



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ  
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Εντοπισμός και Πλοήγηση στον Εσωτερικό Χώρο για  
Άτομα με Προβλήματα Όρασης βασιζόμενα στην  
Τεχνολογία των Ραδιοκυμάτων**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ορσαλία Α. Φώκου

Επιβλέπων : Δημήτριος Κουτσούρης  
Καθηγητής

Αθήνα, Ιούνιος 2013





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ  
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

## **Εντοπισμός και Πλοήγηση στον Εσωτερικό Χώρο για Άτομα με Προβλήματα Όρασης βασιζόμενα στην Τεχνολογία των Ραδιοκυμάτων**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΟΡΣΑΛΙΑ Α. ΦΩΚΟΥ

**Επιβλέπων : Δημήτριος Κουτσούρης**  
Καθηγητής

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 13η Φεβρουαρίου 2014.

.....  
Δημήτριος Κουτσούρης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....  
Γεώργιος Ματσόπουλος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....  
Παναγιώτης Τσανάκας  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούνιος 2013

.....  
Ορσαλία Φώκου

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

Copyright © Ορσαλία Φώκου, 2014.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Μια απο τις πιο σημαντικές προκλήσεις στο πεδίο της Βιοϊατρικής Τεχνολογίας αποτελεί ο εντοπισμός και η πλοήγηση ηλικιωμένων ατόμων και/ή ατόμων με προβλήματα όρασης σε ένα άγνωστο εσωτερικό για τον χρήστη χώρο. Η τεχνολογική πρόοδος της τελευταίας δεκαετίας έχει συμβάλλει καθοριστικά στην εμφάνιση πολυάριθμων τεχνολογιών με σκοπό τον ακριβή εντοπισμό και την βέλτιστη πλοήγηση του χρήστη στον εσωτερικό χώρο. Παρ' όλα αυτά, οι έως τώρα προταθείσες τεχνολογίες παρουσιάζουν, είτε τεχνικά προβλήματα, είτε σημαντικές δυσκολίες χρησιμότητας. Στην παρούσα εργασία και αφού επισημάναμε την αναγκαιότητα ύπαρξης ενός τέτοιου συστήματος εντοπισμού και πλοήγησης, προτείνουμε ένα ολοκληρωμένο και προτότυπο σύστημα το οποίο και εφαρμόσαμε σε πραγματικές συνθήκες περιβάλλοντος. Τα αποτελέσματα της μεθόδου καθίστανται εξαιρετικά ικανοποιητικά και ενθαρρυντικά, τόσο για μελλοντικές επεκτάσεις της προτεινομένης τεχνολογίας, όσο και για πιθανή ενσωμάτωση της με ήδη γνωστές. Το αποτέλεσμα που θα προκύψει θα είναι ένα πλήρες σύστημα που μπορεί να συμβάλλει στην ανακούφιση εκατομμυρίων πασχόντων ανα την υφήλιο.

Η παρούσα εργασία χωρίζεται σε 6 ενότητες. Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια εισαγωγή στην θεωρία του τρόπου μετάδοσης σημάτων εσωτερικού και εξωτερικού χώρου με εμβάθυνση στα χαρακτηριστικά εσωτερικού περιβάλλοντος, καθώς και μια σύντομη βιβλιογραφική επισκόπηση μερικών γνωστών τεχνολογιών. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται διεξοδικά η αρχή λειτουργίας συστημάτων ραδιοσυχνοτήτων, ενώ στο τρίτο μελετώνται οι διαφορετικοί αλγόριθμοι εντοπισμού θέσης που συναντώνται στα παραπάνω συστήματα. Στην συνέχεια στο κεφάλαιο τέσσερα παρουσιάζεται μια εκτενής περιγραφή της πλατφόρμας Arduino UNO και στο πέμπτο κεφάλαιο δίνονται επιγραμματικά κάποια πρωτόκολλα επικοινωνίας του Arduino UNO με το δίκτυο. Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία σχεδίασης του συστήματος RFID, αποτελέσματα της μεθόδου, καθώς και φωτογραφίες του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε. Στο παράρτημα που ακολουθεί μπορεί κανείς να βρει βασικά τμήματα των κωδίκων που αναπτύχθηκαν κατά την διάρκεια της εφαρμογής.

## **Λέξεις - Κλειδιά**

Ραδιοσυχνότητες (RFID), άτομα με προβλήματα όρασης, εντοπισμός και πλοήγηση εσωτερικού χώρου, πλατφόρμα Αρντουίνο

## **ABSTRACT**

One of the most important challenges in the field of Biomedical Engineering is the localization and navigation of elderly people and/or people with severe vision problems. The technological advances over the last decade have significantly contributed in the founding of numerous technologies for the need of accurate localization and sufficient navigation of a user in the indoor environment. However, the existing technologies may display either technical problems or important usage issues. In the presented paper and after taking under consideration the necessity of such a localization and navigation system, we propose an integrated and unique system which we tested in real environmental conditions. The outcomes of the particular method turned out to be extremely satisfactory and encouraging, either for future additions in the below presented technology, or for possible embody with other already known systems. Such results are sure to be as integrated as commercially exploited and will contribute in the relief of millions of sufferers around the world.

The paper is divided into 6 chapters. In chapter one an introduction to the theory of signal transmitting in indoor and outdoor environments is presented, with particular attention given to characteristics of indoor signal emitting. In addition a short bibliographic overview of various known technologies is presented in this chapter. In second chapter, the operating principles of radiofrequency systems are analyzed thoroughly, when in the third chapter the different types of localization algorithms used for the above systems are studied. Continuously, a description of the Arduino UNO platform is described in chapter five. At last, the whole designing and constructing methodology of our RFID system is presented in chapter six, along with the outcomes of the system as well as photographs of the equipment that were used. Meanwhile, in the appendix following chapter six, one can find basic segments of the codes that were developed.

## **Keywords**

Radio Frequency Identification (RFID), Visually Impaired People, Indoor Localization and Navigation, Arduino platform

## Ευχαριστίες

Μέσα από τις γραμμές αυτές θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Δημήτριο Κουτσούρη για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα διπλωματικής εργασίας καθώς και για τις γνώσεις που μου προσέφερε ως ακαδημαϊκός δάσκαλος.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να αποδώσω στον κ. Χαράλαμπο Τσίρμπα, υποψήφιο διδάκτορα της σχολής ΗΜΜΥ, για την διαρκή, αμέριστη και παντός καιρού καθοδήγηση που μου παρείχε καθ'όλη την διάρκεια της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Αλέξανδρο Ρόμπα, υποψήφιο διδάκτορα της σχολής ΗΜΜΥ για τις αμερόληπτες συμβουλές και τις εύστοχες παρατηρήσεις του. Στην συνέχεια ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλα τα μέλη του εργαστηρίου Βιοϊατρικής Τεχνολογίας για την ευχάριστη και άψογη συνεργασία μας.

Τέλος, ευχαριστώ εγκάρδια όσους με εμπιστεύτικαν, στήριξαν και ανέχτηκαν κατά το διάστημα εκπόνησης της εργασίας μου. Είναι βέβαιο πως δεν θα μπορούσα να ολοκληρώσω αυτή την εργασία χωρίς την υπερπολύτιμη βοήθειά τους.





# Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
1 ΔΙΑΔΟΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΧΩΡΟ .....	15
1.1 Εισαγωγή στην Μετάδοση πληροφορίας.....	15
1.2 Είδη Ασυρμάτων Ζεύξεων.....	16
1.3 Χαρακτηριστικά διάδοσης.....	19
1.4 Απώλειες στον εσωτερικό χώρο .....	20
1.5 Γνωστές μορφές της ασύρματης τεχνολογίας .....	22
2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ RFID .....	25
2.1 Εισαγωγή στα Συστήματα RFID.....	25
2.2 Αρχές λειτουργίας Συστημάτων RFID .....	26
2.3 Πομποδέκτες.....	27
2.3.1 Κατηγοριοποίηση με βάση την πηγή ενέργειας .....	27
2.3.2 Κατηγοριοποίηση με βάση την δυνατότητα εγγραφής/ανάγνωσης μνήμης .....	29
2.3.3 Κατηγοριοποίηση με βάση την συχνότητα λειτουργίας .....	30
2.3.4 Κατηγοριοποίηση ανάλογα με το μέγεθος και το σχήμα .....	31
2.4 Αναγνώστες.....	32
2.4.1 Υπομονάδες ενός αναγνώστη.....	34
2.4.2 Σύνδεσμολογία κεραιάς για αναγνώστες επαγωγικής σύζευξης κάτω των 135 kHz.....	39
2.4.3 Επίδραση του παράγοντα ποιότητας Q .....	40
2.4.4 Είδη αναγνωστών .....	41
2.5 Παραδείγματα Εφαρμογών.....	41
3 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ.....	43
3.1 Εισαγωγή.....	43
3.2 Τριγωνισμός (Triangulation).....	43
3.2.1 Αλγόριθμος χρονικής στιγμής άφιξης (Time Of Arrival: TOA).....	44
3.2.3 Αλγόριθμος ισχύος λαμβανόμενου σήματος (RSS).....	48
3.2.4 Αλγόριθμος χρονικής διάρκειας μετ' επιστροφής (Roundtrip Time Of Flight: RTOF).....	49
3.2.5 Αλγόριθμος φάσης λαμβανόμενου σήματος (Phase Of Arrival: POA).....	50
3.2.6 Τεχνικές γωνίας κατεύθυνσης ή γωνίας άφιξης σημάτων (Angulation Techniques- Angle Of Arrival: AOA) .....	51
3.3 Ανάλυση τοποθεσίας (Scene Analysis).....	52

3.3.1	Πιθανοτικές μέθοδοι (Propabilistic Methods)	53
3.3.2	k Πλησιέστεροι γείτονες (k Nearest Neighbors: kNN)	55
3.3.3	Νευρωνικά Δίκτυα (Neural Networks)	56
3.3.4	Μηχανή Υποστήριξης Διανυσμάτων (Support Vector Machine: SVM)	57
3.3.5	Ελάχιστο Μ-γωνο (Smallest M-Vertex Polygon: SMP)	57
3.4	Αλγόριθμοι Εγγύτητας (Proximity Algorithms)	58
3.5	Χαρακτηριστικά Απόδοσης	58
4	ARDUINO	60
4.1	Περιγραφή πλατφόρμας UNO και χαρακτηριστικά αυτής	60
4.1.1	Τροφοδοσία	62
4.1.2	Μνήμη	63
4.1.3	Λειτουργίες ακροδεκτών	63
4.2	Arduino Lilypad και άλλοι τύποι Arduino	64
4.3	Waveshield	66
5	ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ARDUINO ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ	68
5.1	Εισαγωγή	68
5.2	Πρωτόκολλα μεταφοράς TCP και UDP	68
5.3	Ethernet	73
6	ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ RFID ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΓΙΑ ΑΤΟΜΑ ΜΕ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΟΡΑΣΗΣ	74
6.1	Εισαγωγή	74
6.2	Σχεδιασμός Συστήματος	75
6.2.1	Ανάλυση συστήματος RFID	75
6.2.2	Τεχνολογία και Συνδεσμολογία Arduino	77
6.2.3	Αλγόριθμος εντοπισμού θέσης και αλγόριθμος Dijkstra	79
6.2.4	Επικοινωνία Arduino με το δίκτυο	80
6.3	Αποτελέσματα	81
6.4	Μελλοντικές προτάσεις	83
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α- ΚΩΔΙΚΕΣ ARDUINO	87
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	99





## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύμφωνα με πληροφορίες που δημοσίευσε ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας πάνω από 246 εκατομμύρια άνθρωποι παγκοσμίως υποφέρουν από προβλήματα όρασης εκ των οποίων τα 39 εκατομμύρια είναι τυφλοί. Το 82% των ανθρώπων που κατατάσσονται στην κατηγορία των τυφλών είναι πάνω από 50 χρόνων [27], ενώ έχει αποδειχτεί επιστημονικά ότι τα προβλήματα όρασης αυξάνονται σημαντικά με την αύξηση της ηλικίας και συγκεκριμένα για ηλικίες άνω των 65 [28].

Οι νευροβιολογικές αλλαγές που σχετίζονται με την ηλικία περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων, νοητικές ασθένειες όπως το Αλτσχάιμερ και η γεροντική άνια. Συγκεκριμένα, ασθένειες που σχετίζονται με μείωση της διανοητικής ικανότητας, έλλειψη μνήμης, αντίληψης και αυτοσυσκέντρωσης δημιουργούν σημαντικό πρόβλημα προσανατολισμού στους ασθενείς [29], με αποτέλεσμα να υφίσταται άμεσος κίνδυνος πιθανής εξαφάνισης ή τραυματισμού τους. Συνεπώς, είναι απαραίτητη η ειδική και συνεχόμενη καθοδήγηση του ασθενούς από τρίτο άτομο καθ'όλη την διάρκεια της ημέρας.

Η καθοδήγηση ενός ηλικιωμένου ατόμου ή ενός ατόμου με προβλήματα όρασης, δεν αφορά μόνο το εξωτερικό περιβάλλον αλλά και τον εσωτερικό χώρο ενός κτιρίου. Το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού (Global Positioning System: GPS) χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό σε εξωτερικό περιβάλλον και η πλοήγηση του βασίζεται σε χρήση δορυφόρου, εφοδιάζοντας τον χρήστη με αξιόπιστες πληροφορίες. Ενώ η πλοήγηση εξωτερικού χώρου έχει πλήρως διερευνηθεί και είναι διαθέσιμη ακόμα και σε αντίξοες συνθήκες καιρού, η πλοήγηση στον εσωτερικό χώρο αποτελεί ένα υπο διερεύνηση τεχνολογικό πεδίο χωρίς σημαντικά αποτελεσματικές λύσεις. Αρκετές καινούργιες τεχνολογίες έχουν προταθεί τα τελευταία χρόνια [30], αλλά οι περισσότερες από αυτές πάσχουν σε ακρίβεια εντοπισμού, υψηλό κόστος εξοπλισμού (για επίπεδο οικιακής χρήσης), περιπλοκότητα εγκατάστασης και λειτουργίας καθώς και απουσία δυναμικής προσαρμοστικότητας σε απότομες αλλαγές του περιβάλλοντος.

Η παρούσα εργασία προτείνει ένα ολοκληρωμένο σύστημα εντοπισμού και πλοήγησης για τον εσωτερικό χώρο, που αποσκοπεί στο να βοηθήσει όσους έχουν ανάγκη καθοδήγησης. Μια από τις προκλήσεις που μας τέθηκαν ήταν να ξεπεράσουμε τα προβλήματα ακρίβειας και δυναμικής προσαρμοστικότητας που προκύπτουν σε εσωτερικά περιβάλλοντα. Λαμβάνοντας υπόψη τις προαναφερθείσες προϋποθέσεις και σε συνδυασμό με μια πρωτότυπη εφαρμογή στον τομέα του εντοπισμού, αναπτύξαμε και δοκιμάσαμε το σύστημα μας σε πραγματικές συνθήκες περιβάλλοντος.



# 1 ΔΙΑΔΟΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΧΩΡΟ

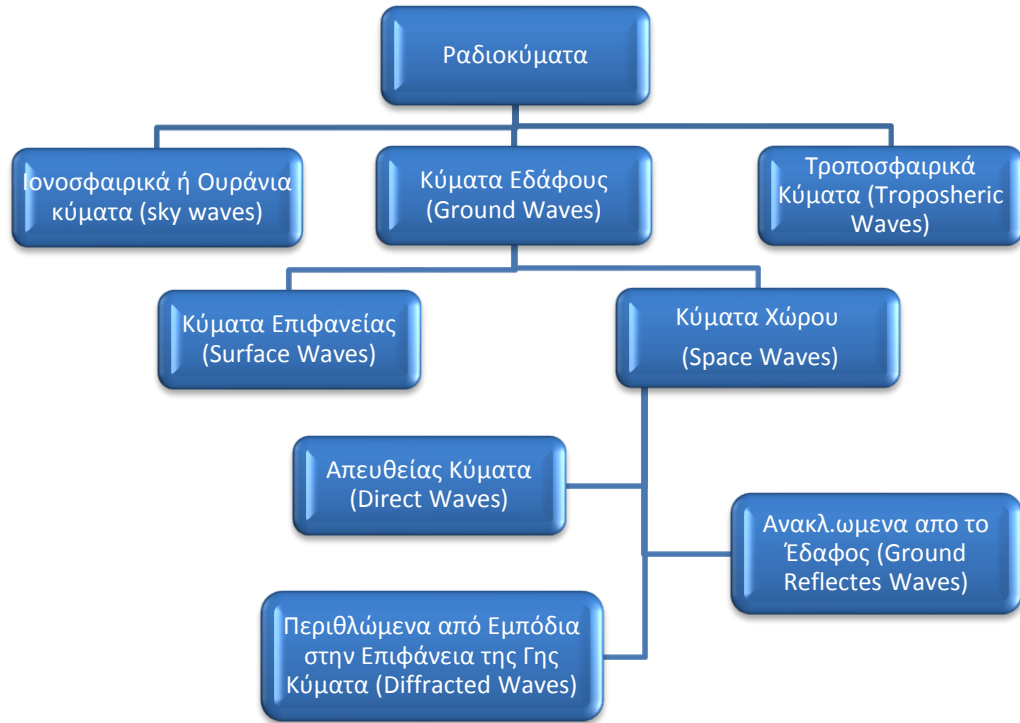
## 1.1 Εισαγωγή στην Μετάδοση πληροφορίας

Η πληροφορία μεταδίδεται υπο την μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που καθώς αυτά οδεύουν από μια κεραία πομπού σε μια κεραία δέκτη μεταφέρουν Ηλεκτρομαγνητική ενέργεια. Τα Η/Μ κύματα χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με την συχνότητα τους και τον τρόπο διάδοσής τους. Διαφορετικές εφαρμογές και υπηρεσίες χρησιμοποιούν και διαφορετική ζώνη συχνοτήτων Η/Μ κυμάτων όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Μπάντα	Συντομογραφία	Συχνότητα	Χρήση
Άκρως χαμηλές συχνότητες	ELF	3-30 Hz	Υπόηχοι
Λίαν χαμηλές Συχνότητες	SLF	30-300 Hz	Επικοινωνία υποβρυχίων
Υπερχαμηλές Συχνότητες	ULF	300-3000 Hz	Συχνότητες φωνής, υπέρηχοι
Πολύ Χαμηλές Συχνότητες	VLF	3-30 kHz	Ραδιοφωνία AM, Ερασιτεχνική
Χαμηλές Συχνότητες	LF	30-300 kHz	ραδιοφωνία, Στρατιωτικές και ναυτιλιακές
Μεσαίες Συχνότητες	MF	300-3000 kHz	εφαρμογές,αεροναυτικές
Υψηλές Συχνότητες	HF	3-30 MHz	επικοινωνίες,ραδιοφάρμοι, ιατρικά εμφυτεύματα, CB, ραδιοτηλετυπία
Πολύ Υψηλές Συχνότητες	VHF	30-300 MHz	Ραδιοφωνία,Τηλεόραση, Ερασιτεχνική
Υπερυψηλές Συχνότητες	UHF	300-3000 MHz	ραδιοφωνία,αμυντικά συστήματα
Λίαν Υψηλές Συχνότητες	SHF	3-30 GHz	Ραδιοφωνία,Τηλεόραση,WLAN, radar, PMR, μικροκυματικοί
Άκρως Υψηλές Συχνότητες	EHF	30-300 GHz	αναμεταδότες, κινητά τηλέφωνα, DECT, GPS
Χιλιοστομετρικά Κύματα		300-3000 GHz	Ραδιοφωνία, radar, μικροκυματικοί αναμεταδότες, σταθερή δορυφορική, MVDS
Υπέρυθρο		3 THz- 400 THz	Νυκτερινή όραση, θερμογραφία, υπέρυθρη επικοινωνία IrDA, φασματοσκοπία, θέρμανση
Ορατό Φως		400 THz-700 THz	Ορατή ακτινοβολία από το ορατό έως το ιώδες
Υπεριώδες	UV	700 THz-30 PHz	Black lights, λάμπες φθορίου, ανιχνευτές φωτιάς, εντομοκτόνα
Ακτίνες Χ		30 PHz- 3 EHz	Ακτινογραφίες, ανίχνευση ασθeneιών, ραδιοθεραπεία
Ακτίνες Γ		>2.42 EHz	Αποστείρωση εργαλείων, θεραπεία τύπων καρκίνου, πυρηνική ιατρική

Πίνακας 1.1 Ζώνες Συχνότητας

Ο τρόπος διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στην ατμόσφαιρα και στον ελεύθερο χώρο μπορεί να υποδιαιρεθεί σε τρεις κατηγορίες διάδοσης: κύματα εδάφους (ground waves), κύματα χώρου ή αλλιώς ουράνια κύματα (sky waves) και τροποσφαιρικά κύματα που είναι επίσης γνωστά ως κύματα οπτικής επαφής (line-of-sight: LOS).[23]



Σχήμα 1.1 Κατηγορίες Η/Μ κυμάτων [2]

## 1.2 Είδη Ασυρμάτων Ζεύξεων

Η διάδοση ραδιοκυμάτων μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους, είτε ενσύρματα, είτε ασύρματα. Η ενσύρματη μετάδοση χρησιμοποιεί μέσα όπως γραμμές μεταφοράς, κυματοδηγούς ή οπτικές ίνες και επιλέγεται κυρίως στις τηλεπικοινωνίες σταθερών διασυνδέσεων, δηλαδή όταν οι τερματικοί σταθμοί είναι τοπολογικά, σταθερά σημεία. Η ενσύρματη διάδοση παρουσιάζει ως βασικό μειονέκτημα την απόσβεση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος που διαδίδεται κατά μήκους αυτού. Η απόσβεση ακολουθεί

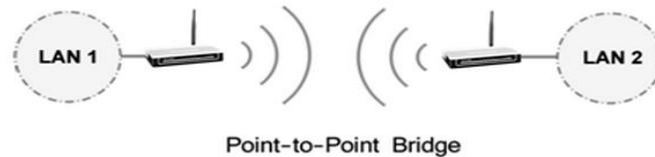


εκθετική μορφή καθώς αυξάνεται η απόσταση πηγής και τερματικού. Μεγάλης σημασίας είναι και το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας. Σε περιπτώσεις ενσύρματων δικτύων επικοινωνιών όπου δεν πληρούνται οι προϋποθέσεις ενός ευνοϊκού περιβάλλοντος, καταλαβαίνουμε ότι το κόστος υλοποίησης μιας ενσύρματης εγκατάστασης μπορεί να καταστεί ακόμα και απαγορευτικό[1].

Η ασύρματη διάδοση γίνεται όπως ορίζει και ο όρος «ασύρματα» μεταξύ ενός πομπού που εκπέμπει την πληροφορία και ενός δέκτη, που την λαμβάνει. Παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα έναντι της ενσύρματης μετάδοσης όπως είναι ο θόρυβος, οι παρεμβολές, η διάδοση πολλαπλών διαδρομών και φυσικά η παρεμπόδιση από ανθρώπινες και φυσικές κατασκευές, τα οποία θα συζητηθούν στην επόμενη υποενότητα[2].

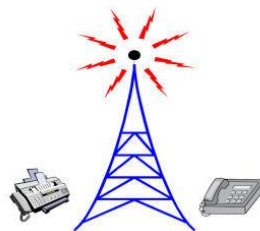
Οι ασύρματες ζεύξεις μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- **Ζεύξεις σημείου προς σημείο** (point-to-point, P2P) όπου η επικοινωνία γίνεται μεταξύ δύο κόμβων ή δύο τερματικών όπως για παράδειγμα στις σταθερές τηλεπικοινωνίες.



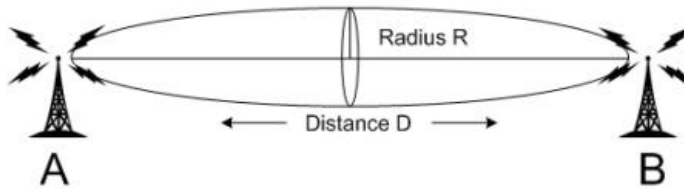
Σχήμα 1.2.1 Ζεύξη σημείου προς σημείο

- **Ζεύξεις ευρείας κάλυψης** (ή αλλιώς broadcasting), όπου το σήμα εκπέμπεται προς όλα τα πιθανά τερματικά που βρίσκονται εντός της γεωγραφικής εμβέλειας του πομπού, όπως είναι το ραδιόφωνο.



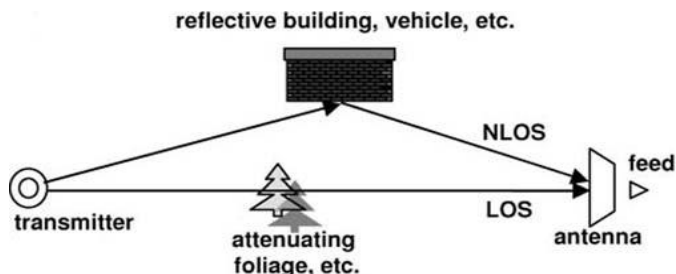
Σχήμα 1.2.2 Ζεύξη ευρείας κάλυψης

- **Ζεύξεις οπτικής επαφής** (Line Of Sight LOS), ζεύξεις όπου το ηλεκτρομαγνητικό κύμα διαδίδεται σε «σχεδόν» ευθεία (σχεδόν διότι η διάδοση περιορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την διάθλαση). Μεταξύ πομπού και δέκτη υπάρχει οπτική επαφή, δηλαδή το σήμα φτάνει στο δέκτη χωρίς να βρίσκει σε εμπόδια.



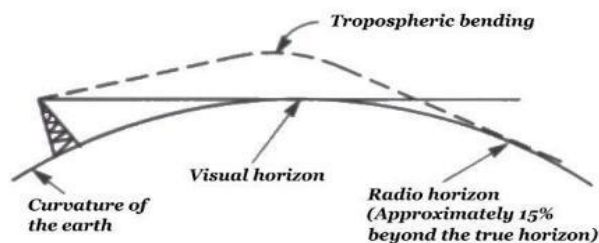
Σχήμα 1.2.3 Ζεύξη οπτικής επαφής

- **Ζεύξεις μη οπτικής επαφής (No Line Of Sight - NLOS)**, όπου η διάδοση κατά κύριο λόγο οφείλεται σε ανακλάσεις, διαθλάσεις και περιθλάσεις, όπως για παράδειγμα στις κινητές τηλεπικοινωνίες.



Σχήμα 1.2.4 Ζεύξη μη οπτικής επαφής

- **Ζεύξεις πέραν του ορίζοντα (over the horizon)**, όπου η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη είναι αρκετά μεγάλη ώστε να περιορίζεται από την καμπυλότητα της γης καθώς και των κατώτερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας. Αποτελεί περίπτωση μη οπτικής επαφής, όπως είναι οι δορυφορικές επικοινωνίες.



Σχήμα 1.2.5 Ζεύξη πέρα του ορίζοντα

### 1.3 Χαρακτηριστικά διάδοσης

- **Είδος κεραίας:** Υπάρχουν πολλές κατηγορίες κεραιών ανάλογα με την εφαρμογή που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε. Για παράδειγμα, οι διπολικές κεραιές, λειτουργούν σε εύρος συχνοτήτων 2 MHz έως 4GHz, οι χοανοειδής κεραιές λειτουργούν σε συχνότητα άνω του 1 GHz και οι κεραιές βρόχου. Κάθε κεραία έχει τα δικά της χαρακτηριστικά διάδοσης και πρέπει να μελετηθεί κάθε μια ξεχωριστά για να επιλεγεί ποια είναι κατάλληλη για την εφαρμογή που μας ενδιαφέρει. Στις τηλεπικοινωνίες και την μεταφορά δεδομένων υπάρχουν διάφοροι άλλοι τύποι κεραιών όπως οι κεραιές ευρείας ζώνης[3].
- **Πυκνότητα ισχύος:** Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα μεταφέρουν πληροφορία και κατ'επέκταση ισχύ και ενέργεια. Η ισχύς ενός Η/Μ κύματος περιγράφεται από το διάνυσμα Poynting και μπορεί να βρεθεί υπο την μορφή στιγμιαίας ή μέσης πυκνότητας ισχύος. Θεωρείται ένα από τα σημαντικότερα μεγέθη στην θεωρία των κεραιών αφού μπορούμε να εξάγουμε πολλές πληροφορίες για το σύστημά μας και την απόδοσή του αν ξέρουμε την ισχύ που ακτινοβολείται από μια κεραία. Επίσης χαρακτηριστικά διαγράμματα, τα λεγόμενα διαγράμματα ισχύος, παριστάνουν το μέτρο της μέσης πυκνότητας που ακτινοβολείται συναρτήσει της διεύθυνσεως. Τα διαγράμματα αυτά είναι σημαντικά στην εκτίμηση της απολαβής μιας κεραίας, της κατευθυντικότητας της καθώς και στην αποτίμηση διαφόρων άλλων χαρακτηριστικών που αφορούν την ποιότητα της μετάδοσης.
- **Ένταση εκπεμπόμενης ακτινοβολίας:** Η ισχύς που ακτινοβολείται από μια κεραία ανά μονάδα επιφανείας σε μία ορισμένη διεύθυνση ονομάζεται ένταση ακτινοβολίας (radiation intensity) και είναι ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης της κεραίας από το επιθυμητό σημείο για το οποίο γίνεται η μέτρηση[14].
- **Κατευθυντικότητα:** Ορίζεται ως ο λόγος της έντασης ακτινοβολίας από μια κεραία σε μια δεδομένη διεύθυνση, προς την μέση ένταση ακτινοβολίας που εκπέμπεται συνολικά προς όλες τις κατευθύνσεις. Αν η διεύθυνση μέγιστης έντασης ακτινοβολίας ληφθεί υπόψη τότε βρίσκουμε την μέγιστη κατευθυντικότητα, η οποία είναι πάντα μεγαλύτερη της μονάδας και αποτελεί μια σχετική «εικόνα» ποιότητας των κατευθυντικών ιδιοτήτων της κεραίας. Οι ιστροπικές κεραιές, δηλαδή οι πηγές που εκπέμπουν ισχύ ακτινοβολίας εξίσου προς όλες τις κατευθύνσεις έχουν κατευθυντικότητα ίση με την μονάδα.
- **Απολαβή κεραίας:** Είναι ένα μέγεθος που περιγράφει την επίδοση μιας κεραίας και σχετίζεται με την κατευθυντικότητά της. Χωρίζεται στην απόλυτη (absolute gain) και την σχετική απολαβή (relative gain). Η απόλυτη ορίζεται ως ο λόγος της έντασης σε μια δεδομένη διεύθυνση, προς την ένταση που θα προέκυπτε αν η κεραία ακτινοβολούσε ιστροπικά την ισχύ που δέχεται. Ενώ η σχετική απολαβή ορίζεται ως ο λόγος της απολαβής ισχύος σε μια δεδομένη διεύθυνση, προς την απολαβή ισχύος μιας κεραίας

αναφοράς στην αναφερόμενη διεύθυνση. Όταν δεν προσδιορίζεται η διεύθυνση, η απολαβή ισχύος λαμβάνεται κατά την διεύθυνση της μέγιστης ακτινοβολίας.

- **Ενεργός επιφάνεια:** Ορίζεται ως ο λόγος της διαθέσιμης ισχύος στους ακροδέκτες μιας κεραίας λήψης, προς την πυκνότητα ροής ισχύος ενός επιπέδου κύματος που προσπίπτει στην κεραία από την διεύθυνση αυτή, με την προϋπόθεση ότι η πόλωση είναι προσανατολισμένη με την πόλωση της κεραίας. Για περιπτώσεις κατά τις οποίες η διεύθυνση δεν προσδιορίζεται λαμβάνεται υπόψη η διεύθυνση μέγιστης ακτινοβολίας [14].
- **Εύρος ζώνης:** Αποτελεί την περιοχή συχνοτήτων εκατέρωθεν της κεντρικής όπου τα χαρακτηριστικά της κεραίας έχουν μια τιμή αποδεκτή σε σχέση με την τιμή τους στην κεντρική συχνότητα. Κάθε κεραία έχει τα δικά της χαρακτηριστικά που δεν μεταβάλλονται αναγκαστικά με τον ίδιο τρόπο και άρα δεν υπάρχει μοναδικότητα ως προς την συμπεριφορά της με την συχνότητα. Κάθε περίπτωση υπηρετεί τις ανάγκες της συγκεκριμένης εφαρμογής και έχει τις δικές της προδιαγραφές[14]. Για κεραίες ευρείας ζώνης, το εύρος ζώνης εκφράζεται ως ο λόγος των δύο ακραίων συχνοτήτων του (5:1 υπονοεί ότι η υψηλότερη συχνότητα είναι πενταπλάσια της χαμηλότερης). Για κεραίες στενής ζώνης, το εύρος ζώνης εκφράζεται ως ποσοστό της κεντρικής συχνότητάς του (5% υπονοεί ότι η διαφορά της χαμηλότερης από την υψηλότερη συχνότητα είναι το 5% της κεντρικής συχνότητας)[1]. Τα τελευταία χρόνια έχουν σχεδιαστεί κεραίες με μεγάλο εύρος ζώνης που αναφέρονται ως κεραίες ανεξάρτητες από την συχνότητα. Βεβαίως, η σύζευξη καθώς και το μέγεθος της κεραίας υποτίθεται ότι δεν μεταβάλλονται όσο μεταβάλλεται η συχνότητα[14].

#### 1.4 Απώλειες στον εσωτερικό χώρο

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του εσωτερικού χώρου καθιστούν την μοντελοποίηση του τρόπου διάδοσης του σήματος σε αυτό πιο δύσκολη σε σχέση με τον εξωτερικό χώρο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το εσωτερικό περιβάλλον χαρακτηρίζεται ως τυχαία διαμορφούμενο και απρόβλεπτο, αφού οι σκεδαστές του εκτός από την τυχαία τοποθέτηση τους, μπορεί να κινούνται, όπως οι άνθρωποι, ή να είναι σταθεροί όπως οι τοίχοι και τα πατώματα. Σε κάθε περίπτωση όμως το διαδιδόμενο σήμα υπόκεινται αναγκαστικά σε εξασθένηση λόγω μακροχρόνιων διαλείψεων από το τυχαίο περιβάλλον και βραχυχρόνιων διαλείψεων λόγω πολλαπλών διαδρομών[22]. Γι'αυτό τα περισσότερα μοντέλα μέσης τιμής απωλειών διάδοσης για εσωτερικούς χώρους είναι εμπειρικά [2].

Η εξασθένηση του σήματος στον εσωτερικό χώρο, κατά ένα μεγάλο βαθμό οφείλεται στο χωρικό φαινόμενο των πολλαπλών διαδρομών. Σε ένα περιβάλλον με πολλούς

σκεδαστές, διαδοχικές εκδόσεις του εκπεμπόμενου σήματος, θα καταφτάνουν στον ακίνητο δέκτη ακολουθώντας όχι πάντα μια συγκεκριμένη διαδρομή. Έτσι, κάθε πολυδιαδρομική συνιστώσα καταφτάνει στον δέκτη και με διαφορετική καθυστέρηση, αφού έχει διανυθεί διαφορετική απόσταση. Η κάθε συνιστώσα, συνοδεύεται από μια σχετική ολίσθηση φάσης. Η υπέρθεση των συνιστωσών κάθε χρονική στιγμή οδηγεί στην αθροιστική ή την αφαιρετική συμβολή των ραδιοκυμάτων, ανάλογα με τις φάσεις της κάθε συνιστώσας[2].

Το διαδιδόμενο σήμα δεν επηρεάζεται μόνο από τις περιβαλλοντικές συνθήκες του εσωτερικού περιβάλλοντος στο οποίο διαδίδεται[22], επηρεάζεται σημαντικά και από τα εξής χαρακτηριστικά: την στάθμη της εκπεμπόμενης ισχύος, την φέρουσα συχνότητα, το είδος διαμόρφωσης και το εύρος ζώνης που αποτελούν μόνο μερικά από αυτά. Μεγάλη ισχύς σήματος και μεγάλο εύρος ζώνης συνεπάγεται μεγαλύτερη ανεκτικότητα σε θόρυβο και παρεμβολές από ένα σήμα μικρότερης ισχύος και εύρους ζώνης. Ο σηματοθορυβικός λόγος (SNR) διαφέρει μεταξύ ειδών διαμόρφωσης και θα πρέπει να επιλέγεται ορθά ανάλογα με την εφαρμογή και τις υπηρεσίες που καλούμαστε να υλοποιήσουμε. Τέλος σημαντικό χαρακτηριστικό του σήματος διάδοσης και κατ' επεκτασην της παραμόρφωσης που υφίσταται το σήμα είναι η φέρουσα συχνότητα, αφού κάποιες εξασθενούν σε μεγαλύτερο βαθμό απ' ότι άλλες.

Σε ένα διαδιδόμενο σήμα χαρακτηριστικά όπως ο χρόνος διάδοσής του, η φάση, η γωνία, η εξασθένιση είναι σημαντικά για την ανάλυση της ποιότητας του σήματος[22]. Σε κάθε ένα από αυτά τα χαρακτηριστικά εισέρχονται και διαφορετικές αιτίες σφάλματος. Για παράδειγμα, για να μετρήσουμε σωστά την χρονική στιγμή άφιξης ενός σήματος στον δέκτη, είναι πολύ σημαντικό ο δέκτης να ξεχωρίσει το απευθείας από τον πομπό σήμα από τα αντίγραφα πολλαπλών διαδρομών που μπορεί να έχουν δημιουργηθεί. Δηλαδή, σε μια μετάδοση που ενδιαφέρει ο χρόνος διάδοσης, είναι εξαιρετικά επιθυμητή η οπτική επαφή πομπού και δέκτη. Αντίθετα, σε μια μετάδοση που μετράμε την ισχύ του λαμβανόμενου σήματος, μας ενδιαφέρει η ποσότητα της ισχύος που φτάνει στον δέκτη σε σχέση με την απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη.

Επίσης, σφάλματα παρουσιάζονται και κατά την διαδικασία μέτρησης των επιθυμητών χαρακτηριστικών[22]. Για παράδειγμα, κατά την διαδικασία μέτρησης του χρόνου διάδοσης, όχι καλός συγχρονισμός μεταξύ πομπού και των οργάνων μέτρησης έχει ως αποτέλεσμα επιπλέον σφάλμα στην μέτρηση του χρόνου διάδοσης, πέρα από τα σφάλματα που εισάγει το απρόβλεπτο και συνεχώς μεταβαλλόμενο εσωτερικό περιβάλλον.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι στον εσωτερικό χώρο υπάρχουν πολλές πηγές σφαλμάτων, που καθιστούν την μοντελοποίηση της διάδοσης ενός σήματος εξαιρετικά δύσκολη, με αποτέλεσμα να αρκούμαστε σε εμπειρικά μοντέλα. Τα σφάλματα έχουν άμεσο αντίκτυπο στον εντοπισμό μιας θέσης στον χώρο, πράγμα πολύ σημαντικό για την

συγκεκριμένη εφαρμογή την οποία μελετάμε. Την λύση έρχονται να δώσουν διάφοροι αλγόριθμοι, ειδικά κατασκευασμένοι για την αποφυγή λαθών κατά την διάρκεια εκτίμησης θέσεων στον χώρο. Κάθε αλγόριθμος λειτουργεί με ξεχωριστό τρόπο, πολυπλοκότητα και κόστος. Ανάλογα με την περίπτωση, διαλέγεται ο καταλληλότερος αλγόριθμος με σκοπό να ικανοποιεί βέλτιστα τις απαιτήσεις μας.

## 1.5 Γνωστές μορφές της ασύρματης τεχνολογίας

- **Κινητές Επικοινωνίες:** Αν και το πρώτο ασύρματο τηλέφωνο κατασκευάστηκε το 1940 από την Bell System, το 1970 αρχίζει ουσιαστικά η εξέλιξη των κινητών επικοινωνιών. Η εξέλιξη αυτή συνεχίζεται έως σήμερα και χωρίζεται σε φάσεις ανάλογα με τις μεγάλες αλλαγές που υφίστανται με την πάροδο του χρόνου. Η πρώτη γενιά (1970 – 1990) εισήγαγε την κυψελωτή δομή και εστίαζε κυρίως στην εξυπηρέτηση φωνής. Η δεύτερη γενιά (1990-2000) ήταν ένα πέρασμα από την αναλογική λειτουργία στην ψηφιακή με επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων, υψηλή χωρητικότητα και την δυναμική διαχείριση ραδιοφάσματος. Η Τρίτη γενιά (2000 - έως σήμερα) χαρακτηρίζεται από τις πολύ μεγάλες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, την πολυπλεξία υπηρεσιών και την τεράστια φασματική απόδοση. Τα συστήματα κινητών επικοινωνιών επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες όπως ο θόρυβος, οι παρεμβολές και η πολυδιαδρομική διάδοση, με αποτέλεσμα να υποφέρουν από απώλειες. Γι' αυτό τον λόγο χρησιμοποιούν τις ζώνες συχνοτήτων, VHF, UHF, SHF όπου η ιονόσφαιρα και η καμπυλότητα της γης επηρεάζουν ελάχιστα την διάδοση[2].
- **Δορυφορικές Επικοινωνίες:** Οι συνεχόμενα αυξημένες ανάγκες για επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις, έκανε τα δορυφορικά συστήματα να αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα και συνεχώς εξελισσόμενα σύγχρονα συστήματα των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. Από το 1956 όπου ο πρώτος μεγάλος δορυφόρος εκτοξεύτηκε, έως σήμερα τα δορυφορικά συστήματα εξελίσσονται με ταχείς ρυθμούς, παρέχοντας υψηλής χωρητικότητας επικοινωνίες, με δυνατότητες πολλαπλής εκπομπής και προσπέλασης. Κάποια από τα πλεονεκτήματα των VSAT ( Very Small Aperture Terminals) όπως αποκαλούνται οι επίγειοι τερματικοί σταθμοί με τους οποίους οι δορυφόροι επικοινωνούν, είναι η ελαχιστοποίηση σφαλμάτων, η ταχύτερη πρόσβαση στο διαδύκτιο, η οικονομική και γρήγορη εγκατάστασή του καθώς και το ότι πολλές φορές η χρησιμοποίηση ενός VSAT είναι οικονομικότερη από τη χρησιμοποίηση του δημόσιου δικτύου PSTN [13].
- **GPRS:** Το GPRS (General Packet Radio Service) είναι το τεχνολογικό πρότυπο που επιτρέπει την ταχεία αποστολή και λήψη δεδομένων μέσω των δικτύων κινητής τηλεφωνίας GSM, Global System for Mobile communications (Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών), μέσω της τεχνολογίας μεταγωγής πακέτων. Το GPRS επιτρέπει τη ταυτόχρονη χρήση

περισσότερων του ενός χρονοθυρίδων [9], έτσι η μεταφορά δεδομένων μπορεί να φτάσει ως και τα 153,6 kbps για 16 χρονοθυρίδες ή 21,4 kbps για 8 χρονοθυρίδες. Οι πόροι του δικτύου χρησιμοποιούνται πιο αποδοτικά γιατί οι χρονοθύριδες δεσμεύονται μόνο κατά την ώρα μετάδοσης και αποδεσμεύονται όταν τελειώνει η μετάδοση σε αντίθεση με την τεχνολογία CSD (Circuit Switched Data). Στην πράξη όμως το GPRS χρησιμοποιεί 3 με 4 χρονοθυρίδες για κατέβασμα δεδομένων και μια χρονοθυρίδα για ανέβασμα δεδομένων (μη συμμετρική σύνδεση).

- **WiMax:** WiMAX αποκαλείται η τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης η οποία λειτουργεί με παρεμφερή τρόπο με το Wi-Fi, ωστόσο με πολύ μεγαλύτερη εμβέλεια. Συγκεκριμένα, ενώ το Wi-Fi εξασφαλίζει εμβέλεια επικοινωνίας μέχρι 100 μέτρα, το WiMax φθάνει τα 35 χιλιόμετρα ή και παραπάνω. Μέχρι σήμερα το Wi-Fi επέτρεπε την πρόσβαση στο Ιντερνέτ σε πολύ μικρή εμβέλεια γύρω από τα σημεία πρόσβασης (hotspots), όπως σε αεροδρόμια, συνεδριακούς χώρους ή ξενοδοχεία. Το WiMAX θα είναι σε θέση να κάνει το ίδιο σε εμβέλεια ολόκληρης πόλης, τα κτήρια της οποίας θα καλύπτουν με το σήμα τους οι εταιρείες παροχής Ιντερνέτ (ISP). Το WiMAX θα χρησιμοποιείται για την παροχή υπηρεσιών ευρυζωνικής πρόσβασης στο Ιντερνέτ σε τελικούς χρήστες, με εξοπλισμό ιδιαίτερα εύκολο στην εγκατάσταση. Με τον ίδιο τρόπο που σήμερα εγκαθιστά κανείς στον υπολογιστή του μια κάρτα δικτύωσης Wi-Fi, μελλοντικά θα εγκαθιστά μια κάρτα WiMAX η οποία θα του επιτρέπει να χρησιμοποιήσει από τον οικιακό του χώρο (και όχι μόνο) τις ασύρματες υπηρεσίες που παρέχουν οι ISP [10].
- **Wi-Fi:** Ο όρος Wi-Fi (Wireless Fidelity, κατά την ορολογία High Fidelity η οποία αφορά την εγγραφή ήχου) χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει τις συσκευές που βασίζονται στην προδιαγραφή IEEE 802.11 και εκπέμπουν σε συχνότητες 2.4GHz[12]. Ωστόσο το Wi-Fi («ασύρματη πιστότητα» στα ελληνικά) έχει επικρατήσει και ως όρος αναφερόμενος συνολικά στα ασύρματα τοπικά δίκτυα. Συνήθεις εφαρμογές του είναι η παροχή ασύρματων δυνατοτήτων πρόσβασης στο Internet, τηλεφωνίας μέσω διαδικτύου (VoIP) και διασύνδεσης μεταξύ ηλεκτρονικών συσκευών όπως τηλεοράσεις, ψηφιακές κάμερες, DVD Player και ηλεκτρονικοί υπολογιστές. Σε φορητές ηλεκτρονικές συσκευές το 802.11 βρίσκει εφαρμογές ασύρματης μετάδοσης, όπως π.χ. στη μεταφορά φωτογραφιών από ψηφιακές κάμερες σε υπολογιστές για περαιτέρω επεξεργασία και εκτύπωση, αν και σε αυτόν τον τομέα έχει υποσκιαστεί από το πρωτόκολλο Bluetooth για τα πολύ μικρότερης εμβέλειας ασύρματα προσωπικά δίκτυα.
- **Bluetooth:** Είναι ένα βιομηχανικό πρότυπο για ασύρματα προσωπικά δίκτυα υπολογιστών (Wireless Personal Area Networks, WPAN) [11]. Πρόκειται για μια ασύρματη τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία μικρών αποστάσεων, η οποία μπορεί να μεταδώσει σήματα μέσω μικροκυμάτων σε ψηφιακές συσκευές. Επομένως το Bluetooth είναι ένα πρωτόκολλο το οποίο παρέχει προτυποποιημένη, ασύρματη επικοινωνία ανάμεσα σε PDA, κινητά τηλέφωνα, φορητούς υπολογιστές, προσωπικούς υπολογιστές, εκτυπωτές, καθώς και

ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές ή ψηφιακές κάμερες, μέσω μιας ασφαλούς, φθηνής και παγκοσμίως διαθέσιμης χωρίς ειδική άδεια ραδιοσυχνότητας μικρής εμβέλειας. Από τεχνικής άποψης το Bluetooth είναι ένα πρωτόκολλο ασύρματης δικτύωσης σε φυσικό επίπεδο, υποεπίπεδο MAC και προαιρετικά, υποεπίπεδο LLC.

- **RFID:** Είναι η τεχνολογία που επιτρέπει την αυτόματη αναγνώριση αντικειμένων. Βασίζεται στην αποθήκευση και ασύρματη ανάκτηση δεδομένων μέσω μικρών συσκευών τα ονομαζόμενα RFID tags ή transponders[31]. Αναλυτικά, η τεχνολογία των RFID θα επεξηγηθεί στο επόμενο κεφάλαιο.



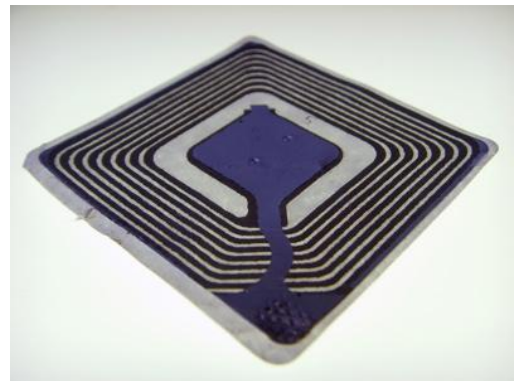
## 2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ RFID

### 2.1 Εισαγωγή στα Συστήματα RFID

Η ονομασία RFID αναπαριστά τα πρώτα γράμματα της αγγλικής ορολογίας με την οποία είναι ευρέως γνωστά, Radio Frequency Identification. Στα ελληνικά ο όρος αυτός αποδίδεται ως «ταυτοποίηση μέσω ραδιοσυχνότητων». Τα συστήματα RFID υπάγονται στην γενικότερη κατηγορία των Συστημάτων Αυτόματου Προσδιορισμού (Automatic Identification Systems), δηλαδή τεχνολογιών που χρησιμοποιούν τα ραδιοκύματα ως κύρια πηγή ταυτοποίησης ή προσδιορισμού ενός αντικειμένου ή ακόμα και ανθρώπου[15].

Η τεχνολογία RFID δεν αποτελεί καινούργιο τεχνολογικό επίτευγμα, αφού είναι γνωστή τα τελευταία 60 χρόνια και χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά κατά την διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου από την πολεμική αεροπορία της Αγγλίας, με σκοπό την αναγνώριση εχθρικών ή φιλικών αεροπλάνων[15]. Συγκεκριμένα, το τότε στρατιωτικό σύστημα εξέπεμπε ένα ραδιοσυχνικό σήμα σε κάθε αεροπλάνο που πλησίαζε και εάν αυτό ήταν φιλικό, τότε ανάγκαζε τον αναμεταδότη του αεροπλάνου να ανταποκριθεί στο σήμα που δεχόταν[16].

Κατά τις δεκαετίες 1960 και 1970, ξεκίνησε η χρήση πομπών, που εξέπεμπαν ραδιοκύματα και είχαν σκοπό την παρακολούθηση του πολεμικού εξοπλισμού. Στα 1980 και 1990 άρχισε να γίνεται εφικτή η κατασκευή ενός λεπτομερούς σχεδίου του κυκλώματος ενός πομπού, με εξαίρεση την κεραία, σε ένα πολύ μικρό κύκλωμα (chip). Αυτό το τεχνολογικό άλμα σηματοδότησε την άφιξη της ετικέτας ραδιοσυχνικής αναγνώρισης (RFID tag), μιας μικρής, υψηλής συχνότητας, συσκευής αναγνώρισης, η οποία μπορεί να τοποθετηθεί πάνω σε οποιοδήποτε αντικείμενο. Έως τα μέσα της δεκαετίας του 1990, οι RFID ετικέτες έγιναν ευρέως γνωστές χάρη στη χρήση τους σε μια πληθώρα εφαρμογών που εξυπηρετούσαν κυρίως καταναλωτές[16].



Σχήμα 2.1 RFID Tag - Chip

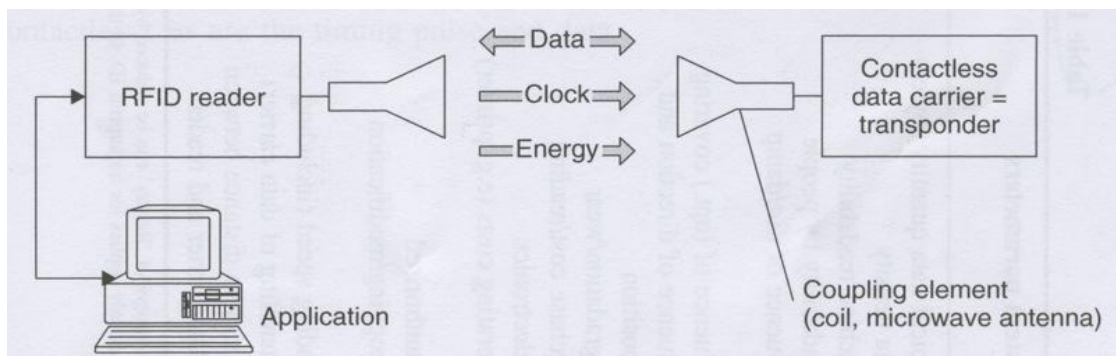
Στις επόμενες δεκαετίες η εξέλιξη τους ήταν ραγδαία. Κατα τα αρχικά στάδια της εδραίωσης τους, η χρήση τους περιοριζόταν σε πειράματα και ερευνητικούς σκοπούς σε εργαστήρια. Μια από τις πρώτες τεχνολογίες που αναπτύχθηκε στον τομέα αυτό, και την οποία συναντάμε πλέον στην καθημερινή μας ζωή, ήταν οι ραβδωτοί κώδικες, ή αλλιώς με την αγγλική και ευρέως διαδεδομένη ορολογία, τα barcodes. Ουσιαστικά τα συστήματα RFID αποτελούν την τεχνολογική εξέλιξη των barcodes[15].

## 2.2 Αρχές λειτουργίας Συστημάτων RFID

Ένα σύστημα RFID (Radio Frequency Identification) αποτελείται από δύο μέρη, τους πομποδέκτες (tags ή transponders) οι οποίοι τοποθετούνται πάνω στο προς αναγνώριση αντικείμενο και τον αναγνώστη (reader ή interrogator) ο οποίος επικοινωνεί με τον πομποδέκτη και μεταφέρει την λαμβανόμενη πληροφορία στο σύστημα διαχείρισης και επεξεργασίας δεδομένων. Ανάλογα με την εφαρμογή που θέλουμε να υλοποιήσουμε επιλέγουμε ξεχωριστά τα χαρακτηριστικά των τμημάτων από τα οποία θα αποτελείται το σύστημα μας.

Η μεταφορά της πληροφορίας που λαμβάνει η συσκευή ανάγνωσης μπορεί να πραγματοποιηθεί με πολλούς τρόπους, μέσω καλωδίου usb ή δικτυακά μέσω Ethernet. Καθώς και ασύρματα μέσω της τεχνολογίας Bluetooth, Wi-Fi, GPS και άλλων ευρέως χρησιμοποιούμενων τεχνολογιών. Η επιλογή του καταλληλότερου μέσου μεταφοράς βασίζεται και πάλι στο είδος της προς υλοποίησης εφαρμογής.

Η λειτουργία των συστημάτων RFID βασίζεται σε μία από τις δύο παρακάτω διαδικασίες: full duplex (FDX) / half duplex (HDX) συστήματα ή σειριακά (sequential- SEQ) συστήματα. Στον πρώτο τύπο συστημάτων, η απάντηση του πομποδέκτη πραγματοποιείται με μετάδοση ευρείας κάλυψης (broadcasting), όταν φυσικά βρίσκεται εντός του πεδίου ανάγνωσης του αναγνώστη. Αντιθέτως, στα σειριακά συστήματα, το πεδίο του εμβέλειας του αναγνώστη απενεργοποιείται ανα τακτά χρονικά διαστήματα. Τα διαστήματα αυτά αναγνωρίζονται από τους πομποδέκτες και χρησιμοποιούνται για την μετάδοση της πληροφορίας από τον πομποδέκτη στον αναγνώστη. Το βασικό μειονέκτημα ενός σειριακού συστήματος είναι η απώλεια ενέργειας που υφίσταται ο πομποδέκτης κατά την διάρκεια του διαστήματος απενεργοποίησης του αναγνώστη, η οποία μπορεί να εξομαλυνθεί από συμπληρωματική παροχή ενέργειας πυκνωτών ή μπαταριών.[17]



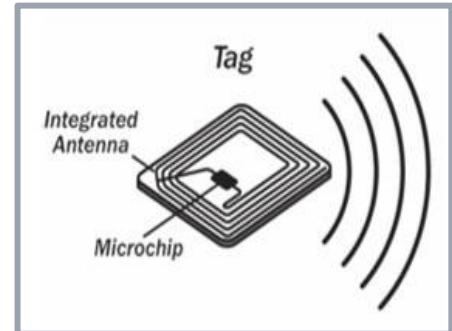
Σχήμα 2.2 Σύστημα RFID στον χώρο

## 2.3 Πομποδέκτες

Οι πομποδέκτες στο εσωτερικό τους αποτελούνται από ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα (IC ή Integrated Circuit) το οποίο είναι υπεύθυνο για την αποθήκευση της πληροφορίας ταυτοποίησης, δηλαδή λειτουργεί σαν μνήμη και ενός στοιχείου σύζευξης, δηλαδή ενός πηνίου το οποίο λειτουργεί σαν κεραία απαραίτητη για την επικοινωνία μεταξύ πομποδέκτη και αναγνώστη[4].

Στα επόμενα υποκεφάλαια γίνεται μια εκτενής ανάλυση όλων των ειδών των πομποδεκτών και των χαρακτηριστικών αυτών, καθώς και μια προσπάθεια να κατηγοριοποιηθούν με βάση κάποια στοιχεία που καθίστανται σημαντικά για κάποιον που θέλει να τα χρησιμοποιήσει για την υλοποίηση κάποιας εργασίας.

Η χωρητικότητα δεδομένων σε έναν πομποδέκτη RFID κυμαίνεται κανονικά από μερικά bytes έως μερικά kilobytes. Εξαιρέση αποτελούν οι πομποδέκτες του ενός bit, μέγεθος που είναι αρκετό για να μεταδοθεί μια από τις δύο καταστάσεις στον αναγνώστη: «ο πομποδέκτης βρίσκεται εντός εμβέλειας αναγνώστη» και «δεν υπάρχει πομποδέκτης εντός εμβέλειας αναγνώστη». Οι συγκεκριμένοι πομποδέκτες μπορούν να επιτελέσουν απλές λειτουργίες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διαδικασίες παρακολούθησης. Λόγω της μικρής τους χωρητικότητας, δεν χρειάζονται ηλεκτρονικό τσιπάκι και αυτό καθιστά την κατασκευή τους φθηνότερη του ενός λεπτού. Χρησιμοποιούνται ευρέως στα εμπορικά καταστήματα και εταιρίες. [17]



Σχήμα 2.3 Εσωτερική δομή πομποδέκτη

### 2.3.1 Κατηγοριοποίηση με βάση την πηγή ενέργειας

Η κατηγοριοποίηση των πομποδεκτών που γίνεται ανάλογα με την προέλευση της ενέργειάς τους και χωρίζονται σε παθητικοί και σε ενεργητικοί. Παθητικοί πομποδέκτες είναι εκείνοι που δεν διαθέτουν ισχύ από μόνοι τους, αλλά λαμβάνουν την απαιτούμενη ενέργεια από τα ραδιοκύματα που αποστέλλονται από τον αναγνώστη[5]. Δεν διαθέτουν αναμεταδότη, απλά ανακλούν προς τα πίσω τα ραδιοκύματα που δέχονται από τον αναγνώστη[6].

Αντιθέτως οι ενεργητικοί πομποδέκτες διαθέτουν αναμεταδότη και δική τους ενσωματωμένη παροχή ισχύος ή αλλιώς ενέργεια συνήθως υπο την μορφή μπαταριών αλλά όχι μόνο[5],[6]. Εκτός από μπαταρίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή η ηλιακή ενέργεια, ή άλλες μορφές της[6]. Οι ενεργητικοί πομποδέκτες χρησιμοποιούν την ενέργεια των μπαταριών για μετάδοση των πληροφοριών που είναι αποθηκευμένες στην μνήμη τους. Όμως, για την ενεργοποίηση της διαδικασίας αυτής [5] είναι απαραίτητη η εκμετάλλευση

της ενέργειας που φτάνει απο τον αναγνώστη στον πομποδέκτη. Συνεπώς οι ενεργητικοί πομποδέκτες δεν βασίζονται αποκλειστικά και μόνο στις ενσωματωμένες μπαταρίες τους .

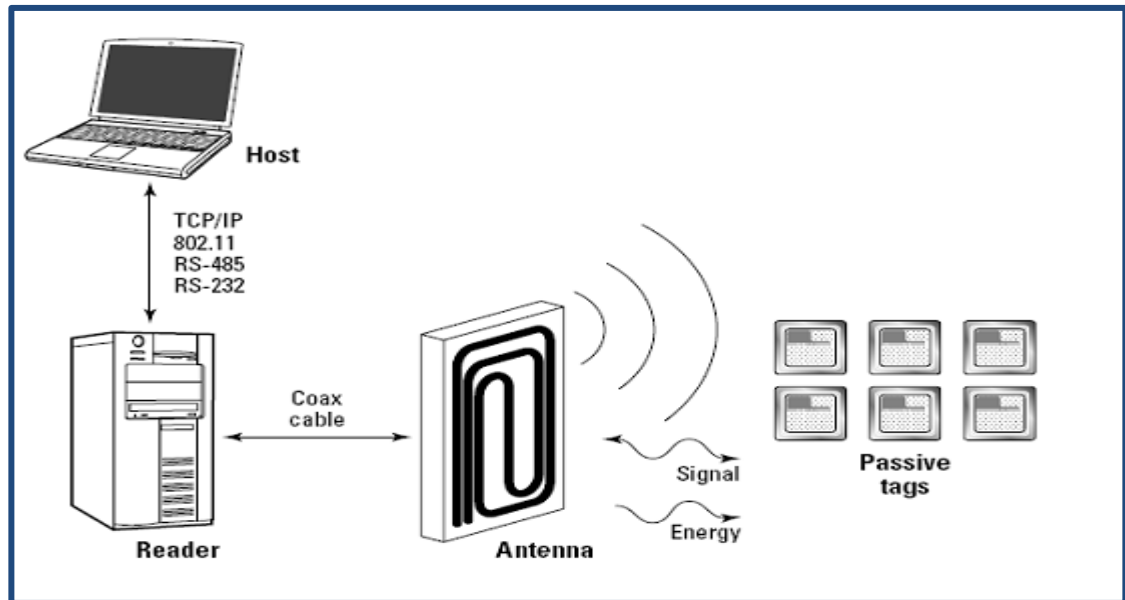
Ανάλογα με την χρήση για την οποία προσδιορίζονται, οι ενεργητικοί και οι παθητικοί πομποδέκτες υπόκεινται σε μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα. Οι παθητικοί πομποδέκτες λόγω του μεγέθους τους και της απλής υλοποίησής τους είναι πιο φθηνοί, που αποτελεί βασικό πλεονέκτημα. Ο απλός σχεδιασμός τους καθιστά την κατηγορία αυτή πιο αξιόπιστη και χωρίς ημερομηνία λήξεως.

Απο την άλλη πλευρά βασικό μειονέκτημα τους είναι η μικρή μνήμη που έχουν διαθέσιμη για αποθήκευση πληροφορίας. Λόγω της μικρότερης ισχύος που διαθέτουν, η απόσταση εκπομπής είναι σχετικά μικρότερη απο τα ενεργητικά, έως 3m. Επίσης, οι πομποδέκτες αυτής της κατηγορίας επειδή για να εκπέμψουν την πληροφορία πρέπει πρώτα να έχουν πάρει να απαιτούμενη ισχύ για αυτήν την ενέργεια απο τον αναγνώστη, η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων είναι αισθητά μικρότερη απο αυτήν των ενεργητικών.

Οι ενεργητικοί πομποδέκτες λόγω της μεγαλύτερης διαθέσιμης ισχύος τους χαρακτηρίζονται ως πομποδέκτες μεγαλύτερης εμβέλειας, έως και 100m. Ο ρυθμός μετάδοσής τους είναι μεγαλύτερος σε σχέση με τους παθητικούς [5]. Το κόστος τους ανεβαίνει ανάλογα με την μνήμη που διαθέτουν, την διάρκεια ζωής της μπαταρίας, εάν διαθέτουν ενσωματωμένο αισθητήρα θερμοκρασίας ή άλλων ειδών αισθητήρες [6]. Όταν η μπαταρία αποφορτιστεί θα πρέπει ή να επαναφορτιστεί ή να αντικατασταθεί. Εάν η αντικατάστασή της δεν επιτρέπεται, τότε ολόκληρος ο πομποδέκτης θα πρέπει να αντικατασταθεί [5]. Το υψηλό κόστος τους και η αναγκαία συντήρηση τους είναι οι κυρίαρχοι λόγοι που οι κατασκευαστές προτιμούν τους παθητικούς πομποδέκτες.

Τέλος υπάρχει και η κατηγορία των ημιενεργητικών και ημιπαθητικών πομποδεκτών που χρησιμοποιούνται σε συγκεκριμένες εφαρμογές. Οι δυο αυτές ορολογίες χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν μια κατηγορία πομποδεκτών που ενώ υπάρχει ενσωματωμένη μπαταρία στο εσωτερικό τους, η μετάδοση των δεδομένων πραγματοποιείται με την ισχύ που λαμβάνουν από τον αναγνώστη και όχι απο την μπαταρία. Η μπαταρία χρησιμοποιείται μόνο για την λειτουργία του ολοκληρωμένου κυκλώματος και για την διατήρηση των δεδομένων. Επειδή είναι τόσο συνηθισμένα πολλές φορές αναφέρονται απλά ως ενεργητικά.

Όσο διάστημα τα ημιπαθητικά tags βρίσκονται εκτός περιοχής εμβέλειας του αναγνώστη σε αντίθεση με τα παθητικά έχουν την δυνατότητα να καταγράφουν ζητούμενα δεδομένα και απλά να τα μεταδίδουν όταν βρεθούν σε περιοχή ανάγνωσης. Όπως είναι αναμενόμενο ενα τέτοιο tag είναι πιο φθηνό από ένα ενεργητικό αλλά πιο ακριβό από ένα παθητικό. Το ίδιο συμβαίνει και με την απόσταση ανάγνωσης, όπου στα ημιπαθητικά tags είναι μεγαλύτερη απο εκείνη των παθητικών αλλά μικρότερη από εκείνη των ενεργητικών. Ένα αναμφισβήτητο μεγάλο πλεονέκτημά των ημιπαθητικών πομποδεκτών είναι ότι δεν χρειάζονται συντήρηση ή αντικατάσταση όταν οι μπαταρίες τους αποφορτίζονται.



Σχήμα 2.3.1 Παθητικοί πομποδέκτες στον χώρο

### 2.3.2 Κατηγοριοποίηση με βάση την δυνατότητα εγγραφής/ανάγνωσης μνήμης

Οι πομποδέκτες ανάλογα με το αν μπορούμε να επέμβουμε στην μνήμη τους ή όχι χωρίζονται σε μόνο ανάγνωσης (Read Only), μίας εγγραφής - πολλών αναγνώσεων (Write Once - Read Many) και σε ανάγνωσης- εγγραφής (Read - Write). Οι πομποδέκτες μόνο ανάγνωσης (Read-Only) είναι οι πιο οικονομικοί. Καθώς μαρτυρά και η ονομασία τους, δεν επιτρέπεται παρέμβαση στα δεδομένα που βρίσκονται καταχωρημένα στην μνήμη τους. Επιτρέπεται μόνο ανάγνωση των καταχωρημένων πληροφοριών αλλά όχι εγγραφή. Η πληροφορία που βρίσκεται αποθηκευμένη στη μνήμη είναι αναλλοίωτη και αφορά έναν σειριακό αναγνωριστικό αριθμό (ID), μοναδικό για κάθε πομποδέκτη. Ο αριθμός αυτός κατα τα αρχικά στάδια της κατασκευής του πομποδέκτη γράφεται στο ολοκληρωμένο κύκλωμα (chip) με την βοήθεια laser[5]. Η διαδικασία υλοποίησής καθώς και η κατασκευαστική υποδομή που χρειάζεται είναι απλή και γι'αυτό τον λόγο οι παθητικοί πομποδέκτες μόνο ανάγνωσης είναι εκείνοι που βρίσκουν πολλές εφαρμογές σε διάφορες υπηρεσίες[7].

Τα παθητικά read-only tags μεταδίδουν συνεχόμενα τον σειριακό τους αριθμό μόλις βρεθούν στην περιοχή εμβέλειας του αναγνώστη [5]. Ενδεικτικά οι αναγνώστες μπορούν να περιλαμβάνουν [7]:

- ✓ Πρωτόκολλο αμφίδρομης κατεύθυνσης που υποδηλώνει γρηγορότερη συλλογή δεδομένων και καλύτερη επίδοση της εφαρμογής
- ✓ 1000 tags/second ρυθμός ανάγνωσης
- ✓ Έως 10 μέτρα εμβέλεια ανάγνωσης
- ✓ 96 bits +16 bit CRC μνήμη
- ✓ Επιλογή στο είδος της κεραίας (μονής ή διπλής)

Όπως υποδηλώνει το όνομα της δεύτερης κατηγορίας μιας φοράς εγγραφής-πολλές φορές ανάγνωσης (Write Once-Read Many), επιτρέπει την εγγραφή στην μνήμη μόνο για μια φορά. Η εγγραφή γίνεται από τον χρήστη ο οποίος μπορεί να επιλέξει ο ίδιος τον σειριακό αριθμό που επιθυμεί να δώσει στον πομποδέκτη, σβήνοντας έτσι τον αριθμό που έχει αποδοθεί από την κατασκευαστική εταιρεία. Οι πομποδέκτες αυτοί είναι γνωστοί και με την ονομασία WORM και βρίσκουν εφαρμογή σε ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών.

Η τελευταία κατηγορία ανάγνωσης - εγγραφής (Read – Write) επιτρέπει εγγραφές και αναγνώσεις απεριόριστα αποτελώντας έτσι την πιο ακριβή κατηγορία. Ο χρήστης μπορεί να προσθέσει πληροφορία περισσότερων bit αφού η χωρητικότητα του είναι μεγαλύτερη από τα υπόλοιπα. Ενδεικτικά μπορούν να περιλαμβάνουν [7]:

- ✓ Όλα τα χαρακτηριστικά του READ Only tag
- ✓ Μνήμη προγραμματιζόμενη από τον χρήστη
- ✓ 24 bit kill κώδικα
- ✓ Έως 120 bit μοναδικού σειριακού αριθμού (ID)
- ✓ Έως 112 bit πληροφορίες χρήστη
- ✓ 1ms/bit ταχύτητα εγγραφής
- ✓ Έως 8 μέτρα (25 feet) εμβέλεια περιοχής ανάγνωσης
- ✓ Έως 3 μετρα(10 feet) εμβέλεια περιοχής εγγραφής

### 2.3.3 Κατηγοριοποίηση με βάση την συχνότητα λειτουργίας

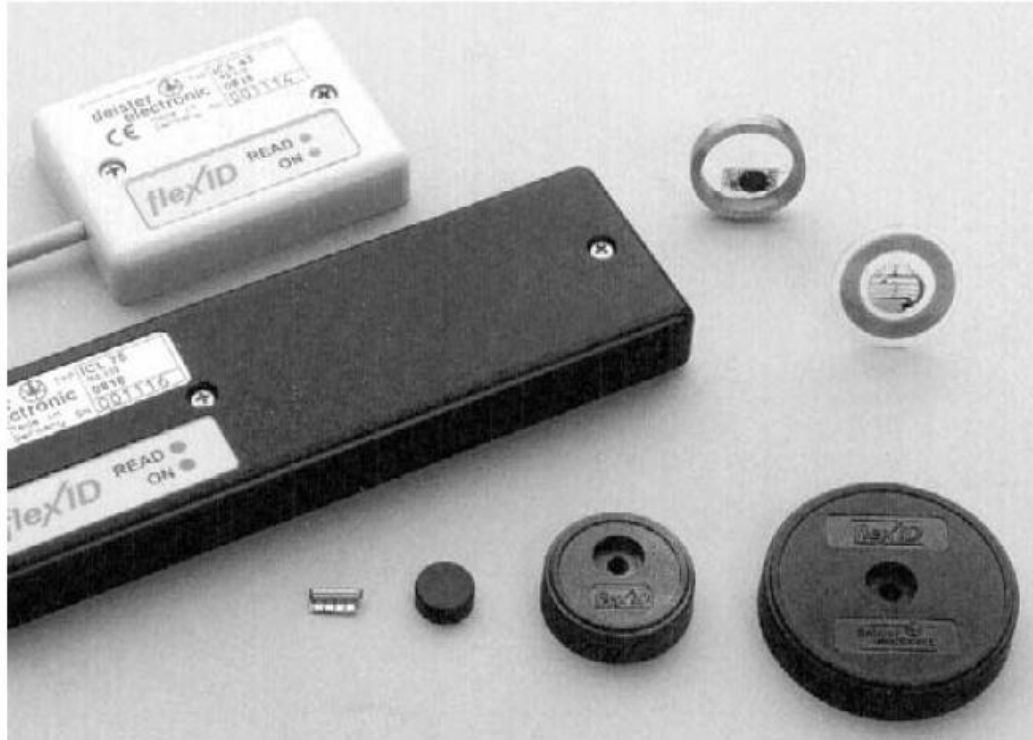
Κάθε πομποδέκτης ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία επιλέγεται, λειτουργεί σε συγκεκριμένη συχνότητα, και αυτό διότι η κεραία που βρίσκεται ενσωματωμένη στο εσωτερικό του, έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, που διαφέρουν από πομποδέκτη σε πομποδέκτη. Τα χαρακτηριστικά αυτά όπως έχει προαναφερθεί καθιστούν την κεραία μοναδική, όπως και την συχνότητα στην οποία λειτουργεί. Το φάσμα συχνοτήτων χωρίζεται σε διάφορες μπάντες για την κάθε χρήση και τις διαφορετικές υπηρεσίες, οι οποίες φαίνονται αναλυτικά στον επόμενο πίνακα.

Όνομασία	Συχνότητα	Απόσταση	Εφαρμογές
<b>Low Frequency (LF)</b>	125 kHz-134kHz	<0.33m (έως 1 ft)	Έλεγχος πρόσβασης, ανίχνευση ζώων και προϊόντων ,έλεγχος ιδιωτικής περιουσίας
<b>High Frequency (HF)</b>	13.56 MHz	1m (περίπου 3 ft)	Σε εφαρμογές όπου δεν θέλουμε ευαισθησία στο νερό ή στο μέταλλο
<b>Ultra High Frequency (UHF)</b>	433 MHz- 950MHz	Έως 100m (300 ft)	Στρατιωτικές εφαρμογές όπου απαιτούνται ενεργητικά tags, EAN, διάφορα πρότυπα
<b>Microwave Frequency</b>	2.45 GHz	Ποικίλες αποστάσεις	Bluetooth, 802.11 WLAN απαιτούνται ενεργητικά ή ημιενεργητικά tags

Σχήμα 2.3.3 Ζώνες συχνοτήτων και εφαρμογές

#### 2.3.4 Κατηγοριοποίηση ανάλογα με το μέγεθος και το σχήμα

- Μορφή δίσκων ή κερμάτων (disk /coin): Αποτελεί την πιο συνηθισμένη μορφή πομποδέκτη με στρογγυλό περίβλημα (ABS). Έχουν διάμετρο από μερικά χιλιοστά έως 10 εκατοστά. Στο κέντρο στις περισσότερες των περιπτώσεων υπάρχει μια τρύπα για κατσαβίδι.
- Με γυάλινο περίβλημα (glass housing): Κατασκευάστηκαν για την εισαγωγή τους υποδερμικά σε ζώα, με σκοπό την αναγνώριση και τον εντοπισμό τους. Οι γυάλινοι σωληνίσκοι με συνολικό μήκος μόλις 12-33 χιλιοστά περιέχουν ένα μικροσίπ τοποθετημένο σ'έναν φορέα (PCB) και έναν τσιπ πυκνωτή για να εξομαλύνει το ρεύμα με το οποίο τροφοδοτείται.
- Με πλαστικό περίβλημα (plastic housing): Κατασκευάστηκαν συγκεκριμένα για αυξημένες μηχανικές απαιτήσεις. Αυτό το είδος πομποδέκτη μπορεί εύκολα να ενσωματωθεί σε διάφορα προϊόντα.

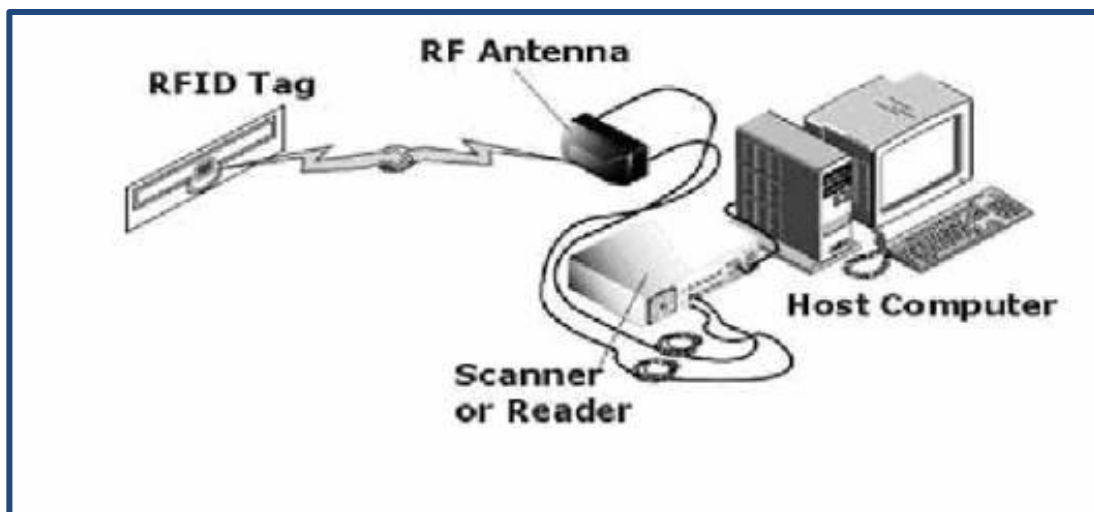


Σχήμα 2.3.4 Διάφοροι τύποι πομποδεκτών

## 2.4 Αναγνώστες

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, οι πληροφορίες που περιέχει η ετικέτα, μεταφέρονται με ραδιοκύματα σε έναν δέκτη ή αναγνώστη (RFID scanner/reader). Ο αναγνώστης μετατρέπει τα ραδιοκύματα σε ψηφιακή πληροφορία, δηλαδή σε μορφή κατάλληλη για ηλεκτρονικό υπολογιστή. Τα δεδομένα στην συνέχεια μπορούν να αποθηκευτούν, επεξεργασθούν ή να αναλυθούν σε ένα υπολογιστικό σύστημα, και η διάταξη φαίνεται στο παρακάτω σχήμα[16].

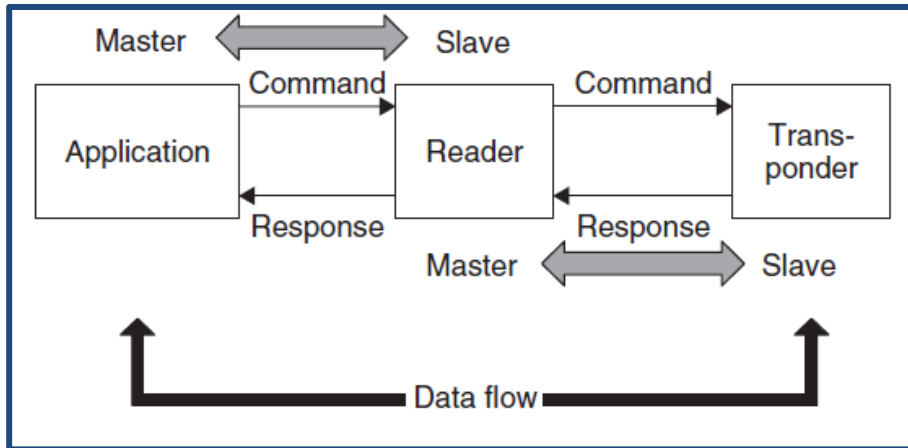




Σχήμα 2.4.1 Σύστημα ανάγνωσης στον χώρο

Συγκεκριμένα η λειτουργία ενός αναγνώστη βασίζεται στην τεχνολογία της κυψελοειδούς μορφής. Η τεχνολογία αυτή σαρώνει ουσιαστικά τις ετικέτες διαβάζοντας το περιεχόμενο τους μόνο όταν η ετικέτα βρεθεί στο πεδίο εμβέλειας του αναγνώστη. Η ταυτοποίηση των πομποδεκτών γίνεται μέσω της αποκωδικοποίησης των πληροφοριών που βρίσκονται μέσα σε αυτό από τον αναγνώστη. Στην συνέχεια η πληροφορία είναι έτοιμη να εισαχθεί στο υπολογιστικό σύστημα.

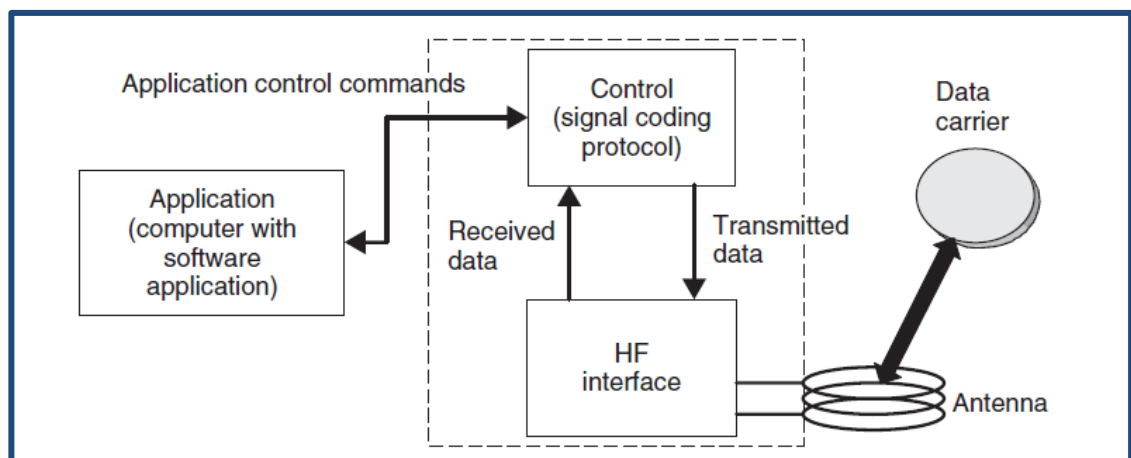
Οι λειτουργίες που λαμβάνουν μέρος σε ένα σύστημα πομποδέκτη/αναγνώστη, ακολουθούν την αρχή ενός μοντέλου κυρίαρχου-δούλου (master-slave). Σε μια ιεραρχική δομή [17] ο κυρίαρχος είναι το λειτουργικό σύστημα ενώ ο δούλος είναι ο αναγνώστης. Όλες οι λειτουργίες του αναγνώστη εκκινούνται ή ελέγχονται μόνο όταν οι κατάλληλες εντολές του δοθούν από τον κυρίαρχο. Το ίδιο μοντέλο ακολουθείται και μεταξύ αναγνώστη πομποδέκτη, όπου σε αυτήν την περίπτωση, ο κυρίαρχος είναι ο αναγνώστης και οι πομποδέκτες αποτελούν τους slaves. Το σύστημα γίνεται πιο κατανοητό στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 2.4.2 Μοντέλο master-slave

#### 2.4.1 Υπομονάδες ενός αναγνώστη

Ένας αναγνώστης αποτελείται από δύο βασικές υπομονάδες που τις συναντάμε σε οποιονδήποτε τύπο, την μονάδα ελέγχου (control system) και την μονάδα υψηλών συχνοτήτων (HF interface ή RF interface) η οποία αποτελείται από έναν πομπό και έναν δέκτη όπως θα δούμε στην συνέχεια. Η επικοινωνία του εξωτερικού υπολογιστικού συστήματος με την υπομονάδα ελέγχου πραγματοποιείται μέσω μιας διεπαφής, η οποία είναι απαραίτητη για την μεταφορά των δεδομένων. Η διάταξη φαίνεται στο επόμενο σχήμα, όπου παρατηρούμε ότι η κεραία αποτελεί ξεχωριστο κομμάτι και μπορεί να μην είναι ενσωματωμένο στην κύρια υπομονάδα



Σχήμα 2.4.1.1 Υπομονάδες αναγνώστη

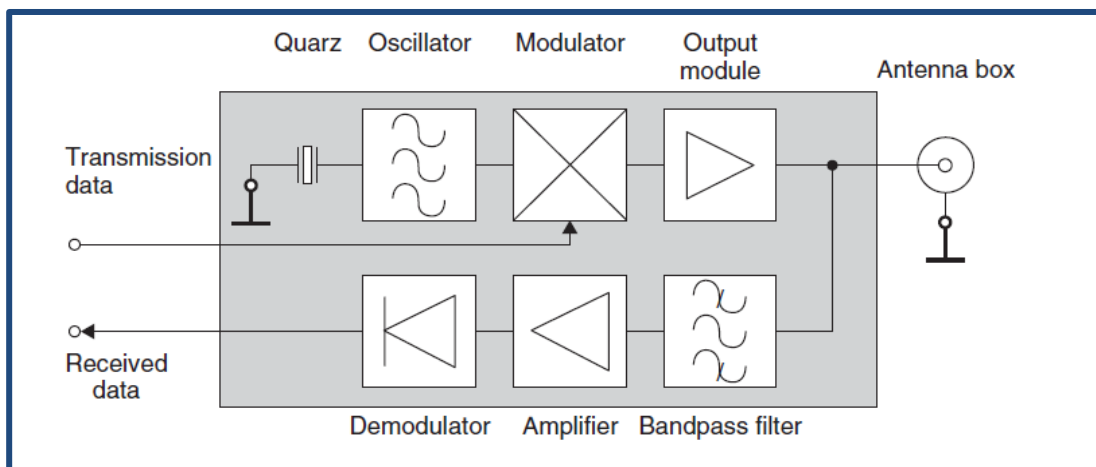
### ➤ RF interface

Η μονάδα υψηλών συχνοτήτων είναι υπεύθυνη για την παραγωγή υψηλής συχνότητας ισχύος που χρειάζεται η ετικέτα για την ενεργοποίησή της κατά την διάρκεια μετάδοσης δεδομένων όταν αυτά βρίσκονται στην περιοχή εμβέλειας του αναγνώστη. Στην συνέχεια είναι υπεύθυνα για την διαμόρφωση του σήματος που στέλνει ο αναγνώστης στον πομποδέκτη και τέλος για την λήψη και την αποδιαμόρφωση του ραδιοκύματος που λαμβάνεται από τον πομποδέκτη. Συνεπώς για να καταστεί δυνατή η αμφίδρομη αυτή επικοινωνία αναμεταδότη και πομποδέκτη, η RF διεπαφή χρησιμοποιεί δυο ξεχωριστά κανάλια για την κάθε κατεύθυνση των δεδομένων, το κανάλι μετάδοσης και το κανάλι λήψης. Η μονάδα RF ανάλογα με το είδος σύζευξης μεταξύ αναγνώστη και πομποδέκτη ακολουθεί και διαφορετική εσωτερική υλοποίηση.

Στα συστήματα με επαγωγική σύζευξη (Inductively Coupled Systems, FDX/HDX) ένα σήμα με την επιθυμητή συχνότητα (της τάξης των kHz ή MHz) παράγεται στο κανάλι λήψης από έναν σταθερής συχνότητας ταλαντωτή πυριτίου. Το λαμβανόμενο σήμα του μεταδότη είναι εξαιρετικά ασθενές και για την αποφυγή περαιτέρω εξασθένισης του, ο λόγος σήματος προς θόρυβο πρέπει να είναι βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα. Γι' αυτό καταλαβαίνουμε ότι οι απαιτήσεις του ταλαντωτή όσον αφορά την σταθερότητα φάσης και τον πλευρικό θόρυβο είναι μεγάλες και πρέπει να επιλέγονται με προσοχή.

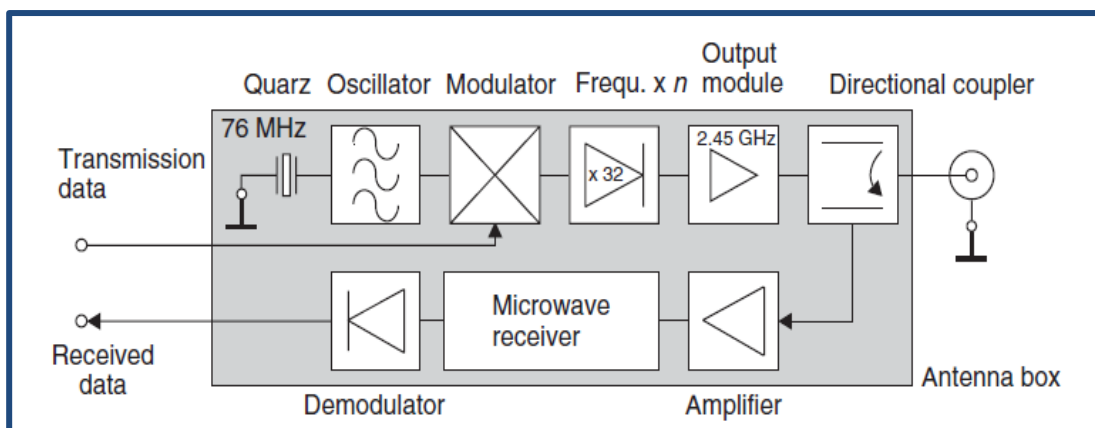
Στην συνέχεια το σήμα διοχετεύεται στον διαμορφωτή. Ο διαμορφωτής όπως είναι αναμενόμενο, ελέγχεται από το σήμα βασικής ζώνης, παραγόμενο στην μονάδα κωδικοποίησης. Ανάλογα με τον τύπο του διαμορφωτή πραγματοποιείται διαμόρφωση μετατόπισης πλάτους (Amplitude-Shift Keying, ASK) ή διαμόρφωση μετατόπισης φάσης (Phase-Shift Keying, PSK). Η διαμόρφωση μετατόπισης συχνότητας (Frequency-Shift Keying, FSK) είναι επίσης πραγματοποιήσιμη όμως τώρα το σήμα τροφοδοτείται κατευθείαν σε μια γεννήτρια συχνότητας. Τελικά το διαμορφωμένο σήμα ενισχύεται κατάλληλα και μεταφέρεται στην κεραία όπου είναι πλέον έτοιμο προς μετάδοση.

Το κανάλι λήψης από την άλλη, ξεκινά από την κεραία και αποτελείται από ένα ζωνοπερατό φίλτρο [17], το οποίο διαχωρίζει το λαμβανόμενο σήμα από το σήμα μετάδοσης. Το φίλτρο αυτό είναι απαραίτητο σε περιπτώσεις που η κεραία του συστήματος είναι μοναδική με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται και ως κεραία εκπομπής και ως κεραία λήψης με τις συχνότητες εκπομπής και λήψης αντίστοιχα να είναι πολύ κοντά μεταξύ τους. Στην συνέχεια το λαμβανόμενο σήμα ενισχύεται, αποδιαμορφώνεται και είναι έτοιμο να μεταφερθεί στην μονάδα επεξεργασίας πληροφορίας.



Σχήμα 2.4.1.2 RF υπομονάδα ηλεκτρομαγνητικής σύζευξης

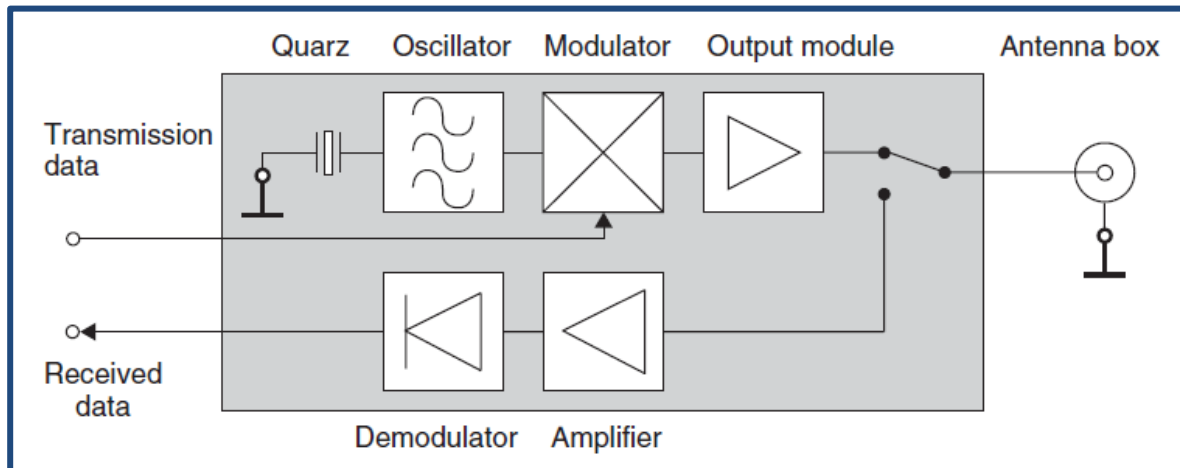
Στα συστήματα με ηλεκτρομαγνητική σύζευξη πομποδέκτη και αναγνώστη [17], η βασική διαφορά με τα συστήματα επαγωγικής σύζευξης έγκειται στο ότι η συχνότητα εδώ είναι πολύ μεγαλύτερη. Μια τυπική τιμή είναι τα 2.45 GHz, τα οποία δεν είναι δυνατό να παραχθούν κατευθείαν από τον ταλαντωτή, αλλά ακολουθείται μια διαφορετική διαδικασία εκείνης του πολλαπλασιασμού μιας μικρότερης συχνότητας ταλαντωτή. Τα επαγωγικά συστήματα ονομάζονται και μικροκυματικά (Microwave Systems), και μερικά από αυτά διαθέτουν και έναν κατευθυντικό συζευκτή που χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό του εκπεμπόμενου από το λαμβανόμενο σήμα.



Σχήμα 2.4.1.3 RF υπομονάδα μικροκυματικής σύζευξης

Σε ένα άλλο σύστημα, το σειριακό (Sequential System), η RF υπομονάδα του αναγνώστη μεταδίδει μόνο όταν είναι αναγκαίο, για να εφοδιάσει τον αναμεταδότη με ισχύ ή να στείλει εντολές σε αυτό. Ο αναμεταδότης μεταδίδει τις πληροφορίες στον αναγνώστη όταν ο ίδιος ο αναγνώστης δεν μεταδίδει. Δηλαδή σε μια τέτοιου είδους διάταξη, η μονάδα μετάδοσης και η μονάδα λήψης [17] που βρίσκονται στον αναγνώστη λειτουργούν

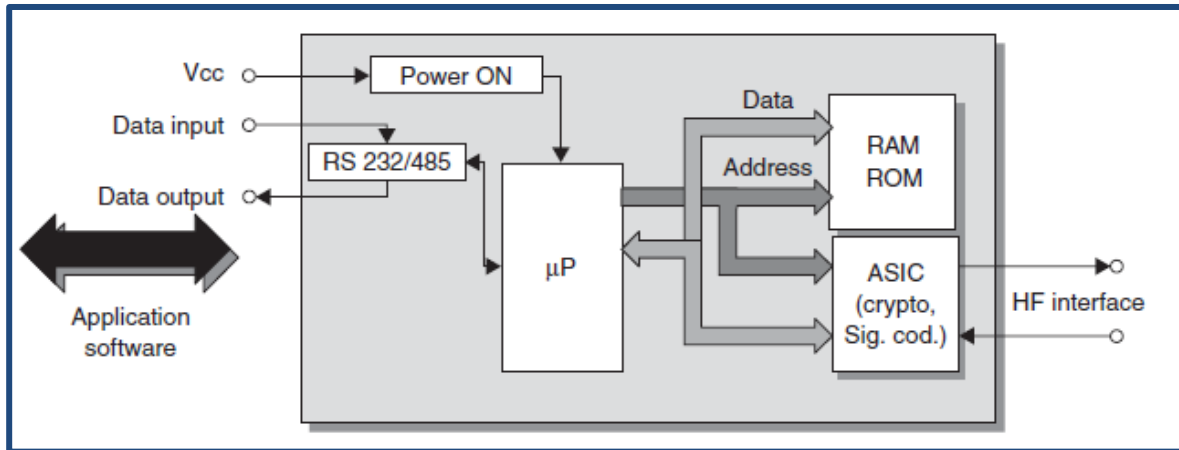
διαδοχικά και ποτέ μαζί. Για το ποιό απο τις δύο μονάδες θα λειτουργήσει χρησιμοποιείται ένας διακόπτης που είναι υπεύθυνος για την αλλαγή της κατάστασης του αναγνώστη. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι το σήμα μετάδοσης σε αυτήν την περίπτωση δεν υπάρχει και έτσι τυχόν παρεμβολές είναι δυνατόν να ελαχιστοποιούνται.



Σχήμα 2.4.1.4 RF υπομονάδα σειριακής διάταξης

➤ **Μονάδα ελέγχου (control system)**

Η μονάδα ελέγχου [17] εκτελεί τις παρακάτω λειτουργίες. Επικοινωνεί με την εφαρμογή του λογισμικού και εκτελεί τις εντολές που προέρχονται από αυτό. Κατέχει τον έλεγχο της επικοινωνίας με τον αναμεταδότη, με βάση την αρχή του κυρίαρχου-σκλάβου. Επίσης είναι υπεύθυνο για την κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση των σημάτων. Σε πιο σύνθετα συστήματα εκτός των προαναφερθέντων λειτουργιών, η υπομονάδα ελέγχου σχετίζεται και με άλλες λειτουργίες όπως η δρομολόγηση και εκτέλεση ενός αλγορίθμου αποφυγής συγκρούσεων (anti-collision algorithm). Τα δεδομένα που μεταφέρονται από την ετικέτα στον αναγνώστη υπάρχει περίπτωση να χρειάζεται να υποστούν την διαδικασία κρυπτογράφησης και αποκρυπτογράφησης καθώς και την διαδικασία της αυθεντικότητας, τις οποίες ελέγχει η μονάδα ελέγχου. Η εσωτερική δομή μιας υπομονάδας ελέγχου φαίνεται στο επόμενο σχήμα και ακολουθεί σύντομη επεξήγηση αυτής.



Σχήμα 2.4.1.5 Υπομονάδα ελέγχου αναμεταδότη

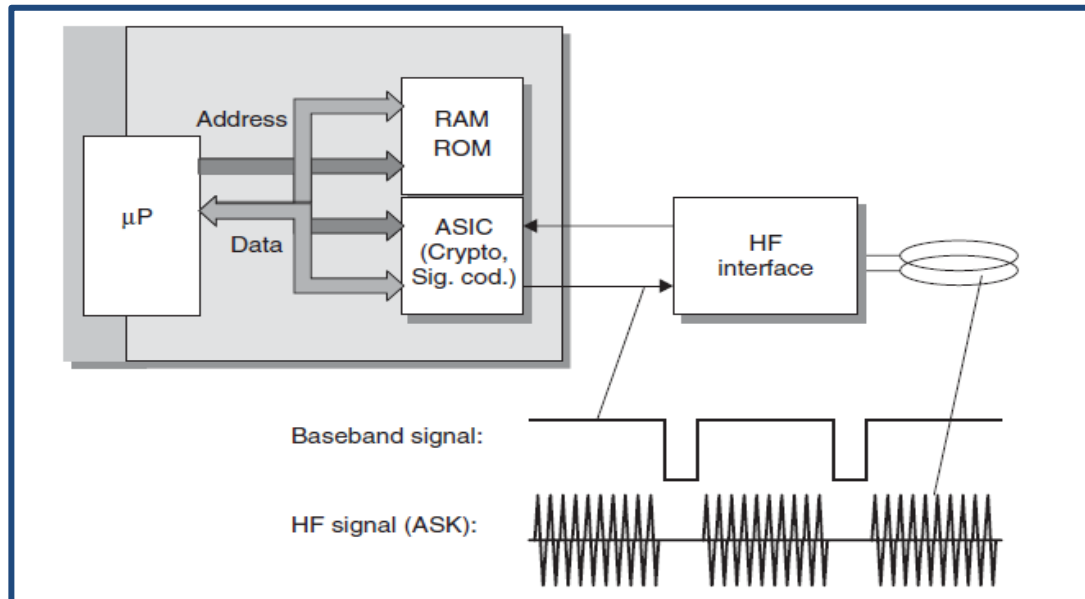
Η λειτουργία της υπομονάδας ελέγχου και η εκτέλεση σύνθετων εντολών και υπηρεσιών βασίζεται ουσιαστικά στην λειτουργία ενός μικροεπεξεργαστή. Διαδικασίες κρυπτογράφησης της ροής των δεδομένων που μεταδίδονται μεταξύ αναγνώστη και πομποδέκτη, όπως επίσης και κωδικοποίησης σήματος τα οποία συχνά πραγματοποιούνται σε μια πρόσθετη μονάδα υπονομαζόμενη ως ASIC. Η επιπρόσθετη αυτή μονάδα γλιτώνει τον επεξεργαστή από υπολογιστικά απαιτητικές διαδικασίες. Η ASIC προσπελαύνεται από τον δίαυλο του μικροεπεξεργαστή (microprocessor bus).

Όπως παρατηρούμε από το σχήμα, η επικοινωνία μεταξύ λογισμικού και μονάδας ελέγχου του αναγνώστη γίνεται μέσω της RS232 ή της RS485 διεπαφής. Συνήθως χρησιμοποιείται NRZ κωδικοποίηση (Non-Return-to-Zero), με ρυθμό μετάδοσης της πληροφορίας πολλαπλάσιο των 1200Bd (όπως 4800Bd, 9600Bd κ.λ.π) και κάποιο από τα πολλά αυτοοριζόμενα πρωτόκολλα που υπάρχουν για πρωτόκολλο επικοινωνίας.

Η διεπαφή μεταξύ της RF διεπαφής και της μονάδας ελέγχου απεικονίζει την κατάσταση στην οποία βρίσκεται η RF διεπαφή σε δυαδική μορφή. Όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί, όταν χρησιμοποιείται ASK κωδικοποίηση το λογικό 1 αντιπροσωπεύει την κατάσταση κατά την οποία στην RF διεπαφή το σήμα είναι ενεργοποιημένο, δηλαδή είναι παρών και άρα γίνεται μετάδοση (κατάσταση on), ενώ το λογικό 0 αντιστοιχεί στην κατάσταση κατά την οποία στην RF διεπαφή το σήμα είναι απενεργοποιημένο, δηλαδή το σήμα είναι απών και άρα δεν υπάρχει μετάδοση πληροφορίας (κατάσταση off).

Στην NRZ κωδικοποίηση το 'λογικό 1' αντιστοιχεί σε οπτικό παλμό με χρονική διάρκεια ενός μπιτ [18]. Χρησιμοποιείται λόγω του πλεονεκτημάς του ότι απαιτεί μικρό εύρος ζώνης σε σχέση με άλλα είδη κωδικοποίησης καθώς και ότι υλοποιείται εύκολα και γρήγορα. Το βασικό του μειονέκτημα είναι ότι παρουσιάζει ευαισθησία στην διαπλάτυση

των οπτικών παλμών λόγω διασποράς και μη γραμμικότητας. Παρόλ' αυτά χρησιμοποιείται ευρέως στην μετάδοση πληροφορίας.



Σχήμα 2.4.1.6 Κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση στην μονάδα ελέγχου

#### 2.4.2 Σύνδεσμολογία κεραίας για αναγνώστες επαγωγικής σύζευξης κάτω των 135 kHz

Οι κεραίες των αναγνωστών [17] με επαγωγική σύζευξη παράγουν μαγνητική ροή που χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας για τους πομποδέκτες και για την επικοινωνία μέσω μηνυμάτων μεταξύ πομποδέκτη και αναγνώστη. Τα τρία βασικά σχεδιαστικά χαρακτηριστικά των κεραίων αυτών είναι:

- Μέγιστο ρεύμα στο πηνίο της κεραίας  $i_1$ , για μέγιστη μαγνητική ροή  $\Phi$ .
- Κατάλληλη ισχύς ώστε η μέγιστη διαθέσιμη ενέργεια να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή του μαγνητικού πεδίου.
- Επαρκές φάσμα συχνοτήτων για το μη παραμορφωμένο σήμα μετάδοσης βασικής ζώνης το οποίο είναι διαμορφωμένο με πληροφορίες.

Ανάλογα με το πεδίο συχνότητας του αναγνώστη, διαφορετικές διαδικασίες χρησιμοποιούνται για την σύνδεση της κεραίας στην έξοδο μετάδοσης του αναγνώστη. Μπορεί να είναι είτε απευθείας σύνδεση του πηνίου στην έξοδο ισχύος με κατάλληλη μετατροπή αυτής ή τροφοδότηση του πηνίου μέσω σπειρωτού καλωδίου. Το σπειρωτό καλώδιο είναι αναγκαίο διότι σε συχνότητες πάνω από 1MHz, η RF τάση παύει πλέον να

θεωρείται στάσιμη και πρέπει να αντιμετωπισθεί σαν ηλεκτρομαγνητικό κύμα μέσα στο καλώδιο.

Για την μεγιστοποίηση του ρεύματος που περνάει από το πηνίο, σε αναγνώστες χαμηλού κόστους και χαμηλών συχνοτήτων έως 135kHz, χρησιμοποιείται ένα σειριακό κύκλωμα (resonant circuit) αποτελούμενο από ένα πηνίο  $L_s$ , έναν πυκνωτή  $C_s$  και μια αντίσταση  $R_s$ . Οι τιμές του πηνίου και του πυκνωτή είναι τέτοιες ώστε η συχνότητα του κυκλώματος να είναι ίδια με εκείνη του αναγνώστη:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_s C_s}}$$

Στην συνέχεια η τιμή του ρεύματος που διατρέχει το πηνίο εξαρτάται αποκλειστικά από την τιμή της αντίστασης  $R_s$ .

### 2.4.3 Επίδραση του παράγοντα ποιότητας Q

Η κεραία ενός αναγνώστη με επαγωγική σύζευξη χαρακτηρίζεται από την συχνότητα του (resonant) και από τον παράγοντα ποιότητας Q. Μεγάλος παράγοντας Q σημαίνει και μεγάλο ρεύμα στην κεραία, και έτσι επιτυγχάνουμε καλύτερη μετάδοση ισχύος από τον αναγνώστη. Αντίθετα, το πεδίο του φάσματος συχνοτήτων της κεραίας είναι αντιστρόφως ανάλογο του παράγοντα Q. Μικρό φάσμα προκαλούμενο από υπερβολικά υψηλό Q, μπορεί να μειώσει σημαντικά την πλευρική διαμόρφωση (sideband modulation) του σήματος που λαμβάνεται από τον αναμεταδότη. Ο παράγοντας Q μπορεί να υπολογισθεί από τον τύπο:

$$Q = \frac{2\pi f_0 L_{coil}}{R_{total}}$$

Το εύρος φάσματος της κεραίας μπορεί στην συνέχεια να υπολογισθεί από τον τύπο:

$$B = \frac{f_0}{Q}$$

Το απαιτούμενο εύρος εξάγεται από το εύρος της πλευρικής διαμόρφωσης του αναγνώστη και των προϊόντων παραγεμίσματος (load modulation products) που προείχθησαν από την διαμόρφωση αυτή. Για τα περισσότερα συστήματα ο παράγοντας Q κυμαίνεται μεταξύ 10-30, χωρίς όμως να μπορούμε να γενικεύσουμε, αφού όπως προείπαμε ο παράγοντας Q εξαρτάται από το απαιτούμενο εύρος ζώνης και συνεπώς στο είδος διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται, στο είδος κωδικοποίησης, στην συχνότητα subcarrier κ.α.. Ενδεικτικά για την ASK διαμόρφωση, όπου T αναπαριστά τον χρόνο κατά τον οποίο το σήμα βασικής ζώνης είναι ενεργοποιημένο (carrier signal στην θέση ON):

$$B \cdot T = 1$$



#### 2.4.4 Είδη αναγνωστών

Διαφορετικά είδη αναγνωστών χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές εφαρμογές και χωρίζονται σε αναγνώστες OEM, σε αναγνώστες για φορητούς ή εμπορικούς σκοπούς αλλά και σε πολυάριθμους με μοναδικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά.

- *OEM αναγνώστες* είναι διαθέσιμοι για ενσωμάτωση στα προσωπικά συστήματα συλλογής δεδομένων των πελατών, στα τερματικά BDE, στα συστήματα πρόσβασης και ελέγχου, σε ρομποτικά συστήματα.
- Οι *φορητοί αναγνώστες* χρησιμοποιούνται για αναγνώριση ζώων, ως συσκευή ελέγχου στις δημόσιες συγκοινωνίες, για πληρωμές κ.α.
- Οι *εμπορικής χρήσης αναγνώστες* χρησιμοποιούνται σε εργοστάσια κατασκευής και συναρμολόγησης. Διαθέτουν συνήθως σταθερή διεπαφή για εύκολη ενσωμάτωση σε ήδη υπάρχοντα συστήματα.

#### 2.5 Παραδείγματα Εφαρμογών

- Φαρμακευτικές εταιρείες, στις οποίες τα RFID έχουν αντικλεπτικό σκοπό για φάρμακα, ναρκωτικές ουσίες και εργαστηριακών δειγμάτων. Τοποθετούνται σε κοντέινερ κατά την διάρκεια της μεταφοράς και διανομής τους.
- Αυτοκινητιστικές κατασκευαστικές εταιρείες, όπου τα tags τοποθετούνται στα λάστιχα και φέρουν τον μοναδικό τους σειριακό αριθμό με σκοπό την αντιστοίχιση των αναγνωριστικών αριθμών των αυτοκινήτων.
- Αεροπορικές εταιρείες, για την ανίχνευση και εντοπισμό αποσκευών επιβατών, με σκοπό την μείωση εκείνων που χάνονται καθώς και την γρηγορότερη δρομολόγηση τους σε περίπτωση που ο επιβάτης αλλάξει προορισμό.
- Αλυσίδες Εστιατορίων, όπου η τοποθέτηση πομποδεκτών και αναγνωστών παρέχει την δυνατότητα στις εταιρίες ανεφοδιασμού να έχει πρόσβαση σε ώρες που το εστιατόριο παραμένει κλειστό για να αποφεύγεται η ενόχληση του προσωπικού κατά τις ώρες αιχμής.
- Σταθμούς διοδίων για την άμεση πληρωμή του αντίτιμου χωρίς καθυστέρηση και χωρίς να χρειάζεται προσωπικό.
- Σταθμούς ανεφοδιασμού καυσίμων, όπου η πληρωμή γίνεται αυτόματα μέσω του πομποδέκτη που βρίσκεται τοποθετημένος στα κλειδιά του χρήστη-πελάτη.
- Λιμάνια για τον έλεγχο της πρόσβασης και ανίχνευσης εισερχόμενων και εξερχόμενων κοντέινερ.
- Αποστολές φορτίων στρατιωτικού εξοπλισμού παρακολουθούνται ανα πάσα στιγμή με την βοήθεια των πομποδεκτών.
- Πιστωτικές κάρτες χρησιμοποιούν την τεχνολογία RFID.

- Εισιτήρια μέσω μαζικής μεταφοράς.
- Έλεγχος αποθεμάτων σε αποθήκες και ράφια καθώς και έλεγχος επιστρεφόμενων προϊόντων.
- Ταχυδρομικές εταιρείες για την παρακολούθηση, διαλογή και γρήγορη διανομή δεμάτων και σημαντικών επιστολών.
- Βιβλιοθήκες χρησιμοποιούν την τεχνολογία RFID για τον δανεισμό βιβλίων.
- Αυτοματοποίηση χώρων στάθμευσης με έλεγχο εισόδου-εξόδου ή έξοδος οχημάτων που έχουν καταβάλει το ανάλογο αντίτιμο.
- Βιομηχανική παραγωγή, για την παρακολούθηση συγκεκριμένων λειτουργιών, αποδοτικότητα γραμμών παραγωγής, ελαττωματικά προϊόντα, δρομολόγηση σημαντικών πληροφοριών προς την κεντρική βάση δεδομένων για έλεγχο.
- Παρακολούθηση κυβερνητικών και στρατιωτικών απόρρητων εγγράφων.
- Παρακολούθηση ασθενών σε νοσοκομεία.
- Αυτοματοποίηση του συστήματος περίθαλψης και συνταγογράφησης καθώς και παρακολούθησης των ιστορικών των ασθενών.

# 3 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ

---

## 3.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέραμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, τρεις είναι οι κύριοι μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί για τον εντοπισμό ενός στόχου σε ένα εσωτερικό περιβάλλον που αξιοποιούν την τεχνολογία RFID:

- (1) *Τριγωνισμός*. Η μέθοδος του τριγωνισμού που εκτελείται με την τεχνική υπολογισμού απόστασης, χρησιμοποιώντας αποστάσεις μεταξύ συγκεκριμένων θέσεων. Θεωρητικά και εμπειρικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος ή του χρόνου άφιξης του σήματος μεταξύ ετικέτας και αναγνώστη. Οι αποστάσεις αυτές χρησιμοποιούνται στην τριγωνοποίηση για την απόκτηση της θέσης στον δισδιάστατο ή τρισδιάστατο χώρο.
- (2) *Εγγύτητα*. Η μέθοδος της εγγύτητας απαιτεί την μέτρηση αποστάσεων από τα κοντινότερα γειτονικά σημεία του στόχου, των οποίων οι θέσεις είναι γνωστές και κρατούνται σταθερές. Οι μετρήσεις για τον υπολογισμό των αποστάσεων γίνονται και πάλι μετρώντας την ισχύ του λαμβανόμενου σήματος ή του χρόνου άφιξης του στα κοντινότερα σημεία αναφοράς.
- (3) *Ανάλυση τοποθεσίας*. Η μέθοδος λαμβάνει την ισχύ του σήματος στην περιοχή ανάγνωσης και την συγκρίνει με τιμές που λαμβάνει από μια βάση δεδομένων. Απο την σύγκριση αυτή λαμβάνεται η θέση του στόχου στον χώρο και τοποθετείται στο κατάλληλο σημείο. Χρειάζεται χαρτογράφηση πριν την έναρξη της εφαρμογής, κατά την οποία όλος ο εξοπλισμός παρατάσσεται στον χώρο και η ισχύς των σημάτων μετρούνται και καταγράφονται για την δημιουργία ενός χάρτη δακτυλικών αποτυπωμάτων[24].

## 3.2 Τριγωνισμός (Triangulation)

Οι τεχνικές τριγωνοποίησης όπως υποδηλώνεται και από το όνομα, χρησιμοποιούν τις τριγωνικές ιδιότητες για τον υπολογισμό των θέσεων των επιθυμητών στόχων στον χώρο. Οι τεχνικές αυτές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τις τεχνικές υπολογισμού απόστασης (lateration) και τις τεχνικές που χρησιμοποιούν τις γωνίες κατεύθυνσης των σημάτων (angulation).

Οι τεχνικές υπολογισμού απόστασης εκμεταλλεύονται διάφορα χαρακτηριστικά του σήματος για τον έμμεσο υπολογισμό των αποστάσεων των στόχων από τις διάφορες θέσεις αναφοράς. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι: η χρονική στιγμή άφιξης του σήματος στον δέκτη (Time Of Arrival: TOA), η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος (Received Signal Strength: RSS),

η διαφορά των χρονικών στιγμών άφιξης του σήματος (Time Difference Of Arrival: TDOA), η χρονική διάρκεια διάδοσης μετέπιστροφής (Round-trip Time Of Flight: RTOF) και τέλος η φάση του σήματος. Οι αλγόριθμοι αυτοί αναλύονται διεξοδικά στην συνέχεια.

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούν τις γωνίες κατεύθυνσης ή αλλιώς τεχνικές εκτίμησης της γωνίας άφιξης των σημάτων χρησιμοποιούν αυτό ακριβώς το χαρακτηριστικό του σήματος για τον υπολογισμό των θέσεων στον χώρο.

### 3.2.1 Αλγόριθμος χρονικής στιγμής άφιξης (Time Of Arrival: TOA)

Για την μελέτη του αλγορίθμου θα υποθέσουμε πως έχουμε στον δισδιάστατο χώρο έναν πομπό που μεταδίδει σήματα και του οποίου την θέση πρέπει να εκτιμήσουμε, έστω ότι βρίσκεται στην θέση Π με συντεταγμένες  $(x, y)$ , και τρεις δέκτες σε καθορισμένα σημεία A, B, και C. Οι συντεταγμένες των δεκτών είναι :  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$ , και  $(x_3, y_3)$  αντίστοιχα. Όπως αναφέραμε και πιο πριν πρέπει να βρούμε τις αποστάσεις των δεκτών  $R_1, R_2, R_3$  από τον πομπό. Ξέρουμε ότι η ταχύτητα του φωτός είναι  $c$ . Η απόσταση έστω  $x$ , μπορεί να βρεθεί από τον τύπο  $x=ut$ . Οπότε:

$$R_1^2 = (c(t_1 - t_0))^2 = (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 \quad (1)$$

$$R_2^2 = (c(t_2 - t_0))^2 = (x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 \quad (2)$$

$$R_3^2 = (c(t_3 - t_0))^2 = (x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 \quad (3)$$

Όπου  $t_0$  η χρονική στιγμή εκπομπής του σήματος και  $t_1, t_2, t_3$  οι χρονικές στιγμές κατά τις οποίες λαμβάνεται το σήμα από τον δέκτη. Οι εξισώσεις είναι εξισώσεις κύκλου και η λύση είναι η τομή των τριών κύκλων. Αν ψάχναμε την θέση του στόχου σε τρισδιάστατο χώρο θα προέκυπτε και η συντεταγμένη  $z$  ως άγνωστη εκτός από τις  $x$  και  $y$ . Σε αυτή τη περίπτωση οι εξισώσεις θα αναπαριστούσαν σφαίρες και η λύση θα ήταν η τομή των σφαιρών.

Η λύση του παραπάνω μη γραμμικού συστήματος βρίσκεται εύκολα και γρήγορα γραφικά. Για την αναλυτική λύση λύνουμε το σύστημα των εξισώσεων (1) και (2) και αντικαθιστούμε στην (3). Κρατάμε μόνο εκείνη που ικανοποιεί την (3). Εάν στην διάθεσή μας έχουμε περισσότερους από τρεις σταθμούς βάσης τότε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων (Least-Squares Algorithm). Έστω ότι έχουμε  $N$  βαθμούς βάσης σε θέσεις  $(x_i, y_i)$  και κάθε σταθμός λαμβάνει το σήμα την χρονική στιγμή  $t_i$ . Το πρώτο μέρος των εξισώσεων (1), (2), (3) αποτελεί το πειραματικό κομμάτι και

το δεύτερο μέρος αποτελεί την πραγματική απόσταση. Συνεπώς, το σφάλμα που προφανώς εισάγεται στις μετρήσεις συμβολίζεται με  $v_i$  και υπεισέρχεται στις εξισώσεις, οι οποίες γίνονται:

$$R_i^2 = c(t_i - t_0)^2 = x_i^2 - x^2 + y_i^2 - y^2 \Rightarrow$$

$$R_i = c(t_i - t_0) = \sqrt{x_i^2 - x^2 + y_i^2 - y^2} + v_i \quad (4)$$

Το σφάλμα  $v_i$  δεν μπορεί να θεωρηθεί ως τυχαία μεταβλητή κατανομής πιθανότητας διότι πρόκειται για εσωτερικό χώρο όπου οι κατανομές δύσκολα ακολουθούνται. Στις περιπτώσεις αυτές, το σφάλμα ελαχιστοποιείται χρησιμοποιώντας την μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων. Δηλαδή, καλούμαστε να ελαχιστοποιήσουμε την συνάρτηση σφάλματος στην θέση  $(x_i, y_i)$ :

$$F(x, y) = \sum_{i=1}^N f_i(x, y)^2 \quad (5)$$

$$\text{Όπου} \quad f_i(x, y) = c(t_i - t_0) - \sqrt{x_i^2 - x^2 + y_i^2 - y^2} \quad (6)$$

Η ανάλυση γίνεται πιο αξιόπιστη αν εισάγουμε βάρη στην εξίσωση (5) που θα αναπαριστούν την αξιοπιστία της κάθε μέτρησης, αφήνοντας απ' έξω τις μετρήσεις από δέκτες με μεγάλα σφάλματα. Η εξίσωση προς ελαχιστοποίηση γίνεται τώρα:

$$F(x, y) = \sum_{i=1}^N a_i f_i(x, y)^2 \quad (7)$$

Ένα μειονέκτημα της μεθόδου των Ελαχίστων Τετραγώνων, είναι ότι εισέρχονται στις εξισώσεις και μετρήσεις που απέχουν πολύ από την πραγματική τιμή προσθέτοντας ένα σχετικά μεγάλο σφάλμα στο αποτέλεσμα. Μεγάλες αποκλίσεις από την πραγματική τιμή έχουμε σε περιπτώσεις μη οπτικής επαφής πομπού και δέκτη, όπου το σήμα φτάνει στον δέκτη εξασθενημένο. Ο δέκτης δεν έχει την ικανότητα να μπορεί να το ξεχωρίσει τα σήματα που προέρχονται από πολλαπλές διαδρομές με αποτέλεσμα να εισάγεται μεγάλο σφάλμα στους υπολογισμούς μας. Την λύση δίνει ένας ειδικός αλγόριθμος που ονομάζεται

αλγόριθμος υπολειπόμενης στάθμισης (Residual Weighting Algorithm: RWGH) και που παίρνει όλους τους δυνατούς συνδυασμούς που μπορούν να προκύψουν από το σύνολο των μετρήσεων των σταθμών βάσης. Αν για  $N > 3$  σταθμούς βάσης, ο κάθε σταθμός παίρνει μια μοναδική μέτρηση τότε κάθε συνδυασμός μετρήσεων περιλαμβάνει από 3 έως  $N$  μετρήσεις και συνολικά οι συνδυασμοί που προκύπτουν είναι:

$$C = \sum_{k=3}^N \frac{N!}{k! (N-k)!} \quad (8)$$

Στην συνέχεια για κάθε ένα από τα  $C$  σύνολα μετρήσεων που προκύπτουν, εφαρμόζουμε την μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων. Το συνολικό σφάλμα μεταξύ πειραματικών και πραγματικών είναι τώρα  $\varepsilon_{(x,y)_i}$  και αναμένεται να είναι μεγάλο γιατί προέκυψε από το σύνολο πολλών μετρήσεων. Γι' αυτό τον λόγο χρησιμοποιούμε το κανονικοποιημένο συνολικό σφάλμα:

$$\overline{\varepsilon_{(x,y)_i}} = \frac{\varepsilon_{x,y_i}}{N_i} \quad (9)$$

Όπου  $N$  είναι ο αριθμός των μετρήσεων του  $i$ -οστού συνδυασμού. Σύμφωνα με τον RWGH αλγόριθμο, η τελική εκτίμηση της ζητούμενης θέσης  $(x,y)$  προκύπτει ως γραμμικός συνδυασμός όλων των εκτιμήσεων  $x, y_i$  που προκύπτουν από κάθε έναν από τους  $C$  συνδυασμούς μετρήσεων που μπορούμε να έχουμε. Κάθε εκτίμηση  $x, y_i$  παίρνει ως "βάρος" το κανονικοποιημένο της συνολικό σφάλμα με τέτοιο τρόπο ώστε, όσο πιο μεγάλο είναι το κανονικοποιημένο της συνολικό σφάλμα, τόσο λιγότερο βάρος έχει η συμμετοχή της εκτίμησης  $x, y_i$  στην τελική εκτίμηση  $(x,y)$  της ζητούμενης θέσης. Δηλαδή:

$$x, y_i = \frac{\sum_{i=1}^C x, y_i \overline{\varepsilon_{(x,y)_i}}}{\sum_{i=1}^C \overline{\varepsilon_{(x,y)_i}}} \quad (10)$$

Συμπεραίνουμε λοιπόν, ότι ο αλγόριθμος RWGH υπερτερεί των ελαχίστων Τετραγώνων σε περιπτώσεις που δεν έχουμε οπτική επαφή, υστερεί όμως στο ότι απαιτεί μεγαλύτερη υπολογιστική πολυπλοκότητα.

Ένας άλλος αλγόριθμος που χρησιμοποιεί τις μετρήσεις TOA, είναι ο αλγόριθμος Πλησιέστερου Γείτονα (Closest Neighbor: CN). Στον συγκεκριμένο αλγόριθμο οι χρόνοι άφιξης πολλαπλασιάζονται με την ταχύτητα του φωτός. Η θέση του σταθμού βάσης που απέχει τη μικρότερη απόσταση από το αντικείμενο άγνωστης θέσης θεωρούμε ότι είναι και η θέση του στόχου. Ο αλγόριθμος CN το μόνο που κάνει είναι να μας ενημερώνει ποιος σταθμός βάσης είναι πλησιέστερα στον στόχο. Στην συνέχεια ελέγχει σε ποιά περιοχή ανήκει ο σταθμός βάσης και μας πληροφορεί για την περιοχή αυτή.

Σε μετρήσεις TOA κύριες πηγές σφαλμάτων είναι η έλλειψη οπτικής επαφής, ο θόρυβος και κατ' επέκτασιν οι συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον μελέτης, ο όχι καλός συγχρονισμός μεταξύ πομπού και δέκτη. Οι αλγόριθμοι πρέπει να βρίσκουν τρόπο να ελαχιστοποιούν τα σφάλματα αυτά.

### 3.2.2 Αλγόριθμος χρονικής διαφοράς άφιξης (Time Difference Of Arrival: TDOA)

Θα χρησιμοποιήσουμε το σύστημα πομπού και δεκτών που ορίσαμε στην προηγούμενη ενότητα. Ο αλγόριθμος της χρονικής διαφοράς άφιξης σε δύο δέκτες, υπολογίζει την διαφορά των αποστάσεων του πομπού από τους δύο δέκτες. Δηλαδή, μετράται η διαφορά  $\tau_2 = (t_2 - t_1)$  μεταξύ των σταθμών βάσης A και B, και  $\tau_3 = (t_3 - t_1)$  μεταξύ των σταθμών βάσης A και C. Οπότε για την περίπτωση οπτικής επαφής προκύπτουν οι εξισώσεις:

$$c\tau_2 = c t_2 - t_1 = c t_2 - t_0 - c t_1 - t_0 = \frac{x_2 - x^2 + y_2 - y^2}{2} - \frac{x_1 - x^2 + y_1 - y^2}{2} \quad (11)$$

$$c\tau_3 = c t_3 - t_1 = c t_3 - t_0 - c t_1 - t_0 = \frac{x_3 - x^2 + y_3 - y^2}{2} - \frac{x_1 - x^2 + y_1 - y^2}{2} \quad (12)$$

Οι εξισώσεις αυτές παριστάνουν υπερβολές στον διδιάστατο χώρο και η λύση τους είναι η τομή των υπερβολών εάν λυθεί γραφικά. Το μη γραμμικό σύστημα μπορεί να λυθεί αναλυτικά χρησιμοποιώντας μεθόδους αριθμητικής ανάλυσης ή μετατρέποντάς το σε γραμμικό με την βοήθεια των σειρών Taylor και στην συνέχεια να βρίσκαμε την λύση με επαναληπτικό αλγόριθμο. Εάν έχουμε στην διάθεσή μας περισσότερους σταθμούς βάσης, θα μπορούσαμε να εφαρμόσουμε κα πάλι την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων όπως κάναμε και πριν με τις μετρήσεις TOA. Για απεικόνιση στον τρισδιάστατο χώρο, θα υπήρχε εξάρτηση στις εξισώσεις (11) και (12) και από την μεταβλητή z. Για να ήταν όμως το

σύστημα επιλύσιμο με 3 αγνώστους, απαιτείται μια επιλέον εξίσωση, δηλαδή ένας επιπλέον σταθμός βάσης.

Παρατηρούμε ότι οι τελικές μορφές των εξισώσεων (11) και (12) δεν εξαρτώνται από την χρονική στιγμή  $t_0$  που συμβολίζει την χρονική στιγμή κατά την οποία εξέπεμψε ο πομπός. Αυτό είναι πολύ σημαντικό διότι υποδηλώνει ότι σε περίπτωση αποσυγχρονισμού πομπού και δεκτών, δεν θα υπάρχει καμία επίδραση στο αποτέλεσμα.

Ο υπολογισμός του TDOA γίνεται χρησιμοποιώντας την συσχέτιση ανάμεσα στα σήματα που λαμβάνουν οι σταθμοί βάσης. Έστω  $s(t)$  το εκπεμπόμενο σήμα. Τότε ο  $i$ -οστός σταθμός βάσης θα λάβει σήμα:  $x_i(t) = s(t - d_i) + n_i(t)$  όπου  $d_i$  είναι η καθυστέρηση και  $n_i(t)$  ο θόρυβος. Ενώ ο  $j$ -οστός σταθμός θα λάβει σήμα:  $x_j(t) = s(t - d_j) + n_j(t)$  όπου  $d_j$  είναι η καθυστέρηση και  $n_j(t)$  ο θόρυβος. Η συνάρτηση ετεροσυσχέτισης των δύο σημάτων είναι:

$$R_{x_i, x_j}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T x_i(t) x_j(t - \tau) dt \quad (13)$$

Όπου  $T$  μια περίοδος λήψης και  $\tau$  η ζητούμενη TDOA τιμή. Η καλύτερη εκτίμηση της  $\tau$  είναι η τιμή εκείνη που μεγιστοποιεί την συνάρτηση συσχέτισης. Δηλαδή, η τιμή εκείνη που κάνει τα δύο σήματα να μοιάζουν περισσότερο μεταξύ τους, αφού οι σταθμοί βάσης λαμβάνουν το ίδιο σήμα, με μία μόνο διαφορά στην χρονική στιγμή.

Βεβαίως, το πρόβλημα έλλειψης οπτικής επαφής επηρεάζει και την μέθοδο TDOA, και θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μέθοδοι που ελαχιστοποιούν το σφάλμα αυτό.

### 3.2.3 Αλγόριθμος ισχύος λαμβανόμενου σήματος (RSS)

Ο αλγόριθμος κατά τον οποίο μετράται η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος δεν υποφέρει σε πολύ μεγάλο βαθμό από την έλλειψη οπτικής επαφής που μπορεί να υπάρχει μεταξύ πομπού και δέκτη και οδηγεί σε σφάλματα στο τελικό αποτέλεσμα, όπως γίνεται με τους αλγόριθμους κατά τους οποίους μετράται χρονική διάρκεια.

Το σήμα που λαμβάνει ένας δέκτης είναι εξασθενημένο σε σχέση με αυτό που εκπέμφθηκε, έστω  $LS$  η ποσότητα αυτή. Αυτό που κάνει ο αλγόριθμος είναι να συσχετίζει την εξασθένιση με την απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη. Η συσχέτιση πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας ένα εμπειρικό, ή στατιστικό ή αναλυτικό μοντέλο της επιλογής μας, ώστε να μοντελοποιήσουμε το περιβάλλον μελέτης μας.

Έχοντας το γνωστό σύστημα των τριών σταθμών βάσης στις θέσεις A, B και C και μετρώντας τις εξασθενήσεις  $LS_1$ ,  $LS_2$ , και  $LS_3$  αντίστοιχα μπορούμε χρησιμοποιώντας το



μοντέλο διάδοσης να υπολογίσουμε τις αποστάσεις  $R_1$ ,  $R_2$  και  $R_3$ . Προκύπτει το ίδιο ακριβώς μη γραμμικό σύστημα με τις εξισώσεις (1), (2), (3) της μεθόδου TOA:

$$R_1^2 = (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 \quad (14)$$

$$R_2^2 = (x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 \quad (15)$$

$$R_3^2 = (x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 \quad (16)$$

Η λύση των παραπάνω εξισώσεων είναι η τομή των κύκλων. Πρέπει να σημειωθεί ότι στην μέθοδο RSS, λόγω της δυσκολίας που υπάρχει στην μοντελοποίηση του εσωτερικού περιβάλλοντος, τα σφάλματα στα οποία οδηγούμαστε μπορεί να είναι αρκετά μεγάλα. Για αυτό τον λόγο η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις στις οποίες η πιθανότητα έλλειψης οπτικής επαφής, η πιθανότητα αποσυγχρονισμού, ή το κόστος των συστημάτων χρονικών μετρήσεων να καθιστά τους προηγούμενους αλγόριθμους απαγορευτικούς και τον RSS ως τον καταλληλότερο.

Η λύση για καλύτερες μετρήσεις είναι τα μοντέλα διάδοσης. Ένα καλύτερο μοντέλο από το μοντέλο διάδοσης ελευθέρου χώρου είναι το Ελλειπτικό μοντέλο διάδοσης (Ellipse Propagation Model), το οποίο θεωρεί ότι η ισοδυναμική επιφάνεια γύρω από έναν σταθμό βάσης με ίσες RSS τιμές, δεν είναι σφαιρικής μορφής όπως προτείνει το μοντέλο ελευθέρου χώρου, αλλά ελλειπτικής μορφής. Το Ελλειπτικό Μοντέλο είναι μόνο ένα από τα πολλά που έχουν αναπτυχθεί για την όσο τον δυνατόν καλύτερη μοντελοποίηση εσωτερικού περιβάλλοντος, έχοντας ως κύριο στόχο την εξάλειψη των σφάλματων.

#### 3.2.4 Αλγόριθμος χρονικής διάρκειας μετ' επιστροφής (Roundtrip Time Of Flight: RTOF)

Όπως υποδηλώνει και το όνομα του αλγόριθμου αυτού, πρόκειται για έναν αλγόριθμο που βασίζεται σε μετρήσεις όπου το σήμα ξεκινά από τον πομπό, λαμβάνεται από τον δέκτη και επιστρέφει στον πομπό. Έχοντας τις μετρήσεις RTOF από όλους τους σταθμούς βάσης, μπορούμε με τον γνωστό τρόπο να υπολογίσουμε τις αποστάσεις των σταθμών από τον στόχο, βρίσκοντας έτσι την θέση του τελευταίου στον χώρο. Το σύστημα των εξισώσεων στο οποίο καταλήγουμε είναι σχεδόν ίδιο με εκείνο των TOA μετρήσεων με την μόνη διαφορά ότι τώρα έχουμε υπολογίσει την διπλάσια απόσταση μεταξύ σταθμών βάσης και του αντικειμένου.

Οι μετρήσεις RTOF είναι πιο αξιόπιστες από τις TOA διότι εξαλείφεται η επίδραση του φαινομένου του αποσυγχρονισμού μεταξύ πομπού και δέκτη. Στην μέθοδο RTOF, μόνο ο πομπός συμμετέχει στις μετρήσεις, αρχή από τον πομπό και άφιξη σε αυτόν, με αποτέλεσμα να χρειάζεται μόνο ένα ρολόι.

Τα αρνητικά της μεθόδου αυτής είναι η καθυστέρηση του αιτήματος στον αναμεταδότη. Όταν το σήμα φτάσει στον αναμεταδότη, θα υποστεί μια αναγκαστική καθυστέρηση μέχρι την επανεκπομπή του προς τον πομπό. Το ποσό θα επηρεάσει το αποτέλεσμα η καθυστέρηση αυτή είναι σχετικό με τις διαστάσεις του χώρου που μελετάμε. Πιο συγκεκριμένα, όταν ο προμελετημένος χώρος είναι μεγάλος, και άρα ο χρόνος διάδοσης του σήματος είναι μεγάλος, τότε η καθυστέρηση και συνεπώς το σφάλμα είναι αμελητέο. Όμως στις περισσότερες περιπτώσεις εσωτερικού χώρου που μελετάμε, οι αποστάσεις είναι μικρές όπως και οι χρόνοι διάδοσης με αποτέλεσμα η καθυστέρηση στον αναγνώστη να είναι σημαντικής ποσότητας. Τελικά, για να αποφύγουμε μεγάλα σφάλματα θα πρέπει να λαμβάνουμε υπόψιν τον χρόνο παραμονής του σήματος στον αναμεταδότη και να τον αφαιρούμε από τον συνολικό ή να χρησιμοποιούμε συστήματα στα οποία οι αναγνώστες λειτουργούν ως απλοί σκεδαστές όπως είναι το Μικροκυματικό Σύστημα Διαμόρφωσης Οπισθοδιασποράς (Microwave Backscatter Modulation System). Φυσικά όμως, στο τελικό αποτέλεσμα συμπεριλαμβάνεται και το σφάλμα απο πιθανή έλλειψη οπτικής επαφής.

### 3.2.5 Αλγόριθμος φάσης λαμβανόμενου σήματος (Phase Of Arrival: POA)

Ο αλγόριθμος φάσης λαμβανόμενου σήματος προσεγγίζει το πρόβλημα εντελώς διαφορετικά από τους αλγόριθμους που έχουν αναφερθεί έως τώρα. Έστω ότι ένας πομπός σε μια σταθερή και γνωστή θέση  $z_0$  εκπέμπει ένα σήμα, το σήμα αυτό θα φτάσει στον δέκτη με φάση έστω  $0 < \varphi_1 < 2\pi$ . Εάν ο δέκτης έχει την δυνατότητα μέτρησης της φάσης τότε σύμφωνα με τους νόμους που διέπουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα η απόσταση του δέκτη  $z_1$  μπορεί να υπολογιστεί από τις σχέσεις:

$$\varphi_1 = \frac{\omega}{c} \Delta z \quad (17)$$

και

$$z_1 = \Delta z + z_0 \quad (18)$$

Σε ειδικές περιπτώσεις όπου το μήκος κύματος  $\lambda$  που χρησιμοποιείται είναι μικρότερο από την μέγιστη απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη τότε δεν εξασφαλίζεται μια μοναδική τιμή της ζητούμενης απόστασης με την μέθοδο POA και δημιουργείται ένα πρόβλημα το οποίο καλούμαστε να επιλύσουμε.

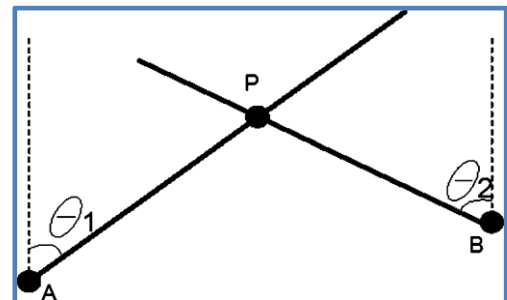
Πρέπει εδώ να παρατηρήσουμε ότι αφού ο δέκτης μετρήσει τις φάσεις των λαμβανόμενων σημάτων από όλους τους πομπούς και υπολογιστούν οι αποστάσεις πομπών και σταθμού βάσης, μπορούμε να εργαστούμε όπως στην περίπτωση μετρήσεων

της μεθόδου TOA. Ενώ, αν είχαμε την δυνατότητα να μετρήσουμε την διαφορά φάσης των σημάτων που φτάνουν στον δέκτη από ζεύγη πομπών, τότε θα εργαζόμασταν όπως στην μέθοδο TDOA.

Η φάση ενός σήματος που προέρχεται από σήμα πολλαπλών ανακλάσεων διαφέρει αισθητά από το άμεσο σήμα και προσθέτει σοβαρό σφάλμα στην μέτρηση μας. Οπότε σε περιπτώσεις με μεγάλη πιθανότητα να υπάρχει έλλειψη οπτικής επαφής, συνιστάται να μην χρησιμοποιείται η μέθοδος της φάσης διότι θα οδηγεί σε αναξιόπιστα αποτελέσματα.

### 3.2.6 Τεχνικές γωνίας κατεύθυνσης ή γωνίας άφιξης σημάτων (Angulation Techniques- Angle Of Arrival: AOA)

Οι τεχνικές αυτές χρησιμοποιούν την γωνία άφιξης των διαδιδόμενων σημάτων για τον υπολογισμό θέσεων αντικειμένων στον εσωτερικό χώρο. Έστω ότι δύο σταθμοί βάσης βρίσκονται στις θέσεις A και B αντίστοιχα. Το αντικείμενο του οποίου την θέση θέλουμε να υπολογίσουμε έστω ότι βρίσκεται στην θέση P.



Σχήμα 3.2.6 Τεχνική γωνίας άφιξης σημάτων

Η κατεύθυνση διάδοσης του σήματος από την θέση P προς τον σταθμό βάσης A έχει γωνία  $\theta_1$  ως προς την κατακόρυφο, και το σήμα ως προς τον σταθμό βάσης B έχει γωνία  $\theta_2$  όπως φαίνεται στο σχήμα. Οι γωνίες μετρώνται με κατευθυντικές κεραιές ή στοιχειοκεραίες.

Θεωρούμε ότι ο κατακόρυφος άξονας είναι ο άξονας  $y$  και  $r_1 = PA$ ,  $r_2 = PB$  προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$\begin{aligned} x &= x_1 + r_1 \sin \theta_1 \\ y &= y_1 + r_1 \cos \theta_1 \\ x &= x_2 - r_2 \sin \theta_2 \\ y &= y_2 + r_2 \cos \theta_2 \end{aligned} \quad (19)$$

Από το παραπάνω σύστημα παίρνουμε μια μοναδική λύση η οποία είναι και η θέση του αντικειμένου που θέλουμε να εντοπίσουμε. Ενώ για απεικόνιση στον δισδιάστατο χώρο αρκούν δύο σταθμοί βάσης, στον τρισδιάστατο χρειαζόμαστε τουλάχιστον τρεις. Με περισσότερους σταθμούς βάσης στην διάθεσή μας, ικανοποιητική μέθοδος αποτελεί και η επίλυση του συστήματος (19) με την μέθοδο των Ελαχίστων Τετραγώνων.

Το γεγονός ότι η μέθοδος AOA απαιτεί μόνο δύο σταθμούς βάσης για διδιάστατη απεικόνιση αποτελεί πλεονέκτημα της μεθόδου όπως και το ότι δεν χρειάζεται να υπάρχει συγχρονισμός ανάμεσα σε πομπό και δέκτες. Το βασικό μειονέκτημά τους είναι ο μεγάλος και πολύπλοκος εξοπλισμός που χρειάζεται.

Η μέθοδος μέτρησης της γωνίας άφιξης επηρεάζεται από τα σφάλματα με τον ίδιο τρόπο που επηρεάζεται και η μέθοδος μέτρησης φάσης. Δηλαδή, εκτός από τις επιδράσεις των συνθηκών του εσωτερικού περιβάλλοντος, σε περιπτώσεις έλλειψης οπτικής επαφής το σφάλμα είναι απαγορευτικό για την εφαρμογή της μεθόδου. Τέλος, ως μην ξεχνάμε και τα σφάλματα των οργάνων μέτρησης, όπως είναι ο κακός προσανατολισμός των κεραιών.

### **3.3 Ανάλυση τοποθεσίας (Scene Analysis)**

Η μέθοδος της ανάλυσης τοποθεσίας χωρίζεται σε δύο στάδια. Το πρώτο ονομάζεται *offline stage* και περιλαμβάνει τη συλλογή πληροφοριών για τον χώρο που θα μελετήσουμε και τα χαρακτηριστικά αυτού. Αυτό επιτυγχάνεται λαμβάνοντας μετρήσεις για ένα συγκεκριμένο του σήματος σε πολλές και διαφορετικές θέσεις μέσα στον υπο μελέτη χώρο. Οι πληροφορίες αυτές αποκαλούνται «δακτυλικά αποτυπώματα». Στο δεύτερο στάδιο, *online stage*, πραγματοποιούνται οι πραγματικές μετρήσεις οι οποίες συγκρίνονται με τα δακτυλικά αποτυπώματα του πρώτου σταδίου και εντοπίζεται η θέση εκείνη που ταιριάζει περισσότερο στις μετρήσεις. Συνήθως το χαρακτηριστικό του σήματος που μετράται περισσότερο είναι η RSS τιμή τους.

Θεωρούμε σταθμούς βάσης σε διάφορες θέσεις του χώρου που καλούνται σημεία πρόσβασης (Access Points: APs). Κατά το *offline stage* εκπέμπονται σήματα από τους σταθμούς βάσης, σε σημεία αναφοράς με γνωστές συντεταγμένες μετρώνται οι RSS τιμές των σημάτων. Στην συνέχεια, συλλέγονται όλες οι RSS μετρήσεις σε όλες τις υποψήφιες θέσεις και κατασκευάζεται ένας ραδιοχάρτης (*radio map*). Η κατασκευή του οποίου διαφέρει, χρησιμοποιώντας τότε την μέση τιμή των μετρήσεων και τότε στατιστικές τιμές ανάλογα με τον αλγόριθμο εντοπισμού που χρησιμοποιείται. Οι αλγόριθμοι αυτοί θα αναλυθούν στην συνέχεια του κεφαλαίου. Κατά την διάρκεια του *online stage*, ο στόχος μετράει τις RSS τιμές των σημάτων που εκπέμπονται από τους σταθμούς βάσης και συγκρίνονται με αυτές του *radio map*. Το αποτέλεσμα της σύγκρισης αυτής είναι οι συντεταγμένες με τιμή RSS πλησιέστερη στην τιμή RSS που μετρήθηκε.

Οι *scene analysis* τεχνικές στηρίζονται σ'ένα μεγάλο σύνολο μετρήσεων για την κατασκευή των *radiomap* και γι' αυτό θεωρούνται πιο αξιόπιστες από τις τεχνικές *triangulation*. Οι απρόβλεπτες συνθήκες του εσωτερικού περιβάλλοντος μαζί με των θόρυβο, τις παρεμβολές, τις πολλαπλές ανακλάσεις, τις εξασθενήσεις, το φαινόμενο της σκίασης, η έλλειψη οπτικής επαφής που επηρεάζουν σημαντικά τα αποτελέσματα των

τεχνικών όπου χρησιμοποιείται τριγωνοποίηση, εξαλείφονται σχεδόν με την λήψη επαναλαμβανόμενων μετρήσεων σε μια συγκεκριμένη θέση, αφού κατά το online στάδιο μπορούν εύκολα να προβλεφθούν.

Υπάρχουν φυσικά και προβλήματα που πρέπει να επιλυθούν. Σε περιπτώσεις έντονων διαλείψεων ο ραδιο-χάρτης μπορεί να μην κατασκευαστεί σωστά, ή σε περιπτώσεις που οι online μετρήσεις συγκλίνουν όχι σε μία αλλά σε δυο πιθανές θέσεις. Ο τρόπος για να αποφύγουμε τέτοια λάθη είναι να διαλέξουμε με προσοχή τις πιθανές θέσεις και να πραγματοποιήσουμε περισσότερες μετρήσεις σε αυτές. Ας μην ξεχνάμε επίσης ότι οι υποψήφιας θέσεις αντιπροσωπεύουν την πιθανή περιοχή και όχι ένα σημείο.

### 3.3.1 Πιθανοτικές μέθοδοι (Propabilistic Methods)

Στις πιθανοτικές μεθόδους τα δαχτυλικά αποτυπώματα εκφράζουν την πιθανότητα εμφάνισης διάφορων τιμών σε κάθε υποψήφια θέση, δίνοντας έτσι μια στατιστική εικόνα των χαρακτηριστικών διάδοσης στον χώρο μελέτης. Έστω ότι στον χώρο μελέτης  $l_1, l_2, \dots, l_i$  οι RSS τιμές που μετρώνται από κάθε  $k$ -οστό σταθμό βάσης είναι της μορφής  $s = RSS_1, RSS_2, \dots, RSS_K$ . Η πιθανότητα λήψης του διανύσματος μετρήσεων  $s$  στην  $i$ -οστή θέση είναι:  $P_s l_i$

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι υπολογισμού των πιθανοτήτων στις πιθανοτικές μεθόδους. Μια από αυτές είναι να δημιουργήσουμε ένα ιστόγραμμα μετρήσεων σε κάθε μια υποψήφια θέση  $l_i$  για κάθε σταθμό βάσης  $b_j$  για  $j=1, \dots, k$ , από τον οποίο λαμβάνονται τα σήματα. Έτσι, για ικανοποιητικό αριθμό μετρήσεων RSS, μπορούμε να υπολογίσουμε την πιθανότητα  $P_{RSS_j b_j, l_i}$ , που εκφράζει την πιθανότητα ο  $j$ -οστός σταθμός βάσης να δίνει την  $RSS_j$  μέτρηση στην θέση  $l_i$ . Τελικά, θεωρούμε ότι οι σταθμοί βάσης είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους οπότε μπορούμε να πολλαπλασιάσουμε τις πιθανότητες  $P_{RSS_j b_j, l_i}$ , έτσι ώστε να υπολογίσουμε την:

$$P_o l_i = \prod_{j=1}^k P_{RSS_j b_j, l_i} \quad (20)$$

Η σχέση (20) εκφράζει την πιθανότητα να ληφθεί το συγκεκριμένο διάνυσμα μετρήσεων στην θέση  $l_i$ . Οι πιθανότητες  $P_o l_i$  είναι αυτές που καταγράφονται στον ραδιοχάρτη που κατασκευάζουμε.

Ένας άλλος τρόπος είναι να θεωρήσουμε τις RSS τιμές ως τυχαίες μεταβλητές κατανομής Gauss, υπολογίζοντας τις μέσες τιμές και τις τυπικές αποκλίσεις σε κάθε υποψήφια θέση. Έτσι, μελετώντας τις τιμές αυτές μπορούμε να υπολογίσουμε τις  $P_o l_i$ . Οι πιθανότητες αυτές εκφράζουν την πιθανότητα το διάνυσμα μετρήσεων να πάρει την τιμή

ο στην θέση  $l_i$ . Επίσης, θεωρώντας τις RSS μετρήσεις ανεξάρτητες μπορούμε να υπολογίσουμε την συνολική πιθανότητα πολλαπλασιάζοντας τις επιμέρους.

Οι στατιστικές πληροφορίες που υπολογίζονται με τους τρόπους που αναφέραμε παραπάνω λαμβάνουν μέρος κατά το offline στάδιο. Κατά το online στάδιο, το προς απεικόνιση αντικείμενο συλλέγει ένα διάνυσμα μετρήσεων  $s = RSS_1, RSS_2, \dots, RSS_K$ , αν γνωρίζουμε την πιθανότητα  $P(l_i | s)$ , η οποία εκφράζει την πιθανότητα να βρισκόμαστε στην θέση αυτή, τότε μπορούμε να υποθέσουμε ότι το αντικείμενο βρίσκεται πλησιέστερα στην θέση εκείνη με την μεγαλύτερη πιθανότητα  $P(l_i | s)$ . Όμως, με αυτόν τον τρόπο υπολογισμού, παίρνουμε ως αποτέλεσμα σε ποιά θέση το αντικείμενο είναι πιο κόντα, και όχι σε ποιά θέση βρίσκεται ακριβώς.

Μια καλή προσέγγιση είναι να εκτιμήσουμε τις ακριβείς συντεταγμένες ενός αντικειμένου άγνωστης θέσης παίρνοντας τον μέσο όρο των συντεταγμένων όλων των πιθανών θέσεων. Έστω ότι  $n$  υποψήφια θέσεις  $l_i$  στον χώρο έχουν γνωστές συντεταγμένες  $(x_i, y_i), i = 1, \dots, n$  και  $s$  διάνυσμα που μετρήθηκε κατά το online στάδιο, τότε η απεικόνιση στο 2-Δ χώρο γίνεται παίρνοντας τον μέσο όρο των συντεταγμένων  $(x_i, y_i)$ , όλων των υποψήφια θέσεων θεωρώντας ως βάρη τις πιθανότητες  $P(l_i | s)$ . Δηλαδή, από την σχέση:

$$x, y = \sum_{i=1}^n P(l_i | s) \cdot (x_i, y_i) \quad (21)$$

Το πώς θα επιλεγούν οι υποψήφια θέσεις και ποιος θα είναι ο τρόπος συλλογής των δεδομένων αποτελεί ένα από τα σημαντικά θέματα που πρέπει να επιλυθούν πριν την χρησιμοποίηση της μεθόδου. Μια λύση είναι η χρήση των πιθανοτικών πλεγμάτων (probability grid), που διαιρεί τον χώρο σε κυψέλες, η χρήση ενός μετρητή (calibrator) που περιφέρεται στον χώρο λαμβάνοντας συνεχώς RSS μετρήσεις, ή η ομαδοποίηση του χώρου μελέτης σε συστάδες (clusters) και η συλλογή καταλλήλου αριθμού διανυσμάτων μετρήσεων σε κάθε ένα από αυτά.

Ο αριθμός των θέσεων και των μετρήσεων μπορεί να διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή, λόγω ομοιότητας στις μετρήσεις ή έντονων διαλείψεων, αναγκάζοντας μας να συλλέγουμε περισσότερες πληροφορίες για ορισμένες θέσεις και λιγότερες σε άλλες. Επίσης, ο μεγάλος αριθμός θέσεων δεν είναι αναγκαστικά καλό για το σύστημα και θα πρέπει να αποφεύγεται εφόσον δεν υπάρχουν σημαντικές επιπτώσεις στην ακρίβεια των μετρήσεων, διότι καθιστούν το σύστημα χρονοβόρο. Μια πρακτική μέθοδος επιλογής κατάλληλων calibration points είναι λαμβάνοντας υπόψη το αναμενόμενο μελλοντικό σφάλμα  $E_{err}(l_i)$  που δίνει κάθε πιθανή θέση.

Μια μέθοδος που βελτιώνει την ακρίβεια του αποτελέσματος εξαλείφοντας τα προβλήματα που δημιουργούνται μειώνοντας τα calibration points καθώς και άλλων παραγόντων είναι οι αλγόριθμοι που βασίζονται στο Hidden Markov Model. Διότι, εκτός από τα calibration points λαμβάνει υπόψη του και τα ίχνη του χρήστη σε μια προσπάθεια

καταγραφής και άλλων RSS μετρήσεων εκτός εκείνων που ορίσαμε ως calibration points. Έτσι, η ανακρίβεια που εισάγεται στο αποτέλεσμα λόγω της μείωσης των calibration points εξισορροπείται και βελτιώνεται όσο αυξάνονται τα user traces. Μια εφαρμογή που χρησιμοποιεί το Hidden Markov Model είναι η συνεχής εκτίμηση της τροχιάς (tracking).

Οι πιθανοτικές μέθοδοι έχουν και αυτές τα μειονεκτήματά τους όπως είναι η πολύ μνήμη που χρειάζεται το σύστημα κατά το offline στάδιο της επεξεργασίας, και η μεγάλη χρονική διάρκεια του σταδίου αυτού. Η αξιοπιστία όμως που παρέχει μια τέτοια μέθοδος είναι αρκετά ικανοποιητική ώστε να αποτελεί μία καλή μέθοδο εντοπισμού.

### 3.3.2 k Πλησιέστεροι γείτονες (k Nearest Neighbors: kNN)

Ο αλγόριθμος k-Πλησιέστερων γειτόνων, συγκρίνει τις μετρήσεις που συλλέχθηκαν κατά το online στάδιο με αυτές του offline σταδίου που είναι αποθηκευμένες στον ραδιοχάρτη, και επιλέγει τις k υποψήφιες θέσεις με τις πιο κοντινές τιμές στις online μετρήσεις με σκοπό να εκτιμήσει την θέση του αντικειμένου.

Για διάνυσμα τιμών  $s = RSS_{1i}, RSS_{2i}, \dots, RSS_{mi}$  για κάθε υποψήφια θέση  $l_i$  που αποθηκεύεται στον radiomap από m σταθμούς βάσης κατά το offline στάδιο, και ένα διάνυσμα  $o = o_1, o_2, \dots, o_m$  RSS μετρήσεων κατά το online στάδιο, ο kNN θα υπολογίσει τις αποστάσεις των s και ο διανυσμάτων για κάθε μία θέση. Εάν ως μέτρο σύγκρισης των δύο χρησιμοποιηθεί η ευκλείδεια διανυσματική απόσταση, τότε:

$$d_i = \sqrt{(o_1 - RSS_{1i})^2 + (o_2 - RSS_{2i})^2 + \dots + (o_m - RSS_{mi})^2}, \quad i = 1, \dots, n \quad (22)$$

Ο αλγόριθμος θα επιλέξει τις υποψήφιες θέσεις με τις μικρότερες αποστάσεις  $d_i$ . Εάν θέλουμε να εκτιμήσουμε την περιοχή στην οποία βρίσκεται το αντικείμενο, θα χωρίζουμε τον χώρο μελέτης σε υποπεριοχές και ο αλγόριθμος θα επέλεγε εκείνη με τις περισσότερες k υποψήφιες θέσεις. Εάν θέλουμε τις συντεταγμένες και δεν αρκούμαστε σε μια υποπεριοχή, τότε οι συντεταγμένες θα υπολογιστούν παίρνοντας την μέση τιμή των συντεταγμένων για τις k θέσεις που επιλέξαμε.

Σφάλματα εισάγονται διότι δεν έχουν όλες οι k θέσεις την ίδια απόσταση από το αντικείμενο και μερικές απέχουν πολύ περισσότερο από άλλες. Αναγκάζομαστε έτσι να εισάγουμε βάρη στις offline τιμές για να μειώσουμε την επιρροή εκείνων των μετρήσεων που απέχουν πολύ από την πραγματική τιμή. Ωστόσο, μειώνοντας το σφάλμα και αυξάνοντας την αξιοπιστία του συστήματος, αυξάνουμε και την πολυπλοκότητα.

Οι αποστάσεις  $d_i$  κατά την πάροδο του χρόνου είναι δυνατό να μεταβάλλονται ακόμα και αν το αντικείμενο μένει ακίνητο, λόγω μεταβλητότητας στις RSS τιμές (διαλείψεις, εξασθενήσεις, κ.λπ.). Είναι σημαντικό ο radiomap να ακολουθάει αυτήν την

μεταβλητότητα και να ενσωματώνει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του χώρου σε αυτόν. Όσο περισσότερα διανύσματα  $d_i$  λαμβάνουμε, δηλαδή για μεγάλες τιμές του  $k$ , τόσο εξαλείφεται το σφάλμα που οφείλεται σε παράγοντες διάδοσης. Φυσικά, όμως υπάρχει ένα ανώτατο όριο πέρα από το οποίο η αύξηση του  $k$  εισάγει σφάλμα αντί να το μειώσει, γι' αυτό χρειάζεται προσοχή στην επιλογή του.

Η ακρίβεια του kNN αλγορίθμου έχει βρεθεί ότι είναι καλύτερη από την Πιθανοτική Μέθοδο ή τα Νευρωνικά Δίκτυα αν και αποτελεί μια αρκετά χρονοβόρα μέθοδο.

### 3.3.3 Νευρωνικά Δίκτυα (Neural Networks)

Χρησιμοποιούμε τα Νευρωνικά Δίκτυα για να προσεγγίσουμε την μη γραμμική αντιστοίχιση μεταξύ RSS τιμών και πιθανών θέσεων. Η βασική μονάδα του Νευρικού Δικτύου είναι το «τεχνητό νεύρο» (artificial neuron), το οποίο παίρνει ως εισόδους μια σειρά τιμών  $x_i$  και δίνει ως έξοδο το αποτέλεσμα της συνάρτησης:

$$f(x_i \cdot w_i + b) \quad (23)$$

Όπου:  $w_i$  τα βάρη κάθε μέτρησης,  $b$  μια τιμή bias, και  $f$  μια αυθαίρετη συνάρτηση μεταφοράς που δεν σχετίζεται με την συνάρτηση  $F$  που προσεγγίζει το Νευρικό Δίκτυο.

Ένα Νευρωνικό Δίκτυο αποτελείται από πολλά νεύρα οργανωμένα σε επίπεδα (layers). Το πρώτο επίπεδο είναι το επίπεδο εισόδου (input layer) και το τελευταίο το επίπεδο εξόδου (output layer). Οπότε παράμετροι που πρέπει να επιλεγούν είναι ο αριθμός εισόδων και εξόδων, ο αριθμός των επιπέδων και των νεύρων, ο τρόπος διασύνδεσης των επιπέδων, και η κατάλληλη συνάρτηση μεταφοράς  $f$ .

Ο προσδιορισμός των τιμών weights και bias, γίνεται με την διαδικασία εκμάθησης του δικτύου (learning rules), μέσω ενός αλγορίθμου εξάσκησης (training algorithm). Υπάρχουν πολλοί τύποι διαδικασιών εκμάθησης όπως είναι η επιβλεπόμενη εκμάθηση (supervised learning), η εκμάθηση ενίσχυσης (reinforcement learning) και η μη επιβλεπόμενη εκμάθηση (unsupervised learning). Η χρησιμοποιούμενη μέθοδος εκμάθησης συγκρίνει συνεχώς τις πραγματικές με τις αναμενόμενες τιμές εξόδου, και χρησιμοποιεί τις διαφορές μεταξύ αυτών των δύο, για να υπολογίζει και να τροποποιεί τις τιμές των weights και bias. Γνωρίζοντας τώρα τις τιμές αυτές το Νευρωνικό Δίκτυο μπορεί να προσεγγίσει την συνάρτηση  $F$  που επιθυμούμε.

Πιο συγκεκριμένα, κάθε διάνυσμα RSS τιμών του online σταδίου αντιστοιχίζεται με μια θέση στον χώρο, η οποία αποτελεί την εκτιμώμενη θέση του αντικειμένου που εξετάζουμε. Η αντιστοίχιση αυτή γίνεται με τις τιμές του radiomap. Οπότε η σωστή λειτουργία ενός Νευρικού Δικτύου είναι, για κάθε online RSS μέτρηση που λαμβάνει ως είσοδο, η έξοδός του είναι μια θέση η οποία βρίσκεται πιο κοντά στην υποψήφια θέση με



τις κοντινότερες στο διάνυσμα εισόδου offline τιμές. Ενώ, στην περίπτωση προβλήματος, η είσοδος είναι online RSS μετρήσεις, και η έξοδος του είναι ένα διάνυσμα δύο και τριών μεταβλητών που αντιστοιχούν σε συντεταγμένες 2-Δ και 3-Δ στον χώρο.

Αν και τα Νευρωνικά Δίκτυα προσεγγίζουν με καλή ακρίβεια τις πολυμεταβλητές καταστάσεις, σε ορισμένες εφαρμογές δίνουν σφάλμα πάνω από το επιτρεπτό όριο. Αλλαγές μπορεί να πραγματοποιηθούν στον αριθμό των νεύρων και των επιπέδων καθώς και στην αύξηση των επαναλήψεων κατά το στάδιο εκμάθησης ώστε να μειωθεί το πιθανό σφάλμα. Η αξιοπιστία έχει βρεθεί ότι είναι χαμηλότερη από άλλες μεθόδους όπως η scene analysis, αν και ο χρόνος υπολογισμού είναι μικρότερος από τις υπόλοιπες μεθόδους. Καθώς και το γεγονός ότι η μέθοδος αυτή υπολογίζει συντεταγμένες και όχι περιοχές αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα.

### 3.3.4 Μηχανή Υποστήριξης Διανυσμάτων (Support Vector Machine: SVM)

Η Μηχανή Υποστήριξης Διανυσμάτων είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για τεχνικές ταξινόμησης (classification) και παλινδρόμησης (regression). Λαμβάνει χώρα και εδώ το offline στάδιο εκμάθησης. Χωρίζεται σε δύο κατηγορίες, τις εφαρμογές που αφορούν τα προβλήματα ταξινόμησης Support Vector Classification (SVC) και τις εφαρμογές παλινδρόμησης, Support Vector Regression (SVR). Σε προβλήματα εντοπισμού θέσης χρησιμοποιείται κυρίως η τεχνική SVC η οποία έχει την δυνατότητα να αντιστοιχεί RSS διανύσματα σε πολλές κλάσεις ενώ τα προβλήματα εντοπισμού θέσης με την μέθοδο παλινδρόμησης παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες με εκείνα της μεθόδου των Ελαχίστων Τετραγώνων.

### 3.3.5 Ελάχιστο M-γωνο (Smallest M-Vertex Polygon: SMP)

Ο SMP αλγόριθμος εντοπίζει τις πιθανές θέσεις ενός αντικειμένου βασιζόμενος μόνο στις μετρήσεις από έναν μόνο σταθμό βάσης κάθε φορά. Δηλαδή, συγκρίνει την online RSS μέτρηση που εκπέμπεται από ένα σταθμό βάσης, με τις offline τιμές όλων των υποψήφια θέσεων που αφορούν το σήμα εκείνο που εκπέμπεται από τον συγκεκριμένο σταθμό βάσης.

Στην συνέχεια, ο αλγόριθμος επιλέγει τουλάχιστον μια υποψήφια θέση ως πιθανή και επαναλαμβάνει την διαδικασία για όλους του M σταθμούς βάσης, δημιουργώντας έτσι έναν αριθμό από πολύγωνα. Κάθε πολύγωνο αποτελείται από M κορυφές, όπου κάθε κορυφή αντιπροσωπεύει μια υποψήφια θέση για κάθε ένα από τους M σταθμούς βάσης.

Εάν παραπάνω πιθανές θέσεις αντιστοιχούν σε ένα σταθμό βάσης, τότε οι θέσεις αυτές αποτελούν ξεχωριστές κορυφές πολυγώνων. Ο εντοπισμός της θέσης ενός αντικειμένου γίνεται με την επιλογή του μικρότερου πολυγώνου, δηλαδή εκείνου με την μικρότερη περίμετρο και υπολογίζοντας τον μέσο όρο των συντεταγμένων των κορυφών του.

### 3.4 Αλγόριθμοι Εγγύτητας (Proximity Algorithms)

Οι αλγόριθμοι εγγύτητας κατατάσσονται στην κατηγορία εκείνων που υπολογίζουν σε ποιά περιοχή του χώρου μελέτης βρίσκεται το αντικείμενο και όχι τις ακριβείς συντεταγμένες αυτού. Η εφαρμογή του αλγορίθμου αυτού, γίνεται συνήθως αφού τοποθετηθεί στο χώρο ένα πυκνό πλέγμα κεραιών. Οι κεραιές είναι τοποθετημένες σε γνωστά σημεία με σκοπό να ανιχνεύσουν το σήμα που εκπέμπεται από τον πομπό που βρίσκεται στο αντικείμενο. Η κεραία που θα ανιχνεύσει το σήμα σημαίνει πως είναι και η πλησιέστερη στο αντικείμενο. Σε περιπτώσεις όπου το σήμα ανιχνεύεται από περισσότερες από μια κεραιές, επιλέγουμε εκείνη με την ισχυρότερη στάθμη σήματος.

Η ευκολία της εφαρμογής αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα έναντι άλλων, καθώς και ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί και από άλλα συστήματα και διάφορα είδη φυσικού εξοπλισμού. Αναφορικά δύο ευρέως γνωστά είδη συστημάτων εντοπισμού θέσης εσωτερικού χώρου που χρησιμοποιούν αλγόριθμο εγγύτητας είναι τα συστήματα υπέρυθρης ακτινοβολίας (infrared radiation: IR) και φυσικά τα συστήματα που χρησιμοποιούν ασύρματη επικοινωνία αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων (radio frequency identification: RFID). Επίσης και τα κυψελωτά δίκτυα είναι ιδανικά για την εφαρμογή αλγορίθμων εγγύτητας.

### 3.5 Χαρακτηριστικά Απόδοσης

Η απόδοση ενός συστήματος δεν έγκειται μόνο στο πόσο ακριβές είναι το τελικό αποτέλεσμα, αλλά σχετίζεται και με άλλα χαρακτηριστικά κριτήρια απόδοσης ώστε να έχουμε μια συνολική και ολοκληρωμένη εικόνα του πως συμπεριφέρεται ένα σύστημα. Είναι πρακτικά αδύνατο κάποιο σύστημα να υπερτερεί σε όλα τα χαρακτηριστικά κριτήρια απόδοσης, και γι 'αυτό επιλέγεται εκείνο που ταιριάζει περισσότερο στην εφαρμογή που μας ενδιαφέρει. Βελτίωση ενός κριτηρίου απόδοσης δεν συνεπάγεται αναγκαστικά στην βελτίωση της απόδοσης του συνολικού συστήματος, διότι παράλληλα μπορεί να προκαλέσει μείωση της απόδοσης ως προς ένα άλλο κριτήριο. Παρακάτω παρατίθενται αναλυτικά μερικά από τα κριτήρια απόδοσης που ενδιαφέρουν περισσότερο.

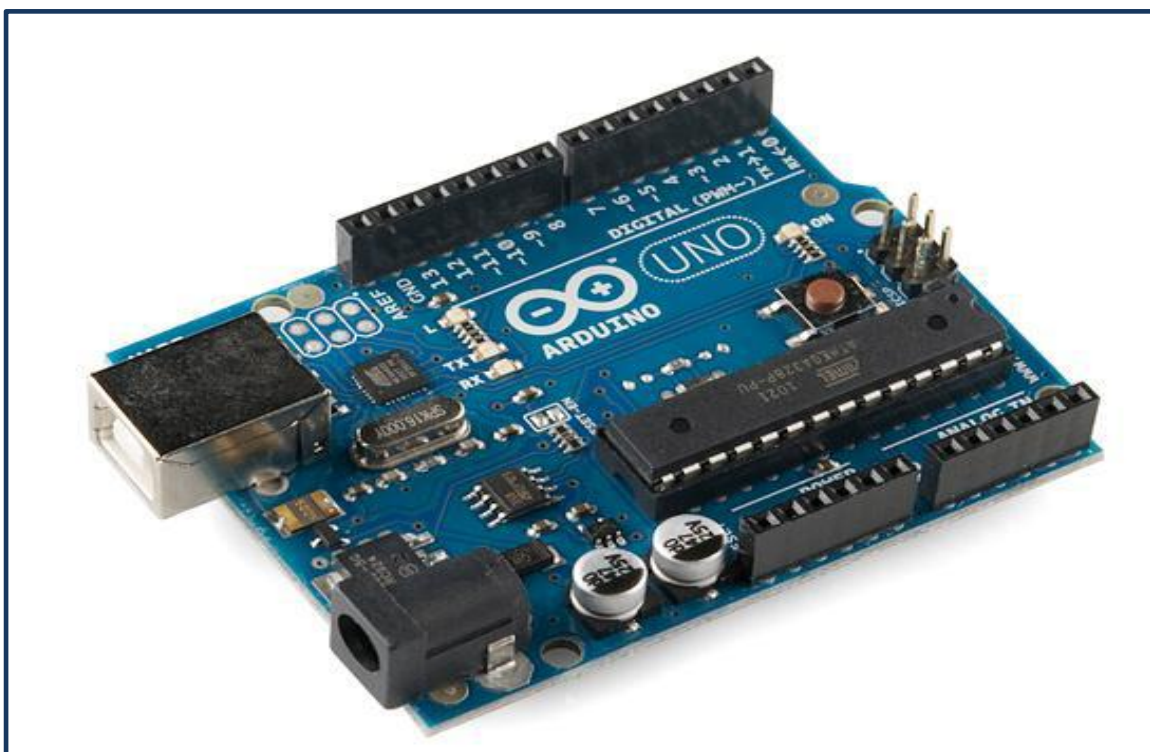
- Μέση ακρίβεια (Accuracy): Αποτελεί την πιο σημαντική απαίτηση ενός συστήματος εντοπισμού εσωτερικού χώρου. Όσο υψηλότερη είναι η μέση ακρίβεια τόσο καλύτερο είναι το σύστημα. Ο μέσος όρος όλων των Ευκλείδειων αποστάσεων που μετρήθηκαν κατά την διάρκεια των υπολογισμών μας δίνει ένα πολύ συνηθισμένο μέτρο της ακρίβειας, το οποίο ονομάζεται μέση απόσταση σφάλματος (mean distance error).
- Κατανομή ακρίβειας (Precision): Η απόσταση σφάλματος (distance error) δεν παραμένει σταθερή από μέτρηση σε μέτρηση αλλά μεταβάλλεται ακολουθώντας μια συγκεκριμένη κατανομή. Η κατανομή ακρίβειας μελετά αυτήν ακριβώς την κατανομή καθώς και τον τρόπο με τον οποίο μεταβάλλεται.
- Πολυπλοκότητα (Complexity): Η πολυπλοκότητα ενός συστήματος που αφορά το λογισμικό (software complexity) σχετίζεται με την υπολογιστική πολυπλοκότητα του αλγορίθμου. Η πολυπλοκότητα αυτή εξαρτάται από το πού τρέχει ο αλγόριθμος. Αν το σύστημα είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε ο αλγόριθμος εντοπισμού της θέσης να τρέχει σε server, τότε η πολυπλοκότητα δεν είναι μεγάλης σημασίας, διότι ο χρόνος εκτέλεσης είναι σχετικά μικρός. Όταν όμως, η υπολογιστική μονάδα βρίσκεται στο αντικείμενο του οποίου τη θέση ψάχνουμε, τότε η υπολογιστική πολυπλοκότητα αποκτά σημασία καθώς ο χρόνος εκτέλεσης δεν είναι πια αμελητέος. Η ικανότητα επεξεργασίας, τα αποθέματα ισχύος, ο τρόπος τροφοδοσίας και η μνήμη του συστήματος παίζουν σημαντικό ρόλο στο πόσο γρήγορα θα εκτελεστεί ένας αλγόριθμος.
- Ευρωστία (Robustness): Ένα σύστημα λέμε ότι έχει μεγάλη ευρωστία εάν πρώτον, ληφθεί μέτρηση που δεν έχει ξαναληφθεί στο παρελθόν και το σύστημα δεν έχει επηρεασθεί αρνητικά και δεύτερον, όταν μερικά αναμενόμενα σήματα παύουν να είναι διαθέσιμα. Η δεύτερη περίπτωση περιλαμβάνει περιπτώσεις που μονάδες μέτρησης θέτονται εκτός λειτουργίας λόγω άσχημων περιβαλλοντικών συνθηκών. Οπότε αν το σύστημα σε αυτές τις περιπτώσεις καταφέρει να λειτουργήσει χωρίς πρόβλημα, το σύστημά μας χαρακτηρίζεται από μεγάλη ευρωστία.
- Εξελιξιμότητα (Scalability): Η ιδιότητα που έχει ένα σύστημα να συνεχίζει να λειτουργεί σε περίπτωση που οι συνθήκες περιβάλλοντος αλλάξουν. Παραδείγματος χάριν σε περιπτώσεις όπου πομπός και δέκτης απομακρυνθούν η αξιοπιστία όσον αφορά την θέση εντοπισμού μειώνεται. Ένα δεύτερο κριτήριο ελεγκσιμότητας αποτελούν οι διαστάσεις του χώρου μέσα στο οποίο γίνεται ο εντοπισμός του αντικειμένου (2-Δ ή 3-Δ).
- Κόστος (Cost): Αναφέρεται στα διάφορα κόστους όπως το χρηματικό, το χρονικό, το χωρικό, το ενεργειακό, καθώς και το υπολογιστικό. Τα παραπάνω κόστη είναι συνήθως αλληλεξαρτώμενα, δηλαδή βελτίωση στην απόδοση ενός συστήματος μπορεί να συνεπάγεται σημαντική αύξηση του χρηματικού κόστους του εξοπλισμού.

## 4 ARDUINO

### 4.1 Περιγραφή πλατφόρμας UNO και χαρακτηριστικά αυτής

Το arduino UNO [26] είναι ένας μικροεπεξεργαστής που βασίζεται στον ATmega328. Έχει 14 ψηφιακές υποδοχές εκ των οποίων οι 6 μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως PWM έξοδοι. Το PWM (Pulse Width Modulation) ή αλλιώς Διαμόρφωση Διάρκειας Παλμών, είναι μια τεχνική διαμόρφωσης για την εξαγωγή αναλογικών αποτελεσμάτων από ψηφιακά μέσα. Οι αναλογικές έξοδοι του Arduino UNO είναι 6, επίσης αποτελείται από ένα κεραμικό αντηχείο στα 16MHz, μια σύνδεση USB, βύσμα τροφοδοσίας, ICSP header και ένα κουμπί επαναλειτουργίας (reset button). Περιέχει ότι χρειάζεται ο μικροεπεξεργαστής. Για να λειτουργήσει απλά συνδέουμε το Arduino με ένα καλώδιο usb στον υπολογιστή, ή εναλλακτικά χρησιμοποιώντας εξωτερική πηγή όπως έναν αντάπτορα AC-DC, ή μπαταρίες.

Κύρια διαφορά της arduino UNO πλατφόρμας από τις υπόλοιπες είναι ότι δεν χρησιμοποιεί FTDI-USB-to serial τσιπ. Αντί για αυτό όμως χρησιμοποιεί τον ATmega16U2 (ATmega8U2 έως την έκδοση R2) προγραμματισμένο να λειτουργεί σαν USB-to serial αντιστροφή.



Σχήμα 4.1 Arduino UNO

Το arduino UNO παρέχει στον χρήστη μια σχετική διευκόλυνση όσον αναφορά την επικοινωνία του με άλλα arduino, τον υπολογιστή, ή άλλους μικροεπεξεργαστές και αυτό γιατί ο ATmega328 παρέχει UART TTL σειριακή επικοινωνία η οποία είναι διαθέσιμη μέσω των ψηφιακών ακροδεκτών 0 (Rx) και 1 (Tx). Το λογισμικό του arduino περιλαμβάνει ένα serial monitor το οποίο επιτρέπει απλά δεδομένα σε μορφή κειμένου να στέλνουν από και προς το arduino. Το Tx και το Rx LED θα αναβοσβήσει κάθε φορά που δεδομένα στέλνονται μέσω USB-to-serial τσιπ και ενώ υπάρχει USB επικοινωνία μεταξύ arduino και υπολογιστή (αλλά όχι για σειριακή επικοινωνία των ακροδεκτών 0 και 1). Η λήψη δεδομένων επιτρέπεται να γίνεται και από τους υπόλοιπους ψηφιακούς ακροδέκτες με την βοήθεια της SoftwareSerial βιβλιοθήκης.

<b>Μικροεπεξεργαστής</b>	<b>ATmega328</b>
<b>Τάση λειτουργίας</b>	5V
<b>Τάση Εισόδου (συνιστώμενο)</b>	7-12V
<b>Τάση Εισόδου (ανεκτά όρια)</b>	6-20V
<b>Ψηφιακά Pins εισ./εξ.</b>	14 (εκ των οποίων 6 παρέχουν PWM έξοδο)
<b>Αναλογικά Pins εισόδου</b>	6
<b>DC Ρεύμα για Pin εισ./εξ</b>	40 mA
<b>DC Ρεύμα για 3.3V Pin</b>	50 mA
<b>Flash Μνήμη</b>	32 KB (ATmega328) εκ των οποίων 0.5 KB χρησιμοποιούνται απο το bootloader
<b>SRAM</b>	2 KB (ATmega328)
<b>EEPROM</b>	1 KB (ATmega328)
<b>Ταχύτητα Ρολογιού</b>	16 MHz

*Πίνακας 1* Χαρακτηριστικά του Arduino UNO

Ο ATmega328 υποστηρίζει επίσης I2C (TWI) και SPI επικοινωνία. Το λογισμικό του arduino περιέχει μια WIRE βιβλιοθήκη για την περαιτέρω απλοποίηση του I2C bus, ενώ για την SPI επικοινωνία απαιτείται η SPI βιβλιοθήκη.

Το arduino περιέχει και εσωτερική πολυασφάλεια η οποία προφυλλάσει την θύρα USB και κατ' επέκταση τον υπολογιστή απο υπερτάσεις και υψηλά ρεύματα. Αν και η υπολογιστική μονάδα έχουν την δικιά τους εσωτερική ασφάλεια, παρέχεται έτσι ένα έξτρα στρώμα προστασίας. Εάν περισσότερα από 500mA εφαρμοστούν την θύρα USB, η ασφάλεια θα σταματήσει αυτόματα την σύνδεση έως ότου το πρόβλημα αντιμετωπιστεί.

Το μέγεθος του arduino UNO είναι 2.7 ίντσες σε μήκος και 2.1 ίντσες σε πλάτος, με την USB υποδοχή να προεξέχει και να μην περιλαμβάνεται σε αυτά. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το ότι οι ακροδέκτες 7 και 8 απέχουν μεταξύ τους 160 mil της ίντσας, απόσταση μεγαλύτερη των 100 mil της ίντσας που υπάρχει μεταξύ των υπολοίπων ακροδεκτών.

#### 4.1.1 Τροφοδοσία

Η πλατφόρμα μπορεί να λειτουργήσει με εξωτερική τροφοδοσία 6 έως 20 Volt. Για τροφοδοσία όμως μικρότερης των 7V, το pin των 5V μπορεί να δώσει τελικά στην πλακέτα λιγότερο από 5V με αποτέλεσμα η πλακέτα να είναι ασταθής. Εάν χρησιμοποιηθεί τάση μεγαλύτερη των 12V υπάρχει πιθανότητα ο ρυθμιστής τάσης να υπερθερμανθεί και να προκαλέσει βλάβη στην πλακέτα. Για τον λόγο αυτό προτεινόμενη τάση τροφοδοσίας από τον κατασκευαστή είναι τα 7-12V.

Τα PIN που χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία είναι:

- **VIN:** Η τάση εισόδου για την πλατφόρμα όταν χρησιμοποιείται εξωτερική πηγή (σε αντίθεση με τα 5V που χρησιμοποιούνται όταν υπάρχει USB σύνδεση). Επίσης η σύνδεση του βύσματος τροφοδοσίας ή των μπαταριών εάν αυτά χρησιμοποιούνται γίνεται μέσω αυτού του pin.
- **5V:** Το pin αυτό παρέχει ως έξοδο μια την σταθερή τάση των 5V. Τροφοδοτώντας την πλακέτα από το pin των 5V ή των 3V, παρακάμπτεται ο ρυθμιστής και μπορεί να υποστεί ζημιά η πλακέτα.
- **3V3:** Τροφοδοσία 3.3V της πλατφόρμας τραβώντας μέγιστο ρεύμα της τάξης των 50mA.
- **GND:** Παρέχει την γείωση. Υπάρχουν δυο υποδοχές GND στο Arduino UNO.
- **IOREF:** Παρέχει την τάση αναφοράς με την οποία λειτουργεί ο μικροεπεξεργαστής. Ένα κατάλληλως συντονισμένο shield μπορεί να διαβάσει την τάση του IOREF pin και να επιλέξει την κατάλληλη πηγή τροφοδοσίας ή να ενεργοποιήσει translators τάσης στις εξόδους για τάση εισόδου 5V και 3.3V.

### 4.1.2 Μνήμη

Ο ATmega328 έχει 32 KB μνήμη, εκ των οποίων τα 0.5 KB χρησιμοποιούνται από τον boot loader. Επίσης έχει 2KB μνήμης SRAM (στατική μνήμη RAM) και 1 KB EEPROM. Η μνήμη EEPROM είναι σαν έναν μικρό σκληρό δίσκο και κρατάει τις τιμές ακόμα και μετά το κλείσιμο της πλακέτας.

### 4.1.3 Λειτουργίες ακροδεκτών

Ως είσοδοι και έξοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι 14 ψηφιακοί ακροδέκτες χρησιμοποιώντας τις συναρτήσεις *pinMode()*, *digitalWrite()*, και *digitalRead()*. Λειτουργούν στα 5V και κάθε pin μπορεί να παρέχει ή να λαμβάνει ρεύμα έως 40mA. Κάποια pins έχουν προκαθορισμένες λειτουργίες οι οποίες μπορεί να είναι:

- **Serial Tx και Rx:** χρησιμοποιούνται για να μεταδίδουν (Tx-Transfer) και να λαμβάνουν (Rx-Receive) σειριακά δεδομένα από και προς το υπολογιστικό σύστημα.
- **Pins 2 και 3:** χρησιμοποιείται για να πυροδοτήσει μια αλλαγή σε τιμή, ή διακοπή της.
- **PWM 3, 5, 6, 9, 10 και 11:** Παρέχει 8 bit PWM έξοδο μέσω της εντολής *analogWrite()*.
- **SPI-10(SS), 11(MOSI), 12(MISO), 13(SCK):** Υποστηρίζουν SPI επικοινωνία χρησιμοποιώντας την SPI βιβλιοθήκη.
- **LED 13:** υπάρχει ενσωματωμένο ένα LED συνδεδεμένο με το ψηφιακό pin 13. Όταν η τιμή του είναι HIGH το LED είναι ON ενώ όταν η τιμή του είναι LOW τότε το LED είναι OFF.

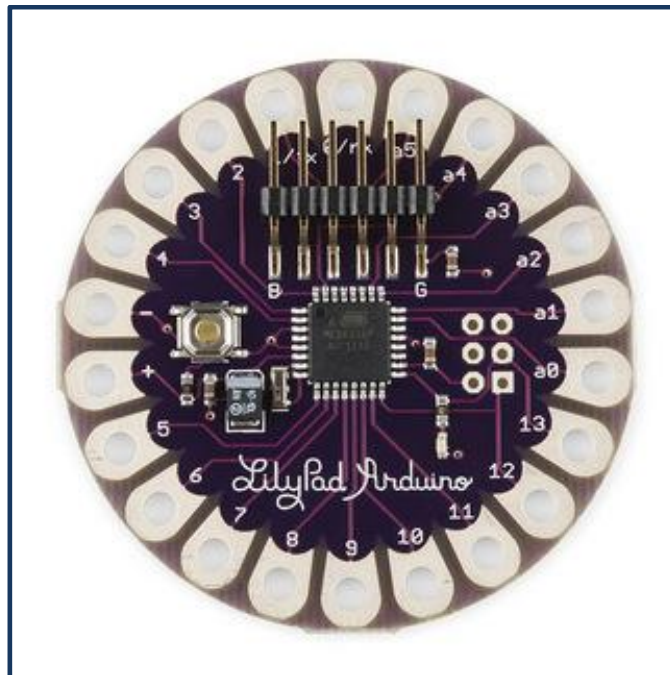
Όπως αναφέραμε πιο πριν το UNO έχει 6 αναλογικά pin, αριθμημένα από το A0 έως A5, καθένα από τα οποία παρέχουν ανάλυση των 10 bit. Εξ ορισμού μετράνε από 0 ως 5V αν και είναι δυνατό να αλλάξουμε το άνω όριο των 5V χρησιμοποιώντας το AREF pin και την *analogReference()* εντολή. Επι προσθέτως κάποιοι από αυτούς τους ακροδέκτες έχουν εξιδεικευμένες λειτουργίες.

- **TWI:** A4 ή SDA pin και A5 ή SCL pin υποστηρίζουν TWI επικοινωνία μέσω της Wire βιβλιοθήκης
- **AREF:** Η τάση αναφοράς για τις αναλογικές εισόδους. Χρησιμοποιείται με την εντολή *analogReference()*.
- **Reset:** Επαναφορά στην τιμή LOW θα επαναξεκινήσει τον μικροεπεξεργαστή. Συνήθως χρησιμοποιείται για την πρόσθεση ενός κουμπιού reset όταν υπάρχει κάποιο shield που μπλοκάρει εκείνο της πλακέτας.

## 4.2 Arduino Lilypad και άλλοι τύποι Arduino

Υπάρχουν πολλοί τύποι Arduino με διαφορετικά χαρακτηριστικά το καθένα. Το Arduino UNO επιλέχθηκε για αυτό το project λόγω της απλότητας του και του μικρού του κόστους σε σχέση με τα υπόλοιπα. Ένα μελλοντικό βήμα αποτελεί η αντικατάστασή του από το Arduino Lilypad.

Το Arduino Lilypad είναι σχεδιασμένο ειδικά για εφαρμογές στις οποίες είναι απαραίτητο να βρίσκεται πάνω στο σώμα του ανθρώπου, αλλά και για e-textile εφαρμογές. Μπορεί να γαζωθεί πάνω σε ρούχο μαζί με αισθητήρες και εφόδια απαραίτητα για την τροφοδοσία μέσω αγώγιμης κλωστής. Τροφοδοσία μεγαλύτερη των 5.5V θα έχει καταστροφικά αποτελέσματα για το Arduino, όπως και η σύνδεση της τροφοδοσίας ανάποδα. Το Lilypad μπορεί να τροφοδοτηθεί μέσω καλωδίου USB ή μέσω εξωτερικής πηγής (μπαταρίες). Είναι στρογγυλό με διάμετρο περίπου 2 ιντσών και πάχους 1/32 ίντσες. Το Arduino Lilypad είναι αδιάβροχο και επιτρέπεται να πλυθεί αρκεί να γίνει με προσοχή και να αφεθεί να στεγνώσει πολύ καλά.



Σχήμα 4.2 Arduino Lilypad πρόσοψη



<b>Microcontroller</b>	<b>ATmega168V or ATmega328V</b>
<b>Τάση Λειτουργίας</b>	2.7-5.5 V
<b>Τάση Εισόδου</b>	2.7-5.5 V
<b>Ψηφιακά εις./εξ. Pins</b>	14 (εκ των οποίων 6 παρέχουν PWM έξοδο)
<b>Αναλογικά Pins Εισόδου</b>	6
<b>DC ρεύμα για εις./εξ. Pins</b>	40 mA
<b>Flash Μνήμη</b>	16 KB (εκ των οποίων 2 KB χρησιμοποιούνται από το bootloader)
<b>SRAM</b>	1 KB
<b>EEPROM</b>	512 bytes
<b>Ταχύτητα Ρολογιού</b>	8 MHz

Πίνακας 4.2.1 Χαρακτηριστικά του Arduino Lilypad

Υπάρχουν στο εμπόριο πολλοί διαθέσιμοι τύποι Arduino, με διαφορετικά χαρακτηριστικά για το καθένα και τα οποία χρησιμοποιούνται ανάλογα με την εφαρμογή και τις λειτουργικές ανάγκες που αυτά καλούνται να επιτελέσουν. Ενδεικτικά ακολουθεί ένας συγκριτικός πίνακας των χαρακτηριστικών όλων των πλατφορμών.

Όνομα	Επεξεργαστής	Τάση Λειτουργίας/ Τάση Τροφοδοσίας	CPU Ταχύτ.	Αναλ. Είς/Εξ	Ψηφ. Είς/Εξ. PWM	EEPROM [KB]	SRAM [KB]	Flash [KB]	USB	UART
<b>Uno</b>	ATmega328	5 V/7-12 V	16 Mhz	6/0	14/6	1	2	32	Regular	1
<b>Due</b>	AT91SAM3X8E	3.3 V/7-12 V	84 Mhz	12/2	54/12	-	96	512	2 Micro	4
<b>Leonardo</b>	ATmega32u4	5 V/7-12 V	16 Mhz	12/0	20/7	1	2.5	32	Micro	1
<b>Mega 2560</b>	ATmega2560	5 V/7-12 V	16 Mhz	16/0	54/15	4	8	256	Regular	4
<b>Mega ADK</b>	ATmega2560	5 V/7-12 V	16 Mhz	16/0	54/15	4	8	256	Regular	4
<b>Micro</b>	ATmega32u4	5 V/7-12 V	16 Mhz	12/0	20/7	1	2.5	32	Mic	1

									ro	
<b>Mini</b>	ATmega328	5 V/7-9 V	16 Mhz	8/0	14/6	1	2	32	-	-
<b>Nano</b>	ATmega168 ATmega328	5 V/7-9 V	16 Mhz	8/0	14/6	0.512 1	1 2	16 32	Mini-B	1
<b>Ethernet</b>	ATmega328	5 V/7-12 V	16 Mhz	6/0	14/4	1	2	32	Regular	-
<b>Esplora</b>	ATmega32u4	5 V/7-12 V	16 Mhz	-	-	1	2.5	32	Micro	-
<b>Arduino BT</b>	ATmega328	5 V/2.5-12 V	16 Mhz	6/0	14/6	1	2	32	-	1
<b>Fio</b>	ATmega328P	3.3 V/3.7-7 V	8 Mhz	8/0	14/6	1	2	32	Mini	1
<b>Pro (168)</b>	ATmega168	3.3 V/3.35-12 V	8 Mhz	6/0	14/6	0.512	1	16	-	1
<b>Pro (328)</b>	ATmega328	5 V/5-12 V	16 Mhz	6/0	14/6	1	2	32	-	1
<b>Pro Mini</b>	ATmega168	3.3 V/3.35-12 V 5 V/5-12 V	8 Mhz 16Mhz	6/0	14/6	0.512	1	16	-	1
<b>LilyPad</b>	ATmega168V ATmega328V	2.7-5.5 V/2.7-5.5 V	8 Mhz	6/0	14/6	0.512	1	16	-	-
<b>LilyPad USB</b>	ATmega32u4	3.3 V/3.8-5V	8 Mhz	4/0	9/4	1	2.5	32	Micro	-
<b>LilyPad Simple</b>	ATmega328	2.7-5.5 V/2.7-5.5 V	8 Mhz	4/0	9/4	1	2	32	-	-
<b>LilyPad Simple Snap</b>	ATmega328	2.7-5.5 V/2.7-5.5 V	8 Mhz	4/0	9/4	1	2	32	-	-

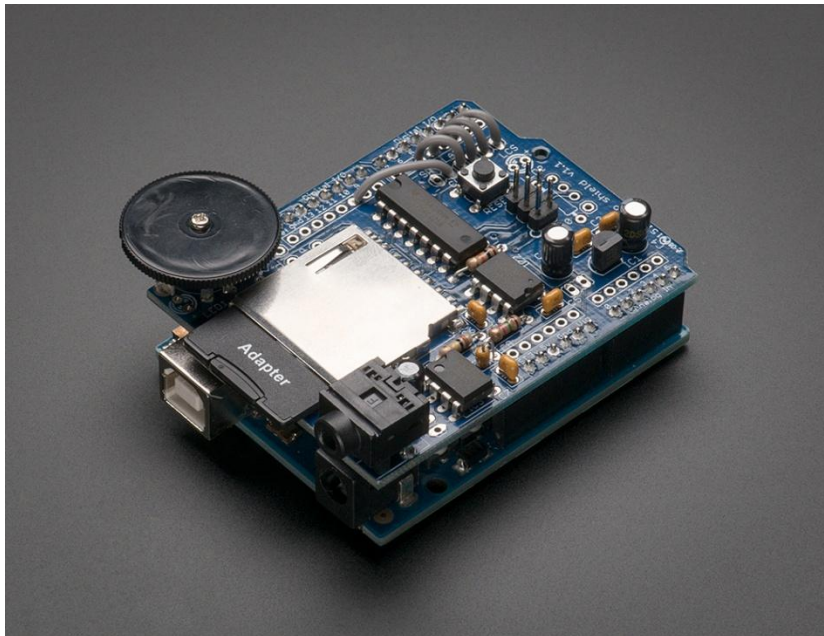
Πίνακας 4.2.2 Διάφοροι τύποι Arduino και χαρακτηριστικά αυτών

### 4.3 Waveshield

Το δεύτερο μέρος της εργασίας έγκειται στην διαδικασία πλοήγησης χρήστη στον εσωτερικό χώρο. Για τον σκοπό αυτό κατασκευάσαμε από την αρχή την πλατφόρμα Waveshield προσαρμόζοντας τους ακροδέκτες κατάλληλα ώστε να μην υπάρχει πιθανότητα αλληλοκάλυψης. Αυτό συμβαίνει διότι το Waveshield κουμπώνει πάνω στην πλατφόρμα UNO ή στην πλατφόρμα Ethernet για εξοικονόμηση χώρου με αποτέλεσμα οι ακροδέκτες

που είναι αναγκαίοι για την σωστή λειτουργία του ενός να συμπέσουν με ακροδέκτες που χρησιμοποιεί οποιαδήποτε άλλη πλατφόρμα. Με κατάλληλες τροποποιήσεις της συνδεσμολογίας επιτύχαμε την σωστή λειτουργία του συστήματος. Η πλατφόρμα Waveshield διακρίνεται με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- ✓ Μπορεί να παίξει οποιοδήποτε μεγέθους 22kHz των 12bit Wave αρχεία (.wav files)
- ✓ Η έξοδος διέρχεται μέσω L και R κανάλια, 3.5mm ακουστικά αλλά υπάρχει και η επιλογή μεγάφωνου για όσο τα ακουστικά δεν είναι συνδεδεμένα
- ✓ Τα αρχεία διαβάζονται απο μια FAT16 formatted SD/MMC card
- ✓ Εμπεριέχει βιβλιοθήκη που κάνει την αναπαραγωγή ήχων πιο εύκολη



Σχήμα 4.3.1 Waveshield συνδεδεμένο σε UNO

## 5 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ARDUINO ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

### 5.1 Εισαγωγή

Μικρής σημασίας θα ήταν η τεχνολογία Arduino που εξετάσαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, αν δεν υπήρχε η δυνατότητα σύνδεσης της πλατφόρμας με το δίκτυο. Αυτό διότι σκεφτείτε τα δεδομένα τα οποία εσείς συλλέγετε από ένα συγκεκριμένο μέρος να είναι διαθέσιμα παντού στον κόσμο, να συγκρίνονται με δεδομένα και τιμές άλλων χρηστών ή βάσεων δεδομένων. Επίσης σκεφτείτε πόσο χρήσιμο θα ήταν να μπορούσατε να ελέγχετε το σύστημά σας όπως π.χ. την πόρτα του γκαράζ σας ενώ εσείς βρίσκεστε σε μια άλλη πόλη, ή και χώρα. Το Arduino καθιστά δυνατή την επικοινωνία με τον εξωτερικό κόσμο μέσω του Ethernet και των δικτύων καθώς και πρωτοκόλλων επικοινωνίας που θα συζητηθούν πιο κάτω.[19]

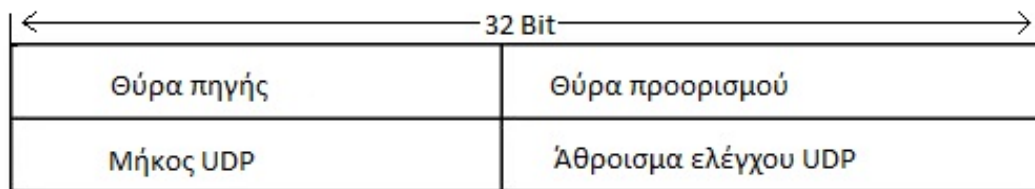
### 5.2 Πρωτόκολλα μεταφοράς TCP και UDP

Τα πρωτόκολλα είναι ένα σύνολο κανόνων που καθορίζουν τη μορφή και την σημασία των πακέτων ή μηνυμάτων που ανταλλάσσονται ανάμεσα στις ομότιμες οντότητες. Το Internet έχει δύο βασικά πρωτόκολλα στο επίπεδο μεταφοράς, ένα ασυνδεσμικό πρωτόκολλο το UDP και ένα συνδεσμωτικό το TCP [20]. Οι περισσότερες εφαρμογές του Internet χρειάζονται αξιόπιστη παράδοση δεδομένων και άφιξη αυτών στον προορισμό τους με την σωστή σειρά. Το UDP δεν παράσχει τις προαναφερθέντες λειτουργίες απαιτείται κάποιο άλλο πρωτόκολλο. Το πρωτόκολλο αυτό ονομάζεται TCP και προσαρμόζεται δυναμικά στις ιδιότητες του διαδικτύου καθώς είναι και ανθεκτικό σε πολλά είδη αστοχιών. Πρέπει να σημειωθεί ωστόσο ότι το UDP είναι απλό και εύκολο στην χρήση και γι' αυτό χρησιμοποιείται από πολλές εφαρμογές που χρειάζεται κάτι γρήγορο που δεν απαιτεί εγκαθίδρυση σύνδεσης [21].

Μεταξύ αυτών των δύο πρωτοκόλλων καλούμαστε να διαλέξουμε εκείνο που ταιριάζει λειτουργικά περισσότερο στην εφαρμογή μας, αφού υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Στην συνέχεια περιγράψουμε συνοπτικά τα χαρακτηριστικά τους.

### 5.2.1 UDP

Το UDP ή αλλιώς το Πρωτόκολλο Αυτοδύναμων Πακέτων Χρήστη είναι ένα πρωτόκολλο χωρίς σύνδεση που παρέχει στις εφαρμογές μια μέθοδο για την αποστολή ενθυλακωμένων αυτοδύναμων πακέτων IP χωρίς να χρειάζεται να εγκαθιδρύσουν μια σύνδεση [20]. Κάθε πακέτο UDP (επονομαζόμενο και ως datagram) διανύει το δίκτυο ως μια ξεχωριστή αυτόνομη μονάδα και όχι ως μια σειρά πακέτων σε μια σύνδεση όπως στο TCP, δηλαδή δεν υφίσταται η έννοια της διοχέτευσης μέσα σ' ένα κανάλι ή μια σύνδεση [21]. Τα τμήματα (segments) που μεταδίδονται αποτελούνται από μια κεφαλίδα 8 bytes που ακολουθείται από το ωφέλιμο φορτίο. Η δομή της κεφαλίδας φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 5.2.1 Δομή κεφαλίδας UDP

Η θύρα προορισμού (destination port) είναι υποχρεωτικό τμήμα για την μεταφορά του πακέτου στον προορισμό του, ενώ η θύρα προέλευσης (source port) απαιτείται κυρίως όταν πρέπει να σταλεί μια απάντηση πίσω στην προέλευση του πακέτου. Η διαδικασία γίνεται με απλή αντιγραφή του πεδίου θύρα προέλευσης στο πεδίο θύρα προορισμού. Το πεδίο μήκος UDP (UDP length) περιλαμβάνει την κεφαλίδα των 8 byte αλλά και τα δεδομένα που ακολουθούν. Το άθροισμα ελέγχου UDP (UDP checksum) δεν αποτελεί υποχρεωτικό τμήμα, και αν δεν έχει υπολογιστεί αποθηκεύεται απλά η τιμή 0. Σε περιπτώσεις που το άθροισμα έχει υπολογιστεί και είναι 0 τότε αποθηκεύεται στο πεδίο άθροισμα ελέγχου μια σειρά από 1.

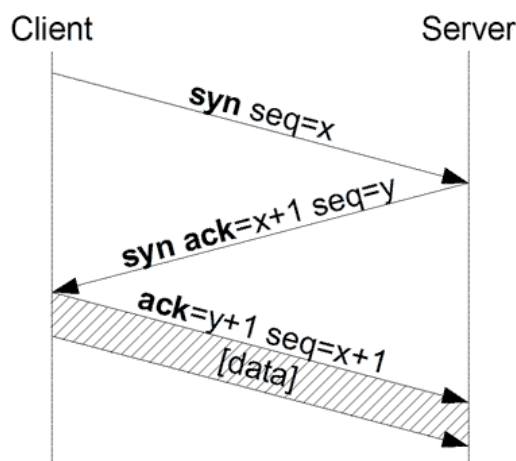
Το πρωτόκολλο UDP χαρακτηρίζεται ως αναξιόπιστο διότι δεν παρέχει έλεγχο ροής, έλεγχο σφαλμάτων, ή αναμεταδόσεις μετά τη λήψη ενός εσφαλμένου τμήματος. Αυτό που ουσιαστικά κάνει είναι να παρέχει μια διασύνδεση με το πρωτόκολλο IP, με την πρόσθετη ευκολία της αποπολύπλεξης πολλαπλών διεργασιών μέσω θυρών. Ένας τομέας όπου το UDP είναι ιδιαίτερα χρήσιμο είναι στις εφαρμογές πελάτη-διακομιστή γνωστές ως Κλήσεις Απομακρυσμένων Διαδικασιών, RPC (Remote Procedure Call). Όπου ο πελάτης θα στείλει ένα μήνυμα στον διακομιστή και ο διακομιστής θα απαντήσει με ένα ανάλογο μήνυμα. Αν κάποιο από τα δύο μηνύματα χαθεί τότε απλά θα λήξει ο χρόνος αναμονής και ο πελάτης θα ξαναπροσπαθήσει. Έτσι εκτός του ότι κερδίζουμε σε κώδικα, αφού είναι πιο απλός, καταλήγουμε με λιγότερα μηνύματα στο δίκτυο (μόλις 2 στην καλύτερη) από ένα πρωτόκολλο που απαιτεί εγκαθίδρυση σύνδεσης όπως είναι το TCP.

Εκτός από την RPC πελάτη-διακομιστή στην οποία το UDP πρωτόκολλο ταιριάζει περισσότερο από το TCP, υπάρχει και ο τομέας των εφαρμογών πολυμέσων πραγματικού χρόνου στον οποίο χρησιμοποιείται ευρέως το πρωτόκολλο UDP. Το Πρωτόκολλο Μεταφοράς Δεδομένων Πραγματικού Χρόνου ή RTP (Real-time Transport Protocol) είναι εκείνο που έχει επινοηθεί για αυτές τις εφαρμογές. Η βασική του λειτουργία είναι η πολύπλεξη πολλαπλών ροών δεδομένων πραγματικού χρόνου σε μία μόνο ροή πακέτων UDP. Το RTP πολύ απλά χρησιμοποιεί το τυπικό UDP για τα πακέτα του [20].

Αν και η πλειοψηφία των εφαρμογών του διαδικτύου χρησιμοποιεί TCP έναντι του UDP και συνεπώς το ποσοστό της κίνησης πακέτων UDP είναι μικρό σε σχέση με εκείνο του TCP, υπάρχουν εφαρμογές πολύ σημαντικές για την σωστή λειτουργία του διαδικτύου που βασίζονται στη μετάδοση UDP. Μερικές από αυτές είναι το Domain Name System (DNS), το Simple Network Management Protocol (SNMP), το Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP) αλλά και το Routing Information Protocol (RIP) [21].

### 5.2.2 TCP

Το Πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης ή TCP (Transmission Control Protocol) είναι ένα αξιόπιστο απ' άκρου εις άκρου ροής byte και όχι ροής μηνυμάτων πρωτόκολλο. Δηλαδή, τα όρια των μηνυμάτων δεν διατηρούνται σταθερά. Το επίπεδο IP δεν εγγυάται ότι τα πακέτα θα παραδοθούν σωστά (αναξιόπιστο), έτσι το TCP χρησιμοποιεί χρονόμετρα και αναμεταδίδει πακέτα όταν αυτά χρειάζονται. Εάν τα μηνύματα φτάσουν στον προορισμό τους με λάθος σειρά, είναι και πάλι θέμα του TCP να τα συναρμολογήσει σωστά. Πρέπει να σημειωθεί ότι το TCP δεν υποστηρίζει πολυδιανομή ή εκπομπή.



Σχήμα 5.2.2.1 Εγκαθίδρυση Σύνδεσης TCP

Για να χρησιμοποιηθεί η υπηρεσία του TCP, θα πρέπει να εγκαθιδρυθεί μια σύνδεση ανάμεσα στον αποστολέα και στον παραλήπτη. Οι συνδέσεις αυτές πραγματοποιούνται μεταξύ των υποδοχέων (θυρών) της μηχανής του αποστολέα και του παραλήπτη αντίστοιχα. Οι αριθμοί των θυρών κάτω από 1024 έχουν δεσμευθεί για τυποποιημένες υπηρεσίες και ονομάζονται ευρέως γνωστές θύρες) όλες οι συνδέσεις TCP είναι πλήρως αμφίδρομες και από σε σημείο σε σημείο, δηλαδή η κάθε σύνδεση έχει δύο ακριβώς τερματικά σημεία. Η εγκαθίδρυση συνδέσεων στο TCP γίνεται μέσω της τριπλής χειραψίας.

Θύρα προέλευσης		Θύρα προορισμού	
Αριθμός ακολουθίας			
Αριθμός επιβεβαίωσης			
Μήκος κεφαλίδας TCP		Σημεία	Μέγεθος παραθύρου
Άθροισμα ελέγχου		Δείκτης επειγόντων	
Επιλογές ( 0 ή περισσότερες 32μπιτες λέξεις)			
Δεδομένα (προαιρετικά)			

Σχήμα 5.2.2.2 Η κεφαλίδα του TCP

Το τμήμα TCP (TCP segment) αποτελείται από μια σταθερή κεφαλίδα 20 byte. Οι *Θύρες προέλευσης* (source port) και *Θύρες προορισμού* (destination port) καθορίζουν τα τοπικά τερματικά σημεία της σύνδεσης. Κάθε υπολογιστής μπορεί να εκχωρήσει τις θύρες που δεν περιλαμβάνονται στις ευρέως γνωστές κατά βούληση. Όταν ένα τμήμα φτάσει στον προορισμό του, η οντότητα TCP του παραλήπτη επιστρέφει ένα τμήμα, το οποίο φέρει έναν *Αριθμό επιβεβαίωσης* (acknowledgment number) ίσο με τον επόμενο *αριθμό ακολουθίας* (sequence number) που περιμένει να λάβει. Αν ο χρόνος αναμονής του αποστολέα λήξει πριν λάβει την επιβεβαίωση, ο αποστολέας μεταδίδει ξανά το τμήμα. Οι 32-μπιτοι αυτοί αριθμοί αποθηκεύονται στα ανάλογα πεδία της κεφαλίδας. Το *Μήκος κεφαλίδας* δείχνει πόσες 32μπιτες λέξεις περιέχει η κεφαλίδα, Τα επόμενα 6 μπιτ δεν χρησιμοποιούνται, ενώ στην συνέχεια έχουμε έξι σημεία του 1 bit που χρησιμοποιούνται για διάφορες λειτουργίες όπως τερματισμό και εγκαθίδρυση συνδέσεων. Το *Μέγεθος παραθύρου* (window size) υποδεικνύει πόσα byte μπορούν να σταλούν. Το πεδίο *Άθροισμα ελέγχου* (checksum) χρησιμοποιείται για πρόσθετη αξιοπιστία. Ο *Δείκτης επειγόντων*

(urgent pointer) προσδιορίζει σε ποιο byte απο τον τρέχοντα αριθμό βρίσκονται τα επείγοντα γεγονότα. Τέλος, το πεδίο των *Επιλογών* (options) παρέχει μια μέθοδο προσθήκης βοηθητικών λειτουργιών που δεν καλύπτονται από την κανονική κεφαλίδα.

### 5.2.3 Ασύρματο TCP και UDP

Οι ζεύξεις ασύρματης μετάδοσης είναι αναξιόπιστες, διότι πακέτα χάνονται συνεχώς με αποτέλεσμα να χρειάζεται η εκ' νέου αποστολή τους. Θα ήταν τεράστιο λάθος να αγνοήσουμε τις ιδιαίτερες ιδιότητες της ασύρματης μετάδοσης. Σε ενσύρματα δίκτυα υλοποιήσεις του TCP μπορεί να λειτουργούν με συγκεκριμένα αποτελέσματα, στο ασύρματο όμως περιβάλλον μπορεί να αποτυγχάνει.

Πολλές λύσεις έχουν προταθεί κατά διαστήματα για την βελτιστοποίηση του TCP στα ασύρματα δίκτυα. Μια από αυτές είναι το έμμεσο TCP (indirect TCP) που προτάθηκε από τους Brakne και Badrinath (1995). Ουσιαστικά αποτελεί την διάσπαση της σύνδεσης TCP σε δύο, με την μεσολάβηση ενός σταθμού βάσης. Λύνεται έτσι το πρόβλημα επιβράδυνσης/επιτάχυνσης του αποστολέα για πακέτα που χάνονται. Παρουσιάζει όμως σημαντικά προβλήματα, καθώς η λήψη επιβεβαίωσης από τον αποστολέα δεν σημαίνει ότι ο παραλήπτης έλαβε το τμήμα, αλλά ότι μόνο το έλαβε ο σταθμός βάσης. Ο Balakrishnan (1995) λύνει το πρόβλημα αυτό τροποποιώντας τον κώδικα στον σταθμό βάσης και προστίθοντας ένα πράκτορα παρακολούθησης (snoring agent). Παρόλα αυτά, με τις διορθώσεις τα προβλήματα δεν λύνονται τελείως. Καθιστούν όμως την ασύρματη ζεύξη πιο αξιόπιστη και προς τις δύο κατευθύνσεις, χωρίς η προέλευση να γνωρίζει τίποτα και χωρίς να αλλάξει η σημασιολογία του TCP.

Το UDP αντίθετα δεν υποφέρει από τα ίδια προβλήματα με το TCP, αν και η ασύρματη επικοινωνία δημιουργεί προβλήματα και σε αυτό. Ένα από τα θέματα που δημιουργούνται περιστρέφεται γύρω από το ότι το UDP δεν παρέχει εγγυήσεις κατά τις μεταδόσεις πακέτων, και για εκείνα που η ανάκαμψη από χαμένα πακέτα έχει μεγάλο κόστος, μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφική απόδοση. Όμως για προγράμματα που έχουν την δυνατότητα να ανακάμπτουν από τα χαμένα πακέτα η χρήση του UDP είναι προτιμότερη. Συγκεκριμένα, σε περιπτώσεις που η αίτηση και η απάντηση είναι αρκετά μικρές ώστε να χωράνε σε μεμονωμένα πακέτα και η λειτουργία είναι αυτοδύναμη. Όταν όμως οι συνθήκες αυτές δεν ισχύουν και η απάντηση είναι αρκετά μεγάλη ώστε τα τμήματα να χρειάζονται τοποθέτηση στην σωστή σειρά το UDP δεν αποτελεί πια ελκυστική λύση.



### 5.3 Ethernet

Το Ethernet έχει επιβιώσει για περίπου 20 χρόνια, και όπως φαίνεται θα συνεχίσει να επιβιώνει αφού σημαντικοί ανταγωνιστές δεν φαίνεται να υπάρχουν. Σημαντικός λόγος για αυτήν του την επιβίωση είναι ότι το Ethernet είναι απλό και ευέλικτο. Δηλαδή είναι φτηνό, αξιόπιστο και εύκολο στην συντήρηση.

Οι καλωδιώσεις που χρησιμοποιούνται είναι αρκετά οικονομικές, όπως και οι κάρτες διασύνδεσης. Για το Ethernet δεν χρειάζεται εγκατάσταση λογισμικού και δεν υπάρχουν πίνακες διευθέτησης που να χρειάζονται διαχείριση. Επίσης, η προσθήκη υπολογιστών υπηρεσίας γίνεται με απλή σύνδεσή τους.

Το Ethernet συνεργάζεται εύκολα με το TCP/IP, το οποίο έχει κυριαρχήσει. Το IP είναι ασυνδεσμικό πρωτόκολλο όπως και το Ethernet. Ενώ το ATM που είναι συνδεσμοστρεφές δεν ταιριάζει με το IP, και ίσως γι' αυτό να μην είχε την επιτυχία του Ethernet. Τέλος, το Ethernet εξελίσσεται συνεχώς σε ταχύτερες και έχουν εισαχθεί οι ομφαλοί και οι μεταγωγείς, οι οποίες όμως αλλαγές δεν απαιτούν αλλαγές στο λογισμικό, κάτι πολύ σημαντικό στα δίκτυα σήμερα.

## 6 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ RFID ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΓΙΑ ΑΤΟΜΑ ΜΕ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΟΡΑΣΗΣ

### 6.1 Εισαγωγή

Αν και έως σήμερα αρκετές τεχνολογίες έχουν εξετασθεί και αναλυθεί όσο αναφορά τα συστήματα “Indoor Location Sensing” (ILS), δεν υπάρχει συμφωνία ακόμα για το ποιά από τις υπάρχουσες τεχνολογίες είναι η καταλληλότερη για τον εσωτερικό χώρο ενός κτιρίου. Είναι όμως γνωστά τα κριτήρια που πρέπει μια ILS τεχνολογία να πληρεί ώστε να θεωρείται επιτυχημένη. Πρώτον, πρέπει να ικανοποιείται η ανάγκη του χρήστη για πληροφορίες που αφορούν τον εσωτερικό χώρο. Δεύτερον, οι λύσεις για την τεχνολογία να είναι εφαρμόσιμες σε ένα πολύπλοκο περιβάλλον και όχι απλά να είναι προσαρμόσιμο σε ένα ιδανικό περιβάλλον. Τέλος, τα συστήματα να είναι ευπροσάρμοστα σε ποικίλα και συνεχώς διαφοροποιούμενα περιβάλλοντα παρέχοντας συνεχόμενα τις υπηρεσίες για τις οποίες έχουν σχεδιαστεί.

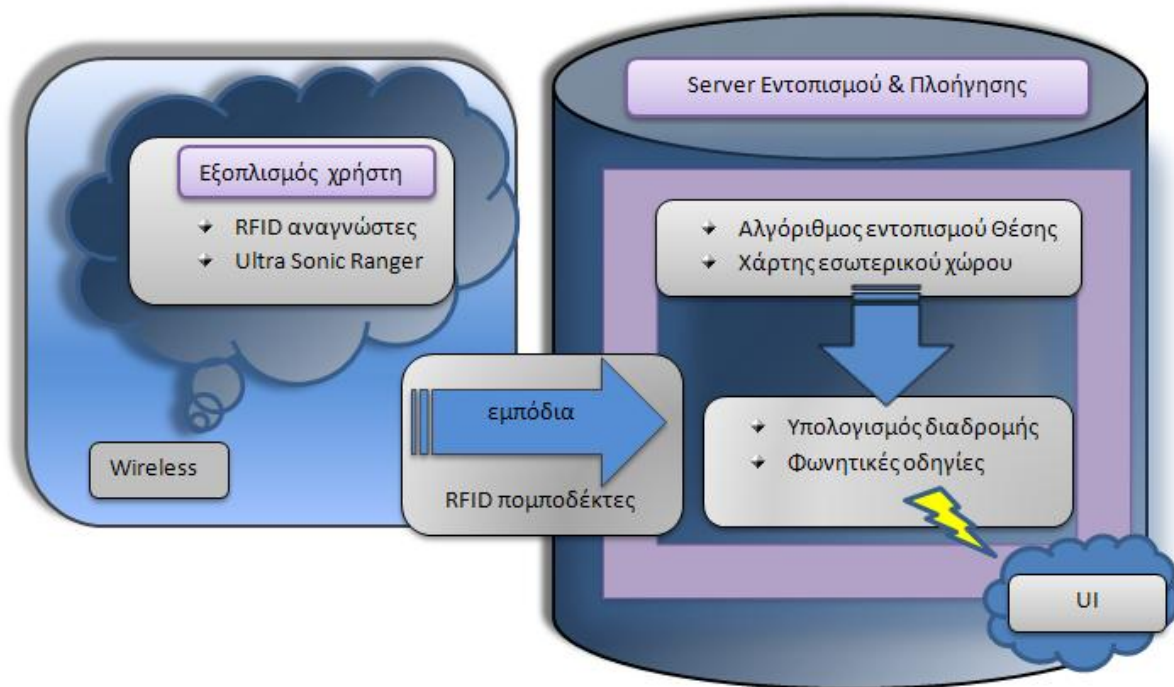
Οι τεχνολογίες ILS θα πρέπει επίσης να παρέχουν στις υπηρεσίες τους επαρκή ακρίβεια (εντός μέτρων), να είναι οικονομικά προσιτά για την πλειονότητα των πολιτών, ώστε να υπάρχει ανταγωνισμός μεταξύ των προϊόντων, να μην απαιτείται οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη, γεγονός πολύ σημαντικό για εσωτερικό περιβάλλον. Επίσης, υποχρεωτικό είναι η τεχνολογία να παρέχει την δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας, και να εξασφαλίζει ότι η ακρίβεια των μετρήσεων δεν είναι ευαίσθητη σε αλλαγές του περιβάλλοντος και ότι οι υπηρεσίες παρέχονται συνεχόμενα χωρίς κενά. Σημαντικά για μια τέτοιου είδους τεχνολογία είναι και τα εξής:

- ✓ δυνατότητα ενσωματωμένης μνήμης ώστε πληροφορίες να μπορούν να αποθηκεύονται και να είναι προσβάσιμα στο δίκτυο,
- ✓ ανεξάρτητη πηγή τροφοδοσίας
- ✓ εάν χαθεί η εξωτερική τροφοδοσία σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης να συνεχίζει η παροχή υπηρεσιών στον χρήστη
- ✓ Τέλος, δεν πρέπει να παραλειφθεί το γεγονός πως για μια τεχνολογία να επιτύχει θα πρέπει να είναι χτισμένη πάνω σε άλλες ήδη υπάρχουσες και ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες.

Η τελευταία απαίτηση δικαιολογεί την εύκολη εφαρμογή της τεχνολογίας σε πολύπλοκα και δυναμικά εργασιακά περιβάλλοντα, αλλά και παρέχει την πιθανότητα [24].

## 6.2 Σχεδιασμός Συστήματος

Σημαντικό στάδιο αποτέλεσε ο σχεδιασμός του συστήματος πριν από την έναρξη της υλοποίησης του. Η επιλογή των τεχνολογιών που κάλυπταν τις ανάγκες που εμείς θέσαμε έπεξε καθοριστικό ρόλο στην υλοποίηση και τα αποτελέσματα που λάβαμε. Κάθε επιλογή τεχνολογίας για συγκεκριμένα τμήματα δεν αποτέλεσε τυχαίο γεγονός, αλλά επήλθε ύστερα από σύγκριση και ανάλυση με άλλες γλώσσες. Λάμβάνοντας υπόψη αρχικά το κόστος και στην συνέχεια την λειτουργικότητα και την ακρίβεια του επιθυμητού συστήματος «χτίσαμε» σταδιακά κάθε τμήμα. Οι τεχνολογίες που επιλέχθηκαν αναλύονται στις επόμενες παραγράφους και η αρχιτεκτονική του συστήματος απεικονίζεται στην πιο κάτω εικόνα.



Σχήμα 6.1 Αρχιτεκτονική συστήματος

### 6.2.1 Ανάλυση συστήματος RFID

Σύμφωνα με επιστημονικές αναλύσεις, η τεχνολογία RFID διαλέγεται μεταξύ άλλων ως η καταλληλότερη για συστήματα εντοπισμού θέσης εσωτερικού χώρου, πρωτίστως για την αποδεδειγμένη ικανότητά να παρέχει υπηρεσίες με σχετικά χαμηλότερα σφάλματα και με προσιτές τιμές, σε σχέση με άλλες τεχνολογίες. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται

χρησιμοποιώντας RFID, εμπερικλείει αρκετές από τις απαιτήσεις που συναντάμε σε συστήματα εντοπισμού θέσης αλλά και που μπορεί να συναντήσουμε στο μέλλον.

Το τυπικό κόστος της τεχνολογίας RFID είναι υψηλότερο από εκείνο του WLAN, μερικώς διότι η κλίμακα της ανάπτυξης της επιλεγόμενης τεχνολογίας είναι μικρότερο ( $44.87 \text{ m}^2$ ) από εκείνης του WLAN ( $157.3 \text{ m}^2$ ), αλλά συνεχίζει να είναι ανταγωνιστικό με τις υπόλοιπες τεχνολογίες. Η τεχνολογία INS έχει σημαντικά μειονέκτημα, υπόκειται σε περιοδικούς επαναπρογραμματισμούς και η ακρίβεια του σχετίζεται με την απόσταση [24].

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα που έχουν τα RFID σε σχέση με τα WLAN, UWB και Infrared είναι η ενσωματωμένη μνήμη που διαθέτουν οι πομποδέκτες, το οποίο επιτρέπει τους πομποδέκτες να λειτουργούν ως μεμονωμένες βάσεις δεδομένων και αποκεντρώνει τις πληροφορίες του αντικειμένου κάνοντας τις διαθέσιμες όποτε το αντικείμενο εξέρχεται ή εισέρχεται στην εμβέλεια του αναγνώστη. Επίσης η τεχνολογία RFID μπορεί να δουλεύει σε αντίξοα περιβάλλοντα όπως σε οικοδομικές περιοχές με θόρυβο και σκόνη χωρίς κανένα πρόβλημα. Η μη απαίτηση οπτικής επαφής πομπού και δέκτη των συστημάτων RFID, σε αντίθεση με τα συστήματα GPS και υπερύθρων, είναι ζωτικής σημασίας στα συστήματα εντοπισμού θέσης εσωτερικού περιβάλλοντος και σε συνδυασμό με την ασύρματη τεχνολογία που προσφέρει, κατατάσσεται πρώτη ως το πιο κατάλληλο ILS σύστημα.

Από την άλλη μεριά, η τεχνολογία RFID έχει κάποια μειονεκτήματα, όπως η ευαισθησία του σε αλλαγές στο περιβάλλον που μπορεί να προκαλέσει ασυνέπειες στην απόδοσή του. Η εγγύτητα των μετάλλων και των υγρών, μπορεί να μειώσει σημαντικά το πεδίο ανάγνωσης και να μειώσει την ταχύτητα με την οποία μεταδίδονται τα δεδομένα, λόγω της παρεμβολής τους με τα ραδιοκύματα που μεταδίδονται μεταξύ αναγνωστών και ετικετών. Η Τοποθέτηση των ετικετών σε κάψουλες βοηθάει στην βελτίωση των επιδόσεων λόγω αυτού του φαινομένου. Στην πραγματικότητα, μόνο τα συστήματα INS είναι ανεξάρτητα από περιβαλλοντικούς παράγοντες, ωστόσο το σφάλμα του σε ακρίβεια είναι αναλογικό της απόστασης που διανύεται, το οποίο βασίζεται σε εξωτερική υποδομή για διαδοχικές επεμβάσεις στις ρυθμίσεις (calibration). Ακόμα, η εξάρτηση των RFID αναγνωστών σε εξωτερική τροφοδοσία, μπορεί να εμποδίσει την τεχνολογία να παρέχει υπηρεσίες χωρίς διαλείψεις (continuous). Ωστόσο τα συγκεκριμένα προβλήματα τα συναντάμε σε σχεδόν όλες τις τεχνολογίες ILS οπότε δεν αποτελεί μεμονωμένη περίπτωση.

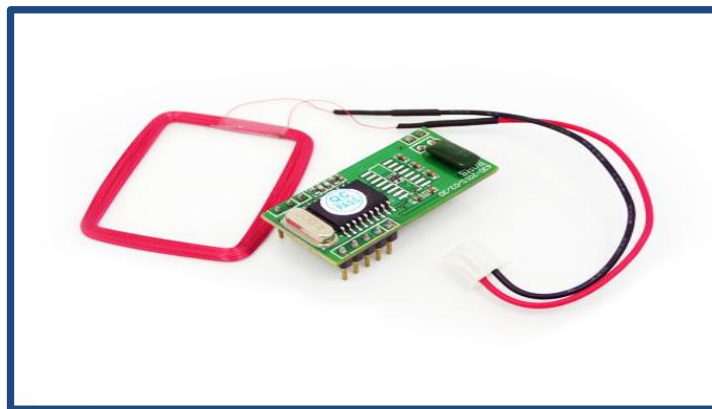
Στον επόμενο πίνακα γίνεται μια σύγκριση μεταξύ των τεχνολογιών RFID, Inertial Navigation Systems: INS, Global Positioning System: GPS, Wireless Local Area Network: WLAN, Ultra Wide Band: UWB και Infrared, ώστε να είναι ξεκάθαρο γιατί η τεχνολογία RFID ξεπερνά τις υπόλοιπες σε θέματα εντοπισμού θέσης εσωτερικού περιβάλλοντος [24].

Technology	Accuracy	Affordability (\$/m <sup>2</sup> )	NLOS required	Wireless communication	Context independence	On board data storage	Built in power supplies	Wide application in the building industry
<b>GPS</b>	1-2 cm	380				✓	✓	✓
<b>INS</b>	1.10-4.15 m	20	✓		✓	✓	✓	
<b>Infrared</b>	30-50 cm	17		✓				
<b>UWB</b>	6-50 cm	140	✓	✓				
<b>WLAN</b>	4.53-689 m	3	✓	✓				✓
<b>RFID</b>	1.55-3.11 m	25	✓	✓		✓		✓

Πίνακας 6.2.1 Σύγκριση γνωστών τεχνολογιών

### 6.2.2 Τεχνολογία και Συνδεσμολογία Arduino

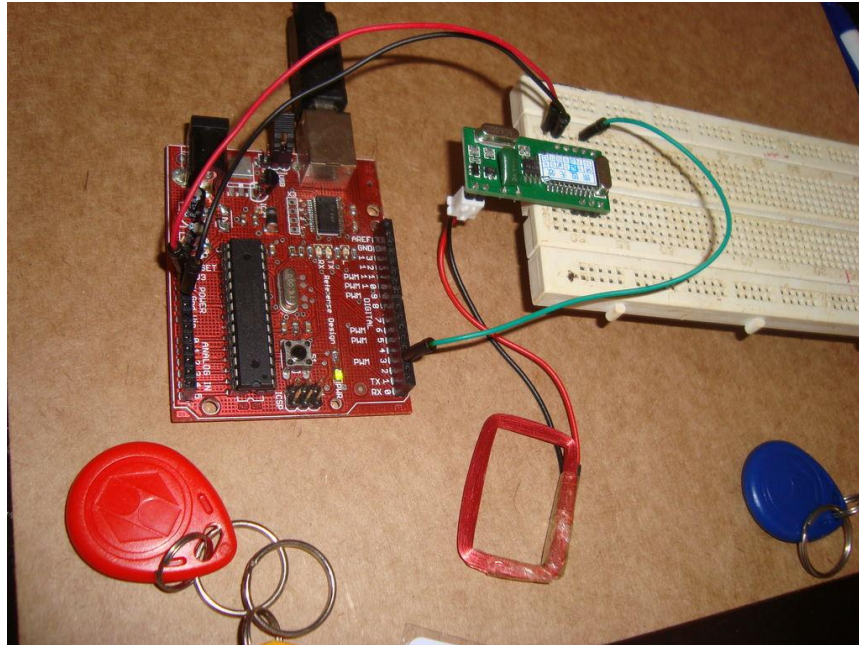
Ο αναγνώστης (reader) που χρησιμοποιήσαμε είναι το μοντέλο RFR101A1M των 125kHz διαβάζοντας read-only και read-write tags. Τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι ότι υποστηρίζει εξωτερική κεραία, και έχει μέγιστη αποτελεσματική απόσταση διαβάσματος 50mm. Ο χρόνος αποκωδικοποίησης του σήματος είναι μικρότερος από 100 ms, και χρησιμοποιεί την UART TTL διεπαφή.



Σχήμα 6.2.2.1 RFR101A1M Reader

Η σύνδεση του αναγνώστη με το Arduino έγινε μέσω των ακροδεκτών 1, 4 και 5 σύμφωνα με το datasheet του αναγνώστη. Η τροφοδοσία πραγματοποιείται μέσω του ακροδέκτη 5 που είναι συνδεδεμένο με τα 5V της πλατφόρμας Arduino, η γείωση μέσω του

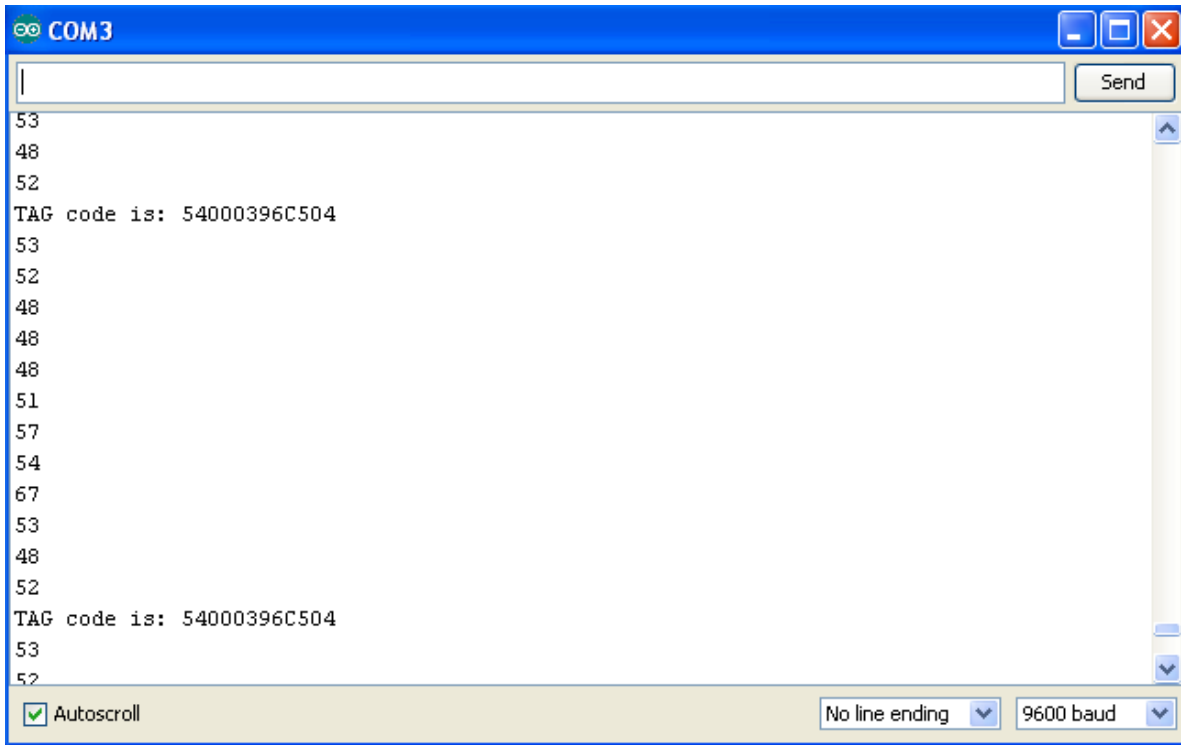
ακροδέκτη, και τα δεδομένα μεταφέρονται μέσω του ακροδέκτη 1 του αναγνώστη, που είναι συνδεδεμένο με ένα από τους digital ακροδέκτες. Κατά την διάρκεια της εργασίας ο ακροδέκτης που μεταφέρει τις πληροφορίες δεν έμεινε σταθερός λόγω χρησιμοποίησης του σε άλλες διεργασίες. Η συνδεσμολογία φαίνεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 6.2.2.2 Συνδεσμολογία ARDUINO-READER

Ο κώδικας που διαβάζει ο αναγνώστης (reader) και εμφανίζεται μέσω Serial Monitor της οθόνης του Arduino είναι ο No. 1 του Παραρτήματος και έχει τροποποιηθεί καταλλήλως ώστε να στέλνει δεδομένα στον υπολογιστή σε συνδυασμό με το Ethernet και το Waveshield. Επίσης, η εμφάνιση του id tag στο Serial γίνεται από το παρακάτω τμήμα του κώδικα 1, και συγκεκριμένα η μορφή των δεδομένων από την εντολή `char c` για hex μορφή, ή σε dec μορφή ανάλογα με τον τύπο της μεταβλητής. Ακολουθεί ένα τμήμα του κώδικα που ευθύνεται για την ανάγνωση των tags αλλά και για την εμφάνιση τους με την επιθυμητή μορφή στο Serial Monitor καθώς και ένα print screen κατά την διάρκεια διαβάσματος των tags από το Arduino.

```
char c;  
void loop(){  
  while (rfid.available(>0) {  
    c=rfid.read();  
    delay(1);  
    Serial.println(c);
```



Σχήμα 6.2.2.3 Εμφάνιση των id tags στο Serial monitor του υπολογιστή

Ο κώδικας 1 είναι φτιαγμένος ώστε τα δεδομένα που συλλέγονται να στέλνονται στον υπολογιστή μόνο μέσω usb cable. Στην συνέχεια τροποποιήσαμε τον συγκεκριμένο κώδικα έτσι ώστε τα δεδομένα να στέλνονται μέσω καλωδίου Ethernet στον υπολογιστή και όχι με usb, αφού πρώτα το πρόγραμμα έχει φορτωθεί στην πλατφόρμα με usb καλώδιο. Ο κώδικας αυτός είναι ο Νο. 2 του Παραρτήματος.

Τον κώδικα Νο. 3 αφού τον τροποποιήσουμε καταλλήλως και σε συνδυασμό με την τοποθέτηση του Waveshield, το Arduino είναι έτοιμο να αναπαραγάγει ήχο. Όπως αναφέραμε πιο πάνω το Waveshield είναι υπεύθυνο για τις εντολές πλοήγησης που δίνονται στον χρήστη, αφού έχει προηγηθεί ο εντοπισμός του στο εσωτερικό περιβάλλον και έχει αποσαφηνιστεί ποια πρέπει να είναι η επόμενη κίνηση του χρήστη.

### 6.2.3 Αλγόριθμος εντοπισμού θέσης και αλγόριθμος Dijkstra

Ο αλγόριθμος εντοπισμού θέσης που χρησιμοποιήσαμε για τον εντοπισμό ενός ατόμου στο εσωτερικό περιβάλλον είναι ο αλγόριθμος χρονικής στιγμής άφιξης ( Time of Arrival: TOA). Επιλέξαμε τον συγκεκριμένο αλγόριθμο διότι η υλοποίηση του είναι αρκετά πιο εύκολη από τους υπόλοιπους, σε θεωρητικό επίπεδο αλλά και σε επίπεδο κώδικα,

καθώς και ότι παρουσιάζει λιγότερα σφάλματα και επιπλοκές από άλλες μεθόδους που αναφέραμε στο κεφάλαιο 3. Σημαντικό ρόλο έπαιξε και το γεγονός ότι με την μέθοδο αυτή δεν χρειάζεται επιπρόσθετο υλικό και λογισμικό αφού οι διάφοροι χρόνοι καταγράφονται στο σύστημά μας αυτόματα. Συνεπώς, επιλέγοντας τον συγκεκριμένο αλγόριθμο ελαχιστοποιούμε το υπολογιστικό και το χρηματικό κόστος.

Μετά τον εντοπισμό θέσης του ατόμου με προβλήματα όρασης, έπεται η πλοήγηση του χρήστη προς τον προορισμό του. Συνεπώς ο αλγόριθμος χρονικής στιγμής άφιξης πρέπει να συνδυαστεί με έναν αλγόριθμο που θα παρέχει στον χρήστη το συντομότερο μονοπάτι που πρέπει να ακολουθήσει. Ο αλγόριθμος που επιλέξαμε για να φέρει εις πέρας αυτή την διαδικασία είναι ο αλγόριθμος Dijkstra του οποίου η λειτουργία είναι ιδιαίτερα γνωστή.

Ο αλγόριθμος Dijkstra χαρακτηρίζεται ως ιδιαίτερα ακριβής [24] και εφαρμόζεται σε γραφήματα επιτρέποντας την εύρεση του συντομότερου μονοπατιού μεταξύ αφετηρίας (τρέχον κόμβος) και προορισμού, ελαχιστοποιώντας το άθροισμα το άθροισμα των βαρών (weights) των ακμών. Σε κάθε επανάληψη ο αλγόριθμος επιλέγει να επισκεφθεί τον κόμβο του οποίου το βάρος όταν προστεθεί στο συνολικό κόστος, συνεχίζει να παραμένει ελάχιστος. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι ο αλγόριθμος να φτάσει στον κόμβο που χαρακτηρίζεται ως κόμβος προορισμού.

Στο σύστημα μας ο αλγόριθμος Dijkstra «τρέχει» στο υπολογιστικό περιβάλλον του matlab. Ένα τμήμα του κώδικα που χρησιμοποιήθηκε για την εύρεση συντομότερου μονοπατιού βρίσκεται στο Παράρτημα Β κώδικας 3.

#### 6.2.4 Επικοινωνία Arduino με το δίκτυο

Το κομμάτι της επικοινωνίας Arduino με το δίκτυο επιλέξαμε να γίνεται μέσω του πρωτοκόλλου UDP που αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Αν και το UDP χαρακτηρίζεται ως αναξιόπιστο πρωτόκολλο μεταφοράς αφού δεν παρέχει εγγυήσεις σχετικά με την μετάδοση των πακέτων, κρίθηκε πως υπερτερεί στις ανάγκες μας για γρήγορη και απλή μεταγωγή πακέτων.

Ο κώδικας 3 του Παραρτήματος Α, μεταφέρει τα πακέτα που συλλέγονται μέσω μηνυμάτων UDP στον υπολογιστή. Ενώ ο κώδικας 4 του Παραρτήματος Α του οποίου ένα τμήμα παρουσιάζεται στο Παράρτημα, σε συνδυασμό με τον κώδικα 1 του matlab, έχει την ιδιότητα να στέλνει RFID tags στο matlab σαν string μέσω udp μηνυμάτων και να λαμβάνει αντίστοιχα μηνύματα. Ο κώδικας 2 του Παραρτήματος Β που παρουσιάζεται αποτελεί μια παραλλαγή όπου τώρα το matlab λαμβάνει και τυπώνει επ'άοριστον tags.



### 6.3 Αποτελέσματα

Με βάση όσα αναφέρθηκαν πιο πάνω και επειδή το σύστημα ολοκληρώθηκε στο εργαστήριο Βιοϊατρικής Τεχνολογίας του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, αποφασίσαμε να το τροποποιήσουμε ώστε να γίνει πιο λειτουργικό. Για τον σκοπό αυτό δημιουργήσαμε ένα χώρο μέσα στον οποίο τοποθετήσαμε πομποδέκτες στα πλακάκια και δοκιμάσαμε τον αλγόριθμο με την βοήθεια ενός εθελοντή, σε κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος.

Ο αναγνώστης (reader) τοποθετήθηκε στο παπούτσι του χρήστη σε θέση που θεωρήθηκε βέλτιστη και φαίνεται στο σχήμα 6.3.1. Συγκεκριμένα κατά την διάρκεια των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν δύο αναγνώστες, ένας ενσωματώθηκε στο αριστερό και ένας στο δεξί παπούτσι. Οι αναγνώστες συνδέθηκαν με το υπόλοιπο σύστημα μέσω καλωδίων που ξεκινούν από κάθε πόδι του χρήστη και καταλήγουν σε ειδικό τσαντάκι το οποίο ο χρήστης φορά στην μέση. Η ασύρματη μετάδοση πληροφορίας έγινε μέσω ενός Ethernet wifi router και μίας μπαταρίας (Power Pack Slim 2000) με αυτονομία μέχρι και 48 ώρες όπως φαίνονται στα σχήματα 6.3.3 και 6.3.4 αντίστοιχα.

Το τσαντάκι μέσης που φαίνεται στην εικόνα 6.3.2 εμπεριέχει όλο τον εξοπλισμό του συστήματος. Συγκεκριμένα μέσα σ' αυτό περιλαμβάνεται η συστοιχία Arduino και στην επιφάνειά του μπορεί κανείς να διακρίνει το σόναρ. Το σόναρ που χρησιμοποιήθηκε είναι το Devantech SRF08 UltraSonic Ranger, και είναι απαραίτητος για τον εντοπισμό αντικειμένων ή άλλων ανθρώπων στον χώρο. Σε περίπτωση που το σόναρ εντοπίσει κάποιο εμπόδιο, το σύστημα μπαίνει σε διαδικασία αποφυγής και παράλληλα ειδοποιεί τον χρήστη δίνοντας οδηγίες για τις επόμενες κινήσεις του. Ολόκληρος ο εξοπλισμός φαίνεται στην επόμενη εικόνα.



Σχήμα 6.3.1 Παπούτσι και αναγνώστης



Σχήμα 6.3.2 Εξοπλισμός ολοκληρωμένου συστήματος



Σχήμα 6.3.3 Αυτόνομη μπαταρία



Σχήμα 6.3.4 Ethernet wifi router

Τέλος, για την ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας ελέγχθηκε η ανταπόκριση του αλγόριθμου για κάθε πιθανό σενάριο με το οποίο μπορεί να έρθει αντιμέτωπος ο χρήστης. Για παράδειγμα εάν ο χρήστης βρεθεί για κάποιο λόγο εκτός του συντομότερου μονοπατιού που προτείνει ο αλγόριθμος, τότε ο αλγόριθμος επαναυπολογίζει το συντομότερο μονοπάτι από το τωρινό σημείο του χρήστη. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι περιπτώσεις κατά τις οποίες ο χρήστης έρχεται αντιμέτωπος με κάποιο φυσικό εμπόδιο, είτε είναι σταθερό είτε κινούμενο. Στις περιπτώσεις αυτές ο αλγόριθμος προειδοποιεί τον χρήστη για το εμπόδιο και την απόσταση στην οποία βρίσκεται και επαναυπολογίζει το συντομότερο μονοπάτι προς τον προορισμό λαμβάνοντας τώρα υπόψη και μια διαδρομή αποφυγής του εμποδίου. Ειδική μέριμνα έχει ληφθεί για την περίπτωση που το εμπόδιο βρίσκεται σε πολύ κοντινή απόσταση και για την αποφυγή πιθανής σύγκρουσης, το σύστημα προειδοποιεί τον χρήστη να σταματήσει να κινείται για διάστημα αρκετό για να περάσει ο κίνδυνος.

#### 6.4 Μελλοντικές προτάσεις

Πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις για την βελτίωση του συστήματος που αναπτύξαμε πιο πάνω, αποτελεί η εφαρμογή της μεθοδολογίας σε ολόκληρο το κτίριο και όχι μόνο σε ένα τμήμα του. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα πιθανές τροποποιήσεις του αλγόριθμου κατά την μετατροπή του δισδιαστατου χώρου σε τρισδιαστατο αφού πλέον το κτίριο θα αποτελείται από περισσότερους του ενός ορόφους. Επίσης, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τμήματα όπως σκάλες, ανελκυστήρες ή ράμπες για άτομα με ειδικές ανάγκες τις οποίες ο χρήστης θα μπορεί να επιλέγει ανάλογα με τις επιθυμίες του.

Εν συνεχεία, οι φωνητικές οδηγίες πλοήγησης δίνονται από το σύστημα μας στα αγγλικά. Μια επέκταση που θα έκανε το ακόμα πιο λειτουργικό είναι η δημιουργία μιας εφαρμογής στην οποία ο χρήστης θα μπορεί να επιλέξει μόνος του την γλώσσα που επιθυμεί μέσα από μια ευρεία γκάμα γλωσσών. Επίσης, η εφαρμογή θα έχει μεριμνήσει για περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης κατά τις οποίες θα καλείται άμεσα κάποιος ειδικός ή γιατρός στο σημείο που βρίσκεται ο χρήστης για παροχή βοθηιών.

Τέλος, βελτιώσεις μπορούν να γίνουν στο κομμάτι του εξοπλισμού. Η πλατφόρμα Arduino UNO λόγω μεγέθους μπορεί να αντικατασταθεί από την Lilygrad που είναι πολύ μικρότερη και έχει την μορφή αυτοκόλλητου. Αλλαγές στο σύστημα πομποδεκτών-αναγνώστη μπορεί να επιφέρει βελτιώσεις στον τομέα κόστους-ακρίβειας. Σε κάθε περίπτωση όμως το κομμάτι που χρειάζεται περισσότερη εμβάθυνση είναι το κομμάτι της πειραματικής διαδικασίας. Μολονότι πειραματικά ελέγχθηκαν επιτυχώς όλα τα πιθανά

σενάρια τα οποία μπορεί να αντιμετωπίσει ο χρήστης, ιδανικό θα ήταν να πειραματιστούμε με περισσότερους εθελοντές. Αυτό διότι ο κάθε άνθρωπος έχει διαφορετικές ανάγκες και επιθυμίες, και σημειώνοντας τυχόν παρατηρήσεις ή/και παράπονα θα έχουμε την δυνατότητα να προσαρμόσουμε το σύστημα ώστε να καλύπτει την πλειοψηφία και τον κάθε ένα ξεχωριστά.





# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α- ΚΩΔΙΚΕΣ ARDUINO

---

## ➤ Κώδικας Νο. 1

```
#include <SoftwareSerial.h>
```

```
SoftwareSerial rfid=SoftwareSerial(6,1); // (Rx, Tx) change to the pin number you want  
except
```

```
// Rx=0 cause Software Serial does not work with
```

```
that
```

```
void setup(){  
  Serial.begin(9600);  
  Serial.println("serial ready");  
  rfid.begin(9600);  
  Serial.println("RFID ready");  
}
```

```
char c;
```

```
void loop(){  
  while (rfid.available()>0) {  
    c=rfid.read();  
    delay(1);  
    Serial.println(c);  
  }  
}
```

## ➤ Κώδικας Νο. 2

```
#include <SPI.h>
```

```
#include <Ethernet.h>
```

```
#include <EthernetUdp.h>
```

```
#include <SoftwareSerial.h>
```

```
byte mac[]={0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED};
```

```
IPAddress ip(192,168,1,177);
```

```
unsigned int localPort=8888;
```

```

SoftwareSerial rfid=SoftwareSerial(6,1);

char packetBuffer[UDP_TX_PACKET_MAX_SIZE];
char replyBuffer[]="acknowledged";
char c;
EthernetUDP udp;

void setup() {
  Ethernet.begin(mac,ip);
  udp.begin(localPort);
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Serial Ready");
  rfid.begin(9600);
  Serial.println("RFID READY");
}

void loop() {
  while(rfid.available(>0) {
    c=rfid.read();
    delay(1);
    Serial.println(c);
    int packetSize=udp.parsePacket();
    if (packetSize) {
      Serial.print("Received packet of size");
      Serial.println(packetSize);
      Serial.print("From");
      IPAddress remote=udp.remoteIP();
      for (int i=0; i<4; i++) {
        Serial.print(remote[i], DEC);
        if (i<3) {
          Serial.print("."); }
        }
      Serial.print(",port");
      Serial.println(udp.remotePort());

      udp.read(packetBuffer,UDP_TX_PACKET_MAX_SIZE);
      Serial.println("CONTENTS:");
      Serial.println(packetBuffer);
    }
  }
}

```



```

udp.beginPacket(udp.remoteIP(),udp.remotePort());
udp.write(replyBuffer);
udp.endPacket();
}
delay(10);
}
}

```

➤ **Κώδικας Νο. 3**

```

/*
 * WaveShieldPlaySelection sketch
 *
 * play a selected WAV file
 *
 * Position of variable resistor slider when button pressed selects file to play
 *
 */
#include <FatReader.h>
#include <SdReader.h>
#include "WaveHC.h"
#include "WaveUtil.h"
SdReader card; // This object holds the information for the card
FatVolume vol; // This holds the information for the partition on the card
FatReader root; // This holds the information for the volumes root directory
FatReader file; // This object represents the WAV file
WaveHC wave; // Only wave (audio) object - only one file played at a time
const int buttonPin = 15;
const int potPin = 0; // analog input pin 0
char * wavFiles[] = {
"1.WAV","2.WAV","3.WAV","4.WAV","5.WAV","6.WAV","7.WAV","8.WAV","9.WAV"};
void setup()
{
Serial.begin(9600);
pinMode(buttonPin, INPUT);
digitalWrite(buttonPin, HIGH); // turn on pull-up resistor
if (!card.init())

```

```

{
// Something went wrong, sdErrorCheck prints an error number
putstring_nl("Card init. failed!");
sdErrorCheck();
while(1); // then 'halt' - do nothing!
}
// enable optimized read - some cards may time out
card.partialBlockRead(true);
// find a FAT partition!
uint8_t part;
for (part = 0; part < 5; part++) // we have up to 5 slots to look in
{
if (vol.init(card, part))
break; // found one so break out of this for loop
}
if (part == 5) // valid parts are 0 to 4, more not valid
{
putstring_nl("No valid FAT partition!");
sdErrorCheck(); // Something went wrong, print the error
while(1); // then 'halt' - do nothing!
}
// tell the user about what we found
putstring("Using partition ");
Serial.print(part, DEC);
putstring(", type is FAT");
Serial.println(vol.fatType(),DEC); // FAT16 or FAT32?
// Try to open the root directory
if (!root.openRoot(vol))
{
putstring_nl("Can't open root dir!"); // Something went wrong,
while(1); // then 'halt' - do nothing!
}
// if here then all the file prep succeeded.
putstring_nl("Ready!");
}
void loop()
{
if(digitalRead(buttonPin) == LOW)

```

```

{
int value = analogRead(potPin);
int index = map(value,0,1023,0,8); // index into one of the 9 files
playcomplete(wavFiles[index]);
Serial.println(value);
}
}
// Plays a full file from beginning to end with no pause.
void playcomplete(char *name)
{
// call playfile find and play this name
playfile(name);
while (wave.isPlaying) {
// do nothing while it's playing
}
// now it's done playing
}
void playfile(char *name) {
// see if the wave object is currently doing something
if (wave.isPlaying) {
// already playing something, so stop it!
wave.stop(); // stop it
}
// look in the root directory and open the file
if (!file.open(root, name)) {
putstring("Couldn't open file ");
Serial.print(name);
return;
}
// read the file and turn it into a wave object
if (!wave.create(file)) {
putstring_nl("Not a valid WAV");
return;
}
// start playback
wave.play();
}
void sdErrorCheck(void)

```

```

{
  if (!card.errorCode()) return;
  putstring("\n\rSD I/O error: ");
  Serial.print(card.errorCode(), HEX);
  putstring(", ");
  Serial.println(card.errorData(), HEX);
  while(1)
  ; // stay here if there is an error
}

```

➤ **Κώδικας 4**

```

const int NTP_PACKET_SIZE= 48; // NTP time stamp is in the first 48 bytes of the message
byte packetBufferr[ NTP_PACKET_SIZE]; //buffer to hold incoming and outgoing packets
unsigned int localPort = 8888; // local port to listen on
SoftwareSerial rfid=SoftwareSerial(6,1);

```

```

int a=0;
char code[100];
int bytesread = 0;

```

```

// buffers for receiving and sending data
char packetBuffer[UDP_TX_PACKET_MAX_SIZE]; //buffer to hold incoming packet,

```

```

// An EthernetUDP instance to let us send and receive packets over UDP

```

```

EthernetUDP Udp;

```

```

void setup() {

```

```

  // start the Ethernet and UDP:

```

```

  Ethernet.begin(mac,ip);

```

```

  Udp.begin(localPort);

```

```

  Serial.begin(9600);

```

```

  rfid.begin(9600);

```

```

}

```

```

....

```

```

int packetSize = Udp.parsePacket();

```

```

if(packetSize)

```

```

{

```

```

Serial.print("Received packet of size ");
Serial.println(packetSize);
Serial.print("From ");
IPAddress remote = Udp.remoteIP();
for (int i =0; i < 4; i++)
{
  Serial.print(remote[i], DEC);
  if (i < 3)
  {
    Serial.print(".");
  }
}
Serial.print(", port ");
Serial.println(Udp.remotePort());
// read the packet into packetBuffer
Udp.read(packetBuffer,UDP_TX_PACKET_MAX_SIZE);
Serial.println("Contents:");
Serial.println(packetBuffer);
// send a reply, to the IP address and port that sent us the packet we received
Udp.beginPacket(Udp.remoteIP(), Udp.remotePort());
Udp.write(code);
Udp.endPacket();
}
delay(10);
}

```

### ➤ Κώδικας 5

```

#include <SPI.h>      // needed for Arduino versions later than 0018
#include <Ethernet.h>
#include <EthernetUdp.h>  // UDP library from: bjoern@cs.stanford.edu 12/30/2008
#include <SoftwareSerial.h>

// Enter a MAC address and IP address for your controller below.
// The IP address will be dependent on your local network:
byte mac[] = {0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };
IPAddress ip(192, 168, 1, 177);

```

```

byte gateway[]={192,168,1,1};
//byte dns_server[]={192,168,1,1};

unsigned int localPort = 8888; // local port to listen on
SoftwareSerial rfid=SoftwareSerial(6,1);

int a=0;
char code[100];
int bytesread = 0;

// buffers for receiving and sending data
//char packetBuffer[UDP_TX_PACKET_MAX_SIZE]; //buffer to hold incoming packet,

// An EthernetUDP instance to let us send and receive packets over UDP
EthernetUDP Udp;
void setup() {
  // start the Ethernet and UDP:
  Ethernet.begin(mac,ip,gateway);
  Udp.begin(localPort);
  Serial.begin(9600);
  rfid.begin(9600);
}

void loop()
{
  bytesread = 0;
  while(bytesread<12)
  {{
    a=rfid.read(); {
      if((a == -1) || a == 3 || a == 2)
      { // if header or stop bytes before the 10 digit reading
        break; // stop reading
      } }
    Serial.println(a);
    code[bytesread] = a; // add the digit
    bytesread++;
  }
}

```

```
}
if(bytesread == 12){
  { // if 10 digit read is complete
    Serial.print("TAG code is: "); // possibly a good TAG
    Serial.println(code);        // print the TAG code
  }
  Udp.beginPacket(IPAddress(192,168,1,2), localPort);
  Udp.write(code);
  Udp.endPacket();
}
}
delay(10);
}
```





# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β- ΚΩΔΙΚΕΣ ΜΑΤΛΑΒ

---

➤ **Κώδικας 1**- rfid.m file

```
clc
close all
clear all
echoudp('on',8888)
u=udp('192.168.1.177',8888 );
u.DatagramTerminateMode='off';
fopen(u)
fwrite(u,data)
A=fread(u,12, 'char');
fclose(u)
delete(u)
echoudp('off')
```

➤ **Κώδικας 2** – rfid2.m file

```
clc
close all
clear all
data='testtttt';
echoudp('on',8888)
u=udp('192.168.1.177',8888 );
u.DatagramTerminateMode='off';
fopen(u)
while(1)
fwrite(u,data)
A=fread(u,[1 12], 'char');
disp(A(1:12))
end
fclose(u)
delete(u)
echoudp('off')
```

➤ **Κώδικας 3** - bestpath.m file

```
function [gr,K,B,path]=bestpath(x,y,a,b,v,o,f)
.....
if (~isempty(f))
i=1;
```

```
[dist,tpath,pred] = graphshortestpath(K,a,f(i));
for i=2:length(f)
    [dist,tpath2,pred] = graphshortestpath(K,f(i-1),f(i));
    path=[path,[tpath,tpath2]];
end
    [dist,tpath2,pred] = graphshortestpath(K,f(i),b);
    path=[path,tpath2];

else
[dist,path,pred] = graphshortestpath(K,a,b);
.....
```

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

- [1] Καψάλης Χ., Κωπτής Π., «Κεραίες Ασύρματες Ζεύξεις», Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2008
- [2] Κανατάς Α., Κωνσταντίνου Φ., Πάντος Γ., «Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2008
- [3] Wikipedia,  
<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%B5%CF%81%CE%B1%CE%AF%CE%B1>
- [4] Τσουκνίδας Ν., «Ανάλυση της Τεχνολογίας Ασύρματης Αναγνώρισης με Ραδιοκύματα, και Εφαρμογή σε Σύστημα Πλοήγησης Εσωτερικού Χώρου», Αθήνα, 2007
- [5] Θεωδόρου Σ., « Εισαγωγή στα Συστήματα Ραδιοσυχνικής Αναγνώρισης(RFID) και Σχεδίαση ενός συγκεκριμένου Συστήματος RFID για Εργοστάσιο Εμφυαλώσεως Νερού», Αθήνα, 2005
- [6] Violino B., «The Basics of RFID Technology», Available From:  
<http://www.rfidjournal.com/articles/view?1337> , RFID Journal, 2005
- [7] Asentrix Systems Available From: [http://www.asentrix.com/rfid\\_passive.html](http://www.asentrix.com/rfid_passive.html), 2005
- [8] Trinity Systems Available From: <http://www.trinitysystems.gr>, 2009
- [9] Wikipedia, [http://el.wikipedia.org/wiki/Global\\_System\\_for\\_Mobile\\_Communications](http://el.wikipedia.org/wiki/Global_System_for_Mobile_Communications)
- [10] Wikipedia, <http://el.wikipedia.org/wiki/WiMAX>
- [11] Wikipedia, <http://el.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
- [12] Wikipedia, [http://el.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11](http://el.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11)
- [13] Χ. Καψάλης, Π. Κωπτής, «Δορυφορικές Επικοινωνίες», 2<sup>η</sup> έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2006
- [14] Κ. Μπαλάνης, «Κεραίες Ανάλυση και Σχεδίαση», 1<sup>η</sup> Ελληνική Έκδοση, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα, 2005
- [15] Wikipedia, <http://el.wikipedia.org/wiki/RFID>, 2013
- [16] RFID Portal Available From: <http://www.rfidportal.gr/index.php/-rfid/104--rfid>

- [17] Finkenzeller Kl., "RFID Handbook Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication", 3<sup>rd</sup> Edition, United Kingdom, 2010
- [18] Βλάχος Κ., Διαθεσιμο:  
<http://www.ceid.upatras.gr/faculty/kvlachos/courses/documents/ots/Kefalaio8.pdf>,  
Πανεπιστήμιο Πατρών, Τομέας Υπολογιστών και Πληροφορικής,
- [19] Margolis M., "Arduino Cookbook", Published by O'Reilly Media, 2nd edition, California, 2011
- [20] Andrew S. Tanenbaum, Δίκτυα Υπολογιστών, 4<sup>η</sup> Αμερικανική Έκδοση, Αθήνα εκδ.Κλειδάριθμος, 2003
- [21] Wikipedia, <http://el.wikipedia.org/wiki/UDP>
- [22] Γεώργας Π., «Μοντελοποίηση συστημάτων Εντοπισμού θέσης Εσωτερικού Χώρου με χρήση Δακτυλικών Αποτυπωμάτων», Αθήνα, 2009
- [23] John G. Proakis, Masoud Salehi, «Συστήματα Τηλεπικοινωνιών», Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2002
- [24] Nan L., Burcin B., "Performance-based evaluation of RFID-based indoor location sensing solutions for the built environment", Science Direct, 2011
- [25] Tissot N., Coroama Vl. Bohn J., "Indoor Navigation for the Visually Impaired People, Department of Computer Science", ETH
- [26] Arduino Available From: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>
- [27] Organization, W.H. World Health Organization. Available from:  
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/>
- [28] American Foundation for the Blind Special Report on Aging and Vision Loss.
- [29] Foundation, M.H. Mental Health foundation. Available from:  
<http://www.mentalhealth.org.uk/help-information/mental-health-az/O/older-people/>
- [30] Ran L., Helal S., Moore ST., "Dristi: An Integrated Indoor/Outdoor Blind Navigation System and Service", Computer & Information Science & Engineering Department, University of Florida, USA

[31] Ozdenizci B., Ok K., Coskun V., Aydin M., "Development of an Indoor Navigation System Using NFC Technology", Department of Information Technologies, ISIK University, Istanbul, Turkey