



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ**

**Μεταπτυχιακή διατριβή**

Αξιολόγηση επίδοσης ασύρματων δικτύων αισθητήρων τεχνολογίας  
LoRa για την πρόσκτηση γεωχωρικών δεδομένων σε εφαρμογές  
Γεωργίας Ακριβείας

**Αθανάσιος Π. Φράγκος**

Φυσικός - Γεωπόνος

Επιβλέπων:

Κωνσταντίνος Αρβανίτης, Καθηγητής ΓΠΑ

**ΑΘΗΝΑ  
2020**

Αθανάσιος Φράγκος - 2020

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**Μεταπτυχιακή διατριβή**

Αξιολόγηση επίδοσης ασύρματων δικτύων αισθητήρων τεχνολογίας  
LoRa για την πρόσκτηση γεωχωρικών δεδομένων σε εφαρμογές  
Γεωργίας Ακριβείας

Performance evaluation of wireless lora technology sensor networks for  
the implementation of geodata in precision agricultural applications

**Αθανάσιος Π. Φράγκος**

Φυσικός - Γεωπόνος

Εξεταστική επιτροπή:

Κωνσταντίνος Αρβανίτης, Καθηγητής ΓΠΑ (επιβλέπων)

Σπυρίδων Φουντάς, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ

Δημήτριος Λουκάτος, Μέλος ΕΔΙΠ ΓΠΑ

## **Αξιολόγηση επίδοσης ασύρματων δικτύων αισθητήρων τεχνολογίας LoRa για την πρόσκτηση γεωχωρικών δεδομένων σε εφαρμογές Γεωργίας Ακριβείας**

*Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής  
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας*

### **Περίληψη**

Σκοπός της παρούσης εργασίας είναι η διερεύνηση και αξιολόγηση της επίδοσης του πρωτοκόλλου επικοινωνίας Lora όταν εφαρμοστεί για την ενδοεπικοινωνία ασύρματων δικτύων σε τυπικές εφαρμογές Γεωργίας Ακριβείας. Πρόκειται για ένα πολλά υποσχόμενο πρωτόκολλο επικοινωνίας καθώς δίνει λύση στο πρόβλημα που ανακύπτει όταν αναγκάζουμε τα ασύρματα δίκτυα να καταναλώνουν μεγάλα ποσά ενέργειας για να στείλουμε δεδομένα μικρού όγκου καθώς και να εξυπηρετήσουμε περιοχές έντονου αναγλύφου, δύσβατες ή απομακρυσμένες εν γένει από αστικό δίκτυο και υποδομές. Η λύση έρχεται από τα δίκτυα μικρής ισχύος και μεγάλης εμβέλειας (Low Power Wide Area Networks) LPWAN. Το LoRa είναι το φυσικό επίπεδο αυτού του ασύρματου τηλεπικοινωνιακού συστήματος. Συγκεκριμένα η παρούσα μελέτη πραγματεύεται την δυναμική αυτού του πρωτοκόλλου σε σχέση με την χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, την μεγάλη κάλυψη του πεδίου σε αστικό και σε ημιαστικό περιβάλλον και την δυνατότητα διασύνδεσης σε απομακρυσμένες περιοχές όπου η συνδεσιμότητα του Διαδικτύου είναι προβληματική. Εξετάζεται ο απαιτούμενος ηλεκτρονικός εξοπλισμός όπως μικροελεγκτές, πλακέτες ανάπτυξης και εξηγείται αναλυτικά η λειτουργία της κάθε συσκευής.

**Επιστημονική περιοχή:** Γεωργία Ακριβείας

**Λέξεις κλειδιά:** Υπολογιστικό νέφος, Χαμηλής Ισχύος Δίκτυο Μεγάλων Αποστάσεων, Διαδίκτυο Πραγμάτων, Μικροελεγκτής, Αισθητήρες, Γεωργία Ακριβείας, Πρωτόκολλο Επικοινωνίας, Υπολογιστική Πλακέτα

# **Performance evaluation of wireless lora technology sensor networks for the implementation of geodata in precision agricultural applications**

*Department of Natural Resources Development & Agricultural Engineering  
Laboratory of Farm Machine Systems*

## **Abstract**

The main objective of this thesis is to investigate and evaluate the performance of the LoRa communication protocol when applied for the wireless network intercom in Standard Precision in Agricultural applications.

It is a very promising communication protocol as it solves the problem that arises when wireless networks are being forced to consume large amounts of energy for sending small volumetric data as well as to serve highly embedded, inaccessible or remote offshore networks. The solution comes from Low Power Wide Area Networks (LPWAN). LoRa is the physical level of this wireless telecommunication system.

Specifically, the present study deals with the dynamics of this protocol in terms of low power consumption, high coverage in urban and semi-urban environments, and the ability to connect to remote areas where Internet connectivity is problematic. Moreover, the required electronic equipment, such as microcontrollers, development boards is also examined, as well as the operation of each device is being explained.

**Scientific Field:** Precision Agriculture

**Keywords:** LoRa, Sensors, Arduino, Raspberry, Dragino, RSSI, Low Power Wide Area Networks, Cloud Computing, Internet of Things, Precision Agriculture, LPWAN

**Μεταπτυχιακή Διατριβή** που υποβάλλεται στο καθηγητικό σώμα για την εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησης μεταπτυχιακού τίτλου του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Γεωπληροφορική και Χωρική Ανάλυση» του τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Εγκεκριμένη από τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής

Δρ Κωνσταντίνος Γ. Αρβανίτης, Καθηγητής ΓΠΑ (επιβλέπων)

Δρ Σπυρίδων Φουντάς, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ

Δρ Δημήτριος Λουκάτος, Μέλος ΕΔΙΠ ΓΠ

## Δήλωση του Συντάκτη

Εγώ ο Αθανάσιος Φράγκος του Πέτρου και της Παναγιώτας δηλώνω ότι η μεταπτυχιακή διατριβή με τίτλο **«Αξιολόγηση επίδοσης ασύρματων δικτύων αισθητήρων τεχνολογίας LoRa για την πρόσκτηση γεωχωρικών δεδομένων σε εφαρμογές Γεωργίας Ακριβείας»** έγινε από εμένα και έχω καταγράψει τις πηγές του υλικού.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα μέλος ΕΔΙΠ Δρ Δημήτριο Λουκάτο για την αμέριστη συμπαράσταση, την εμπιστοσύνη και την καθοδήγηση του σε όλη την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας, στον αναπληρωτή καθηγητή Σπύρο Φουντά για τον χρόνο που διέθεσε και στον καθηγητή Κώστα Αρβανίτη για τις καίριες παρεμβάσεις του. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους προπτυχιακούς φοιτητές Δανιήλ Κυριακίδη, Θάνο Κυπαρίσση, Νίκο Χοτζεμπέκογλου και Ιωάννη Κυρτόπουλο του Τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής καθώς επίσης και τον φυσικό Λευτέρη Χονδρογιάννη για την βοήθεια τους στην διεξαγωγή των πειραμάτων

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1	Γεωργία Ακριβείας .....	2
1.2	Υφιστάμενη κατάσταση στο χώρο των δικτύων .....	6
1.2.1	Η αναγκαιότητα του Cloud Computing .....	8
1.3	Πλεονεκτήματα cloud computing.....	8
1.3.1	Εξοικονόμηση .....	8
1.3.2	Μεγάλος αποθηκευτικός χώρος.....	9
1.4	Η σημασία του Internet of Things (IoT).....	10
1.5	Διαδίκτυο της αγροτικής παραγωγής .....	15

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1	Ασύρματες επικοινωνίες .....	18
2.1.1	Ιστορικό.....	18
2.1.2	Ορισμοί .....	20
2.3	Ασύρματα πρωτόκολλα .....	24

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1	Πρωτόκολλο LoRa .....	28
3.1.1	Τεχνικά χαρακτηριστικά .....	30
3.2	Ασύρματο δίκτυο LoRaWAN .....	35
3.2.1	Αρχιτεκτονική δικτύων.....	36
3.2.2	Χρήσεις δικτύων.....	37
3.3	Διαφορές LoRa και LoRaWAN.....	37
3.4	Γενικά χαρακτηριστικά - Εφαρμοσιμότητα.....	38
3.5	Ειδική εφαρμογή .....	41
3.6	Περιορισμός στην εφαρμοσιμότητα του πρωτοκόλλου LoRa.....	44



#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

4.1	Σχεδιασμός μεθοδολογίας μετρήσεων .....	45
4.2	Τι είναι το Arduino .....	46
4.3	Διαφορές Arduino από κανονικό υπολογιστή.....	48
4.4	Τι είναι το Raspberry Pi.....	49
4.5	Τι είναι το LoRa Dragino Shield .....	51
4.6	Τι είναι το RSSI .....	52

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

5.1	Περιγραφή πειραματικής.....	53
5.2	Γεωγραφική θέση πειραμάτων .....	58
5.3	Λήψη αποτελεσμάτων.....	66
5.4	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων .....	90
5.5	Διάχυση προκύπτουσας γνώσης .....	91
5.6	Συμπεράσματα και ανοικτά θέματα.....	92

#### **ΠΗΓΕΣ - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στον 21ο αιώνα η παγκόσμια αγροτική παραγωγή καλείται να αντιμετωπίσει την συνεχή αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, την περιορισμένη διαθεσιμότητα των εδαφών λόγω αστικοποίησης και ερημοποίησης, τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επηρεάζουν την ποσότητα και την ποιότητα των καλλιεργούμενων εκτάσεων, την αυξανόμενη έλλειψη νερού, την δυσκολία διαχείρισης του κόστους. Σύμφωνα με αναφορά του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών ο παγκόσμιος πληθυσμός θα αυξηθεί κατά 60% μέχρι το 2050 κάτι που συνεπάγεται τρομακτική αύξηση αναγκών κατανάλωσης. Εισερχόμαστε σε μια εποχή μεγάλης ζήτησης όπου οι αγρότες καλούνται να αυξήσουν τις αποδόσεις τους και να αναβαθμίσουν τους διαθέσιμους φυσικούς πόρους. Οι πρακτικές τους πρέπει να συμβαδίσουν με το πνεύμα της εποχής και να χρησιμοποιήσουν τα οφέλη της τεχνολογίας προκειμένου να μπορούν να παρακολουθούν εξ αποστάσεως αισθητήρες που ανιχνεύουν διάφορες παραμέτρους όπως θερμοκρασία, υγρασία, αλατότητα, να ελέγχουν και να διαχειρίζονται έξυπνα μηχανήματα, συστήματα άρδευσης, να παρακολουθούν επί 24ώρου βάσεως την ζωική τους παραγωγή και να οδηγούνται γρήγορα και εύκολα στην κατάλληλη λήψη αποφάσεων.

Στον γεωργικό τομέα η αλλαγή στον τρόπο λήψης των αποφάσεων είναι καθοριστικής σημασίας καθώς οι προηγούμενες πρακτικές αντικαθίστανται από αντίστοιχες που χρησιμοποιούν ευρέως την τεχνολογία και οδηγούν σε πολύ ανώτερες επιδόσεις. Συγκεκριμένα η οπτική εκτίμηση των αναγκών αντικαθίσταται από τον υπολογισμό των αναγκών από πληροφοριακό σύστημα λήψης αποφάσεων, η επάρκεια θρεπτικών στοιχείων και η προστασία της γεωργικής παραγωγής από εχθρούς και ασθένειες αντιμετωπίζονται σε πρώτο χρόνο και όχι αφού εκδηλωθούν τα συμπτώματα, η παραδοσιακή οπτική παρακολούθηση της προόδου μιας καλλιέργειας συνοδεύεται από την παρακολούθηση με drones και δορυφορικές εικόνες και εισάγεται ηλεκτρονικός εξοπλισμός εντός του γεωργικού ελκυστήρα που διαθέτει ψηφιοποιημένο χάρτη του αγρού και λειτουργίες ακριβείας ακόμα και δυνατότητα αυτόματης πλοήγησης στα όρια του αγρού. Με αυτό τον τρόπο πετυχαίνουμε αύξηση

στρεμματικών αποδόσεων αλλά και μείωση εισροών (λιπάσματα, φυτοφάρμακα) που επιβαρύνουν το περιβάλλον.

Η Γεωργία και ειδικά στην χώρα μας είναι από τους κλάδους που έχουν κάνει ελάχιστη χρήση των νέων τεχνολογιών καίτοι εδώ και κάποια χρόνια υπάρχουν high-tech λύσεις που κάνουν την ζωή των αγροτών ευκολότερη αλλά και συμβάλλουν στην αύξηση των στρεμματικών αποδόσεων με επακόλουθο οικονομικό όφελος.

Στην χώρα μας την Ελλάδα πρέπει να θεραπευθούν μέσω των νέων τεχνολογιών πολλές παθογένειες όπως ο κατακερματισμένος κλήρος, το έντονο ανάγλυφο που δημιουργεί δυσμενείς γεωμορφολογικές συνθήκες, η τεχνοφοβική νοοτροπία των αγροτών, η προσκόλληση στην πολιτική των επιδοτήσεων σε μια σειρά από αγροτικά προϊόντα, η έντονη νοοτροπία τοπικισμού ειδικά στην χρήση των υδάτινων πόρων και η χαμηλή ανταγωνιστικότητα που οφείλεται σε κακό επενδυτικό σχεδιασμό.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

### **1.1 ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ**

Με τον όρο Γεωργία Ακριβείας εννοούμε εκείνο τον τρόπο διαχείρισης αγροτικών εκτάσεων και καλλιεργειών που στηρίζεται στην παρατήρηση, στην μέτρηση και στην καταγραφή της παραλλακτικότητας. Οι καλλιεργητικές πρακτικές εφαρμόζονται ανάλογα με τις ανάγκες των καλλιεργειών καθώς αυτές διαφοροποιούνται χωρικά και χρονικά. Στην παραδοσιακή συμβατική γεωργία ο παραγωγός αντιμετωπίζει τον αγρό του ως έναν ενιαίο χώρο θεωρώντας πως έχει σε όλη του την έκταση τις ίδιες εδαφικές ιδιότητες και τις ίδιες ανάγκες σε άρδευση και λίπανση. Στην σύγχρονη εποχή με την επέλαση της τεχνολογίας κατέστη δυνατή η διαχείριση του αγρού σε πολύ μικρή κλίμακα, με τα διαθέσιμα μέσα αποτυπώνουμε τη υφιστάμενη κατάσταση του με μεγάλη ακρίβεια, καταχωρούμε τα δεδομένα, τα επεξεργαζόμαστε και προχωρούμε σε διαχείριση ανάλογα με τις ανάγκες κάθε περιοχής του αγρού. Με τον τρόπο αυτό

παρεμβαίνουμε και καλύπτουμε τις ανάγκες όχι μαζικά και ενιαία αλλά με μεγάλη ακρίβεια στον χώρο αλλά και στον χρόνο με συνέπεια να μην επιβαρύνουμε το περιβάλλον με αχρείαστες εισροές και να εξοικονομούμε πόρους. Η νέα αντίληψη που κομίζει η Γεωργία Ακριβείας είναι πως μέσα στο ίδιο χωράφι το pH, οι ανάγκες σε νερό και λίπανση, η διαθεσιμότητα σε θρεπτικά στοιχεία, η αλατότητα ενδέχεται να διαφέρουν και οφείλουμε να διαχειριστούμε αυτή την παραλλακτικότητα αναλόγως.

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται είναι το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (GPS), τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS), η Τηλεπισκόπηση και τα Συστήματα Μεταβλητών Εφαρμογών που καθορίζουν την ποσότητα των εισροών ανάλογα με τις ανάγκες κάθε τμήματος του αγροτεμαχίου. Δίνεται έμφαση στην μεταβλητότητα και παραλλακτικότητα τμημάτων του αγρού που παρουσιάζουν ομοιομορφία μεταξύ τους σε ότι αφορά εδαφικές ιδιότητες όπως pH, θρεπτικά στοιχεία, υγρασία και τα δεδομένα που έρχονται μέσω των νέων τεχνολογιών είναι υψηλής χωρικής και χρονικής ανάλυσης καθορίζουν επακριβώς την αποτελεσματική και ακριβή ποσότητα εισροών. Η χωρική παραλλακτικότητα ανάγεται σε μετρήσιμα χαρακτηριστικά του αγρού όπως μηχανική σύσταση εδάφους, οργανική ουσία, τοπογραφία-κλίσεις ενώ η χρονική παραλλακτικότητα αναφέρεται σε ιδιότητες του εδάφους που μεταβάλλονται γρήγορα σε σχέση με τον χρόνο όπως υγρασία, επίπεδα φωσφορικών ή νιτρικών, θερμοκρασία.

Άλλη μία σύγχρονη τεχνολογία που χρησιμοποιεί η Γεωργία ακριβείας είναι η τεχνολογία των drones. Τα drones είναι τα μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα που ελέγχονται είτε από κάποιον απομακρυσμένο χειριστή είτε αυτόνομα ακολουθώντας κάποιο προκαθορισμένο σχέδιο πτήσης. Μπορεί να είναι πολυκόπτερα (τρικόπτερα, τετρακόπτερα, εξακόπτερα κοκ) ή και αεροπλάνα. Τα drones μπορούν να προσφέρουν χαρτογράφηση, επόπτευση καλλιεργειών από μεγάλη απόσταση, δυνατότητα καταμέτρησης φυτών, ακριβή χωρικό εντοπισμό προβλημάτων στην σπορά, μετρήσεις ύψους και όγκου φυλλώματος, τηλεπισκόπηση ανθοφορίας, πληροφορίες για συγκέντρωση ή απορροή των υδάτων, πληροφορίες για την βιωσιμότητα των φυτών, εντοπισμό ασθενειών. Τα πλέον προηγμένα μοντέλα είναι εξοπλισμένα με

θερμικές ή υπέρυθρες κάμερες ή αισθητήρες που μπορούν να συλλέγουν δεδομένα και εικόνες που δεν είναι καν ορατά στο ανθρώπινο μάτι.



Εικόνα 1:

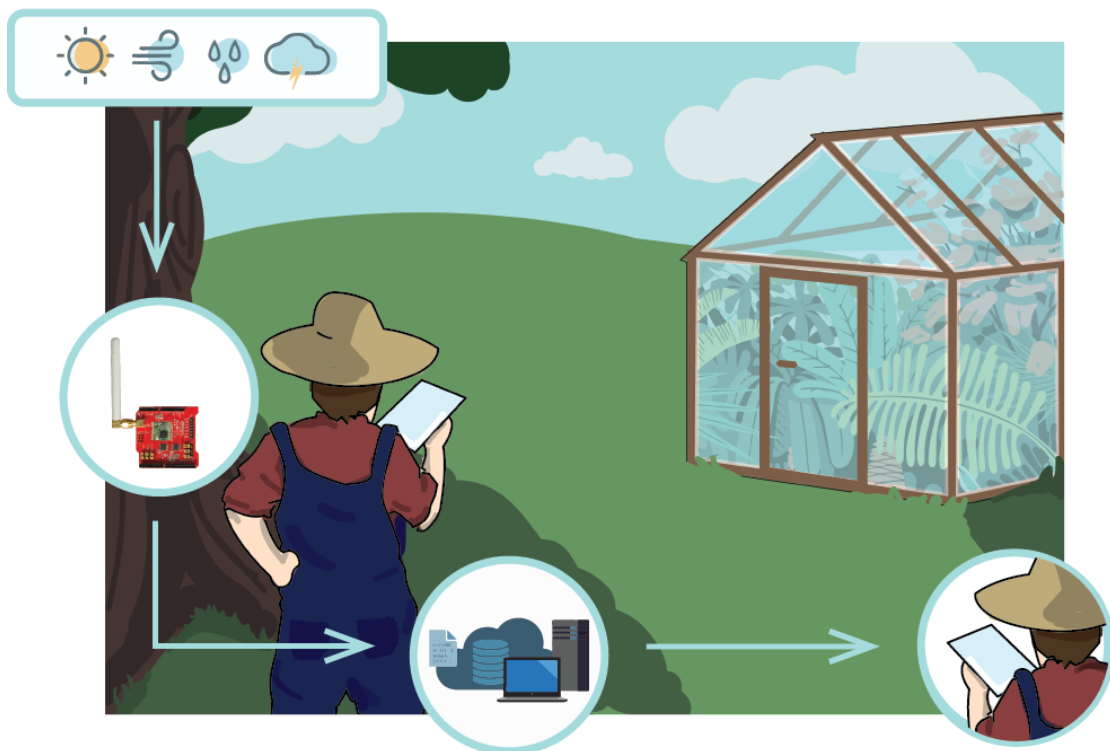
Άποψη εργαστηρίου ρομποτικών εφαρμογών Τμήματος Αξιοποίησης  
Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής ΓΠΑ

Ο κύριος στόχος της Γεωργίας Ακριβείας με τα δίκτυα των αισθητήρων και την αποστολή/λήψη δεδομένων είναι η ανίχνευση ενός προβλήματος στον σωστό χρόνο προκειμένου να γίνει η απαραίτητη διόρθωση. Οι αισθητήρες εδάφους είναι όργανα που μετράμε την υγρασία θερμοκρασίας, την αλατότητα του εδάφους για διάφορα βάθη, με μόνιμη ή περιοδική τοποθέτησή τους εντός του εδάφους, καθώς και διάφορες μετεωρολογικές παραμέτρους όπως τη θερμοκρασία, την υγρασία ατμόσφαιρας, την ένταση και κατεύθυνση ανέμου, το ύψος βροχόπτωσης και γενικότερα ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Παραδείγματα που ενδεχομένως χρήζουν διόρθωσης είναι η άρδευση, προσβολές από παθογόνους οργανισμούς, ασθένειες φυτών, επάρκεια θρεπτικών συστατικών εδάφους. Με αυτού του τύπου την διαχείριση εξασφαλίζεται αφενός η αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών με

επακόλουθο την αύξηση των εσόδων για τους επαγγελματίες του χώρου και αφενός η σωστή διαχείριση των φυσικών πόρων με επακόλουθο την μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος.

Πρέπει να επισημανθεί πως ακόμα και να υπάρχει αγρός με παραλλακτικότητα δεν σημαίνει ότι οπωσδήποτε πρέπει να εφαρμοστούν μέθοδοι Γεωργίας Ακριβείας διότι η παραλλακτικότητα μπορεί να είναι ανεπαίσθητη ή να οφείλεται σε συγκεκριμένο λόγο που μπορεί εύκολα να εξαλειφθεί.

Το μεγάλο στοίχημα έγκειται στην εκπαίδευση και στην κατάρτιση των νέων αγροτών ώστε να μπορούν να χρησιμοποιούν όλα τα εργαλεία που τους προσφέρει η σύγχρονη τεχνολογία καθώς και να μην παραμείνουν προσκολλημένοι στις παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής και στις επιδοτήσεις προϊόντων. Πρέπει να ξεφύγουμε από το στερεότυπο του αγρότη που πολλοί ενδεχομένως έχουν στο μυαλό τους και να προχωρήσουμε με αργά και σταθερά βήματα στην εισαγωγή εφαρμογών Γεωργίας Ακριβείας στην καθημερινότητα των ενημερωμένων αγροτών που θα διαθέτουν ικανότητες χειρισμού και επεξεργασίας των ηλεκτρονικών συστημάτων.



Εικόνα 2:

Σύγχρονη απεικόνιση αγρότη που χρησιμοποιεί καινοτόμες τεχνολογίες στο πεδίο

## 1.2 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

### 1.2.1 Η Αναγκαιότητα ΤΟΥ CLOUD COMPUTING (της σύγχρονης δικτύωσης)

Τα τελευταία χρόνια παρατηρούμε μία κατάσταση όπου τα δίκτυα χρησιμοποιούνται σε όλο το φάσμα της ανθρώπινης δραστηριότητα. Τα οφέλη δικτύωσης είναι πολλά και καλύπτουν σημαντικές και πολύπλευρες ανάγκες. Συγκεκριμένα

Α) οικοδομείται γνώση σε νέες τεχνολογίες όπου τα δίκτυα και οι υπηρεσίες που φιλοξενούν είναι ένα εργαστήριο πειραματισμού και εξερεύνησης για ανάπτυξη νέας γνώσης γύρω από εργαλεία επικοινωνίας και αλληλεπίδρασης μεταξύ ατόμων και κοινοτήτων.

Β) παρουσιάζονται ευκαιρίες ανάπτυξης τοπικής επιχειρηματικότητας καθώς τα ασύρματα δίκτυα είναι μια τεχνολογία, η οποία κερδίζει έδαφος με γρήγορους ρυθμούς τα τελευταία χρόνια στον τομέα της παροχής σύνδεσης στο διαδίκτυο (Wireless ISPs – WISPs). Η σύγχρονη τάση είναι η αλλαγή του υπερσυγκεντρωτικού μοντέλου των γιγαντιαίων παρόχων και η μετάβαση σε ένα μοντέλο μικρών και ευέλικτων παρόχων, οι οποίοι μπορούν να προσαρμοστούν καλύτερα στις ανάγκες των καταναλωτών. Όλες οι υπηρεσίες που αναπτύσσονται πάνω σε μια τέτοια υποδομή έχουν τη δική τους τεχνογνωσία και μπορούν να αποτελέσουν πυρήνες ανάπτυξης επιχειρηματικότητας από νέους ανθρώπους. Πολύ χρήσιμη υπηρεσία θα ήταν, για παράδειγμα, ένα εργαλείο διαδικτυακής ομαδικής συνεργασίας για συνεταιρισμούς αγροτικών παραγωγών.

Γ) Η αξιοπιστία της υποδομής η οποία δεν στηρίζεται σε κάποιο κεντρικό server, αλλά ο κάθε κόμβος που προστίθεται στο δίκτυο λειτουργεί ως πομπός και δέκτης ταυτόχρονα. Αυτού του είδους η αρχιτεκτονική καθιστά πρακτικά πολύ δύσκολη την ολοκληρωτική καταστροφή του τοπικού δικτύου: αν “πέσει” κάποιος κόμβος γίνεται αναδρομολόγηση της κίνησης των δεδομένων μέσω άλλων γειτονικών κόμβων.

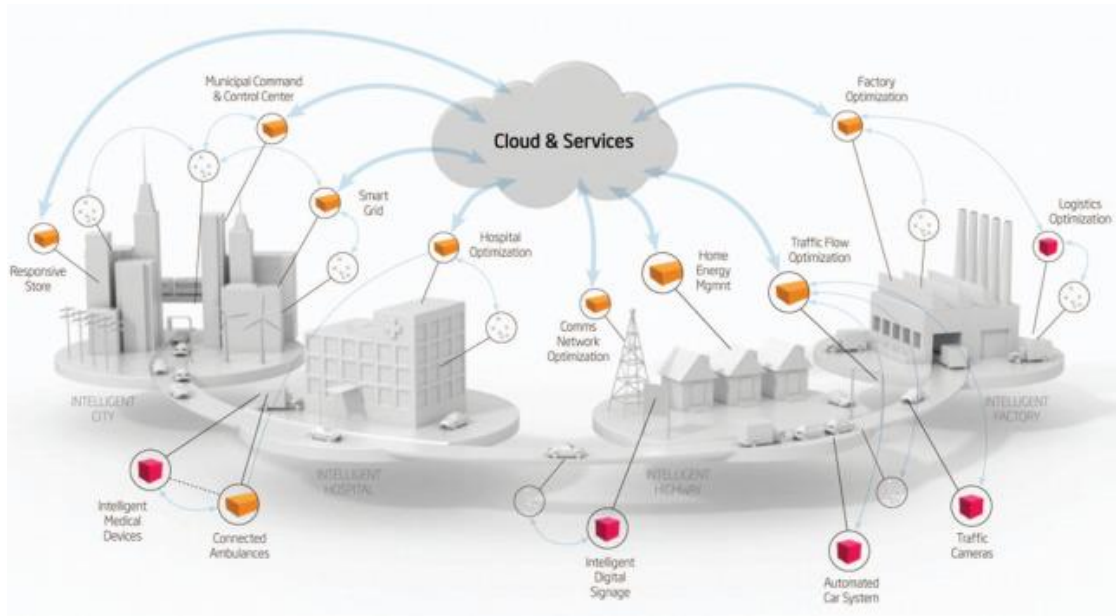
Δ) Η απλότητα και το οικονομικό όφελος καθώς η τεχνολογία των κοινοτικών ασύρματων δικτύων είναι πλέον προσιτή, με οικονομικό εξοπλισμό και διαθέσιμη ανοιχτή γνώση για όποιον ενδιαφέρεται να ασχοληθεί. Υπάρχουν πολλές πηγές πληροφόρησης στο διαδίκτυο και πολλά παραδείγματα κοινοτικών ασύρματων δικτύων. Είναι σημαντικό να συνειδητοποιήσουμε ότι δεν απαιτείται να είσαι “επιστήμονας” για να ξεκινήσεις με κάτι τέτοιο

Ε) Μεγαλύτερος βαθμός ασφάλειας σε πρόσβαση προσωπικών δεδομένων αφού ένα δίκτυο μπορεί να είναι τελείως αποκομμένο από το Ίντερνετ ή να συνδέεται με αυτό μέσω κάποιων κόμβων. Αυτό το αποφασίζουν οι ιδιοκτήτες του δικτύου, δηλαδή οι ίδιοι οι χρήστες του. Όλα τα δεδομένα που διακινούνται μέσα σε αυτό ελέγχονται από την κοινότητα που το διαχειρίζεται, ενώ η ασφάλειά του περιορίζεται μονάχα από τις γνώσεις των ανθρώπων που το αναπτύσσουν.

Στην πιο σύγχρονη τους εκδοχή τα δίκτυα συμμετέχουν σε αυτό που ονομάζουμε υπολογιστικό νέφος (cloud computing). Αρχικά με τον όρο cloud εννοούμε ένα “σύννεφο” που ως σχήμα λόγου περιγράφει ένα περιβάλλον που αποτελείται από ένα απομακρυσμένο σύνολο αξιόπιστων υπηρεσιών στο οποίο βασιζόμαστε χωρίς να έχουμε πλήρη γνώση της εσωτερικής του λειτουργίας. Σε πολλά βιβλία τα οποία περιέχουν διαγράμματα και εξηγήσεις για το πώς λειτουργεί το διαδίκτυο, το απεικονίζουν σαν ένα σύννεφο στο οποίο συνδέονται τα router, οι διαδικτυακοί διακομιστές (webservers) στους οποίους υπάρχουν οι διαδικτυακές εφαρμογές και εν συνεχεία οι υπολογιστές που χρησιμοποιούν αυτές τις εφαρμογές. Με μια πρώτη ματιά θα μπορούσαμε να πούμε ότι αυτό το σύννεφο είναι το λεγόμενο “cloud”.

Το περιβάλλον αυτό μας διαθέτει υπηρεσίες και είναι αρκετά ανθεκτικό σε τυχαίες ή απότομες μεταβολές των συνθηκών του ακόμα και μεγάλης κλίμακος. Αυτό επιτυγχάνεται με τα εγγενή χαρακτηριστικά του όπως η αυτόματη ανάκαμψη, η αυτοεπιτήρηση, η αυτοδιαχείριση. Cloud computing σημαίνει μεγάλα κέντρα δεδομένων, τα οποία προσφέρουν οικονομίες κλίμακας, φθηνότερη υπολογιστική ισχύ και απεριόριστη χωρητικότητα ταυτόχρονα με ανάπτυξη νέων “έξυπνων εργαλείων”





Εικόνα 3:

Σχηματική απεικόνιση Cloud Computing

## 1.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ CLOUD COMPUTING

### 1.3.1 ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ

Αυτό είναι ένα από τα πιο βασικά πλεονεκτήματα του Cloud Computing. Το κόστος που μπορεί να έχει ένα λογισμικό ίσως να είναι απαγορευτικό για μία μικρή εταιρία. Με το “cloud” τα δεδομένα αυτά αλλάζουν καθώς η εταιρία δεν πληρώνει την εφαρμογή αλλά πληρώνει την χρήση της. Συνήθως σε cloud δίκτυα υπάρχουν πολλές δυνατότητες και “πακέτα” για την πληρωμή της χρήσης κάποιας εφαρμογής. Για τις μεγάλες επιχειρήσεις και οργανισμούς που είναι απαραίτητη η μεγάλη υπολογιστική ισχύς σημαίνει πρόσβαση σε αυτήν με ελάχιστο κόστος σε υλικοτεχνικό εξοπλισμό. Για τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις δίδεται χώρος στην επεκτασιμότητα τους μέσω ανάπτυξης νέων προϊόντων και καινοτόμων υπηρεσιών αλλά και πρόσληψης νέου προσωπικού λόγω της δυνατότητας εξοικονόμησης χρόνου και κόστους. Το Cloud Computing είναι μία τεχνολογία εύκολα διαθέσιμη και άμεσα αξιοποιήσιμη που συνεισφέρει ακόμα και στην εθνική οικονομία μιας χώρας μειώνοντας τα λειτουργικά έξοδα και τον διοικητικό φόρτο σε υπηρεσίες. Στην Ελλάδα η cloud εφαρμογή του Taxisnet

αποτελέσει πραγματική επανάσταση καθώς οι φορολογούμενοι μπορούν να διευθετούν τις υποθέσεις τους με την Εφορία χωρίς ουρές, ταλαιπωρία και αλόγιστη σπατάλη χρόνου.

### 1.3.2 ΑΠΟΘΗΚΕΥΤΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ-ΑΣΦΑΛΕΙΑ

Η αποθήκευση των διαφόρων πληροφοριών είναι θέμα υψίστης σημασίας. Με το Cloud Computing έχουμε συνήθως όσο αποθηκευτικό χώρο θα χρειαστούμε. Παράλληλα εξασφαλίζουμε πολύ περισσότερο αποθηκευτικό χώρο στον υπολογιστή μας ή την συσκευή μας, αφού πολλά αρχεία μας θα τα έχουμε "ανεβασμένα" στο διαδίκτυο όπου βρίσκονται οι υπηρεσίες Cloud.

- Πρόσβαση από οποιαδήποτε συσκευή διαθέτει σύνδεση στο διαδίκτυο. Με το Cloud Computing αποκτάται πρόσβαση σε πληροφορίες που βρίσκονται στο cloud και όχι σε έναν συγκεκριμένο server ή μια συγκεκριμένη συσκευή. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως μπορούμε να ζητήσουμε τις ίδιες πληροφορίες από οποιαδήποτε συσκευή οπουδήποτε και αν αυτή βρίσκεται.
- Πολύ μεγάλη ευελιξία. Το Cloud Computing έχει μετατρέψει την απομακρυσμένη εργασία από οποιοδήποτε σημείο σε μια ιδιαίτερα εύκολη υπόθεση. Αυτό σημαίνει πως οι χρήστες μπορούν να απολαμβάνουν μακράν μεγαλύτερη ευελιξία και μπορούν να εργάζονται απομακρυσμένα επάνω σε ένα site από οπουδήποτε.
- Αυτόματη δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας των δεδομένων μας που σημαίνει πως από την στιγμή που αποθηκεύουμε τα αρχεία μας στο cloud είμαστε σίγουροι πως δεν πρόκειται να χαθούν αλλά και ότι θα έχουμε πρόσβαση σε αυτά όποτε χρειαστεί. Με αυτό τον τρόπο δεν χρειάζεται να αποθηκεύουμε και να συντηρούμε αντίγραφα των αρχείων μας. Σε περίπτωση που καταστραφεί ο εξοπλισμός μας συνδεόμαστε από κάποιον άλλο υπολογιστή στο cloud και "κατεβάζουμε" τα αρχεία μας. Η πρόσβαση αυτή είναι διαθέσιμη οποτεδήποτε από οποιοδήποτε σημείο και αν βρισκόμαστε και από οποιαδήποτε συσκευή και αν συνδεθούμε.

### 1.3.3 ΕΦΑΡΜΟΣΙΜΟΤΗΤΑ

Το Cloud Computing χωρίζεται στις εξής κατηγορίες ανάλογα με τις υπάρχουσες ανάγκες χρήσης.

A) Private cloud: Η cloud υποδομή λειτουργεί αποκλειστικά και μόνο για έναν και η διαχείριση του γίνεται από έναν (οργανισμό, φορέα, εταιρεία) ή εγκεκριμένους τρίτους.

B) Public cloud: Η cloud υποδομή είναι διαθέσιμη στο ευρύ κοινό ή σε μια μεγάλη ομάδα εταιρειών και ανήκει σε έναν οργανισμό που πουλά υπηρεσίες cloud

Γ) Community cloud: Η cloud υποδομή εξυπηρετεί τους σκοπούς μιας ευρύτερης ομάδας (οργανισμών, εταιρειών, ομάδος ιδιωτών με κοινό σκοπό) και μοιράζεται μεταξύ τους.

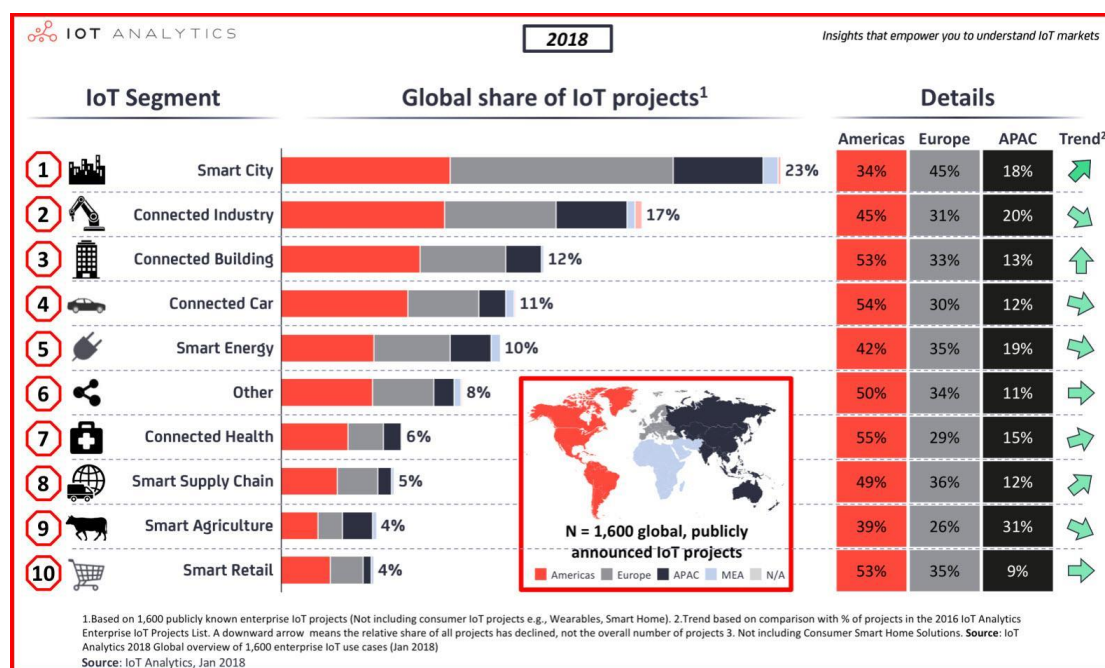
## 1.4 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ INTERNET OF THINGS (IoT)

Το διαδίκτυο των πραγμάτων είναι το παγκόσμιο εκείνο δίκτυο στο οποίο λαμβάνει χώρα η διασύνδεση λειτουργικών στοιχείων της καθημερινής ζωής δηλαδή συσκευών, οχημάτων, κτιρίων, tablets, τηλεφώνων, ηχείων, wearables, καμερών, (συνδεδεμένες συσκευές) που ενσωματώνονται με ηλεκτρονικά, λογισμικά και αισθητήρες προκειμένου να εξυπηρετείται η αποθήκευση, επεξεργασία και ανταλλαγή δεδομένων.

Αν και το IoT είναι σχετικά νέο ως έννοια έχει ραγδαία ανάπτυξη και έχει εισβάλει για τα καλά στην ζωή του ανθρώπου καθώς τα συστήματα που κάνουν χρήση του IoT εξαπλώνονται σε όλους τους τομείς της αγοράς, της βιομηχανίας και της οικονομίας.

Σήμερα υπάρχει η ισχυρή τάση να δημιουργηθούν εφαρμογές όπου συνδεδεμένες συσκευές θα συλλέγουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και θα συνδυάζονται με δεδομένα ή πληροφορίες που έχουν αντληθεί από ξένες πηγές προκειμένου ένα σύστημα ή ένα δίκτυο να οδηγεί σε βελτίωση της αποτελεσματικότητάς του, σε ακρίβεια, οικονομικό όφελος και σε κέρδος χρόνου.

Το IoT επιτρέπει σε αντικείμενα ενός συστήματος ή ενός δικτύου να ελέγχονται και να παρακολουθούνται εξ αποστάσεως μεταφέροντας δεδομένα καθώς το κάθε αντικείμενο είναι αναγνωρίσιμο μέσω του συστήματος πληροφορικής του. Μέχρι το 2020, εκτιμούν οι αναλυτές της αγοράς, οι ιδιώτες, οι εταιρίες και οι κρατικές δομές θα έχουν εγκαταστήσει περισσότερα από 40 δισ. συστήματα Ίντερνετ των Πραγμάτων.



Εικόνα 4:

### Τάση ανάπτυξης εφαρμογών IoT

Πηγή: <https://iot-analytics.com/>

Αντικείμενα -κατά το Διαδίκτυο των πραγμάτων- είναι ένα κράμα υλικού, λογισμικού, δεδομένων και υπηρεσιών όπως πχ αισθητήρες σε αυτοκίνητα, αισθητήρες θερμοκρασίας σε δασικές εκτάσεις, smartwatches ή άλλες έξυπνες συσκευές για την παρακολούθηση την κατάσταση της υγείας, αυτοκινούμενα αυτοκίνητα που είναι συνδεδεμένα στο διαδίκτυο συλλέγοντας πληροφορίες για τη διαδρομή, την κίνηση στους δρόμους, τις κλιματολογικές συνθήκες και τη κατάσταση του οδοστρώματος μετέπειτα αναλύουν και επεξεργάζονται τις πληροφορίες έτσι μπορούν να αποφασίσουν ποια είναι η κατάλληλη ταχύτητα και βέλτιστη διαδρομή που πρέπει να ακολουθηθεί, έξυπνες εφαρμογές μέσω των οποίων οι εμπορικές επιχειρήσεις θα μελετούν την καταναλωτική συμπεριφορά των πελατών τους, θα παρακολουθούν τις αποθήκες τους

αυτοματοποιημένα και γενικά θα μπορούν να διαχειρίζονται τεράστιο όγκο δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

Συνοπτικά οι κλάδοι που θα επηρεαστούν καταλυτικά από την επέλαση του IoT είναι:

1. Υγεία
2. Τηλεπικοινωνίες
3. Βιομηχανική Παραγωγή – Εφοδιαστική Αλυσίδα
4. Μεταφορές
5. Ενέργεια
6. Σπίτι – Οικιακές Συσκευές
7. Αγροτική Παραγωγή

Η μεγαλύτερη πρόκληση που θα κληθούν να αντιμετωπίσουν οι εταιρίες προηγμένης τεχνολογίας είναι η ασφάλεια καθώς υποκρύπτονται πολλοί κίνδυνοι για την ιδιωτικότητα και την προστασία των προσωπικών δεδομένων των χρηστών . Ας σκεφτούμε ένα τεράστιο δίκτυο συνδεδεμένων συσκευών οι οποίες ανταλλάσσουν, επεξεργάζονται και συλλέγουν πληροφορίες. Η διαχείριση αυτού του όγκου των πληροφοριών όσον αφορά το θέμα της ασφάλειας είναι αρκετά περίπλοκη. Για παράδειγμα, όταν έχουμε αισθητήρες για να παρακολουθούμε την υγεία ενός ασθενή, θα πρέπει να διασφαλίσουμε ότι αυτά τα δεδομένα θα μείνουν ασφαλή και δεν θα πέσουν στα χέρια λάθος ανθρώπων.

Στα πλαίσια της φιλοσοφίας του Cloud Computing εντάσσονται και χρησιμοποιούνται δίκτυα πολύ διαφορετικών τεχνολογιών και δυνατοτήτων. Μια κατηγορία λειτουργιών στο Cloud Computing αξιοποιεί τη φιλοσοφία του Internet of Things και προσφέρει ακρίβεια, αποτελεσματικότητα και ταχύτητα σε εφαρμογές του IoT. Το Cloud Computing βοηθά σε ανάπτυξη εφαρμογών του Internet of things. Σχηματικά η σχέση αλληλεπίδρασης μεταξύ τους είναι παρόμοια με αυτήν του καυσίμου και του αυτοκινήτου.

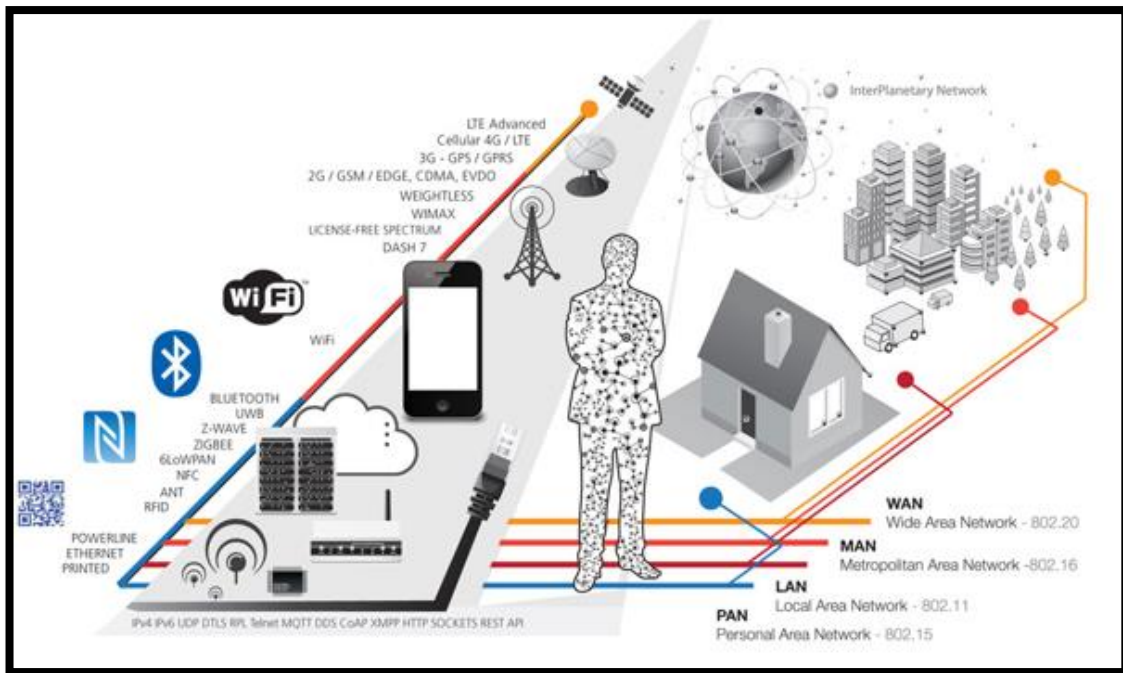
Η ενέργεια που παράγεται από το καύσιμο (Internet of things) κινεί το αυτοκίνητο (Cloud Computing). Για να γίνει αντιληπτό το πόσο θα διευκολύνει την ζωή μας το IoT ως αναφέρουμε το απλό παράδειγμα ενός “έξυπνου” ρολογιού χειρός. Αυτό δεν είναι “έξυπνο” επειδή έχει προηγμένους αισθητήρες αλλά επειδή μας βοηθά να πάρουμε τις πλέον έξυπνες αποφάσεις πχ για την υγεία μας. Μελλοντικά οτιδήποτε μπορεί να συνδεθεί θα συνδεθεί.



Εικόνα 5:

Δυνατότητες συνδεσιμότητας διαφόρων τεχνολογιών στο IoT

Πηγή: <https://www.postscapes.com/internet-of-things-technologies/>



Εικόνα 6:

Ιχνηλατώντας στο IoT

Πηγή: <https://www.postscapes.com/internet-of-things-technologies/>

Στο IoT χρησιμοποιούνται πολλές και διαφορετικές τεχνολογίες δικτύων και πολλές διαφορετικές επιλογές συνδεσιμότητας όπως πχ τα δίκτυα Ethernet, WiFi, Bluetooth, Zigbee, τεχνολογία Near Field Communication, το BTLE. Το IoT με τις διασυνδεδεμένες συσκευές αποτελεί ένα δίκτυο με απόλυτη χρηστικότητα και λειτουργικότητα που θα καθιστά την ζωή μας πιο ποιοτική αφού θα μπορούμε να επιλέγουμε την βέλτιστη διαδρομή, να αποφεύγουμε συνωστισμό, να λαμβάνουμε έγκαιρες ειδοποιήσεις για ζητήματα υγείας, να ελέγχουμε το νοικοκυριό μας αλλά και σε επίπεδο εταιρειών ή γραφείων να γνωρίζουμε ανά πάσα στιγμή τον διαθέσιμο εξοπλισμό ώστε να προχωρούμε σε παραγγελίες και προμήθειες, να εξασφαλίζουμε την αρτιότητα της εργασίας των υπαλλήλων μέσω συμμόρφωσης σε κανονισμούς ή υποστήριξης σε πρωτοβουλίες, να αξιολογεί και να προβλέπει προβλήματα στην ροή των εργασιών.

## **1.5 Διαδίκτυο της αγροτικής παραγωγής (Agro Internet of Things)**

### **Αξιοποίηση των δικτύων στο χώρο της Γεωργίας**

Η χρήση του IoT θα επιτρέψει στην αγροτική παραγωγή και οικονομία να εκμεταλλευτεί την τεχνολογία αιχμής με ανυπολόγιστα ακόμα οφέλη σε τοπικό αλλά και σε εθνικό επίπεδο. Ο αγροτοδιατροφικός τομέας καλείται τα επόμενα χρόνια να διαχειριστεί τις αυξανόμενες ανάγκες κατανάλωσης λόγω αύξησης πληθυσμού, την περιορισμένη διαθεσιμότητα των εδαφών, την αυξανόμενη έλλειψη νερού και την αλόγιστη σπατάλη φυσικών πόρων.

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων έρχεται να συμβάλλει με τις υπηρεσίες που μπορεί να προσφέρει σε μια πραγματική επανάσταση στον συγκεκριμένο τομέα.

Συγκεκριμένα στον τομέα της κτηνοτροφίας το IoT μαζί με τις τεχνολογίες ασύρματων δικτύων και καθορισμού θέσης προσφέρει λύσεις, που βοηθάνε στη μείωση του αριθμού των ζώων που πεθαίνουν στη γέννα, στην παρακολούθηση των επιδόσεων των ζώων και στην βελτίωση της διατροφής τους, στην παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο δεδομένων που αφορούν την υγεία τους, την ανίχνευση ασθένειας και απομάκρυνση των άρρωστων ζώων από το κοπάδι.

Μειώνεται ο χρόνος εργασίας, αφού οι κτηνοτρόφοι μπορούν να εντοπίσουν άμεσα την θέση των ζώων τους ανά πάσα στιγμή.

Τα δίκτυα αισθητήρων παίζουν καθοριστικό ρόλο στην εύρυθμη λειτουργία ενός θερμοκηπίου ελέγχοντας τα επίπεδα υγρασίας και θερμοκρασίας. Αν τα επίπεδα αυτά υποχωρήσουν ή ξεπεράσουν κάποιες συγκεκριμένες τιμές τότε ο διαχειριστής ειδοποιείται μέσω sms στο κινητό του ή μέσω email προκειμένου να προχωρήσει στις κατάλληλες ενέργειες εξισορρόπησης όπως άνοιγμα αεραγωγών, ενεργοποίηση περσίδων. Η διατήρηση σταθερού μικροκλίματος εντός θερμοκηπίων είναι καθοριστικής

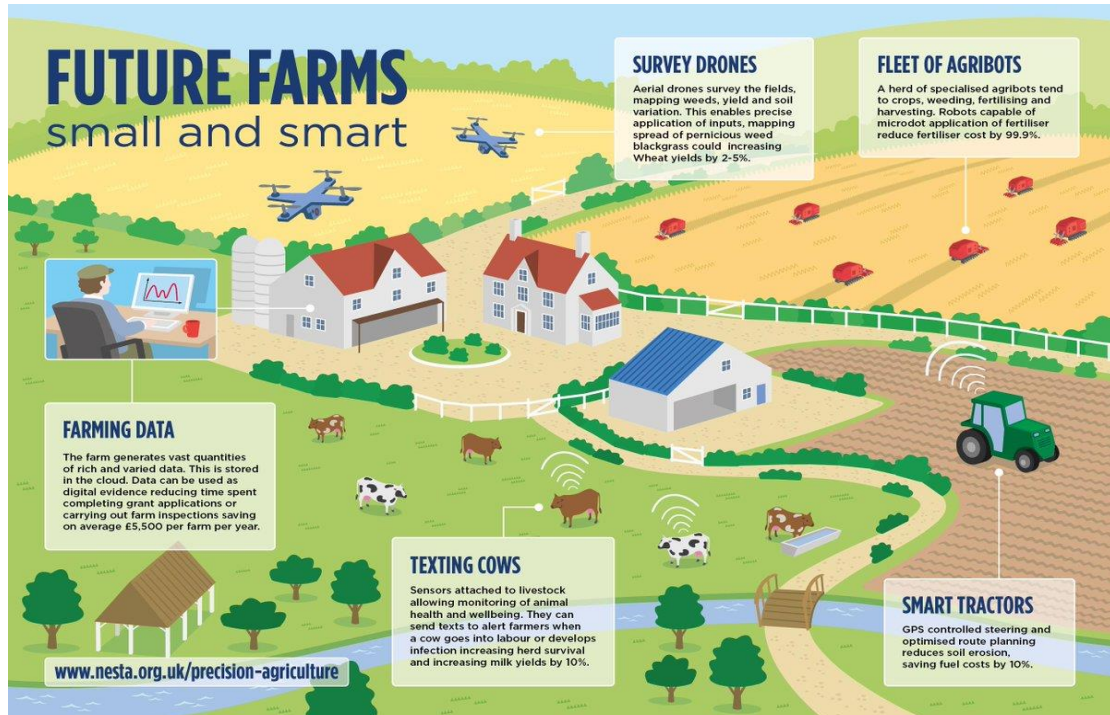


σημασίας για την ανάπτυξη των καλλιεργειών και για την αποφυγή εμφάνισης παθογόνων μικροοργανισμών.

Η χρήση τεχνολογιών του IoT επιτρέπει στον αγρότη να παρακολουθεί και να ελέγχει τον αγρό και την σοδιά του εξ αποστάσεως σε πραγματικό χρόνο καθώς και την κατάσταση του εξοπλισμού, την εξέλιξη των καλλιεργειών, να συλλέγει και να αναλύει δεδομένα σχετικά με την παραγωγή (υγρασία, θερμοκρασία, ποσότητα άρδευσης, τύπος λίπανσης, λελογισμένη χρήση φυτοφαρμάκων) με τελικό αποτέλεσμα την μείωση κατανάλωσης ενέργειας, μείωση κόστους και αύξηση παραγωγικότητας με μεγαλύτερες αποδόσεις.

Συγκεκριμένα στο θέμα της λίπανσης που παίζει καθοριστικό ρόλο και στην ανάπτυξη της καλλιέργειας αλλά και στην προστασία του περιβάλλοντος οι αισθητήρες και εν γένει η Γεωργία Ακριβείας μας επιτρέπει να προσδιορίσουμε με ακρίβεια το χρονικό σημείο της εφαρμογής, την ποσότητα που χρειάζεται, τον τύπο λίπανσης. Μπορούμε ακόμα να διαφοροποιήσουμε τις δόσεις του λιπάσματος ανάλογα με τις ανάγκες μας. Τα χαρακτηριστικά αυτά μετρούνται κατά τη λειτουργία του λιπασματοδιανομέα και ρυθμίζουν άμεσα τη δόση που εφαρμόζουν κατά τη λειτουργία στο χωράφι με βάση τους ζωνικούς χάρτες. Χρήσιμο θα ήταν να έχει προηγηθεί μια "χαρτογράφηση" της παραγωγής δηλαδή να γνωρίζουμε από στοιχεία προηγούμενων ετών ποιο τμήμα του αγρού έχει υψηλότερη παραγωγή και ποιο μικρότερη προκειμένου να δώσουμε στοχευμένες λύσεις. Παράλληλα έχουμε εικόνα όλων των χημικών στοιχείων του εδάφους (κάλιο, φώσφορος, μαγγάνιο) για την ορθολογική χρήση των λιπασμάτων.

Στην Ελλάδα με το έντονο ανάγλυφο και τις μεγάλες αποστάσεις μεταξύ ηπειρωτικού κορμού και νησιωτικών περιοχών η διάχυση της συγκεκριμένης τεχνολογίας στον πρωτογενή τομέα θα οδηγήσει στην άρση της ψηφιακής απομόνωσης της υπαίθρου, στην διασύνδεση μεταξύ επαγγελματιών του χώρου σε τηλεπικοινωνιακά δίκτυα και στην μεταφορά τεχνογνωσίας ακόμα και σε απομακρυσμένες περιοχές.



Εικόνα 7:

Η μελλοντική ψηφιακή φάρμα

Πηγή: <http://agtecher.com/what-is-agtech/>

**Ειδικά τα ασύρματα** δίκτυα που δεν έχουν περιορισμούς καλωδίων και έχουν μικρό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης παρέχουν τρόπο κάλυψης σε περιοχές που υφίσταται δυσκολία καλωδίωσης εξασφαλίζοντας υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης σε φορητά τερματικά βοηθώντας έτσι καθοριστικά στις δραστηριότητες του γεωργικού τομέα. Κλείνοντας αυτό το υποκεφάλαιο χρήσιμο θα ήταν να τονίσουμε πως στην σύγχρονη εποχή όλα καταγράφονται πλήρως και αρχειοθετούνται σε ημερολόγια εργασιών προκειμένου ένας ενημερωμένος αγρότης να έχει ιστορικό που μπορεί να ανατρέχει και να επεξεργάζεται δεδομένα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### 2.1 ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

#### 2.1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Οι πρώτες προσπάθειες για την δημιουργία ενός ασύρματου δικτύου σε τοπικό επίπεδο έλαβαν χώρα αρχές δεκαετίας του 1970 με την χρήση υπέρυθρης ακτινοβολίας που όμως δεν ευοδώθηκαν καθώς οι συνδεδεμένες συσκευές έπρεπε να είναι σε κοντινή απόσταση λόγω της ανάγκης οπτικής επαφής μεταξύ τους. Περαιτέρω προσπάθειες με χρήση ραδιοκυμάτων στα 900 MHz (HP, 1980) και λίγο αργότερα στα 1,73 GHz (Motorola), αλλά απέτυχαν λόγω της πολυπλοκότητας και της αδυναμίας εξασφάλισης μόνιμης άδειας χρήσης φάσματος. Το 1985 δόθηκε άδεια για την δημόσια χρήση της Βιομηχανικής, Επιστημονικής, Ιατρικής ζώνης (ISM bands) που περιελάμβανε τις συχνότητες 902 MHz ως και 5.85GHz. Η αδειοδότηση αυτή έδωσε τεράστια ώθηση στην αγορά των ασυρμάτων δικτύων, γιατί στις περισσότερες χώρες του κόσμου δεν απαιτείται καμία ειδική άδεια για την εκπομπή στο συγκεκριμένο φάσμα συχνοτήτων, εκτός βέβαια από περιορισμούς στην ισχύ εκπομπής που διαφέρουν από χώρα σε χώρα. Έτσι πολλοί κατασκευαστές ασχολήθηκαν με την μαζική παραγωγή ασύρματων προϊόντων, πράγμα που οδήγησε στην αύξηση του αριθμού των WLANs (ασύρματων τοπικών δικτύων).

Αν και η ιδέα της τηλεανίχνευσης δεν είναι καινούρια το ερευνητικό ενδιαφέρον για τα δίκτυα ασύρματων αισθητήρων ξεκίνησε την δεκαετία του 1980 αλλά έπρεπε να έρθει ο 21ος αιώνας για να υλοποιηθούν σε ποικίλες εφαρμογές. Μία από τις πρώτες εφαρμογές που οδήγησε στην ανάπτυξη της συγκεκριμένης τεχνολογίας των δικτύων αισθητήρων ήταν σε στρατιωτικό επίπεδο η επιτήρηση και συλλογή πληροφοριών σε εμπόλεμη ζώνη. Το κέντρο ερευνών του Αμερικανικού Υπουργείου Άμυνας ανέπτυξε πρώτο αυτή την τεχνολογία για χρήση από τις Αμερικανικές Ένοπλες Δυνάμεις. Το Δίκτυο Κατανεμημένων Αισθητήρων -Distributed Sensor Network (DSN)- ήταν ένα πρόγραμμα που ξεκίνησε να αναπτύσσει μεταφορά δεδομένων από έναν αισθητήρα στον γειτονικό του μέχρι εκείνου του αισθητήρα που χρειαζόταν την

πληροφορία και χαρακτηριζόταν από χαμηλό κόστος και χαμηλή ισχύ. Η μεγαλύτερη πρόκληση που έπρεπε να υπερνικηθεί ήταν η μεγάλη κατανάλωση ενέργειας και το μέγεθος των αισθητήρων εκείνη την εποχή καθώς δεν υπήρχε τότε κατάλληλη τεχνολογία. Η επέλαση της Μικροηλεκτρονικής με τους μικροεπεξεργαστές και της Νανοτεχνολογίας με τα μικροσκοπικά τσιπάκια λίγα χρόνια αργότερα πρόσφερε το κατάλληλο έδαφος για την ευρεία ανάπτυξη και χρήση δικτύων αισθητήρων σε εφαρμογές μέτρησης, παρατήρησης και εντοπισμού όπως παρακολούθηση περιβαλλοντικών παραμέτρων ιδίως σε περιοχές κοντά σε βιομηχανικές ζώνες, ολοκληρωμένο έλεγχο της κυκλοφοριακής ροής αυτοκινητοδρόμων, εξατομικευμένες υπηρεσίες υγείας με παρακολούθηση από απόσταση σε ασθενείς. Αυτό συνέβη καθώς η εξελικτική πορεία της τεχνολογίας επιτρέπει πλέον σε ένα δίκτυο αισθητήρων να μπορεί να δουλεύει με μία μόνο μπαταρία για χρονικό διάστημα μηνών. Ταυτόχρονα οι σύγχρονες εξελίξεις στον τομέα εξοικονόμησης ενέργειας παρέχουν ένα πλήθος νέων δυνατοτήτων με κυριότερη αιχμή την πολύ μικρή τεχνική υποστήριξη ενός δικτύου.

Τυπικά ένα δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από μπαταρία, έναν μικροεπεξεργαστή, αναλογικούς ή ψηφιακούς αισθητήρες και έναν ασύρματο πομποδέκτη ο οποίος είναι το πλέον κομβικό εξάρτημα ενός δικτύου και η επιλογή του εξαρτάται από παράγοντες όπως η αντοχή απέναντι σε παρεμβολές, η φασματική απόδοση, η εξασθένιση του σήματος σε σχέση με την απόσταση και το οικονομικό κόστος. Οι αισθητήρες μπορεί να είναι αναλογικοί ή ψηφιακοί και το ηλεκτρικό σήμα μεταδίδεται στον σταθμό επεξεργασίας σε αναλογική ή ψηφιακή μορφή. Φυσικά η ψηφιακή τεχνολογία έχει ασύγκριτα πλεονεκτήματα έναντι της αναλογικής και συγκεκριμένα για τις γεωχωρικές εφαρμογές η ψηφιακή μέτρηση μας παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις και δυνατότητα ανάλυσης και επεξεργασίας έναντι της αναλογικής.

Τα κριτήρια επιλογής ενός αισθητήρα είναι:

- i. η ακρίβεια
- ii. η εμβέλεια
- iii. η ταχύτητα απόκρισης
- iv. η ευαισθησία
- v. το σφάλμα
- vi. το κόστος

### 2.1.2 ΟΡΙΣΜΟΙ

**Ως αισθητήρας** ορίζεται το εξάρτημα που μετατρέπει την μέτρηση ενός φυσικού μεγέθους (θερμοκρασία, υγρασία) σε ηλεκτρικό σήμα. Ένα ηλεκτρικό σήμα είναι πολλαπλά διαχειρίσιμο σε διάφορα επίπεδα όπως η ενίσχυση του (όταν μετρούμε πολύ μικρά μεγέθη) , η επεξεργασία του (απόρριψη ανεπιθύμητων συνιστωσών, ανάδειξη χαρακτηριστικών ιδιοτήτων), το φιλτράρισμα του (για την αποφυγή εσωτερικό ή εξωτερικού θορύβου), η αποθήκευση του, η μεταφορά του σε μεγάλη απόσταση. Οι αισθητήρες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε γεωργικές εφαρμογές μετρούν υγρασία αέρα, υγρασία εδάφους, θερμοκρασία, ηλεκτρική αγωγιμότητα. Όλα τα δεδομένα συλλέγονται μέσω εφαρμογής και στέλνονται στο κινητό του χρήστη, δίνοντάς του τη δυνατότητα να πάρει προληπτικά μέτρα έναντι σε ακραία καιρικά φαινόμενα (παγετός ή καύσωνας) αλλά και να αναπτύξει βέλτιστες καλλιεργητικές πρακτικές.

Ορισμένες χαρακτηριστικές ιδιότητες ενός αισθητήρα είναι

- A) Εύρος που είναι τα όρια στα οποία η συσκευή λειτουργεί αξιόπιστα
- B) Ακρίβεια που είναι η εγγύτητα της τιμής εξόδου προς τη τιμή εισόδου
- Γ) Σφάλμα που είναι η διαφορά ανάμεσα στη μετρούμενη τιμή και τη πραγματική τιμή
- Δ) Διακριτική Ικανότητα που είναι η μικρότερη αλλαγή τιμής εισόδου που μπορεί να ανιχνεύσει
- E) Ανοχή που είναι το μέγιστο σφάλμα που μπορεί να δημιουργήσει ο αισθητήρας



Εικόνα 8:

Αισθητήρας στον αγρό

Πηγή: <https://www.yraithros.gr/bosch-aisthitires-plirofories-paragogo-thermokrasia-ygrasia/>

**Ως ασύρματο δίκτυο** χαρακτηρίζεται το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο που χρησιμοποιεί ραδιοκύματα (χαμηλές συχνότητες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που εκτείνονται περίπου από τα 3 KHz ως τα 300 GHz) ως φορείς πληροφορίας. Τα δεδομένα μεταφέρονται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με συχνότητα φέροντος που εξαρτάται από τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων που μπορεί να υποστηρίξει το δίκτυο. Η ασύρματη επικοινωνία δεν χρησιμοποιεί καλώδια (χάλκινα, ομοαξονικά ή καλώδια οπτικών ινών) ως μέσο μετάδοσης όπως παλαιότερα η ενσύρματη αλλά χρησιμοποιεί τον ελεύθερο χώρο μεταξύ πομπού και δέκτη. Παράλληλα παρέχει ασύγκριτα μεγαλύτερη ευελιξία καθώς επιτρέπει την κινητικότητα του χρήστη. Με τη χρήση των ασύρματων δικτύων η επικοινωνία γίνεται πιο άμεση, το δίκτυο παρέχει κάλυψη σε περιοχές που υπάρχει δυσκολία καλωδίωσης και υπάρχει δυνατότητα μετεγκατάστασης.

Συγκεκριμένα ο χρήστης ενός ασύρματου δικτύου μπορεί να συνδέεται από οπουδήποτε εντός της εμβέλειας κάλυψης του δικτύου, να παραμένει συνδεδεμένος ακόμα και αν δεν βρίσκεται στην θέση εργασίας του, να έχει πρόσβαση σε δεδομένα, πληροφορίες και εφαρμογές, να έχει δυνατότητα επέκτασης ή κλιμάκωσης του δικτύου με τον υπάρχοντα εξοπλισμό και να νιώθει ισχυρή προστασία όσον αφορά την ασφάλεια των δεδομένων και την προσβασιμότητα σε αυτά μέσω των εξελιγμένων δυνατοτήτων των ασύρματων τεχνολογιών. Εδώ πρέπει να τονιστεί πως στα αρχικά στάδια ανάπτυξης των ασύρματων τεχνολογιών η υποκλοπή του σήματος ήταν σχετικά απλή υπόθεση με την χρήση μιας απλής κεραίας και ενός δέκτη. Αξιοσημείωτο είναι επίσης το γεγονός της αρκετά χαμηλής αλλά και μη ιονίζουσας ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τις συσκευές του δικτύου κάτι που καθιστά την ασύρματη επικοινωνία αβλαβή για τον ανθρώπινο οργανισμό. Τέλος η ταχύτητα μετάδοσης μεγάλου αριθμού δεδομένων επιτρέπει στον χρήστη πρόσβαση σε πραγματικό χρόνο σε βάσεις δεδομένων που αλλάζουν συνεχώς

Η βασική μονάδα μέτρησης που χρησιμοποιείται στις ασύρματες επικοινωνίες είναι το decibel ή dB. Το όνομα αυτής της μονάδας προέρχεται από τον Alexander Graham Bell γι' αυτό τον λόγο το "B" είναι κεφαλαίο. Χρησιμοποιούνται πολλές παραλλαγές του dB στις ασύρματες επικοινωνίες όπως το dB (decibel), το dBm (dB milliwatt), το dBd (dB dipole), το dBi (dB isotropic), το EIRP (Effective Isotropic Radiated Power), το FSL (Free Space Loss) και το System Operating Margin (SOM).

Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με τις δυο πρώτες παραλλαγές οι οποίες αναλύονται εν συντομία.

### **dB (decibel)**

Είναι ο λόγος της ισχύος δύο σημάτων. Είναι λογαριθμική κλίμακα και δίνεται από τον τύπο  $dB = 10 \cdot \log(P2/P1)$ , όπου P1 η ισχύς του πρώτου σήματος (σε W) και P2 η ισχύς του δεύτερου σήματος. Μπορούμε να πούμε πως η P1 είναι η ισχύς αναφοράς και η P2 είναι η ισχύς που συγκρίνεται με την αναφορά. Χρησιμοποιείται για να δηλώσει την ενίσχυση (gain) ή την απώλεια (loss) ενός σήματος. Επειδή η κλίμακα είναι λογαριθμική, κάθε αύξηση/μείωση κατά 3 dB

αντιστοιχεί σε διπλασιασμό/υποδιπλασιασμό του σήματος. Έτσι αύξηση κατά 10dB σημαίνει αύξηση της ισχύος κατά δέκα φορές, ενώ αύξηση κατά 20dB σημαίνει αύξηση της ισχύος κατά 100 φορές! Επίσης αν ένα σήμα διαδίδεται μέσω μιας συσκευής (μέσω ενός καλωδίου για παράδειγμα) με απώλειες 20 dB, θα έχει χάσει το 99% της ισχύος του όταν φτάσει στην έξοδο της συσκευής.

### **dBm (dB milliWatt)**

Μονάδα μέτρησης ισχύος, ξεκινώντας από την παραδοχή ότι 0dB αντιστοιχούν σε 1mW.). Το dBm σε αντίθεση με τα dB είναι πραγματική μέτρηση της ισχύος και όχι ένας λόγος που την προσδιορίζει, ξεκινώντας από την παραδοχή ότι 0dBm αντιστοιχούν σε 1mW. Στην λογαριθμική κλίμακα ο τύπος είναι  $dBm=10\log(P2)/(1mW)$  και με ένα παράδειγμα αν έχουμε εκπομπή στα 100 mW αυτό σημαίνει  $10\log(100) = 20$  dB άρα έχουμε εκπομπή στα 20 dB. Η μονάδα αυτή χρησιμοποιείται ευρέως στις τηλεπικοινωνίες (π.χ. δηλώνεται η ισχύς εξόδου του σημείου πρόσβασης) ή χρησιμοποιείται κατά τον σχεδιασμό δικτύου WLAN.

Η νομοθεσία για την Ελλάδα επιτρέπει ολική ισχύ εκπομπής 20dBm = 100mW.

Οποιαδήποτε ισχύς εκπομπής στο γραμμοσκιασμένο τμήμα είναι παράνομη.



dBm	Watts	dBm	Watts	dBm	Watts	dBm	Watts
0	1,0 mW	12	16 mW	24	250 mW	36	4,0 W
1	1,3 mW	13	20 mW	25	316 mW	37	5,0 W
2	1,6 mW	14	25 mW	26	398 mW	38	6,3 W
3	2,0 mW	15	32 mW	27	500 mW	39	8,0 W
4	2,5 mW	16	40 mW	28	630 mW	40	10 W
5	3,2 mW	17	50 mW	29	800 mW	41	13 W
6	4 mW	18	63 mW	30	1,0 W	42	16 W
7	5 mW	19	79 mW	31	1,3 W	43	20 W
8	6 mW	<b>20</b>	<b>100 mW</b>	32	1,6 W	44	25 W
9	8 mW	21	126 mW	33	2,0 W	45	32 W
10	10 mW	22	158 mW	34	2,5 W	46	40 W
11	13 mW	23	200 mW	35	3,2 W	47	50 W

Πίνακας 1:

Αντιστοίχιση dBm σε W

Πηγή: <http://kioan.users.uth.gr/wireless/decibels.html>

## 2.3 ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ

Ορίζονται ως ένα σύνολο κανόνων που έχουν συμφωνηθεί και από τα δυο μέρη που επικοινωνούν μεταξύ τους και εξυπηρετούν την αμοιβαία ανταλλαγή δεδομένων. Οι κανόνες αυτοί καθορίζουν την μορφή, τον χρόνο και την σειρά μετάδοσης των πληροφοριών στο δίκτυο ενώ παράλληλα εκτελούν έλεγχο και διόρθωση σφαλμάτων στην διάρκεια μετάδοσης των πληροφοριών. Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας ορίζουν τις βασικές λειτουργίες των ασύρματων επικοινωνιών που είναι:

A) Αυθεντικοποίηση που είναι η διαδικασία πρόσβασης στο ασύρματο δίκτυο προκειμένου να ελεγχθεί η είσοδος του χρήστη και να αποτραπεί κακόβουλη ενέργεια.

Β) Ασφάλεια δεδομένων που καλείται η διαδικασία κρυπτογράφησης -εφόσον χρειάζεται- για να υπάρχει ένα επίπεδο προστασίας.

Γ) Μετάδοση δεδομένων που αφορά την αξιόπιστη μεταφορά των πακέτων δεδομένων μεταξύ των ασύρματων συσκευών. Σημαίνει ότι θα ζητηθεί επανεκπομπή των πακέτων με την πληροφορία, αν διαπιστωθεί ότι αυτά έχουν λάθη. Ο λόγος είναι ότι η ασύρματη μετάδοση είναι μη αξιόπιστη μετάδοση και πολλά πακέτα θα φτάσουν τελικά περιέχοντας λάθη. Έτσι, απαιτούνται διάφοροι μηχανισμοί, για παράδειγμα η ανίχνευση των λαθών και η επανεκπομπή πακέτων που ελήφθησαν με λάθη.

Δ) Ανίχνευση λαθών. Γίνεται ανίχνευση λαθών σε κάθε πακέτο που αποστέλλεται. Κατά την μετάδοση των δεδομένων τίθεται σε λειτουργία ο ειδικός αλγόριθμος ανίχνευσης σφαλμάτων έτσι ώστε ο παραλήπτης να γνωρίζει πως αυτό που έλαβε είναι εσφαλμένο και να γίνει επανεκπομπή.

Ε) Ταχύτητα μετάδοσης που σχετίζεται με την αξιόπιστη ασύρματη μετάδοση, δηλαδή θυσιάζουμε ένα μέρος του ρυθμού μετάδοσης για να βελτιώσουμε τη ποιότητα της μετάδοσης. Επιπλέον σε μετάδοση σε περιβάλλον με άσχημες συνθήκες (θόρυβος, παρεμβολές), λόγω των επανεκπομπών πακέτων ο πραγματικός ρυθμός μετάδοσης υποβαθμίζεται ακόμα περισσότερο.

ΣΤ) Κατάτμηση πακέτων. Προβλέπεται από το πρότυπο διαδικασία κατάτμησης των μεγάλων πακέτων σε άλλα μικρότερα καθώς σε ορισμένα δίκτυα υπάρχει επιτρεπόμενο όριο μεγέθους προκειμένου να γίνει ασφαλής διέλευση. Τα μικρότερα πακέτα επανασυνδέονται στο τέλος της διαδρομής. Αυτό είναι χρήσιμο σε ασύρματη μετάδοση σε δύσκολες συνθήκες.

Μερικά από τα πιο γνωστά πρωτόκολλα είναι το WiFi, το Bluetooth, το GSM, το RF και κάθε ένα έχει διαφορετικό πεδίο εφαρμογής όπως ζεύξη για μικρές αποστάσεις, ζεύξη και υλοποίηση ασύρματων τοπικών δικτύων, ζεύξη και υλοποίηση ασύρματων μητροπολιτικών δικτύων.

Τεχνολογία	Κάλυψη (m)	Κατανάλωση ρεύματος (mA)	Ρυθμός μετάδοσης	Κλιμάκωση/ Πλήθος κόμβων
3G/4G LTE	Δίκτυο	120/260	1-50 Mbps	-
Wi-Fi	100	60/160	10-300Mbps	50-100
LoRa/LoRaWaN	7000-15000	48/125	5 Kbps	1000/80000
RFM69	500	45/130	300 Kbps	255
ZigBee	100-2000	58/140	250 Kbps	65535
Bluetooth LE	50	<15	1 Mbps	7-12 (PAN)

Πίνακας 2:

Τεχνικά χαρακτηριστικά διαφόρων δικτύων

Πηγή: [http://kalipso.math.uoi.gr/microlab/files/pKont\\_Epege.pdf](http://kalipso.math.uoi.gr/microlab/files/pKont_Epege.pdf)

Ένα πολλά υποσχόμενο είναι το πρόσφατο πρωτόκολλο LoRa . Για ποιο λόγο να επιλέξει κάποιος ιδιώτης ή επαγγελματίας ή επιστήμονας το LoRa; Πρόκειται για ένα ασύρματο πρωτόκολλο που σχεδιάστηκε για επικοινωνία μεγάλης εμβέλειας και χαμηλής κατανάλωσης ισχύος. Εταιρείες κολοσσοί όπως η IBM, η Cisco και άλλες έχουν δημιουργήσει μία κοινοπραξία την LoRa Alliance που λειτουργεί ως φορέας για την ανάπτυξη και διάδοση της συγκεκριμένης τεχνολογίας γεγονός που σηματοδοτεί την εκρηκτική προώθηση και ανέλιξη της στο προσεχές μέλλον . Παραθέτουμε συνοπτικά τα βασικά χαρακτηριστικά του LoRa που θα τα αναλύσουμε παρακάτω εκτενέστερα.

- Μεγάλη εμβέλεια Δύο κόμβοι LoRa διαθέτουν δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας μέχρι και 15 km σε ημιαστικό και 2-5 km σε αστικό περιβάλλον

- Μικρή κατανάλωση ισχύος Το πρωτόκολλο είναι σχεδιασμένο για λειτουργίες χαμηλής κατανάλωσης που επιτρέπουν την χρήση μπαταρίας με διάρκεια ζωής τα 10 έτη.
- Αμφίδρομη λειτουργία Κάθε κόμβος LoRa έχει την δυνατότητα να λειτουργήσει σαν πομπός και σαν δέκτης
- Κρυπτογράφηση Έχει ενσωματωμένη κρυπτογράφηση άκρη προς άκρη (end to end)



Εικόνα 9:

Αρχιτεκτονική δικτύου και εξασφάλιση ακεραιότητας δεδομένων

Πηγή: <https://www.mdpi.com/1999-5903/11/1/3/htm>

Στα παρακάτω, ακριβώς λόγω της σημαντικότητας του πρωτοκόλλου LoRa, η προσοχή θα εστιαστεί στον τρόπο που αυτό λειτουργεί και θα γίνει εμβάθυνση σε μεθόδους αποτίμησης και αξιολόγησης της συμπεριφοράς του. Παράλληλα, θα περιγράψουμε χαρακτηριστικές ενδεικτικές εφαρμογές και η περιγραφή τους παρούσας εργασίας θα ολοκληρωθεί με την παρουσίαση συμπερασμάτων και

βημάτων μελλοντικού σχεδιασμού για ακόμα πιο προηγμένες λύσεις. Για την καλύτερη κατανόηση επισημαίνουμε πως με τον όρο LoRa αναφερόμαστε στο φυσικό επίπεδο ενώ με τον όρο LoRaWAN αναφερόμαστε στο επίπεδο MAC που είναι το λογισμικό που χρησιμοποιείται.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

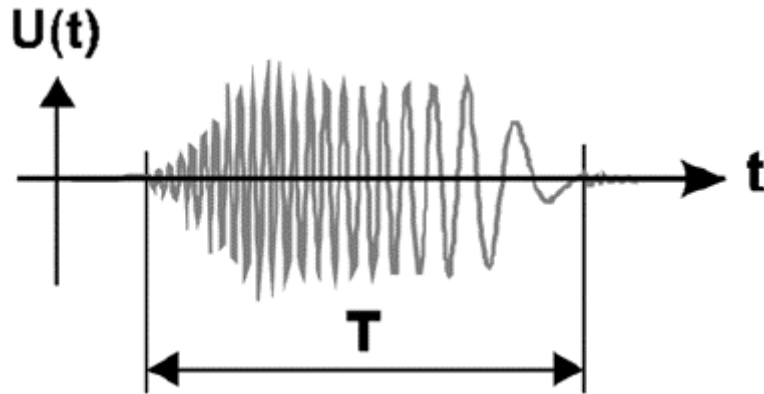
### ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ LoRa

#### 3.1 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ LORA

Το LoRa ανήκει στα physical layer του μοντέλου αναφοράς OSI που ορίζουν όλες τις ηλεκτρικές και φυσικές προδιαγραφές της επικοινωνίας. Σ' αυτές περιλαμβάνονται οι σχηματισμοί των ακίδων, οι επιτρεπτές τάσεις, οι προδιαγραφές των καλωδίων κλπ. Το LoRa δημιουργήθηκε για την επίτευξη συνδέσεων μεγάλης εμβέλειας. Αναπτύχθηκε από την γαλλική εταιρεία Cycleo που αργότερα εξαγοράστηκε από την Semtech. Στηρίζεται στην διαμόρφωση CSS (Chirp Spread Spectrum) που είναι ένα πρότυπο ασύρματης διάδοσης το οποίο χρησιμοποιεί ευρυζωνικές γραμμικές συχνότητες και δίνει έμφαση στην αναλυτική μέθοδο επεξεργασίας μετρήσεων από πολλαπλά περιβάλλοντα διάδοσης. Η συγκεκριμένη διαμόρφωση αποτελεί ευρεσιτεχνία που έχει κατοχυρωθεί στην εταιρεία Semtech. Το Chirp είναι ένα ημιτονοειδές σήμα του οποίου η συχνότητα αυξάνεται ή μειώνεται με τον χρόνο και χρησιμοποιείται ευρέως στα σόναρ και στα ραντάρ και είναι πολύ ανθεκτικό σε διαφυγή πολλαπλών διαδρομών ακόμα και όταν λειτουργεί σε πολύ χαμηλή ισχύ. Η συχνότητα μπορεί να μεταβάλλεται γραμμικά ή εκθετικά.

Η διαμόρφωση CSS διατηρεί τα χαρακτηριστικά της χαμηλής κατανάλωσης ισχύος που έχει και η διαμόρφωση μετατόπισης συχνότητας Frequency-shift Keying – FSK με μία σημαντική διαφορά: την πολύ σημαντική αύξηση της εμβέλειας του σήματος. Το πρωτόκολλο LoRa χρησιμοποιεί μοναδική διαμόρφωση μετατόπισης συχνότητας για αποδιαμόρφωση σήματος ακόμα και 20 Db κάτω από το επίπεδο θορύβου σε αντίθεση με άλλες

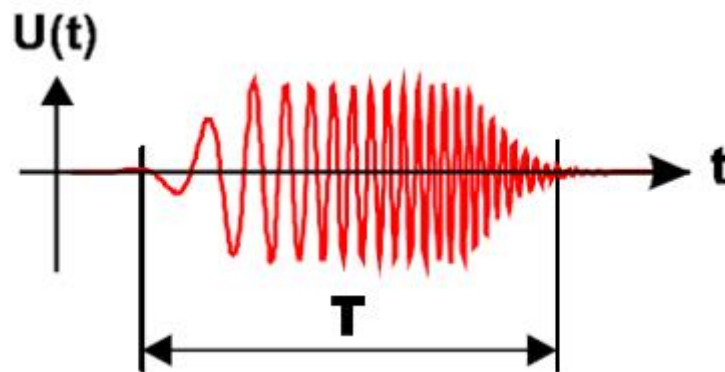
τεχνολογίες δικτύου που αποδιαμορφώνουν σήμα 10 Db πάνω από το επίπεδο θορύβου. Η CSS χρησιμοποιήθηκε επί μακρόν σε στρατιωτικά και δορυφορικά συστήματα και το LoRa είναι η πρώτη χαμηλού κόστους υλοποίηση της για εμπορικούς σκοπούς.



Εικόνα 10:

Μείωση συχνότητας στο chirp

Πηγή: LoRa Based Smart Agriculture System, Muhammad Faizan Aziz Khan



Εικόνα 11:

Αύξηση συχνότητας στο chirp

Πηγή: LoRa Based Smart Agriculture System, Muhammad Faizan Aziz Khan

Η διασπορά του φάσματος που είναι η διαμόρφωση που χρησιμοποιεί το LoRa είναι μια μέθοδος όπου ένα σήμα διασκορπίζεται σκόπιμα στην περιοχή συχνοτήτων προκειμένου να αποκτήσει μεγαλύτερο εύρος ζώνης. Αυτό γίνεται ώστε να αυξάνεται η αντίσταση του σήματος σε φυσικές παρεμβολές και στον θόρυβο, να αυξάνεται το επίπεδο ασφαλείας των

επικοινωνιών καθώς και να είναι πιο ανθεκτικό στο φαινόμενο Doppler. Ο χρόνος αποστολής ενός πακέτου δεδομένων εξαρτάται από το εύρος ζώνης (Bandwidth) και τον παράγοντα κατανομής (Spread Factor) και κυμαίνεται από κάποια ms έως το πολύ 1-2 sec. Η ταχύτητα μετάδοσης επηρεάζεται από τους ίδιους παράγοντες και μπορεί να φθάσει έως τα 27 Kbps. Η τεχνολογία LoRa δεν έχει κάποιου είδους σύζευξη για εγκατάσταση διασύνδεσης όπως πχ το Wi Fi αλλά αποστέλλει ο ένας κόμβος τα πακέτα που επιθυμεί και όποιος κόμβος είναι διαθέσιμος λαμβάνει.

### 3.1.1 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ LoRa

- Μεγάλη εμβέλεια

Δύο κόμβοι LoRa διαθέτουν δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας μέχρι και 15 km σε ημιαστικό και 2-5 km σε αστικό περιβάλλον. Η ικανότητα επικοινωνίας σε αυτή την εμβέλεια αυτή εξασφαλίζει και το χαμηλό κόστος εγκατάστασης καθώς απαιτείται μικρός αριθμός σταθμών βάσεως (LoRa gateways) για την κάλυψη μεγάλης γεωγραφικής περιοχής. Τα ραδιοκύματα από 400-900 MHz δύνανται να διαδίδονται και να ξεπερνούν κάποια εμπόδια με αποτέλεσμα η εμβέλεια του σήματος να ξεπεράσει ακόμα και τα 50 km αν οι συσκευές τοποθετηθούν σε οροφές κτιρίων ή σε κορυφές λόφων καθώς δεν θα υπάρχουν εμπόδια να ανακόψουν την πορεία του ή να περιορίσουν την ισχύ του λόγω ανάκλασης ή απορρόφησης.

- Μικρή κατανάλωση ισχύος

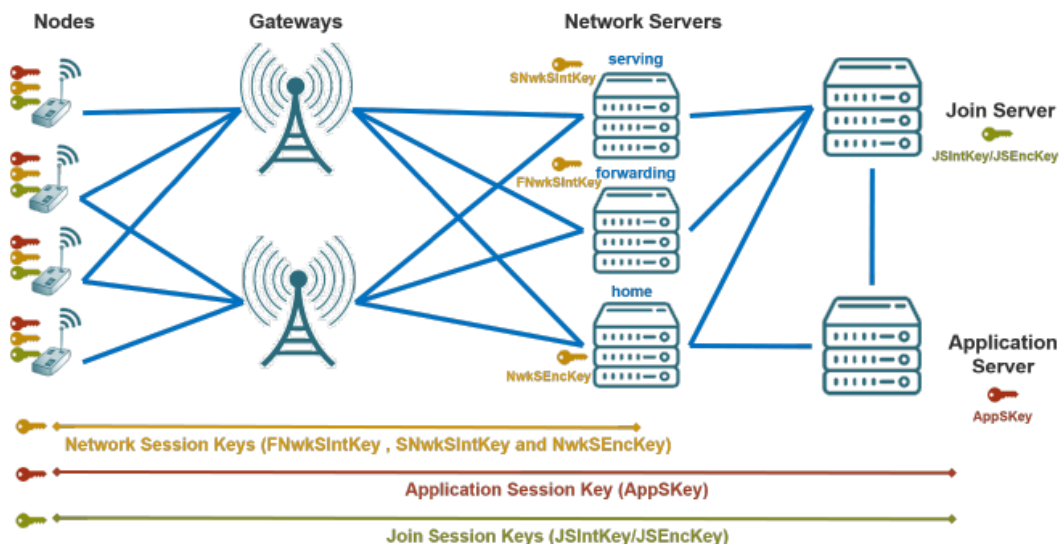
Το πρωτόκολλο είναι σχεδιασμένο για λειτουργίες χαμηλής κατανάλωσης που επιτρέπουν την χρήση μπαταρίας με διάρκεια ζωής τα 15 έτη. Αυτό επιτυγχάνεται διότι σε ένα δίκτυο LoRa οι κόμβοι είναι ασύγχρονοι καθώς επικοινωνούν όταν έχουν δεδομένα να στείλουν είτε πρόκειται για προγραμματιζόμενη επικοινωνία είτε όχι. Αυτός ο τύπος πρωτοκόλλου είναι γνωστός ως ALOHA. Εδώ δεν χρειάζεται οι κόμβοι να ενεργοποιηθούν για να συγχρονιστούν με το υπόλοιπο δίκτυο προκειμένου να προωθήσουν μηνύματα άλλων κόμβων. Η συχνή ενεργοποίηση των κόμβων προκαλεί σημαντική

μείωση της ζωής της μπαταρίας σε άλλα δίκτυα όχι όμως και στο LoRa. Παράλληλα όταν δεν έχουμε εκπομπή το σύστημα βρίσκεται σε κατάσταση deep sleep mode γεγονός που μεγαλώνει τον χρόνο ζωής της μπαταρίας. Το LoRa λόγω κατασκευής ακόμα και όταν λειτουργεί δεν καταναλώνει μεγάλο ποσό ενέργειας, συγκεκριμένα σε κατάσταση αναμονής καταναλώνει 20 mA ενώ όταν είναι ενεργό σε κατάσταση μετάδοσης-λήψης καταναλώνει 110 mA.

- Αμφίδρομη λειτουργία

Κάθε κόμβος LoRa έχει την δυνατότητα να λειτουργήσει σαν πομπός και σαν δέκτης

- Κρυπτογράφηση



Εικόνα 12:

Αρχιτεκτονική δικτύου και εξασφάλιση ακεραιότητας δεδομένων

Πηγή: <https://www.mdpi.com/1999-5903/11/1/3/htm>

Στο παραπάνω σχήμα έχουμε αριστερά τους κόμβους του LoRa όπου σε κάθε κόμβο έχουμε αισθητήρες που μετρούν τις παραμέτρους που επιθυμούμε, αυτές στέλνονται στα gateways, κατόπιν προωθούνται στους servers και καταλήγουν στους application servers. Στην πορεία αυτή έχουμε τρία κλειδιά κρυπτογράφησης δικτύου που εξασφαλίζουν την ακεραιότητα των



εξερχόμενων πακέτων, ένα κλειδί κρυπτογράφησης της εφαρμογής που εξασφαλίζει την κρυπτογράφηση/αποκρυπτογράφηση ανάμεσα στα end devices και στους application servers και ένα κλειδί κρυπτογράφησης της συνεδρίας (session key) που πιστοποιεί την ταυτότητα του συστήματος μετά από ξαφνική διακοπή της σύνδεσης του.

Έχει ενσωματωμένη κρυπτογράφηση άκρη προς άκρη (end to end) και εφαρμόζει δύο επίπεδα ασφαλείας

A) Ασφάλεια δικτύου που εξασφαλίζει την αυθεντικότητα των κόμβων εντός του δικτύου

B) Ασφάλεια εφαρμογής που εξασφαλίζει ότι ο χειριστής του δικτύου δεν θα έχει πρόσβαση στα δεδομένα εφαρμογών του χρήστη

- Αρχιτεκτονική Δικτύου

Το πρωτόκολλο LoRa ακολουθεί αρχιτεκτονική πλέγματος αστέρα και έτσι εξασφαλίζεται η αύξηση του επικοινωνιακού εύρους και η χαμηλή κατανάλωση μπαταρίας. Κάθε κόμβος LoRa δεν είναι συνδεδεμένος με κάποια πύλη δικτύου αντιθέτως πολλές πύλες δικτύου δύνανται να λάβουν δεδομένα από τον ίδιο κόμβο. Ένα LoRa gateway είναι ικανό να λάβει δεδομένα από μεγάλο αριθμό κόμβων τα οποία προωθεί στον server με την οπισθόζευξη διεπαφής Ethernet

- Χωρητικότητα Δικτύου

Κάθε σταθμός ενός δικτύου Lora μπορεί να δέχεται εκατομμύρια μηνύματα ανά gateway γιαυτό θεωρούνται ιδανικά για δημόσια δίκτυα που εξυπηρετούν πολλούς πελάτες.

- Geo-location

Έχει ενσωματωμένο σύστημα GPS με κατανάλωση χαμηλής ισχύος με τεχνολογία εντοπισμού θέσης, η ανίχνευση γεωγραφικής θέσης παρέχεται δωρεάν

- Αποφυγή παρενεργειών από φαινόμενο Doppler

Αφού η διαμόρφωση του πρωτοκόλλου είναι ασύγχρονη και δεν υπάρχει ανάγκη για ακριβή χρονική αναφορά και συγχρονισμό μετριάζονται οι συνέπειες από το φαινόμενο Doppler που θα οδηγούσαν σε μετατόπιση συχνότητας. Αυτό καθιστά το LoRa ιδανικό για εφαρμογές στο κινητό.

Το πρωτόκολλο LoRa διέπεται από πέντε παραμέτρους μετάδοσης οι οποίοι είναι οι παρακάτω:

- Ισχύς μετάδοσης (transmission power) η οποία κυμαίνεται από 5 dBm και 23 dBm και επηρεάζει άμεσα την ποσότητα ισχύος που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση δεδομένων. Με την αύξηση της ισχύος μετάδοσης το σήμα θα έχει μεγαλύτερες πιθανότητες αντοχής από την εξασθένηση που προκαλείται από το περιβάλλον
- Από την συχνότητα φορέα (Carrier Frequency) που αντιπροσωπεύει την κεντρική συχνότητα μετάδοσης δεδομένων με την τιμή που κυμαίνεται μεταξύ 137 MHz έως 1020 MHz προγραμματισμένη να αλλάζει με “βήμα” 61 Hz.
- Από τον παράγοντα κατανομής SF (Spreading Factor) με αριθμό chirps από 6 έως 12. Όσο μεγαλύτερο το SF, τόσο μεγαλύτερη η απόσταση που μπορεί να διανύσει το σήμα με ταυτόχρονη αύξηση του χρόνου αποστολής του πακέτου δεδομένων ενώ παράλληλα έχουμε μείωση της ταχύτητας αποστολής. Πρακτικά η αύξηση του παράγοντα εφαρμογής σημαίνει μεγαλύτερη πιθανότητα για αξιόπιστη μεταφορά της πληροφορίας αφού το σήμα είναι πιο ανθεκτικό. Ουσιαστικά το SF αναφέρεται σε μια τιμή που καθορίζει το πόσο εξαπλωμένο θα είναι το Chirp. Για παράδειγμα, το SF7 σημαίνει ότι κάθε Chirp αντιπροσωπεύει επτά bit.
- Από το εύρος ζώνης (bandwidth) το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 7,8 kHz και 500 kHz και καθορίζει το πλάτος του μεταδιδόμενου σήματος. Παράλληλα τυχόν αλλαγή του BW επηρεάζει και την διάρκεια του μεταδιδόμενου

σήματος. Συνήθως οι κόμβοι LoRa εκπέμπουν και αποστέλλουν δεδομένα στα 125,250 και 500 kHz.

- Από τον ρυθμό κωδικοποίησης (Coding Rate) ο οποίος χρησιμοποιείται για τον περιορισμό των σφαλμάτων σε περίπτωση παρεμβολών ή θορύβων. Συγκεκριμένα αναφέρεται σε έναν κώδικα διόρθωσης σφάλματος που προστίθεται σε ένα πακέτο πριν την μετάδοση. Η ρύθμιση CR 4/5 δείχνει ότι με κάθε τέσσερα bits δεδομένων ένα bit κώδικα διόρθωσης θα προστεθεί ενώ η ρύθμιση CR 4 / 8 αναφέρεται σε τέσσερα bits δεδομένων με τέσσερα πρόσθετα bits διόρθωσης. Το CR προκαλεί επιβάρυνση στην μετάδοση αυξάνοντας τον αριθμό των προς μετάδοση bit και αυτό επιτρέπει στον δέκτη να ελέγξει για την ορθότητα των ληφθέντων chirps και παρέχει τη δυνατότητα να διορθώσει ορισμένα εσφαλμένα τμήματα από ένα chirp
- Παρακάτω αποτυπώνεται ο ρυθμός εκπομπής δεδομένων του LoRa στις χώρες της Ευρώπης σε συχνότητες 863-870 MHz που εξαρτάται από τον παράγοντα κατανομής (Spreading Factor) και εύρος ζώνης (bandwidth)

DataRate	Modulation	SF	BW	bit/s
0	LoRa	12	125	250
1	LoRa	11	125	440
2	LoRa	10	125	980
3	LoRa	9	125	1'760
4	LoRa	8	125	3'125
5	LoRa	7	125	5'470
6	LoRa	7	250	11'000

Πίνακας 3:

Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων στην Ευρώπη

Πηγή <https://blog.dbrgn.ch/2017/6/23/lorawan-data-rates/>

Υπάρχει μία μαθηματική σχέση για τους παράγοντες μετάδοσης και είναι

$$DR = SF \cdot \frac{BW}{2^{SF}} \cdot CR$$

DR = Data rate

SF = Spreading factor

BW = Bandwidth

CR = Coding rate

Στις τηλεπικοινωνίες και στα ηλεκτρονικά συστήματα το ισοζύγιο ενέργειας ενός σήματος σε ένα σύστημα υπολογίζεται από την σχέση

Received Power (dB) = Transmitted Power (dB) + Gains (dB) – Losses (dB)

Ελαχιστοποίηση του εύρους ζώνης BW και μεγιστοποίηση του παράγοντα κατανομής SF οδηγεί στην βελτιστοποίηση του ισοζυγίου ενέργειας. Η μεγιστοποίηση του παράγοντα Coding Rate δίνει ώθηση σε μεγαλύτερη αξιοπιστία του μεταδιδόμενου σήματος όταν φθάσει στον δέκτη. Ο καλύτερος τρόπος για να επιτύχουμε την μεγαλύτερη δυνατή εμβέλεια είναι να μεγιστοποιήσουμε το ισοζύγιο ενέργειας (link budget) είτε με μέγιστη δυνατή αύξηση του SF είτε με μέγιστη δυνατή μείωση του BW. Φυσικά η μείωση του BW αυξάνει τον κίνδυνο της κακής επικοινωνίας λόγω μετατόπισης συχνότητας. Όσο μεγαλύτερο το SF τόσο πιο ανθεκτικό σε πηγές θορύβου και παρεμβολές με κόστος τον μικρό ρυθμό πακέτων αποστολής.

### 3.2 ΑΣΥΡΜΑΤΟ ΔΙΚΤΥΟ LoRaWAN

Το LoRaWAN είναι ένα δίκτυο ευρείας περιοχής χαμηλής ισχύος με λειτουργίες που υποστηρίζουν αμφίδρομη επικοινωνία χαμηλού κόστους, κινητού και ασφαλούς για το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), machine to machine (M2M) έξυπνες πόλεις και βιομηχανικές εφαρμογές και έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει μεγάλα δίκτυα απαρτιζόμενα από εκατομμύρια συσκευές. Το LoRaWAN είναι ουσιαστικά πρωτόκολλο επικοινωνίας που σχεδιάστηκε για την τεχνολογία LoRa. Η Ολλανδία είναι η πρώτη χώρα στον κόσμο που σχεδίασε και υλοποίησε εθνικό δίκτυο LoRa για IoT εφαρμογές.

Το LoRaWAN χαρακτηρίζεται από:

- την χαμηλή κατανάλωση ενέργειας,
- την μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας ( > 10 ετών),
- το χαμηλό κόστος των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων (10 ευρώ ανά εξάρτημα),
- την υψηλή ασφάλεια μετάδοσης και λήψης δεδομένων,
- την αμφίδρομη επικοινωνία που παρέχει,
- την λειτουργία σε ελεύθερη ζώνη συχνοτήτων που δεν απαιτεί άδεια χρήσης από αρμόδια αρχή.

### 3.2.1 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΚΤΥΩΝ LoraWAN

Τα δίκτυα LoraWAN αποτελούνται από 4 οντότητες.

A. Από τους τελικούς κόμβους (End Nodes) που είναι υπεύθυνοι για τον έλεγχο της συσκευής.

B. Από τους σταθμούς βάσης (Gateways) που είναι υπεύθυνοι για την ασύρματη επικοινωνία των endnodes. Το gateway λειτουργεί ως “μεσάζων” για να μπορεί το οποιοδήποτε δίκτυο να καταλάβει την εντολή που του δίνουμε, να την μεταφράσει και να την προωθήσει στον επόμενο κόμβο προς υλοποίηση και εκτέλεση. Βρίσκεται συνεχώς σε κατάσταση “ανοιχτής ακρόασης” προκειμένου να λαμβάνει τα πακέτα δεδομένων.

Γ. Από τον κεντρικό εξυπηρετητή που εξυπηρετεί την επικοινωνία nodes και εφαρμογών

Δ. Την εφαρμογή που επεξεργάζεται δεδομένα των nodes

Σε ένα δίκτυο Lora Wan οι κόμβοι δεν συνδέονται με έναν σταθμό βάσης (gateway), τα δεδομένα που αποστέλλονται από έναν κόμβο παραλαμβάνονται από πολλά gateways κάθε ένα από τα οποία διαβιβάζει τα ληφθέντα πακέτα στον Cloud Server για έλεγχο ασφαλείας, φιλτράρισμα των πακέτων και ρυθμίσεις για την μετάδοση. Ένα LoRaWAN δίκτυο χρησιμοποιεί αρχιτεκτονική αστέρα που εκτός από το μεγάλο επικοινωνιακό εύρος εξασφαλίζει και μεγάλη

διάρκεια ζωής της μπαταρίας καθώς οι τελικοί κόμβοι δεν στέλνουν συνεχώς δεδομένα.

### 3.2.2 ΧΡΗΣΕΙΣ ΔΙΚΤΥΩΝ LoRaWAN

- Έξυπνη διαχείριση θέσεων στάθμευσης, αποστέλλεται μήνυμα κάθε φορά που ένα όχημα καταλαμβάνει ή αφήνει μια θέση στάθμευσης και μπορεί να συνδυαστεί με εφαρμογή στο κινητό για διαθεσιμότητα ελεύθερων θέσεων.
- Έξυπνη διαχείριση απορριμμάτων, αποστέλλεται μήνυμα κάθε φορά που γεμίζει ένας κάδος απορριμμάτων με αποτέλεσμα την υλοποίηση της βέλτιστης διαδρομής για την συλλογή των απορριμμάτων με προφανές κέρδος σε εργατοώρες και σε εξοικονόμηση καυσίμων στα απορριμματοφόρα οχήματα.
- Έξυπνος φωτισμός δρόμων και εθνικών οδών
- Διαχείριση συστημάτων πυρασφάλειας σε κτίρια και οικίες
- Παρακολούθηση περιβαλλοντικών παραμέτρων όπως θερμοκρασία, υγρασία, μόλυνση ατμόσφαιρας
- Ανίχνευση ακτινοβολίας, εντοπισμός διαρροών
- Σε βιομηχανικό επίπεδο παρακολούθηση και ιχνηλάτηση προϊόντων και διαδικασιών
- Παρακολούθηση και καταγραφή εδαφικής υγρασίας, θερμοκρασίας, διαθεσιμότητας εδαφικού νερού και έλεγχος άρδευσης
- Παρακολούθηση συσκευών υγείας

### 3.3 ΔΙΑΦΟΡΕΣ LORA ΚΑΙ LORAWAN

Το LoRa χρησιμοποιεί μόνο το physical layer, και είναι ο λόγος πίσω από την επικοινωνία μεγάλης εμβέλειας, το LoraWan ορίζεται ως το πρωτόκολλο επικοινωνίας και η αρχιτεκτονική του συστήματος.

Το LoRa αναφέρεται σε ασύρματη διαμόρφωση που υλοποιεί χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης επικοινωνία ενώ το LoRaWan αναφέρεται σε ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας δικτύων όπου χρησιμοποιούνται ολοκληρωμένα κυκλώματα LoRa

Μπορούμε να χρησιμοποιούμε την τεχνολογία LoRa σε δίκτυα χωρίς την παρουσία LoRaWan, το αντίθετο μπορεί να γίνει αλλά δεν θα ήταν πρακτικό.

Το LoRa με την διαμόρφωση CSS μπορεί να στέλνει δεδομένα σε διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης χρησιμοποιώντας διαφορετικούς παράγοντες κατανομής ενώ το LoRaWAN είναι το ασύρματο δίκτυο που χρησιμοποιείται ως δίκτυο ευρείας κάλυψης λόγω των δυνατοτήτων κάλυψης.

### **3.4 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ-ΕΦΑΡΜΟΣΙΜΟΤΗΤΑ**

A) Η κυψελοειδής συνδεσιμότητα είναι αδύναμη και ασταθής -αν όχι μη εφικτή- σε απομακρυσμένες τοποθεσίες όπου επιπλέον μπορεί να μην καλύπτονται από εξουσιοδοτημένο δίκτυο. Σε ένα τέτοιο σενάριο η ευκολία εγκατάστασης, ανάπτυξης και ενσωμάτωσης ενός δικτύου LoRa αποτελεί την καλύτερη εναλλακτική λύση καθώς οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στην Γεωργία Ακριβείας πρέπει να μεταδίδουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα. Η υποδομή του δικτύου LoRaWAN εξασφαλίζει κέρδος χρόνου και αξιοποιήσιμη πληροφορία σε καθημερινή βάση για τους ενδιαφερόμενους.

B) Η εξαιρετική διάρκεια ζωής της μπαταρίας (>8 χρόνια) ενός συστήματος LoRa είναι ζωτικής σημασίας για τους αγρότες όσον αφορά το οικονομικό σκέλος και την διαδικασία απόσβεσης κόστους. Παράλληλα το πρωτόκολλο LoRa έχει ελάχιστα έως μηδενικά έξοδα χρήσης ζώνης ραδιοφάσματος καθώς χρησιμοποιεί ISM ραδιοσυχνότητες που παρέχονται δωρεάν για βιομηχανική, επιστημονική και ιατρική χρήση (Ευρωπαϊκή Ένωση 868 MHz, ΗΠΑ 916 MHz, Ασία 433 MHz ). Για την ακρίβεια στην Ευρώπη η ISM μπάντα των 868 MHz ξεκινά από τα 863 MHz φθάνει έως τα 870 MHz και χωρίζεται σε 6 υπο-μπάντες που χρησιμοποιούνται για αποστολή πακέτων. Κάθε υπο-μπάντα έχει συγκεκριμένο χρόνο κατάληψης για λειτουργία από μία συσκευή και

συγκεκριμένη επιτρεπτή ισχύ σήματος. Αυτό ισχύει μόνο για αποστολή δεδομένων για λήψη δεν υπάρχει χρονικός περιορισμός. Καθώς οι συχνότητες θεωρούνται εθνικός πόρος για κάθε κράτος η χρήση των ISM συχνοτήτων από το πρωτόκολλο LoRa σημαίνει ότι δεν είναι προϋπόθεση για την χρήση τους η ανάθεση τους από τις αρμόδιες αρχές σε κάποιον φορέα. Το ενσωματωμένο σύστημα προσδιορισμού θέσης δεν απαιτεί έξτρα κατανάλωση ενέργειας και το επίσης ενσωματωμένο σύστημα κρυπτογράφησης AES-128 εξασφαλίζει την μη απώλεια δεδομένων.



Εικόνα 13:

Επιτρεπτές τιμές συχνοτήτων σε Παγκόσμιο Επίπεδο

Πηγή: <http://pdacontrolen.com/introduction-lora-module-rfm95-hoperf/>

Γ) Η ενασχόληση με την Γεωργία είναι από την φύση της μια δραστηριότητα υψηλού ρίσκου καθώς πλήθος παραγόντων (ξηρασία, ραγδαίες βροχοπτώσεις, πλημμύρες, μόλυνση από επιβλαβείς οργανισμούς) ενδέχεται να έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στις ετήσιες αποδόσεις των καλλιεργειών. Η εφαρμογή της τεχνολογίας Lora ελαχιστοποιεί αυτούς τους κινδύνους απομακρύνοντας τους παράγοντες αβεβαιότητας που σχετίζονται με την παραδοσιακή οπτική παρατήρηση και εκτίμηση. Με την βοήθεια συστήματος αισθητήρων και εξειδικευμένης ανάλυσης δεδομένων οι επαγγελματίες του χώρου έχουν πρόσβαση σε όλα τα δεδομένα και τις πληροφορίες από τα επίπεδα εδαφικής υγρασίας και ορθής τεχνικής λίπανσης με ακρίβεια και στόχευση μέχρι την



επίβλεψη της υγείας και ευρωστίας μιας μονάδας ζωικής παραγωγής (πολύ σημαντικό για την αποφυγή εξάπλωσης λοιμώδους νόσου ανάμεσα στα ζώα της μονάδος)

Δ) Για την υιοθέτηση μιας καινοτόμας τεχνολογίας σε μεγάλη κλίμακα πρέπει να προηγηθεί αποδοχή σχεδόν σε παγκόσμιο επίπεδο. Αυτή την περίοδο περισσότερα από 65000 LoraWAN δίκτυα έχουν αναπτυχθεί σε περισσότερες από 65 χώρες. Ο αριθμός των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται για γεωργικές εφαρμογές αναμένεται να παρουσιάσει εκθετική αύξηση τα επόμενα χρόνια. Εντός του 2019 αναμένεται περισσότερο από 40% όλων των ενεργών LPWAN τεχνολογιών να λειτουργούν πάνω στα πρότυπα του Lora. Τα δεδομένα αυτά καταδεικνύουν την δημοφιλία και την εξάπλωση αυτής της τεχνολογίας σε παγκόσμιο επίπεδο. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο μεγάλη γκάμα επιστημόνων όπως μηχανικοί τηλεπικοινωνιών, μηχανικοί δικτύων, πληροφορικοί ασχολείται με την περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας και εξεύρεσης λύσεων με καινούρια και καινοτόμα προϊόντα.

Ε) Η εφαρμογή του πρωτοκόλλου Lora έχει πολύ σημαντική συνέπεια και στην διαχείριση των υδάτινων πόρων. Σύμφωνα με αναφορά του UN FAO ένα ποσοστό γύρω στο 40% του νερού που χρησιμοποιείται για άρδευση χάνεται χωρίς να χρησιμοποιείται για τον συγκεκριμένο σκοπό. Για την ελαχιστοποίηση αυτής της άσκοπης σπατάλης η εφαρμογή και εγκατάσταση έξυπνων συστημάτων ποτίσματος αποτελεί επιτακτική ανάγκη. Η χρήση αισθητήρων εδαφικής υγρασίας και ενεργοποιητών οι οποίοι αντλούν ακριβή και χρονικά περιοδική πληροφορία εξασφαλίζει αποτελεσματική άρδευση μέχρι του σημείου κορεσμού και αποφυγή κατασπατάλησης των διαθέσιμων υδατικών ποσοτήτων. Συγκεκριμένα τα δεδομένα για την εδαφική υγρασία που συλλέγονται από το πεδίο μεταφέρονται στην κεντρική πύλη του Lora για ανάλυση και στην βάση αυτής της επεξεργασίας ικανοποιείται -ή όχι- η ανάγκη ακριβούς και στοχευμένης άρδευσης.

ΣΤ) Μία άλλη χρησιμότητα του πρωτοκόλλου Lora είναι στην ισορροπημένη αζωτούχο λίπανση των εδαφών καθώς μέσω των αισθητήρων μας παρέχουν σε πραγματικό χρόνο δεδομένα για την κατάσταση των εδαφικών συνθηκών και παραμέτρων προκειμένου η λίπανση να γίνεται στον σωστό χρόνο και στην

κατάλληλη ποσότητα. Είναι σημαντικό να επισημάνουμε πως τα αζωτούχα λιπάσματα συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου κατά 75% από εκπομπές ρύπων (νιτρικά οξείδια) γεωργικών εκτάσεων.

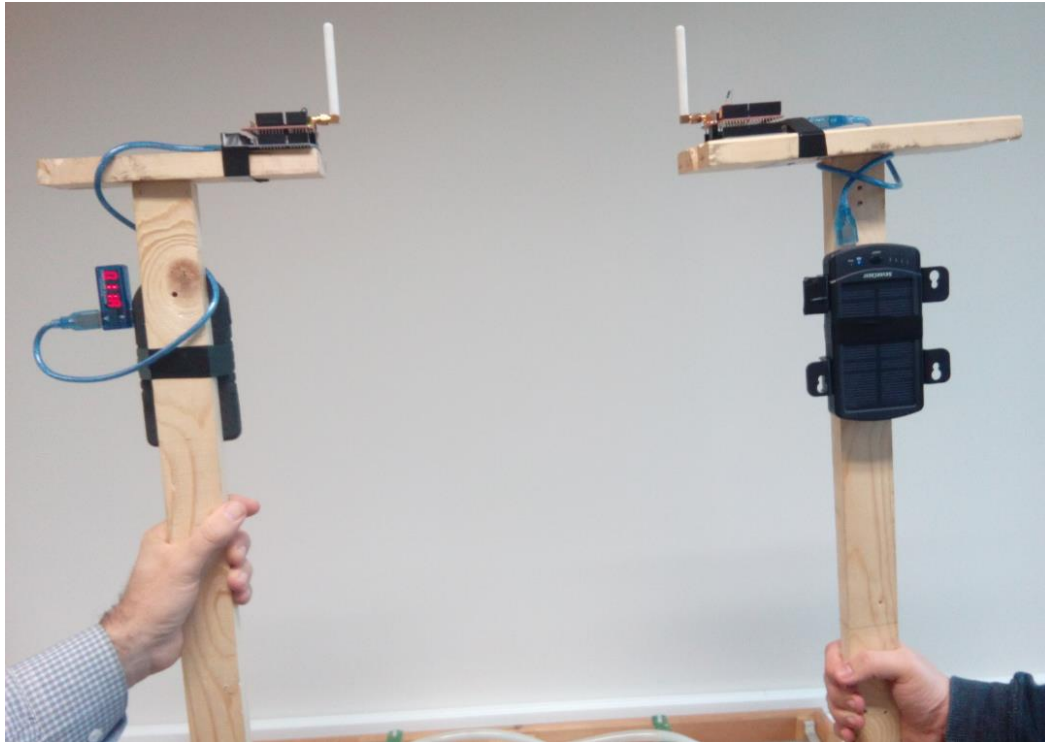
### 3.5 ΕΙΔΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Η Γεωργία είναι ένας ιδιαίτερα απαιτητικός κλάδος με όρους φυσικής κατάστασης και δεν μπορούν όλοι οι άνθρωποι να απασχοληθούν σε αυτόν σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο λόγω της μεγάλης καταπόνησης που συνοδεύει το επάγγελμα του αγρότη. Απαιτείται πολύ καλή φυσική κατάσταση και ικανότητα του ανθρώπινου σώματος να βρίσκεται σε ετοιμότητα για να μπορεί οποιαδήποτε στιγμή να λειτουργεί με δύναμη, χωρίς υπερβολική κόπωση και με περίσσεια ενέργεια. Σύμφωνα με τον FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) η αγροτική παραγωγή πρέπει να αυξηθεί κατά 60% στον 21<sup>ο</sup> αιώνα προκειμένου να εξασφαλίσει επάρκεια τροφίμων σε έναν διαρκώς αυξανόμενο παγκόσμιο πληθυσμό και υπό συνεχώς επιδεινούμενες περιβαλλοντικές παραμέτρους. Επιπλέον ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας με έκθεση του το 2011 υπολογίζει σε 1 δις τους ανθρώπους που έχουν κάποια μορφή αναπηρία και περίπου σε 200 εκατομμύρια τους ανθρώπους με λειτουργικές δυσλειτουργίες. Οι σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις μπορούν να μειώσουν την ένταση αυτού του φαινομένου ιδιαίτερα σε αγρότες μεγάλης ηλικίας ή σε αγρότες που έχουν κάποια δυσλειτουργία.

Μία εξαιρετικά χρήσιμη εφαρμογή του πρωτοκόλλου LoRa είναι στην διαβίβαση φωνητικών εντολών σε κινητό ή τάμπλετ και υλοποίηση των δοθέντων εντολών από αγρότες που έχουν κινητικά προβλήματα και δυσκολία μετάβασης στον αγρό. Ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη της εφαρμογής αυτής έγινε από τον Δρ. Δημήτριο Λουκάτο που καθοδήγησε την ομάδα μας στο να κάνει αποτελεσματική παραμετροποίηση και μεθοδικό έλεγχο της χρηστικότητάς της. Αναλυτικότερα, ο αγρότης δίνει φωνητική εντολή μέσω του "έξυπνου" κινητού που έχει ενσωματωμένο σύστημα αναγνώρισης. Η εντολή αυτή μεταβιβάζεται σε ένα cloud από όπου επιστρέφει με την μορφή κειμένου και λαμβάνει χώρα σύγκριση και ταυτοποίηση με μία σειρά προκαθορισμένων κειμένων. Ο κώδικας που είναι γραμμένος στην έξυπνη συσκευή

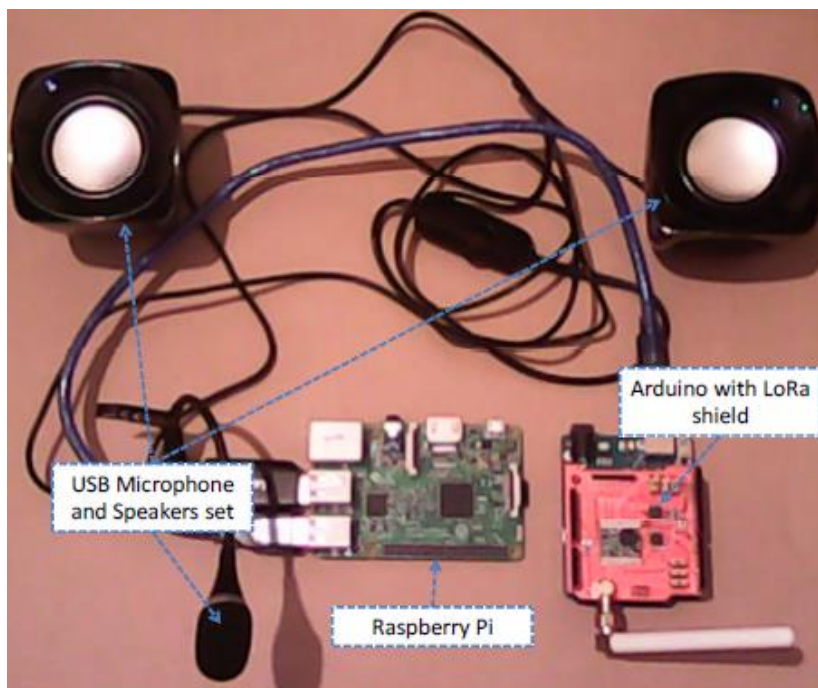
ενσωματώνεται μέσω του περιβάλλοντος MIT App Inventor. Το App Inventor αποτελεί ένα νέο δωρεάν οπτικό περιβάλλον προγραμματισμού με πλακίδια (blocks), για τη δημιουργία εφαρμογών για κινητά τηλέφωνα με λειτουργικό σύστημα Android. Σε αυτό το περιβάλλον μπορούμε να αναπτύξουμε εφαρμογές για συσκευές με λειτουργικό Android που δεν απαιτούν ιδιαίτερες ικανότητες στον προγραμματισμό και η εκμάθηση του είναι πολύ εύκολη. Το κείμενο αυτό διαβιβάζεται στο Raspberry που βρίσκεται στον αγρό μέσω Wi-Fi και εκτελούνται οι δοθείσες εντολές.

Η ίδια ακριβώς διαδικασία μπορεί να γίνει ακόμα και χωρίς την παρουσία Διαδικτύου πχ σε δύσβατες περιοχές, έντονο ανάγλυφο όπου υπάρχει μερική ή και μηδενική δυνατότητα σύνδεσης. Χρησιμοποιούνται δύο μονάδες Arduino που συνδέονται μέσω των LoRa Shields και οι φωνητικές εντολές παρεμβάλλονται μέσω του SOPARE (**SO**und **PA**ttern **RE**cognition στα ελληνικά Αναγνώριση Ηχητικού Μοτίβου) που είναι ένα λογισμικό τοπικού δικτύου γραμμένο σε Python. Το SOPARE χρησιμοποιείται για αναγνώριση ήχου σε πραγματικό χρόνο πάνω σε μικροϋπολογιστές τύπου **Raspberry Pi**, προχωρά σε φωνητική αναγνώριση και αναγνώριση μοτίβου για λίγες μόνο λέξεις και λειτουργεί χωρίς την παρουσία σύνδεσης στο Διαδίκτυο. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα για ένα σετ τυπικών εντολών η ενεργοποίηση του συστήματος που στηρίζεται σε cloud services ήταν πολύ καλύτερη καθώς την έφεραν εις πέρας συσκευές τεχνητής νοημοσύνης. Συγκεκριμένα η απόδοση του συστήματος κυμάνθηκε από 65% έως 95% καθώς η όλη ανταπόκριση του εξαρτάται από την ποιότητα σύνδεσης του Διαδικτύου. Στην περίπτωση του τοπικά συνδεδεμένου δικτύου-χωρίς την παρουσία Internet- η απόδοση κυμάνθηκε από 50% έως 90% και οι παράγοντες που την επηρέασαν ήταν ο ρυθμός διαβίβασης των εντολών, η ποιότητα της μικροφωνικής εγκατάστασης και η ακριβής διαμόρφωση των παραμέτρων του SOPARE.



Εικόνα 14:

Σύστημα επικοινωνίας μέσω LoRa με χρήση στο πεδίο μεταξύ client και server (human's end - farm's end)



Εικόνα 15:

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για το σύστημα αναγνώρισης φωνής με τοπικό δίκτυο αποτελείται από δύο μικροελεγκτές Arduino, ένα Raspberry Pi με ενσωματωμένο το σύστημα φωνητικής αναγνώρισης, δύο μικρόφωνα USB και 2 ηχεία.

### 3.6 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ

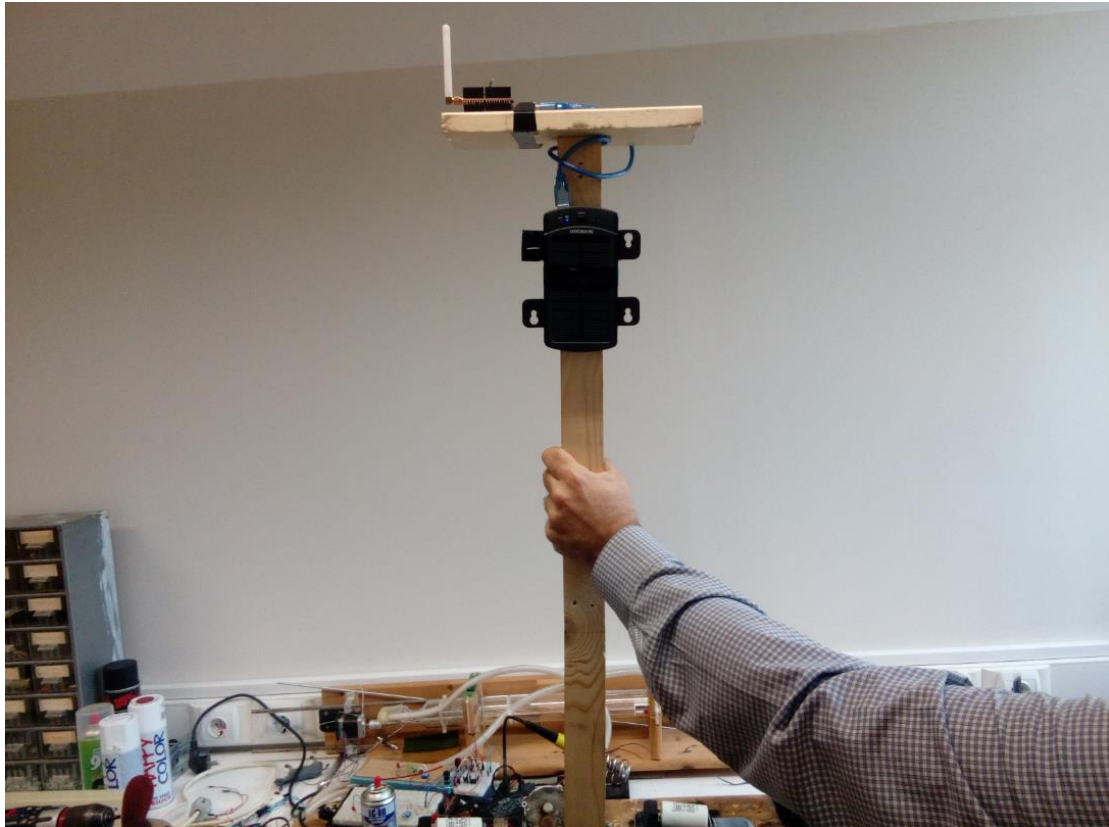
#### LoRa

Το πρωτόκολλο έχει σχεδιαστεί ειδικά για εφαρμογές που απαιτούν αποστολή περιορισμένου πακέτου δεδομένων σε καθορισμένο χρονικό διάστημα με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Συγκεκριμένα είναι κατάλληλο για αποστολή μικρών πακέτων δεδομένων που χρησιμοποιούνται για ενεργοποίηση συσκευών, παρακολούθηση του πεδίου και ειδοποίηση του ενδιαφερόμενου όταν πχ η τιμή μιας παραμέτρου ξεπεράσει κάποιο όριο που έχει θεσπιστεί. Δεν είναι κατάλληλο για αποστολή μεγάλων πακέτων δεδομένων και μάλιστα σε μικρά χρονικά διαστήματα δηλαδή δεν είναι κατάλληλο για την αποστολή μουσικών αρχείων, video ή εικόνων καθώς η ταχύτητα αποστολής είναι αρκετά μικρή. Παράλληλα εμφανίζονται προβλήματα αν κάποιος άλλος χρήστης χρησιμοποιεί στην ίδια περιοχή την ίδια συχνότητα που λειτουργεί το δικό μας δίκτυο με το πρωτόκολλο Lora. Όπως αναφέρθηκε η χρήση των ISM ραδιοσυχνοτήτων είναι ένα από τα πλεονεκτήματα όσον αφορά το οικονομικό σκέλος αλλά δεν μπορεί να λάβει χώρα περικοπή άλλου σήματος που χρησιμοποιεί την ίδια συχνότητα καθώς η χρήση τους δεν υπόκειται σε κάποιον κεντρικό έλεγχο. Αυτό συμβαίνει διότι οποιοσδήποτε δύναται να χρησιμοποιεί τις συχνότητες του ISM χωρίς να πληρώνει κάποια συνδρομή ή να διαθέτει κάποια εγκεκριμένη άδεια χρήσης. Επίσης αν έχουμε υψηλή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων θα έχουμε υψηλά Packet Error Rate και αν η διάρκεια μετάδοσης είναι σχετικά μεγάλη τότε αυξάνεται η κατανάλωση ενέργειας από τα nodes.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### 4.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Στην παρούσα εργασία ασχολούμαστε με την πρακτική αξιολόγηση του πρωτοκόλλου Lora επί του πεδίου σε τυπικές γεωργικές εφαρμογές όπως λήψη κρίσιμων παραμέτρων και φυσικών μεγεθών αλλά και διαβίβαση εντολών προς εκτέλεση από απομακρυσμένο χρήστη. Η αρχιτεκτονική του συστήματος βασίζεται στην εγκατάσταση ενός Arduino στην θέση του client (αγρότης) και ενός δεύτερου Arduino στην θέση του server (αγρός) τα οποία θα επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω Lora. Αναπτύχθηκε σχεδιασμός για τροποποίηση παραμέτρων όπως ισχύς μεταδιδόμενου σήματος, μέγεθος πακέτων αποστολής, χρονική απόσταση μετάδοσης αυτών των πακέτων αλλά και συλλογή δεδομένων όπως το RSSI, ο ρυθμός σφάλματος στην αποστολή των πακέτων. Σε κάθε Arduino προσαρμόσαμε και ένα Raspberry προκειμένου να έχουμε την ευχέρεια για επιπλέον εφαρμογές πιο απαιτητικές και εξειδικευμένες όπως αποθήκευση δεδομένων και ανάκληση τους ή υποστήριξη διαδικτυακών υπηρεσιών. Ο σχεδιασμός επιτρέπει και καθοδηγούμενη εκτέλεση εντολών όπως πότισμα, εκκίνηση συσκευών αλλά και συλλογή δεδομένων γεωργικού ενδιαφέροντος. Για αποθήκευση των δεδομένων της πύλης σε υπολογιστικό νέφος πρέπει αρχικά να δημιουργηθεί λογαριασμός στο νέφος με user name και password και κατόπιν να ενεργοποιηθεί το API "κλειδί" που είναι η συντομογραφία του **Automatic Programming Interface**, και αποτελείται από μια σειρά κανόνων (rules) μέσω των οποίων γίνεται εφικτή η επικοινωνία μεταξύ μιας πλατφόρμας λογισμικού και μιας άλλης. Ο κώδικας αυτός προγραμματισμού επιτρέπει να "αλιεύσουμε" πληροφορία από ένα τμήμα του software και να την χρησιμοποιήσουμε σε εφαρμογή του ενδιαφέροντος μας. Με αυτό τον τρόπο υλοποιείται η HTTP επικοινωνία μεταξύ πύλης και υπολογιστικού νέφους και όλα τα δεδομένα της πύλης αποθηκεύονται στο νέφος.



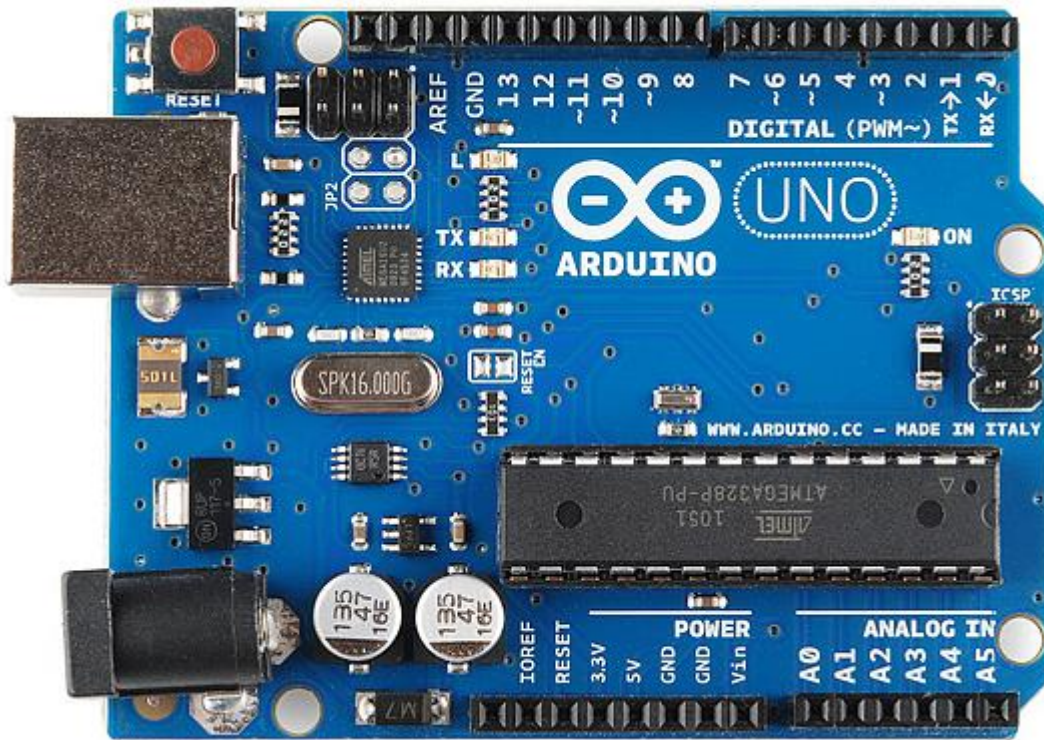
Εικόνα 16:

Εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στο πεδίο

#### 4.2 Τι είναι το Arduino;

Το Arduino είναι μία δημοφιλής υπολογιστική πλατφόρμα που αποτελείται από έναν μικροελεγκτή δηλαδή μία ηλεκτρονική συσκευή που διαχειρίζεται ηλεκτρονικά σήματα με προγραμματισμένο τρόπο, προσαρμοσμένο σε μια πλακέτα και έτοιμο προς χρήση, την μητρική πλακέτα και εισόδους-εξόδους οι οποίες είναι αναλογικές και ψηφιακές. Ας φανταστούμε το μικροελεγκτή σαν ένα τσιπάκι που περιέχει μέσα του ένα ολόκληρο μικρό υπολογιστή. Είναι ένας υπολογιστής ειδικού σκοπού: δεν θα τον χρησιμοποιήσουμε για να γράψουμε ένα κείμενο αλλά μπορούμε να τον προγραμματίσουμε να ελέγχει άλλες συσκευές: να αναβοσβήνει φωτάκια (LED), να περιστρέφει κινητήρες κλπ. Δεν απαιτεί μεγάλη εμπειρία και ιδιαίτερη εξοικείωση με τον προγραμματισμό καθώς διαθέτει εύκολο στην χρήση software και hardware

Προγραμματίζεται σε περιβάλλον Arduino IDE που είναι απλό και εύκολο και πολλές βιβλιοθήκες υποστηρίζουν την πλακέτα Arduino προκειμένου να επιτευχθεί μετάδοση και επικοινωνία με αισθητήρες, οθόνες, ασύρματα δίκτυα.



Εικόνα 17:

Μικροελεγκτής Arduino

Πηγή: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/what-is-an-arduino/all>

Διακρίνεται για το χαμηλό κόστος, τον απλό σχεδιασμό, το ανοιχτό hardware και την ευκολία χρήσης του. Οι εφαρμογές του ποικίλλουν από το να “διαβάζουν” τις μετρήσεις αισθητήρων για παραμέτρους όπως θερμοκρασία, υγρασία να ενεργοποιούν ασφαλειοδιακόπτες, να μεταδίδουν δεδομένα. Μπορούν να συνδεθούν με υπολογιστή μέσω θύρας USB.

Έχει ευρεία χρήση στην καθημερινότητα μας αν και δεν έχει γίνει απόλυτα αντιληπτό.. Σχεδόν όλες οι διαθέσιμες ηλεκτρονικές συσκευές έχουν τουλάχιστον ένα μέσα τους. Το touchpad στο laptop ελέγχεται από ένα μικροελεγκτή: διαβάζει την επιφάνεια αφής και στέλνει τα αντίστοιχα δεδομένα στην κεντρική πλακέτα του υπολογιστή. Το ψυγείο, ο φούρνος μικροκυμάτων, το κινητό, η τηλεόραση, το αυτοκίνητο, ο διεθνής διαστημικός σταθμός και τα ρομποτάκια που βρίσκονται σε αποστολή στον Άρη είναι γεμάτα μικροελεγκτές.



### 4.3 Διαφορές Arduino από κανονικό υπολογιστή

Σε αντίθεση με τον υπολογιστή που χρησιμοποιούμε για τις καθημερινές μας εργασίες, ένας μικροελεγκτής έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά και διαφορές. Ένας υπολογιστής είναι ένα προϊόν σχεδιασμένο με μικροεπεξεργαστή που προορίζεται για διάφορες εφαρμογές όπως επεξεργασία δεδομένων, προγραμματισμός, gaming, πολυμέσα, λογιστική κλπ. Ο μικροεπεξεργαστής μέσα στον υπολογιστή θεωρείται ως ο εγκέφαλος του υπολογιστή.

Ένας μικροελεγκτής είναι ένα τσιπ που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους σχεδιαστές συστημάτων για τον σχεδιασμό hardware για συγκεκριμένες επιθυμητές εφαρμογές. Ένα λογισμικό που ονομάζεται επίσης firmware τρέχει σε αυτό το υλικό.

Ο υπολογιστής είναι γενικό σύστημα το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διαφορετικές εφαρμογές από τους τελικούς χρήστες.

Ένας μικροελεγκτής από την άλλη πλευρά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή ενσωματωμένων συστημάτων που προορίζονται για ένα συγκεκριμένο σύνολο εφαρμογών όπως για παράδειγμα το τηλεχειριστήριο, τον ελεγκτή θερμοκρασίας, το σύστημα ασφαλείας κ.λπ.

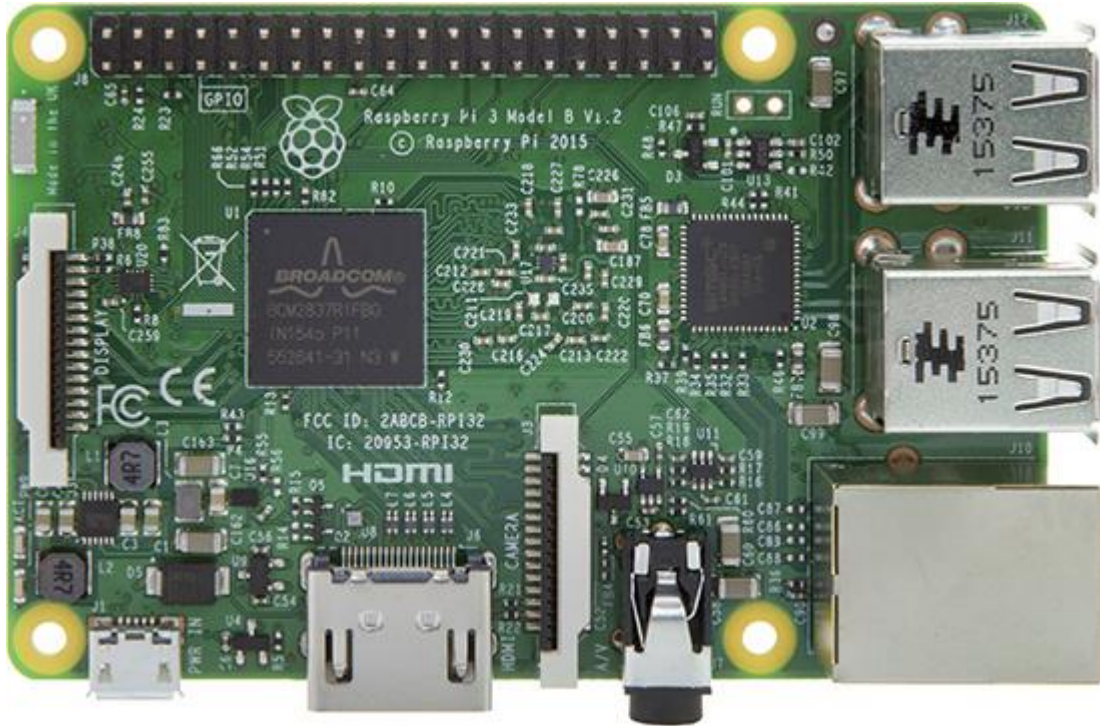
Ο μικροελεγκτής λειτουργεί με ελάχιστη ενέργεια, έχει πολύ χαμηλό οικονομικό κόστος σε σχέση με έναν κανονικό υπολογιστή και δεν διαθέτει λειτουργικό σύστημα.

### 4.4 Τι είναι το Raspberry Pi;

Πρόκειται για έναν υπολογιστή “τσέπης” με μικρό όγκο και χαμηλό κόστος το οποίο κυκλοφόρησε το Φεβρουάριο του 2012 στο Ηνωμένο Βασίλειο από το Raspberry Pi Foundation. Οι εμπνευστές αυτού του καινοτόμου συστήματος είχαν ως σκοπό να κεντρίσουν το ενδιαφέρον των μαθητών στα σχολεία σχετικά με τον προγραμματισμό κάτι που συνέβη με μεγάλη επιτυχία. Με την πάροδο των ετών και την ανάπτυξη της τεχνολογίας το Raspberry Pi δεν έμεινε σε ένα μόνο μοντέλο. Συνολικά υπάρχουν επτά μοντέλα τα οποία έχουν κοινά χαρακτηριστικά μεταξύ τους αλλά και διαφορές. Το αρχικό μοντέλο

ήταν μονοπύρρηνο στα 700 MHz και διέθετε μνήμη μόλις 256 MB RAM. Πλέον τα τεχνικά χαρακτηριστικά έχουν φθάσει στα 1.4 GHz CPU και 2 GB RAM. Το κόστος αγοράς είναι αρκετά οικονομικό και σε όλο τον κόσμο χρησιμοποιείται για ανάπτυξη δεξιοτήτων στον προγραμματισμό, για κατασκευή hardware projects, σε ανάπτυξη εφαρμογών οικιακού αυτοματισμού αλλά ακόμα και σε βιομηχανικές εφαρμογές. Κατά το σχεδιασμό του υπολογιστή Raspberry Pi στοχεύθηκε η δημιουργία ενός συστήματος το οποίο θα δύναται να λειτουργεί με πολύ ελαφριά λειτουργικά συστήματα. Έτσι, ο υπολογιστής αυτός μπορεί να χρησιμοποιεί κατά κύριο λόγο λειτουργικά συστήματα βασισμένα στον πυρήνα του Linux και διαθέτει GPIO (general purpose input/output) pins που μας επιτρέπουν να ελέγχουμε ηλεκτρονικές συσκευές. Το Raspberry Pi λειτουργεί σε σύστημα ανοιχτού κώδικα: “τρέχει” το Linux και το κύριο υποστηριζόμενο λειτουργικό του σύστημα, το Raspbian, είναι ανοικτού κώδικα και τρέχει λογισμικό ανοικτού κώδικα

Ο υπολογιστής Raspberry Pi διαθέτει διάφορες θύρες εισόδου και εξόδου προκειμένου να είναι σε θέση να υλοποιεί διάφορες συνδέσεις. Συγκεκριμένα διαθέτει θύρες USB για σύνδεση πληκτρολογίου και ποντικιού, θύρα ήχου για χρήση ακουστικών και μικροφώνων, θύρα για να χρησιμοποιείται η τηλεόραση ως monitor, θύρα για σύνδεση με το Διαδίκτυο μέσω του router και θύρα για αναπαραγωγή οπτικοακουστικού υλικού μέσω σύνδεσης σε τηλεόραση.



Εικόνα 18:

Μητρική πλακέτα Raspberry

Πηγή: <https://raspi.tv/2016/raspberry-pi-3-model-b-launches-today-64-bit-quad-a53-1-2-ghz-bcm2837>

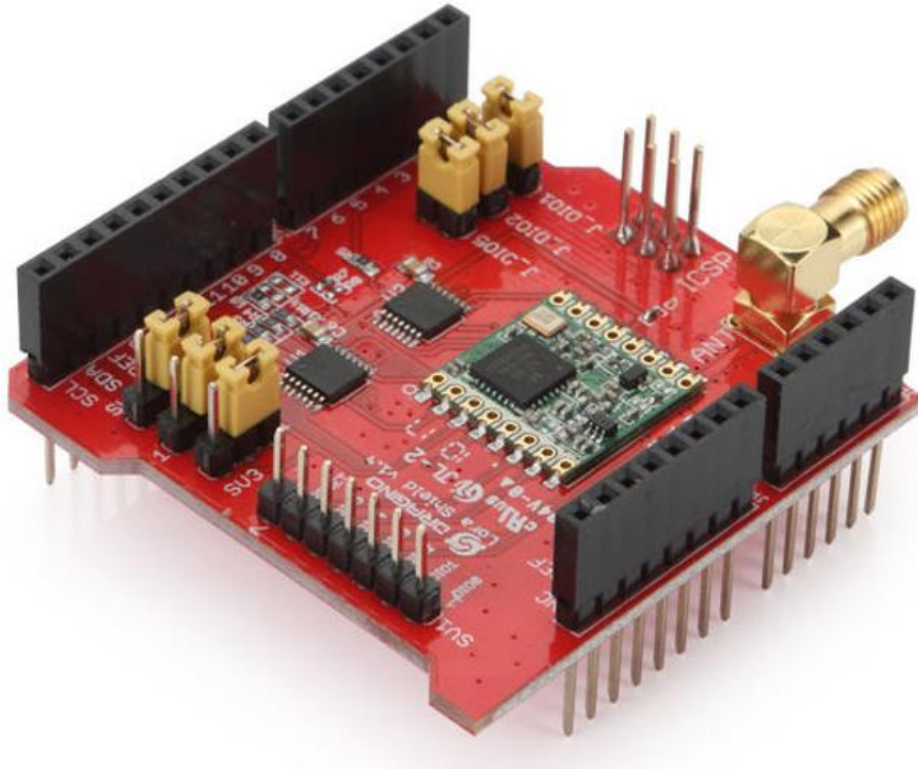
Τα προτερήματα της χρήσης του Raspberry Pi είναι:

- **Μικρός Όγκος:** Όπως είδαμε παραπάνω το Raspberry Pi έχει μέγεθος πιστωτικής κάρτας, οπότε μεταφέρεται εύκολα χωρίς κόπο.
- **Χαμηλό Κόστος:** Ένα Raspberry Pi μπορούμε να το αποκτήσουμε χωρίς να ξοδέψουμε πολλά χρήματα. Βέβαια πρέπει να γνωρίζουμε ότι όσο εξελίσσεται η τεχνολογία και οι απαιτήσεις τόσο μεγαλώνει το κόστος του μικροελεγκτή.
- **Εύκολη πρόσβαση στο Internet.**
- **Πρόσβαση στα Linux.**
- **Μεγάλη ποικιλία σε γλώσσες προγραμματισμού.**

#### 4.5 Τι είναι το Dragino Lora Shield;

Πρόκειται για έναν πομποδέκτη που διαθέτει την χαρακτηριστική ιδιότητα να μπορεί να στέλνει και να λαμβάνει δεδομένα σε αρκετά μεγάλες αποστάσεις με χαμηλό όμως ρυθμό αποστολής “πακέτων” δεδομένων. Είναι μια πλακέτα επέκτασης για το πρωτόκολλο LoRa που χρησιμοποιείται μαζί με το Arduino, βασίζεται σε ανοιχτού κώδικα βιβλιοθήκη και ουσιαστικά είναι ο κόμβος (node) που συνδέεται με τον σταθμό βάσης (gateway). Η Dragino Lora Shield είναι συμβατή με όλες τις εκδόσεις των Arduino που κυκλοφορούν στην αγορά όπως Uno, Nano, Duo, Pro, και λειτουργεί σε διάφορες ζώνες συχνοτήτων όπως 915 MHz/868 MHz και 433MHz. Παράλληλα διαθέτει ενσωματωμένο αισθητήρα θερμοκρασίας (σε περίπτωση υπερθέρμανσης συσκευής) καθώς επίσης και σύστημα έγκαιρης ενημέρωσης για χαμηλή ενέργεια της μπαταρίας. Τέλος, παρέχεται η δυνατότητα σύνδεσης με εξωτερική κεραία για επιπλέον ενίσχυση της ικανότητας αποστολής/λήψης του σήματος.

Διακρίνεται για την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας, για την επικοινωνία ευρέος φάσματος σε μεγάλες αποστάσεις λόγω της πολύ υψηλής ευαισθησίας στα -148 dBm και για μεγάλη ανθεκτικότητα σε παρεμβολές και πηγές εμποδίων. Αν απαιτηθεί περαιτέρω επέκταση της εμβέλειας διαθέτει σύνδεση για κεραία. Ο ρυθμός αποστολής δεδομένων φθάνει τα 300 kbps στο πρωτόκολλο SPI και τα 50 kbps στο πρωτόκολλο LoRa, ρυθμός πολύ ικανοποιητικός για τις εφαρμογές που επιδιώκουμε. Για να δημιουργήσουμε κόμβο με Dragino Lora Shield και Arduino συνδέουμε την πλακέτα Dragino πάνω στον μικροελεγκτή Arduino και κατόπιν συνδέουμε την κεραία. Ο μικροελεγκτής Arduino είναι συνδεδεμένος σε υπολογιστή με εγκατεστημένο Arduino λογισμικό και την αντίστοιχη βιβλιοθήκη που είναι κατάλληλη για την εφαρμογή που επιθυμούμε. Αφού έχουμε προχωρήσει στην εγγραφή των εφαρμογών και έχουμε καταχωρήσει τις συσκευές που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε μπορούμε πλέον να περάσουμε στον προγραμματισμό.



Εικόνα 19:

Lora Dragino Shield

Πηγή: [https://wiki.dragino.com/index.php?title=Lora\\_Shield](https://wiki.dragino.com/index.php?title=Lora_Shield)

#### 4.6 Τι είναι το RSSI;

Το RSSI (Ένδειξη Ληφθέντος Σήματος) είναι μία ένδειξη της έντασης (σε dBm) της ισχύος του σήματος χωρίς όμως να δίνει καμία πληροφορία για τη ποιότητα αυτού. Απεικονίζει μια εκτιμώμενη τιμή της ισχύος του σήματος που λαμβάνει το σημείο λήψης (client) από το σημείο αποστολής (server) καθώς αυξανόμενη της απόστασης ή ύπαρξης πηγών θορύβου και παρεμβολών έχουμε εξασθένηση του σήματος κάτι που συνεπάγεται πιο αργή αποστολή δεδομένων. Το RSSI μετρείται σε αρνητικούς αριθμούς και όσο πλησιάζουμε προς το μηδέν θεωρητικά τόσο καλύτερο σήμα έχουμε δηλαδή ένα σήμα στα -50 dBm θεωρείται ένα πολύ καλό σήμα, ένα άλλο στα -70 dBm είναι ένα αποδεκτό σήμα ενώ ένα αντίστοιχο στα -100 dBm είναι ένα σήμα μόλις ανιχνεύσιμο. Στις ψηφιακές εκπομπές και ανάλογα με το είδος της διαμόρφωσης, η στάθμη σήματος μπορεί να μεταβάλλεται από την

μεταδιδόμενη πληροφορία. Για να είναι αξιόπιστη μια "ένδειξη στάθμης σήματος" πρέπει να αφορά τα δεδομένα που λαμβάνουμε για τη συγκεκριμένη ζεύξη και να είναι ανεξάρτητη από την πληροφορία. Οι τιμές του RSSI κυμαίνονται από 0 μέχρι -54 dBm. Τα πακέτα εκείνα της ραδιοεπικοινωνίας τα οποία χαρακτηρίζονται από RSSI με τιμή μικρότερη των -50 dBm θεωρούνται ότι χάνονται. Όσο υψηλότερη η τιμή του RSSI τόσο ισχυρότερο το σήμα και τόσο καλύτερη η επικοινωνία με το σημείο ενδιαφέροντος. Το RSSI είναι ένας σχετικός δείκτης της ισχύος του σήματος σε αντίθεση με το dBm που είναι ένας απόλυτος αριθμός που αντιπροσωπεύει τα επίπεδα ισχύος σε mW. Υπάρχουν τέσσερις παράμετροι που συνδέονται άμεσα με το RSSI.

- το εύρος (dynamic range) που υποδεικνύει την ελάχιστη και τη μέγιστη ενέργεια του ληφθέντος σήματος που μπορεί να μετρήσει ο δέκτης πχ αν ένας δέκτης έχει εύρος 92 db αυτό σημαίνει ότι από την μικρότερη μέχρι την μεγαλύτερη τιμή η διαφορά είναι 92 db.
- η ακρίβεια (accuracy) που υποδεικνύει το μέσο σφάλμα που σχετίζεται με κάθε μέτρηση ισχύος λαμβανόμενου σήματος το οποίο κυμαίνεται στα  $\pm 4$  dB
- η γραμμικότητα (linearity) που υποδεικνύει τη μέγιστη απόκλιση της γραφικής παράστασης του RSSI από μια ευθεία γραμμή σε σχέση με την πραγματική ισχύ του λαμβανόμενου σήματος (σε λογαριθμική κλίμακα).
- η μέση περίοδος (averaging period) όπου η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος μετράται για μια χρονική περίοδο και στη συνέχεια υπολογίζεται κατά μέσο όρο για τη δημιουργία RSSI

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### 5.1 Περιγραφή Πειραματικής Διαδικασίας

Κατά την διαδικασία των πειραματικών μετρήσεων εξετάσαμε τις επιδόσεις του πρωτοκόλλου Lora σε διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ client και server με μεταβαλλόμενη κάθε φορά την ισχύ εκπομπής του σήματος. Σε κάθε συγκεκριμένη θέση πάρθηκαν πλήθος μετρήσεων για την ένδειξη ληφθέντος

σήματος (RSSI Average) προκειμένου να έχουμε μεγαλύτερη αξιοπιστία και ακρίβεια. Παράλληλα κατέστη ανενεργή οποιαδήποτε εξωτερική πηγή παρεμβολής όπως πχ Wi-Fi για να μην επηρεαστούν οι παράμετροι του πειράματος. Σε μεγαλύτερες αποστάσεις διερευνήσαμε και τυχόν απώλειες των απεσταλμένων πακέτων.

Η όλη διαδικασία χωρίστηκε σε τρεις επιμέρους ενότητες:

- Αρχικά έγινε ο καθορισμός και η διαμόρφωση των παραμέτρων του πειράματος
- Κατόπιν έλαβε χώρα η καταγραφή της δραστηριότητας και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των δυο συσκευών (client και sever). Στην φάση αυτή καταγράφησαν πολλές μετρήσεις πριν ξεκινήσει η καθεαυτή διαδικασία του πειράματος.
- Τέλος έγινε συλλογή των δεδομένων για περαιτέρω επεξεργασία και διερεύνηση

Η πειραματική διαδικασία ακολούθησε συγκεκριμένη σειρά προκειμένου να αποφευχθούν δυσχέρειες και πιθανά λάθη.

Μελέτη θεωρητικού πλαισίου για LoRa και των κρίσιμων μεγεθών που χαρακτηρίζουν την ποιότητα επικοινωνίας μέσω αυτού

Σχεδιασμός και υλοποίηση του πλαισίου αξιολόγησης της επίδοσης της επικοινωνίας με LoRa

Ενδελεχής λήψη μετρήσεων σε πραγματικό περιβάλλον εντός του ΓΠΑ και αξιολόγηση επίδοσης στα μεγέθη RSSI, Ισχύς επιφανειακής πυκνότητας, μεταβολή ισχύος σήματος σε σχέση με την απόσταση

Αξιοποίηση της εμπειρίας και των πορισμάτων από την διαδικασία των μετρήσεων για την ανάπτυξη εφαρμογών γεωργικού χαρακτήρα για ανθρώπους με ή χωρίς ειδικές ικανότητες.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από LoRa Draguino, Power Bank, Arduino, πλαίσιο στήριξης εξοπλισμού και ελαχιστοποιήσαμε παράγοντες που θα προκαλούσαν ενίσχυση σήματος λόγω ανάκλασης όπως μετρήσεις κοντά σε στύλους, αυτοκίνητα. Παράλληλα αποφύγαμε την

παρεμβολή του σώματος προκειμένου να μην λειτουργεί ως παραβολικό κάτοπτρο.

Ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη της εφαρμογής έγινε από τον Δρ Δημήτριο Λουκάτο και περιλαμβάνει τεχνικές για την εισαγωγή μεταβλητής και ελεγχόμενης χρονοκαθυστέρησης μεταξύ των πακέτων και πρόσθετων πληροφοριών μέσα στο πεδίο ωφέλιμης πληροφορίας του καθενός εξ'αυτών, όπως λ.χ. η ώρα παραλαβής του ή ο σειριακός αριθμός δημιουργίας του για καταγραφή των απωλειών (packet losses). Με την καθοδήγηση από τον Δρ. Δημήτριο Λουκάτο η ομάδα μας ρύθμισε βέλτιστα τη μετρητική διάταξη και προέβη σε μία σειρά από μεθοδικές μετρήσεις απόδοσης του πρωτοκόλλου LoRa. Παράλληλα έγινε εφικτή η παρακολούθηση της ροής των μηνυμάτων στην οθόνη σε πραγματικό χρόνο.

Σε τεχνικό επίπεδο στην εκτέλεση των πειραμάτων είχαμε Coding Rate 4/5, Bandwidth στα 125 kHz και SF=7

```

        Serial.println(rf95.lastRssi(), DEC);
        sum += rf95.lastRssi();
        i++;
    }
    else
    {
        Serial.println("recv failed");
    }
}
else
{
    Serial.println("No reply, is rf95_server running?");
}
delay(250);
}
if (verbose) Serial.print("RSSI_AVG: ");
Serial.println(sum/SampleNum, 1);

while (Serial.available() > 0) {
    // read the incoming byte:
    incomingByte = Serial.read();
    if (incomingByte != '*')

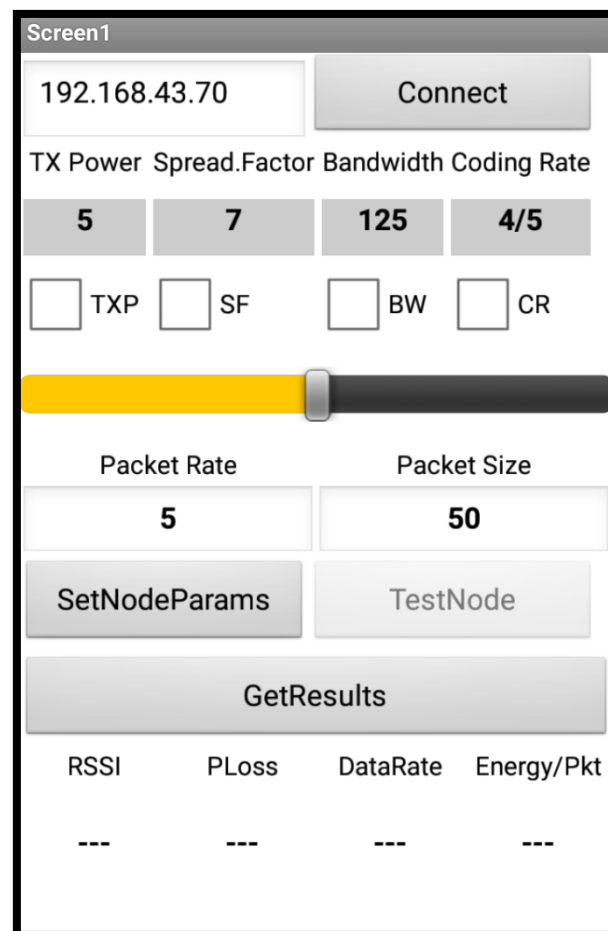
```



Επιπρόσθετα εκτελέσαμε το εξής πείραμα αφού πρώτα καθορίσαμε τους παράγοντες μετάδοσης ως εξής

CR= 4/5 Transmitt Power= 5 dBm SF=7 BW=250kHz Packet Rate=100 και Packet Size= 50 (payload) + 12 (headers).

Αποστέλλοντας 100 packets/sec και αναμένοντας ένα χρονικό διάστημα (Interval) στα 10 ms παρατηρήσαμε πως δεν μπορούσε να γίνει η μετάδοση με αυτό τον ρυθμό παρά μόνο με ρυθμό 20 packets/sec. Αυτό μας επιβεβαίωσε πειραματικά τις επιδόσεις του LoRa. Αλλάζοντας τον παράγοντα BW από 250 kHz στα 500 kHz το χρονικό διάστημα (Interval) έγινε 26 ms με ρυθμό 40 packets/sec



Εικόνα 20:

Android Application

(σχεδιασμός από Δρ Δημήτρη Λουκάτο, περιβάλλον MIT app Inventor)



Εικόνα 21:

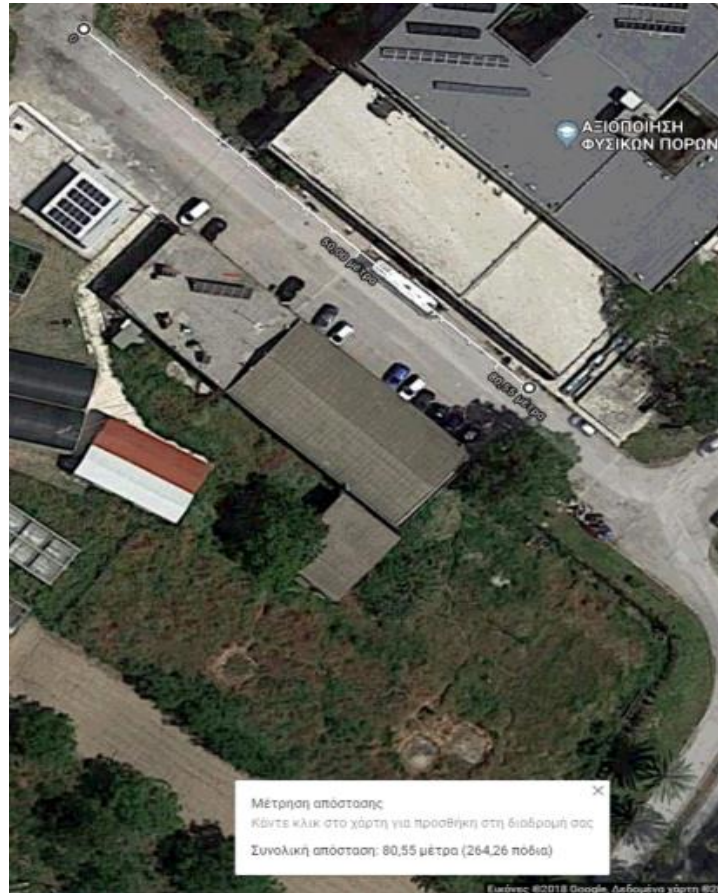
Εξοπλισμός εργαστηρίου Ρομποτικών Εφαρμογών ΓΠΑ με Power Bank, Raspberry Pi και Arduino Uno με Lora Dragino Shield



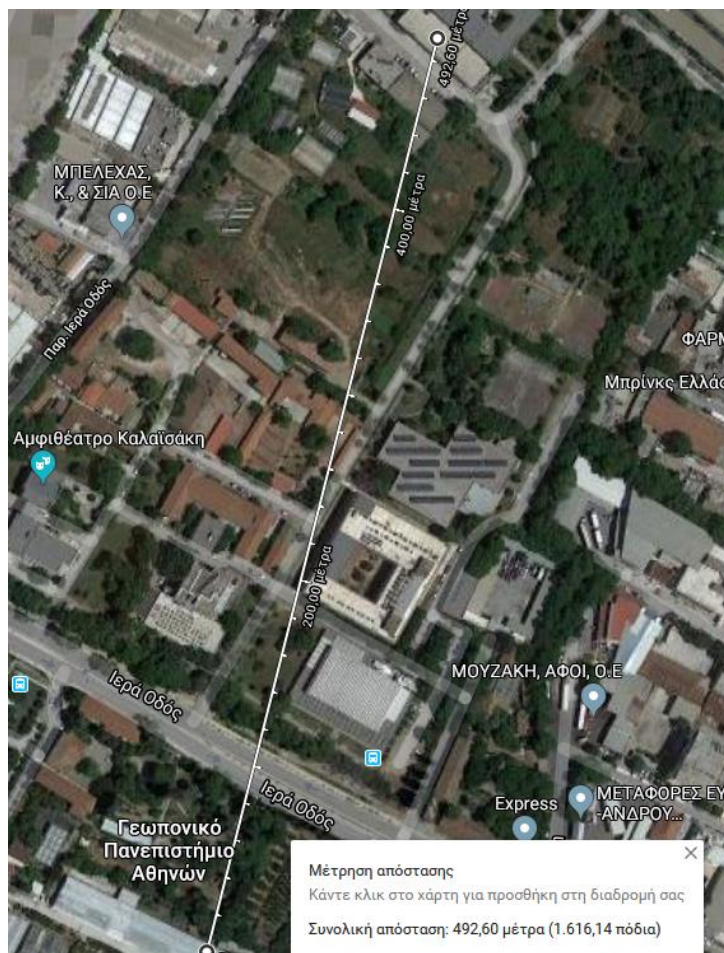
Εικόνα 22

Όργανο μέτρησης επιφανειακής πικνότητας ισχύος TC195

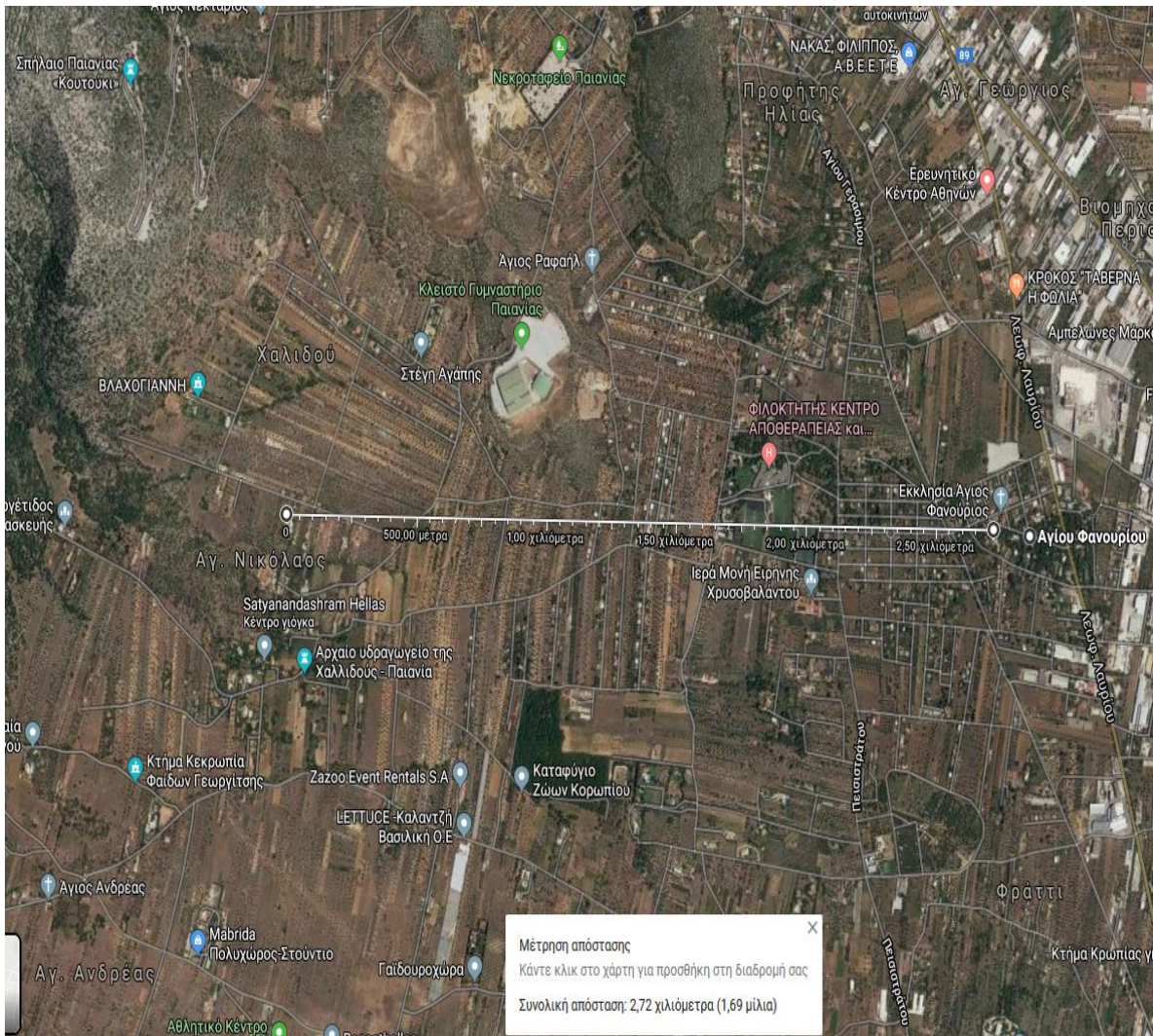
## 5.2 Γεωγραφική θέση πειραμάτων

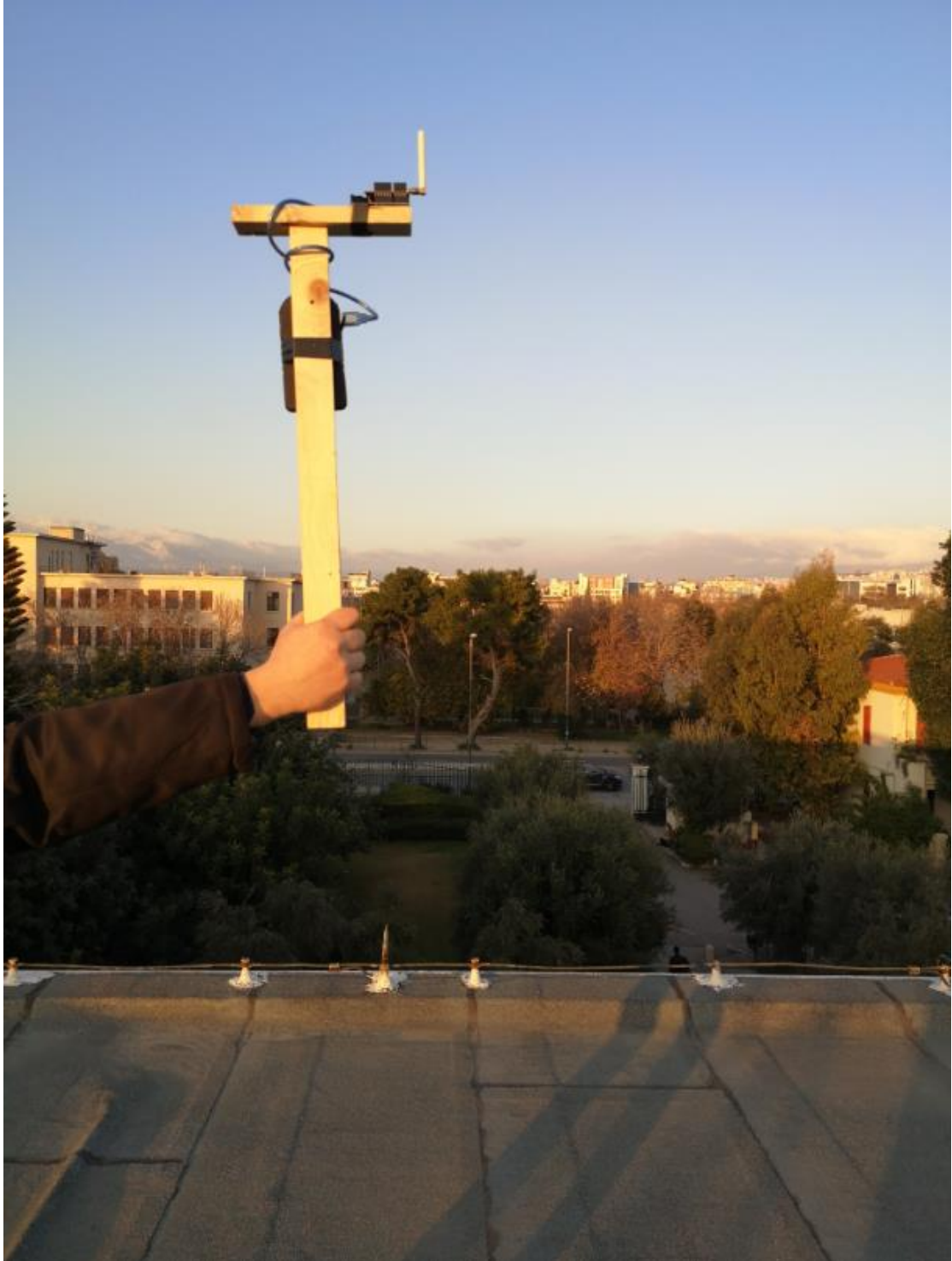


## Μεταπτυχιακή Διατριβή στη Γεωπληροφορική και Χωρική Ανάλυση



## Μεταπτυχιακή Διατριβή στη Γεωπληροφορική και Χωρική Ανάλυση





Εικόνα 23:  
Οροφή κεντρικού κτιρίου Διοίκησης ΓΠΑ



Εικόνα 24:  
Μετρήσεις στον Υμηττό



Εικόνα 25:  
Μετρήσεις στον Υμηττό





Εικόνα 26:  
Μετρήσεις στο λόφο Καισαριανής



Εικόνα 27:  
Μετρήσεις στο σπήλαιο Παιανίας

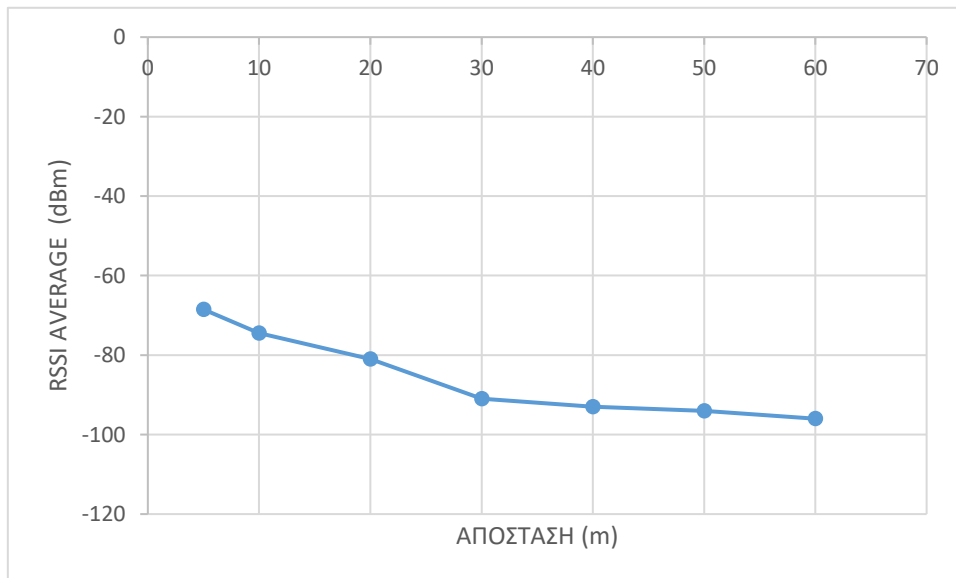


Εικόνα 28:  
Μετρήσεις σε πυκνή βλάστηση στο δενδροκομείο του ΓΠΑ

### 5.3 Λήψη αποτελεσμάτων

ΑΠΟΣΤΑΣΗ (m)	RSSI AVERAGE (dBm)
5	-68,5
10	-74,5
20	-81
30	-91
40	-93
50	-94
60	-96

Πίνακας 4

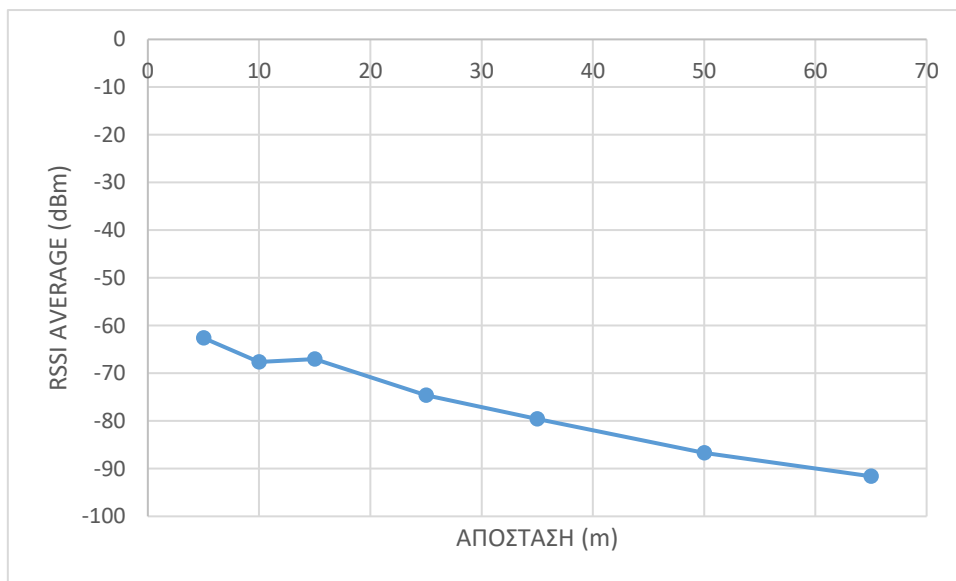


Εικόνα 27:

Ένδειξη ληφθέντος σήματος συναρτήσει της απόστασης με TX Power 5dBm

ΑΠΟΣΤΑΣΗ (m)	RSSI AVERAGE (dBm)
5	-62,6
10	-67,6
15	-67
25	-74,6
35	-79,6
50	-86,7
65	-91,6

Πίνακας 5

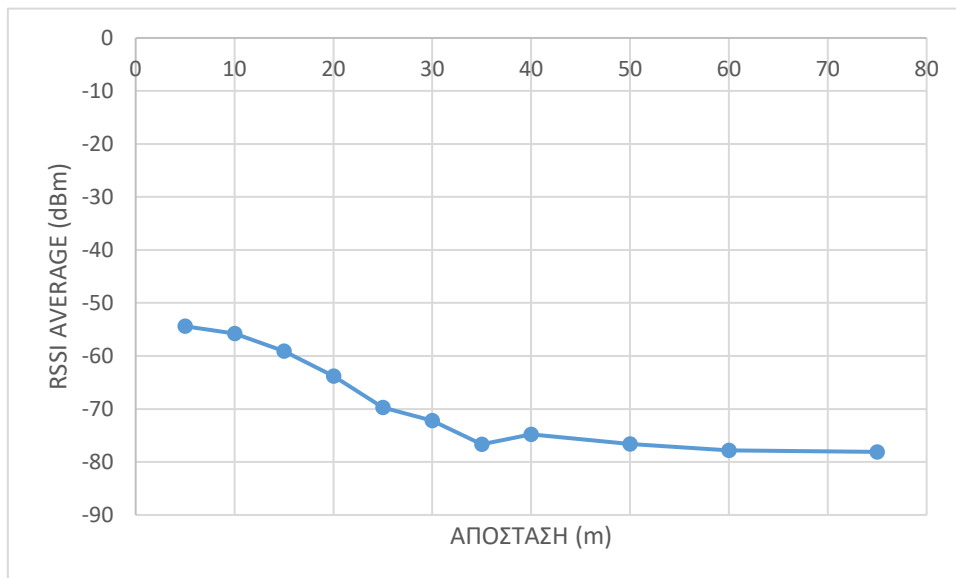


Εικόνα 28:

Ένδειξη ληφθέντος σήματος συναρτήσει της απόστασης με TX Power 10dBm

ΑΠΟΣΤΑΣΗ (m)	RSSI AVERAGE(dBm)
5	-54,4
10	-55,8
15	-59,1
20	-63,8
25	-69,7
30	-72,2
35	-76,7
40	-74,8
50	-76,6
60	-77,8
75	-78,1

Πίνακας 6

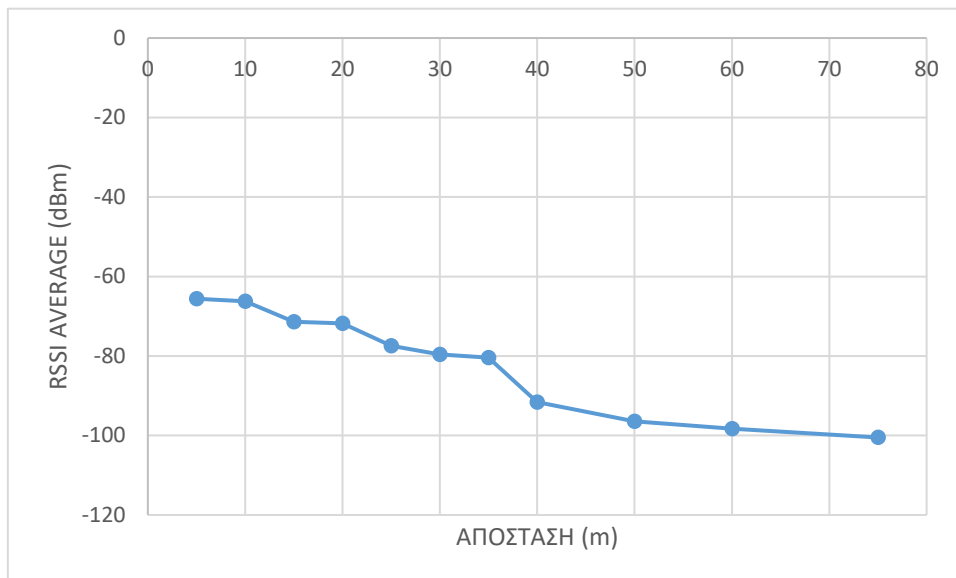


Εικόνα 29:

Ένδειξη ληφθέντος σήματος συναρτήσει της απόστασης με TX Power 15dBm

ΑΠΟΣΤΑΣΗ (m)	RSSI AVERAGE (dBm)
5	-65,6
10	-66,2
15	-71,4
20	-71,8
25	-77,4
30	-79,6
35	-80,4
40	-91,6
50	-96,4
60	-98,3
75	-100,5

Πίνακας 7

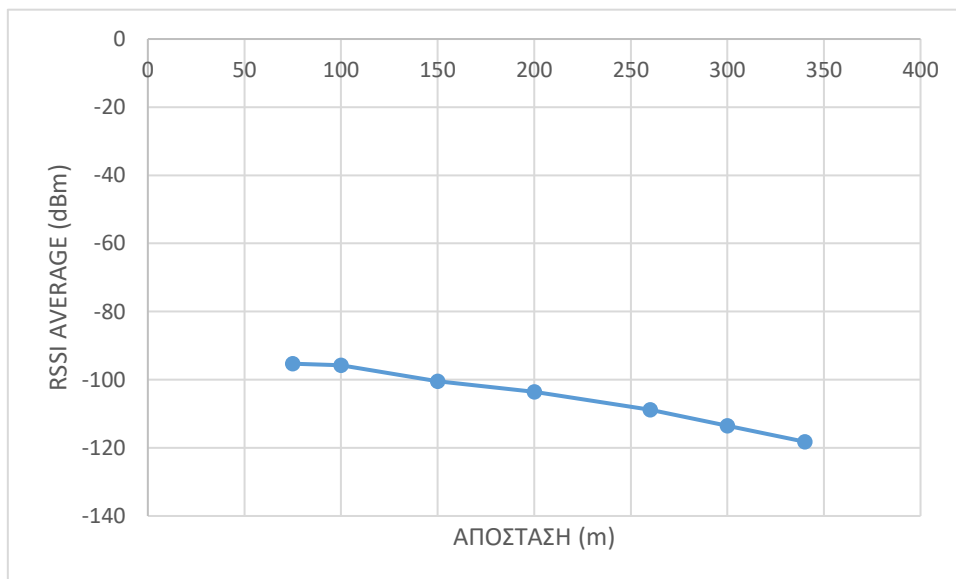


Εικόνα 30:

Ένδειξη ληφθέντος σήματος συναρτήσει της απόστασης με TX Power 5dBm

ΑΠΟΣΤΑΣΗ	RSSI AVERAGE	LOSSES
75	-95,3	0,4
100	-95,8	2,8
150	-100,5	2
200	-103,6	0
260	-108,8	3,6
300	-113,5	0,4
340	-118,2	4,4

Πίνακας 7

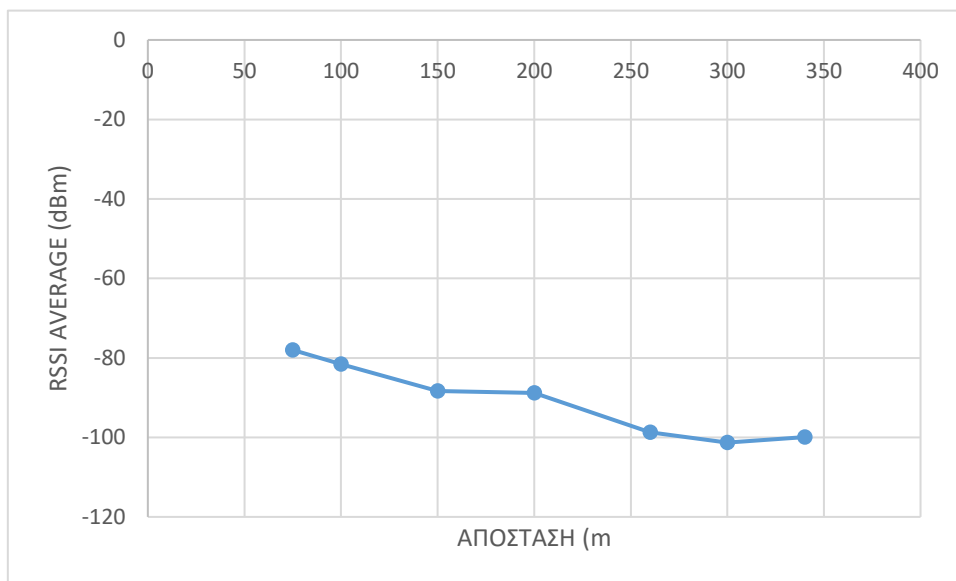


Εικόνα 31:

Ένδειξη ληφθέντος σήματος συναρτήσει της απόστασης με TX Power 5dBm

ΑΠΟΣΤΑΣΗ	RSSI AVERAGE	LOSSES
75	-78	0
100	-81,6	0,4
150	-88,3	0
200	-88,8	0
260	-98,7	0,8
300	-101,3	0,4
340	-99,9	0,4

Πίνακας 8



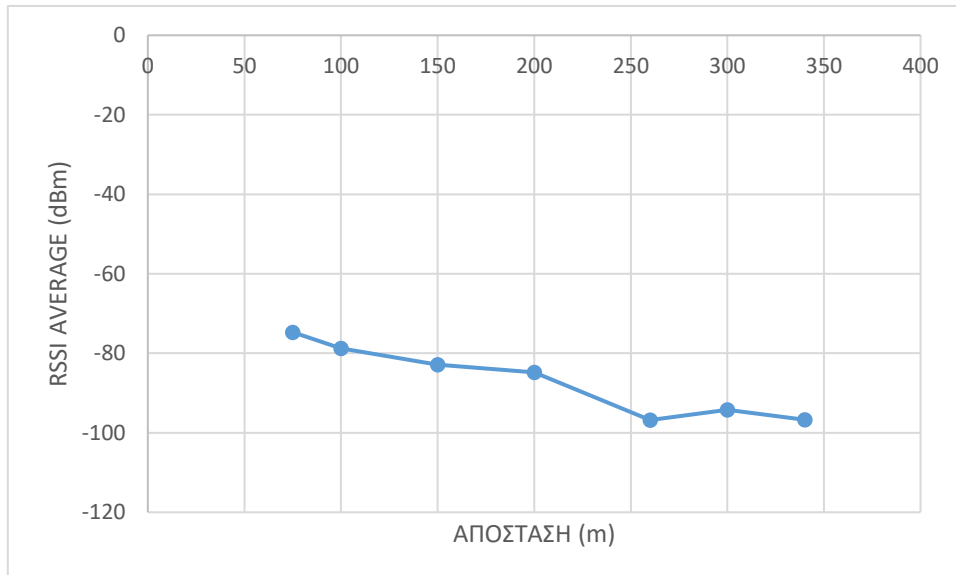
Εικόνα 32:

Ένδειξη ληφθέντος σήματος συναρτήσει της απόστασης με TX Power 10dBm



ΑΠΟΣΤΑΣΗ	RSSIAVERAGE	LOSSES
75	-74,7	0,4
100	-78,8	0,8
150	-82,9	0,8
200	-84,8	1,6
260	-96,8	0,4
300	-94,2	0
340	-96,7	0

Πίνακας 9

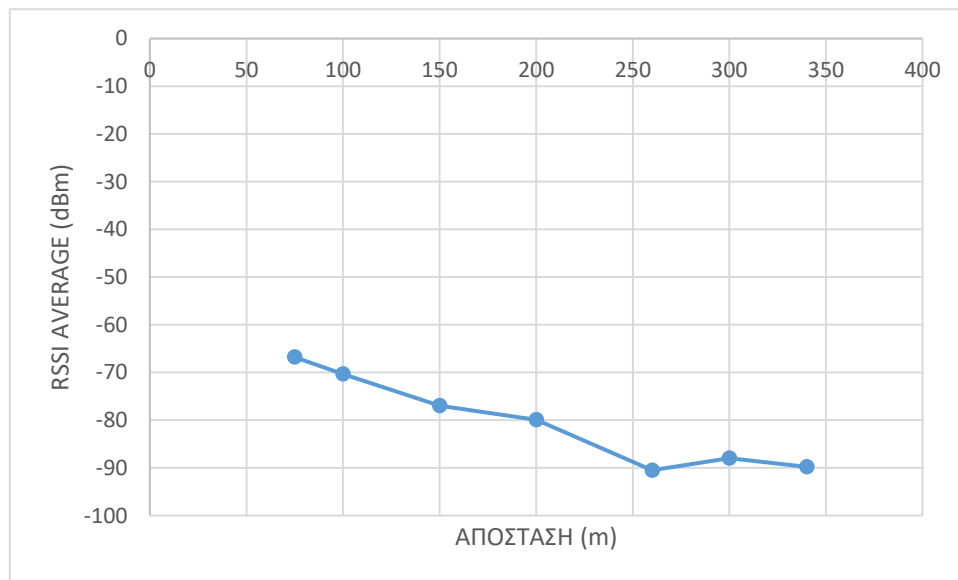


Εικόνα 33:

Ένδειξη ληφθέντος σήματος συναρτήσει της απόστασης με TX Power 15dBm

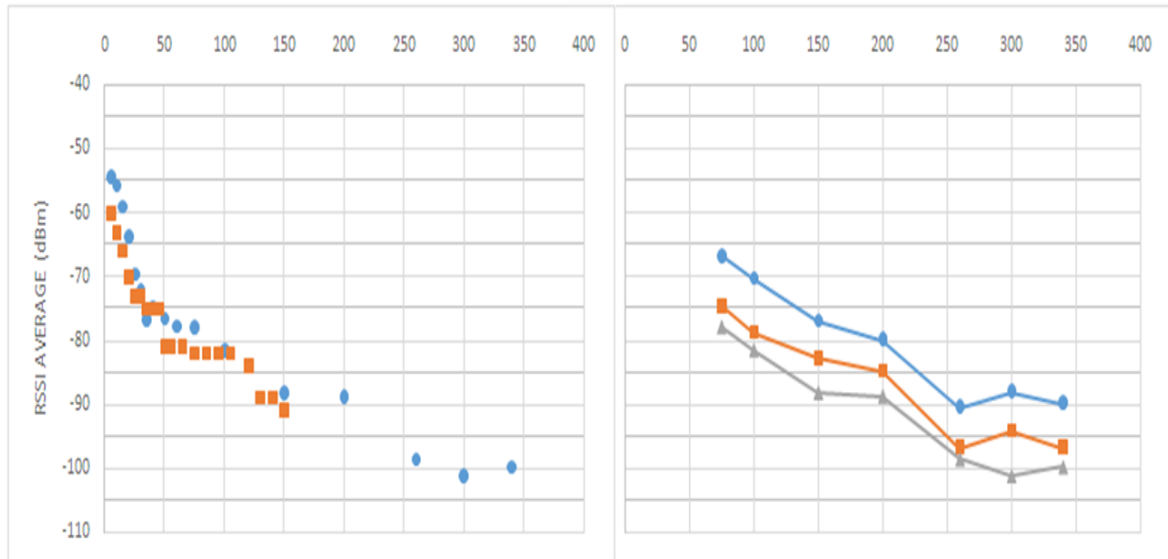
ΑΠΟΣΤΑΣΗ (m)	RSSI AVERAGE (dBm)	LOSSES
75	-66,8	1,6
100	-70,3	1,6
150	-77	0
200	-79,9	0
260	-90,5	0,4
300	-88	0,4
340	-89,8	0

Πίνακας 10



Εικόνα 34:

:Ένδειξη ληφθέντος σήματος συναρτήσει της απόστασης με TX Power 20dBm



Εικόνα 35:

Πάνω αριστερά: ένδειξη ληφθέντος σήματος σε σχέση με την απόσταση για μετάδοση με Lora (μπλε) και WiFi (πορτοκαλί)

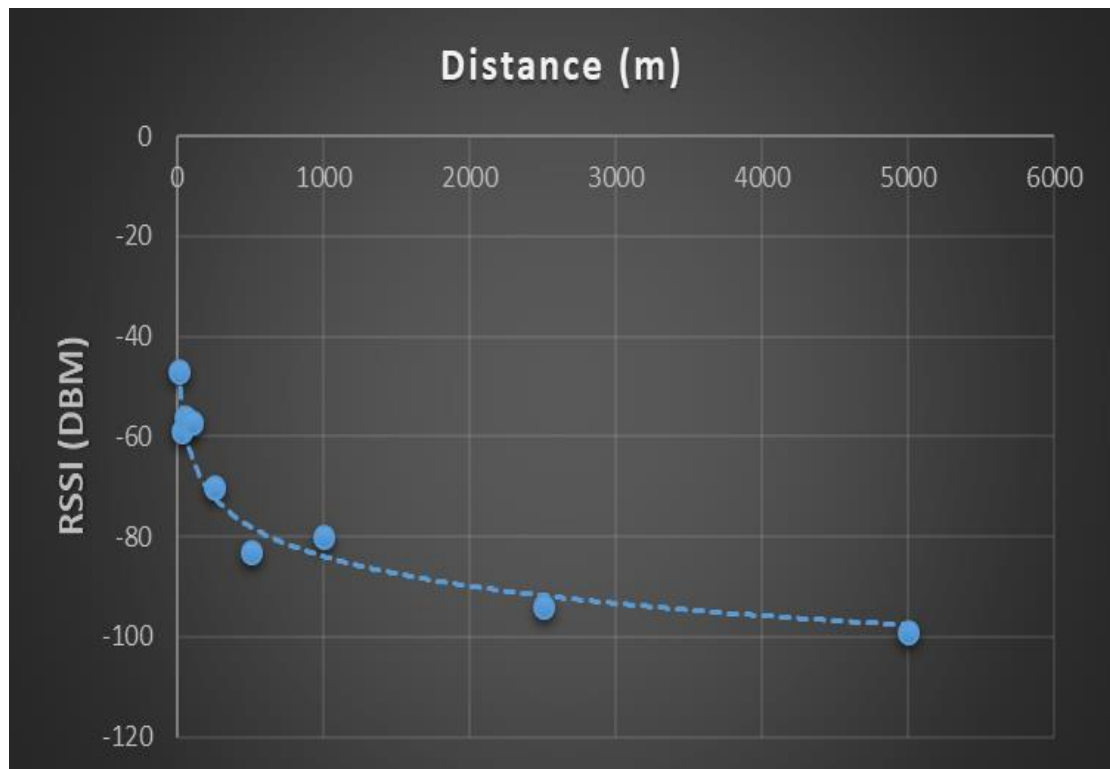
Πάνω δεξιά: ένδειξη ληφθέντος σήματος (RSSI) σε σχέση με την απόσταση για διαφορετικές ισχύς εκπομπής στα 10 (γκρι), 15 (πορτοκαλί) και 20 (μπλε) dBm αντίστοιχα

Πηγή: D.Loukatos, A.Fragkos and K.G.Arvanitis, "Experimental Performance Evaluation Techniques of LoRa Radio Modules in Typical Agricultural Applications", 2019 EFITA-HAICTA-WCCA Congress, Rhodes, Greece, June 27-29, 2019. Paper ID: 278

Ένδειξη ληφθέντος σήματος συναρτήσει της απόστασης με SF = 7 και CR 4/5

TX POWER	SF	BW	CR	DISTANCE (m)	RSSI
10	7	125	4/5	12	-47
10	7	125	4/5	25	-59
10	7	125	4/5	50	-56
10	7	125	4/5	100	-57
10	7	125	4/5	250	-70
10	7	125	4/5	500	-83
10	7	125	4/5	1000	-80
10	7	125	4/5	2500	-94
10	7	125	4/5	5000	-99

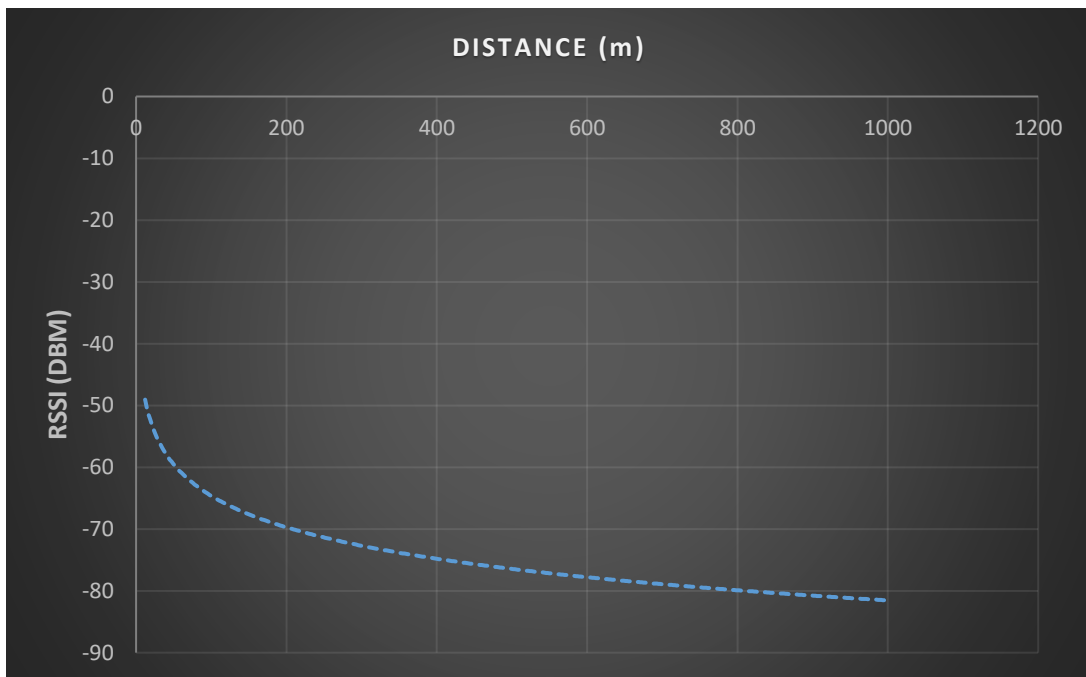
Πίνακας 11



Ένδειξη ληφθέντος σήματος συναρτήσει της απόστασης με SF = 9 και CR 4/5

TX POWER	SF	BW	CR	DISTANCE (m)	RSSI
10	9	125	4/5	12	-52
10	9	125	4/5	25	-59
10	9	125	4/5	50	-55
10	9	125	4/5	100	-57
10	9	125	4/5	250	-70
10	9	125	4/5	500	-81
10	9	125	4/5	1000	-83

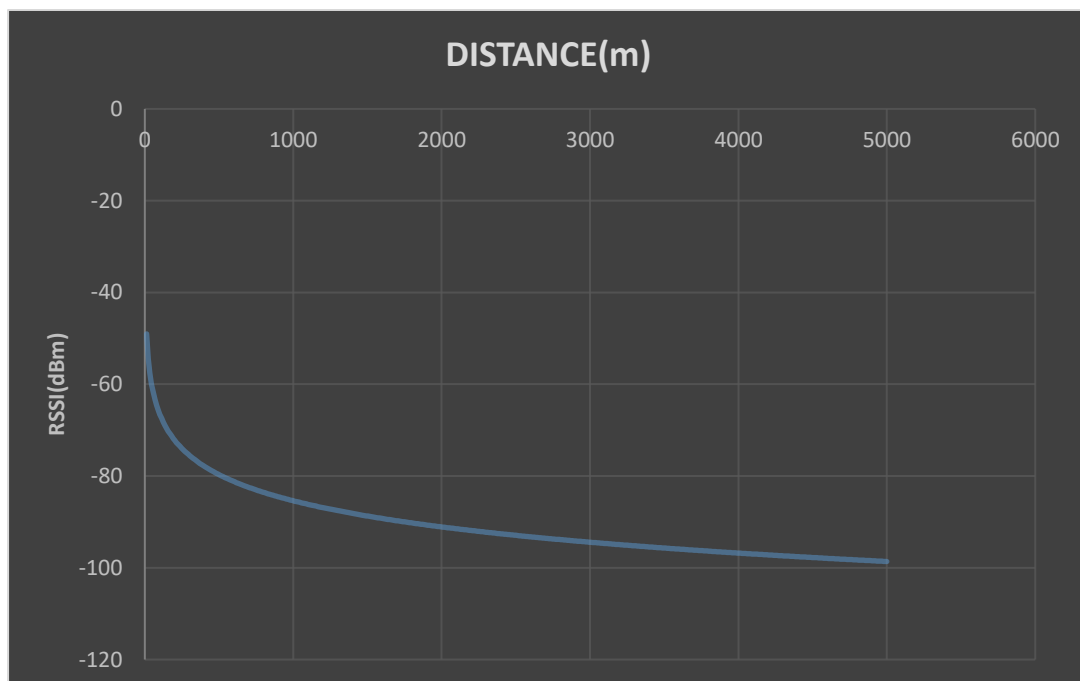
Πίνακας 12



Ένδειξη ληφθέντος σήματος συναρτήσει της απόστασης με SF=11 και CR 4/5

TX POWER	SF	BW	CR	DISTANCE (m)	RSSI
10	11	125	4/5	12	-50
10	11	125	4/5	25	-58
10	11	125	4/5	50	-60
10	11	125	4/5	100	-65
10	11	125	4/5	250	-75
10	11	125	4/5	500	-76
10	11	125	4/5	1000	-82
10	11	125	4/5	2500	-94
10	11	125	4/5	5000	-100

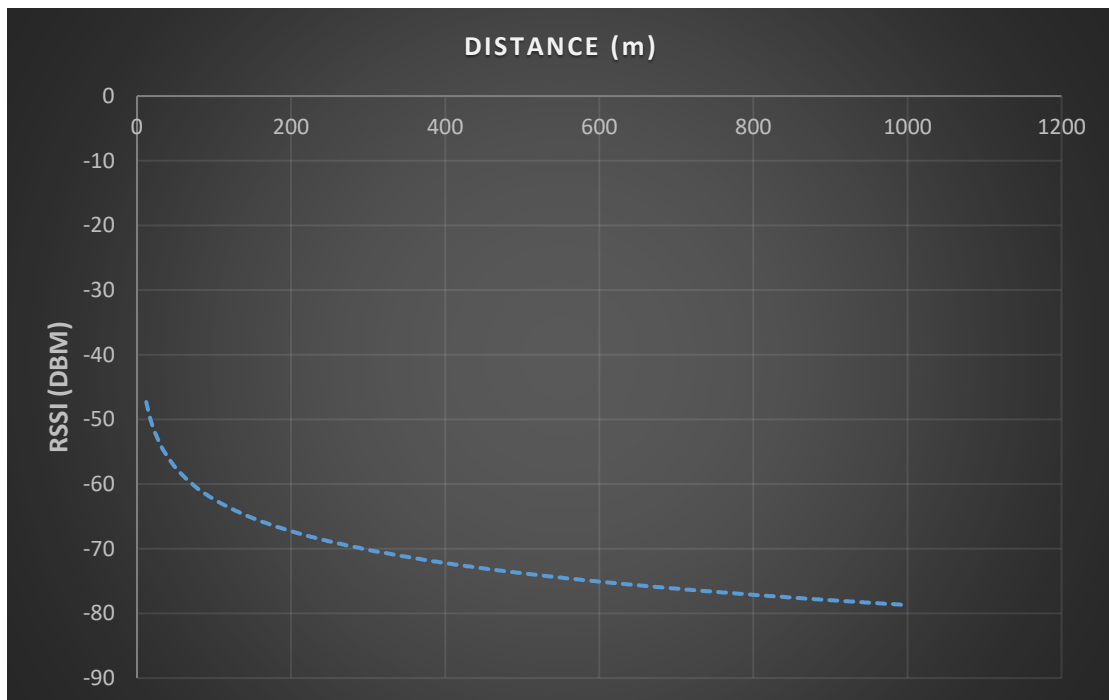
Πίνακας 13



Ένδειξη ληφθέντος σήματος συναρτήσει της απόστασης με SF=7 και CR 4/8

TX POWER	SF	BW	CR	DISTANCE (m)	RSSI
10	7	125	4/8	12	-49
10	7	125	4/8	25	-51
10	7	125	4/8	50	-57
10	7	125	4/8	100	-62
10	7	125	4/8	250	-69
10	7	125	4/8	500	-74
10	7	125	4/8	1000	-79

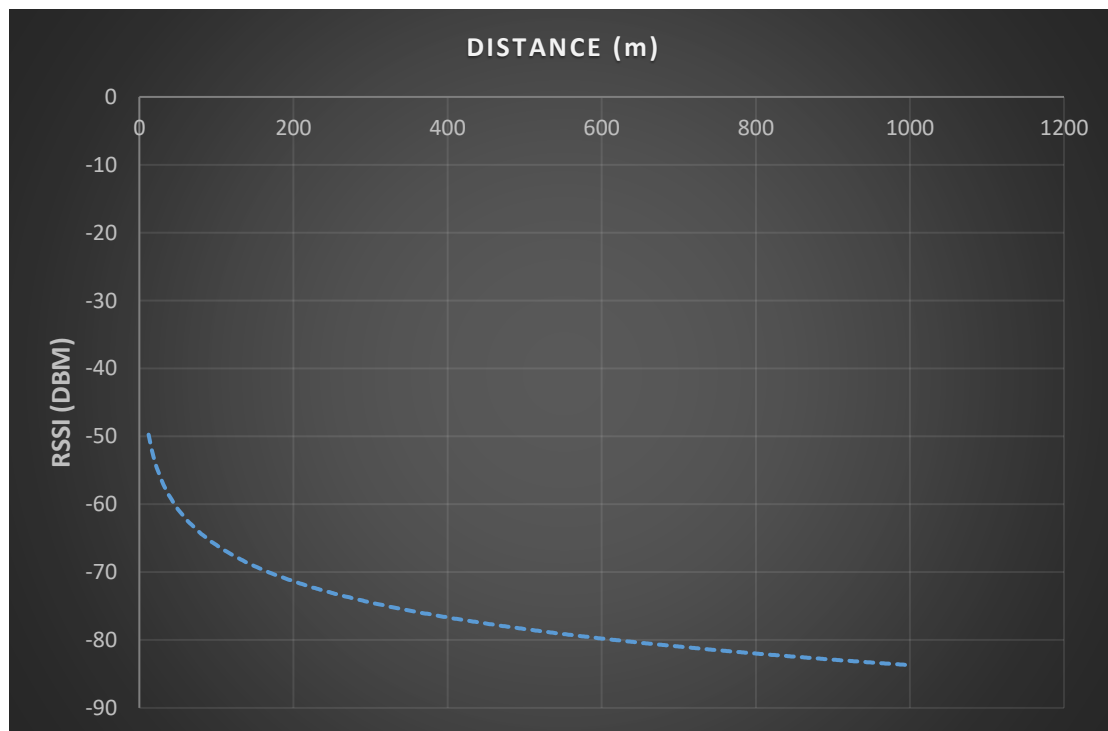
Πίνακας 14



Ένδειξη ληφθέντος σήματος συναρτήσει της απόστασης με SF = 9 και CR 4/8

TX POWER	SF	BW	CR	DISTANCE (m)	RSSI
10	9	125	4/8	12	-50
10	9	125	4/8	25	-59
10	9	125	4/8	50	-60
10	9	125	4/8	100	-59
10	9	125	4/8	250	-73
10	9	125	4/8	500	-84
10	9	125	4/8	1000	-82

Πίνακας 15

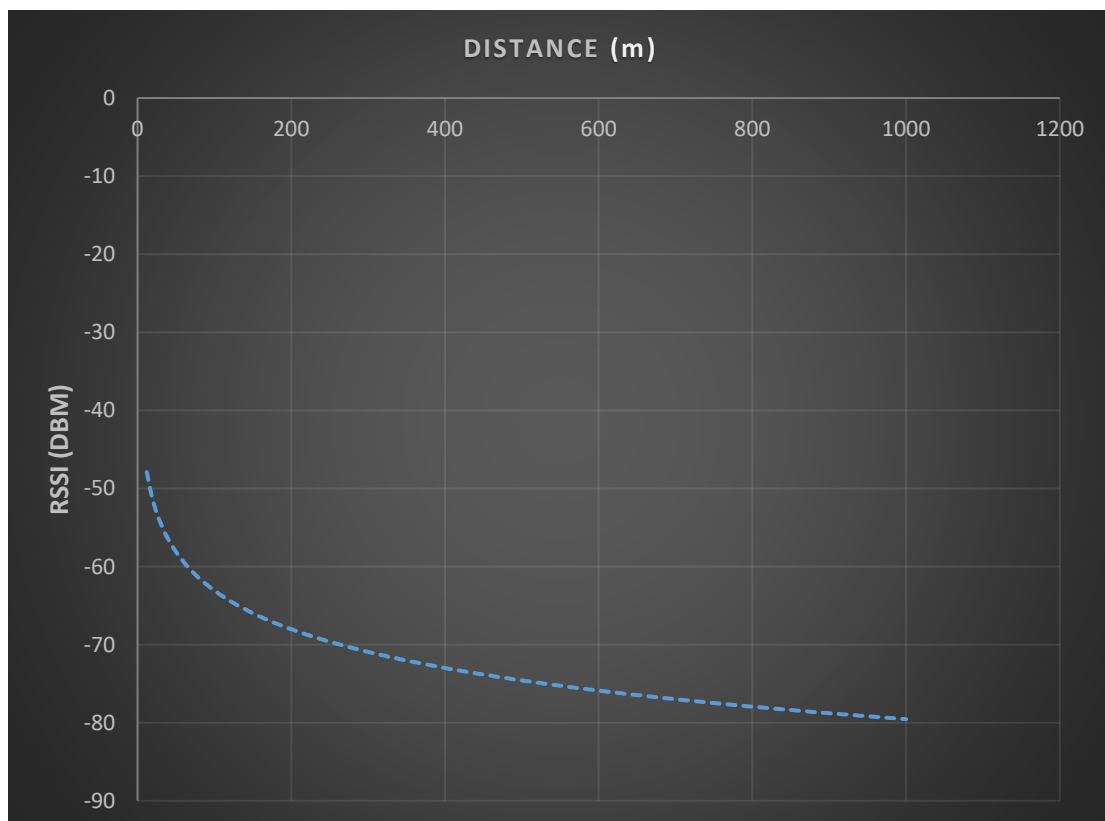




Ένδειξη ληφθέντος σήματος συναρτήσει της απόστασης με SF=11 κ CR=4/8

TX POWER	SF	BW	CR	DISTANCE (m)	RSSI
10	11	125	4/8	12	-44
10	11	125	4/8	25	-55
10	11	125	4/8	50	-63
10	11	125	4/8	100	-60
10	11	125	4/8	250	-73
10	11	125	4/8	500	-72
10	11	125	4/8	1000	-79

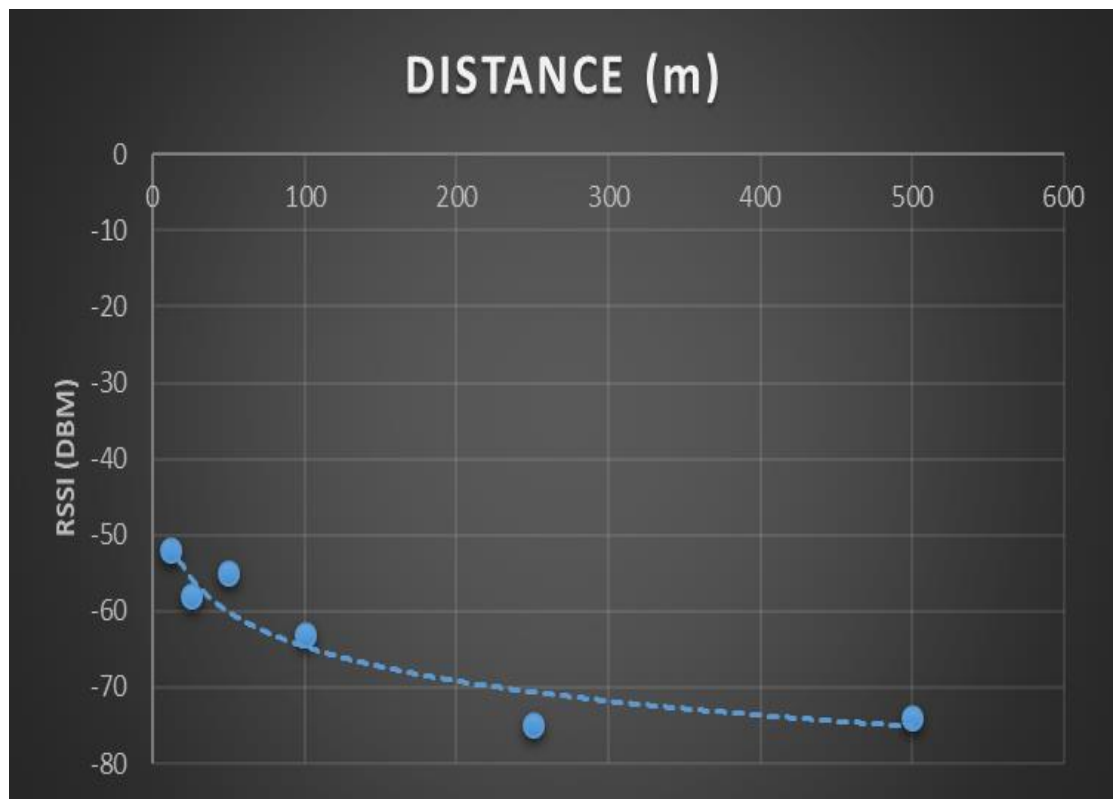
Πίνακας 16



Ένδειξη ληφθέντος σήματος συναρτήσει της απόστασης με SF=7CR 4/5 και  
BW = 250kHz

TX POWER	SF	BW	CR	DISTANCE (m)	RSSI
10	7	250	4/5	12	-52
10	7	250	4/5	25	-58
10	7	250	4/5	50	-55
10	7	250	4/5	100	-63
10	7	250	4/5	250	-75
10	7	250	4/5	500	-74

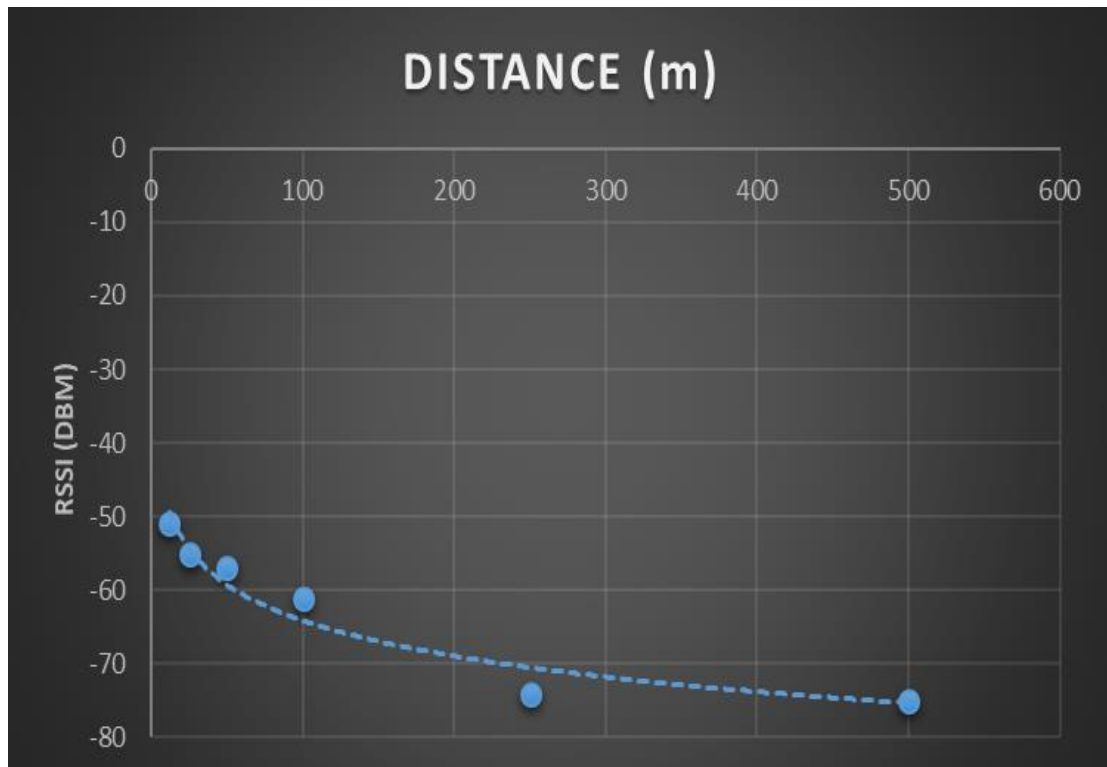
Πίνακας 17



Ένδειξη ληφθέντος σήματος συναρτήσει της απόστασης με SF=9, CR 4/5 και  
BW = 250kHz

TX POWER	SF	BW	CR	DISTANCE (m)	RSSI
10	9	250	4/5	12	-51
10	9	250	4/5	25	-55
10	9	250	4/5	50	-57
10	9	250	4/5	100	-61
10	9	250	4/5	250	-74
10	9	250	4/5	500	-75

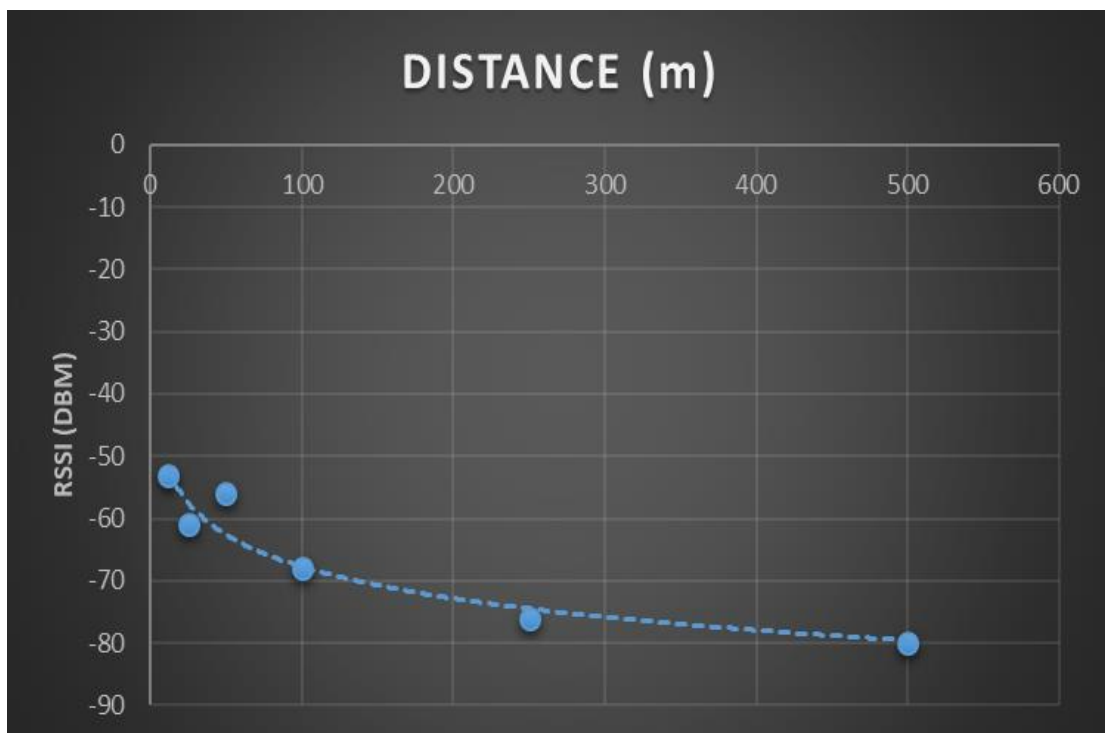
Πίνακας 18



Ένδειξη ληφθέντος σήματος συναρτήσει της απόστασης με SF=11, CR 4/5  
και BW = 250kHz

TX POWER	SF	BW	CR	DISTANCE (m)	RSSI
10	11	250	4/5	12	-53
10	11	250	4/5	25	-61
10	11	250	4/5	50	-56
10	11	250	4/5	100	-68
10	11	250	4/5	250	-76
10	11	250	4/5	500	-80

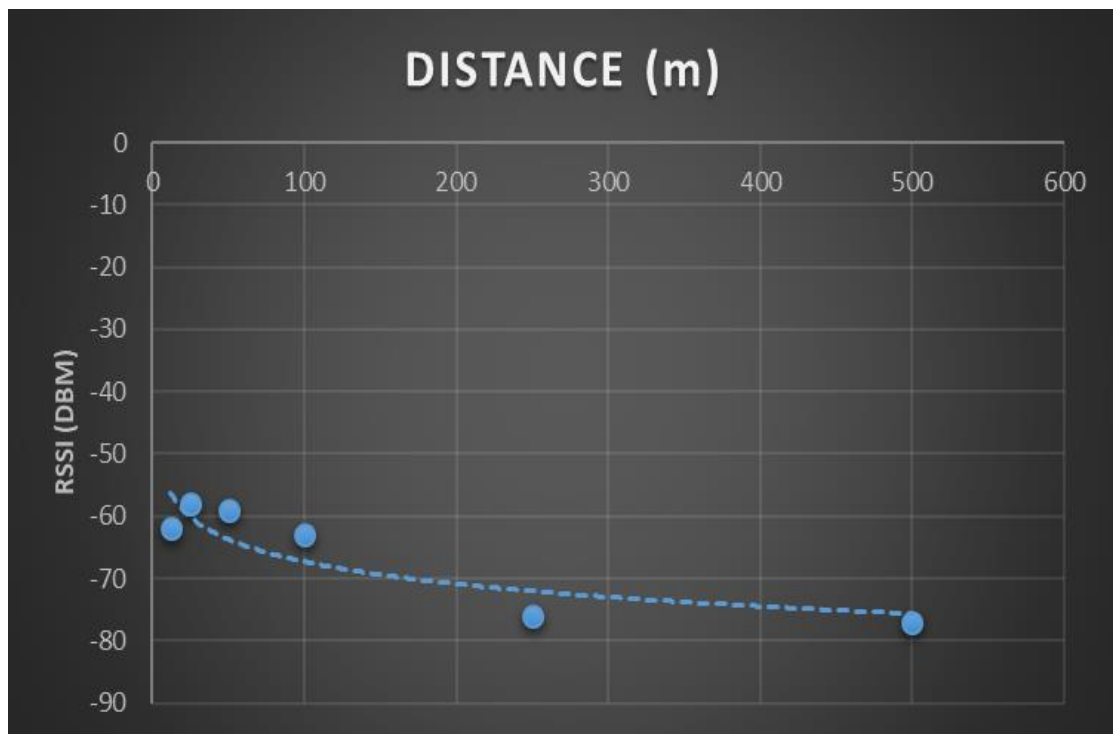
Πίνακας 19



Ένδειξη ληφθέντος σήματος συναρτήσει της απόστασης με SF=7, CR 4/8 και  
BW = 250kHz

TX POWER	SF	BW	CR	DISTANCE (m)	RSSI
10	7	250	4/8	12	-62
10	7	250	4/8	25	-58
10	7	250	4/8	50	-59
10	7	250	4/8	100	-63
10	7	250	4/8	250	-76
10	7	250	4/8	500	-77

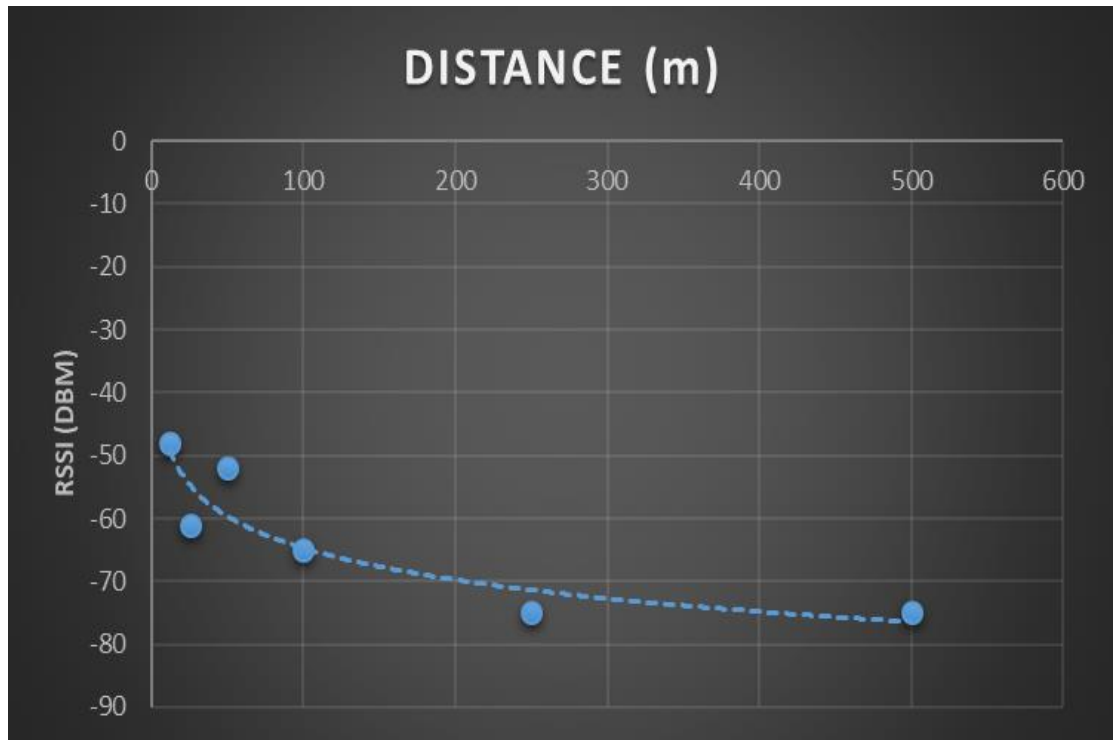
Πίνακας 20



Ένδειξη ληφθέντος σήματος συναρτήσει της απόστασης με SF=9, CR 4/8 και  
BW = 250kHz

TX POWER	SF	BW	CR	DISTANCE (m)	RSSI
10	9	250	4/8	12	-48
10	9	250	4/8	25	-61
10	9	250	4/8	50	-52
10	9	250	4/8	100	-65
10	9	250	4/8	250	-75
10	9	250	4/8	500	-75

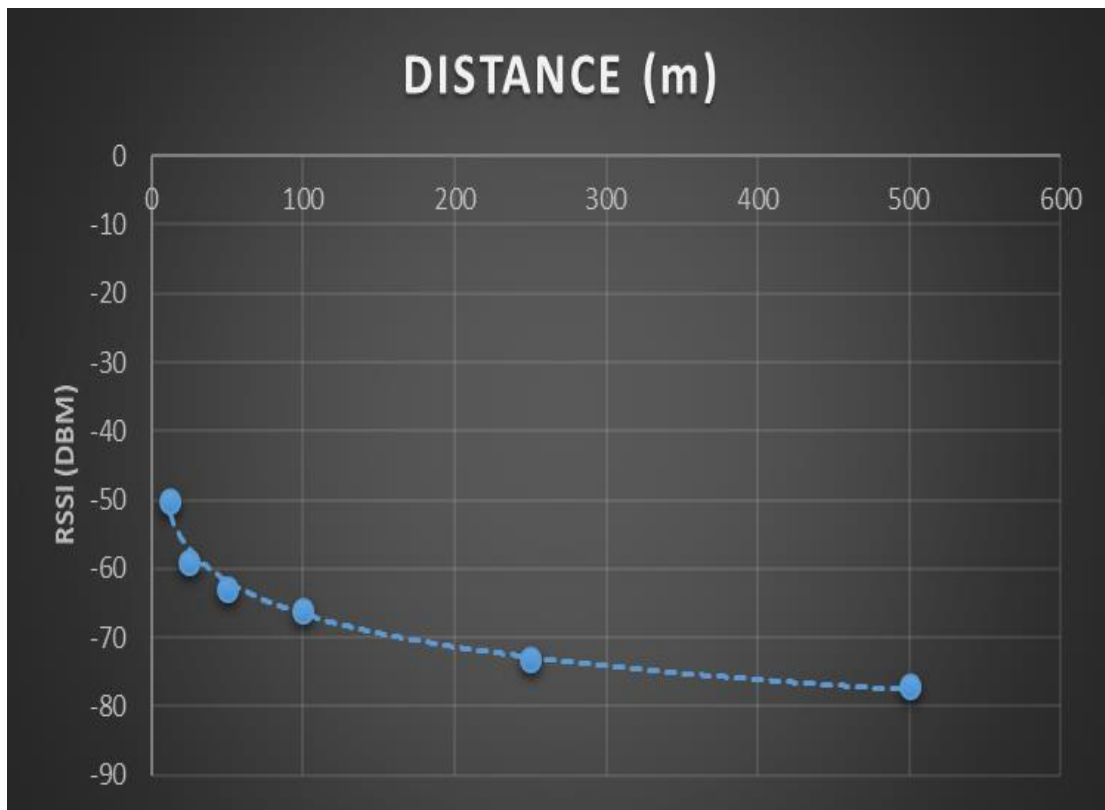
Πίνακας 21



Ένδειξη ληφθέντος σήματος συναρτήσει της απόστασης με SF=11, CR 4/8 και BW = 250kHz

TX POWER	SF	BW	CR	DISTANCE (m)	RSSI
10	11	250	4/8	12	-50
10	11	250	4/8	25	-59
10	11	250	4/8	50	-63
10	11	250	4/8	100	-66
10	11	250	4/8	250	-73
10	11	250	4/8	500	-77

Πίνακας 22



TX POWER	SF	BW	CR	DISTANCE (m)	RSSI	LOSS
10	7	125	4/5	50	-67	0
10	7	250	4/5	50	-128	-1,2
10	7	125	4/8	50	-70	0
10	7	250	4/8	50	-71	0
10	10	125	4/5	50	-71	0
10	10	250	4/5	50	-121	-1,1
10	7	125	4/5	100	-72	0
10	7	250	4/5	100	-78	0,9
10	7	125	4/8	100	-75	0
10	7	125	4/5	250	-84	0
10	7	250	4/5	250	-81	0,8
10	7	125	4/8	250	-74	1,6
10	10	125	4/5	250	-77	0

Πίνακας 22

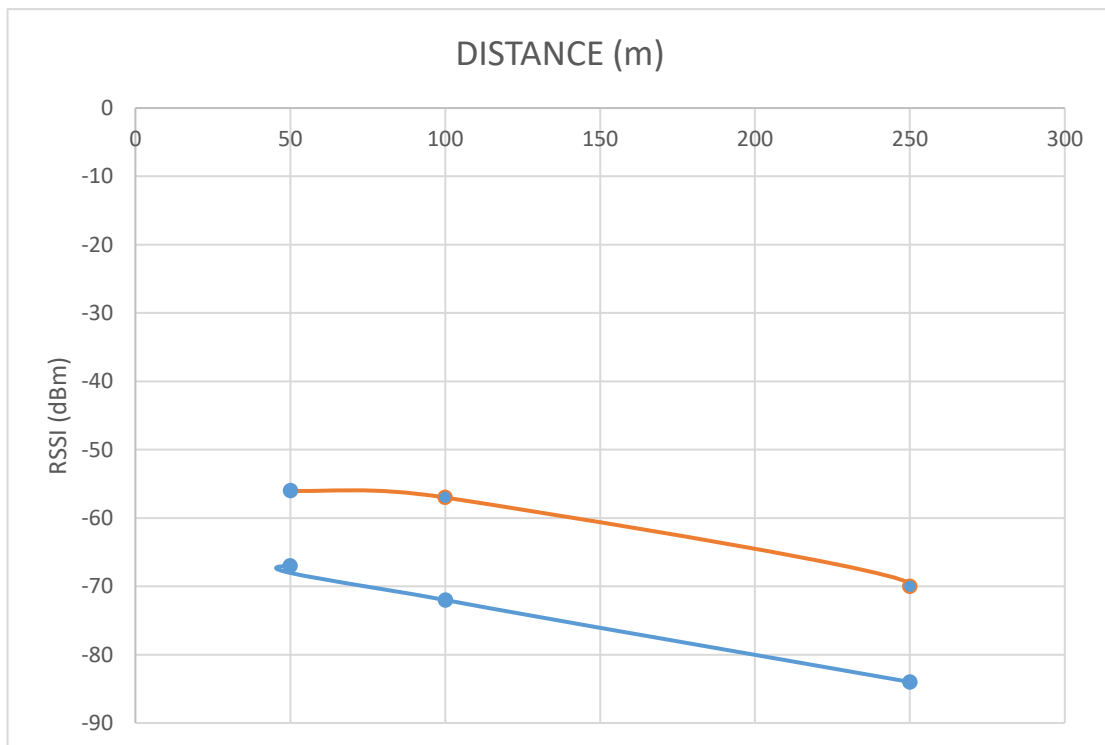
Μετρήσεις σε πυκνή βλάστηση εντός του δενδροκομείου του ΓΠΑ



TP	SF	BW	CR	DIST	RSSI	Κάλυψη τοπίου
10	7	125	4/5	50	-56	ακάλυπτο
10	7	125	4/5	100	-57	ακάλυπτο
10	7	125	4/5	250	-70	ακάλυπτο
10	7	125	4/5	50	-67	πυκνή βλάστηση
10	7	125	4/5	100	-72	πυκνή βλάστηση
10	7	125	4/5	250	-84	πυκνή βλάστηση

Πίνακας 23

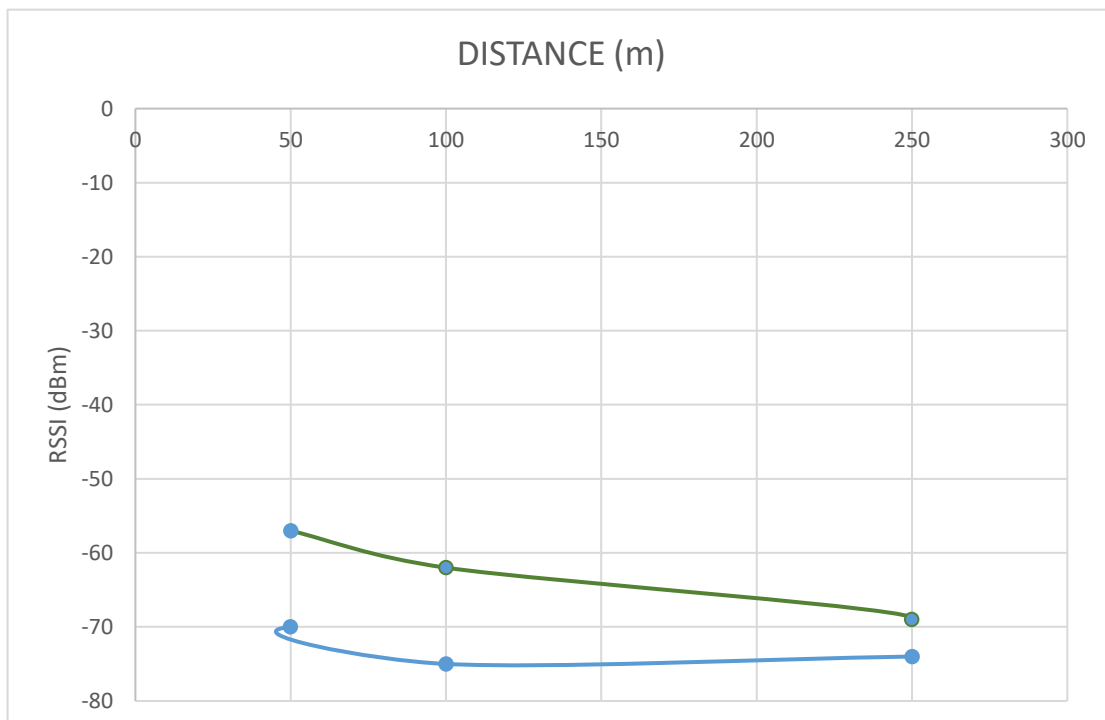
Μετρήσεις του RSSI σε σχέση με απόσταση για διαφορετικό τύπο πεδίου με  
CR = 4/5



TP	SF	BW	CR	DIST	RSSI	Κάλυψη τοπίου
10	7	125	4/8	50	-57	ακάλυπτο
10	7	125	4/8	100	-62	ακάλυπτο
10	7	125	4/8	250	-69	ακάλυπτο
10	7	125	4/8	50	-70	πυκνή βλάστηση
10	7	125	4/8	100	-75	πυκνή βλάστηση
10	7	125	4/8	250	-74	πυκνή βλάστηση

Πίνακας 24

Μετρήσεις του RSSI σε σχέση με απόσταση για διαφορετικό τύπο πεδίου με  
CR = 4/8



## 5.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Οι μετρήσεις που έλαβαν χώρα κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας κατέδειξαν πως μεταβάλλεται η ένδειξη ληφθέντος σήματος (RSSI) σε σχέση με την απόσταση για διαφορετική κάθε φορά ισχύ εκπομπής. Αυξανόμενη της ισχύος εκπομπής επιτυγχάνεται ακόμα μικρότερη ευαισθησία σε μεγαλύτερες αποστάσεις.

Στην εικόνα 30 πάνω δεξιά αποτυπώνονται οι μετρήσεις του RSSI για ισχύ εκπομπής στα 10 dBm (γκρι), στα 15 dBm (κόκκινη) και στα 20 dBm (μπλε) σε αποστάσεις από 50 m έως 350 m. Παρατηρούμε πως οι τρεις τεθλασμένες γραμμές έχουν παρόμοια μορφή. Στην ίδια εικόνα πάνω αριστερά παριστάνονται οι τιμές του RSSI που αναφέρονται στη συσκευή του χρήστη που χρησιμοποιεί LoRa (μπλε σημεία) σε σχέση με την απόσταση από την συσκευή στον αγρό καθώς και το αντίστοιχο σύστημα όταν χρησιμοποιείται πρωτόκολλο Wi Fi (κόκκινα σημεία). Η διασύνδεση με LoRa επαρκεί για επικοινωνία σε μεγαλύτερες αποστάσεις καθώς επιτυγχάνεται επίπεδο ισχύος -140 dBm όταν με το Wi Fi φθάνουμε μέχρι τα -100 dBm.

Στο ζήτημα του ρυθμού απώλειας δεδομένων (αριθμός των λανθασμένα ληφθέντων πακέτων δεδομένων διαιρούμενος με τον συνολικό αριθμό των ληφθέντων πακέτων ) το ποσοστό ήταν αρκετά ικανοποιητικό καθώς δεν ξεπεράστηκε το 4,4 % σε εκπομπή χαμηλής ισχύος (5 dBm) και μειώθηκε ακόμα περισσότερο στο 1,6 % σε εκπομπή μεγαλύτερης ισχύος (20 dBm). Είναι απόλυτα λογικό όταν εργάζομαι στο χαμηλότερο επίπεδο ισχύος των 5 dBm να έχω μεγαλύτερο ποσοστό απωλειών απ'ότι σε εκπομπή μεγαλύτερης ισχύος.

Σε όλες τις μετρήσεις παρατηρούμε πως από κάποια απόσταση και μετά η απόσβεση σήματος εξομαλύνεται γεγονός που σημαίνει πως υπάρχει περιθώριο για ακόμα μεγαλύτερες αποστάσεις από αυτές που δοκιμάσαμε.

Η γεωμετρία του χώρου παίζει σημαντικό ρόλο στην ισχύ του σήματος καθώς μπορεί να δρα αποσβεστικά (παρουσία υποδομών και κτιρίων που διαχέουν το σήμα). Σε ανοιχτό πεδίο η παρουσία δασωμένου τμήματος μείωνε ελαφρώς την ισχύ του σήματος σε σχέση με το ακάλυπτο τμήμα. Δεν παρατηρήθηκαν απώλειες στα απεσταλμένα πακέτα δεδομένων σε καμία από τις δύο περιπτώσεις. Τα σήματα και σε αστικό περιβάλλον και σε ημιαστικό ήταν

αρκετά ισχυρά ακόμα και για μεγάλες αποστάσεις. Καθώς η απόσταση μεγαλώνει η τιμή του RSSI παύει να φθίνει απότομα, εξομαλύνεται και αυτό δείχνει ακριβώς την υπεροχή του LoRa σε μεγάλες αποστάσεις σε σχέση με άλλα πρωτόκολλα επικοινωνίας καθώς το σήμα εξακολουθεί να παραμένει δυνατό. Η μέτρηση στα 5000 μέτρα σε αστικό τοπίο που φαίνεται στους πίνακες αποτυπώνει ξεκάθαρα τις τεράστιες δυνατότητες του πρωτοκόλλου καθώς το σήμα που λάβαμε ήταν ένα σχετικά δυνατό σήμα. Σε συνθήκες πυκνής βλάστησης η τιμή του RSSI μειώνεται κατά 10 dBm περίπου σε σχέση με ακάλυπτο τοπίο. Αυξανόμενου του BW η τιμή του RSSI υποχωρεί όπως προβλέπεται και από την θεωρία.

Το σύστημα των δύο κόμβων LoRa που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα ήταν επαρκές για την εκτέλεση εντολών όπως ενεργοποίηση ηλεκτρικής αντλίας, καταγραφής εδαφικής υγρασίας, άνοιγμα αεραγωγών σε θερμοκήπιο και μπορεί άνετα να χρησιμοποιηθεί για εκτέλεση καθημερινών αγροτικών δραστηριοτήτων. Αν απαιτείται ακόμα πιο ενδεδειγμένη παρακολούθηση πχ video streaming θα χρειαστεί μία ταχύτερη ασύρματη σύνδεση πχ IEEE802.11 που όμως θα είναι πιο απαιτητική σε κατανάλωση ενέργειας.

## 5.5 ΔΙΑΧΥΣΗ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΣΑΣ ΓΝΩΣΗΣ

Μέρος της παρούσης διπλωματικής εργασίας παρουσιάστηκε στο διεθνές συνέδριο EFITA 2019 που πραγματοποιήθηκε στην Ρόδο στις 27-29 Ιουνίου τρέχοντος. Συγκεκριμένα παρουσιάστηκαν δύο εργασίες με τίτλο

*D.Loukatos, A.Fragkos and K.G.Arvanitis, "Experimental Performance Evaluation Techniques of LoRa Radio Modules in Typical Agricultural Applications", 2019 EFITA-HAICTA-WCCA Congress, Rhodes, Greece, June 27-29, 2019. Paper ID: 278. Accepted for presentation*

και

*D.Loukatos, A.Fragkos and K.G.Arvanitis, "Exploiting Voice Recognition Techniques to Provide Farm and Greenhouse Monitoring for Elderly or Disabled Farmers, over WiFi and LoRa Interfaces", 2019 EFITA-HAICTA-*

*WCCA Congress, Rhodes, Greece, June 27-29, 2019. Paper ID:266. Accepted for presentation. To appear in the book: "Bio-economy and Agri-Production: Concepts and Evidence", Elsevier Science, in press, 2020.*

Παράλληλα ζητήθηκε επίσημα από τον γερμανικό εκδοτικό οίκο Springer να συμπεριληφθεί η πρώτη εργασία ως κεφάλαιο σε βιβλίο που θα εκδώσει εντός του 2020 με τίτλο ICT for Agri.

Επιπροσθέτως, ζήτηση υπήρξε και για τη δεύτερη εργασία από τον ολλανδικό εκδοτικό οίκο Elsevier ώστε να συμπεριληφθεί και αυτή με τη σειρά της σε βιβλίο που θα εκδώσει αρχές του 2020 με τίτλο Bio-economy and Agri-production: Concepts and Evidence

## **5.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΟΙΚΤΑ ΘΕΜΑΤΑ**

Το LoRa είναι ένας τύπος ασύρματου πρωτοκόλλου που συνεχώς εξελίσσεται και οι δυνατότητες του είναι τεράστιες και πλήρως επεκτεινόμενες σε διάφορους τομείς. Εδώ θα παρουσιάσουμε τους τομείς εκείνους που μελλοντικά πρόκειται να αποτελέσουν πεδίο εφαρμογής της συγκεκριμένης τεχνολογίας. Αρχικά η δυνατότητα ελέγχου, τηλε-εμποπτείας και τηλεχειρισμού μιας κατοικίας ή ενός κτιριακού συγκροτήματος μπορεί να γίνει εύκολα και απλά μέσω του δικτύου LoRa και θα συμβάλλει στην εξοικονόμηση θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του πλήρους ελέγχου θέρμανσης ανά σώμα και εφαρμογής κατάλληλου φωτισμού. Ταυτόχρονα μπορεί να συμβάλλει και στην ασφάλεια μιας κατοικίας μέσω της πυρανίχνευσης και της ενεργοποίησης αυτόματης κατάσβεσης ενώ η παρακολούθηση του περιβάλλοντος χώρου με άνοιγμα του φωτισμού προκειμένου να δοθεί η εντύπωση ανθρώπων εντός της οικίας αποτρέπει επίδοξους εισβολείς.

Άλλη πιθανή εφαρμογή καθαρά γεωργικού χαρακτήρα είναι η υλοποίηση ενός συστήματος αυτοματισμού κατά το οποίο όταν έχουμε μετρήσεις από διάφορους αισθητήρες να ενεργοποιείται η εκτέλεση ορισμένων προκαθορισμένων κανόνων πχ αν γνωρίζω τις ανάγκες ύδρευσης σε μια

καλλιέργεια το LoRaWAN μπορεί να αντλήσει πληροφορία από αισθητήρες προκειμένου να ρυθμίζει την παροχή νερού σύμφωνα με την βροχόπτωση.

Το χαμηλό εύρος ζώνης σε συνδυασμό με την αντοχή του σήματος σε παρεμβολές και εμπόδια καθιστούν το LoRa την καλύτερη λύση σε ιατρικές εφαρμογές όπως το απομακρυσμένο σύστημα παρακολούθησης ασθενών όπου λαμβάνει χώρα η συνεχής επιτήρηση των ζωτικών οργάνων του ασθενούς, συλλέγονται τα δεδομένα και αποστέλλονται στον γιατρό. Η χαμηλή κατανάλωση ισχύος που επιτρέπει μεγάλο χρόνο ζωής με μικρότερες μπαταρίες, η σύνδεση συσκευών με χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης και η μεγάλη εμβέλεια της ακτίνας λειτουργίας είναι κρίσιμα πλεονεκτήματα. Οι αισθητήρες θα είναι συνδεδεμένοι σε ένα Raspberry Pi μικροϋπολογιστή που αποστέλλει τα δεδομένα σε cloud server για αποθήκευση και περαιτέρω χρήση.

Μία εφαρμογή που βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο είναι ο έλεγχος του φωτισμού μιας πόλης όπου ένα drone (LoRa transceiver) στέλνει τα δεδομένα της εναέριας καταγραφής σε ένα σταθμό βάσης (LoRa receiver) εκμεταλλευόμενοι την μεγάλη εμβέλεια του σήματος. Η επέκταση αυτού του έξυπνου συστήματος στο εθνικό οδικό δίκτυο καθιστούν την παρατήρηση και εποπτεία εύκολη και απλή αλλά συνάμα παρέχουν την δυνατότητα άμεσης επέμβασης σε περίπτωση βλάβης. Το δίκτυο φωτισμού με τον τρόπο αυτό είναι πιο εύκολα διαχειρίσιμο και το κόστος συντήρησης μειώνεται.

## Αναφορές

### ΠΗΓΕΣ-ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Εντοπισμός και Παρακολούθηση Θέσης μέσω Ασύρματων Δικτύων, Γιώργος Γερακάκης, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- Γεωργία Ακριβείας, Σπύρος Φουντάς, Θεοφάνης Γέμτος
- Feasibility of Geolocation and Over The Air Firmware Updates using LoRa Technology, Ελευθέριος Αδαλάκης, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
- Ασύρματες Επικοινωνίες τα Μέσα που επηρεάζουν την ζωή μας, Εσπερινό Γυμνάσιο με Λυκειακές Τάξεις Λιβαδειάς
- Αυτόνομο Όχημα Κινούμενο με την Αναγνώριση Σημάτων Κυκλοφορίας, Ξενικάκης Γεώργιος, Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστικών Συστημάτων, ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΤ
- ΕΞΥΠΝΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ «SMART SENSORS», ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΒΕΡΥΚΟΚΙΔΗΣ ΜΑΝΩΛΗΣ, Τμήμα Ηλεκτρολογίας, Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης
- Γεωργία Ακριβείας στην Φυτική Παραγωγή και Μελέτη Περίπτωσης Μυδοκαλλιέργειας, Πολύχρου Αικατερίνη, Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας
- Οδηγός για το Raspberry PI 3 MODEL B, Ανδρουλάκης Άγγελος, Μανώλης Ιωάννης, Τμήμα Μηχανικών Αυτοματισμού, Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα
- LORA BASED SMART AGRICULTURE SYSTEM, Muhammad Faizan Aziz Khan, School of Information Technologies, TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
- Arduino Uno, 2018. Retrieved in April 2018 from the web site: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3/>
- Bagheri T., 2012. DFMC: decentralized fault management mechanism for cluster based wireless sensor networks, in: Proc. the 2nd International Conference on Digital Information and Communication Technology and its Applications (DICTAP), Bangkok, Thailand.
- BaseHTTPServer, 2018. Retrieved in April 2018 from the web site: <https://wiki.python.org/moin/BaseHttpServer>

- Correia L.H.A., Macedo D.F., dos Santos A.L., Loureiro A.A.F., Nogueira J.M.S., 2007. Transmission power control techniques for wireless sensor networks, *Computer Networks* 51 (17), 4765–4779.
- Jun H. et al., May 2007. Trading latency for energy in densely deployed wireless ad hoc networks using message ferrying, *Journal of Ad Hoc Networks* 5 (4), 444–461.
- LPWAN, 2018. Retrieved in April 2018 from the web site: <https://en.wikipedia.org/wiki/LPWAN>
- LTC4150 coulomb meter, 2018. Retrieved in April 2018 from the web site: <https://www.analog.com/en/products/ltc4150.html>
- Luo J., Hubaux J.-P., 2005. Joint mobility and routing for lifetime elongation in wireless sensor networks, in: *Proc. of IEEE INFOCOM 2005*, Miami, FL.
- MIT App Inventor, 2018. Retrieved in April 2018 from the web site: <http://appinventor.mit.edu/explore/>
- Raspberry pi, 2018. Retrieved in April 2018 from the web site: <https://www.raspberrypi.org/>
- Schurgers C., Tsiatsis V., Ganeriwal S., Srivastava M., 2002. Optimizing sensor networks in the energy-latency-density design space, *IEEE Transactions on Mobile Computing* 1 (1), 70–80.
- TM-195, 3-Axis RF Field Strength Meter, 2018. Retrieved in April 2018 from the web site: <http://www.tenmars.com/web/en-us/TM-195.html>
- Welsh M. and Mainland G., 2004. Programming Sensor Networks Using Abstract Regions, *Proceedings of USENIX NSDI Conf.*
- Xu Y., Heidemann J., Estrin D., 2001. Geography-informed energy conservation for ad hoc routing, in: *Proc. of the 7th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'01)*, Rome, Italy.
- Agrability (2019). Assistive Technology Program for Farmers with Disabilities funded by the USDA, online at: <http://www.agrability.org/about/program/>. Accessed in April 2019.
- App Inventor (2019), MIT App Inventor programming environment. Retrieved in April 2019 from the site: <http://appinventor.mit.edu/explore/>
- Arduino (2019). Arduino Uno board description on the official Arduino site. Retrieved in April 2019 from the site: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>



- FAO (2013) 'Climate-smart agriculture sourcebook', online at: <http://www.fao.org/3/i3325e/i3325e.pdf>. Accessed in April 2019.
- HTTPie (2019), HTTPie: A command line HTTP client. Retrieved in April 2019 from: <https://httpie.org/>
- Krishna, K.R., (2016), 'Push button Agriculture: Robotics, drones, satellite-guided soil and crop management', Apple Academic Press, Oakville, Ontario, Canada. ISBN-13: 978-1-77188-305-4 (eBook - PDF).
- Malik, A.A. and Nizamani, F.R. (2016). 'Speaker Identification Based Home Automation System for Aging populations through Speech Recognition'. In International Journal of Engineering Research and General Science, Vol. 4, Issue 2. ISSN 2091-2730
- LoRa (2019). LoRa protocol description on Wikipedia. Retrieved in April 2019 from: <https://en.wikipedia.org/wiki/LoRa>
- Loukatos, D., Kahn K. and Alimisis D., (2018) 'Flexible Techniques for Fast Developing and Remotely Controlling DIY Robots, with AI flavor', Proceedings of the 'Educational Robotics 2018 (EDUROBOTICS)', Rome, Italy, published by Springer, ISBN 978-3-030-18141-3
- Dimitrios Loukatos, Lambros Sarakis, K. Kontovasilis, C. Skianis, George Kormentzas Tools and Practices for Measurement-based Network Performance Evaluation October 2007
- Kostas Arvanitis, Dimitrios Loukatos, Ioannis Manolopoulos, Evangelia-Sofia Arvaniti, Nick Sigrimis Experimental Testbed for Monitoring the Energy Requirements of LPWAN Equipped Sensor Nodes 6th IFAC Conference on Bio-Robotics (Biorobotics 2018), Paper 164, Beijing, P.R.China, July 13–15, 2018
- Loukatos D., Arvanitis K.G., (2019) "Extending Smart Phone Based Techniques to Provide AI Flavored Interaction with DIY Robots, over Wi-Fi and LoRa interfaces", MDPI – Education Sciences, August 2019, Vol. 9, Issue 3, pp. 224-241, DOI: 10.3390/educsci9030224.
- D.Loukatos, G.Tzaninis, K.G.Arvanitis and N.Armonis, "Investigating Ways to Develop and Control a Multi Purpose and Low Cost Agricultural Robotic Vehicle, under Scale", XXXVIII CIOSTA & CIGR V International Conference, Rhodes, Greece, June 24-26, 2019. Paper ID: 180. Accepted for presentation
- WHO (2011) 'WORLD REPORT ON DISABILITY', online at: [https://www.who.int/disabilities/world\\_report/2011/report.pdf](https://www.who.int/disabilities/world_report/2011/report.pdf). Accessed in April 2019.
- Σχεδίαση και υλοποίηση ασύρματου συστήματος μετάδοσης δεδομένων βασισμένο στο πρωτόκολλο LoRa, Κωνσταντίνος Τζωρτζάκης, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

- Προσομοίωση ασύρματου δικτύου αισθητήρων με εφαρμογή στην γεωργία ακριβείας, Κωνσταντίνος-Ιωάννης Μαγκούφης, Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, Πολυτεχνική Σχολή, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
- Υλοποίηση ασύρματου κόμβου μικρού εύρους ζώνης μεγάλης εμβέλειας για εφαρμογές ακριβείας στη γεωργία, Δόγας Ιωάννης, Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών ΤΕ, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά ΤΤ
- Εξοικονόμηση ενέργειας μέσα από ελεγκτές αισθητήρων για υποδομή IoT επεξεργασίας και ρύθμισης των συνθηκών του αγρού, Σίμου Φλώρα, Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων, Πολυτεχνική Σχολή Σάμου
- Εισαγωγή στον Arduino : Ψηφιακή είσοδος/έξοδος Ιωάννης Καλόμοιρος, Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής, ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας
- D.Loukatos, A.Fragkos and K.G.Arvanitis, "Experimental Performance Evaluation Techniques of LoRa Radio Modules in Typical Agricultural Applications", 2019 EFITA-HAICTA-WCCA Congress, Rhodes, Greece, June 27-29, 2019. Paper ID: 278. Accepted for presentation.
- D.Loukatos, A.Fragkos and K.G.Arvanitis, "Exploiting Voice Recognition Techniques to Provide Farm and Greenhouse Monitoring for Elderly or Disabled Farmers, over WiFi and LoRa Interfaces", 2019 EFITA-HAICTA-WCCA Congress, Rhodes, Greece, June 27-29, 2019. Paper ID:266. Accepted for presentation. To appear in the book: "Bio-economy and Agri-Production: Concepts and Evidence", Elsevier Science, in press, 2020.
- [www.sciencedirect.com/topics/computer-science/received-signal-strength](http://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/received-signal-strength)
- <https://www.zentis.nl/en/blog/LoRa-as-a-means-of-communication-for-medical-devices>
- <https://biztech.gr/iot-internet-tou-uellontos-uas/>
- [http://1lyk-moiron.ira.sch.gr/docs/pr2013-2014/Cloud%20Computing\\_1.pdf](http://1lyk-moiron.ira.sch.gr/docs/pr2013-2014/Cloud%20Computing_1.pdf)

- Εισαγωγή στο διαδικτυακό προγραμματιστικό περιβάλλον ApplInventor [https://codeweek.eu/docs/greece/AppInventor\\_IDE.pdf](https://codeweek.eu/docs/greece/AppInventor_IDE.pdf)
- Internet of Things, Παπασταθοπούλου Αλεξάνδρα, Διπλωματική εργασία Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, Τμήματος Εφαρμοσμένης Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, Φεβρουάριος 2017
- Εφαρμογές έξυπνου φωτισμού σε τοπικό δίκτυο και προσαρμόσιμη λειτουργικότητα, βασισμένου σε τεχνολογία Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων για τους τοπικούς κόμβους και μικρού εύρους ζώνης – μεγάλης εμβέλειας για απομακρυσμένο έλεγχο, Κοντράρος Μιχαήλ, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά Τ.Τ. Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών Τ.Ε.
- Ασύρματες Τεχνολογίες Πρότυπο 802.11, Στεφανία Μουρκογιάννη, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών κ Πληροφορικής, Πάτρα 2016
- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής, Lora Management Platform, Διπλωματική Εργασία, Ποταμιάς Μιχαήλ
- Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, Σχεδιασμός και κατασκευή ολοκληρωμένου συστήματος καταγραφής και παρακολούθησης περιβαλλοντολογικών συνθηκών σε θερμοκήπιο, Γιαννόπουλος Νικόλαος, Διπλωματική εργασία
- ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδος, Σχολή τεχνολογικών εφαρμογών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών ΤΕ, Ανάλυση Μετεωρολογικών Μετρήσεων μέσω αισθητήρων με την χρήση του μικροελεγκτή Arduino, Πτυχιακή εργασία, Δάρμα Σοφία