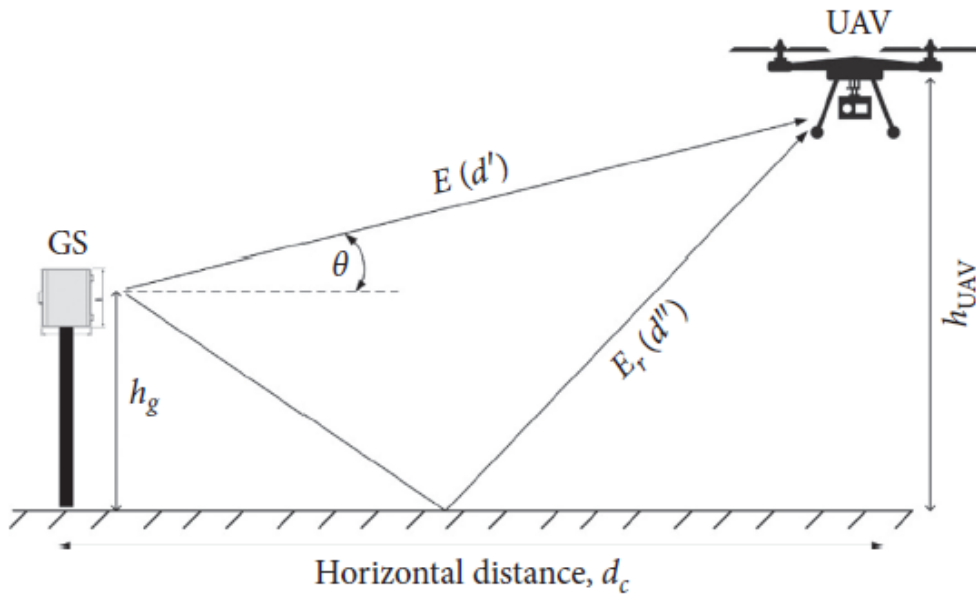
Πίνακας 3.1 Παράμετροι μετρήσεων [3.1]

Parameters	Values
Carrier frequency	2.4GHz
GS antenna gain (IoT module)	3.0dBi
UAV antenna gain (Wi-Fi module)	5.1dBi
Transmitter power (Wi-Fi module)	20dBm
Horizontal distance	20 m

UAV altitudes	2 m and 5 m
GS height	1.5 m

3.2.2. Μοντέλο GUT-R

Τα χαρακτηριστικά διάδοσης μεταξύ GS και UAV μπορούν να διερευνηθούν χρησιμοποιώντας το εμπειρικό μοντέλο GUT-R.



Σχήμα 3.6 Γεωμετρία για το εμπειρικό μοντέλο GUT-R [3.1]

Στο Σχήμα 3.6 παρουσιάζονται τα γεωμετρικά στοιχεία του μοντέλου GUT-R, όπου το συνολικό λαμβανόμενο E-field στο UAV είναι $E_U d_c$ και στη συνέχεια το αποτέλεσμα της άμεσης συνιστώσας της οπτικής επαφής (LOS), $E d'$, και της συνιστώσας που εκπέμπεται από το έδαφος, $E_r d''$. Η έκφραση έχει ως εξής:

$$E_U(d_c) = E(d') + E_r(d'') \quad (3.1)$$

Τα δύο κύματα που ταξιδεύουν σημειώνονται στο UAV: το άμεσο κύμα που διανύει απόσταση, d' , και το αντιδιαμετρικό κύμα που διανύει απόσταση, d'' . Το πεδίο E-field λόγω του LOS στο UAV μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$E(d') = \frac{E_0 d_0}{d'} \cos \left(2\pi f_c \left(t - \frac{d'}{c} \right) \right) \quad (3.2)$$

και το πεδίο E-field για το κύμα που διαχέεται στο έδαφος, το οποίο έχει απόσταση διάδοσης d'' , μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$E_r(d'') = \Gamma \frac{E_0 d_0}{d''} \cos \left(2\pi f_c \left(t - \frac{d''}{c} \right) \right) \quad (3.3)$$

όπου f_c είναι η φέρουσα συχνότητα και E_0 είναι το πεδίο E-field του ελεύθερου χώρου σε απόσταση αναφοράς d_0 από το GS- τότε, $d > d_0$. Το Γ δηλώνει τον συντελεστή επαναδιατομής για το έδαφος.

Η E_{dc} μπορεί να εκφραστεί ως το άθροισμα των εξισώσεων (3.2) και (3.3) ως εξής:

$$\begin{aligned} E_U(d_c) = & \frac{E_0 d_0}{d'} \cos \left(2\pi f_c \left(t - \frac{d'}{c} \right) \right) \\ & + (-1) \frac{E_0 d_0}{d''} \cos \left(2\pi f_c \left(t - \frac{d''}{c} \right) \right), \end{aligned} \quad (3.4)$$

όπου -1 υποδηλώνει το τέλει στοιχείο επαναιώρησης του εδάφους.

Λαμβάνοντας υπόψη το υψόμετρο h_{UAV} του UAV και το ύψος h_g του GS, η διαφορά μεταξύ της διαδρομής LOS και της διαδρομής εδαφικής επαναδιάκρισης μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$\Delta d = \frac{2h_{UAV}h_g}{d_c}$$

Η διαφορά φάσης $\Delta\theta$ μεταξύ των συνιστωσών του μοντέλου δύο ακτίνων και η χρονική καθυστέρηση τ_d μεταξύ της άφιξης των δύο συνιστωσών μπορούν να δοθούν ως εξής:

$$\Delta\theta = \frac{2\pi\Delta d_c}{\lambda}$$

$$\tau_{d_c} = \frac{\Delta\theta}{2\pi f_c}$$

Όταν η απόσταση d_c είναι μεγαλύτερη, η απόσταση επαναδιατομής d'' είναι πολύ μικρή και τα πλάτη των $E_{d'}$ και $E_{d''}$ είναι πανομοιότυπα και διαφέρουν μόνο ως προς τη φάση που μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$\left| \frac{E_0 d_0}{d} \right| \approx \left| \frac{E_0 d_0}{d'} \right| \approx \left| \frac{E_0 d_0}{d''} \right|.$$

Το σύνολο για το λαμβανόμενο E-field, $E_U d_c$, στην περίπτωση της μεγάλης απόστασης, d_c , μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$E_U(d_c) = \frac{E_0 d_0}{d'} \cos \left(\omega \left(\frac{d'' - d'}{c} \right) \right) - \frac{E_0 d_0}{d''} \cos \Delta\theta$$

$$|E_U(d_c)| = \sqrt{\left(\frac{E_0 d_0}{d_c} \right)^2 \cos^2(\Delta\theta - 1)^2 + \left(\frac{E_0 d_0}{d_c} \right)^2 \sin^2 \Delta\theta}.$$

Η λαμβανόμενη ισχύς στην οριζόντια απόσταση, d_c , από το GS για το μοντέλο δύο ακτίνων μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$P_{UAV}(d_c) = P_g G_g G_u \left(\frac{h_g^2 h_{UAV}^2}{d_c^4} \right)$$

όπου G_g και G_u αντιπροσωπεύουν το κέρδος κεραίας του GS και το κέρδος κεραίας του δέκτη στο UAV, αντίστοιχα. P είναι η ισχύς που εκπέμπεται από το GS. Εξίσωση (11), παρατηρούμε ότι η μεγάλη απόσταση, η λαμβανόμενη ισχύς πέφτει με την αύξηση της απόστασης που είναι πιο γρήγορη απώλεια διαδρομής στον ελεύθερο χώρο. Στις μεγάλες τιμές του d_c , η απώλεια διαδρομής για το μοντέλο GUT-R μπορεί να εκφραστεί σε dB ως εξής:

$$P_L^{GUT-R}(dB) = 40 \log d_c - (10 \log G_g + 10 \log G_u + 20 \log h_g + 20 \log h_{UAV}).$$

Σε μικρές αποστάσεις, dc, μπορεί να ληφθεί με την εξίσωση (3.4) για τον υπολογισμό του συνολικού πεδίου EU(dc) E-field.

3.2.3. Μοντέλο μηχανικής μάθησης

Η διαδικασία του μοντέλου πρόβλεψης των RSSI και των απωλειών διαδρομής με βάση την ML παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.7. Σε αυτή την ενότητα, τα σύνολα δεδομένων θεωρούνται ως RSSI και απώλεια διαδρομής από τη συλλογή μετρημένων δεδομένων που διαχωρίζονται ως σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης 80% και σύνολο δεδομένων δοκιμής 20%, αντίστοιχα. Για την εν λόγω διαδικασία του μοντέλου πρόβλεψης με βάση το ML, για τη δημιουργία του μοντέλου επικύρωσης εκτελούνται τέσσερις ενότητες, συμπεριλαμβανομένων της προετοιμασίας των συνόλων εκπαίδευσης και δοκιμής, της επιλογής μοντέλου των αλγορίθμων SVR και ANN, της εκπαίδευσης του μοντέλου και της αξιολόγησης με τον υπολογισμό των στατιστικών δεικτών σφάλματος, όπως MAE, RMSE και R2 [27-29]. Μετά την κατασκευή του μοντέλου επικύρωσης, τα δεδομένα μέτρησης RSSI και απώλειας διαδρομής μπορούν να δημιουργηθούν με νέες εισόδους δεδομένων για την πρόβλεψη της παρατήρησης εξόδου με τη χρήση των μοντέλων πρόβλεψης.

Η επιλογή του μοντέλου των αλγορίθμων SVR και ANN πραγματοποιείται στους αλγόριθμους 1 και 2.

Στο επόμενο βήμα, τα αξιολογημένα δεδομένα με τους στατιστικούς δείκτες σφάλματος όπως MAE, RMSE και R2 για RSSI και απώλεια διαδρομής εκφράζονται ως εξής:

$$\text{MAE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_{i, \text{Test}} - x_{\text{Predict}}^{\text{SVR, ANN}}|,$$

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_{i, \text{Test}} - y_{\text{Predict}}^{\text{SVR, ANN}}|,$$

$$\text{RMSE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\mathbf{x}_{i, \text{Test}} - \mathbf{x}_{\text{Predict}}^{\text{SVR,ANN}}]^2,$$

$$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\mathbf{y}_{i, \text{Test}} - \mathbf{y}_{\text{Predict}}^{\text{SVR,ANN}}]^2},$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N [\mathbf{x}_{i, \text{Test}} - \mathbf{x}_{\text{Predict}}^{\text{SVR,ANN}}]}{\sum_{i=1}^N [\mathbf{x}_{i, \text{Test}} - \bar{\mathbf{x}}_{\text{Predict}}^{\text{SVR,ANN}}]}$$

$$1 - \frac{\sum_{i=1}^N [\mathbf{y}_{i, \text{Test}} - \mathbf{y}_{\text{Predict}}^{\text{SVR,ANN}}]}{\sum_{i=1}^N [\mathbf{y}_{i, \text{Test}} - \bar{\mathbf{y}}_{\text{Predict}}^{\text{SVR,ANN}}]},$$

3.3 Αποτελέσματα και συμπεράσματα

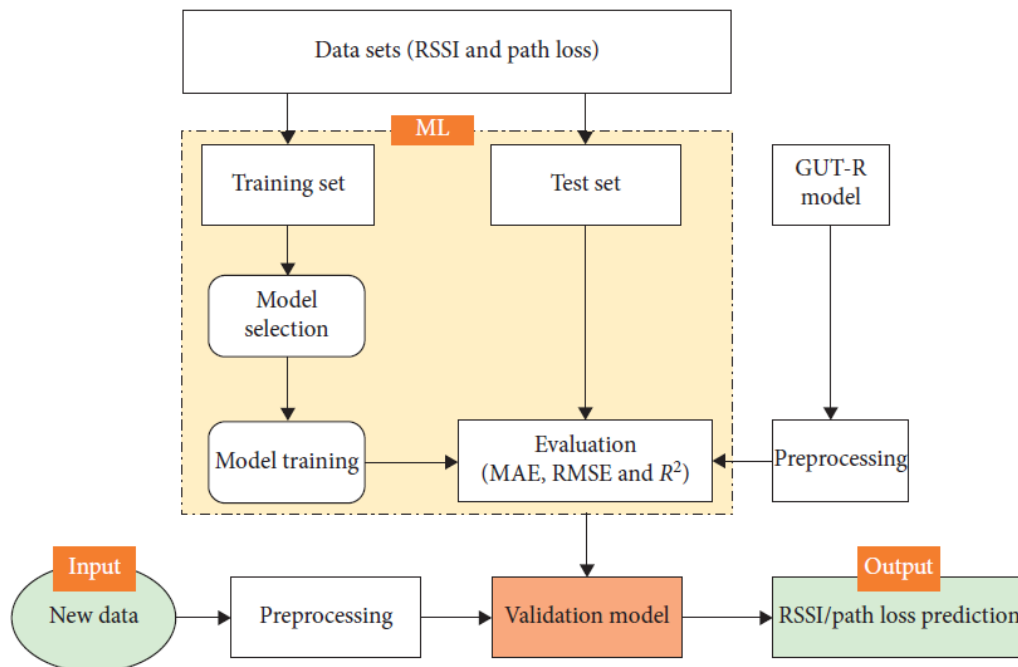
Σε αυτή την ενότητα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού RSSI και των απωλειών διαδρομής του μοντέλου GUT-R, των δεδομένων μέτρησης, του προτεινόμενου μοντέλου SVR και του προτεινόμενου μοντέλου ANN. Στην ενότητα 3.3.1, περιγράφονται τα συγκριτικά αποτελέσματα επιδόσεων των μοντέλων πρόβλεψης με βάση το RSSI. Στην ενότητα 3.3.2 παρουσιάζονται οι συγκριτικές επιδόσεις των μοντέλων πρόβλεψης με βάση τις απώλειες διαδρομής και στην ενότητα 3.3.3 έχουμε τα συμπεράσματα.

3.3.1. Μοντέλα πρόβλεψης με βάση το RSSI

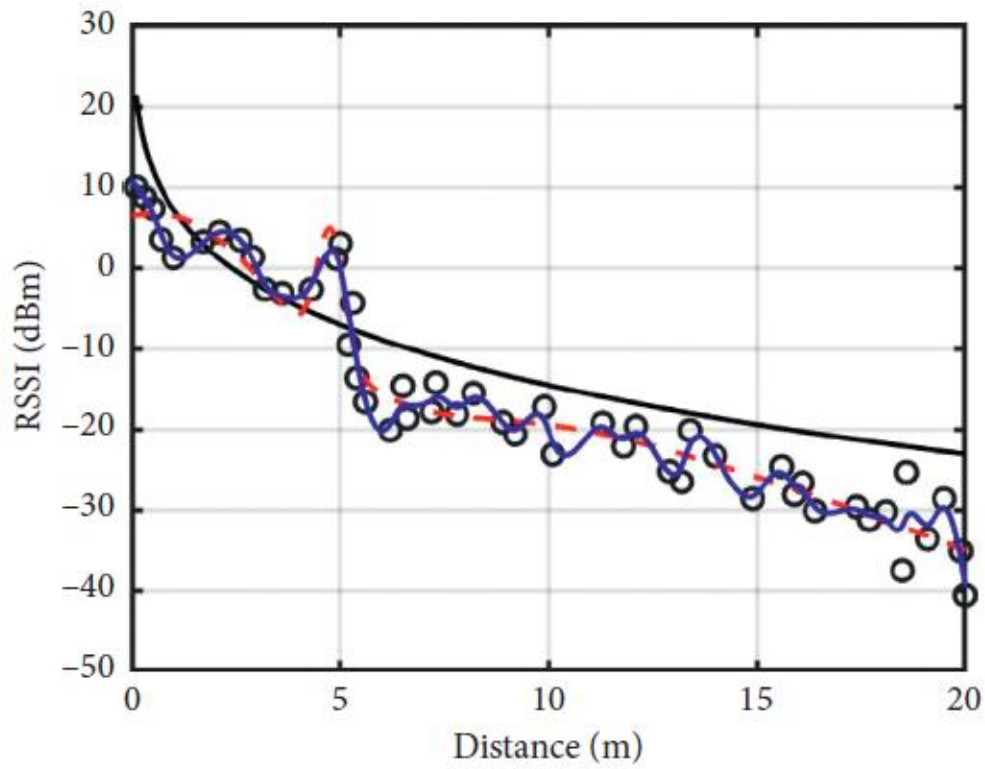
Στο Σχήμα 3.8, το επίπεδο RSSI τροφοδοτείται στα 10 dBm έως 32 dBm για τροχιά UAV σε ύψος 2 m στο σενάριο Napier. Η οριζόντια απόσταση μεταξύ UAV και GS (θέση Napier33) διαχωρίζεται από 0 m έως 20 m. Μπορεί να παρατηρηθεί ότι τα μετρούμενα δεδομένα σχετίζονται με το μοντέλο GUT-R που εξαρτάται από τις απώλειες ελεύθερου χώρου.

Εκτός αυτού, τα μοντέλα επικύρωσης από τις καμπύλες των μοντέλων SVR και ANN μπορούν να προβλέψουν τα μετρούμενα δεδομένα RSSI, όπου τα στατιστικά σφάλματα του μοντέλου ANN είναι μικρότερα από το μοντέλο SVR, όπως φαίνεται στον πίνακα 3.2.

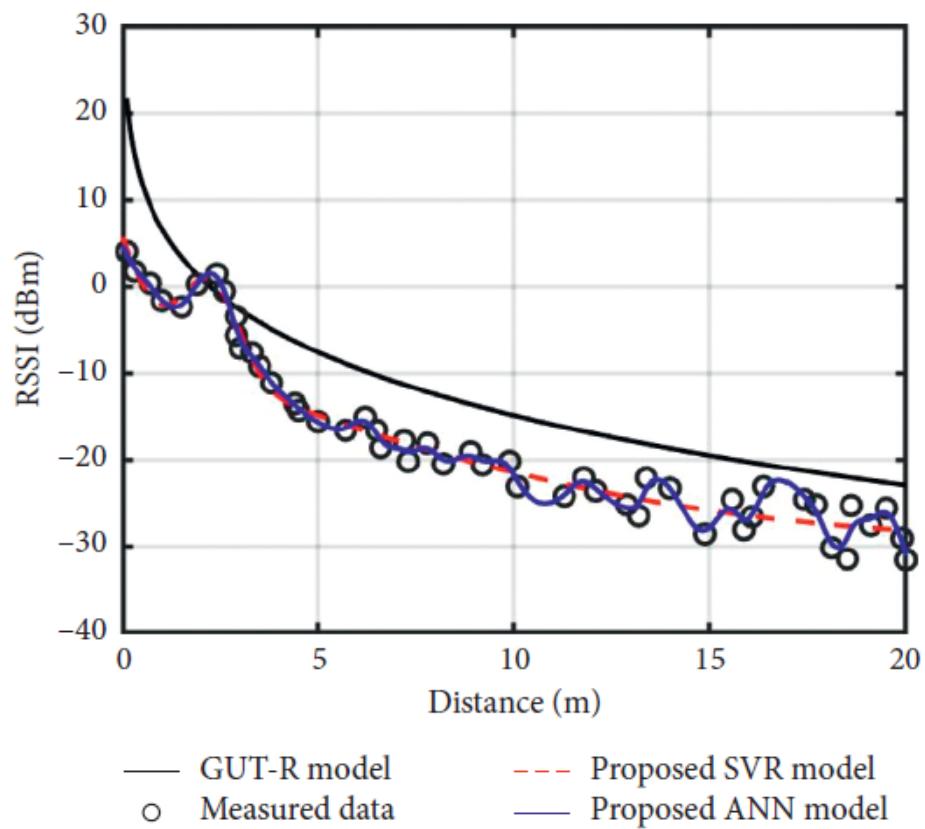
Σε αποτέλεσμα του μοντέλου πρόβλεψης, είναι σαφές ότι το MAE του μοντέλου SVR είναι 1,636 dBm και 1,596 dBm για το μοντέλο ANN, ενώ τα RMSE των μοντέλων SVR και ANN είναι 3,336 dBm και 3,196 dBm, αντίστοιχα. Το R^2 των μοντέλων SVR και ANN είναι 0,957 και 0,964, αντίστοιχα.



Σχήμα 3.7 Διαδικασία του μοντέλου πρόβλεψης απώλειας RSSI και διαδρομής με βάση το ML [3.1]



Σχήμα 3.8 RSSI μεταξύ της τροχιάς του UAV σε ύψος 2m και του GS (Napier33) στο σενάριο Napier [3.1]



Σχήμα 3.9 RSSI μεταξύ της τροχιάς του UAV σε ύψος 2m και του GS (Ruzi13)
στο σενάριο Ruzi [3.1]

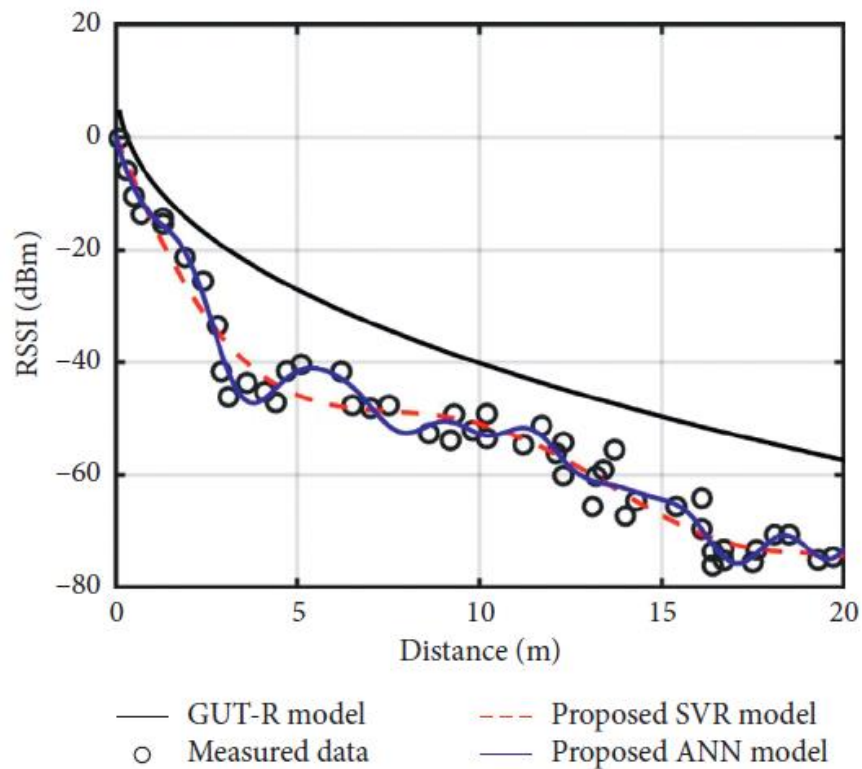
Πίνακας 3.2 Δείκτες στατιστικού σφάλματος RSSI όταν η τροχιά του UAV
βρίσκεται σε υψόμετρο 2m [3.1]

Models	Napier scenario	Ruzi scenario			
	MAE	RMSE	R^2	MAE	RMSE
GUT-R	10.590	12.290	0.334	10.246	12.539
SVR	1.636	3.336	0.957	1.121	1.870
ANN	1.596	3.196	0.964	1.112	0.289

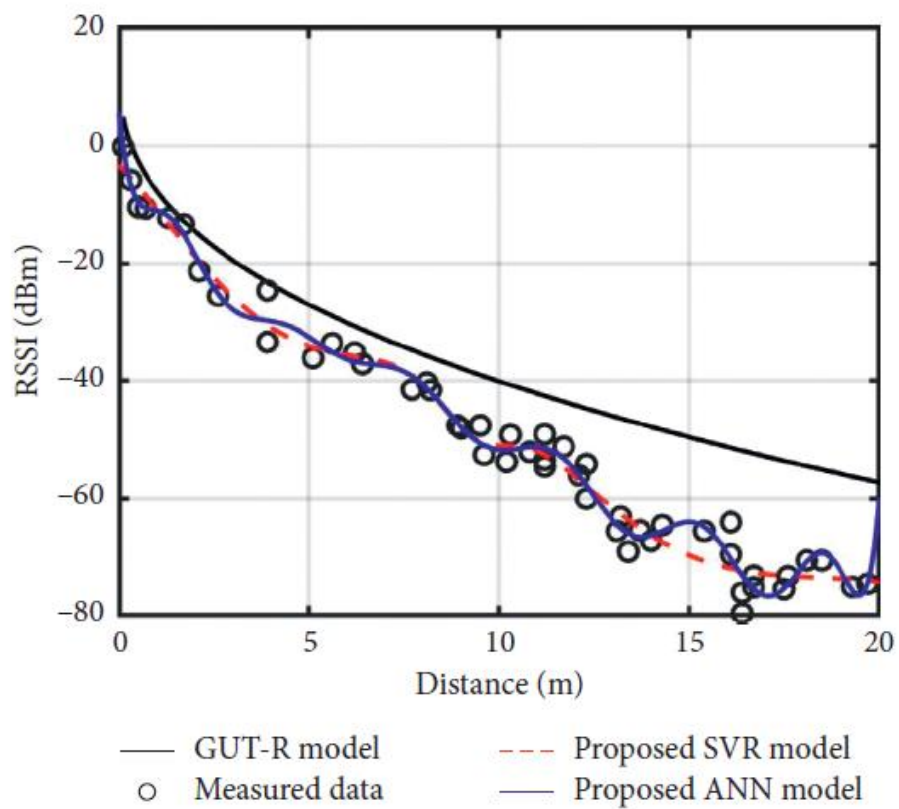
Ως αποτέλεσμα, είναι σαφές ότι το μοντέλο ANN υπερτερεί ελαφρώς έναντι του μοντέλου SVR, επειδή η καμπύλη πρόβλεψης του μοντέλου ANN μπορεί να προσεγγίσει τα μετρούμενα δεδομένα καλύτερα από την καμπύλη SVR.

Στο Σχήμα 3.9, τα μετρούμενα δεδομένα του επιπέδου RSSI είναι από 5 dBm έως - 28 dBm στο σενάριο Ruzi. Παρατηρούμε ότι το effect από το έδαφος reflection εμφανίζεται σε απόσταση 2 m. Για να εκτελέσουμε τα στατιστικά σφάλματα, παρατηρούμε ότι το MAE του μοντέλου SVR είναι 1,121 dBm και 1,112 dBm για το μοντέλο ANN. Τα RMSE των μοντέλων SVR και ANN είναι 1,870 dBm και 1,628 dBm, αντίστοιχα.

Το R^2 των μοντέλων SVR και ANN είναι 0,974 και 0,981, αντίστοιχα, όπως φαίνεται στον πίνακα 3.2. Ως αποτέλεσμα, η απόδοση τόσο του μοντέλου SVR όσο και του μοντέλου ANN μπορεί να προβλέψει απόλυτα τα μετρούμενα δεδομένα σε αυτό το σενάριο. Για την τροχιά του UAV σε ύψος 5 m, η καμπύλη του μοντέλου GUT-R είναι 2 dBm έως - 58 dBm, ενώ τα μετρούμενα δεδομένα είναι 2 dBm έως - 70 dBm, όπως φαίνεται στα Σχήματα 3.10 και 3.11, που αντιστοιχούν στην επίγεια επαναιώρηση λόγω της μεγάλης απόστασης dc.



Σχήμα 3.10 RSSI μεταξύ της τροχιάς του UAV σε ύψος 5m και του GS (Napier33) στο σενάριο Napier [3.1]



Σχήμα 3.11 RSSI μεταξύ τροχιάς UAV σε υψόμετρο 5m και GS (Ruzi13) στο σενάριο Ruzi [3.1]

Για την εκτέλεση των στατιστικών δεικτών σφάλματος, το MAE του μοντέλου SVR είναι 1,785 dBm και 1,698 dBm για το μοντέλο ANN. Τα RMSE των μοντέλων SVR και ANN είναι 3,718 dBm και 3,219 dBm, αντίστοιχα. Το R² των μοντέλων SVR και ANN είναι 0,979 και 0,988, αντίστοιχα. Ομοίως, στο Σχήμα 3.10, το MAE του μοντέλου SVR είναι 1,734 dBm και 1,456 dBm για το μοντέλο ANN. Τα RMSE των μοντέλων SVR και Το R² των μοντέλων SVR και ANN είναι 0,977 και 0,983, η τροχιά του UAV είναι σε υψόμετρο 5 m και παρουσιάζεται στον πίνακα 3.3.

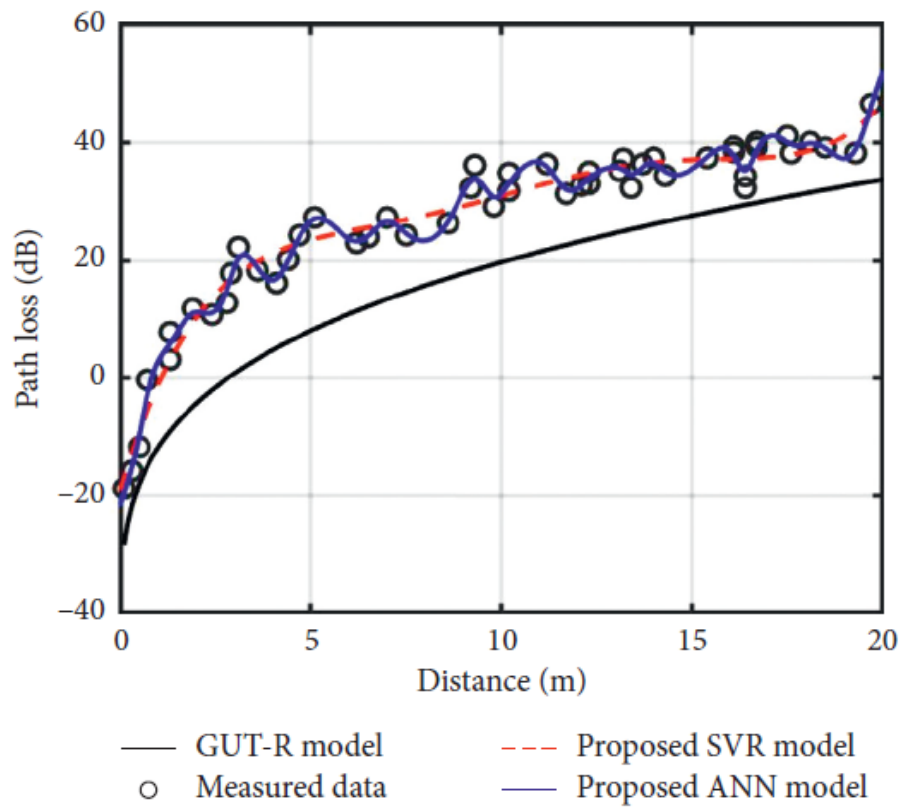
3.3.2. Μοντέλα πρόβλεψης με βάση την απώλεια διαδρομής

Στο Σχήμα 3.12 παρουσιάζεται η σύγκριση των απωλειών διαδρομής του μοντέλου GUT-R, των μετρούμενων δεδομένων και των μοντέλων πρόβλεψης όταν η τροχιά του UAV βρίσκεται σε υψόμετρο 2 m στο σενάριο Napier.

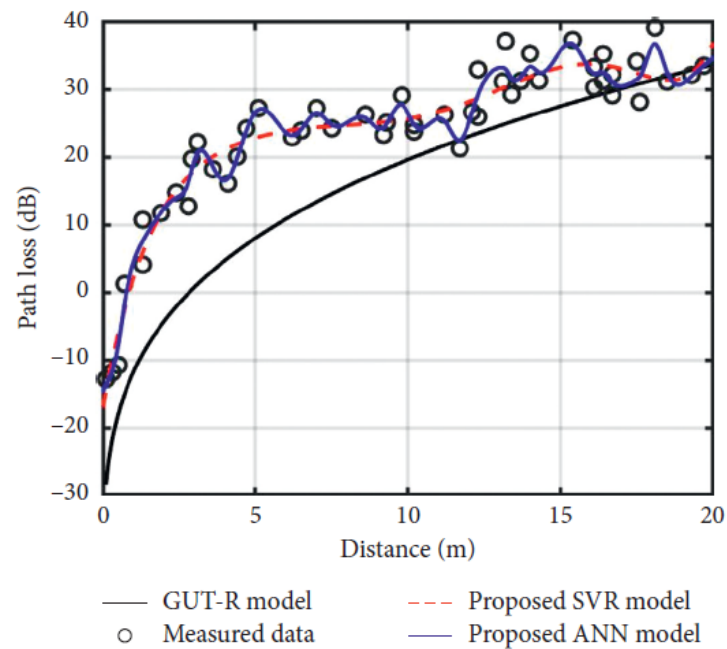
Πίνακας 3.2 Δείκτες στατιστικού σφάλματος RSSI όταν η τροχιά του UAV βρίσκεται σε υψόμετρο 2m [3.1]

Models	Napier scenario		Ruzi scenario		
	MAE	RMSE	R^2	MAE	RMSE
GUT-R	18.235	20.092	0.215	18.432	20.238.
SVR	1.785	3.718	0.979	1.734	3.266
ANN	1.698	3.219	0.986	1.456	0.139

Το μοντέλο GUT-R με βάση την απώλεια διαδρομής κυμαίνεται από 24 dB έως 38 dB σε αυτό το σενάριο- ωστόσο, φαίνεται ότι τα μετρούμενα δεδομένα κυμαίνονται από 20 dB έως 40 dB.



Σχήμα 3.12 Απώλεια διαδρομής μεταξύ της τροχιάς του UAV σε ύψος 2m και του GS (Napier33) στο σενάριο Napier [3.1]

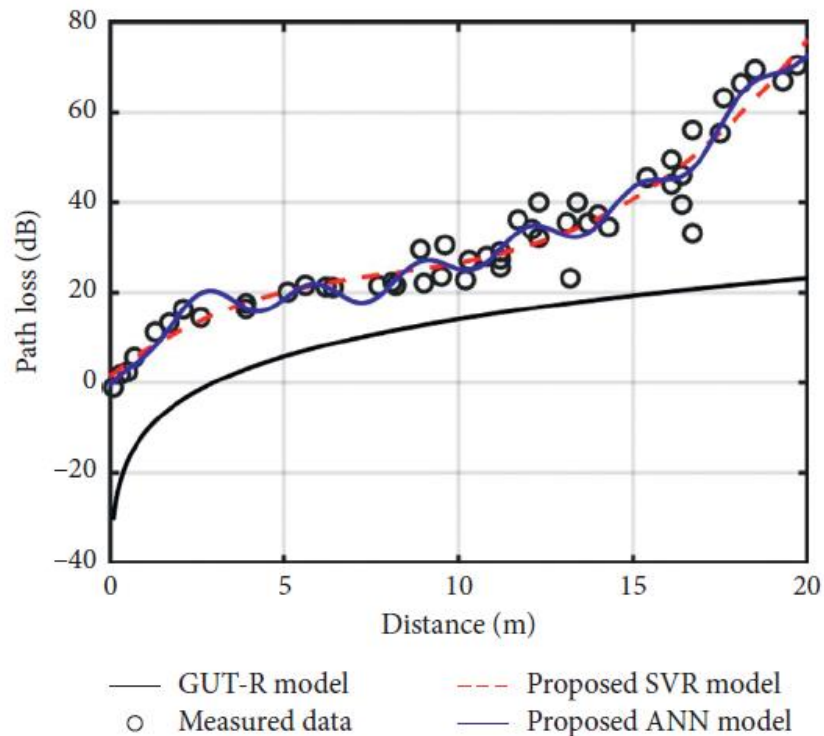


Σχήμα 3.13 Απώλεια διαδρομής μεταξύ της τροχιάς του UAV σε ύψος 2m και του GS (Ruzi13) στο σενάριο Ruzi [3.1]

Το MAE μεταξύ του μοντέλου GUT-R και των μετρούμενων δεδομένων είναι 12,214 dB και 14,334 dB RMSE, αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι η επίδοση MAE του μοντέλου SVR είναι 1,252 και 1,150 για το μοντέλο ANN.

Τα RMSE απόδοσης των μοντέλων SVR και ANN είναι 3,067 και 2,502. Το R² των μοντέλων SVR και ANN είναι 0,972 και 0,981, αντίστοιχα. Παρόλο που τα σφάλματα πρόβλεψης των μοντέλων SVR και ANN είναι ελαφρώς διαφορετικά, το μοντέλο πρόβλεψης με βάση το ANN μπορεί να προβλέψει καλύτερα την απώλεια διαδρομής με ακρίβεια στο σενάριο Napier.

Η σύγκριση των χαρακτηριστικών της απώλειας διαδρομής στο σενάριο Ruzi για την τροχιά του UAV σε ύψος 2 m παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.13. Παρατηρούμε ότι τα μετρούμενα δεδομένα αυξάνονται σε 10 m έως 20 m της απόστασης διαχωρισμού και η απώλεια διαδρομής κυμαίνεται από 25 dB έως 32 dB. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να οφείλεται στη σκέδαση του περιβάλλοντος.

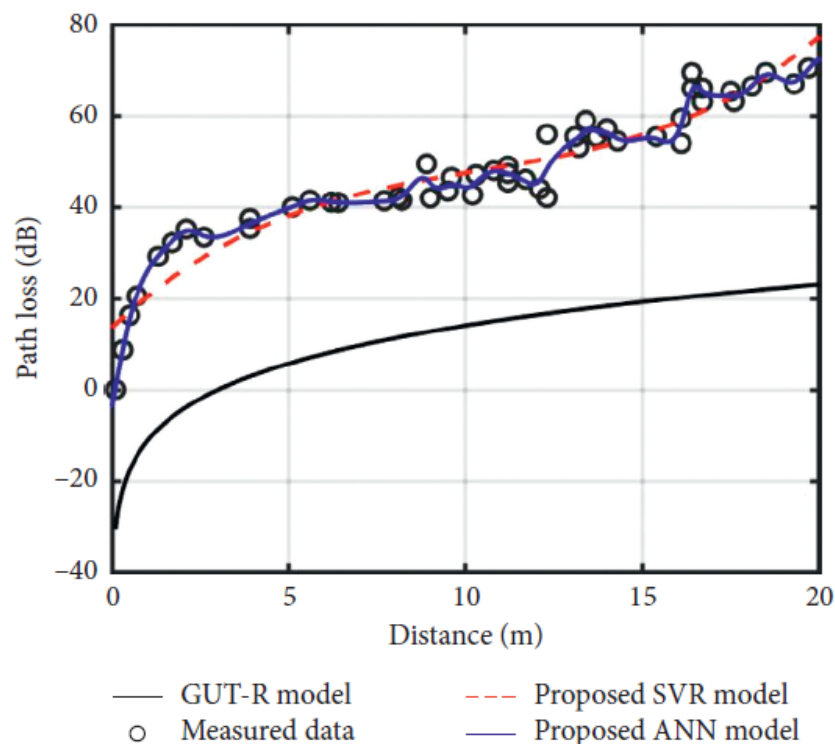


Σχήμα 3.14 Απώλεια διαδρομής μεταξύ της τροχιάς του UAV σε ύψος 5m και του GS (Napier33) στο σενάριο Napier [3.1]

Όταν η τροχιά του UAV βρίσκεται σε υψόμετρο 5 m, το μοντέλο GUT-R με βάση την απώλεια διαδρομής κυμαίνεται από - 22 dB έως 23 dB, επειδή η επίδραση της ακτίνας εδαφικής επαναιώρησης σε όρους $Er d''$ μειώνεται, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.14.

Προφανώς, το μοντέλο πρόβλεψης που χρησιμοποιεί το μοντέλο ANN στην μπλε καμπύλη είναι από 0 dB έως 66 dB. Σύμφωνα με το αποτέλεσμα της σύγκρισης μεταξύ των μοντέλων SVR και ANN, το μοντέλο ANN μπορεί να προβλέψει τα μετρούμενα δεδομένα καλύτερα από το μοντέλο SVR. Ομοίως, οι τιμές RMSE για τα μοντέλα SVR και ANN είναι καλύτερα από το μοντέλο GUT-R όταν η ακρίβεια του R^2 είναι 0,267 για το μοντέλο GUT-R, 0,933 για το μοντέλο SVR και 0,950 για το μοντέλο ANN.

Στο Σχήμα 3.15, η σύγκριση των μετρούμενων δεδομένων και του μοντέλου GUT-R για το σενάριο Ruzi δείχνει ότι το RMSE είναι υψηλό έως 32,523 dB και η ακρίβεια του R^2 είναι 0,121.



Σχήμα 3.15 Απώλεια διαδρομής μεταξύ της τροχιάς του UAV σε υψόμετρο 5m και του GS (Ruzi13) στο σενάριο Ruzi [3.1]

Από την άλλη πλευρά, τα σφάλματα πρόβλεψης των μοντέλων SVR και ANN είναι καλύτερα από το μοντέλο GUT-R, όπου το RMSE είναι 4,682 dB για το μοντέλο SVR και 4,407 dB για το μοντέλο ANN.

3.3.3 Συζήτηση

Το αποτέλεσμα της χαρακτηριστικής απώλειας διαδρομής με τη χρήση του εμπειρικού μοντέλου GUT-R εξαρτάται από παραμέτρους όπως το κέρδος της κεραίας, το ύψος GS, το ύψος του UAV και η οριζόντια απόσταση διαχωρισμού. Εν τω μεταξύ, τα πραγματικά δεδομένα μέτρησης της απώλειας διαδρομής είναι μεγαλύτερα από το μοντέλο GUT-R επειδή τα δεδομένα μέτρησης ενδέχεται να αυξάνονται όσον αφορά την απώλεια εισαγωγής και την απώλεια κακής προσαρμογής πόλωσης μεταξύ των κεραιών GS και UAV.

Συνεπώς, η εξέταση της απώλειας πόλωσης αναντιστοιχίας για τις επικοινωνίες GS και UAV είναι ζωτικής σημασίας.

Η απόδοση του μοντέλου ANN παρέχει καλύτερη απόδοση από το μοντέλο SVR ελαφρώς και στα δύο αγροκτήματα Napier και Ruzi αυτής της εργασίας. Για να συζητηθεί η απόδοση του μοντέλου SVR, ο αριθμός του ελέγχου C του επαναληπτικού μοντέλου επεξεργασίας δεδομένων έγινε σε 230 επαναλήψεις χρησιμοποιώντας προσομοίωση MATLAB.

Η συνάρτηση απώλειας επηρεάζεται από εκ των προτέρων πληροφορίες σχετικά με την κατανομή του θορύβου που επηρεάζει τα σύνολα δεδομένων. Για το σκοπό αυτό, το R^2 του μοντέλου SVR είναι 0,951 ή το ποσοστό απόδοσης είναι 95%. Για να συζητήσουμε το μοντέλο ANN, διαπιστώσαμε ότι δύο στρώματα εισόδου ως [PLi, dc], ένα κρυφό στρώμα όπου ο καλύτερος αριθμός των νευρώνων ήταν τέσσερις και ένα στρώμα εξόδου, δόθηκε ένα κατάλληλο μοντέλο πρόβλεψης σε αυτή την εργασία. Το υπερεπίπεδο του RBF-NN μπορεί να ελέγξει την επανάληψη της στάθμισης μεταξύ των συνόλων εκπαίδευσης και δοκιμής τόσο εύκολα, η οποία είναι βέλτιστα σταθμισμένη ως 200 επαναλήψεις. Έτσι, το R^2 του μοντέλου ANN είναι 0,967 ή το ποσοστό απόδοσης είναι 97%.

Σε αυτή την εργασία, η απόδοση του μοντέλου ANN μπορεί να προβλέψει ομαλά τα χαρακτηριστικά απώλειας διαδρομής ακρίβειας καλύτερα από το μοντέλο SVR, για παράδειγμα, τα σενάρια SF.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Σενάριο εργασίας

4.1 Εισαγωγή

Το τέταρτο κεφάλαιο της πτυχιακής εργασίας εστιάζει στο ραδιο-κανάλι μεταξύ του κυψελοειδούς δικτύου και των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV). Η αξιολόγηση γίνεται μέσω μετρήσεων πεδίου που πραγματοποιήθηκαν σε αγροτικό περιβάλλον στη Δανία [4.1]. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε ένα λειτουργικό δίκτυο LTE (800 MHz), χρησιμοποιώντας ένα εμπορικό κινητό τηλέφωνο τοποθετημένο μέσα στο πλαίσιο ενός UAV. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν με UAV που πετούσε σε 5 διαφορετικά ύψη που μετρήθηκαν πάνω από το επίπεδο του εδάφους (20, 40, 60, 80 και 100 μέτρα) και από τα αποτελέσματα προέκυψε μια χαρακτηριστική καμπύλη των απωλειών διαδρομής.

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται ανάλυση των παρεμβολών downlink (DL) για τις αναφερόμενες μετρήσεις, η οποία υποδηλώνει ότι υπάρχει υποβάθμιση του λόγου σήματος προς παρεμβολή που σχετίζεται με το ύψος. Τρεις πιθανές πηγές για το φαινόμενο αυτό παρουσιάζονται επίσης και συζητούνται στην εργασία αναφοράς [4.1]: διευρυμένος ραδιο-ορίζοντας σε υψηλότερα επίπεδα, αξιολόγηση των ορίων οπτικής επαφής (LOS) και μειωμένη παρεμπόδιση της πρώτης ζώνης Fresnel.

Ένας σημαντικός παράγοντας για τις έξυπνες καλλιέργειες που σχετίζονται με UAV είναι η ανάπτυξη αξιόπιστης ζεύξης επικοινωνίας και ελέγχου (C2), επίσης γνωστή ως επικοινωνία ελέγχου και μη φορτίου (CNPC). Ο διαυλος C2 θα είναι υπεύθυνος για την ανταλλαγή όλων των επικοινωνιών που σχετίζονται με την πτήση για εφαρμογές πέραν της οπτικής επαφής, όπως η τηλεμετρία, οι πληροφορίες εναέριας κυκλοφορίας και οι απομακρυσμένες εντολές. Παρόλο που η ζεύξη C2 θεωρείται από πολλούς ότι πρέπει να αναπτυχθεί σε αποκλειστικές συχνότητες [4.2], τα κυψελοειδή δίκτυα μπορεί να είναι ήδη σε θέση να προσφέρουν υποδομές εδάφους που θα μπορούσαν να καταστήσουν τις ζεύξεις C2 πιο αποδοτικές και πανταχού παρούσες και θα μπορούσαν να εξεταστούν ως εναλλακτική λύση.

Σημαντική συμβολή σε αυτό το θέμα παρήγαγαν οι συγγραφείς του [4.3], οι οποίοι δημοσίευσαν μια σειρά μελετών σχετικά με τα κανάλια διάδοσης αέρος-εδάφους (ATG) με βάση μετρήσεις που συλλέχθηκαν από μεγάλα αεροσκάφη UAV. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στη ζώνη C (5060 MHz) και στη ζώνη LB (968 MHz), που είναι και οι δύο ζώνες που υποδεικνύονται από την ITU (Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών) ως κύριες υποψήφιες για αποκλειστικές συνδέσεις C2. Στο [4.3] οι μετρήσεις πραγματοποιούνται για πτήσεις πάνω από το νερό και τα αποτελέσματα δείχνουν ότι λόγω της ομαλής επιφάνειας του νερού, το μοντέλο που ταιριάζει καλύτερα στις μετρήσεις είναι το μοντέλο καμπύλης γης 2 ακτίνων (CE2R). Το φαινόμενο "lobbing" που προκαλείται από τη δεύτερη ακτίνα είναι πιο εμφανές για αποστάσεις άνω των 10km και είναι πιο εμφανές στα δεδομένα της L-Band.

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε ένα λοφώδες προαστιακό περιβάλλον έδειξαν την παρουσία πρόσθετων συνιστωσών πολλαπλών διαδρομών, που αποκλίνουν από το απλό μοντέλο 2 ακτίνων. Οι γραμμικές προσαρμογές με τη χρήση του μοντέλου απώλειας διαδρομής ελεύθερου χώρου (FSPL) σε κλίμακα log δείχνουν τυπικές αποκλίσεις μεταξύ 3,2 και 3,6 dB στη L-Band, η οποία είναι μια καλή προσαρμογή σε σύγκριση με το εύρος 6-10 dB που παρατηρείται συχνά σε επίγειες μετρήσεις απώλειας διαδρομής κυψελών [4.4].

4.2 Μετρήσεις και αποτελέσματα

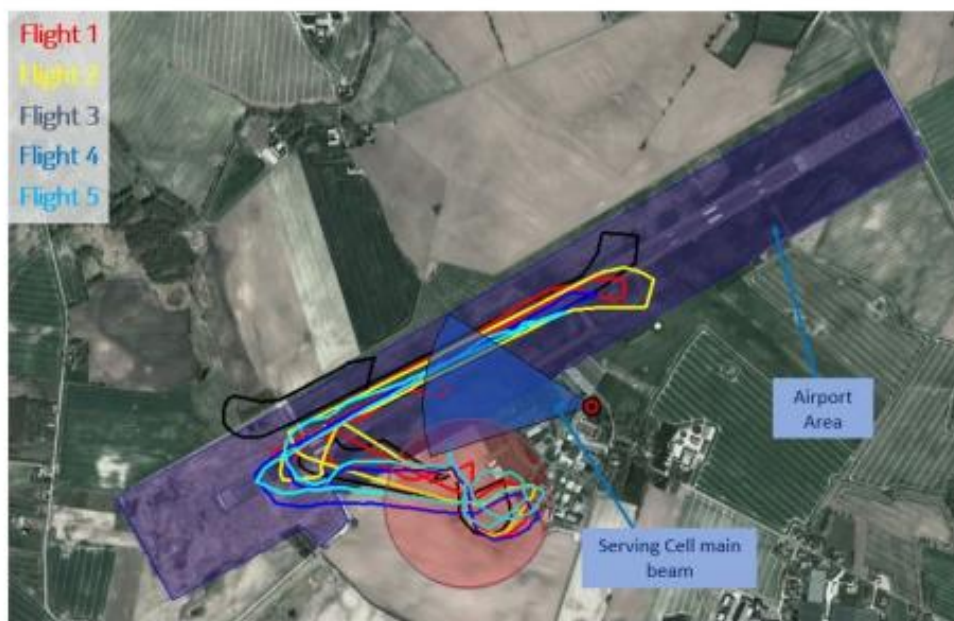


Σχήμα 4.1 Cumulus One. UAV που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις [4.1]

Το Cumulus One είναι ένα μη επανδρωμένο εναέριο όχημα (UAV) σχεδιασμένο για σκοπούς μετρήσεων και παρακολούθησης. Είναι εξοπλισμένο με διάφορους αισθητήρες που μπορούν να συλλέγουν δεδομένα σχετικά με περιβαλλοντικές παραμέτρους όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η ταχύτητα του ανέμου και η ατμοσφαιρική πίεση.

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του Cumulus One είναι η μεγάλη αντοχή του, η οποία του επιτρέπει να παραμένει στον αέρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα, συλλέγοντας δεδομένα σε μεγάλες περιοχές. Αυτό το καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμο για εφαρμογές όπως η χαρτογράφηση, η γεωργία και η περιβαλλοντική παρακολούθηση. Επιπλέον, τα δεδομένα που συλλέγονται από το Cumulus One μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν σε μια ποικιλία εφαρμογών λογισμικού για περαιτέρω ανάλυση και οπτικοποίηση.

Συνολικά, το Cumulus One είναι ένα ευέλικτο και ισχυρό εργαλείο για τη συλλογή δεδομένων σχετικά με τις περιβαλλοντικές συνθήκες, ενώ η ευκολία χρήσης και η ευελιξία του το καθιστούν ιδανική επιλογή για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Πραγματοποιήθηκε λοιπόν ένα test-bed με σκοπό να γίνουν μετρήσεις σε διαφορά ύψη με την χρήση του Cumulus One [4.1].



Σχήμα 4.2 Οριοθέτηση ζώνης πτήσης [4.1]

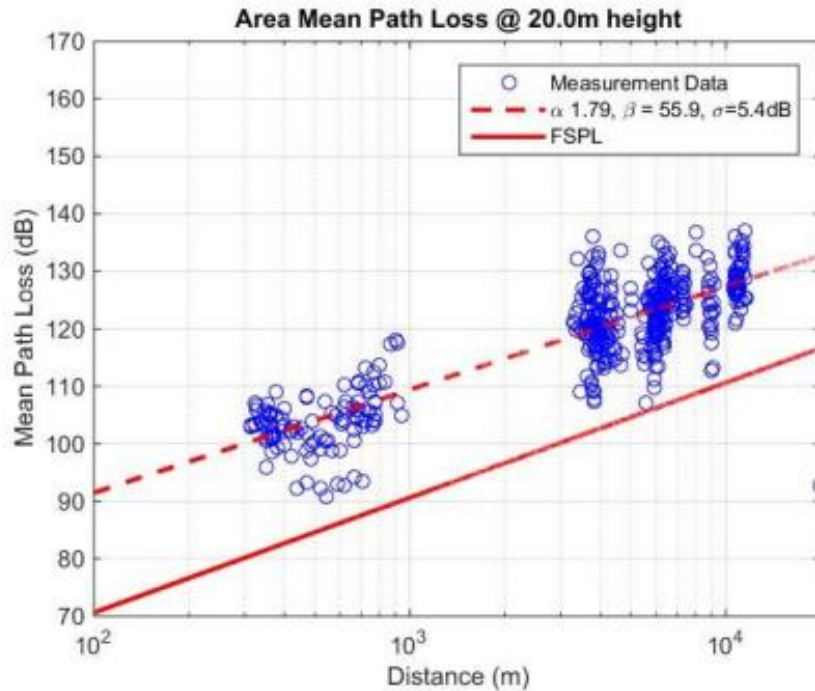
Λόγω της νομοθεσίας για τα UAV στη Δανία, οι πτήσεις περιορίστηκαν σε οπτική ακτίνα οπτικής επαφής και σε μέγιστο ύψος 100 μέτρων. Ως εκ τούτου, και οι 5 διαδρομές πτήσης που πραγματοποιήθηκαν ήταν εντός των εν λόγω όρια, όπως απεικονίζεται στο παραπάνω σχήμα 4.2.

Ένας από τους στόχους αυτών των μετρήσεων είναι να προσδιοριστεί η επίδραση των διαφορετικών υψών στις στην απόδοση ραδιοεπικοινωνίας για το UAV-UE. Όσον αφορά το θέμα αυτό, στο κάθε πτήση μέτρησης οι ελεγκτές στόχευαν στη διατήρηση του UAV-UE όσο το δυνατόν σταθερότερο ύψος. Τα ύψη των πτήσεων, μετρούμενα από το επίπεδο του εδάφους, ακολουθούσαν μια αύξουσα σειρά με βήματα των 20m, δηλαδή η πτήση 1 πραγματοποιήθηκε σε ύψος 20m, η πτήση 2 πραγματοποιήθηκε στα 40m, και ούτω καθεξής, μέχρι την πτήση 5, που πραγματοποιήθηκε στα 100m. Για να είναι συγκρίσιμες οι μετρήσεις για τις εν λόγω διαφορετικά ύψη, οι επιλεγμένες διαδρομές ήταν παρόμοιες και για τις 5 δοκιμές. Ο κόκκινος κύκλος στο Σχήμα 4.2 αντιπροσωπεύει την περιοχή που χρησιμοποιήθηκε για την απογείωση και προσγείωσης για το UAV, επομένως τα ύψη του UAV δεν είναι σταθερά εντός αυτής της ζώνης. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν σε αυτή την περιοχή δεν ήταν δεν λήφθηκαν υπόψη στην ανάλυση.

$$PL(d) = \beta + \alpha 10 \log_{10}(d) + X_0 \quad (4.1)$$

Η μοντελοποίηση της απώλειας διαδρομής προέκυψε από τον υπολογισμό των παραμέτρων όπου το α αντιπροσωπεύει τον συντελεστή διάδοσης (ή τις απώλειες διαδρομής εκθέτης), β είναι μια σταθερά που αντιπροσωπεύει την απώλεια διαδρομής κοντά στο απόσταση αναφοράς 1m. Το X_0 μοντελοποιείται ως τυχαία μεταβλητή με κατανομή Gauss, και μηδενική μέση τιμή και τυπική απόκλιση σ , και αντιπροσωπεύει τη μεταβολή της σκίασης.

Τα αποτελέσματα για την πτήση που πραγματοποιήθηκε σε ύψος 20m παρουσιάζονται στο σχήμα 4.3. Η κλίση της καλύτερης προσαρμογής γραμμής αντιστοιχεί σε α 1,8, η οποία είναι κοντά στον εκθέτη που παρατηρείται στην απώλεια διαδρομής στο ελεύθερο χώρο (FSPL), όπου $\alpha = 2$. Το τυπική απόκλιση του X_0 για αυτή τη γραμμική προσαρμογή δείχνει $\sigma = 5,4dB$.



Σχήμα 4.3 Μετρήσεις απώλειας διαδρομής με UAV-UE [4.1]

Είναι επίσης δυνατό να δούμε σε αυτό το σχήμα, ότι λόγω του περιορισμού στις εμβέλειες πτήσης για αυτή την εκστρατεία, υπάρχει ένα κενό στο στις μετρήσεις για το εύρος 1-4km, λόγω της απουσίας γειτονικών κυττάρων στην περιοχή αυτή που θα μπορούσαν να αναφερθούν από το UE.

Μια σύνοψη με τα αποτελέσματα για όλα τα ύψη πτήσης μπορεί να είναι στον πίνακα 4.1. Και στις πέντε πτήσεις οι εκθέτες απώλειας διαδρομής είναι κυμαίνονται μεταξύ 1,62 και 1,90, οι οποίοι είναι σύμφωνοι με τις αποτελέσματα που παρουσιάζονται για την πτήση 1 και με τις τιμές που αναφέρονται από την έρευνα. Αν και οι τιμές αυτές είναι χαμηλότερες από τις απώλειες διάδοσης στο ελεύθερο χώρο, είναι σημαντικό να υπενθυμίσουμε ότι, από την ίδια τη φύση του των μετρήσεων, είναι ελαφρώς μεροληπτικές προς τα κάτω. Το φαινόμενο αυτό ενισχύεται επίσης από τις απώλειες διείσδυσης που προκαλούνται από τον σκελετό του UAV, οι οποίες προκαλούν ένας πρόσθετος αριθμός δειγμάτων δεν ανιχνεύεται, ιδίως για τις τοποθεσίες που βρίσκονται πιο μακριά από την περιοχή πτήσης.

Πίνακας 4.1 Παράθεση συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων [4.1]

UAV-UE Height	α	σ [dB]	β [dB]	$\overline{SINR}$ [dB]	Median RSRP [dBm]
20 m	1.79	5.4	55.9	17.3	-85.2
40 m	1.69	4.9	57.6	11.9	-86.5
60 m	1.74	5.4	54.8	9.0	-87.3
80 m	1.62	5.8	59.7	6.2	-89.6
100 m	1.90	5.2	48.8	5.8	-87.9

Οι τιμές του μέσου SINR και RSRP που συλλέγονται σε κάθε πτήση παρουσιάζονται επίσης στον πίνακα 4.1. Σε αυτόν τον πίνακα, είναι δυνατόν να δούμε ότι καθώς το UAV ανεβαίνει, η τιμή του SINR για την εξυπηρετούσα κυψέλη, $SINR$, μειώνεται. Το SINR υποβαθμίστηκε κατά 11,5 dB όταν το UAV-UE μετακινήθηκε από τα 20m σε 100m.

Αναμένεται κάποια μεταβολή στο λαμβανόμενο σήμα ισχύς για τα διάφορα ύψη, πρώτα λόγω των αλλαγών στο γωνίας ανύψωσης μεταξύ του σταθμού βάσης και του UAV-UE, και δεύτερον λόγω της αύξησης των τρισδιάστατων αποστάσεων που προκαλείται από την αύξηση της απόστασης στη διάσταση του ύψους. Ωστόσο, δεν παρατηρείται σημαντική διαφορές εντοπίστηκαν στη διάμεση RSRP που λαμβάνεται από την εξυπηρετούσα κυψέλη, όπως αναφέρεται στον πίνακα 4.1.

Ένα άλλο σημείο που αξίζει να αναφερθεί στον πίνακα 4.1 είναι ότι η πιο απότομη υποβάθμιση του SINR καταγράφηκε σε υψόμετρο από 20m έως 40m. Από την πτήση 1 στην πτήση 2, η υποβάθμιση που καταγράφηκε ήταν 5,4dB, και στη συνέχεια 2,9, 2,8 και 0,4 dB στις επόμενες. Είναι δείχνει ότι η αύξηση της παρεμβολής είναι πιο εμφανής για χαμηλότερα ύψη, ενώ υπόκειται σε μικρότερη διακύμανση λόγω αύξηση του ύψους σε υψηλότερα επίπεδα.

Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που μπορούν να προκαλέσουν την υποβάθμιση του SINR που παρατηρήθηκε στην προηγούμενη ενότητα, και περισσότερες

μετρήσεις απαιτούνται προκειμένου να αποσαφηνιστεί ο τρόπος με τον οποίο κάθε ένας από αυτούς τους παράγοντες επηρεάζει τα τελικά αποτελέσματα.

Η καμπυλότητα της Γης θέτει ένα όριο στην εμβέλεια του ορίζοντα, το οποίο είναι η μέγιστη απόσταση ευθείας διαδρομής που δεν τέμνει την επιφάνεια του πλανήτη. Τα αντικείμενα που βρίσκονται πέρα από αυτό το εύρος δεν προσβάσιμα με ευθεία διαδρομή και θεωρούνται εκτός εμβέλειας για τις οπτικές επικοινωνίες. Για τα ραδιοκύματα, ο οπτικός ορίζοντας μπορεί να επεκταθεί λόγω λόγω ατμοσφαιρικών επιδράσεων. Η διηλεκτρική σταθερά του αέρα ποικίλλει με τις καιρικές συνθήκες και με το ύψος πάνω από το έδαφος.

Η μεταβολή που σχετίζεται με το ύψος προκαλεί την κάμψη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων καθώς διαδίδονται σε καμπύλες διαδρομές, διατηρώντας τα πιο κοντά στη γη από ό,τι θα ήταν αν ταξίδευαν σε ευθεία τροχιά. Προσεγγίζοντας τη Γη με μια σφαίρα ακτίνας R , το ραδιοφωνικό ορίζοντας, D_{max} , μεταξύ ενός UAV-UE και ενός σταθμού βάσης με αντίστοιχα ύψη ίσα με $h_{ue} \ll R$, και $h_{bs} \ll R$, εκφράζεται από:

$$D_{max} \approx \sqrt{2kRh_{ue}} + \sqrt{2kRh_{bs}} \quad (4.2)$$

όπου k αντιπροσωπεύει την αύξηση της ραδιοεμβέλειας που προκαλείται από ατμοσφαιρικές επιδράσεις. Χρησιμοποιώντας τη μέση τιμή του $k = 4/3$ ως προτείνεται από την ITU [4.1] για "τυπικές" ατμοσφαιρικές συνθήκες και υποθέτοντας ότι $R = 6370$ km, είναι δυνατόν να απλουστευθεί σε:

$$D_{max} \approx 4.12(\sqrt{h_{ue}} + \sqrt{h_{bs}}) \quad (4.3)$$

όπου το D_{max} παριστάνεται σε χιλιόμετρα και τα h_{ue} και h_{bs} είναι σε μέτρα. Έτσι, υποθέτοντας σταθερά υψόμετρα σταθμών βάσης στο δικτύου, το εύρος των αποστάσεων όπου μπορεί να εξακολουθεί να παρεμβαίνει ο τα λαμβανόμενα σήματα UAV-UE εξαρτάται από το υψόμετρο της συσκευής. Ως συνέπεια, το UAV σε μεγαλύτερα υψόμετρα έχει ένα διευρυμένο ραδιο-ορίζοντα, ο οποίος μπορεί να προσθέσει αρκετές διαφορετικές πηγές παρεμβολής.

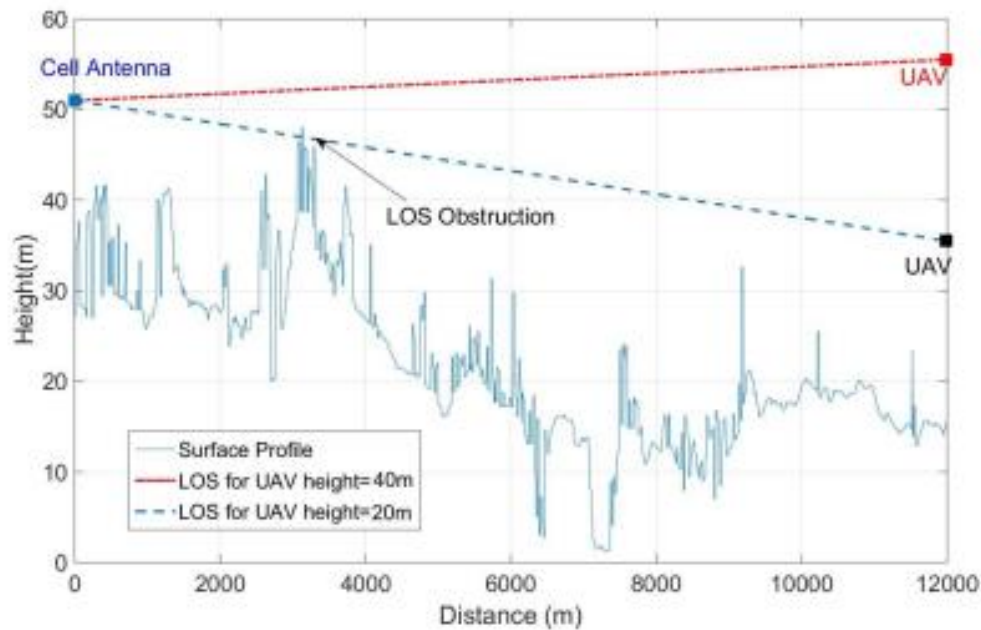
Υπό αυτές τις παραδοχές και λαμβάνοντας υπόψη την επίγεια αναφορά στο επίπεδο της θάλασσας, με $hbs = 25m$, ο ραδιο-ορίζοντας για το UAV-UE για τα ύψη των πτήσεων μπορεί να είναι κατά προσέγγιση προσεγγιστικά με τις τιμές που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 4.2. Είναι δυνατόν να δούμε ότι ο ραδιοορίζοντας του σήματος επεκτείνεται από 39km στα 20m σε 62km στα 100m, αυξάνοντας την "προσιτή" περιοχή σε 2300 km², προσθέτοντας δυνητικά εκατοντάδες νέες πηγές παρεμβολών.

Πίνακας 4.2 Ράδιο-ορίζοντας [4.1]

UAV-UE Height (m)	20	40	60	80	100
Radio Horizon (km)	39.0	46.6	52.5	57.5	61.8

Εν συνεχεία βλέπουμε πώς το ύψος του UAV μπορεί να επηρεάσει το LOS μεταξύ των πομπών του δικτύου και του UAV-UE. Σε αυτό το σχήμα, είναι δυνατό να δούμε το προφίλ ύψους της επιφάνειας μεταξύ ενός πομπού (κυψέλη Α), που βρίσκεται κοντά στην περιοχή δοκιμής, και του UAV-UE. Το προφίλ της επιφάνειας περιλαμβάνει κτίρια, δέντρα και βλάστηση σε μεταβολή του εδάφους. Το κύτταρο που απεικονίζεται σε αυτό το παράδειγμα αντιστοιχεί σε έναν τομέα όπου η κεραία του πομπού βρίσκεται σε ύψος 50 μέτρων πάνω από το επίπεδο του εδάφους (19 μέτρα υψόμετρο).

Το UAV τοποθετήθηκε σε δύο διαφορετικές ύψη πάνω από το έδαφος - δηλαδή 16 μέτρα υψόμετρο στο ζώνη προσγείωσης - 20 μέτρα και 40 μέτρα. Υπάρχει ένα εμπόδιο στο μεταξύ του πομπού του δικτύου και του UAV στο ύψος 20m, πιθανώς λόγω ενός κτιρίου, το οποίο θα προκαλέσει εξασθένηση του μεταδιδόμενου σήματος. Μόλις το UAV μετακινηθεί σε 40 μέτρα πάνω από το έδαφος στο ίδιο σημείο, δεν υπάρχει πλέον ένα εμπόδιο LOS. Παρόλο που το PCI αυτού του κυττάρου δεν προσδιορίστηκε από το UE σε καμία μέτρηση, η εκκαθάριση του LOS θα προκαλέσει τη λήψη μεγαλύτερης ισχύος παρεμβολής από το UE.



Σχήμα 4.4 Αλληλεπίδραση LOS και επιφανειακού προφίλ για το κύτταρο Α
[4.1]

Συγκρίνοντας την πτήση των πέντε δοκιμών που περιγράφονται στο τμήμα II, αναμένεται ότι η εκκαθάριση των εμποδίων είναι πιο σημαντικός παράγοντας μεταξύ των δύο πρώτων (20m και 40m), οι οποίες είναι οι δοκιμές που παρουσίασαν τη μεγαλύτερη υποβάθμιση του SINR σύμφωνα με τον πίνακα 4.1.

Η διάδοση σε ελεύθερο χώρο για τις περισσότερες γειτονικές περιοχές εντός του ραδιοσταθμού ορίζοντα είναι μια μη ρεαλιστική υπόθεση για τις περισσότερες τρέχουσες ανάπτυξη κυψελοειδών δικτύων. Για παράδειγμα, θεωρώντας ένα πεζό χρήστη, όπως $h_{ue} = 1,5$, η υπόθεση freespace θα αντιστοιχούσε σε μονοπάτια που παραμένουν ανεμπόδιστα για περισσότερο πάνω από 20 km. Όμως, σε πραγματικά αστικά και προαστιακά σενάρια, ο ορίζοντας περιορίζεται από τα κτίρια, τη βλάστηση, τα υψόμετρα του εδάφους και άλλα εμπόδια που κάνουν τις αποστάσεις να πέφτουν συνήθως σε κάποια εκατοντάδες μέτρα.

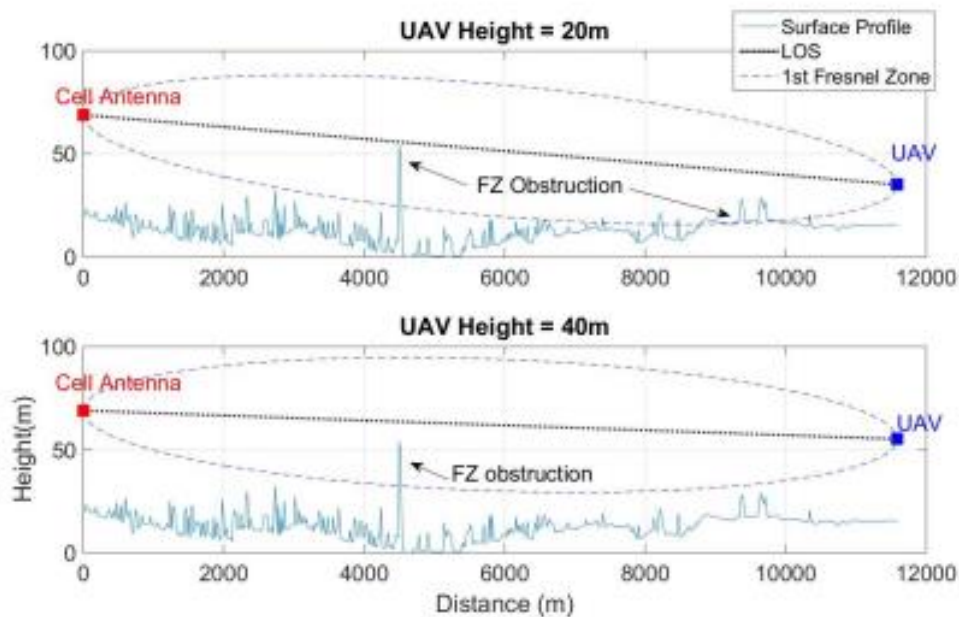
Σε ορισμένες περιπτώσεις, η ύπαρξη LOS μεταξύ δύο συσκευών δεν αρκεί για να διασφαλιστεί διάδοση που μοιάζει με ελεύθερο χώρο. Εάν η διαδρομή που διανύει το ραδιοσήμα παρεμποδίζεται εν μέρει, δηλ. τα εμπόδια εμποδίζουν τα ραδιοκύματα

στην πρώτη ζώνη Fresnel μεταξύ πομπού και δέκτη, προκύπτουν πρόσθετες απώλειες. Αυτές οι απώλειες περίθλασης μπορούν να προσθέσουν έως και 6 dB επί του στις απώλειες ελεύθερου χώρου. Κατά κανόνα, τα εμπόδια > 40% του της πρώτης ζώνης Fresnel μπορούν να προκαλέσουν σημαντική υπέρβαση στις απώλειες διαδρομής σε σύγκριση με τη διάδοση στον ελεύθερο χώρο.

Η πρώτη ζώνη Fresnel ορίζει την περιοχή γύρω από το LOS διαδρομής όπου το πλεονάζον μήκος διαδρομής είναι μεταξύ 0 και $\lambda/2$, όπου το λ αντιπροσωπεύει το μήκος κύματος. Η ζώνη αυτή ορίζεται από τη σχέση ένα ελλειψοειδές γύρω από την κύρια διαδρομή του σήματος, του οποίου η ακτίνα r_1 , είναι δίνεται από:

$$r_1(d_0) = \sqrt{\frac{\lambda d_0 (D - d_0)}{D}} \quad (4.4)$$

όπου D είναι η συνολική απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη και d_0 είναι μια ενδιάμεση απόσταση, όπως $d_0 \leq D$. Όσο περισσότερο αποφραγμένη είναι η ζώνη Fresnel - με άλλα λόγια, όσο πιο κοντά είναι η ανακλαστική επιφάνεια από τη διαδρομή LOS - τόσο υψηλότερη είναι η εξασθένηση του σήματος λόγω των απωλειών περίθλασης.



Σχήμα 4.5 Διαγράμματα ζώνης Fresnel για την κυψέλη 2 [4.1]

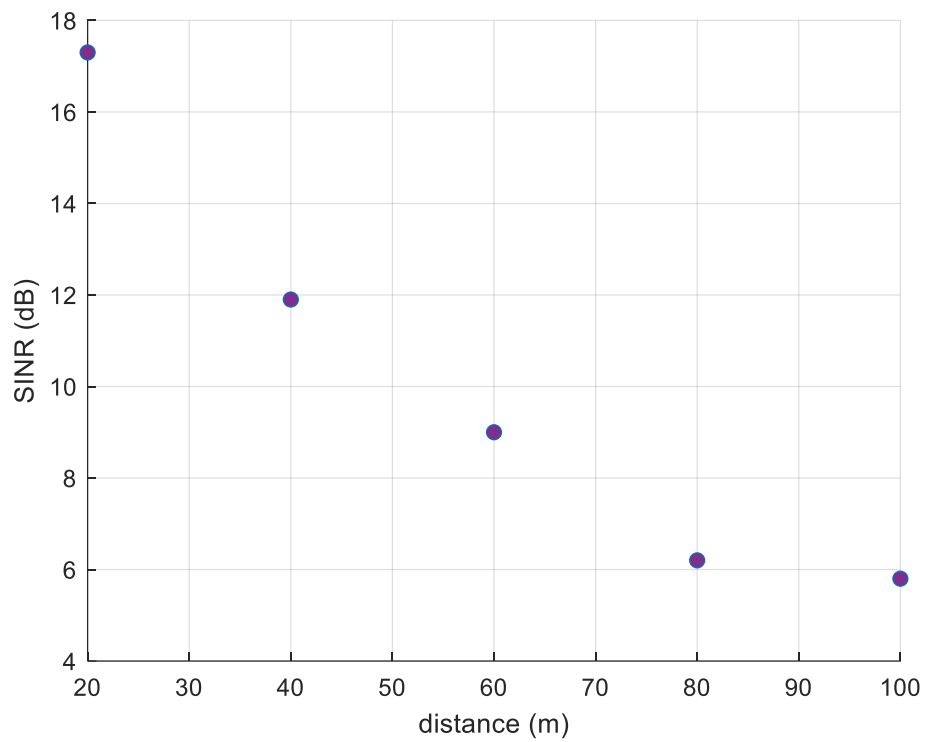
Μπορούμε να δούμε πώς τα υψόμετρα στα ύψη των UAV μπορούν να διαγράψουν την πρώτη ζώνη Fresnel. Η πρώτη ζώνη Fresnel είναι απεικονίζεται για τη σύνδεση μεταξύ UAV-UE σε δύο διαφορετικές υψόμετρα και ένα από τα γειτονικά κύτταρα στην περιοχή δοκιμής (κύτταρο 2). Για ύψος UAV ίσο με 20m, υπάρχει σαφές εμπόδιο (που πιθανώς προκαλείται από ένα κτίριο) για $d_0 = 4,5km$ που εμποδίζει ένα σημαντικό μέρος του Fresnel ένα(50%), το οποίο μπορεί δυνητικά να προκαλέσει σοβαρές απώλειες περιθλασης.

Επιπλέον, υπάρχει και ένα άλλο σημαντικό εμπόδιο για d_0 μεταξύ 8 και 10 km, που προκαλείται από το ράδιο-σήμα που τέμνεται με την επιφάνεια της Γης. Μόλις το UAV κινείται σε ύψος 40 μέτρων, το πρώτο εμπόδιο εμποδίζει ένα μικρότερο κλάσμα της ζώνης Fresnel και το δεύτερο εμπόδιο που προκαλείται από την επιφάνεια της Γης δεν παρατηρείται. Το τελευταίο είναι ιδιαίτερα σημαντικό, επειδή το τοπίο των κτιρίων μπορεί να διαφέρει σημαντικά μεταξύ δύο διαφορετικών σημείων της πτήσης διαδρομής, αλλά οι μεταβολές στην επιφάνεια της Γης τείνουν να είναι πολύ μικρότερες σε αυτή την περιοχή.

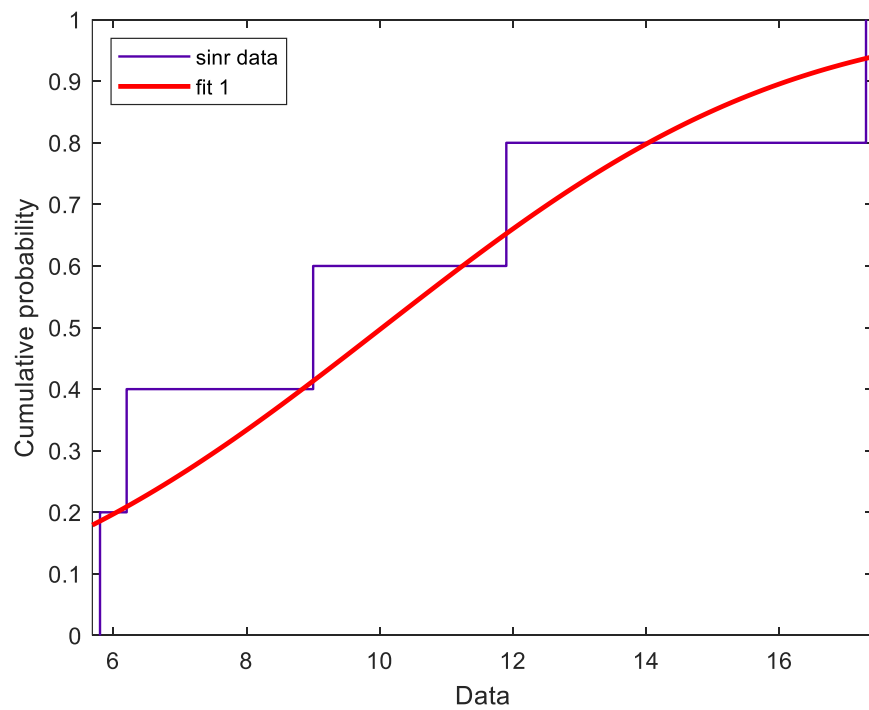
4.3 Επεξεργασία μετρήσεων σε περιβάλλον MATLAB

Εν συνεχεία του σεναρίου εργασίας, παρουσιάζουμε, στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας, επεξεργασία των μετρήσεων που πραγματοποιήσαμε σε περιβάλλον MATLAB με χρήση εργαλείων προσομοίωσης προκειμένου να διερευνήσουμε περαιτέρω την σχέση του SINR (dB) με την απόσταση σε μέτρα, όπως αυτή προέκυψε στα συγκεντρωτικά αποτελέσματα του Πίνακα 4.1.

Πιο συγκεκριμένα, στο Σχήμα 4.6 βλέπουμε την σχέση ανάμεσα στις δύο παραμέτρους όπως μας δίνεται από τον Πίνακα 4.1. Στο Σχήμα 4.7 απεικονίζουμε μέσω του εργαλείου Distribution fitting την κατανομή των λογαριθμικών τιμών του SINR (Gaussian fit). Η μοντελοποίηση των τιμών της μέσης λαμβανόμενης ισχύος και συνεπακόλουθα και του SINR (σε dB) με την κανονική (Gaussian) κατανομή συνάδει με την βιβλιογραφία [4.4]. Στον Πίνακα 4.3 έχουμε την αξιολόγηση του Gaussian fit και την απόδοση τιμών στις παραμέτρους της κατανομής.



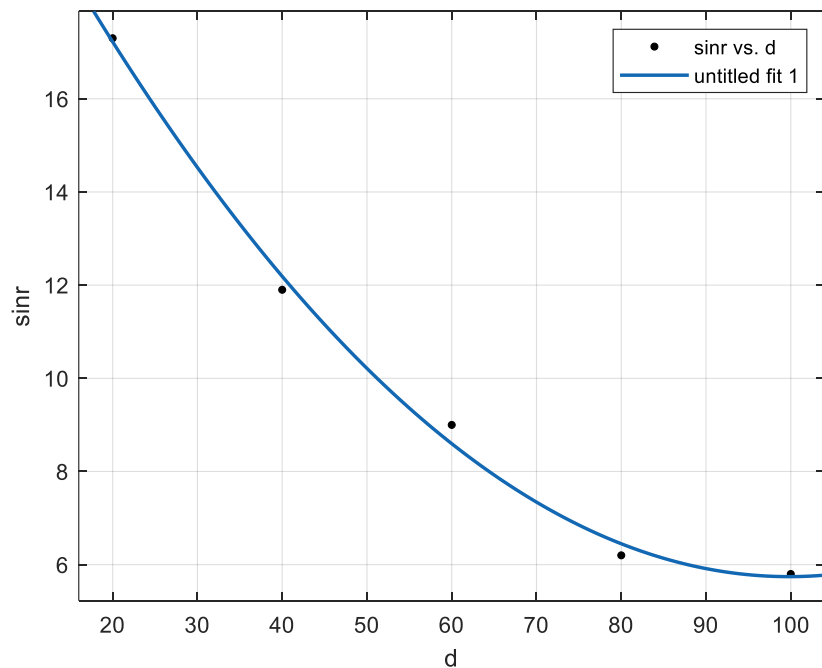
Σχήμα 4.6 SINR (dB) ως προς την απόσταση



Σχήμα 4.7 Κατανομή των λογαριθμικών τιμών του SINR (Gaussian fit)

Πίνακας 4.3 Αξιολόγηση του Gaussian fit και την απόδοση τιμών στις παραμέτρους της κατανομής

Distribution: Normal		
Log likelihood: -14.3777		
Domain: $-\text{Inf} < y < \text{Inf}$		
Mean: 10.04		
Variance: 22.493		
Parameter Estimate Std. Err.		
mu	10.04	2.12099
sigma	4.74268	1.79256
Estimated covariance of parameter estimates:		
	mu	sigma
mu	4.4986	8.56191e-16
sigma	8.56191e-16	3.21329



Σχήμα 4.8 SINR (dB) ως προς την απόσταση: εφαρμογή curve-fitting-tool για εύρεση μαθηματικής συσχέτισης (πολυώνυμο 3ου βαθμού)

Τέλος, στο Σχήμα 4.8 βλέπουμε την περαιτέρω διερεύνηση της κατανομής των τιμών του SINR (dB) ως προς την απόσταση. Η αρχική παράθεση στο Σχήμα 4.6 γίνεται προϊόν περαιτέρω επεξεργασίας στο εργαλείο Curve fitting του MATLAB προκειμένου να εξαχθεί μία αξιόπιστη μαθηματική σχέση ανάμεσα στις δύο παραμέτρους και να γίνει ποσοτικός προσδιορισμός του SINR ως προς την απόσταση. Μετά από επαναληπτικές δοκιμές καταλήγουμε στην απλούστερη συνάρτηση για το βέλτιστο αποτέλεσμα από πλευράς ελαχιστοποίησης του σφάλματος fit όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.4 και στον πίνακα 4.4. Η σχέση αυτή αφορά στην πολυωνυμική συνάρτηση δεύτερου βαθμού.

Πίνακας 4.4 Παραμετροποίηση δευτεροβάθμιας πολυωνυμικής συνάρτησης για βέλτιστο fit της μεταβολής των τιμών του SINR (dB) ως προς την απόσταση

Linear model Poly2:
$f(x) = p1 \cdot x^2 + p2 \cdot x + p3$
where x is normalized by mean 60 and std 31.62
Coefficients (with 95% confidence bounds):
p1 = 1.804 (0.6598, 2.947)
p2 = -4.538 (-5.394, -3.682)
p3 = 8.597 (7.404, 9.79)
Goodness of fit:
SSE: 0.3166
R-square: 0.9965
Adjusted R-square: 0.993
RMSE: 0.3979

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Συμπεράσματα

Το σύνολο των μετρήσεων του κυψελοειδούς δικτύου που συλλέχθηκαν από το UAV-UE έδειξε μια κλίση απώλειας διαδρομής που προσεγγίζει τη διάδοση σε ελεύθερο χώρο και για τα πέντε διαφορετικά ύψη που μετρήθηκαν. Το πεδίο μέτρησης ήταν μια ανοικτή περιοχή χωρίς εμπόδια μεταξύ UAV και σταθμού βάσης που να προκαλούν σημαντική εξασθένηση του σήματος, επίσης δεν καταγράφηκε καμία σημαντική επίδραση που να σχετίζεται με ανακλώμενες διαδρομές για τις αποστάσεις που εξετάστηκαν.

Σε όλες τις δοκιμές, οι μετρούμενες τιμές για την κλίση της απώλειας διαδρομής είναι παρόμοιες, με μικρές διακυμάνσεις που οφείλονται στον περιορισμό του δυναμικού εύρους του UE μέτρησης. Ωστόσο, παρατηρήθηκε αξιοσημείωτη υποβάθμιση του SINR μεταξύ του χαμηλότερου και του υψηλότερου επιπέδου πτήσης. Το αποτέλεσμα αυτό υποδεικνύει ότι η ισχύς παρεμβολής αυξάνεται με το ύψος UAV-UE. Ωστόσο, όλες οι μετρήσεις γειτονικής κυψέλης που συλλέχθηκαν από το UAV-UE δεν παρουσιάζουν καμία αύξηση ισχύος που θα μπορούσε να είναι υπεύθυνη για την αύξηση της ισχύος παρεμβολής.

Στη συνέχεια, παρουσιάστηκε μια συζήτηση σχετικά με τις προκλήσεις για την απόκτηση ενός αξιόπιστου μοντέλου απωλειών διαδρομής για UAV, με βάση μετρήσεις πεδίου. Το μεγαλύτερο μέρος των αβεβαιοτήτων στις παραμέτρους μοντελοποίησης των απωλειών διαδρομής για τα UAV σχετίζεται με το ύψος και προκαλείται από αλλαγές στο περιβάλλον διάδοσης. Όπως επισημαίνεται, ο διευρυμένος ραδιο-ορίζοντας σε μεγαλύτερα ύψη, η πιθανότητα LOS και η εκκαθάριση της πρώτης ζώνης Fresnel είναι σημαντικοί ραδιο-παράγοντες που θα μπορούσαν να παρατηρήσουν σημαντικές μεταβολές εντός μιας περιοχής ως συνέπεια των αλλαγών στο ύψος του UAV. Απαιτείται μελλοντική εργασία για την ποσοτικοποίηση αυτών των επιδράσεων, προκειμένου να επιτευχθεί μια πιο ρεαλιστική μοντελοποίηση του περιβάλλοντος διάδοσης για τα UAV.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1.1] Roopnarine, A., & Roche, S. (2020). Smart farming: Organic communication channels (OCC).
- [1.2] D. Kurup, W. Joseph, E. Tanghe, G. Vermeeren, and L. Martens, “Extraction of antenna gain from path loss model for in-body communication,” *Electronics letters*, vol. 47, no. 23, pp. 1262–1263, 2011.
- [1.3] X. Tan, Z. Sun, and I. F. Akyildiz, “Wireless underground sensor networks: Mi-based communication systems for underground applications,” *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 57, no. 4, pp. 74–87, 2015.
- [1.4] A. R. Silva and M. Moghaddam, “Design and implementation of lowpower and mid-range magnetic induction-based wireless underground sensor networks,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 65, no. 4, pp. 821–835, 2016.
- [1.5] S. Benaissa, D. Plets, E. Tanghe, J. Trogh, L. Martens, L. Vandaele, L. Verloock, F. Tuytens, B. Sonck, and W. Joseph, “Internet of animals: Characterisation of lora sub-ghz off-body wireless channel in dairy barns,” *Electronics Letters*, vol. 53, no. 18, pp. 1281–1283, 2017.
- [1.6] S. Koompaiojn, C. Puitrakul, N. Riyagoon, and S. Ruengittinun, “Smart tag tracking for livestock farming,” in *2017 10th International Conference on Ubi-media Computing and Workshops (Ubi-Media)*. IEEE, 2017, pp. 1–4.
- [1.7] C. Kulatunga, L. Shalloo, W. Donnelly, E. Robson, and S. Ivanov, “Opportunistic wireless networking for smart dairy farming,” *IT Professional*, vol. 19, no. 2, pp. 16–23, 2017.
- [8] M. H. Memon, W. Kumar, A. Memon, B. S. Chowdhry, M. Aamir, and P. Kumar, “Internet of things (iot) enabled smart animal farm,” in *2016 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*. IEEE, 2016, pp. 2067–2072.
- [1.9] V. V. h. Ram, H. Vishal, S. Dhanalakshmi, and P. M. Vidya, “Regulation of water in agriculture field using internet of things,” in *2015 IEEE Technological Innovation in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR)*, July 2015, pp. 112–115.

- [1.10] T. Ogasawara, A.-i. Sasaki, K. Fujii, and H. Morimura, "Human body communication based on magnetic coupling," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 62, no. 2, pp. 804–813, 2014.
- [1.11] M. H. Seyedi and D. Lai, *A Novel Intrabody Communication Transceiver for Biomedical Applications*. Springer, 2017.
- [1.12] IEEE Standards Association and others, "IEEE P802.15 Working Group for Wireless Personal Area Networks (WPANs): Channel Model for Body Area Network (BAN)," IEEE, Report IEEE P802.15-08-0033-040006, 2008.
- [1.13] J. F. Zhao, X. M. Chen, B. D. Liang, and Q. X. Chen, "A review on human body communication: Signal propagation model, communication performance, and experimental issues," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2017, p. 15, 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1155/2017/5842310>
- [1.14] N. Zedong, M. Jingjing, C. Hong, and W. Lei, "Statistical characterization of the dynamic human body communication channel at 45mhz," in *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 2013 35th Annual International Conference of the IEEE. IEEE, 2013, pp. 1206–1209.
- [1.15] Y. Zhang, B. Kou, D. Fan, Y. Liu, Z. He, and X. Chen, "A dynamic pilot interval adjustment scheme for hbc channel estimation," in *Communications in China (ICCC Workshops)*, 2016 IEEE/CIC International Conference on. IEEE, 2016, pp. 1–5.
- [1.16] T. Aoyagi, M. Kim, J.-i. Takada, K. Hamaguchi, R. Kohno et al., "Body motion and channel response of dynamic body area channel," in *Antennas and Propagation (EUCAP), Proceedings of the 5th European Conference on. IEEE*, 2011, pp. 3138–3142.
- [1.17] T. E. Abrudan, O. Kypris, N. Trigoni, and A. Markham, "Impact of rocks and minerals on underground magneto-inductive communication and localization," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 3999–4010, 2016.
- [1.18] S. Kisseleff, I. F. Akyildiz, and W. Gerstacker, "Interference polarization in magnetic induction based

- wireless underground sensor networks,” in 2013 IEEE 24th International Symposium on Personal, Indoor
and Mobile Radio Communications (PIMRC Workshops), Sep. 2013, pp. 71–75.
- [1.19] J. R. Wait, “Mutual coupling of loops lying on the ground,” *Geophysics*, vol. 19, no. 2, pp. 290–296, 1954.
- [1.20] J. Hendrickx, B. Borchers, D. Corwin, S. Lesch, A. Hilgendorf, and J. Schlue, “Inversion of soil conductivity profiles from electromagnetic induction measurements,” *Soil Science Society of America Journal*, vol. 66, no. 3, pp. 673–685, 2002.
- [1.21] S. Rocke and J. Persad, “Analysis of magnetically-coupled human body communications,” in 2015 COMSOL conference in Boston, 2015.
- [1.22] IEEE, “IEEE Standard for local and metropolitan area networks - Part 15.6: Wireless Body Area networks,” *IEEE Std 802.15.6-2012*, pp. 1–271, Feb 2012.
- [1.23] ICNIRP, “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 ghz),” *Health Phys*, vol. 74, no. 4, pp. 494–522, 1998.
- [1.24] M. E. Maffei, “Magnetic field
- [2.1] Gondchawar, N., & Kawitkar, R. S. (2016). IoT based smart agriculture. *International Journal of advanced research in Computer and Communication Engineering*, 5(6), 838-842.
- [2.2] JoaquínGutiérrez, Juan Francisco Villa-Medina, Alejandra Nieto-Garibay, and Miguel Ángel Porta-Gándara, “Automated Irrigation System Using a Wireless Sensor Network and GPRS Module”,*IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT*, 0018-9456,2013
- [2.3] Dr. V .Vidya Devi,G. Meena Kumari, “Real- Time Automation and Monitoring System for Modernized Agriculture” ,*International Journal of Review and Research in Applied Sciences and Engineering (IJRRASE)* Vol3 No.1. PP 7-12, 2013
- [2.4] Y. Kim, R. Evans and W. Iversen, “Remote Sensing and Control of an Irrigation System Using a Distributed Wireless Sensor Network”, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, pp. 1379–1387, 2008.
- [2.5] Q. Wang, A. Terzis and A. Szalay, “A Novel Soil Measuring Wireless Sensor Network”, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, pp. 412–415, 2010
- [2.6] Yoo, S.; Kim, J.; Kim, T.; Ahn, S.; Sung, J.; Kim, D. A2S: Automated agriculture system based on WSN. In *ISCE 2007. IEEE International Symposium on Consumer Electronics*, 2007, Irving,TX, USA, 2007

[2.7] Arampatzis, T.; Lygeros, J.; Manesis, S. A survey of applications of wireless sensors and Wireless Sensor Networks. In 2005 IEEE International Symposium on Intelligent Control & 13th Mediterranean Conference on Control and Automation. Limassol, Cyprus, 2005, 1-2, 719-724

[2.8] Orazio Mirabella and Michele Brischetto, 2011. "A Hybrid Wired/Wireless Networking Infrastructure for Greenhouse Management", IEEE transactions on instrumentation and measurement, vol. 60, no. 2, pp 398-407.

[2.9] N. Kotamaki and S. Thessler and J. Koskiahho and A. O. Hannukkala and H. Huitu and T. Huttula and J. Havento and M. Jarvenpaa(2009). "Wireless in-situ sensor network for agriculture and water monitoring on a river basin scale in Southern Finland: evaluation from a data users perspective". Sensors 4, 9: 2862-2883. doi:10.3390/s90402862 2009.

[2.10] Liu, H.; Meng, Z.; Cui, S. A wireless sensor network prototype for environmental monitoring in greenhouses. International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCom 2007), Shanghai, China; 21-25 September 2007.

[2.11] Baker, N. ZigBee and bluetooth - Strengths and weaknesses for industrial applications. Comput. Control. Eng. 2005, 16, 20-25.

[2.12] IEEE, Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for lowrate wireless personal area networks (LR-WPANs). In The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.: New York, NY, USA, 2003.

[3.1] Duangsuwan, S., Juengkittikul, P., & Myint Maw, M. (2021). Path loss characterization using machine learning models for GS-to-UAV-enabled communication in smart farming scenarios. *International Journal of Antennas and Propagation*, 2021, 1-13.

[3.2] C. Potena, R. Khanna, J. Nieto, R. Siegwart, D. Nardi, and A. Pretto, "AgriColMap: aerial-ground collaborative 3D mapping for precision farming," *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 4, no. 2, pp. 1085–1092, 2019.

[3.3] W. Bouachir, K. E. Ihou, H.-E. Gueziri, N. Bouguila, and N. Belanger, "Computer vision system for automatic counting of planting microsites using UAV imagery," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 82491–82500, 2019.

[3.4] C. D. Lopez and L. F. Giraldo, "Optimization of energy and water consumption on crop irrigation using UAVs via path design," in *Proceeding of IEEE Colombian Conference on Automatic Control (CCAC)*, pp. 1–5, Medellin, Colombia, October 2019.

[3.5] M. Rizk, A. Mroue, M. Farran, and J. Charara, "Real-time SLAM based on image stitching for autonomous navigation of UAVs in GNSS-denied regions," in *Proceeding of IEEE International Conference on Artificial Intelligent Circuits and Systems (AICAS)*, pp. 301–304, Genova, Italy, April 2020.

[3.6] M. Idbella, M. Iadaresta, G. Gagliarde et al., "A new wireless sensor for monitoring agrometeorological data in areas lacking communication networks," *Sensors MDPI*, vol. 20, no. 1589, pp. 1–13, 2020.

- [3.7] M. Bacco, A. Berton, A. Gotta, and L. Caviglione, "IEEE 802.15.4 air-ground UAV communications in smart farming scenarios," *IEEE Communications Letters*, vol. 22, no. 9, pp. 1910–1913, 2018.
- [3.8] H. M. Jawad, A. M. Jawad, R. Nordin et al., "Accurate empirical path-loss model based on particle swarm optimization for wireless sensor networks in smart agriculture," *IEEE Sensors Journal*, vol. 20, no. 1, pp. 552–561, 2020.
- [3.9] M. Najafzadeh and G. Oliveto, "Riprap incipient motion for overtopping flows with machine learning models," *Journal of Hydroinformatics*, vol. 22, no. 4, pp. 749–767, 2020.
- [3.10] M. Najafzadeh and A. Ghaemi, "Prediction of the five-day biochemical oxygen demand and chemical oxygen demand in natural streams using machine learning methods," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 191, no. 6, pp. 380–21, 2019.
- [3.11] M. Najafzadeh and M. Zeinolabedini, "Prognostication of waste water treatment plant performance using efficient soft computing models: an environmental evaluation," *Measurement*, vol. 138, pp. 690–701, 2019.
- [3.12] M. Najafzadeh, A. Etemad-Shahidi, and S. Y. Lim, "Scour prediction in long contractions using ANFIS and SVM," *Ocean Engineering*, vol. 111, pp. 128–135, 2016.
- [3.13] M. Najafzadeh, F. Saberi-Movahed, and S. Sarkamaryan, "NFGMDH-Based self-organized systems to predict bridge pier scour depth under debris flow effects," *Marine Georesources & Geotechnology*, vol. 36, no. 5, pp. 589–602, 2018.
- [3.14] M. Najafzadeh and F. Saberi-Movahed, "GMDH-GEP to predict free span expansion rates below pipelines under waves," *Marine Georesources & Geotechnology*, vol. 37, no. 3, pp. 375–392, 2019.
- [3.15] F. S-Movahed, M. Najafzadeh, and A. Mehrpooya, "Receiving more accurate predictions for longitudinal dispersion coefficients in water pipelines: training group method of data handling using extreme learning machine conceptions," *Water Resources Management*, vol. 34, pp. 529–561, 2020.
- [3.16] H. Singh, S. Gupta, C. Dhawan, and A. Misshra, "Path loss prediction in smart campus environment: machine learningbased applications," in *Proceeding of IEEE Vehicular Technology Conference (VTC2020-Spring)*, pp. 1–5, Antwerp, Belgium, May 2020.
- [3.17] S. I. Popoola, A. Jefia, A. A. Atayero et al., "Determination of neural network parameters for path loss prediction in very high frequency wireless channel," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 150462–150483, 2019.
- [3.18] M. Ayadi, A. Ben Zineb, and S. Tabbane, "A UHF path loss model using learning machine for heterogeneous networks," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 65, no. 7, pp. 3675–3683, 2017.

- [3.19] J. Wan, Y. Zhang, G. Yang, Z. He, and W. Zhang, "Path loss prediction based on machine learning methods for aircraft cabin environments," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 159251–159261, 2019.
- [3.20] K.-P. Lin, K.-C. Hung, J.-C. Lin, C.-K. Wang, and P.-F. Pai, "Applying least squares support vector regression with genetic algorithms for radio-wave path-loss prediction in suburban environment," in *Advances in Neural Network Research and Applications of Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol. 67, pp. 861–868, Springer, Berlin, Germany, 2010.
- [3.21] D. Nikitopoulos, P. Constantinou, and I. Naornita, "ANN prediction models for outdoor environment," in *Proceedings of the 2006 IEEE 17th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, pp. 1–5, Helsinki, Finland, September 2006.
- [3.22] J. arane, D. Zibar, and H. L. Christiansen, "Model-aided deep learning methods for path loss prediction in mobile communication systems at 2.6 GHz," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 7925–7936, 2020.
- [3.23] S. Aldossari and K.-C. Chen, "Predicting the path loss of wireless channel models using machine learning techniques in MmWave urban communications," in *Proceeding of the International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)*, pp. 1–6, Lisbon, Portugal, November 2019.
- [3.24] O. Ahmadian, H. F. Ates, T. Baykas, and B. K. Gunturk, "Prediction path loss distribution of an area from satellite image using deep learning," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 64982– 64991, 2020.
- [3.25] P. S. Bithas, E. T. Michailidis, N. Nomikos, D. Vouyioukas, and A. G. Kanatas, "A survey on machine-learning techniques for UAV-based communications," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 19, no. 5170, pp. 1–39, 2019.
- [3.26] S. Duangsuwan, C. Teekapakvisit, and M. M. Maw, "Development of soil moisture monitoring by using IoT and UAVSC for smart farming application," *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, vol. 5, no. 4, pp. 381–387, 2020.
- [3.27] Y. Zhang, J. Wen, G. Yang, Z. He, and J. Wang, "Path loss prediction based on machine learning: principle, method, and data expansion," *Applied Sciences*, vol. 9, no. 9, p. 1908, 2019.
- [3.28] Y. Zhang, J. Wen, G. Yang, Z. He, and X. Luo, "Air-to-air path loss prediction based on machine learning methods in urban environments," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2018, pp. 1–9, 2018.
- [3.29] L. Shan, R. Miura, T. Kagawa, F. Ono, H.-B. Li, and F. Kojima, "Machine learning-based field data analysis and modeling for drone communications," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 79127–79135, 2019.
- [3.30] P. Abouzar, D. G. Michelson, and M. Hamdi, "RSSI-based distributed self-localization for wireless sensor networks used in precision agriculture," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 15, no. 10, pp. 6638–6650, 2016.

[3.31] A. Raheemah, N. Sabri, M. S. Salim, P. Ehkan, and R. B. Ahmad, "New empirical path loss model for wireless sensor networks in mango greenhouses," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 127, pp. 553–560, 2016.

[4.1] Amorim, Rafhael, et al. "Pathloss measurements and modeling for UAVs connected to cellular networks." *2017 IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*. IEEE, 2017.

[4.2] "Integration of civil unmanned aircraft systems (uas) in the national airspace system (nas) roadmap", *Tech. Rep.*, 2013.

[4.3] D. Matolak and R. Sun, "Air-ground channel characterization for unmanned aircraft systems - part i: Methods measurements and models for over-water settings", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. PP, no. 99, pp. 1-1, 2016.

[4.4] J. Parsons, *The Mobile Radio Propagation Channel*, Wiley, 2000.