



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ & ΔΙΚΤΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΕΚΡΗΞΕΩΝ

ΠΑΠΑΔΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. Γεώργιος Σταμούλης
2^{ος} Βαθμολογητής : Δρ. Παναγιώτης Κίκiras

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε την περίοδο Σεπτέμβριος 2011– Ιούνιος 2012 στα πλαίσια του Προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Μηχανικών Η/Υ τηλεπικοινωνιών και δικτύων του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας . Πριν από την παρουσίαση αυτής της διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην πραγματοποίηση της και ιδιαίτερα:

Τους επιβλέποντες καθηγητές κ. Γεώργιο Σταμούλη, κ. Παναγιώτη Κίκιρα και τον κ. Νέστορα Ευμορφόπουλο για την καθοδήγηση τους σε όλη την διάρκεια της έρευνας καθώς και για την αμέριστη συμπαράσταση τους στην εκπόνηση της εργασίας.

Τον υποψήφιο διδάκτορα Λεωνίδα Περλεπέ για την πολύτιμη βοήθειά του ,για τις συμβουλές και τις υποδείξεις που μου παρείχε καθ' όλη την διάρκεια στην εκπόνηση της παρούσης διπλωματικής εργασίας.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους συναδέλφους μου προπτυχιακούς φοιτητές για τις ανταλλαγές απόψεων ,το ενδιαφέρον τους και για τη σημαντική βοήθεια τους σε όλα τα στάδια της εργασίας καθώς επίσης και την αδελφή μου Μαριλένα για την βοήθειά της στην διαδικασία των μετρήσεων.

Τέλος, η εργασία αυτή αφιερώνεται σε όλους όσους με στήριξαν με την αγάπη, την ανιδιοτέλεια, την υπομονή και τις πολύτιμες συμβουλές τους και ιδιαίτερα στους γονείς μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αποτελούν μία τεχνολογία αιχμής όπου τα τελευταία χρόνια έχει παρουσιάσει ραγδαία εξέλιξη λόγω της τεράστιας εφαρμογής που βρίσκει στη καθημερινότητα.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται μία εφαρμογή εύρεσης τοποθεσίας μιας ηχητικής πηγής, όταν αυτή εκπέμπει ένα ακουστικό σήμα που ξεπερνά ένα επίπεδο θορύβου του περιβάλλοντα χώρου. Η ηχητική αυτή πηγή μπορεί να είναι ένα βλήμα που εκρήγνυται στο πεδίο βολής και μας ενδιαφέρει να γνωρίζουμε την θέση στην οποία κατέπεσε η το όπλο ενός ελεύθερου σκοπευτή ο οποίος βρίσκεται σε μία άγνωστη θέση. Επιπλέον το σύστημα μπορεί να βρει εφαρμογή σε αυτοματοποιημένα συστήματα παρακολούθησης και ασφάλειας καθώς και σε αμυντικούς σκοπούς για τον προσδιορισμό της θέσης μιας εχθρικής πυροβολαρχίας στο πεδίο μάχης.

Η παρούσα εργασία υλοποιήθηκε πάνω σε αισθητήρες Mica2 οι οποίοι προγραμματίστηκαν προκειμένου να συλλέγουν τα δεδομένα ενός ακουστικού σήματος και να τα προωθούν ασύρματα σε έναν κεντρικό υπολογιστή. Κατόπιν επεξεργασίας των δεδομένων στο πρόγραμμα Matlab υπολογίζεται και απεικονίζεται η πιθανή περιοχή πρόβλεψης της θέσης από όπου εκπέμφθηκε το ακουστικό σήμα.

ABSTRACT

Wireless Sensor Networks (WSN) is an advanced technology that in recent years has experienced rapid growth due to the huge usage that finds in everyday life.

This thesis presents a system for finding location of a sound source when it emits an acoustic signal that exceeds a noise level of the surrounding area. The source of the sound may be a cannon ball that explodes in a shooting range and we are interested to know the location that fell or a sniper who is in an unknown location. Furthermore this system can be used in automated monitoring and security systems or for defense purposes such as to locate the position of the enemy on the battlefield.

This work was implemented on Mica2 sensors. The sensors are programmed to gather data about the audio signal and to promote wirelessly to a central computer. After processing the data, Matlab calculates and displays the possible range prediction of the position from where the acoustic signal was emitted.

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες	
Περίληψη	
Abstract	
1 Εισαγωγή	9
1.1 Αντικείμενο εργασίας.....	9
1.2 Οργάνωση κεφαλαίων.....	9
2 Θεωρητικά στοιχεία της εφαρμογής.....	11
2.1 Μέθοδος προσδιορισμού θέσης της ηχητικής πηγής.....	11
2.2 Χαρακτηριστικά διάδοσης του ήχου στον ελεύθερο χώρο	13
2.3 Επίδραση κλιματολογικών συνθηκών στην ταχύτητα του ήχου.....	14
3 Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων	16
3.1 Τι είναι ασύρματο δίκτυο αισθητήρων(A.Δ.Α)	16
Κόμβοι αισθητήρων (Sensornodes).....	16
Βάσεις συγκέντρωσης δεδομένων (Basestation).....	17
3.2 Στόχοι και απαιτήσεις ενός A.Δ.Α.....	18
3.3 Εφαρμογές ασύρματων δικτύων αισθητήρων.....	19
3.3.1 Εφαρμογές παρακολούθησης και ασφάλειας περιοχής	19
3.3.2 Στρατιωτικές εφαρμογές	20
3.3.3 Ιατρικές εφαρμογές	21
3.3.4 Κατασκευαστικές εφαρμογές.....	21
4 Οι αισθητήρες του συστήματος.....	22
4.1 Εισαγωγή στους αισθητήρες MICA.....	22
4.2 Λειτουργία και δυνατότητες των αισθητήρωνMICA2.....	23
4.3 Λειτουργικό σύστημα αισθητήρων TinyOS	24
5 Πορεία υλοποίησης λογισμικού	26
5.1 Στόχοι και απαιτήσεις του συστήματος	26
5.2 Ασύρματο streamingδεδομένων.....	26
5.3 Υψηλή συχνότητα δειγματοληψίας ακουστικών δεδομένων.....	28
5.4 Σύγκρουση πακέτων κατά τη λήψη τους στη βάση (collision).....	28
5.5 Τοπική επεξεργασία στους κόμβους.....	32

5.5.1	Συγχρονισμός κόμβων.....	32
5.5.2	Επεξεργασία τιμών και αποστολή τους στην βάση	33
6	Αρχιτεκτονική συστήματος	36
6.1	Αρχιτεκτονική του συστήματος	36
6.2	Αρχιτεκτονική της βάσης συγκέντρωσης δεδομένων	37
6.3	Αρχιτεκτονική κόμβων συλλογής του ακουστικών δεδομένων.....	37
6.4	Επεξεργασία δεδομένων και απεικόνιση τους στο Matlab	38
6.4.1	Αποκωδικοποίηση πακέτων στη Matlab.....	38
6.4.2	Υλοποίηση αλγορίθμου στη Matlab	40
7	Πειραματικές Μετρήσεις.....	45
7.1	Περιγραφή πειραματικής ζώνης.....	45
7.2	Παρουσίαση μετρήσεων.....	45
7.2.1	Μετρήσεις και τρίγωνο πρόβλεψης για έκρηξη στα 15 μέτρα	47
7.2.2	Μετρήσεις και τρίγωνο πρόβλεψης για έκρηξη στα 15 μέτρα	48
7.2.3	Μετρήσεις και τρίγωνο πρόβλεψης για έκρηξη στα 20 μέτρα	49
7.2.4	Μετρήσεις και τρίγωνο πρόβλεψης για έκρηξη στα 40 μέτρα	50
7.2.5	Μετρήσεις και τρίγωνο πρόβλεψης για έκρηξη στα 60 μέτρα	51
7.3	Αξιολόγηση και επεξήγηση των μετρήσεων του πειράματος.....	52
8	Επίλογος	53
8.1	Δυνατότητες εξέλιξης και βελτιστοποίησης του συστήματος	53
8.2	Συμπεράσματα	54
9	Παράρτημα	55
10	Βιβλιογραφία	57

I **Εισαγωγή**

1.1 Αντικείμενο εργασίας

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας αποτελεί την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος (Soundlocalizer) εύρεσης θέσης από όπου εκπέμφθηκε ένα ακουστικό σήμα.

Στο πρώτο στάδιο της υλοποίησης του συστήματος θα δούμε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων(wireless sensor network), προκειμένου να καταφέρουμε την συλλογή όλων εκείνων των δεδομένων που θα μας βοηθήσουν στον εντοπισμό της ακουστική πηγής. Όπως θα διαπιστώσουμε μέσα από τα επόμενα κεφάλαια απαιτείται μεγάλη ακρίβεια στο τρόπο συλλογής των δεδομένων καθώς και στη διαχείριση του όγκου των δεδομένων προκειμένου να επεξεργαστούν.

Στην επόμενη φάση σειρά έχει η επεξεργασία των δεδομένων στο μαθηματικό εργαλείο Matlab. Μέσω του Matlab υλοποιήσαμε τον αλγόριθμο προσδιορισμού ηχητικής πηγής που προβλέπει την πιθανή θέση της πηγής και εν συνεχεία την απεικόνιση της.

1.2 Οργάνωση κεφαλαίων

Κεφάλαιο πρώτο: Παρουσιάζεται μια σύντομη περιγραφή του αντικείμενου της διπλωματικής εργασίας καθώς και την ροή που πρόκειται να έχει στα επόμενα κεφάλαια.

Κεφάλαιο δεύτερο: Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύεται πλήρως η μέθοδος προσδιορισμού θέσης της ηχητικής πηγής, τόσο για το πως λειτουργεί θεωρητικά όσο και από ποιους παράγοντες επηρεάζεται.

Κεφάλαιο τρίτο: Γίνεται μια πρώτη γενική αναφορά στους αισθητήρες και στα δίκτυα αισθητήρων. Επίσης παρουσιάζεται ένα πλήθος εφαρμογών μέσα από το οποίο διαπιστώνεται η συμβολή των αισθητήρων στην τεχνολογία.

Κεφάλαιο τέταρτο: Προβάλλονται αναλυτικά όλα τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων MICA2 που χρησιμοποιήσαμε στο σύστημα μας σε επίπεδο υλικού και σε επίπεδο λειτουργικού συστήματος.

Κεφάλαιο πέμπτο: Γίνεται παρουσίαση των στόχων του συστήματος μας καθώς και των απαιτήσεων που έπρεπε να τηρούνται καθ' όλη την πορεία της υλοποίησης καταλήγοντας στην τελική μορφή προγραμματισμού των αισθητήρων.

Κεφάλαιο έκτο: Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται αναλυτικά η αρχιτεκτονική του όλου συστήματος. Δεδομένης της αρχιτεκτονικής παρουσιάζεται και το τελευταίο κομμάτι λογισμικού στο πρόγραμμα του Matlab.

Κεφάλαιο έβδομο: Παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο διοργανώθηκε το πείραμα της διπλωματικής εργασίας, καθώς και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις.

Κεφάλαιο όγδοο: Περιγράφονται οι δυνατότητες επέκτασης του συστήματος, καθώς και περαιτέρω βελτιώσεις για μεγαλύτερη ακρίβεια των μετρήσεων.

Κεφάλαιο ένατο: Παραθέτουμε κάποιους πίνακες σχετικά με τις προδιαγραφές του υλικού που χρησιμοποιήθηκε.

Κεφάλαιο δέκατο: Στο τελευταίο κεφάλαιο παραθέτονται όλες οι πηγές από όπου αντλήθηκαν οι πληροφορίες για την υλοποίηση και την ανάπτυξη της διπλωματικής εργασίας.

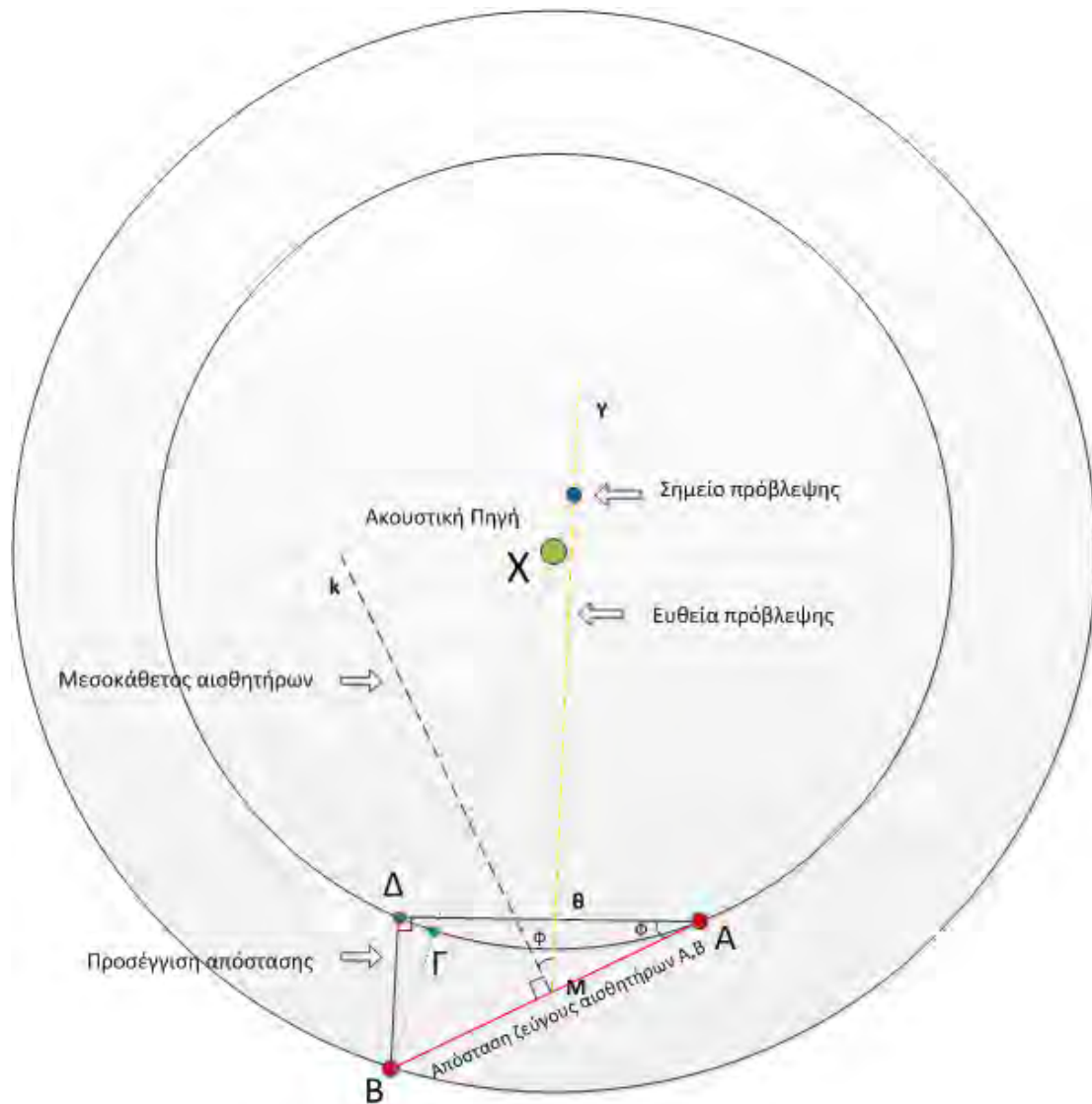
2 Θεωρητικά στοιχεία της εφαρμογής

2.1 Μέθοδος προσδιορισμού θέσης της ηχητικής πηγής

Ένα ηχητικό κύμα ορίζεται σαν μία κυματική κίνηση που λαμβάνει χώρα σε ένα ελαστικό μέσο π.χ. αέρα, νερό και άλλα. Κατά την κίνηση ενός ηχητικού κύματος η μεταβολή πίεσης του, υπερτίθενται στην υπάρχουσα ατμοσφαιρική πίεση. Η στιγμιαία αυτή μεταβολή της πίεσης ως προς τη σταθερή πίεση του μέσου ορίζεται σαν ακουστική πίεση δημιουργώντας κατ' αυτόν το τρόπο ένα ακουστικό κύμα.

Ο εντοπισμός της θέσης μιας ηχητικής πηγής μπορεί να πραγματοποιηθεί από ένα σύνολο ακουστικών αισθητήρων – μικρόφωνα τοποθετημένα με σταθερή απόσταση μεταξύ τους. Ο αλγόριθμος που θα δούμε αναλυτικά παρακάτω, έχει ως βασική αρχή μέτρησης τη χρονική διαφορά, μεταξύ των αφίξεων του κύματος σε κάθε ένα από τους αισθητήρες του συστήματος.

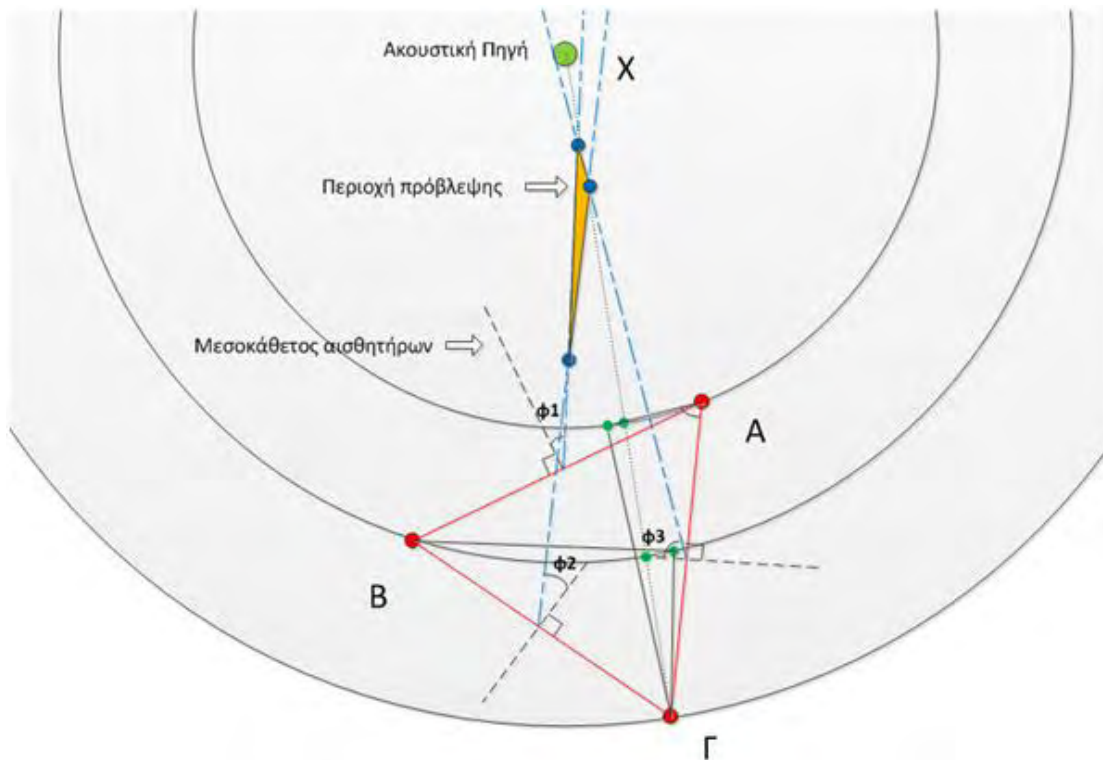
Σε πρώτη φάση θα εξετάσουμε το σύστημα μας στη πιο απλή μορφή, έχοντας δύο αισθητήρες. Από το σχήμα 2-1 παρατηρούμε τους αισθητήρες μας να βρίσκονται τοποθετημένοι στις θέσεις A και B ενώ η άγνωστη ηχητική πηγή στη θέση X. Το ηχητικό κύμα καταγράφεται πρώτα στον αισθητήρα A και στη συνέχεια στον B. Πολλαπλασιάζοντας τη διαφορά χρόνου καταγραφής μεταξύ των αισθητήρων με την ταχύτητα διάδοσης του ήχου προκύπτει η επιπλέον απόσταση που διήνυσε ο ήχος από τον αισθητήρα A στον B, απόσταση ΓB εικόνα 2.1. Στη περίπτωση όπου η ηχητική πηγή βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση σε σχέση με την απόσταση AB μπορούμε να προσεγγίσουμε αυτή την απόσταση με το ΔB έτσι ώστε να δημιουργήσουμε το ορθογώνιο τρίγωνο ABA. Με αυτό τον τρόπο καταφέραμε να υπολογίσουμε την γωνία $\eta\mu\phi = \Delta B / AB$ (όπου το AB είναι γνωστό και το ΔB υπολογίσιμο). Εάν τώρα η γωνία αυτή σχεδιαστεί έτσι ώστε η μία πλευρά της να είναι η μεσοκάθετος του τμήματος AB και η κορυφή της να βρίσκεται στο σημείο τομής της μεσοκαθέτου με το AB, τότε η δεύτερη πλευρά της γωνίας δηλαδή η ευθεία πρόβλεψης θα διέρχεται κατά προσέγγιση από το σημείο X της ηχητικής πηγής. Πιο αναλυτικά στη γωνία που σχεδιάσαμε τοποθετούμε το ευθύγραμμο τμήμα MY από εκείνη την πλευρά της μεσοκαθέτου όπου βρίσκεται ο κόμβος στον οποίο το ακουστικό κύμα έφτασε πρώτα. Το MY είναι κάθετο του ΑΔ αφού γνωρίζουμε ότι σε δυο ίσες γωνίες μεταξύ τους εάν η μια πλευρά της μίας γωνίας είναι κάθετη στην πλευρά της άλλης γωνίας τότε και οι δεύτερες πλευρές θα είναι κάθετες μεταξύ τους. Επιπλέον από κριτήρια ομοιότητας τριγώνων τα τρίγωνα ΘAM και ΔAB είναι όμοια επειδή έχουν όλες τις γωνίες τους ίσες και επειδή $AB = 2MA$ θα έχουμε $\Delta A = 2\Theta A$. Άρα η MY αποτελεί μεσοκάθετος της χορδής ΔA το οποίο σημαίνει ότι διέρχεται από το κέντρο X των ομόκεντρων κύκλων.



Εικόνα 2-1: Εύρεση ευθείας πρόβλεψης ανάμεσα σε δύο αισθητήρες.

Εισάγοντας ένα επιπλέον αισθητήρα δημιουργούνται τρία ζεύγη αισθητήρων, έτσι είναι δυνατό να επιτευχθεί με ικανοποιητική ακρίβεια η θέση της ακουστικής πηγής ακολουθώντας την προηγούμενη διαδικασία. Τοποθετούμε τους αισθητήρες στις κορυφές ενός ισόπλευρου τριγώνου με μήκος πλευράς 5 μέτρα. Εφόσον είναι γνωστές οι τοπογραφικές συντεταγμένες των αισθητήρων μπορεί να σχηματιστεί μία περιοχή πρόβλεψης όπου προσεγγίζει την πραγματική θέση της ακουστικής πηγής βλέπε εικόνα 2.2. Συγκεκριμένα υπολογίζεται η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην μεσοκάθετο της ευθείας που συνδέει τους δύο από τους τρεις ακουστικούς αισθητήρες και της ευθείας η οποία περνά από την θέση της ηχητικής πηγής. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται τρεις φορές, κάθε φορά με διαφορετικό ζευγάρι αισθητήρων. Έτσι προκύπτουν οι τρεις γωνίες Φ_1 , Φ_2 , Φ_3 για τα ζευγάρια αισθητήρων (A,B), (B,Γ) και (Γ,A) αντίστοιχα δημιουργώντας έτσι τρεις ευθείες μία για κάθε γωνία. Κατόπιν τα σημεία τομής των ευθειών αυτών σχηματίζουν μεταξύ τους μία τριγωνή περιοχή πρόβλεψης μέσα στην οποία ή έστω κοντά της βρίσκεται το σημείο από όπου προήλθε η ηχητική πηγή.

Περαιτέρω αύξηση τις ακρίβειας στον υπολογισμό των συντεταγμένων της ηχητικής πηγής απαιτεί περισσότερους αισθητήρες τοποθετημένους σε μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ τους γνωρίζοντας πάντα τις τοπογραφικές συντεταγμένες τους.



Εικόνα 2-2: Μέθοδος εύρεσης περιοχής πρόβλεψης.

2.2 Χαρακτηριστικά διάδοσης του ήχου στον ελεύθερο χώρο

Η ακουστική πίεση των διαφόρων ήχων κυμαίνεται σε ένα ευρύ πεδίο τιμών. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται κάποιες ενδεικτικές τιμές της πίεσης χαρακτηριστικών ήχων. Σημειώνεται ότι σαν στάθμη αναφοράς της ακουστικής πίεσης στον αέρα ορίζεται η τιμή των 20 μPascal ενώ σαν στάθμη της ακουστικής ισχύος στον αέρα το 1 picoWatt . Οι τιμές των πλατών που αναφέρονται στον πίνακα έχουν μετρηθεί στην περιοχή της πηγής του ήχου αφού όσο απομακρυνόμαστε από την πηγή του ήχου, το πλάτος του κύματος φθίνει μέχρι να μηδενιστεί. Η μέγιστη απόσταση μέχρι την οποία φτάνει ένα κύμα, για ιδανικές ατμοσφαιρικές συνθήκες, εξαρτάται από την ένταση I του ήχου.

Σε πραγματικές ατμοσφαιρικές συνθήκες ο νόμος της διάδοσης του ήχου δεν ισχύει λόγω απόσβεσης και διασκόρπισης των ηχητικών κυμάτων που οφείλεται σε παραμέτρους όπως θερμοκρασία, πίεση και υγρασία της ατμόσφαιρας. Π.χ. με βάση τα ανωτέρω και με συνήθεις ατμοσφαιρικές συνθήκες, η μέγιστη απόσταση που μπορεί να ακουσθεί ένα βαρύ πυροβόλο είναι περίπου 40 χλμ.

Πηγή ήχου	Πίεση ήχου (Pascal)	Στάθμη πίεσης ήχου (db)
Πύραυλος	200000	200
Αεριοθούμενο	200	140
Συναυλία	20	120
Βαρύ φορτηγό	2	100
Κυκλοφοριακή κίνηση	0.2	80
Συζήτηση	0.02	60
Ήσυχη κατοικία	0.002	40
Θρόισμα φύλλων	0.0002	20

Πίνακας 1: Ενδεικτικές τιμές πίεσης χαρακτηριστικών ήχων.

Σε ελεύθερο πεδίο ο ήχος κινείται ανεμπόδιστα σε ευθεία διεύθυνση, χωρίς να αποκλίνει. Υπό αυτές τις συνθήκες ο ήχος δεν παρουσιάζει ανακλάσεις, δεν απορροφάται, δεν περιθλάται, δεν διαχέεται και δεν είναι αντικείμενο φαινομένων συντονισμού. Αντιθέτως, σε πραγματικές συνθήκες η διάδοση του ήχου επηρεάζεται από την παρουσία φυσικών εμποδίων αλλά και από τις μεταβολές που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα, η οποία και αποτελεί το μέσο διάδοσης του ήχου.

2.3 Επίδραση κλιματολογικών συνθηκών στην ταχύτητα του ήχου

Ένα ηχητικό κύμα χαρακτηρίζεται από συχνότητα και μήκος κύματος εάν δεν είναι θόρυβος. Το γινόμενο αυτών των μεγεθών πρέπει να ισούται με την ταχύτητα διάδοσης του κύματος και είναι φυσικά το ίδιο για ήχους διαφόρων συχνοτήτων.

Στην πράξη η ταχύτητα του ήχου αυξάνει αυξανόμενης της θερμοκρασίας και της υγρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα. Ενδεικτικά για 0% υγρασία η ταχύτητα του ήχου είναι 331.46 m/sec στους 0 °C και αυξάνει στα 344 m/sec στους 20 °C. Επίσης μεγάλες αποκλίσεις από τις συνήθεις τιμές της ατμοσφαιρικής πίεσης και της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη από το σύστημα μας στη χρησιμοποιούμενη τιμή της ταχύτητας του ήχου.

Επιπλέον η ταχύτητα του ήχου επηρεάζεται από την κατεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου. Ο ήχος διαδίδεται ευκολότερα προς την κατεύθυνση του ανέμου αφού μετακινεί τον αέρα που αποτελεί μέσο διάδοσης του ήχου. Για παράδειγμα, αν ο ήχος κινείται με 347 μέτρα ανά δευτερόλεπτο και επικρατεί άνεμος 4.6 μέτρων ανά δευτερόλεπτο τότε η ταχύτητα του ήχου θα μεταβληθεί κατά περίπου 1%. Αυτό το ποσοστό μεταβολής είναι αρκετό για να επηρεάσει τη διάθλαση του ήχου. Η ταχύτητα του αέρα κοντά στην επιφάνεια της γης είναι συνήθως μικρότερη από την ταχύτητα σε μεγαλύτερα ύψη. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει βαθμίδα ανέμου που έχει επίδραση στην διάδοση του ήχου. Δεν πρόκειται για πραγματική διάθλαση αλλά το αποτέλεσμα είναι το ίδιο. Επίπεδα κύματα από μακρινή πηγή που κινούνται

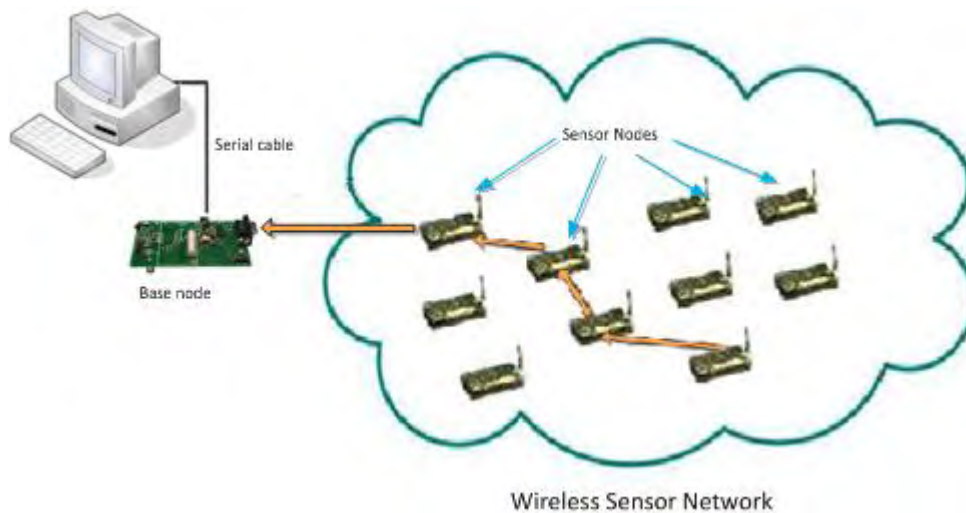
προς την ίδια κατεύθυνση με τον άνεμο θα κατευθύνουν τον ήχο προς τα κάτω. Επίπεδα κύματα που κινούνται αντίθετα από τον άνεμο θα τον κατευθύνουν προς τα επάνω. Σε ασυνήθιστες περιπτώσεις, είναι δυνατό να ευνοείται ο ήχος που κινείται αντίθετα με την κατεύθυνση του ανέμου. Για παράδειγμα, ήχος κινούμενος αντίθετα από τον άνεμο που διατηρείται επάνω από την επιφάνεια του εδάφους, ελαχιστοποιώντας τις απώλειες εδάφους.

3

Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων

3.1 Τι είναι ασύρματο δίκτυο αισθητήρων(A.Δ.Α)

Τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων αποτελούνται από μικρές χωρικά καταναμημένες αυτόνομες συσκευές, τους Ασύρματους Κόμβους, οι οποίοι είναι ικανοί να «αισθάνονται» τον φυσικό κόσμο, μέσω κατάλληλων αισθητήρων, να επεξεργάζονται, να αποθηκεύουν τις μετρήσεις και να επικοινωνούν ασύρματα. Επιπλέον τροφοδοτούνται συνήθως από μπαταρίες, που η διάρκεια ζωής τους εξαρτάται άμεσα από το χρησιμοποιούμενο υλικό, την επεξεργαστική ισχύ της υπολογιστικής μονάδας, αλλά κυρίως από τον τρόπο με τον οποίο το λογισμικό του κόμβου διαχειρίζεται το διαθέσιμο υλικό και την επικοινωνία. Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από δύο βασικά μέρη, τους κόμβους αισθητήρων και τις βάσεις συγκέντρωσης δεδομένων εικόνα 3.1.

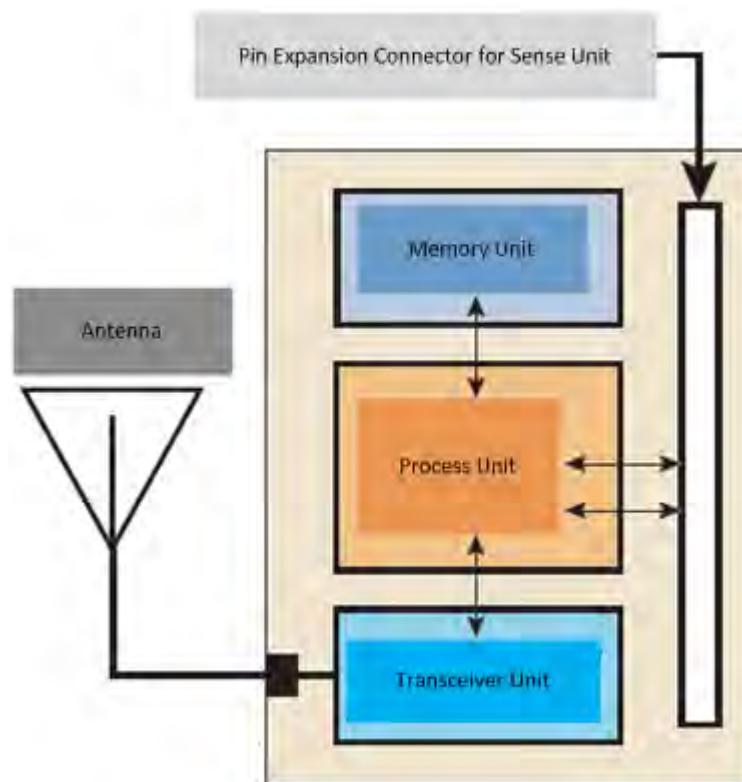


Εικόνα 3-1: Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων.

Κόμβοι αισθητήρων (Sensornodes)

Οι κόμβοι αισθητήρων είναι εκείνοι που ανιχνεύουν ένα φυσικό μέγεθος το μετατρέπουν σε μετρήσιμο και εν συνεχεία αποστέλλουν την μέτρηση στην βάση. Κάθε κόμβος ενός Α.Δ.Α διακρίνεται από τέσσερα βασικά υποσυστήματα. Πρώτα έχουμε το υποσύστημα **Επικοινωνίας (Transceiver)** το οποίο αποτελείται από έναν πομποδέκτη συνδεδεμένο με μια εσωτερική ή εξωτερική κεραία. Το υποσύστημα **Επεξεργασίας (Processunit)** το οποίο ενσωματώνει έναν μικροεπεξεργαστή (processor), μία μνήμη επεξεργασίας και μία μνήμη αποθήκευσης δεδομένων. Η υπομονάδα **Αισθητήρων (Senseunit)** η οποία περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα αισθητήρια (sensors) για την μέτρηση διάφορων δεδομένων και ένα κύκλωμα το οποίο μετατρέπει τα δεδομένα από αναλογική σε ψηφιακή μορφή (ADC). **Τροφοδοσίας (Powerunit)** το οποίο συνήθως αποτελείται από μια

μικρή μπαταρία, η οποία παρέχει μια περιορισμένη ενεργειακή αυτονομία. Από τα παραπάνω προκύπτει το σχήμα της εικόνας 3.2,



Εικόνα 3-2: Δομή ενός κόμβου αισθητήρα.

Βάσεις συγκέντρωσης δεδομένων (Basestation)

Η βάση σταθμός συγκέντρωσης δεδομένων μπορεί να είναι μία ή και περισσότερες και αναλαμβάνει τη συνολική εποπτεία του Α.Δ.Α, αφού βρίσκεται μεταξύ των χρηστών και των κόμβων αισθητήρων. Παραλαμβάνει συνεχώς αιτήσεις από τους χρήστες του δικτύου τις οποίες κατόπιν επεξεργασίας αποστέλλει στους κόμβους. Εν συνέχεια οι κόμβοι καταγράφουν τις μετρήσεις και είτε τις αποθηκεύουν τοπικά στη μνήμη τους είτε τις αποστέλλουν πίσω στη βάση. Η βάση σταθμός συγκέντρωσης δεδομένων πρέπει να διαθέτει τόσο εξειδικευμένο υλικό όσο και λογισμικό. Σε αντίθεση με τους κόμβους αισθητήρων οι οποίοι υπόκεινται σε περιορισμούς όσον αφορά τους διαθέσιμους πόρους τους, η βάση θα πρέπει να είναι σε θέση να επεξεργάζεται και να αποθηκεύει τις μετρήσεις, να επικοινωνεί με άλλες βάσεις καθώς και ενημερώνεται δυναμικά σχετικά με την τοπολογία και την κατάσταση του Α.Δ.Α. Ως εκ τούτου διαθέτει μεγάλης χωρητικότητας μνήμη, αυξημένη επεξεργαστική ισχύ και απεριόριστη ενέργεια προκειμένου να είναι σε θέση να εκτελεί επιτυχώς τις παραπάνω λειτουργίες. Για τον λόγο αυτό την βάση συγκέντρωσης δεδομένων αποτελεί ένας σταθερός ή φορητός υπολογιστής που βρίσκεται εγκατεστημένος σε μία ασφαλή τοποθεσία κοντά στο Α.Δ.Α έτσι ώστε να είναι προσβάσιμη.

3.2 Στόχοι και απαιτήσεις ενός Α.Δ.Α

Οι **στόχοι ενός Α.Δ.Α** εξαρτώνται κυρίως από το είδος της εφαρμογής για την οποία αυτό χρησιμοποιείται, γενικά μπορούμε να διακρίνουμε τρεις βασικές κατηγορίες:

- **Καταγραφή τιμής κάποιας παραμέτρου σε μια δεδομένη θέση.**
- **Ανίχνευση ενός γεγονότος σε μία δεδομένη θέση.**
- **Χωρικός έλεγχος ενός αντικειμένου σε μια γεωγραφική περιοχή.**

Όσον αφορά τις **απαιτήσεις ενός Α.Δ.Α**, αυτές αναφέρονται κυρίως σε τεχνικά χαρακτηριστικά, η ικανοποίησή των οποίων βελτιστοποιεί την απόδοση του. Μερικές από τις πιο σημαντικές απαιτήσεις είναι οι εξής:

Μικρή κατανάλωση ενέργειας: Αποτελεί ίσως τον πιο βασικό παράγοντα σχεδιασμού ενός Α.Δ.Α. Δεδομένου ότι σε πολλές εφαρμογές οι κόμβοι αισθητήρων θα τοποθετηθούν σε μια απομακρυσμένη και πιθανόν δύσβατη περιοχή, η τροφοδότηση ενός κόμβου μπορεί να μην είναι δυνατή. Σε αυτήν την περίπτωση, η διάρκεια ζωής ενός κόμβου μπορεί να καθοριστεί από τη ζωή των μπαταριών, για αυτό τον λόγο απαιτείται η ελαχιστοποίηση των ενεργειακών δαπανών.

Μικρό μέγεθος και κόστος κόμβου: Η μείωση του μεγέθους και του κόστους κάθε κόμβου είναι μια ακόμα βασική απαίτηση για τον σχεδιασμό ενός Α.Δ.Α. Μειώνοντας το μέγεθος του κόμβου διευκολύνεται η τοποθέτηση των κόμβων ενώ επίσης μειώνεται το κόστος και η κατανάλωση ενέργειας. Μειώνοντας το κόστος κάθε κόμβου μειώνεται και το συνολικό κόστος του δικτύου κάτι το οποίο είναι ιδιαίτερα κρίσιμο όταν έχουμε να κάνουμε με ένα Α.Δ.Α πολλών κόμβων εγκατεστημένο σε δύσβατα ή εχθρικά περιβάλλοντα όπου οι κόμβοι σε περίπτωση βλάβης δεν μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν.

Δυνατότητα αυτό-διαμόρφωσης: Στα Α.Δ.Α οι αισθητήρες τοποθετούνται τυχαία στο πεδίο που θέλουμε να μελετήσουμε χωρίς κάποιον εκ των προτέρων σχεδιασμό ή συμφωνία. Όταν τοποθετηθεί ένας κόμβος, αυτός πρέπει αυτόματα να οργανωθεί με τους υπολοίπους δημιουργώντας ένα δίκτυο επικοινωνίας. Επιπρόσθετα, σε αλλαγή τοπολογίας πρέπει να μπορεί να αναπροσαρμόσει την θέση του με τους υπολοίπους και ένα επανέλθει σε επικοινωνία.

Κλιμάκωση: Τα Α.Δ.Α μπορεί να αποτελούνται από μερικές δεκάδες, εκατοντάδες ή ακόμα και χιλιάδες κόμβους. Το γεγονός αυτό πρέπει να ληφθεί υπόψη στα πρωτόκολλα δικτύου ούτως ώστε να υποστηρίζουν μια μεγάλη γκάμα μεγέθους δικτύων.

Προσαρμοστικότητα: Στα Α.Δ.Α ένας αισθητήρας μπορεί να παρουσιάσει μια βλάβη ή να εισέλθει στο δίκτυο ή ακόμα και να μετακινηθεί. Το γεγονός αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγή της τοπολογίας του δικτύου οπότε, τα πρωτόκολλα δικτύου πρέπει να είναι σχεδιασμένα για να προσαρμόζονται σε αυτές τις αλλαγές.

Ανεκτικότητα σε σφάλματα: Οι κομβίοι αισθητήρων είναι επιρρεπής σε σφάλματα λόγω της τυχαίας τοποθέτησής και της μη επιτήρησης τους. Για αυτό πρέπει οι κομβίοι να είναι ανεκτικοί σε σφάλματα και να έχουν μηχανισμούς αυτό-ελέγχου ,αυτό- συντονισμού, αυτό-διόρθωσης και αυτό-επαναφοράς.

Αξιοπιστία: Για πολλές εφαρμογές είναι απαραίτητη η αξιόπιστη αποστολή των δεδομένων, ανεξαρτήτως του θορύβου και της πιθανότητας λάθους. Για να καλυφθεί η απαίτηση αυτή χρειάζεται τα πρωτόκολλα δικτύου να είναι σχεδιασμένα ώστε να παρέχουν έλεγχο σφαλμάτων και μηχανισμούς διόρθωσής τους.

Ο σχεδιασμός και η δημιουργία ενός Α.Δ.Α γίνεται συνήθως με βάση την εφαρμογή στην οποία πρόκειται αυτό να χρησιμοποιηθεί και ως εκ τούτου δεν είναι απαραίτητο να ικανοποιούνται όλες οι παραπάνω απαιτήσεις, αλλά μόνο ένα μέρος αυτών που είναι κρίσιμες για την συγκεκριμένη εφαρμογή.

3.3 Εφαρμογές ασύρματων δικτύων αισθητήρων

Η έρευνα και η ανάπτυξη των Α.Δ.Α ξεκίνησε αρκετά χρόνια πριν για στρατιωτικούς σκοπούς. Ωστόσο στις μέρες τέτοια δίκτυα χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύτατο φάσμα εμπορικών, βιομηχανικών και άλλων εφαρμογών, μερικές εκ των οποίων μας είναι ήδη οικείες καθώς ανταποκρίνονται σε συνηθισμένες δραστηριότητες και ανάγκες.

3.3.1 Εφαρμογές παρακολούθησης και ασφάλειας περιοχής

Ένας αρκετά μεγάλος αριθμός Α.Δ.Α έχουν αναπτυχθεί για την παρακολούθηση περιβαλλοντικών συνθηκών. Οι περισσότερες εφαρμογές σε αυτόν τον τομέα αφορούν είτε στην έγκαιρη ανίχνευση προκείμενων φυσικών καταστροφών είτε στην αύξηση της αγροτικής παραγωγής . Ακολουθούν μερικά παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών:

➤ Παρακολούθηση ατμοσφαιρικών ρύπων

Ένα είδος εφαρμογής που έχει να κάνει με την περιβαλλοντική παρακολούθηση είναι η επιτήρηση υγρών στοιχείων για ρύπους ή έλεγχο ακραίων φαινομένων όπως οι πλημμύρες, η παρακολούθηση θερμοκηπίων, η επιτήρηση υδροβιότοπων, η κατασκευή μετεωρολογικών σταθμών κ.α. Σε πόλεις όπως η Στοκχόλμη και το Λονδίνο έχουν αναπτυχθεί Α.Δ.Α. για την παρακολούθηση των ατμοσφαιρικών ρύπων. Οι κόμβοι αυτών των δικτύων έχουν ενσωματωμένους αισθητήρες που καταγράφουν τις συγκεντρώσεις διαφόρων ρύπων όπως CO, CO₂, NO₂ ή CH₄, οι οποίοι παράγονται από τα οχήματα ή τις βιομηχανίες, και μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα στη υγεία των πολιτών. Με αυτόν τον τρόπο οι δημόσιοι οργανισμοί έχουν ένα σημαντικό εργαλείο στα χέρια τους ώστε να λάβουν μέτρα για μείωση της ρύπανσης και βελτίωση της ποιότητας του αέρα.

➤ Πυρανίχνευση σε δασικές εκτάσεις

Ένα Α.Δ.Α μπορεί να εγκατασταθεί σε μία δασική έκταση με σκοπό να ανιχνεύσει την έναρξη κάποιας πυρκαγιάς. Οι κόμβοι του δικτύου θα πρέπει να είναι εφοδιασμένοι με αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας και αερίων που παράγονται όταν καίγονται δέντρα ή βλάστηση. Ο έγκαιρος εντοπισμός είναι ζωτικής σημασίας για την επιτυχημένη επέμβαση των πυροσβεστικών δυνάμεων. Με τη βοήθεια των Α.Δ.Α. η πυροσβεστική υπηρεσία μπορεί να γνωρίζει άμεσα το ξέσπασμα μιας πυρκαγιάς καθώς και το πώς αυτή εξαπλώνεται.

➤ Γεωργία ακριβείας

Ένα Α.Δ.Α μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην γεωργία προκειμένου να συντελέσει στην ποιοτική και ποσοτική αναβάθμιση της αγροτικής παραγωγής. Τα εν λόγω Α.Δ.Α διαθέτουν κόμβους με αισθητήρες που τους επιτρέπουν να παρακολουθούν την θερμοκρασία, την υγρασία φυλλώματος και εδάφους, τα ακριβή επίπεδα του πόσιμου νερού, την οξύτητα του εδάφους, το βαθμό μόλυνσης του αέρα και πολλές άλλες σχετικές παραμέτρους σε πραγματικό χρόνο. Μπορούμε επίσης με ευκολία να ελέγξουμε την κατάσταση ενός συστήματος άρδευσης κάνοντας πολύ πιο αποτελεσματική τη δουλειά ενός αγρότη αλλά και οικονομία υδάτων για το περιβάλλον. Ήδη σε κάποια περιοχή του πανεπιστημίου Θεσσαλίας του , έχει εγκατασταθεί ένα Α.Δ.Α με την ονομασία «έξυπνος αμπελώνας» που χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό και έχει επιτύχει τόσο την αύξηση της παραγωγής όσο και την ποιοτική βελτίωση του παραγόμενου κρασιού.



Εικόνα 3-3: Εφαρμογή αισθητήρων στην γεωργία.

3.3.2 Στρατιωτικές εφαρμογές

Τα Α.Δ.Α μπορούν να αποτελέσουν αναπόσπαστο κομμάτι των ελέγχων, των επικοινωνιών, της παρακολούθησης, της νοημοσύνης και της στόχευσης για μια στρατιωτική επιχείρηση. Η πολύ γρήγορη ανάπτυξη, η αυτό-οργάνωση, και η ανεκτικότητα σε λάθη καθιστούν τα Α.Δ.Α μια πολλά υποσχόμενη λύση για τις στρατιωτικές επιχειρήσεις του μέλλοντος. Καθώς τέτοια δίκτυα βασίζονται στον πυκνό διασκορπισμό χαμηλού κόστους κόμβων, η καταστροφή ορισμένων από αυτούς από εχθρικές ενέργειες δεν επηρεάζει την στρατιωτική επιχείρηση, όσο η καταστροφή ενός παραδοσιακού αισθητήρα, κάνοντας τα δίκτυα αυτά ιδιαίτερα εύχρηστα για τέτοιες επιχειρήσεις.

Μερικές από τις στρατιωτικές εφαρμογές αυτών των δικτύων, είναι η παρακολούθηση συμμαχικών δυνάμεων, εξοπλισμών και πυρομαχικών, η παρακολούθηση του πεδίου μάχης και ο συμπερασμός εχθρικών ενεργειών, η ανίχνευση στόχων, η καταγραφή ζημιών και τέλος η ανίχνευση πυρηνικής ή χημικής επίθεσης.

3.3.3 Ιατρικές εφαρμογές

Η χρήση των Α.Δ.Α στον τομέα της ιατρικής, αν και ηθικά αμφιλεγόμενη, είναι πιθανόν πολύ ωφέλιμη. Το εύρος των δυνατοτήτων ξεκινάει από την μετεγχειρητική και την εντατική θεραπεία, όπου οι αισθητήρες τοποθετούνται απευθείας πάνω στους ασθενείς, μέχρι την μακροχρόνια παρακολούθηση των ασθενών και την αυτόματη διαχείριση των φαρμάκων τους με τοποθέτηση αισθητήρων στην συσκευασία τους. Τα τελευταία χρόνια οι προσπάθειες της επιστημονικής κοινότητας επικεντρώνονται στην μελέτη των «δικτύων σώματος». Τα «δίκτυα σώματος» αποτελούνται από αισθητήρες τοποθετημένους στο ανθρώπινο σώμα ή γύρω από αυτό με σκοπό την καταγραφή ζωτικών λειτουργιών του όπως η αρτηριακή πίεση, ο σφυγμός, η λειτουργία της καρδιάς κ.α. Με τη χρήση των δικτύων αυτών είναι δυνατό να συγκεντρώνονται αμέτρητα δεδομένα στον κεντρικό προσωπικό καταγραφέα του κάθε ανθρώπου, τα οποία αποτελούν πολύτιμο αρχείο για τον έλεγχο της υγείας και της γενικότερης κατάστασής του.

3.3.4 Κατασκευαστικές εφαρμογές

Χρήση των Α.Δ.Α μπορεί να γίνει πλέον και στον κατασκευαστικό χώρο με τεράστια οφέλη τόσο οικονομικά όσο και οικολογικά. Ο συνδυασμός ενός Α.Δ.Α μαζί με το δίκτυο ελεγκτών αυτοματισμού μπορεί να περιορίσει την κατανάλωση ενέργειας. Παραδείγματος χάριν ο έλεγχος θερμοκρασίας ή φυσικού φωτισμού αν βρίσκεται στα επιθυμητά επίπεδα προκειμένου να ενεργοποιεί την θέρμανση ή κάποιο τεχνητό φωτισμό αντίστοιχα. Επιπλέον ιδιαίτερη χρησιμότητα παρουσιάζουν τα Α.Δ.Α σε μεγάλες κατασκευές όπου εγκαθίστανται για την παρακολούθηση μίας πληθώρας παραμέτρων που αφορούν τη συντήρηση και τη στατικότητα της κατασκευής. Οι μηχανικοί μπορούν έτσι να προβούν σε προληπτικές επισκευές, που θα κρατήσουν ασφαλή την κατασκευή, βασιζόμενοι περισσότερο σε μετρήσεις απόδοσης και λιγότερο σε προγραμματισμένες συντηρήσεις.




4 *Οι αισθητήρες του συστήματος*

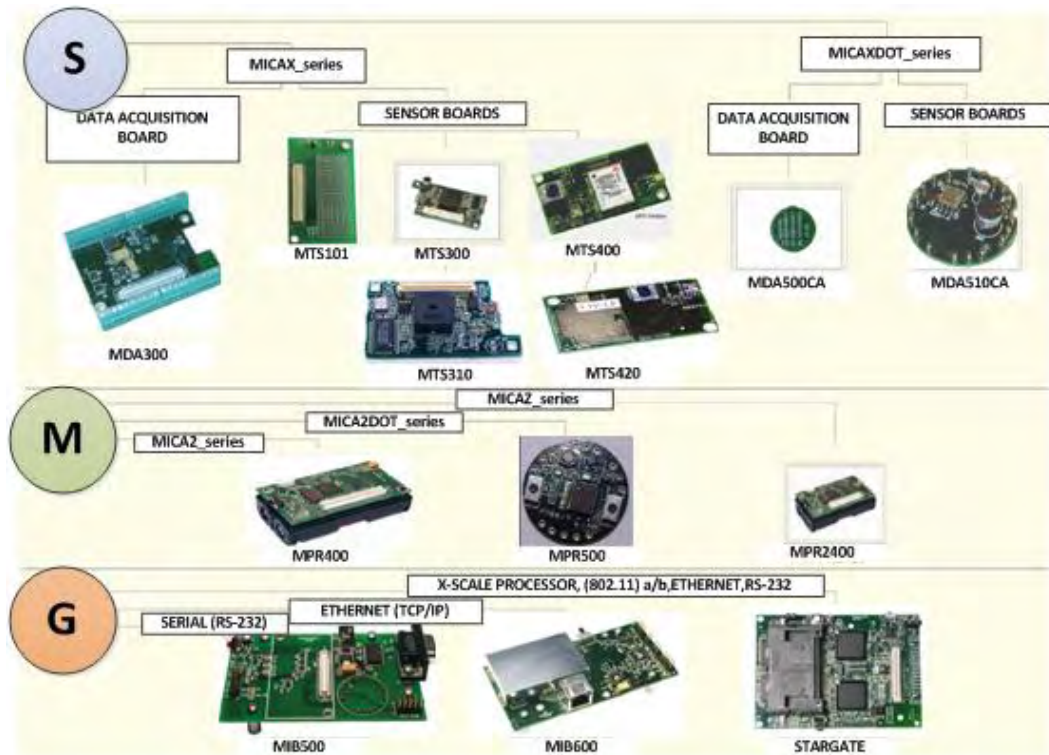
4.1 Εισαγωγή στους αισθητήρες MICA

Οι ασύρματοι κόμβοι προήλθαν από την ερευνητική εργασία της ομάδας του David Culler στο Πανεπιστήμιο του Berkeley το 2000 (γνωστοί και ως Berkeley Motes ή Mica Motes) και διατίθενται εμπορικά πλέον από την εταιρία Crossbow η αλλιώς XBOW οι οποίοι σε συνδυασμό με την πλατφόρμα λογισμικού TinyOS αποτελούν τα στάνταρντ στις πλατφόρμες ανάπτυξης εφαρμογών Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων.

Το παράδειγμα των Berkeley Motes ακολούθησαν και άλλες ερευνητικές ομάδες, καθώς και εταιρείες, με αποτέλεσμα σήμερα, να διατίθεται μια πληθώρα επιλογών κυρίως σε επίπεδο υλικού. Έτσι, στην οικογένεια των κόμβων, που βασίζονται στον μικροελεγκτή Atmel AVR μαζί με ένα ασύρματο πομποδέκτη, είχαμε παλαιότερους πρωτότυπους κόμβους, όπως οι WeC, Rene, Rene2, Dot και Mica Motes αλλά κυρίως τους πολύ δημοφιλείς Mica2 και Mica2Dot. Στην οικογένεια αυτή, έρχονται να προστεθούν και οι νεότεροι MicaZ, που χρησιμοποιούν το νέο πρωτόκολλο ασύρματης δικτύωσης IEEE 802.15.4 ή αλλιώς Zigbee και διαφέρουν με τους Mica2 μόνο στην αρχιτεκτονική του υποσυστήματος ασύρματων επικοινωνιών. Πολύ διαδεδομένες υλοποιήσεις είναι οι κόμβοι Telos, Eyes, BT Nodes και οι κόμβοι Tmote Sky της εταιρείας MotelV, οι οποίοι βασίζονται στον μικροελεγκτή MSP430 της Texas Instruments, ο οποίος και έχει καλύτερες επιδόσεις από τον Atmel. Τέλος, ενδιαφέρουσες επιλογές αποτελούν οι κόμβοι Imote2, που βασίζονται στον ισχυρό μικροεπεξεργαστή Intel PXA271. Σε επίπεδο λογισμικού προσφέρονται αρκετές άλλες επιλογές, που όμως δεν είναι τόσο δημοφιλείς στην ερευνητική κοινότητα, όσο το TinyOS.

Ως προς το υλικό οι αισθητήρες MICA χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες, εικόνα 4.1:

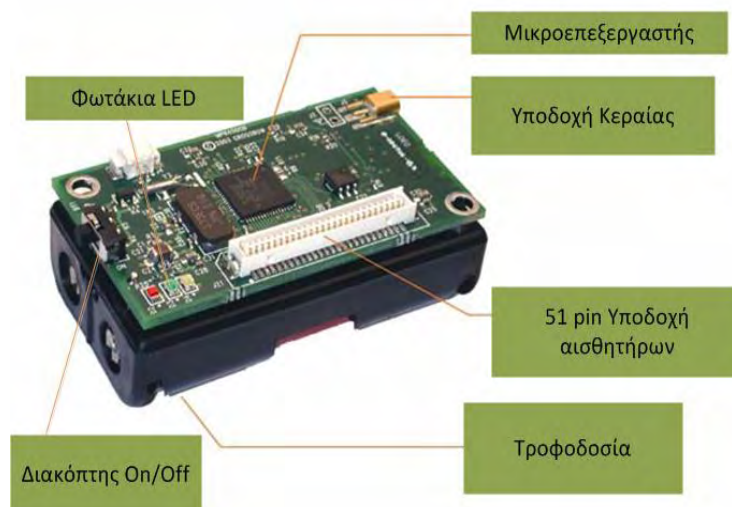
-  Οι αισθητήρες (Sensorsboards) είναι οι πλακέτες που συγκεντρώνουν πάνω τους πλήθος αισθητηρίων και είναι υπεύθυνες για την συλλογή δεδομένων (πίνακας 1, παραρτήματος).
-  (Motesboards) αποτελούν το κυρίως μέρος του αισθητήρα αφού φέρουν τον επεξεργαστή, τον πομποδέκτη επικοινωνίας, την κεραία, εξωτερική μνήμη flash, προγραμματιζόμενα LED φωτάκια, την τροφοδοσία του κόμβου αισθητήρα καθώς και την 51 pin υποδοχή που μπαίνει η πλακέτα αισθητηρίων (πίνακας 2, παραρτήματος).
-  Οι πύλες (Gateways) αποτελούν την διεπαφή επικοινωνίας ανάμεσα στους ασύρματους κόμβους και την βάση δεδομένων που βρίσκεται σε κάποιον υπολογιστή (πίνακας 3, παραρτήματος).



Εικόνα 4-1: Βασικές κατηγορίες των αισθητήρων Mica.

4.2 Λειτουργία και δυνατότητες των αισθητήρων MICA2.

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήσαμε τρεις κόμβους (moteboards) μοντέλα MPR400 μαζί με τρεις αισθητήρες γενικού σκοπού (sensorboards) μοντέλα MTS310. Πυρήνας του κάθε ασύρματου κόμβου Mica2 που βρίσκεται στην εικόνα 4.2 αποτελεί ο μικροελεγκτής ATMega128L της εταιρίας Atmel, ο οποίος είναι χρονισμένος στα 7.3728 MHz. Η ασύρματη δικτύωση επιτυγχάνεται χάριν του ολοκληρωμένου κυκλώματος CC1000 της εταιρείας

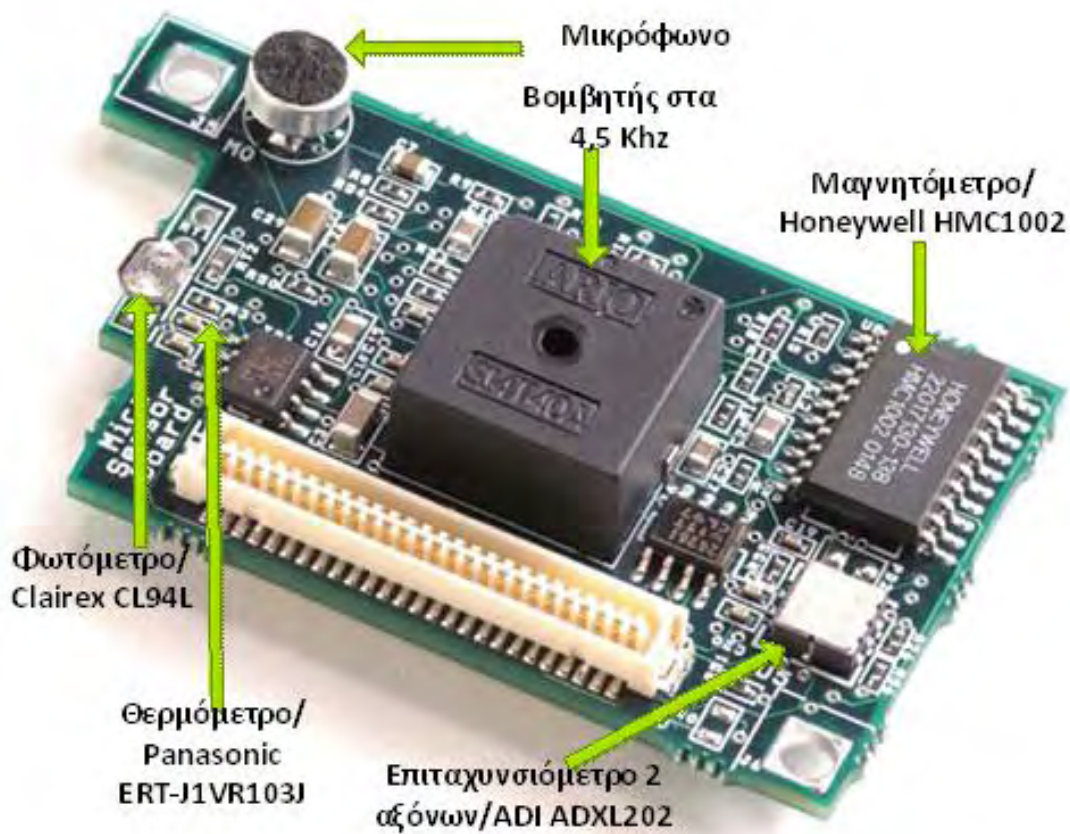


Εικόνα 4-2: Κόμβο ενός αισθητήρα Mica2.

Chirpion, που πετυχαίνει ρυθμό μετάδοσης 38.400 bps στη μάντα των 868/916 MHz. Επίσης ο κόμβος διαθέτει 51 ριγυποδοχή για τις πλακέτες των αισθητήρων, φωτάκια LED και τροφοδοτείται από μπαταρίες AA (βλέπε πίνακα 4 παραρτήματος κάποια χαρακτηριστικά σε μερικά μοντέλα κόμβων). Όσον αφορά τους αισθητήρες η έτοιμη

πλακέτα που χρησιμοποιήσαμε περιλαμβάνει μικρόφωνο με ικανοποιητικές επιδόσεις για την συγκεκριμένη εφαρμογή βλέπε εικόνα 4.3. Επιπλέον διαθέτει αισθητήρες φωτός, θερμοκρασίας, επιταχυνσιόμετρο διπλού άξονα, μαγνητόμετρο διπλού άξονα και ένα βομβητή[4]. Η μετατροπή του σήματος από ψηφιακό σε αναλογικό γίνεται από τον ενσωματωμένο 10-bit A/D μετατροπέα του μικροελεγκτή.

Τέλος απαραίτητη ήταν η σύνδεση της πύλης (Gateway) μοντέλο MIB500 με τον υπολογιστή μέσω σειριακής πόρτας RS-232 προκειμένου να λάβουμε το ακουστικό σήμα στον υπολογιστή και από εκεί να το επεξεργαστούμε εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο εντοπισμού της ηχητικής πηγής που αναλύσαμε στο δεύτερο κεφάλαιο μέσω του προγράμματος του MATLAB.



Εικόνα 4-3: αισθητήρια πλακέτας.

4.3 Λειτουργικό σύστημα αισθητήρων TinyOS

Το TinyOS είναι ένα λειτουργικό σύστημα σχεδιασμένο να διευκολύνει την ανάπτυξη εφαρμογών στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Χρησιμοποιείται ήδη ευρέως από πολλές ερευνητικές ομάδες και μπορεί να υποστηριχθεί από πολλές πλατφόρμες υλικού. Είναι σχεδιασμένο με αρθρωτή αρχιτεκτονική, και ιδιαίτερη βαρύτητα έχει δοθεί στην ικανότητα επικοινωνίας. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του, το καθιστούν ιδανικό για χρήση σε δίκτυα αισθητήρων όπου οι εφαρμογές και οι προσφερόμενες υπηρεσίες από το δίκτυο είναι καταναμημένες σε πολλές

ανεπιτήρητες και περιορισμένων δυνατοτήτων συσκευές, που διαρκώς συλλέγουν πληροφορίες από το φυσικό περιβάλλον.

Ο σκοπός ενός λειτουργικού συστήματος είναι να διευκολύνει την ανάπτυξη αξιόπιστων εφαρμογών λογισμικού, κρύβοντας από το χρήστη το υλικό πάνω στο οποίο θα εκτελεστούν οι εφαρμογές αυτές. Στους προσωπικούς υπολογιστές, το λειτουργικό σύστημα κατανέμει τα υπολογιστικά νήματα, που προέρχονται από την εφαρμογή στους επεξεργαστές, δεσμεύει και εκμεταλλεύεται δυναμικά την διαθέσιμη μνήμη και διαχειρίζεται όλους τους άλλους διαθέσιμους πόρους, όπως σκληρούς δίσκους, δίκτυα και περιφερειακά για λογαριασμό της εφαρμογής. Ο σαφής διαχωρισμός που υπάρχει μεταξύ λειτουργικού συστήματος και εφαρμογής, που είναι σύνηθες στην κλασσική πληροφορική, δεν υφίσταται στην περίπτωση των ενσωματωμένων συστημάτων και ειδικά στα Α.Δ.Α. Εδώ, η εφαρμογή είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με το συγκεκριμένο υλικό, και στην ουσία λειτουργικό και εφαρμογή, είναι τόσο αλληλένδετα και περιπλεγμένα με το υλικό, που μπορούν να θεωρηθούν ενιαία.

Το TinyOS στοχεύει σε τρεις στόχους όσον αφορά την αρχιτεκτονική των ασύρματων δικτύων αισθητήρων:

- Να λαμβάνει υπ' όψιν την υφιστάμενη και τη μελλοντική αρχιτεκτονική των ασύρματων δικτύων και των ασύρματων κόμβων.
- Να επιτρέπει την υλοποίηση τόσο των λειτουργιών του λειτουργικού συστήματος, όσο και των εφαρμογών, σε μια ευρεία γκάμα υλικού (διαφορετικές πλατφόρμες) και λογισμικού.
- Να λαμβάνει υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, απαιτήσεων και περιορισμών των δικτύων αισθητήρων, όπως: Περιορισμένοι πόροι, απαιτητική ταυτοχρονισμένη λειτουργία, αντοχή, ανθεκτικότητα και ειδικές απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής.

Το TinyOS υλοποιεί ένα δομημένο μοντέλο εκτέλεσης κώδικα βασισμένο σε συμβάντα (event-driven) και μια αρχιτεκτονική σχεδιασμού εφαρμογών βασισμένη σε επιμέρους δομικά στοιχεία (component-based). Υποστηρίζει υψηλό βαθμό ταυτοχρονισμού, δεσμεύει πολύ μικρό χώρο στη μνήμη προγράμματος και στη μνήμη RAM, βελτιώνει τη σταθερότητα, επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση κώδικα, προσαρμόζεται στο υφιστάμενο υλικό και είναι σχεδιασμένο για χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, δίνοντας όμως τη δυνατότητα για υλοποίηση πολύπλοκων εφαρμογών και τηλεπικοινωνιακών πρωτοκόλλων[5].

5 Πορεία υλοποίησης λογισμικού

5.1 Στόχοι και απαιτήσεις του συστήματος

Σύμφωνα με τα όσα έχουμε αναφέρει μέχρι στιγμής και πριν ξεκινήσουμε την περιγραφή της υλοποίησης απαραίτητο κρίνεται να καθορίσουμε τους στόχους και τις απαιτήσεις της εφαρμογής μας. Όσον αφορά τους στόχους θέλουμε:

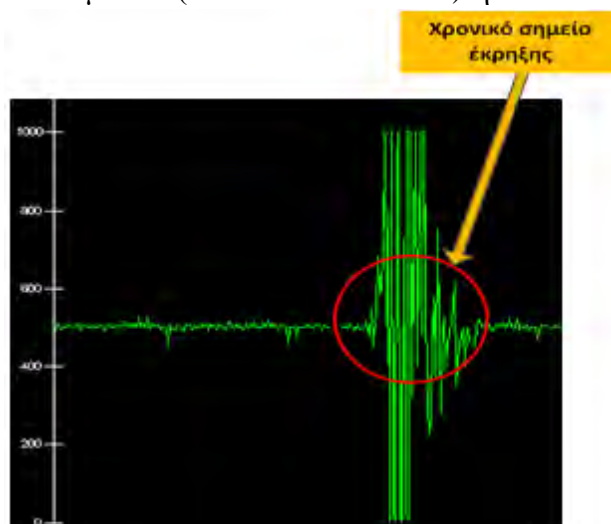
- Μεγάλη ακρίβεια περιοχής πρόβλεψης του σημείου της ηχητικής πηγής.
- Όσο το δυνατό λιγότερες απώλειες πακέτων ειδικά στα πακέτα που περιέχουν τα κρίσιμα δεδομένα της ανίχνευσης της έκρηξης.
- Λήψη, αποθήκευση και επεξεργασία των δεδομένων από το Matlab.
- Γραφική απεικόνιση θέσης ηχητικής πηγής.
- Ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας των κόμβων.

Οι απαιτήσεις της εφαρμογής δημιουργούνται ως απόρροια των στόχων που έχουμε ήδη θέσει.

- Υψηλή συχνότητα δειγματοληψίας των μικροφώνων.
- Μεγάλη ακρίβεια χρόνου λήψης των δεδομένων της έκρηξης στο κάθε κόμβο.
- Συγχρονισμός έναρξης συλλογής δεδομένων των αισθητήρων.
- Μεγάλη αξιοπιστία αποστολής των πακέτων.

5.2 Ασύρματο streaming δεδομένων

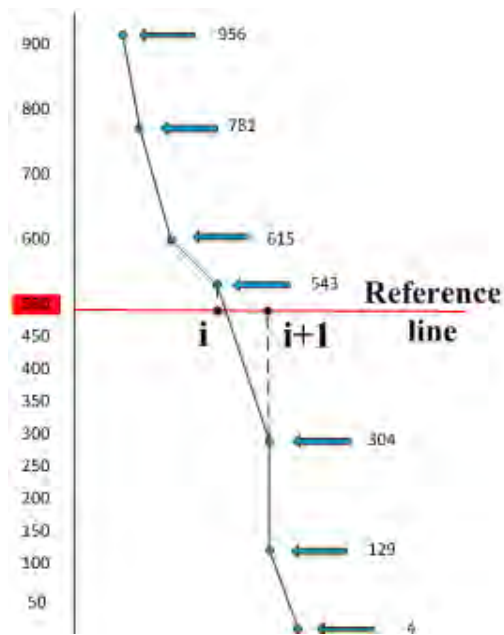
Ξεκινώντας την υλοποίηση, αρχική ιδέα ήταν, οι τρεις αισθητήρες Mica2 να παράγουν μια συνεχή ροή ακουστικών δεδομένων (stream acoustic data) η οποία θα αποστέλλεται ασύρματα στη βάση χωρίς να έχει δεχτεί καθόλου τοπική επεξεργασία από τους κόμβους. Με αυτόν τον τρόπο θα πετυχαίναμε ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας στους κόμβους αφού δε θα εκμεταλλευόμασταν καθόλου επεξεργαστική ισχύ καθώς οι αισθητήρες θα εκτελούσαν τις μοναδικές διεργασίες της συλλογής δεδομένων και της αποστολής τους. Όσον αφορά τα πακέτα αποστολής, περιέχουν ωφέλιμα ακουστικά δεδομένα μεγέθους δύο bytes



Εικόνα 5-1: Συνεχής ροή ακουστικών δεδομένων.

προκειμένου να αναπαραστήσουμε το εύρος των τιμών έντασης του μικροφώνου 0 έως 1009 και 1 byte για το νούμερο (id) του κόμβου. Με το πέρας της αποστολής των πακέτων τα δεδομένα προβάλλονται από ένα πρόγραμμα σε Java, το Oscilloscope. Έτσι βλέπουμε στην εικόνα 5.1 το πρώτο ακουστικό-φωνητικό διάγραμμα που καταγράφεται από έναν κόμβο το οποίο και χωρίζεται σε δύο χρονικές περιόδους, το διάστημα ηρεμίας και την στιγμή της έκρηξης.

Η αναγνώριση του σημείου έκρηξης γίνεται ως εξής. Μετά από την ανίχνευση μίας τιμής που έχει υπερβεί το κατώφλι του μέγιστου θορύβου το οποίο έχουμε ορίσει



Εικόνα 5-2: Μέθοδος αναγνώρισης σημείου έκρηξης.

την τιμή 950, αναζητούμε για το πρώτο δείγμα του σήματος το οποίο έχει τιμή μικρότερη από την γραμμή αναφοράς (Reference line) βλέπε εικόνα 5.2. Θεωρώντας το σημείο αυτό $i+1$ και το προηγούμενό του i μπορούμε να υπολογίσουμε θεωρώντας την καμπύλη σήματος γραμμική το σημείο όπου το σήμα τέμνει την γραμμή αναφοράς. Ως τιμή αναφοράς έχουμε ορίσει τη μέση τιμή του εύρους των τιμών του μικροφώνου το 500 και αντιστοιχεί στο σημείο ηρεμίας του μικροφώνου. Η παραπάνω επεξεργασία λαμβάνει χώρα στο υπολογιστή αφού ολοκληρωθεί η λήψη των πακέτων. Με αυτό τον τρόπο έχουμε μια realtime εφαρμογή αφού δουλεύει και επεξεργάζεται με δεδομένα που ανταποκρίνονται στο πραγματικό χρόνο. Ο συγκεκριμένος τρόπος λειτουργίας θα μπορούσε να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμος και για μετέπειτα επέκταση του συστήματος αφού πέρα από την εύρεση της τοποθεσίας της πηγής θα μπορούσε να προσδιορίσει και κάποιο πιθανό προφίλ για το είδος της πηγής. Συγκεκριμένα μέσα από διάφορους αλγόριθμους μπορούμε να αναγνωρίσουμε αν ένας συνεχής ήχος προέρχεται από κάποιο βαρύ όχημα (λεωφορείο, ερπηστριοφόρο) η πιο ελαφρύ (μηχανάκι, αμάξι) η ακόμα και ένα πεζό.

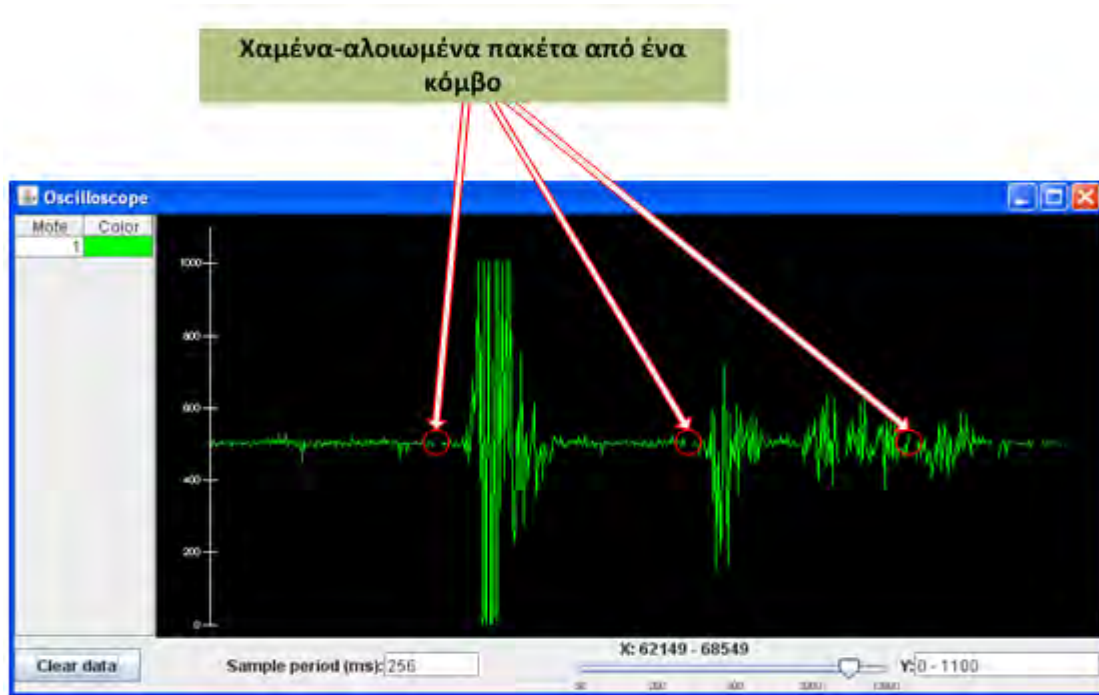
την τιμή 950, αναζητούμε για το πρώτο δείγμα του σήματος το οποίο έχει τιμή μικρότερη από την γραμμή αναφοράς (Reference line) βλέπε εικόνα 5.2. Θεωρώντας το σημείο αυτό $i+1$ και το προηγούμενό του i μπορούμε να υπολογίσουμε θεωρώντας την καμπύλη σήματος γραμμική το σημείο όπου το σήμα τέμνει την γραμμή αναφοράς. Ως τιμή αναφοράς έχουμε ορίσει τη μέση τιμή του εύρους των τιμών του μικροφώνου το 500 και αντιστοιχεί στο σημείο ηρεμίας του μικροφώνου. Η παραπάνω επεξεργασία λαμβάνει χώρα στο υπολογιστή αφού ολοκληρωθεί η λήψη των πακέτων. Με αυτό τον τρόπο έχουμε μια realtime εφαρμογή αφού δουλεύει και επεξεργάζεται με δεδομένα που ανταποκρίνονται στο πραγματικό χρόνο. Ο συγκεκριμένος τρόπος

5.3 Υψηλή συχνότητα δειγματοληψίας ακουστικών δεδομένων

Κατά την υλοποίηση της εφαρμογής μας ιδιαίτερη έμφαση δώσαμε στην υψηλή δειγματοληψία ακουστικών δεδομένων λόγω της κρισιμότητας του ήχου της έκρηξης ο οποίος είναι μικρός σε διάρκεια. Στην ανάλυση μας αυτό συνεπάγεται ότι εκείνο το χρονικό διάστημα θέλουμε όσο το δυνατόν περισσότερο δείγματα, για μεγαλύτερη ακρίβεια στην πρόβλεψη μας. Κάνοντας χρήση διεπαφών όπως Read, Readstream και Readnow που προσφέρει το TinyOS[6], ο ρυθμός δειγματοληψίας κυμαίνεται από τα 200 Hz μέχρι τα 750 Hz αφού πρόκειται για διεπαφές υψηλού επιπέδου. Προκειμένου να αυξήσουμε το ρυθμό δειγματοληψίας απαιτείται να δουλέψουμε σε χαμηλότερο επίπεδο όπου ο χρονομετρητής “timer” δεν θα τρέχει στο πλαίσιο των διεργασιών χωρίς έτσι να υπάρχει σημαντική καθυστέρηση κατά την εναλλαγή του timer με την εκτέλεση της διεργασίας. Το συγκεκριμένο μπορεί να επιτευχθεί μέσω του υποσυστήματος ADC (Analog to Digital Convert[7]). Ένας επεξεργαστής mica2 χρονισμένος στα 7.37MHz το υποσύστημα του ADC προσφέρει χρόνους της τάξης των Microseconds για την ακρίβεια 1048576 κύκλους ανά δευτερόλεπτο[8]. Με αυτόν τον τρόπο ο Hardware timer του ADC μπορεί να παράγει διακοπές με ελάχιστη περίοδο το 1 μsec. Επιπλέον στους Mica2 υλοποιώντας στο επίπεδο του ADC ο ρυθμός δειγματοληψίας μπορεί να φτάσει μέχρι τα 17.7KHz δηλαδή 17.700 δείγματα το δευτερόλεπτο[9] σύμφωνα πάντα με τις προδιαγραφές του επεξεργαστή[10] και την συχνότητα λειτουργίας του μικροφώνου η οποία φτάνει μέχρι τα 18 KHz[11]. Η συγκεκριμένη συχνότητα δειγματοληψίας είναι αρκετή αρκεί να σκεφτούμε ότι για την αναγνώριση μιας ηχητικής πηγής χρειαζόμαστε τουλάχιστον συχνότητα δειγματοληψίας 5KHz[12]. Σύμφωνα με τα προηγούμενα οι κύκλοι μηχανής είναι αυτοί που αποτελούν την μονάδα μέτρησης των χρόνων άφιξης του ηχητικού κύματος στον κάθε αισθητήρα. Δεδομένου ότι κάθε πακέτο που δημιουργείται θα σημειώνεται με το πλήθος των κύκλων μηχανής “timestamp” που έχουν τρέξει και γνωρίζοντας το χρόνο που απαιτείται για να ολοκληρωθεί ένας κύκλος μηχανής προκύπτει ο συνολικός χρόνος λειτουργίας του μικροφώνου μέχρι την σύλληψη των δεδομένων. Τέλος να επισημανθεί ότι για την ορθή χρονική διαφορά άφιξης του ακουστικού κύματος ανάμεσα στους τρεις αισθητήρες, κρίνεται απαραίτητος ο συγχρονισμός των μικροφώνων-κόμβων.

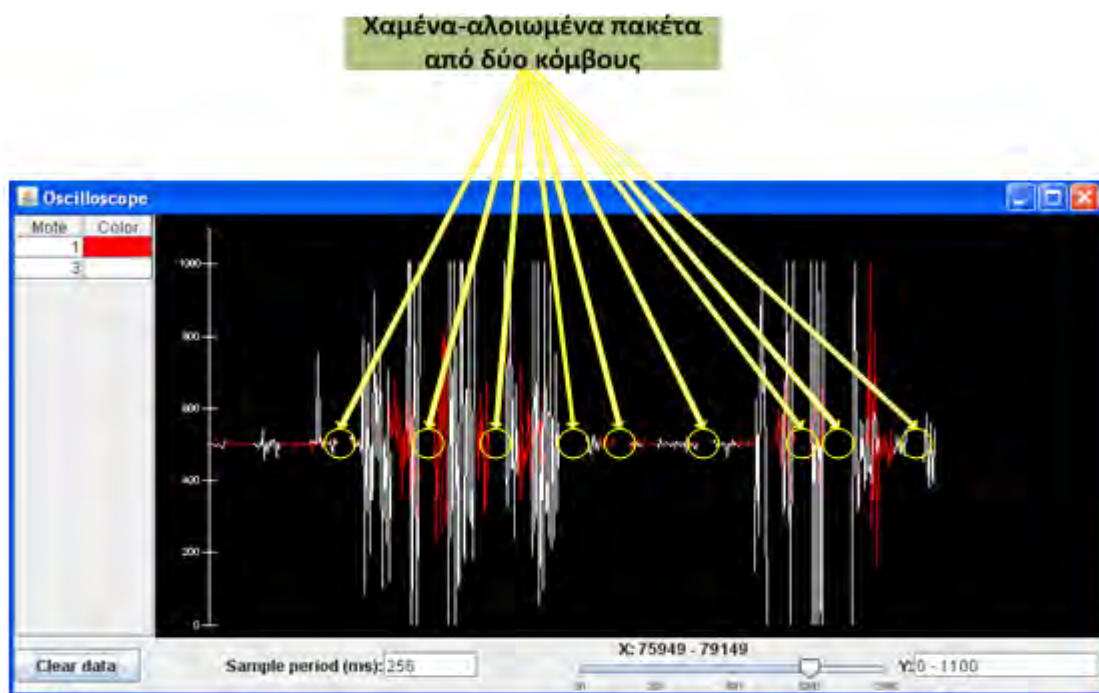
5.4 Σύγκρουση πακέτων κατά τη λήψη τους στη βάση (collision)

Με την επίτευξη υψηλής δειγματοληψίας του μικροφώνου δημιουργείται ένας τεράστιος όγκος δεδομένων. Επιπλέον δοκιμάζοντας να εξετάσουμε την αξιοπιστία της αποστολής των πακέτων στο Oscilloscope με τον νέο υψηλότερο ρυθμό δειγματοληψίας πρώτα από τον ένα αισθητήρα και ύστερα από τους υπόλοιπους προκύπτει το διάγραμμα της εικόνας 5.3. Από το διάγραμμα παρατηρούμε ορισμένες διακοπές στη συνεχή ροή δεδομένων το οποίο μπορεί να σημαίνει είτε, ότι έγινε λήψη αλλοιωμένου πακέτου ή ότι το πακέτο χάθηκε. Ο ρυθμός των συγκεκριμένων διακοπών κατά την αποστολή των δεδομένων είναι πάρα πολύ μικρός σε σημείο που δεν χρειάζεται καν να το λάβουμε υπόψη.

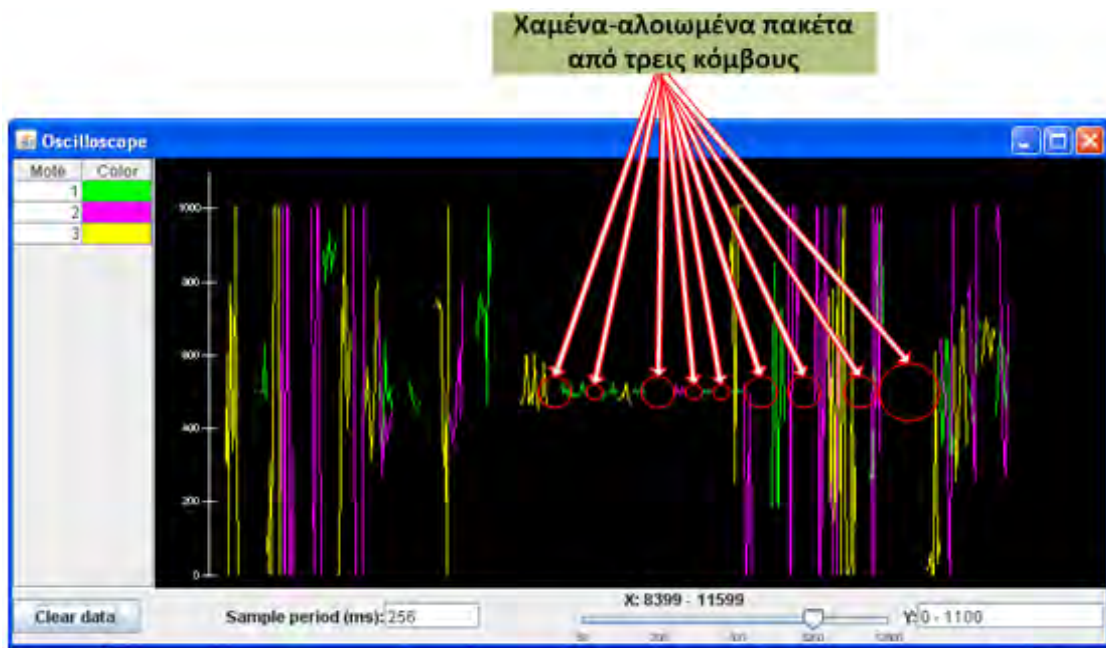


Εικόνα 5-3: Συλλογή δεδομένων από έναν κόμβο.

Καθώς εισάγουμε επιπλέον το δεύτερο κόμβο συλλογής δεδομένων παρατηρούμε όλο και αυξανόμενα χαμένα πακέτα εικόνα 5.4. Κατά την τελευταία προσθήκη του τρίτου κόμβου το φαινόμενο των collision και η απώλεια των πακέτων είναι τόσο μεγάλη που δεν μπορεί να γίνει ο εντοπισμός της θέσης της ηχητικής πηγής λόγω των ελλείπων δεδομένων την κρίσιμη στιγμή της έκρηξης εικόνα 5.5. Συνεπώς διαπιστώνουμε ότι στην ταυτόχρονη λήψη όπου δύο η παραπάνω αισθητήρες αποστέλλουν την ίδια στιγμή προς την βάση προκαλείται σύγκρουση των πακέτων (collision) το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα την απώλεια τους.



Εικόνα 5-4: Συλλογή δεδομένων από δύο κόμβους.



Εικόνα 5-5: Συλλογή δεδομένων από τρεις κόμβους.

Η επιβεβαίωση των παραπάνω αποτελεσμάτων έρχεται μέσα από ένα πείραμα [13] του πανεπιστημίου Berkeley της California “Wireless sensor seismic response monitoring system implemented on top of NEESgrid” το οποίο μας δείχνει τόσο αριθμητικά την αύξηση των χαμένων πακέτων κατά την εισαγωγή ενός κόμβου όσο και τους λόγους για τους οποίους συμβαίνει αυτό. Το πείραμα εκτυλίσσεται σε

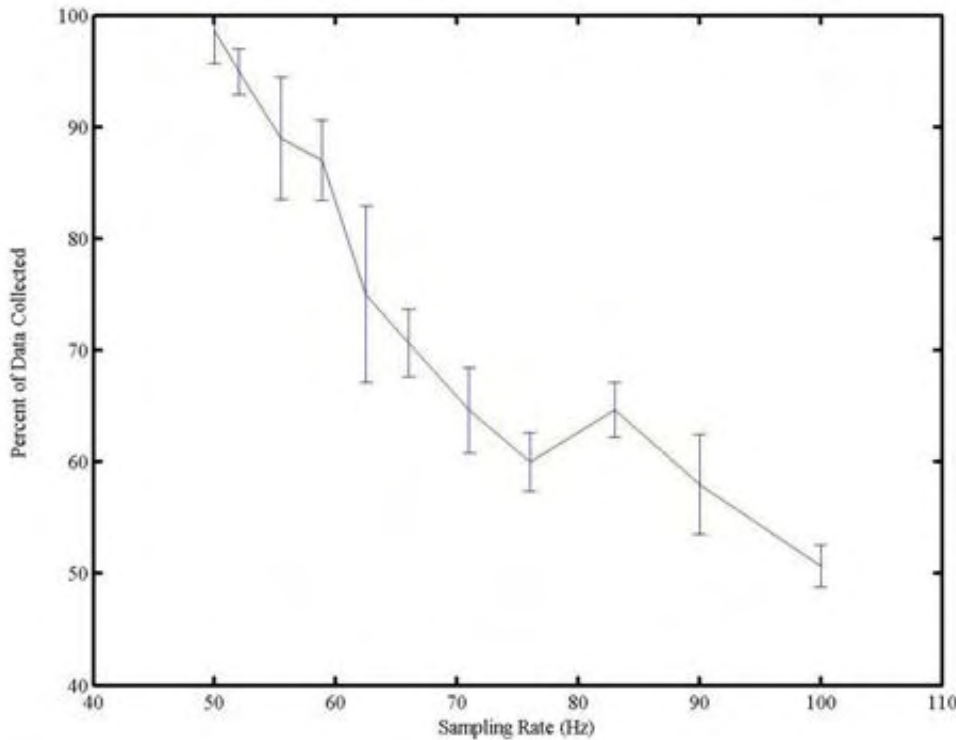


Εικόνα 5-6: Προσομοιωτής πειράματος Berkeley

μία κολώνα γέφυρας από ενισχυμένο σκυρόδεμα που βρίσκεται σε ένα προσομοιωτή που δημιουργεί τεχνητούς σεισμούς εικόνα 5.6. Κατά την διάρκεια του σεισμού τα επιταχυνσιόμετρα των αισθητήρων συλλέγουν δεδομένα για την καταπόνηση της κατασκευής που έχει υποστεί από τον σεισμό. Στο πείραμα εξετάστηκαν μια σειρά δοκιμών ραδιοφωνικών μεταδόσεων από δύο και τρεις κόμβους της ίδιας πλατφόρμας των MICA2 προκειμένου να εξετάσουμε την απώλεια των πακέτων. Ο ρυθμός απώλειας των πακέτων διέφεραν σημαντικά ανάλογα με την εμβέλεια μετάδοσης, το ποσοστό της δειγματοληψίας, και τον αριθμό των αισθητήρων που εκπέμπουν ταυτόχρονα. Ο αριθμός των χαμένων πακέτων αυξήθηκε σε μεγαλύτερη εμβέλεια μετάδοσης, ωστόσο, σε ακτίνα μέχρι 76 μέτρα, η απόσταση δεν συμβάλλει σημαντικά στην απώλεια πακέτων.

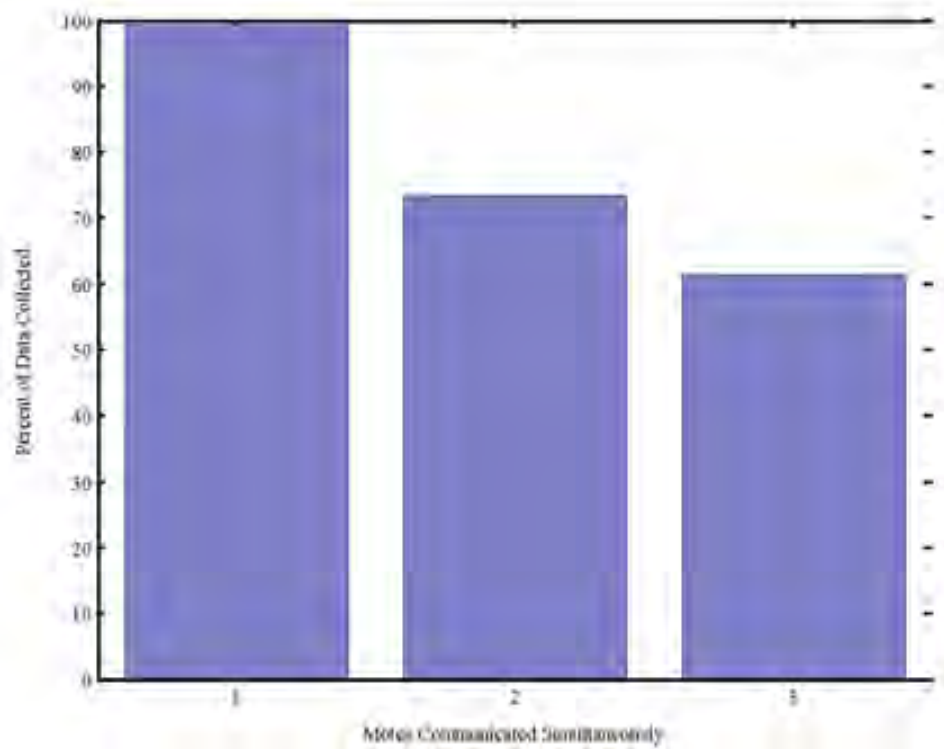
Αντιθέτως ο αριθμός των χαμένων πακέτων αυξήθηκε όταν είχαμε υψηλό ρυθμό δειγματοληψίας. Συγκεκριμένα το ποσοστό της λήψης των πακέτων ήταν σχεδόν 100% με δειγματοληψία λιγότερο από 50 Hz, αλλά μειώθηκε σε 50% στα 100 Hz εικόνα 5.7. Παρ’ όλο που οι αισθητήρες είναι ικανοί να εφαρμόζουν υψηλούς εσωτερικούς ρυθμούς δειγματοληψίας, η αξιοπιστία της μετάδοσης των δεδομένων μειώνει την ικανότητα να χρησιμοποιεί αυτούς τους υψηλούς ρυθμούς για να παρέχει

δεδομένα συνεχούς ροής. Είναι επίσης πιθανό η αναποτελεσματικότητα της συλλογής δεδομένων και κατ' επέκταση η απώλεια των πακέτων να οφείλεται στα δομικά στοιχεία του ίδιου του λογισμικού του TinyOS. Τέλος ο ρυθμός απώλειας πακέτων παρατηρήθηκε έντονα ότι αυξάνεται, όσο περισσότεροι κόμβοι επικοινωνούν ταυτόχρονα με την βάση. Τόσο το υλικό (hardware) όσο και οι TinyOS εφαρμογές έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να επιτρέπουν ταυτόχρονη επικοινωνία, αυτό δεν ισχύει αφού η πραγματική απόδοση δείχνει σημαντική αύξηση στην απώλεια πακέτων, με την εισαγωγή πολλαπλών κόμβων εικόνα 5.8.



Εικόνα 5-7: Μείωση του ποσοστού της λήψης των πακέτων.

Για την ακρίβεια έχοντας δύο διαφορετικούς κόμβους οι οποίοι αποστέλλουν ταυτόχρονα δεδομένα, η απώλεια των πακέτων ήταν περίπου στο 25% ενώ στους τρεις κόμβους υπό τις ίδιες συνθήκες η απώλεια ανέρχεται περίπου στο 40%. Για τις ανάγκες των δοκιμών του συγκεκριμένου πειράματος, οι μπαταρίες μεγέθους AA έπρεπε να αλλάζονται αφού χρησιμοποιώντας τις ίδιες περισσότερο από δύο μέρες θα είχε ως αποτέλεσμα την μείωση της ενέργειας της πηγής τάσης προκαλώντας προβλήματα στην ραδιοφωνική μετάδοση και στην απώλεια των πακέτων. Συνεπώς ο συνδυασμός της ταυτόχρονης μετάδοσης από τρεις αισθητήρες προς την βάση του συστήματος μαζί με την συλλογή των δεδομένων υψηλής δειγματοληψίας έχουν σαν αποτέλεσμα την πλήρη αναποτελεσματικότητα του συστήματος.



Εικόνα 5-8: Αύξηση στην απώλεια των πακέτων κατά την εισαγωγή κόμβων.

5.5 Τοπική επεξεργασία στους κόμβους

Η λύση στα προβλήματα που αναλύσαμε στις προηγούμενες υποενότητες δίνεται μέσα από την τοπική επεξεργασία που μπορεί να πραγματοποιηθεί στον εκάστοτε κόμβο. Κατά την επεξεργασία στους αισθητήρες γίνεται εντοπισμός, αποθήκευση και αποστολή μόνο των τιμών που λαμβάνουν τα μικρόφωνα των αισθητήρων την στιγμή της έκρηξης. Έτσι καταφέρνουμε να εξαλείψουμε τον τεράστιο όγκο των ακουστικών δεδομένων αφού σε κάθε πακέτο που αποστέλλουμε αντιστοιχεί και σε μία έκρηξη. Παράλληλα εκμεταλλευόμαστε πλήρως τον υψηλότερο ρυθμό δειγματοληψίας που μας δίνει το υλικό των Mica2 αφού δεν εξαρτάται πλέον από τον μέγιστο ρυθμό αποστολής που προσφέρει το υποσύστημα επικοινωνίας. Απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί ο συγχρονισμός των κόμβων προκειμένου να έχουμε κοινή χρονική αφετηρία και για τους τρεις αισθητήρες. Με αυτόν τρόπο γίνεται η καταγραφή της χρονικής διαφοράς της άφιξης του ακουστικού σήματος σε κάθε ένα από τους τρεις αισθητήρες.

5.5.1 Συγχρονισμός κόμβων

Για τον συγχρονισμό των αισθητήρων μας ενδιαφέρει να έχουμε κοινή χρονική στιγμή έναρξης των μικροφώνων. Για αυτό τον λόγο μόλις η βάση ανοίξει στέλνει ένα μήνυμα ενεργοποίησης στα μικρόφωνα των αισθητήρων βλέπε κώδικα

```

75 event message_t* Receive.receive(message_t* bufPtr, void* payload, uint8_t len)
76 {
77     v = (S_Data_t*)payload;
78     if(v->S_msg==1)
79     {
80         call Leds.led2Toggle();
81         S_TIME =call Counter.get(); //start time of collection acoustic data
82         call AdcResource.request(); //Request of Adc channel
83     }
84     return bufPtr;
85 }

```

Εικόνα 5-9: Λήψη μηνύματος ενεργοποίησης μικροφώνων.

Εικόνας 5.10. Αφού γίνει λήψη των πακέτων από τους κόμβους εικόνα 5.9 ξεκινάει η ταυτόχρονη καταγραφή των δεδομένων με την κλήση της συνάρτησης `AdcResource` για δέσμευση του καναλιού.

```

45 task void S_Message()
46 {
47     atomic{
48         v = (S_Data_t*)call Packet.getPayload(&S_packet, sizeof(S_Data_t));
49         v->S_msg=1;
50         if (call RadioSend.send(AM_BROADCAST_ADDR, &S_packet, sizeof(S_Data_t)) == SUCCESS )
51         {
52             locked = TRUE;
53         }
54     }
55 }
56
57
58 event void RadioSend.sendDone(message_t* bufPtr, error_t error)
59 {
60     call Leds.led2Toggle();
61     b=0;
62     if (&S_packet == bufPtr)
63     {
64         locked = FALSE;
65     }
66 }

```

Εικόνα 5-10: Κώδικας μηνύματος ενεργοποίησης μικροφώνων.

5.5.2 Επεξεργασία τιμών και αποστολή τους στην βάση

Στο στάδιο της επεξεργασίας τα δεδομένα διαβάζονται στους κόμβους ασύγχρονα από την `Atm128AdcSingle` μέσω της συνάρτησης `detect()` περνώντας παραμέτρους το μέγεθος των δεδομένων και την ακρίβεια τους βλέπε εικόνα 5.11. Πιο συγκεκριμένα όσο μεγαλύτερη ακρίβεια έχουμε τόσο με πιο χαμηλό ρυθμό δειγματοληπούμε , έτσι έχουμε επιλέξει να μην έχουμε ακρίβεια στα δεδομένα μας κρατώντας στο υψηλότερο επίπεδο τον ρυθμό δειγματοληψίας.

```

118 async event void Atm128AdcSingle.dataReady(uint16_t data, bool precise)
119 {
120     atomic
121     {
122         if(granted)
123         {
124             if(data>=bam)
125             {
126                 bam=data; // check the data if it is over the threshod tha we have define
127             }
128             if(data>=thres && flag==0)
129             {
130                 flag=1;
131                 detect();
132             }
133             else if(flag==1 && data>=ref)
134             {
135                 tmp1=data; // Highest Value
136                 localDetectTime_H = ((call Counter.get() - S_TIME)); //Real time for capturing the highest value
137                 detect();
138             }
139             else if(flag==1 && data<ref)
140             {
141
142                 tmp2=data; // lowest Value
143                 localDetectTime_L = ((call Counter.get() - S_TIME)); //Real time for capturing the lowest value
144                 flag=0;
145                 post stopMicrophone();
146                 //Microphone is still working but does not capture values, only make release in ADC channel
147             }
148             else
149             {
150                 detect();
151                 //call Atm128Calibrate.cyclesPerJiffy() ;
152             }
153         }
154     }
155 }

```

Εικόνα 5-11: Κώδικας επεξεργασίας ακουστικών δεδομένων.

Κατά την επεξεργασία κρατάμε την πρώτη τιμή που βρίσκεται πάνω από την γραμμή αναφοράς μετά το κατώφλι του μέγιστου θορύβου και την αντίστοιχη τιμή που βρίσκεται κάτω από την γραμμή αναφοράς όπως έχουμε αναφέρει στην 5.2 παράγραφο καθώς και τους χρόνους που έγιναν οι καταγραφές των δύο αυτών τιμών. Εν συνεχεία αποθηκεύουμε τις τιμές αυτές στην δομή του πακέτου μαζί με αναγνωριστικό (id) του κόμβου και τις αποστέλλουμε στην βάση εικόνα 5.12.

```

182 task void send_Message()
183 {
184     atomic
185     {
186         send_data_msg_t* rcm = (send_data_msg_t*)call Packet.getPayload(&packet, sizeof(send_data_msg_t));
187         cnt++;
188
189         rcm->Time_H=localDetectTime_H;
190         rcm->Time_L=localDetectTime_L;
191
192         rcm->id = TOS_NODE_ID;
193         rcm->counter=cnt;
194
195         rcm->boom=bam;
196         rcm->value_H=tmp1;
197         rcm->value_L=tmp2;
198
199         if (call AMSend.send(AM_BROADCAST_ADDR, &packet, sizeof(send_data_msg_t)) == SUCCESS )
200         {
201             locked = TRUE;
202         }
203     }
204 }
205
206 event void AMSend.sendDone(message_t* bufPtr, error_t error)
207 {
208     if (&packet == bufPtr)
209     {
210         locked = FALSE;
211     }
212     call Leds.led1Toggle();
213 }
214

```

Εικόνα 5-12: Κώδικας αποθήκευσης δεδομένων στην δομή του πακέτου.

Η αποστολή των μηνυμάτων γίνεται σειριακά προς την βάση ανάλογα με το id του κόμβου. Οι αισθητήρες στέλνουν διαδοχικά, με μεταξύ τους καθυστέρηση 200 millisecond προκειμένου να αποφύγουμε το collision και μία ενδεχόμενη απώλεια πακέτου εικόνα 5.13.

```

157 task void stopMicrophone()
158 {
159     /* Release the ADC and hand*/
160     atomic granted = FALSE; // Note that we're no longer the ADC owner
161     call AdcResource.release();
162     /* Send in different times depends on ID of sensor node, to avoid the collision*/
163     if(TOS_NODE_ID==1)
164     {
165         call MilliTimer.startOneShot(100);
166     }
167     else if(TOS_NODE_ID==2)
168     {
169         call MilliTimer.startOneShot(300);
170     }
171     else if(TOS_NODE_ID==3)
172     {
173         call MilliTimer.startOneShot(500);
174     }
175 }
176
177 event void MilliTimer.fired()
178 {
179     post send_Message();
180 }

```

Εικόνα 5-13: Εισαγωγή καθυστέρησης για την αποστολή δεδομένων.

Τέλος η βάση λαμβάνει τα πακέτα και στην συνέχεια τα προωθεί στην σειριακή προκειμένου να επεξεργαστούν στο Matlab. Επιπλέον περιμένει να λάβει και τα τρία πακέτα, ένα από κάθε κόμβο για να αποστείλει μήνυμα για τον εκ' νέου συγχρονισμό των αισθητήρων εικόνα 5.14. Με αυτόν τον τρόπο έχει ολοκληρωθεί η επεξεργασία και η αποστολή των δεδομένων έχοντας μηδενίσει τον τεράστιο όγκο δεδομένων που είχαμε στην αρχή και λύσει το πρόβλημα της απώλειας των πακέτων διατηρώντας τον υψηλό ρυθμό δειγματοληψίας των αισθητήρων.

```

74  event message_t* Receive.receive(message_t* bufPtr, void* payload, uint8_t len)
75  {
76      rcm = (receive_data_msg_t*)payload;
77      call Leds.ledToggle();
78
79      if (call AMSend.send(AM_BROADCAST_ADDR, bufPtr, sizeof(receive_data_msg_t)) == SUCCESS )
80      {
81          locked = TRUE;
82      }
83      b++;
84      if(b==3)
85      {
86          call MilliTTimer.startOneShot(500); // new sychronization of sensor nodes
87      }
88
89
90      return bufPtr;
91  }
92
93
94  event void AMSend.sendDone(message_t* bufPtr, error_t error)
95  {
96      if (&packet == bufPtr)
97      {
98          locked = FALSE;
99      }
100 }

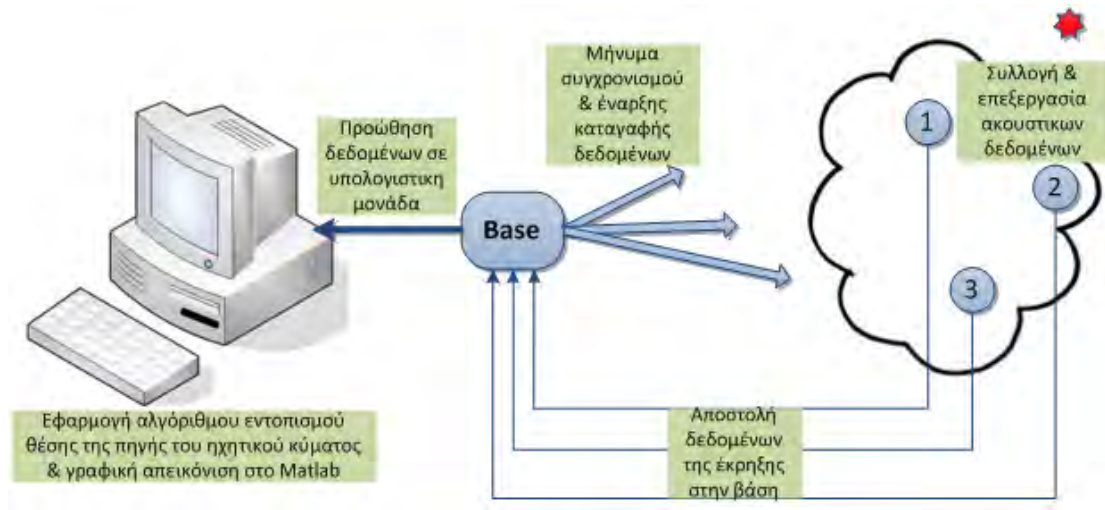
```

Εικόνα 5-14: Λήψη όλων των πακέτων από τους κόμβους.

6 Αρχιτεκτονική συστήματος

6.1 Αρχιτεκτονική του συστήματος

Έχοντας ξεπεράσει όλα τα προβλήματα που έχουμε αναφέρει στο προηγούμενο κεφάλαιο, θα προχωρήσουμε με την παρουσίαση της αρχιτεκτονικής του συστήματος καθώς επίσης και την εσωτερική αρχιτεκτονική των κόμβων και της βάσης. Η αρχιτεκτονική του συστήματος θα έχει την μορφή της εικόνας 6.1.



Εικόνα 6-1: Αρχιτεκτονική του συστήματος

Το σύστημα χωρίζεται στα εξής επιμέρους στάδια:

- Με την ενεργοποίηση της βάσης γίνεται αποστολή μηνύματος προς το δίκτυο αισθητήρων για ταυτόχρονη έναρξη καταγραφής δεδομένων.
- Συλλογή και τοπική επεξεργασία των ακουστικών δεδομένων από τους κόμβους προκειμένου να αποσταλούν μόνο τα δεδομένα της έκρηξης στη βάση από τον εκάστοτε αισθητήρα.
- Η βάση αναλαμβάνει την προώθηση των δεδομένων της έκρηξης στη USBθύρα της υπολογιστικής μονάδας.
- Τα δεδομένα διαβάζονται από το πρόγραμμα του Matlab και εφαρμόζεται ο αλγόριθμος εντοπισμού της θέσης της πηγής του ηχητικού κύματος.
- Τέλος τα αποτελέσματα της πρόβλεψης απεικονίζονται γραφικά μέσω του Matlab.

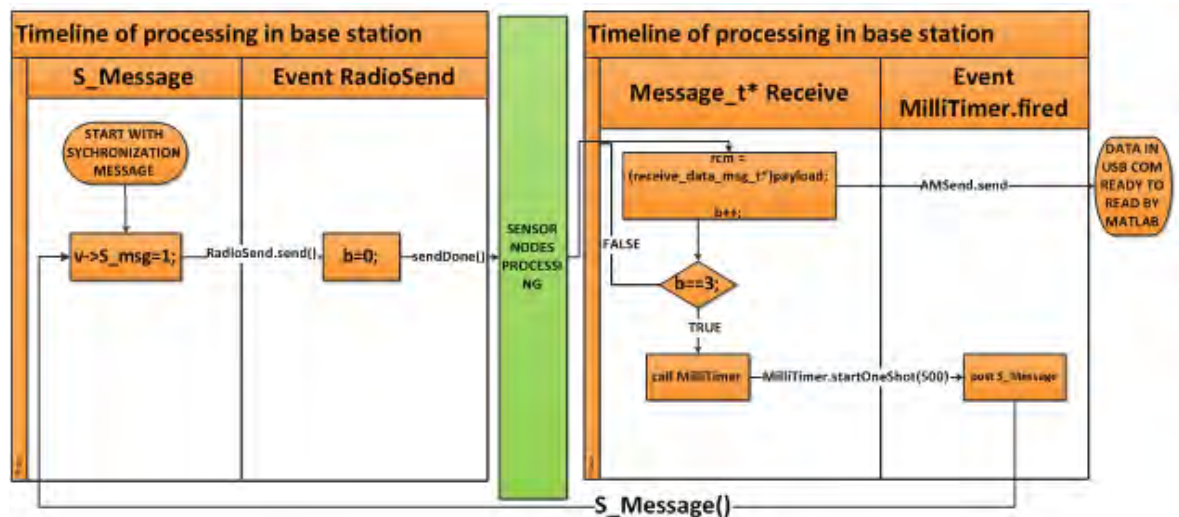
6.2 Αρχιτεκτονική της βάσης συγκέντρωσης δεδομένων

Η αρχιτεκτονική της βάσης συγκέντρωσης δεδομένων χωρίζεται σε δύο στάδια, πριν και μετά την επεξεργασία των δεδομένων στους κόμβους βλέπε εικόνα 6.2. Στο πρώτο λαμβάνουν χώρα τα εξής γεγονότα:

- Αποστολή μηνύματος συγχρονισμού με τιμή 1 προς τους κόμβους λειτουργώντας έτσι σαν αναγνωριστικό για την έναρξη της καταγραφής.
- Αρχικοποίηση της διαδικασίας μηδενίζοντας την μεταβλητή b.

Κατά το δεύτερο στάδιο έχουμε:

- Λήψη των πακέτων με τα δεδομένα της έκρηξης από τους αισθητήρες.
- Η βάση συγκέντρωσης δεδομένων προωθεί τα πακέτα στον υπολογιστή.
- Εφόσον έχουν ληφθεί τα πακέτα και από τους τρεις κόμβους, γίνεται εκκίνηση της διαδικασίας για τον εντοπισμό νέας έκρηξης.



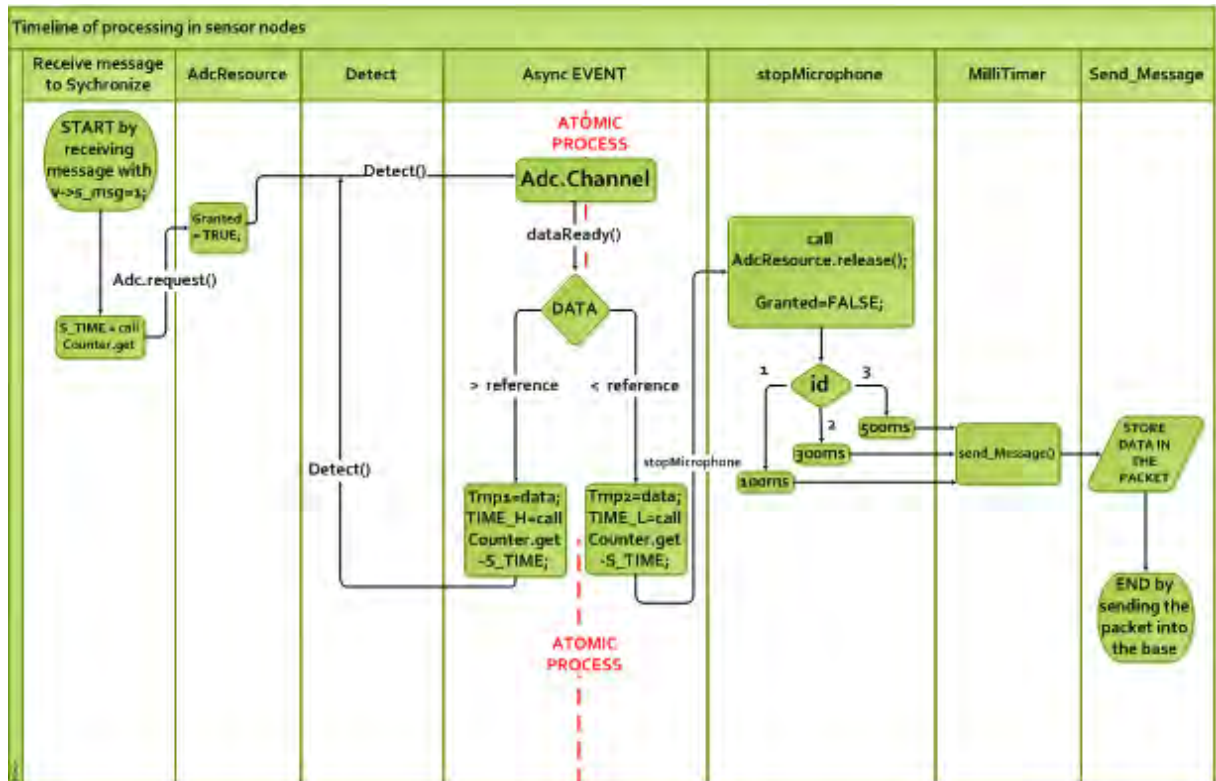
Εικόνα 6-2: Αρχιτεκτονική αισθητήρων πύλης - βάσης.

6.3 Αρχιτεκτονική κόμβων συλλογής του ακουστικών δεδομένων

Προτού προχωρήσουμε στην παρουσίαση της αρχιτεκτονικής των κόμβων, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η χρονική τοποθέτηση της επεξεργασίας που υλοποιούν οι κόμβοι παρεμβάλλεται των σταδίων που αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο. Αναλυτικά έχουμε:

- Λήψη αναγνωριστικού πακέτου για το άνοιγμα των μικροφώνων.
- Αποθήκευση του πλήθους των κύκλων που έχουν τρέξει από την στιγμή της λειτουργίας του κόμβου.
- Αίτηση δέσμευσης του Adc καναλιού μέσω της μεταβλητής Granted.
- Καταγραφή - αποθήκευση στο κανάλι των ηχητικών σημάτων που επικρατούν στο περιβάλλον μέσω της συνάρτησης detect().
- Μόλις τα δεδομένα είναι έτοιμα τα επεξεργαζόμαστε προκειμένου να εντοπίσουμε τις τιμές που χαρακτηρίζουν την έκρηξη.
- Εν' συνεχεία υπολογίζουμε τους κύκλους μηχανής που μεσολάβησαν από την έναρξη των μικροφώνων μέχρι την χρονική στιγμή της έκρηξης.
- Αποδεσμεύουμε το κανάλι.

- Ανάλογα με το id του κόμβου επιλέγεται ο χρόνος κλήσης της συνάρτησης αποστολής του μηνύματος.
- Αφού αποθηκευτούν τα δεδομένα στη δομή του πακέτου, το αποστέλλουμε.



Εικόνα 6-3: Αρχιτεκτονική κόμβων.

6.4 Επεξεργασία δεδομένων και απεικόνιση τους στο Matlab

Έχοντας καταλήξει στην τελική αρχιτεκτονική του συστήματος, σειρά έχει η επεξεργασία των δεδομένων στο Matlab και η γραφική απεικόνιση της πρόβλεψης της θέσης της ηχητικής πηγής. Ο κώδικας που τρέχουμε στην Matlab αποτελείται από δύο βασικά μέρη. Το πρώτο μέρος έχει να κάνει με την παραλαβή του πακέτου μέσω της RS-232 και την αποκωδικοποίηση των μηνυμάτων (parse) από τους τρεις αισθητήρες όπου περιέχονται τα δεδομένα της έκρηξης. Στο δεύτερο μέρος βάσει των δεδομένων που έχουμε λάβει υλοποιούμε τον αλγόριθμο εντοπισμού θέσης της ηχητικής πηγής που αναλύσαμε σε προηγούμενη ενότητα και απεικονίζουμε την πρόβλεψη μας.

6.4.1 Αποκωδικοποίηση πακέτων στη Matlab

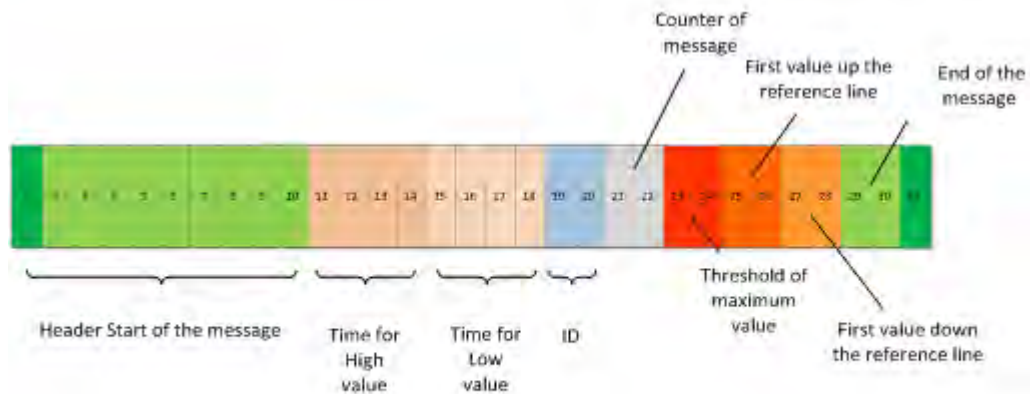
Ξεκινώντας με την δομή του μηνύματος, η βάση (gateway) σε κάθε έκρηξη παραλαμβάνει τρία όμοια μηνύματα, συνολικού μεγέθους 31 byte το κάθε ένα από τα οποία και προωθεί στην σειριακή θύρα. Κάθε πακέτο χρησιμοποιεί κάποια byte στην αρχή και στο τέλος του πακέτου που δίνουν πληροφορίες στο παραλήπτη σχετικά με την διεύθυνση του αποστολέα, το μέγεθος και τον τύπο των χρησίων δεδομένων που μεταφέρουν, την τάση της τροφοδοσίας (μπαταρίες), τον ρυθμό των biteλέγχου (check bit rate), το

πλήθος των διαδρομών που έκανε το μήνυμα (για Multihop δίκτυα), το αναγνωριστικό ομάδας που ανήκουν οι αισθητήρες και άλλες πληροφορίες εικόνα 6.4.



Εικόνα 6-4: Γενική δομή πακέτων αισθητήρων.

Όσον αφορά το πακέτο που αποστέλλει ο κάθε αισθητήρας έχει την δομή της εικόνας 6.5. Συγκεκριμένα τα χρήσιμα bytes που φέρει βρίσκονται στις θέσεις 11 έως 28 τα οποία αποθηκεύονται σύμφωνα με την σειρά που τα έχουμε ορίσει στο αρχείο header του αποστολέα εικόνα. Σύμφωνα με τον κώδικα της εικόνας 6.6 τα δεδομένα διαβάζονται μέσω της συνάρτησης serial στο Matlab περνώντας στις παραμέτρους το νούμερο της θύρας, το ρυθμό δειγματοληψίας της θύρας και τον μέγιστο χρόνο αναμονής για την λήψη των δεδομένων. Κατόπιν ελέγχουμε την ορθότητα του πακέτου αφού το byte στην θέση 1 και 31 περιέχουν τον ίδιο αριθμό οριοθετώντας την αρχή και το τέλος του πακέτου αναγνωρίζοντας έτσι ότι δεν πρόκειται για κάποιο αλλοιωμένο πακέτο. Τέλος σειρά έχει ο μετασχηματισμός και η αποθήκευση των δεδομένων από bytes σε δεκαδικές τιμές προκειμένου να χρησιμοποιηθούν από τον αλγόριθμο εντοπισμού θέσης της ηχητικής πηγής. Ανάλογα με το αναγνωριστικό που διαβάζουμε στη θύρα, αποθηκεύουμε και στην αντίστοιχη θέση των πινάκων τις τιμές και τους χρόνους αφίξεις των δεδομένων.



Εικόνα 6-5: Δομή πακέτου στο σύστημα μας.

```

1 %Δημιουργία και ρυθμίσεις ιδιοτήτων αντικειμένου serial για την σειριακή επικοινωνία
2 %s=serial('COM2','baudrate',57600,'databits',8,'stopbit',1,'inputbufferize',163830,'timeout',inf);
3 s = serial('COM9','BaudRate',57600,'Timeout',40);
4 s.InputBufferSize = 31;
5 flag=0;
6 b=0;p=1;j=1;c=0;d=5;g=0;
7 DATA=zeros(3,3);
8 TIME=zeros(3,2);
9 valid_packet = zeros(31,1);
10
11 global Size;
12 Size=18;
13
14 fopen(s);
15
16 while b<36;
17
18     out = fread(s,[1,31]);
19     if(out(1)==126 && out(2)==69 && out(31)==126)
20         disp('CORRECT PACKET');
21         j=1;
22         if(out(20)==1)
23             for n=23:2:28;
24                 DATA(j,1)=256*out(n) + out(n+1);
25                 j=j+1;
26             end
27             for n=11:4:18;
28                 TIME(1,p)=256*256*256*out(n) + 256*256*out(n+1) + 256*out(n+2) + out(n+3);
29                 p=p+1;
30             end
31         elseif(out(20)==2)
32             for n=23:2:28;
33                 DATA(j,2)=256*out(n) + out(n+1);
34                 j=j+1;
35             end
36             for n=11:4:18;
37                 TIME(2,p)=256*256*256*out(n) + 256*256*out(n+1) + 256*out(n+2) + out(n+3);
38                 p=p+1;
39             end
40         elseif(out(20)==3)
41             for n=23:2:28;
42                 DATA(j,3)=256*out(n) + out(n+1);
43                 j=j+1;
44             end
45             for n=11:4:18;
46                 TIME(3,p)=256*256*256*out(n) + 256*256*out(n+1) + 256*out(n+2) + out(n+3);
47                 p=p+1;
48             end
49         end

```

Εικόνα 6-6: Κώδικας ανάγνωσης δεδομένων από το Matlab.

6.4.2 Υλοποίηση αλγορίθμου στη Matlab

Έχοντας ολοκληρωθεί η ανάγνωση των δεδομένων από το Matlab καλείται η συνάρτηση source με παραμέτρους την μεταξύ απόσταση των αισθητήρων που έχει οριστεί στα 5 μέτρα, τις τιμές έντασης του ηχητικού κύματος της έκρηξης και τους αντίστοιχους χρόνους σύλληψης μόνο της υψηλής τιμής έντασης. Από τον κώδικα της εικόνας 6.7 υπολογίζουμε πρώτα τις συντεταγμένες των θέσεων των αισθητήρων S2 και S3 σε σχέση με τον S1 που είναι το σημείο (0,0) και τους απεικονίζουμε. Ξεκινάμε με τους υπολογισμούς της ευθείας που ενώνει τους κόμβους S1 και S2. Αφού

υπολογίσουμε το μέσο της ευθείας και την κλίση της, δημιουργούμε μια νέα γωνία με κορυφή στο μέσο της πλευράς $S1,S2$. Η κλίση της υπολογίζεται μέσω της συνάρτησης `angle` προκύπτοντας έτσι η γωνία θ_1 η οποία η μία της πλευρά είναι η μεσοκάθετος της $S1,S2$ και η άλλη είναι η ευθεία προσέγγισης f_{12} του σημείου της έκρηξης, ομοίως κάνουμε και για το ζευγάρι $S2,S3$. Η τομή των

```

1 %Η συνάρτηση source δέχεται ως είσοδο τα έξι δεδομένα, τις δύο τιμες για κάθε αισθητήρα,
2 %την απόσταση d που έχουμε θέσει στα 5 μέτρα μεταξύ τους καθώς και τους χρόνους
3 %άφιξης του ηχητικού σήματος σε κάθε ένα κόμβο .
4 function source(d,data1u,data1d,data2u,data2d,data3u,data3d,T1,T2,T3)
5
6 %Υπολογίζονται οι συντεταγμένες των θέσεων των αισθητήρων s2 και s3 αφού
7 %το s1 βρίσκεται στο (0,0).
8 y2=d/2;
9 y3=d;
10 a1=[0 0];
11 a2=[sqrt(d^2-y2^2) -y2];
12 a3=[-sqrt(d^2-y3^2) -y3];
13
14 %Εκτυπώνονται στην οθόνη οι τρεις αισθητήρες στην πραγματική τους θέση.
15
16 plot(0,0,'ro')
17 hold on
18 plot(a2(1),a2(2),'go')
19 hold on
20 plot(a3(1),a3(2),'bo')
21
22 %Υπολογίζεται η κλίση της ευθείας που ενώνει τους αισθητήρες s1,s2,
23 %και κατόπιν το μέσο αυτής της ευθείας. Τέλος υπολογίζουμε την ευθεία
24 %προσέγγισης προσθέτοντας την προηγούμενη κλίση της ευθείας πάνω
25 %στη μεσοκάθετο της ευθείας s1,s2 η οποία και προσεγγίζει την θέση της πηγής.
26
27 f12=abs((a1(2)-a2(2))/(a1(1)-a2(1)));
28 a12_mid=[sqrt((d/2)^2-(d/4)^2),-d/4];
29 f12_mid=tan(pi/2-atan(f12))+angle(data1u,data1d,data2u,data2d,d,T1,T2));
30
31 %Υπολογίζεται η κλίση της ευθείας που ενώνει τους αισθητήρες s2,s3,
32 %και κατόπιν το μέσο αυτής της ευθείας. Τέλος υπολογίζουμε την ευθεία
33 %προσέγγισης προσθέτοντας την προηγούμενη κλίση της ευθείας πάνω
34 %στη μεσοκάθετο της ευθείας s2,s3 η οποία και προσεγγίζει την θέση της πηγής.
35
36 f23=(a3(2)-a2(2))/(a3(1)-a2(1));
37 a23_mid=[sqrt((d/2)^2-(d/4)^2) -3*d/4];
38 f23_mid=tan(pi/2-angle(data2u,data2d,data3u,data3d,d,T2,T3)+atan(f23));
39
40 %Έχοντας βρεί την εξίσωση των δύο από των τριων ζητούμενων ευθειών που προσεγγί-
41 %ζουν την θέση της ηχητικής πηγής, το σημείο τομής τους το οποίο και αποτελεί το πρώτο
42 %για την δημιουργία του τριγώνου πρόβλεψης βρίσκεται από την λύση του γραμμικού συστήματος.
43 A12_23=[-f12_mid 1;-f23_mid 1];
44 B12_23=[a12_mid(2)-f12_mid*a12_mid(1);a23_mid(2)-f23_mid*a23_mid(1)];
45 X12_23=A12_23\B12_23;
46
47 %Απαραίτητη προϋπόθεση για την εύρεση της τρίτης ευθείας αποτελεί η συσχέτιση της
48 %μεσοκάθετου της s1,s3 πλευρας με το προηγούμενο σημείο. Δηλαδή έχουμε την περίπτωση
49 %οπου η ηχητική πηγή μπορεί να είναι δεξιά του y-άξονα άρα tan(pi-angle(s1,s3,d)) και την

```

Εικόνα 6-7: Κώδικας αλγόριθμου εντοπισμού ηχητικής πηγής.

ευθειών (f_{12},f_{23}) αποτελεί το πρώτο σημείο του τριγώνου πρόβλεψης X_1 . Απαραίτητη προϋπόθεση για την εύρεση της τρίτης ευθείας προσέγγισης από την οποία θα σχηματιστεί το τρίγωνο πρόβλεψης είναι η συσχέτιση της μεσοκάθετου της πλευράς $S1,S3$ με το σημείο X_1 που υπολογίσαμε προηγουμένως βλέπε τον κώδικα της εικόνας 6.8. Πιο αναλυτικά η ηχητική

πηγή μπορεί να βρίσκεται είτε δεξιά είτε αριστερά του y άξονα, προκειμένου να το διακρίνουμε, χρησιμοποιούμε την x -συντεταγμένη του σημείου $X1$. Τελειώνοντας την συνάρτηση source λύνουμε τα δύο γραμμικά συστήματα από τα οποία θα προκύψουν τα σημεία τομής $X2$ και $X3$ των ευθειών που περνούν από το μέσο των ευθύγραμμων τμημάτων $(S1,S2)$ και $(S1,S3)$ για το πρώτο σημείο $X2$ και $(S1,S3)$, $(S2,S3)$ για το δεύτερο σημείο $X3$ αντίστοιχα.

```

44 - B12_23=[a12_mid(2)-f12_mid*a12_mid(1);a23_mid(2)-f23_mid*a23_mid(1)];
45 - X12_23=A12_23\B12_23;
46
47 %Απαραίτητη προϋπόθεση για την εύρεση της τρίτης ευθείας αποτελεί η συσχέτιση της
48 %μεσοκάθετου της s1,s3 πλευρας με το προηγούμενο σημείο. Δηλαδή έχουμε την περίπτωση
49 %οπου η ηχητική πηγή μπορεί να είναι δεξιά του y-άξονα άρα tan(pi-angle(s1,s3,d)) και την
50 %περίπτωση οπου η ηχητική πηγή είναι αριστερά του y-άξονα. Για τον διακρίνουμε αυτό χρη-
51 %σιμοποιούμε την x-συντεταγμένη του σημείου τομής X12_23(1) που βρέθηκε προηγουμένως.
52
53 - a13_mid=[0 -d/2];
54 - if X12_23(1)>=0
55 -     f13_mid=tan(angle(data1u,data1d,data3u,data3d,d,T1,T3));
56 -     disp('right')
57 - else
58 -     f13_mid=tan(pi-angle(data1u,data1d,data3u,data3d,d,T1,T3));
59 -     disp('left')
60 - end
61
62 %Η λύση του παρακάτω γραμμικού συστήματος δίνει το σημείο τομής των
63 %ευθειών που περνούν από το μέσο των ευθυγράμμων τμημάτων που ορίζονται
64 %από τους αισθητήρες s1,s2 και s1,s3.
65 - A12_13=[-f12_mid 1;-f13_mid 1];
66 - B12_13=[a12_mid(2)-f12_mid*a12_mid(1);a13_mid(2)-f13_mid*a13_mid(1)];
67 - X12_13=A12_13\B12_13;
68
69 %Η λύση του παρακάτω γραμμικού συστήματος δίνει το σημείο τομής των
70 %ευθειών που περνούν από το μέσο των ευθυγράμμων τμημάτων που ορίζονται
71 %από τους αισθητήρες s1,s3 και s2,s3.
72 - A13_23=[-f13_mid 1;-f23_mid 1];
73 - B13_23=[a13_mid(2)-f13_mid*a13_mid(1);a23_mid(2)-f23_mid*a23_mid(1)];
74 - X13_23=A13_23\B13_23;
75
76 %Οι τετμημένη των σημείων τομής τοποθετείται στον πίνακα X ενώ η τεταγ-
77 %μένη στον πίνακα Y.
78 - X=[X12_13(1) X12_23(1) X13_23(1) X12_13(1)];
79 - Y=[X12_13(2) X12_23(2) X13_23(2) X12_13(2)];
80
81 %Τα σημεία τομής εμφανίζονται στην οθόνη και χαράσσεται μεταξύ τους
82 %συνεχής γραμμή με αποτέλεσμα τον σχηματισμό του τριγώνου πρόβλεψης.
83 - axis equal
84 - plot(X,Y,'-')
85 - hold off
86
87 - figure
88
89
90 - end
91
92

```

Εικόνα 6-8: Κώδικας αλγόριθμου εντοπισμού ηχητικής πηγής.

Όσο για την συνάρτηση angle καλείται τρεις φορές μέσα από την source για την εύρεση των κρίσιμων γωνιών που δημιουργούν τις ευθείες $f12,f23$ και $f13$. Δέχεται ως είσοδο δύο από τα τρία σήματα των αισθητήρων $s1,s2,s3$, τους αντίστοιχους χρόνους αφίξεων και υπολογίζει την

γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην μεσοκάθετο της ευθείας που συνδέει τους δύο από τους τρεις ακουστικούς αισθητήρες και την ευθεία η οποία περνά από την θέση της ηχητικής πηγής. Για να γίνει ο υπολογισμός αυτός πρέπει να υπολογιστεί η απόσταση που διένυσε το μέτωπο του ηχητικού κύματος από την στιγμή άφιξης του στον 1^ο αισθητήρα μέχρι την στιγμή άφιξης του στον 2^ο αισθητήρα από το ζευγάρι των αισθητήρων που εξετάζουμε. Όπως φαίνεται αναλυτικά και στο κώδικα της εικόνας 6.9 η απόσταση αυτή βρίσκεται από την διαίρεση της διαφοράς των χρόνων άφιξης του μετώπου κύματος στους δύο αισθητήρες με την ταχύτητα του ήχου.

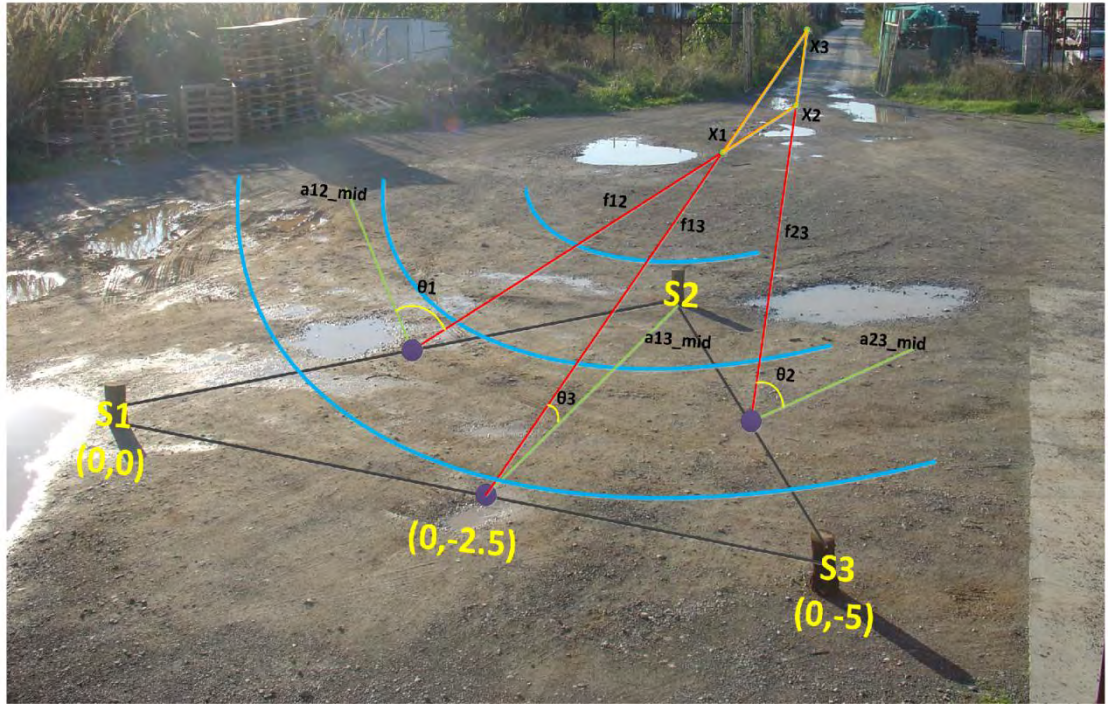
```

1 %Η συνάρτηση angle δέχεται ως είσοδο τις τιμές πάνω και κάτω από την γραμμή
2 %αναφοράς για τους δύο αισθητήρες, την απόσταση των δύο αισθητήρων και
3 %επιστρέφει την γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της μεσοκαθέτου του ευθυγράμμου
4 %μήματος που ορίζεται από την θέση των δύο αισθητήρων και της ευθείας που
5 %περνά από την ηχητική πηγή.
6 function theta=angle(d1u,d1d,d2u,d2d,sensor_dist,T1,T2)
7
8 %Καθορίζεται η τιμή της περιόδου δειγματοληψίας του επεξεργαστή,
9 %η ταχύτητα του ήχου και η τιμή αναφοράς.
10 T=66e-6;
11 sound_velocity=336.3;
12 ref=500;
13
14 %Υπολογίζεται ο χρόνος t1 που μεσολαβεί από την έναρξη της εγγραφής μέχρι
15 %το σήμα s1 να πάρει την τιμή reference μετά από ένα μέγιστο.
16 x=(d1u-ref)/(ref-d1d);
17 t1=(T1)*T+T*(x/(x+1));
18
19 %Υπολογίζεται ο χρόνος t2 που μεσολαβεί από την έναρξη της εγγραφής μέχρι
20 %το σήμα s1 να πάρει την τιμή reference μετά από ένα μέγιστο.
21 x=(d2u-ref)/(ref-d2d);
22 t2=T2*T+T*(x/(x+1));
23
24 %Η διαφορά δρόμων του μετώπου του ηχητικού κύματος βρίσκεται με πολλαπλα-
25 %σιασμό της ταχύτητας του ήχου με την διαφορά χρόνων (t2-t1) ενώ η ζητού-
26 %μενη γωνία είναι ίση με το αντίστροφο ημίτονο της διαφοράς δρόμων διά
27 %την απόσταση των δύο αισθητήρων.
28 ds=sound_velocity*(t2-t1);
29 theta=asin(ds/sensor_dist);
30 disp(theta);
31 end
32
33

```

Εικόνα 6-9: Υπολογισμός κρίσιμης γωνίας.

Έτσι καταλήγουμε στο σχήμα της εικόνας 6.10 όπου βλέπουμε όλους τους υπολογισμούς που απαιτούνται για τον προσδιορισμό του τριγώνου πρόβλεψης (x1x2x3).



Εικόνα 6-10: Απεικόνιση υπολογισμών του αλγόριθμου στο χώρο του πειράματος.

7 Πειραματικές Μετρήσεις

7.1 Περιγραφή πειραματικής ζώνης

Σε πρώτη φάση θα περιγράψουμε την τοποθεσία στην οποία έλαβε χώρα το πείραμα και τις συνθήκες που επικρατούσαν κατά την διάρκεια του πειράματος. Η

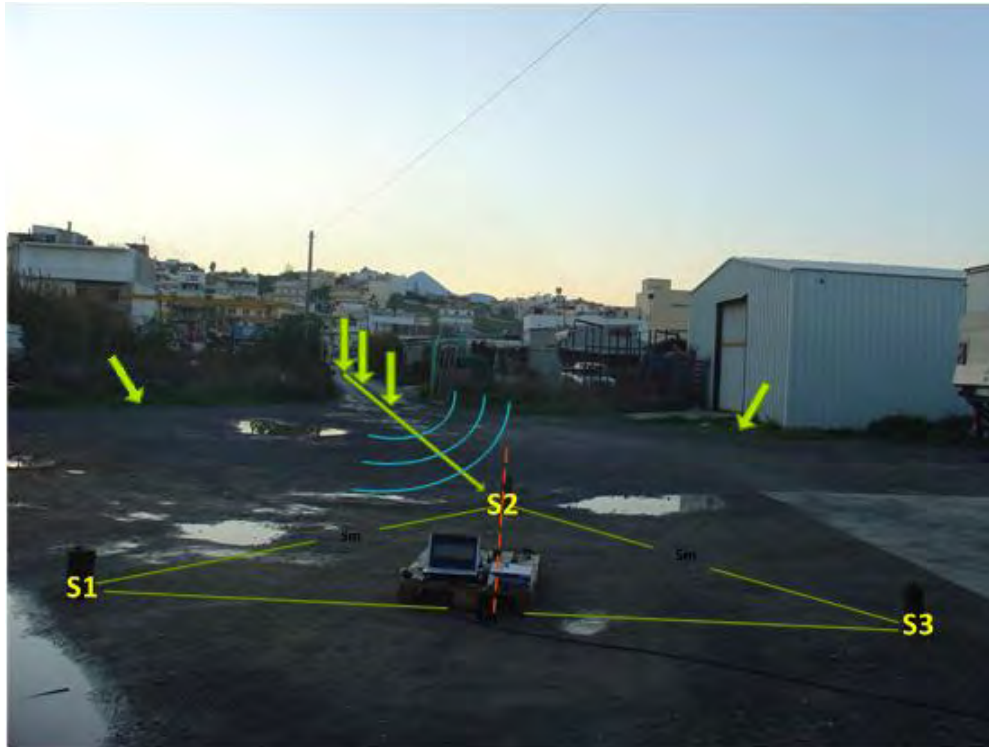


Εικόνα 7-1: Τοποθέτηση αισθητήρων.

διαδικασία των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε σε ανώμαλο έδαφος, προκειμένου ο συγκεκριμένος παράγοντας να επηρεάσει όσο το δυνατό λιγότερο τις μετρήσεις τοποθετήσαμε τους αισθητήρες σε ύψος 25cm από το έδαφος όπως βλέπουμε από την εικόνα 7.1. Εν συνεχεία τοποθετήσαμε τους αισθητήρες σε διάταξη ισόπλευρου τριγώνου με απόσταση πλευράς 5 μέτρα. Επίπλέον η θέση των αισθητήρων ήταν συγκεκριμένη ως προς τα σημεία που πραγματοποιήσαμε τις εκρήξεις. Με τον κόμβο 2 να βρίσκεται στην κορυφή του τριγώνου ως προς το μέτωπο που σχηματίζει το ακουστικό κύμα σύμφωνα με τον κώδικα της Matlab. Επιπλέον η επεξεργασία των δεδομένων έγινε σε φορητό υπολογιστή (laptop). Τέλος οι εκρήξεις των κροτίδων έγιναν σε απόσταση 15, 20, 40 και 60 μέτρων από τον κόμβο 2 ενώ κατά την διάρκεια του πειράματος επικρατούσε άπνοια με την θερμοκρασία να βρίσκεται στους 9-12 °C και την υγρασία να κυμαίνεται από 55%-75%.

7.2 Παρουσίαση μετρήσεων

Σε αυτή την παράγραφο θα παρουσιάσουμε τις μετρήσεις που πήραμε από τις πέντε εκρήξεις που πραγματοποιήσαμε βλέπε εικόνα 7.2 και εικόνα δορυφόρου 7.3 από το Bing maps της πειραματικής ζώνης. Σε κάθε μέτρηση εκτυπώνουμε τα εξής δεδομένα:



Εικόνα 7-2: Πειραματική ζώνη.

- Την ορθότητα του πακέτου που λάβαμε ξεχωριστά από κάθε αισθητήρα με το μήνυμα CORRECTPACKET, την μέγιστη τιμή της έκρηξης καθώς και την πρώτη τιμή πάνω από την γραμμή αναφοράς και την αντίστοιχη από κάτω.
- Τους κύκλους μηχανής που έχουν τρέξει μέχρι την στιγμή της σύλληψης των τιμών πάνω και κάτω από την γραμμή αναφοράς στον κάθε κόμβο.
- Πλήθος δειγμάτων που έχουν συλλέξει οι κόμβοι μέχρι την στιγμή της έκρηξης τα οποία και εκτυπώνουμε με την σειρά S1,S2 και S3.
- Τέλος έχουμε την απεικόνιση του τριγώνου πρόβλεψης του αλγορίθμου σε σχέση με την σταθερή θέση των αισθητήρων οι οποίοι συμβολίζονται με τους κύκλους (κόκκινος κύκλος είναι ο S1 κόμβος, ο πράσινος οS2 και ο μπλε ο S3)



Εικόνα 7-3: Πειραματική ζώνη από το Bing Maps.

7.2.1 Μετρήσεις και τρίγωνο πρόβλεψης για έκρηξη στα 15 μέτρα

CORRECT PACKET

1007	0	0
1004	0	0
327	0	0

Η πρώτη στήλη δείχνει ότι έχει γίνει λήψη των τιμών που έχουν καταγραφεί από τον πρώτο κόμβο ενώ δεν έχει γίνει από τον κόμβο δύο και τρία.

CORRECT PACKET

1007	1007	0
1004	1005	0
327	3	0

Στη πρώτη γραμμή έχουμε τους κύκλους μηχανής(timestamp) που έχουν τρέξει στον πρώτο κόμβο μέχρι την σύλληψη της πρώτης τιμής πάνω από την γραμμή αναφοράς και την αντίστοιχη από κάτω. Ομοίως έχουμε τις τιμές από τους κόμβους

CORRECT PACKET

1007	1007	1008
1004	1005	1004
327	3	1

9677576	9677636
9670031	9670090
9683746	9683806

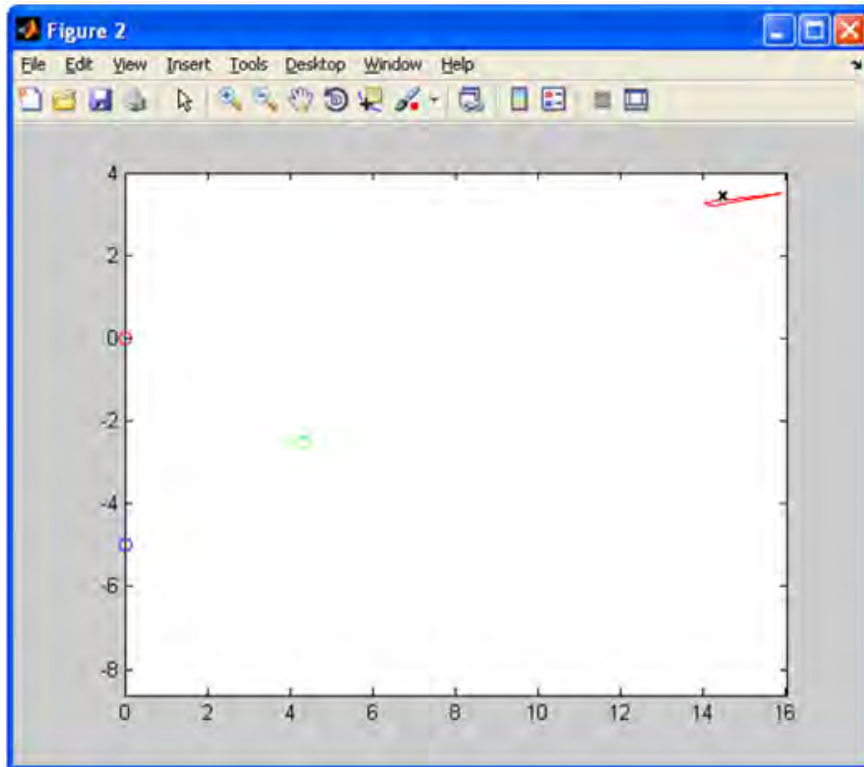
FIGURE

2
161292

161167

161395

Από τα πλήθη των δειγμάτων που έχουμε συλλέξει καταλαβαίνουμε ότι το ηχητικό κύμα έχει περάσει πρώτα από τον κόμβο S2 (λόγω της μικρότερης τιμής) μετά από τον S1 και τον S3.



Εικόνα 7-4: Απεικόνιση έκρηξης στα 15 μέτρα.

7.2.2 Μετρήσεις και τρίγωνο πρόβλεψης για έκρηξη στα 15 μέτρα

CORRECT PACKET

1007	0	0
1004	0	0
1	0	0

CORRECT PACKET

1007	1008	0
1004	1003	0
1	0	0

CORRECT PACKET

1007	1008	1008
1004	1003	1004
1	0	0

18229179	18229238
18215817	18215888
18225071	18225142

Το πλήθος των κύκλων επιβεβαιώνεται για την ορθότητα του από παράγραφο 5.4 στην οποία οι κύκλοι που τρέχουν σε 1 δευτερόλεπτο είναι 1 εκατομμύριο. Ενώ οι εκρήξεις που πραγματοποιήσαμε χρονικά ήταν μέσα στα πρώτα 30 δευτερόλεπτα από το άνοιγμα των αισθητήρων.

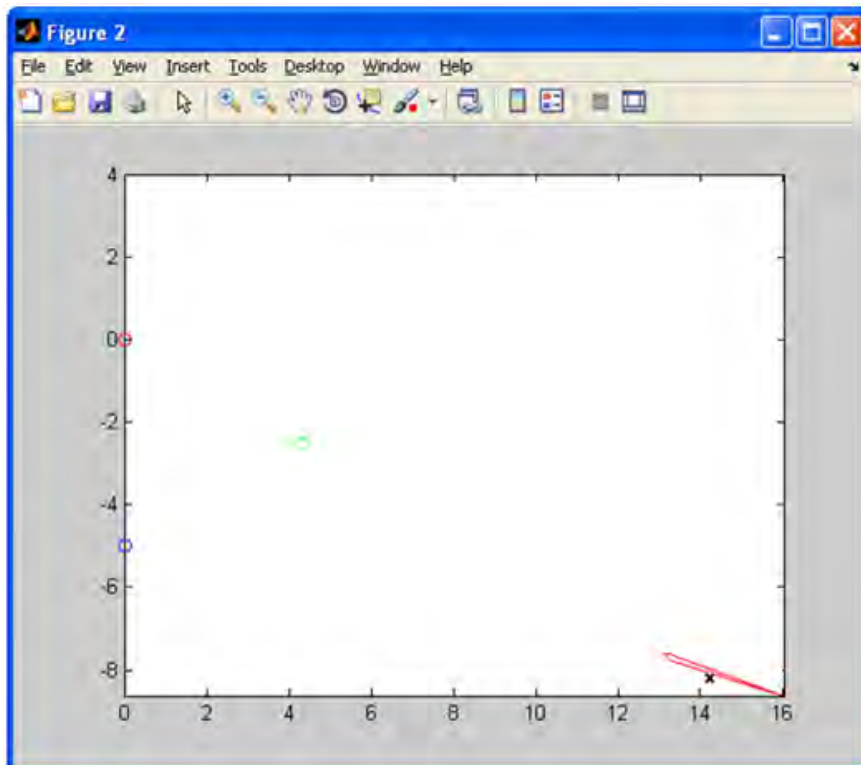
Το ηχητικό κύμα έχει περάσει πρώτα από τον κόμβο S2 και κατόπιν τον S3 και τον S1.

FIGURE

2
303819

303597

303751



Εικόνα 7-5: Απεικόνιση έκρηξης στα 15 μέτρα.

7.2.3 Μετρήσεις και τρίγωνο πρόβλεψης για έκρηξη στα 20 μέτρα

CORRECT PACKET

1007	0	0
1004	0	0
0	0	0

CORRECT PACKET

1007	1008	0
1004	510	0
0	1	0

CORRECT PACKET

1007	1008	1008
1004	510	1005
0	1	1

27032590	27032653
27021804	27021862
27035029	27035088

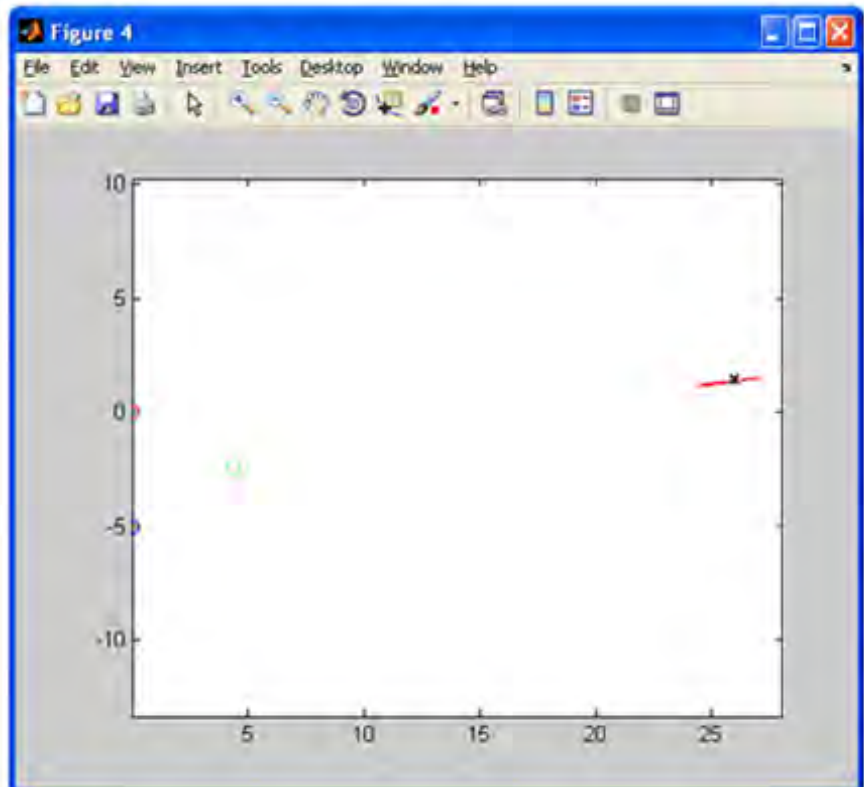
FIGURE

4

450543

450363

450583



Εικόνα 7-6: Απεικόνιση έκρηξης στα 20 μέτρα.

7.2.4 Μετρήσεις και τρίγωνο πρόβλεψης για έκρηξη στα 40 μέτρα

CORRECT PACKET

1007	0	0
1003	0	0
0	0	0

CORRECT PACKET

1007	1007	0
1003	1004	0
0	1	0

CORRECT PACKET

1007	1007	1007
1003	1004	1004
0	1	1

15946332	15946395
15935818	15935878
15948881	15948940

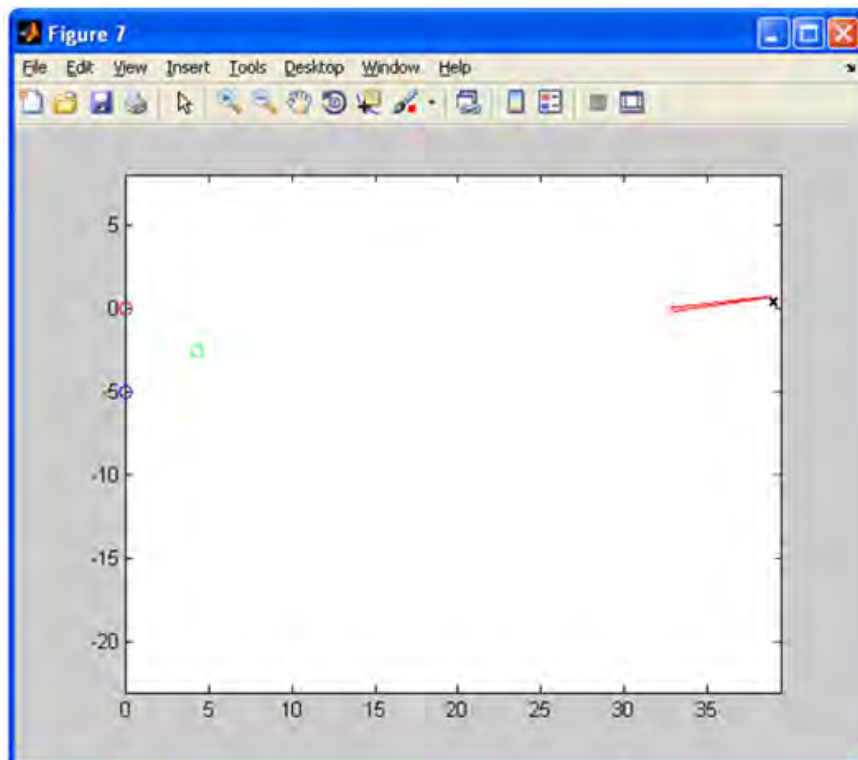
FIGURE

7

265772

265596

265814



Εικόνα 7-7: Απεικόνιση έκρηξης στα 40 μέτρα.

7.2.5 Μετρήσεις και τρίγωνο πρόβλεψης για έκρηξη στα 60 μέτρα

CORRECT PACKET

1007	0	0
1004	0	0
1	0	0

CORRECT PACKET

1007	1008	0
1004	1004	0
1	1	0

CORRECT PACKET

1007	1008	1008
1004	1004	1004
1	1	1

8180616	8180676
8169747	8169806
8182586	8182645

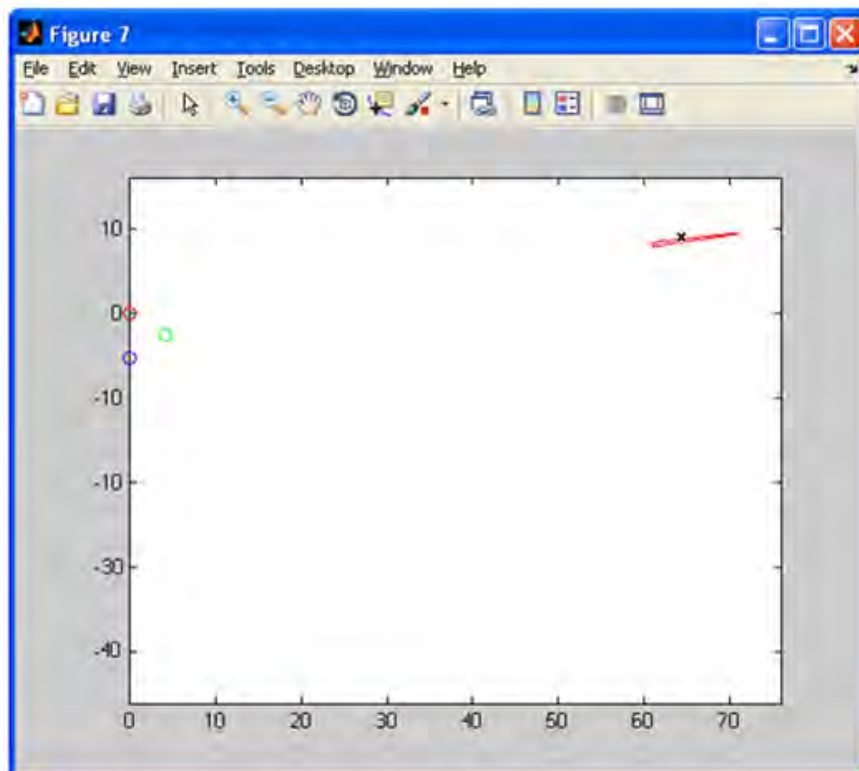
FIGURE

7

136343

136162

136376



Εικόνα 7-8: Απεικόνιση έκρηξης στα 60 μέτρα.

7.3 Αξιολόγηση και επεξήγηση των μετρήσεων του πειράματος

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις της προηγούμενης παραγράφου, έχουμε μια πολύ καλή προσέγγιση για την τοποθεσία της ηχητικής πηγής “x” από το τρίγωνο πρόβλεψης. Οι παρατηρήσεις που μπορούν να γίνουν από τις μετρήσεις έχουν ως εξής. Σε κάθε έκρηξη τα μηνύματα καταφθάνουν με την σειρά της εσωτερικής καθυστέρησης που έχουμε εισάγει για την αποφυγή του collision, δηλαδή πρώτα από τον 1 κόμβο και εν συνεχεία από τον 2 και τον 3. Όσον αφορά, τις τιμές των κύκλων μηχανής που εμφανίζονται ποικίλουν, αφού εξαρτώνται από την χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από τον συγχρονισμό των κόμβων και κατ’ επέκταση την έναρξη λειτουργίας των μικροφώνων, μέχρι την στιγμή της έκρηξης. Παρ’ όλα αυτά η διαφορά των κύκλων μηχανής ανάμεσα στις δύο τιμές που εκτυπώνουμε στις μετρήσεις παραμένει σχεδόν σταθερή στους 60 κύκλους, με απόκλιση από 59 έως 63. Αυτοί οι κύκλοι μηχανής κρίνονται απαραίτητη για την εκτέλεση της εντολής detect() που έχει σαν αποτέλεσμα την ανάγνωση των δεδομένων του μικροφώνου. Έτσι προκύπτουν οι τιμές χρόνου που εμφανίζονται στις μετρήσεις οι οποίες αντιστοιχούν στο πλήθος των δειγμάτων που έχουν καταγραφεί μέχρι την χρονική στιγμή της έκρηξης. Π.χ. στην πρώτη μέτρηση η καταγραφή της έκρηξης γίνεται περίπου 9,22sec μετά το άνοιγμα των αισθητήρων χρόνος στον οποίο έχουν τρέξει 9677576 κύκλοι. Γνωρίζοντας ότι χρειαζόμαστε 60 κύκλους κάθε φορά για ένα δείγμα προκύπτουν 161292 δείγματα. Δηλαδή κάθε ένα δευτερόλεπτο έχουμε $1048576 \text{ κύκλους} / 60 \text{ κύκλους} = 17.476$ δείγματα η διαφορετικά συχνότητα μικροφώνων 17,476KHz (κοντά στα όρια της μέγιστης δειγματοληψίας που μπορούμε να επιτύχουμε από παράγραφο 5.4). Τέλος στις τιμές του χρόνου, παρατηρούμε η σύλληψη της έκρηξης να ανιχνεύεται σε όλες τις μετρήσεις πρώτα από τους πιο κοντινούς κόμβους ως προς το σημείο της έκρηξης και τελευταία σε αυτούς που βρίσκονται πιο μακριά.

8

Επίλογος

8.1 Δυνατότητες εξέλιξης και βελτιστοποίησης του συστήματος

Σε κάθε περίπτωση το σύστημα μας έχει περιθώρια βελτίωσης, τόσο στο υλικό όσο και στο λογισμικό που τρέχει στους αισθητήρες και στον υπολογιστή. Συγκεκριμένα η εισαγωγή των επιπλέον δεδομένων της υγρασίας και της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας από τους αισθητήρες, θα μας έδινε μεγαλύτερη ακρίβεια για την ταχύτητα του ήχου. Κατόπιν επεξεργασίας θα προέκυπτε μια δυναμική τιμή της ταχύτητας του ήχου για τις υπάρχουσες ατμοσφαιρικές συνθήκες σε αντίθεση, με την στατική τιμή 336,3 m/s που έχουμε εισάγει. Κάθε σφάλμα στον υπολογισμό αυτών των δύο μεγεθών λοιπόν και ειδικά της θερμοκρασίας, οδηγεί σε απόκλιση από την πραγματική τιμή της ταχύτητας του ήχου με αποτέλεσμα την εισαγωγή σφάλματος στον προσδιορισμό του τριγώνου πρόβλεψης. Παρόμοια αντιμετώπιση πρέπει να έχουμε και με την ταχύτητα του ανέμου, επίσης σημαντικός παράγοντας για τον υπολογισμό της θέσης του τριγώνου πρόβλεψης.

Το συγκεκριμένο σύστημα που υλοποιήθηκε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας μπορεί μελλοντικά να εξελιχθεί, προκειμένου να βρει εφαρμογή και σε άλλους τομείς. Απαραίτητη προϋπόθεση για την εξέλιξη του συστήματος αποτελεί η πλήρης ανεξαρτητοποίηση του Α.Δ.Α(ασύρματου δικτύου αισθητήρων) από την διάταξη του ισόπλευρου τριγώνου που έχει. Συνεπώς είναι φανερό η ανάγκη για γνώση των συντεταγμένων των αισθητήρων με κάθε δυνατή ακρίβεια. Για την επίτευξη αυτής της λειτουργίας απαραίτητη είναι η προσθήκη αισθητηρίων GPS που θα επέτρεπε την συλλογή των συντεταγμένων του εκάστοτε κόμβου στο χώρο και κατ' επέκταση την εύρεση της μεταξύ τους απόσταση. Εξελισσόμενο το σύστημα κατ' αυτόν τον τρόπο, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε στρατιωτικές επιχειρήσεις για τον εντοπισμό ελεύθερων σκοπευτών (Sniper detection). Συγκεκριμένα, ομάδες στρατιωτών θα φέρουν τους κόμβους με τους αισθητήρες GPS και μικροφώνων ενσωματωμένους στο κράνος (ο κάθε στρατιώτης και από ένα κόμβο), με τα οποία θα συλλέγουν τα ακουστικά και γεωγραφικά δεδομένα. Κατόπιν τα δεδομένα θα αποστέλλονται σε ένα miniPC που θα βρίσκεται ενσωματωμένο σε κάθε στρατιώτη το οποίο θα επεξεργάζεται τα δεδομένα. Τέλος τα αποτελέσματα της πρόβλεψης θα εμφανίζονται σε γυαλιά οθόνη, καθοδηγώντας τον στρατιώτη να κοιτάξει προς την περιοχή πρόβλεψης της θέσης της ηχητικής πηγής.

Ένας ακόμα τομέας στον οποίο το σύστημα μας θα μπορούσε να βρει εφαρμογή θα ήταν στη παρακολούθηση και ασφάλεια ενός χώρου. Συγκεκριμένα θα μπορούσαμε να επεκτείνουμε κατάλληλα το λογισμικό με αλγόριθμο χαρακτηρισμού της ηχητικής πηγής. Δεδομένου ότι κάθε ηχητικό κύμα παράγεται με μοναδικό τρόπο θα μπορούσαμε να το συγκρίνουμε με διάφορα προφίλ ηχητικών πηγών και να το ταυτίσουμε με κάποιο από αυτά.

8.2 Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία έγινε μια πρώτη αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας και της ευαισθησίας της μεθόδου εντοπισμού της ηχητικής πηγής με την χρήση ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Αξίζει να τονισθεί η ικανοποιητική δυνατότητα του συστήματος να εντοπίζει την διεύθυνση από την οποία φτάνει στους αισθητήρες ένα ηχητικό κύμα με ικανοποιητική ακρίβεια, ακόμα και όταν οι συνθήκες είναι τέτοιες που τα σφάλματα επηρεάζουν σημαντικά τις μετρήσεις. Τέλος παρατηρούμε, μέσα από τις δυνατότητες εξέλιξης του συστήματος ότι υπάρχει ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών στις οποίες το σύστημα μας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί με τις αντίστοιχες επεκτάσεις σε λογισμικό και υλικό.





9 Παράρτημα

S Sensor and Data Acquisition Boards (MTS and MDA Series)





Photo	Crossbow Part ID	Commonly Used Name	Sensor and Functions									
			Accelerometer (2-axis)	Barometer (built-in ADC)	Buzzer	External Analog Sensor Inputs	GPS	Light	Microphones	Magnetometer (2-axis)	Photo-sensitive Light	Rel. Humidity & Temperature (built-in 12-bit ADC)
MICA-Compatible												
	MTS101	basicsb				✓ (Six 10-bit ADCs)			✓			✓
	MTS300	micasb			✓				✓	✓		✓
	MTS310	micasb	✓		✓				✓	✓	✓	✓
	MTS400	mica2wb	✓	✓						✓	✓	
	MTS420	fireboard		✓					✓	✓	✓	
	MDA300	sensorIB				✓ (Ten 12-bit ADCs)					✓	✓
	MDA420	mica2vibe				✓ Six 10-bit					✓	✓

Πίνακας 1: Μοντέλα αισθητήρων.

M Mote Processor Radio Platforms ("Motes", MPR Series)

Photo	Crossbow Part ID	Commonly Used Name	Frequency Range	Processor	Radio Transceiver	Nonvolatile Memory
	MPR300 (discontinued)	MICA (sometimes referred to as MICA1)	902 to 928 MHz	Atmel ATmega128L	RFM TR1000	Atmel AT45DB041B (512 kB)
	MPR310 (discontinued)		433.1 to 434.8 MHz			
	MPR400	MICA2	868 to 870; 902 to 928 MHz	Atmel ATmega128L	Chipcon CC1000	Atmel AT45DB041B (512 kB)
	MPR410		433.1 to 434.8 MHz			
	MPR420		313.9 to 316.1 MHz			
	MPR500	MICA2DOT	868 to 870; 902 to 928 MHz	Atmel ATmega128L	Chipcon CC1000	Atmel AT45DB041B (512 kB)
	MPR510		433.1 to 434.8 MHz			
	MPR520		313.9 to 316.1 MHz			
	MPR2400	MICAz	2400 to 2483.5 MHz	Atmel ATmega128L	Chipcon CC2420 (802.15.4)	Atmel AT45DB041B (512 kB)

Πίνακας 2: Μοντέλα κόμβων.

Picture	Crossbow Part Name	Other Used Name	Mote/Board Connectors	Programming Port	Data Port
	MIB500 (discontinued)	Parallel port programmer	MICA, MICA2 (51-pin connector, top-side) MICA-Series sensor boards (51-pin connector, bottom-side) MICA2DOT (19-pin circular connector, bottom-side)	Parallel	Serial (RS-232)
	MIB510	Serial port programmer	MICA, MICA2 (51-pin Hirose connector, top-side) MICA-Series sensor boards (51-pin connector, bottom-side) MICA2DOT (19-pin circular connector)	Serial (RS-232)	Serial (RS-232)
	MIB600	EPRB	MICA, MICA2 (51-pin Hirose connector) MICA2DOT (only with extension cable)	Ethernet	Ethernet
	SPB400	Stargate, XScale Platform	Main board: PCMCIA, Compact Flash, MICA2 (51-pin connector) Daughter card: USB, RS-232, Ethernet, External power	With host PC: Serial (RS-232), Ethernet (using ssh)	Various

Πίνακας 3: Μοντέλα αισθητήρων πύλης.

Processor/Radio Board	MPR400CB	MPR410CB	MPR420CB	Remarks
Processor Performance				
Program Flash Memory	128K bytes	128K bytes	128K bytes	
Measurement (Serial) Flash	512K bytes	512K bytes	512K bytes	>100,000 Measurements
Configuration EEPROM	4 K bytes	4 K bytes	4 K bytes	
Serial Communications	UART	UART	UART	0-3V transmission levels
Analog to Digital Converter	10 bit ADC	10 bit ADC	10 bit ADC	8 channel, 0-3Vin
Other Interfaces	DIO,I2C,SPI	DIO,I2C,SPI	DIO,I2C,SPI	
Current Draw	8 mA	8 mA	8 mA	active mode
	< 15uA	< 15 uA	< 15 uA	sleep mode
Multi-Channel Radio				
Center Frequency	868/916 MHz	433 MHz	315 MHz	ISM bands
Number of Channels	> 4, > 50	> 4	> 4	programmable, country specific
Data Rate	38.4 Kbaud	38.4 Kbaud	38.4 Kbaud	manchester encoded
RF Power	-20 to +5 dBm	-20 to +10 dBm	-20 to +10 dBm	programmable, typical
Receive Sensitivity	-98 dBm	-101 dBm	-101 dBm	typical, analog RSSI at AD Ch. 0
Outdoor Range	500 ft	1000 ft	1000 ft	1/4 Wave dipole, line of sight
Current Draw	27 mA	25 mA	25 mA	transmit with maximum power
	10 mA	8 mA	8 mA	receive
	< 1 uA	< 1 uA	< 1 uA	sleep
Electromechanical				
Battery	2X AA batteries	2X AA batteries	2X AA batteries	attached pack
External Power	2.7 - 3.3 V	2.7 - 3.3 V	2.7 - 3.3 V	connector provided
User Interface	3 LEDs	3 LEDs	3 LEDs	user programmable
Size (in)	2.25 x 1.25 x 0.25	2.25 x 1.25 x 0.25	2.25 x 1.25 x 0.25	excl. battery pack
(mm)	58 x 32 x 7	58 x 32 x 7	58 x 32 x 7	excl. battery pack
Weight (oz)	0.7	0.7	0.7	excl. batteries
(grams)	18	18	18	excl. batteries
Expansion Connector	51 pin	51 pin	51 pin	all major I/O signals

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά αισθητήρων.

10 Βιβλιογραφία

- [1] Ε. Βουμβουράκης, “Ολοκληρωμένο Σύστημα Δικτύου Αισθητήρων για την Παρακολούθηση Περιβαλλοντικών Συνθηκών και την Απεικόνισή τους σε GIS”, Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, Ιούλιος 2011
- [2] Α. Αγγελής, “Γεωγραφικό Πληροφοριακό Σύστημα Διαχείρισης Κρίσεων και Απεικόνισης Ατμοσφαιρικών Δεδομένων από Δίκτυο Αισθητήρων”, Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, Ιούλιος 2011
- [3] http://www.es.ele.tue.nl/education/oo2/files/doc/xbow_presentations/02_Hardware_Overview.pdf
- [4] <https://www.eol.ucar.edu/rtf/facilities/isa/internal/CrossBow/DataSheets/mica2.pdf>
- [5] http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/Equipamiento/Wireless/MTSMDA_Series_Users_Manual.pdf
- [6] <http://en.wikipedia.org/wiki/TinyOS>
- [7] <http://www.tinyos.net/tinyos-2.x/doc/html/tep101.html#id5>
- [8] <http://www.tinyos.net/tinyos-2.x/doc/html/tep101.html>
- [9] <http://www.tinyos.net/tinyos-2.x/doc/html/tep102.html>
- [10] M.P. Allen, “Acoustic Localisation for Real-Life Applications of Wireless Sensor Networks”, Phd Thesis, Coventry University, 2009
- [11] <http://www.atmel.com/Images/doc2467.pdf>
- [12] http://www.panasonic.com/industrial/components/pdf/em05_wm62_a_c_cc_k_b_dne.pdf
- [13] G. Mazarakis, “*Seismic personnel detection and seismic and acoustic vehicle recognition and classification in Wireless Sensor Networks with emphasis on energy efficiency and low power consumption*”, Ph.D. Thesis, National Technical University of Athens, October 2007.
- [14] Wong, J-M., Goethals, J. and Stojadinovic, B. (2005) 'Wireless sensor seismic response monitoring system implemented on top of NEESgrid', *Health Monitoring and Smart Non-destructive Evaluation of Structural and Biological Systems IV*, 6-10 March, San Diego, CA, USA, Vol. 5768, pp.74-84.
- [15] https://www.eol.ucar.edu/rtf/facilities/isa/internal/CrossBow/Doc/MPR-MIB_Series_User_Manual_7430-0021-05_A.pdf
- [16] http://www.es.ele.tue.nl/education/oo2/files/doc/xbow_presentations/04_Wireless_Communications.pdf