



ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΕΥΕΛΠΙΔΩΝ

Τμήμα Στρατιωτικών Επιστημών



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

**ΔΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
Σχεδίαση και Επεξεργασία Συστημάτων
(Systems Engineering)**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**Αυτόνομοι Επίγειοι Αισθητήρες -
Εφαρμογές στην Ασφάλεια και την Επιτήρηση**



Γεώργιος Παχούμης

(ΑΜ. 2017018013)

Επιβλέπων Καθηγητής

Διονύσιος Ε. Μουζάκης Dr. Ing.

**Αναπληρωτής Καθηγητής
Στρατιωτική Σχολή Ευελπίδων**

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2019

Η Μεταπτυχιακή Διατριβή του **Γεώργιου Παχούμη** εγκρίνεται
από την παρακάτω τριμελή εξεταστική επιτροπή:

Διονύσιος Ε. Μουζάκης

| Αν. Καθηγητής

Ειρήνη Καρανάσιου

| Αν. Καθηγήτρια

Στυλιανός Τσαφάρας

| Αν. Καθηγητής

Ευχαριστίες

Καταρχήν, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Διονύσιο Μουζάκη Dr. Ing., Καθηγητή της Στρατιωτικής Σχολής Ευελπίδων και επιβλέπων της διατριβής αυτής, για την πρόταση του άκρως ενδιαφέροντος θέματός της και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε για την υλοποίηση της σε θεωρητικό και σε πρακτικό επίπεδο, καθώς περιλαμβάνει και τα δύο, τις πολύτιμες και ουσιαστικές προτάσεις του, τις εύστοχες παρατηρήσεις του και την εν γένει άψογη συνεργασία μας. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, οι οποίοι στήριξαν ακόμη μια φορά τις αποφάσεις και την προσπάθειά μου πιστεύοντας σε μένα και δείχνοντάς μου έμπρακτα την αγάπη τους.

Τέλος, θα ήθελα από καρδιάς να ευχαριστήσω την σύζυγο μου Ειρήνη και την κόρη μου Ραφαέλα για την πολύτιμη στήριξή τους, την απεριόριστη κατανόηση και την υπομονή τους, τον χώρο, κυριολεκτικά και μεταφορικά, που μου παραχώρησαν χωρίς να χρειαστεί να τον ζητήσω και χωρίς κανένα αντάλλαγμα και γιατί εάν δεν βρίσκονταν δίπλα μου η εκπόνηση της διατριβής αυτής και η παρακολούθηση του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών θα ήταν αδύνατη.

Περιεχόμενα

1	Περίληψη	1
1	Abstract.....	3
2	Εισαγωγή.....	6
2.1	Η αξία της πληροφορίας	6
2.2	Επιτήρηση Εγκαταστάσεων & Συνόρων - Ανίχνευση Εισβολέων.....	7
2.3	Μέθοδοι Επιτήρησης	7
3	Αυτόνομοι Επίγειοι Αισθητήρες	9
3.1	Περιγραφή	9
3.2	Εφαρμογές	10
3.3	Λειτουργία	15
4	Αισθητήρες.....	18
4.1	Γενικά.....	18
4.2	Πυροηλεκτρικοί (PIR).....	19
4.3	Μικροκυματικοί - Ραντάρ (Microwave Radar)	21
4.4	Μαγνητικοί (Magnetic / Gauss sensors).....	24
4.5	Επιταχυνσιόμετρα (Accelerometers)	26
4.6	Σεισμικοί αισθητήρες (Seismic Sensors / Geophones)	28
4.7	Ηχητικοί - Μικρόφωνα (Microphones)	30
4.8	Οπτικοί (Optical).....	32
4.9	Αισθητήρες εικόνας (Image sensors)	34
4.10	Υπερηχητικοί (Sonar)	36
4.11	Άλλοι αισθητήρες	38
5	Ανάλυση απόκρισης αισθητήρων – Επεξεργασία Σημάτων	39
5.1	Αναλογικά και ψηφιακά σήματα	39
5.2	Η απόκριση / σήμα εξόδου των αισθητήρων.....	40
5.3	Ενίσχυση σημάτων.....	41

5.4 Ψηφιοποίηση σημάτων	43
5.5 Φίλτρα	46
5.5.1 Γενικά	46
5.5.2 Χαμηλοπερατά φίλτρα (Low Pass).....	46
5.5.3 Υψηλοπερατά φίλτρα (High Pass).....	47
5.5.4 Ζωνοπερατά & Ζωνοφρακτά φίλτρα (Band-Pass & Band-Stop)	48
5.5.5 Το Φίλτρο Κάλμαν (Kalman filter).....	48
5.6 Μετασχηματισμός Fourier	49
6 Πρακτική Εφαρμογή	51
6.1 Περιγραφή	51
6.3 Λειτουργία – Χαρακτηριστικά	62
6.3.1 Βασικός Κόμβος	62
6.3.2 Αυτόνομοι Αισθητήρες	63
6.3.3 Εφαρμογή Επιτήρησης.....	64
6.3.4 Επιδόσεις	64
6.4 Διάρκεια ζωής - Ενεργειακή κατανάλωση	65
7 Συμπεράσματα – Μελλοντική εργασία.....	68
8 Βιβλιογραφία	70

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1. Αυτόνομος Επίγειος Αισθητήρας για στρατιωτική χρήση που προσομοιώνει πέτρα, προϊόν της Αμερικάνικης εταιρίας Lockheed Martin (https://www.wired.com/2012/05/spy-rock/)	10
Εικόνα 2. Τοποθέτηση Αισθητήρα σε δασική περιοχή από Αμερικάνο στρατιώτη (https://www.wired.com/2012/05/spy-rock/)	11
Εικόνα 3. Επίδειξη «ταφής» ενός Αισθητήρα μικρού μεγέθους στο έδαφος. Η κεραία του είναι απαραίτητο να προεξέχει για να είναι δυνατή η αποστολή σημάτων (http://innovationmediadesign10.co.za/pathfinder/more-than-an-unattended-ground-sensor-the-evolution-of-e-ugs/)	12
Εικόνα 4. Απεικόνιση ρίψης Αυτόνομων Επίγειων Αισθητήρων σε γραμμή συνόρων (Mouzakis D.E.) ...	14
Εικόνα 5. Ένας τυπικός πυροηλεκτρικός αισθητήρας	19
Εικόνα 6. Ολοκληρωμένη συσκευή εφοδιασμένη με πυροηλεκτρικό αισθητήρα, με προσαρμοσμένο φακό Φρενέλ	20
Εικόνα 7. Αναπαράσταση της λειτουργίας ενός πυροηλεκτρικού αισθητήρα προσαρμοσμένο φακό Φρενέλ	21
Εικόνα 8. Απεικόνιση της λειτουργίας ενός μικροκυματικού αισθητήρα	22
Εικόνα 9. Το εσωτερικό ενός μικροκυματικού αισθητήρα – ανιχνευτή κίνησης	23
Εικόνα 10. Ένας τυπικός μικροκυματικός αισθητήρας του εμπορίου	23
Εικόνα 11. Η αρχή λειτουργίας ενός μαγνητικού αισθητήρα	24
Εικόνα 12. Το τσιπ αυτό είναι ένα μοντέλο μαγνητικού αισθητήρα του εμπορίου με επιφάνεια μόλις $3 \times 3 \text{ mm}^2$	25
Εικόνα 13. Απεικόνιση της λειτουργίας ενός χωρητικού επιταχυνσιομέτρου	27
Εικόνα 14. Ένα κοινό MEMS επιταχυνσιόμετρο του εμπορίου	28
Εικόνα 15. Απεικόνιση της λειτουργίας ενός σεισμικού αισθητήρα	29
Εικόνα 16. Ένας τυπικός σεισμικός αισθητήρας του εμπορίου	30
Εικόνα 17. Η αρχή λειτουργίας ενός χωρητικού μικροφώνου	31
Εικόνα 18. Εμπορικά μικρόφωνα επιφανείας SMD, τα οποία χρησιμοποιούνται σε μικροσυσκευές	31
Εικόνα 19. Ένα τυπικό χωρητικό μικρόφωνο του εμπορίου	32
Εικόνα 20. Απεικόνιση της λειτουργίας του οπτικού αισθητήρα. Αριστερά φαίνεται η φωτοδίοδος που εκπέμπει την ακτινοβολία και δεξιά το φωτοτρανζίστορ που τη λαμβάνει	33
Εικόνα 21. Οπτικοί αισθητήρες του εμπορίου. Αριστερά, η φωτοδίοδος και το φωτοτρανζίστορ είναι δύο ξεχωριστές συσκευές. Δεξιά, ένας κοινός οπτικός αισθητήρας.	34
Εικόνα 22. Η αρχή λειτουργίας των αισθητήρων εικόνας	35
Εικόνα 23. Η αισθητήρια επιφάνεια ενός αισθητήρα εικόνας	35
Εικόνα 24. Απεικόνιση της αρχής λειτουργίας των υπερηχητικών αισθητήρων	36
Εικόνα 25. Ένας κοινός υπερηχητικός αισθητήρας του εμπορίου	38
Εικόνα 26. Αναπαράσταση ενός αναλογικού σήματος στο πεδίο του χρόνου	39
Εικόνα 27. Αναπαράσταση ενός ψηφιακού σήματος στο πεδίο του χρόνου	40

Εικόνα 28. Λειτουργία των ενισχυτών σημάτων. Το πλάτος του σήματος εξόδου είναι πολλαπλάσιο του πλάτους του σήματος εισόδου	42
Εικόνα 29. Απώλεια των ακρότατων τιμών του σήματος κατά την ενίσχυση	42
Εικόνα 30. Ψηφιοποίηση ενός σήματος. Η δειγματοληψία γίνεται σε διακριτές χρονικές στιγμές.....	44
Εικόνα 31. Κατά την ψηφιοποίηση γίνεται προσεγγιστική αναπαράσταση του αρχικού αναλογικού σήματος	45
Εικόνα 32. Η ψηφιακή αναπαράσταση ενός σήματος γίνεται πιο ακριβής όσο αυξάνεται η ανάλυση, δηλαδή η περίοδος δειγματοληψίας	45
Εικόνα 33. Απεικόνιση της ισχύος του σήματος στο πεδίο των συχνοτήτων, ενός χαμηλοπερατού φίλτρου, η οποία μειώνεται δραστικά μετά την συχνότητα αποκοπής	47
Εικόνα 34. Απεικόνιση της ισχύος του σήματος στο πεδίο των συχνοτήτων, ενός υψιπερατού φίλτρου, η οποία μειώνεται δραστικά πριν την συχνότητα αποκοπής	47
Εικόνα 35. Αριστερά, η απεικόνιση των Ζωνοπερατών φίλτρων, με αποκοπή των συχνοτήτων εκτός της ζώνης που ορίζεται από τις δύο συχνότητες αποκοπής. Δεξιά η απεικόνιση των Ζωνοφρακτών φίλτρων, με αποκοπή των συχνοτήτων εντός της ζώνης.	48
Εικόνα 36. Η αφαίρεση του θορύβου από ένα σήμα με τη χρήση του φίλτρου Κάλμαν	49
Εικόνα 37. Πάνω, η ανάλυση ενός σήματος στις συχνότητες που το αποτελούν. Κάτω, η σύνθεση ενός σήματος από το «άθροισμα» δύο συχνοτήτων	50
Εικόνα 38. Ο Αυτόματος Επίγειος Αισθητήρας που κατασκευάστηκε στα πλαίσια της πρακτικής εφαρμογής.....	51
Εικόνα 39. Ο μικροελεγκτής STM32F103C8T6 με την πλακέτα του	52
Εικόνα 40. Ο μικροκυματικός αισθητήρας XYC-WB-DC1	53
Εικόνα 41. Ο εντοπιστής θέσης GPS Ublox Neo M7	54
Εικόνα 42. πομποδέκτης Semtech SX1278	55
Εικόνα 43. Κεραία ιδιοσυχνότητας 433MHz και κέρδους περίπου 0 dbi	55
Εικόνα 44. Καλώδιο διασύνδεσης της κεραίας με τον πομποδέκτη	56
Εικόνα 45. Το τροφοδοτικό του συστήματος.....	57
Εικόνα 46. Μπαταρία Panasonic NCR18650B υψηλής ενεργειακής χωρητικότητας	58
Εικόνα 47. Ο Βασικός κόμβος του συστήματος, που επιτρέπει τη διασύνδεση του Η/Υ με το δίκτυο των Αισθητήρων	58
Εικόνα 48. Κεραία ιδιοσυχνότητας 433MHz και κέρδους περίπου 3 dbi	60
Εικόνα 49. Αμφίδρομος μετατροπέας σειριακού πρωτοκόλλου επικοινωνίας UART σε USB και αντίστροφα	61
Εικόνα 50. Στιγμιότυπο της οθόνης από την εφαρμογή επιτήρησης, η οποία προβάλλει τα δεδομένα από τους αισθητήρες	62

1 Περίληψη

Από αρχαιοτάτων χρόνων, η επιτήρηση και η ασφάλεια περιοχών, εγκαταστάσεων και συνόρων αποτελούσε πολύ σημαντικό παράγοντα στην ευημερία και την επιβίωση μιας κοινωνίας. Τοποθεσίες οικονομικής και στρατηγικής σημασίας, χωριά, πόλεις – κράτη και στρατόπεδα ήταν ουσιαστικά απαραίτητο να φυλάσσονται με κάποιο τρόπο από όσους τα επιβουλεύονταν. Η ανεπαρκής ασφάλεια ή και έλλειψη πληροφοριών σχετικά με πιθανούς εισβολείς μπορούσε συχνά να έχει καταστροφικές συνέπειες.

Τα δεδομένα αυτά δυστυχώς δεν έχουν αλλάξει και είναι έως και σήμερα και θα είναι πιθανότατα για αιώνες ακόμη αναγκαία η επαρκής φύλαξη, επιτήρηση και παροχή πληροφοριών σχετικά με ύποπτες κινήσεις σε περιοχές σημασίας. Το θετικό στοιχείο είναι ότι σε αντίθεση με το παρελθόν, όπου τα μέσα ήταν είτε ανύπαρκτα είτε πρωτόγονα κι ανεπαρκή και ήταν απαραίτητη η ανθρώπινη φυσική παρουσία, πλέον υπάρχουν εξελιγμένες κι αποδοτικές μέθοδοι για την επίτευξη του ανωτέρω σκοπού, με μειωμένο κόστος και απασχόληση ανθρώπινου δυναμικού.

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής αποτελεί η κατασκευή και χρήση Αυτόνομων Επίγειων Αισθητήρων. Με τη μέθοδο αυτή, είναι δυνατή η σύνθεση ενός συστήματος δικτύου πολυ-αισθητήρων για την επιτήρηση ολόκληρων περιοχών ή περασμάτων διέλευσης ανθρώπων ή οχημάτων, με πολύ μικρό κόστος. Πρέπει να αναφερθεί ότι η εφαρμογή αυτή χαρακτηρίζεται από ελάχιστες απαιτήσεις σε ανθρώπινο δυναμικό και πρακτικώς μηδαμινή ανάγκη συντήρησης του εξοπλισμού, στις περισσότερες περιπτώσεις. Οι ενεργειακές ανάγκες των υπό εξέταση συστημάτων είναι μικρές κάτι που ευνοεί την εφαρμογή τους σε δύσβατες και απομακρυσμένες περιοχές.

Θα γίνει επιπλέον παρουσίαση πρακτικής εφαρμογής των Αυτόνομων Επίγειων Αισθητήρων, με κατασκευή λειτουργικών δειγμάτων και δημιουργία κατάλληλης εφαρμογής για τη διασύνδεση τους με έναν Ηλεκτρονικό Υπολογιστή, για την παρουσίαση των δεδομένων και την διαπίστωση της αποτελεσματικότητάς τους.

Τέλος, θα παρατεθούν συμπεράσματα και οι παρατηρήσεις από τη χρήση τους και θα προταθούν τρόποι περεταίρω ανάπτυξής τους και πιο αποτελεσματικής χρήσης τους.

1 Abstract

Since ancient times, surveillance and securing of areas, facilities and borders was a very important factor in the welfare and survival of a society. Locations of high economic and strategic importance, villages, city-states and military camps were essentially required to be guarded in some way, from any hostile force. Insufficient security or lack of information on possible intruders could often have catastrophic consequences.

This situation hasn't changed even nowadays, unfortunately, so adequate security, surveillance and collection of information of suspicious movement in proximity to areas of importance are still necessary today and it will probably be for centuries to come. The good news is that unlike what happened in the past, when the surveillance means were inexistent or primitive and inadequate and human presence was necessary, there are nowadays advanced and effective methods that accomplish the above purpose and they manage that with lower cost and less human resources.

The subject of this dissertation is the manufacturing and utilization of Unattended Ground Sensors. By employing this method, the synthesis of a system of a multi-sensors' network becomes possible, for the purpose of surveillance of large areas or human and vehicle passages, with a very low cost. It ought to be mentioned that this application is characterized by minimum requirements in human resources and virtually zero need of equipment maintenance, in most cases. The energy requirement of such a system is also very small, which favors its use in inaccessible or remote areas.

Moreover, a practical application of Unattended Ground Sensors will be presented, by building operational sample Sensors and a computer application for their interconnection with a Computer, in order for the data to be visualized and their effectiveness to be proven.

Finally, conclusions and comments on their utilization will be presented, as well as ways of further improvement and more effective implementation.

2 Εισαγωγή

2.1 Η αξία της πληροφορίας

Πληροφορία είναι η απάντηση στο ερώτημα του τι είναι μια οντότητα, και η απάντηση αυτή καθορίζει την ουσία και τις ιδιότητές της. Είναι δηλαδή το στοιχείο που προσδίδει αξία και σημασία στα πράγματα και διαλύει την αβεβαιότητα. Πιο τεχνικά, είναι μια αλληλουχία συμβόλων, τα οποία αναπαριστούν τμήματα κάποιου μηνύματος. Η Πληροφορία αντιπροσωπεύει «γνώση» και συσχετίζεται με τα δεδομένα, καθώς τα δεδομένα αναπαριστούν τιμές που αντιστοιχούν σε παραμέτρους και ιδιότητες μιας οντότητας και μαζί με τη σημασία ή ερμηνεία τους αποτελούν πληροφορία.

Στα πλαίσια της Φυσικής, η πληροφορία είναι έννοια αντίστροφη της εντροπίας, είναι δηλαδή το μέτρο της «τάξης» κι όχι της αταξίας κι έτσι αύξηση της πληροφορίας συνεπάγεται αύξηση της οργάνωσης με ανάλογη δαπάνη ενέργειας ενώ στην αντίθετη περίπτωση μειώνεται η οργάνωση και απελευθερώνεται ενέργεια. Η πληροφορία είναι απαραίτητη για τη ζωή μας γιατί είναι το μέσο απόκτησης και διατήρησης γνώσης και χωρίς αυτή δε θα ήταν δυνατή η επιβίωσή μας. Χωρίς μετάδοση πληροφορίας είναι αδύνατη η επικοινωνία μεταξύ των έμβιων όντων, με όποιο τρόπο κι αν γίνεται η μετάδοση αυτή και ανεξάρτητα από το πώς η πληροφορία αναπαρίσταται. Με την συλλογή πληροφοριών κατά τη διάρκεια της ζωής του γίνεται ο άνθρωπος σοφότερος και ικανότερος να επιβιώσει καλύτερα, κάνοντας ορθότερες επιλογές και αυξάνεται η αποδοτικότητά του.

Είναι αρκετά σαφής η σημαντικότητα που έχει η πληροφορία, ιδιαίτερα στην σημερινή εποχή, την «Εποχή της Πληροφορίας», όπου στην ουσία αποτελεί πια το πιο ισχυρό νόμισμα, κυριολεκτικά και μεταφορικά, καθώς η αξία της είναι ύψιστη εντός κι εκτός των πλαισίων της οικονομίας.

2.2 Επιτήρηση Εγκαταστάσεων & Συνόρων - Ανίχνευση Εισβολέων

Από τις απαρχές της ανθρωπότητας, σχηματίζονταν κλειστές ομάδες ή κοινωνίες οι οποίες ακόμη κι αν μετακινούνταν συνεχώς ανά τις εποχές, ήταν απαραίτητο να εξασφαλίζουν την περιοχή στην οποία είχαν εγκατασταθεί κάθε φορά, από πολλαπλούς κινδύνους, οπότε ήταν αναγκαία η συλλογή πληροφοριών σχετικά με τα ζώα που υπήρχαν στην περιοχή τους και πλησίον αυτής, τις γειτονικές κοινωνίες αλλά και κινήσεις άλλων ανθρώπινων ομάδων. Ανεπαρκής συλλογή των πληροφοριών αυτών μπορούσε να έχει ολέθρια αποτελέσματα.

Το γεγονός αυτό δεν έχει αλλάξει έως και τα σημερινά χρόνια και πλέον η πληροφορία είναι αναγκαία για την διατήρηση συνόρων των διαφόρων κρατών αλλά και την αποτροπή δολιοφθορών σε διάφορες εγκαταστάσεις ή κλοπών πολύτιμου υλικού. Είναι έτσι από της πιο σημαντικές πληροφορίες αυτή που αφορά την ασφάλεια μιας περιοχής και την παραβίασή της ασφάλειας αυτής από κάποιο άτομο με πιθανόν κακόβουλες προθέσεις.

2.3 Μέθοδοι Επιτήρησης

Μοναδικός τρόπος επιτήρησης μιας περιοχής, μέχρι τον προηγούμενο αιώνα, αποτελούσε η χρήση προσωπικού. Φυσικά με την πάροδο του χρόνου τα μέσα επιτήρησης εξελίσσονταν ή εφευρίσκονταν νέα, όμως βασικό στοιχείο ήταν ο άνθρωπος και τα μέσα απλώς αύξαναν τις δυνατότητες του. Το αρνητικό στοιχείο στην αποκλειστική χρήση «σκοπών» ήταν αφενός το κόστος, ιδιαίτερα όταν επρόκειτο για μία εκτενή περιοχή, καθώς ο κάθε παρατηρητής έπρεπε να αμειφθεί και ο αριθμός τους δεν είναι απεριόριστος αλλά και οι ανθρώπινες αδυναμίες όπως η κόπωση. Σε πολλές περιπτώσεις μάλιστα, ο κίνδυνος της σωματικής ακεραιότητας των παρατηρητών ήταν μεγάλος.

Πλέον, με την ανάπτυξη της τεχνολογίας, υπάρχουν ποικίλα μέσα, τα οποία μπορούν να λειτουργούν αυτόνομα και σχεδόν χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση, παρά μόνο αν υπάρξει σημαντικός λόγος όπως η παραβίαση της ασφάλειας. Ελάχιστο προσωπικό,

ανάλογα με την περίπτωση πιθανόν πάλι να απαιτείται για την εποπτεία του συστήματος ή την επέμβαση σε κατάσταση ανάγκης όμως ο κίνδυνος έχει μειωθεί αρκετά.

Μερικά από τα σύγχρονα συστήματα που επιστρατεύονται στα πλαίσια της ασφάλειας μια περιοχής είναι, κλειστά κυκλώματα παρακολούθησης με κάμερες, Μη Επανδρωμένα Αεροσκάφη και Αυτόνομοι Επίγειοι Αισθητήρες. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής εξετάζεται θεωρητικά αλλά και πρακτικά η χρήση της τελευταίας μεθόδου, ικανής να εκπληρώσει το σκοπό της σε μεγάλο βαθμό, με μικρό κόστος και ανθρώπινη επέμβαση και με τη δυνατότητα να λειτουργήσει συνδυαστικά, δηλαδή στα πλαίσια ενός συστήματος όπου αξιοποιούνται περισσότερες από μία μέθοδοι.

3 Αυτόνομοι Επίγειοι Αισθητήρες

3.1 Περιγραφή

Οι Αυτόνομοι Επίγειοι Αισθητήρες, όπως υποδηλώνει και ο τίτλος τους είναι συσκευές οι οποίες τοποθετούνται σε κατάλληλα, όχι απαραίτητα συγκεκριμένα, σημεία στο έδαφος και περιλαμβάνουν ένα ή περισσότερους τύπους αισθητήρων με σκοπό την επιτήρηση ενός γεωγραφικού σημείου, κάποιας εγκατάστασης, μιας γραμμής (πχ. συνόρων) ή μιας περιοχής και την ανίχνευση και αναγνώριση ανθρώπινης δραστηριότητας, είτε ύποπτης ή παράνομης είτε απλώς για την συλλογή, χρήσιμων για τον ιδιοκτήτη – χρήστη, πληροφοριών. Οι συσκευές αυτές είναι όμως και αυτόνομες, λειτουργούν δηλαδή ανεξαρτήτων καιρικών και περιβαλλοντικών συνθηκών και χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση για μεγάλα σχετικά χρονικά διαστήματα και ανάλογα με την εκάστοτε χρήση τους μπορεί να μη χρειαστούν συντήρηση ή επισυλλογή κατά τη διάρκεια ζωής τους. Κατά το χρόνο λειτουργίας τους, εάν οι αισθητήρες τους ενεργοποιηθούν και γίνει πιθανόν κάποιου είδους ανάλυση της δραστηριότητας που εντοπίστηκε, αποστέλλουν ασύρματα κατάλληλα σήματα σε κάποιο κεντρικό σύστημα συλλογής πληροφοριών, είτε με άμεση σύνδεση είτε μέσω δορυφόρου, «ενημερώνοντας» έτσι τον χρήστη και παρέχοντάς του πληροφορίες άμεσα και χωρίς κόπο ή κάποιο επιπλέον κόστος.

Ο χρόνος ζωής των Αυτόνομων Επίγειων Αισθητήρων αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό τους και εξαρτάται από τις μικροηλεκτρονικές συσκευές που εμπεριέχουν, δηλαδή τους αισθητήρες, τον επεξεργαστή, τον πομποδέκτη και φυσικά την μπαταρία τους. Περισσότεροι αισθητήρες, ισχυρότερος πομποδέκτης και επεξεργαστής ισοδυναμούν με πιο ενεργειοβόρο σύστημα, το οποίο μπορεί βέβαια να ισοφαριστεί με τη χρήση μπαταρίας μεγαλύτερης ενεργειακής χωρητικότητας, όμως σε πολλές περιπτώσεις έχει πολύ μεγάλη σημασία και το βάρος και ο όγκος του συστήματος, οπότε υπάρχουν περιορισμοί στις δυνατότητες τους και φυσικά συνυπολογίζοντας και το κόστος

αντιλαμβανόμαστε ότι είναι αδύνατη η ύπαρξη του τέλει συστήματος, αλλά είναι προσαρμοσμένο στις εκάστοτε απαιτήσεις.



Εικόνα 1. Αυτόνομος Επίγειος Αισθητήρας για στρατιωτική χρήση που προσομοιώνει πέτρα, προϊόν της Αμερικάνικης εταιρίας Lockheed Martin (<https://www.wired.com/2012/05/spy-rock/>)

3.2 Εφαρμογές

Οι Αυτόνομοι Επίγειοι Αισθητήρες έχουν εφευρεθεί αρκετά χρόνια πριν, και έχουν χρησιμοποιηθεί σε απλούστερη και πιο «πρωτόγονη» μορφή από το 1966 στον πόλεμο που πραγματοποίησε η Αμερική στο Βιετνάμ, όπου έχει γίνει ρίψη τέτοιων συστημάτων για επιτήρηση περιοχών υψίστης σημασίας. Βέβαια, οι πρώτοι Αισθητήρες ήταν ουσιαστικά απλοί ακουστικοί ραδιοφωνικοί αναμεταδότες με πολύ μικρές δυνατότητας συγκριτικά με τους σύγχρονους Αισθητήρες, ήταν όμως ικανοί να παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες και να αυξήσουν την ισχύ ενός στρατού.

Σήμερα, εάν εξαιρέσουμε τις μπαταρίες οι οποίες δεν έχουν εξελιχθεί ιδιαίτερα από τότε και η ενεργειακή χωρητικότητά τους έχει μόλις διπλασιαστεί, όλα τα άλλα στοιχεία από τα οποία αποτελείται ένας Αυτόνομος Αισθητήρας έχουν βελτιωθεί σημαντικά, καθιστώντας τους χρήσιμο και αποδοτικό εργαλείο στον τομέα της ασφάλειας και της επιτήρησης. Η ενεργειακή απόδοσή των διαφόρων εξαρτημάτων είναι πλέον αρκετά μεγάλη, η ισχύς των πομποδεκτών και η προστασία τους από παρεμβολές και θόρυβο έχει αναβαθμιστεί, η ποικιλία των διαθέσιμων αισθητήρων αλλά και της ακρίβεια και η εμβέλειά τους έχει αυξηθεί σε μεγάλο βαθμό και ο όγκος των εξαρτημάτων και των κυκλωμάτων έχει μικρύνει δραστικά. Έτσι μπορούν να κατασκευαστούν σήμερα πολυδύναμοι Αισθητήρες με μεγάλη διάρκεια ζωής και με μέγεθος αρκετά μικρό ώστε ο εντοπισμός τους να καθίσταται σχεδόν αδύνατος.



Εικόνα 2. Τοποθέτηση Αισθητήρα σε δασική περιοχή από Αμερικάνο στρατιώτη
(<https://www.wired.com/2012/05/spy-rock/>)

Συγκεκριμένα, στον πόλεμο του Αφγανιστάν, ο οποίος έληξε από το 2014, οι Αμερικάνοι έχουν αφήσει πίσω τους αρκετές «ναρκοθετημένες» γραμμές και περιοχές οι οποίες ακόμη παρακολουθούνται και εξακολουθούν να παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες

σχετικά με ύποπτες κινήσεις. Φυσικά οι συσκευές που εκπληρώνουν τον ανωτέρω σκοπό δεν είναι νάρκες και δεν είναι σε καμία περίπτωση επικίνδυνες, σε αντίθεση με παλιότερους βέβαια πολέμους, όπου ολόκληρες εκτάσεις αποκλείονταν λόγω κινδύνου τραυματισμού ή θανάτου. Επιπλέον οι Αισθητήρες που χρησιμοποίησαν οι Αμερικανικές ένοπλες δυνάμεις είναι εξαιρετικά μικροί σε μέγεθος και πρακτικά αδύνατο να ανευρεθούν και να απενεργοποιηθούν, έχουν ωστόσο αρκετά μεγάλη διάρκεια ζωής για να παρέχουν πληροφορίες για αρκετά χρόνια. Σε μερικές περιπτώσεις αισθητήρες έχουν τοποθετηθεί περιμετρικά η στην εγγύτητα στρατιωτικών εγκαταστάσεων και στρατοπέδων για την έγκαιρη προειδοποίηση από εξωτερικούς κινδύνους. Έτσι, οι απαιτήσεις στην ύπαρξη κατάλληλου προσωπικού για την παροχή ασφάλειας μειώνονται και το προσωπικό διακινδυνεύει λιγότερο.



Εικόνα 3. Επίδειξη «ταφής» ενός Αισθητήρα μικρού μεγέθους στο έδαφος. Η κεραία του είναι απαραίτητο να προεξέχει για να είναι δυνατή η αποστολή σημάτων (<http://innovationmediadesign10.co.za/pathfinder/more-than-an-unattended-ground-sensor-the-evolution-of-e-ugs/>)

Υπάρχουν αρκετές περιοχές που είναι σημαντικό να φυλάσσονται, κάτι το οποίο όμως δυσχεραίνουν περιβαλλοντικές συνθήκες όπως ακραία καιρικά φαινόμενα ή η βλάστηση. Με τη χρήση Αυτόνομων Αισθητήρων τα εμπόδια αυτά υπερπηδούνται με ευκολία και με ένα κλάσμα του κόστους που θα έπρεπε να δαπανηθεί. Μάλιστα, λόγω της διάρκειας ζωής τους, λόγω της εξαιρετικά χαμηλής κατανάλωσής τους, μπορούν να παραμείνουν ενεργοί και λειτουργικοί για μήνες ή και για χρόνια, με αποτέλεσμα η ανάγκη και το κόστος για συντήρηση ή αντικατάσταση ελαχιστοποιείται ή και μηδενίζεται.

Προς το παρόν και απ' όσο είναι γνωστό, καθώς η χρήση των Αυτόνομων Αισθητήρων δεν είναι ακόμη ευρεία και έχει πραγματοποιηθεί κυρίως στα πλαίσια στρατιωτικών επιχειρήσεων, ο αισθητήρας που εμπεριέχουν συνήθως είναι σεισμικός. Όπως θα αναλυθεί και σε επόμενο κεφάλαιο, οι αισθητήρες αυτοί ανιχνεύουν εδαφικές δονήσεις χαμηλής συχνότητας και παρέχουν ένα σημαντικό πλεονέκτημα, αυτό της μεγάλης εμβέλειας καθώς μπορούν να εντοπίσουν και να αναγνωρίσουν κίνηση οχημάτων σε απόσταση μέχρι και 100 μέτρων, και ανθρώπινο βηματισμό σε απόσταση μεγαλύτερη των 50 μέτρων, σε αντίθεση με άλλους αισθητήρες οι οποίοι στην καλύτερη περίπτωση διαθέτουν την μισή εμβέλεια.

Επιπλέον, λόγω της κάλυψης μεγάλων αποστάσεων, οι Αυτόνομοι Αισθητήρες συνήθως δεν δρουν ανεξάρτητα μεταξύ τους, αλλά σχηματίζουν ένα δίκτυο. Κατά τη μετάδοση δηλαδή ενός σήματος, οι εγγύτεροι Αισθητήρες λειτουργούν ως αναμεταδότες, λαμβάνοντας το εκπεμπόμενο σήμα, και επανεκπέμποντας το στη συνέχεια, μέχρι να φτάσει στο κεντρικό σύστημα το οποίο ελέγχει το σύνολο του δικτύου. Αυτό βέβαια δεν είναι απαραίτητο στην περίπτωση που το σύστημα έχει τη δυνατότητα σύνδεσης με δορυφόρο, και έχουν κατασκευαστεί Αισθητήρες με τη δυνατότητα αυτή, όμως το κόστος τους αυξάνεται δραματικά. Βέβαια στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, τουλάχιστον όσον αφορά στρατιωτική χρήση, το κόστος δεν αποτελεί σημαντικό παράγοντα καθώς είναι συνήθως μια ή δυο τάξεις μεγέθους μικρότερο από το κόστος ενός αντιαερματικού ή αντιαεροπορικού πυραύλου.



Εικόνα 4. Απεικόνιση ρίψης Αυτόνομων Επίγειων Αισθητήρων σε γραμμή συνόρων
(Mouzakis D.E.)

Τέλος, γίνεται προσπάθεια και μελέτη από εταιρίες, για το συνδυασμό δικτύων Αυτόνομων Αισθητήρων με Μη Επανδρωμένα Αεροσκάφη. Η αδυναμία των Αυτόνομων αισθητήρων είναι η αποτελεσματική και ακριβής αναγνώριση εισβολέων, δυνατότητα η οποία είναι έμφυτη στα ΜΕΑ με τα οπτικά μέσα και την ταχύτητα και ευελιξία που διαθέτουν. Απ' την άλλη όμως τα ΜΕΑ έχουν πολύ περιορισμένο χρόνο πτήσης και πιθανότατα μεγάλη έκταση να καλύψουν και το κόστος τους είναι αρκετά μεγάλο, οπότε η συνεχής πτήση είναι αδύνατη. Ο συνδυασμός λοιπόν θα μπορούσε να εξαφανίσει τις αδυναμίες που έχουν χωριστά τα δύο αυτά μέσα και να αξιοποιήσει στο έπακρο τις δυνατότητές τους. Δηλαδή, όταν ένας Αισθητήρας ανιχνεύσει ύποπτη δραστηριότητα στην εγγύτητά του, εφόσον ενημερώσει το κεντρικό σύστημα, αυτό με τη σειρά του μπορεί να δώσει εντολή σε ένα ΜΕΑ να κινηθεί ταχέως στο σημείο όπου εντοπίστηκε δραστηριότητα και αφού προσεγγίσει τον στόχο, να καταγράψει με τα οπτικά του μέσα ότι συμβαίνει και να μεταδώσει ζωντανά ή να μεταφέρει τις καταγεγραμμένες εικόνες στην βάση του.

3.3 Λειτουργία

Όπως προαναφέρθηκε στην Παράγραφο 3.1 τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται ένας Αυτόνομος Επίγειος Αισθητήρας είναι:

- α. Ένας ή περισσότεροι ηλεκτρονικοί αισθητήρες
- β. Επεξεργαστής
- γ. Πομποδέκτης
- δ. Μπαταρία
- ε. Άλλα στοιχεία

Οι αισθητήρες αποτελούν το κύριο στοιχείο του συστήματος και είναι τα «μάτια» του, με τα οποία παρατηρεί τον περιβάλλοντα χώρο και αντλεί από αυτόν πληροφορίες. Τα ερεθίσματα τα οποία δέχεται από το περιβάλλον και στα οποία μπορεί να αντιδράσει ο κάθε αισθητήρας ποικίλουν κι έτσι ο κάθε αισθητήρας διαφορετικός. Έτσι, ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας του, ποικίλουν και οι δυνατότητες που διαθέτει ο κάθε αισθητήρας, με αποτέλεσμα κάποιοι να έχουν μεγάλη σχετικά εμβέλεια αλλά μικρή ακρίβεια, άλλοι χρειάζονται «έξυπνη» ανάλυση των δεδομένων που παρέχουν και άλλοι πολύ ισχυρούς επεξεργαστές ή γρήγορους πομποδέκτες για την μεταφορά μεγάλου δεδομένων. Είναι εν τέλει θεμιτή πολλές φορές η χρήση πολλαπλών αισθητήρων σε ένα σύστημα κι ο συνδυασμός των πληροφοριών που παρέχουν, έτσι ώστε να εκμηδενιστούν οι αδυναμίες τους και να ενισχυθούν οι δυνατότητές τους. Σε οποιαδήποτε περίπτωση οι πληροφορίες που παρέχει ο κάθε αισθητήρας μεταφέρονται σε μορφή ηλεκτρονικών σημάτων στον επεξεργαστή του συστήματος.

Ο εγκέφαλος του συστήματος, ο επεξεργαστής, είναι υπεύθυνος για κάθε διεργασία που εκτελείται και εφόσον έχει προγραμματιστεί κατάλληλα, δίνει αυτόματα τις απαιτούμενες εντολές στο σύστημα ώστε αυτό να λειτουργεί σωστά. Τροφοδοτείται από τη μπαταρία όπως και κάθε άλλο στοιχείο και είναι υπεύθυνος για την επεξεργασία των δεδομένων που λαμβάνει από τους αισθητήρες και αν «αποφασίσει» ότι τα δεδομένα αυτά αντιπροσωπεύουν ανθρώπινη δραστηριότητα, δίνει εντολή στον πομποδέκτη να

επικοινωνήσει με το κεντρικό σύστημα με το οποίο συνδέεται ασύρματα και να ενημερώσει για την δραστηριότητα που εντοπίστηκε και αναλόγως των δυνατοτήτων του συστήματος, και τον τύπο της δραστηριότητας (πχ. ανθρώπινο βάδισμα, τροχοφόρο όχημα κλπ.). Η απαιτούμενη επεξεργαστική ισχύ που πρέπει να διαθέτει ο επεξεργαστής εξαρτάται από το πλήθος των αισθητήρων και την επεξεργασία των σημάτων και δεδομένων που πρέπει να εκτελέσει. Σε προηγμένα συστήματα μπορεί να διαθέτει κάποιο είδος Τεχνητής Νοημοσύνης ή να κρυπτογραφήσει τα δεδομένα που πρόκειται να αποσταλούν και κατά συνέπεια οι απαιτήσεις είναι αυξημένες.

Έπειτα, έχουμε τον πομποδέκτη, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την μετάδοση και τη λήψη πληροφοριών από το κεντρικό σύστημα το οποίο χειρίζεται κάποιος άνθρωπος και δρα αναλόγως των εισερχόμενων πληροφοριών. Αποτελεί το στόμα και τα αυτιά του συστήματος και «συνομιλεί» με το κεντρικό σύστημα. Δέχεται τα επεξεργασμένα δεδομένα που του παρέχει ο επεξεργαστής και τα αποστέλλει άμεσα και σε μεγάλες αποστάσεις στο κεντρικό σύστημα. Επιπλέον, αν και πολλές φορές δεν είναι απαραίτητο, μπορεί να λάβει πληροφορίες από το κεντρικό σύστημα με σκοπό τη διαπίστωση της καλής λειτουργίας του ή την ρύθμισή του. Σε προηγμένους Αυτόνομους Αισθητήρες, μπορεί να έχει τη δυνατότητα να συνδέεται και να επικοινωνεί με το κεντρικό σύστημα μέσω δορυφόρου με αποτέλεσμα να έχει θεωρητικά απεριόριστη εμβέλεια επικοινωνίας.

Τελευταίο στοιχείο του συστήματος, το οποίο αποτελεί και την καρδιά του, είναι η μπαταρία. Η μπαταρία τροφοδοτεί με ενέργεια όλο το κύκλωμα και αναλόγως των δυνατοτήτων, της ισχύς του συστήματος και του επιθυμητού χρόνου ζωής, έχει μεγαλύτερη ή μικρότερη ενεργειακή χωρητικότητα. Το σύστημα είναι αυτονόητο ότι πρέπει να είναι σε διαρκή λειτουργία, οπότε η μπαταρία μπορεί να εξαντληθεί γρήγορα εάν το σύστημα δεν είναι ενεργειακά βελτιστοποιημένο και αν η μπαταρία δεν εμπεριέχει αρκετή ενέργεια για τον σκοπό που προορίζεται το σύστημα. Είναι δυνατό φυσικά να είναι επαναφορτιζόμενη, όμως για την φόρτισή της απαιτούνται επιπλέον στοιχεία που θα μπορούν με κάποιο τρόπο να συλλέγουν ενέργεια από το περιβάλλον και να τη μεταφέρουν στη μπαταρία.

Οι Αυτόνομοι Επίγειοι Αισθητήρες πέρα από τα τέσσερα βασικά στοιχεία που περιγράφηκαν, είναι δυνατό ή και θεμιτό να περιλαμβάνουν και άλλα στοιχεία για την υποστήριξη της λειτουργίας τους. Ένα από αυτά είναι φωτοβολταϊκά πάνελ μικρών διαστάσεων, που σκοπό έχουν την επαναφόρτιση της μπαταρίας, έτσι ώστε να παραταθεί ο χρόνος ζωής του συστήματος. Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο ή και περισσότεροι πομποδέκτες, παρέχοντας στο σύστημα επικοινωνία σε διαφορετικά φάσματα συχνοτήτων.

4 Αισθητήρες

4.1 Γενικά

Αισθητήρας είναι κάθε συσκευή η οποία αντιδρά σε κάποιο εξωτερικό ερέθισμα ή σε κάποια μεταβολή ιδιοτήτων της κατάστασης του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται και έχει τη δυνατότητα να μεταδώσει την πληροφορία αυτή, ώστε να χρησιμοποιηθεί σε κάποιο σύστημα.

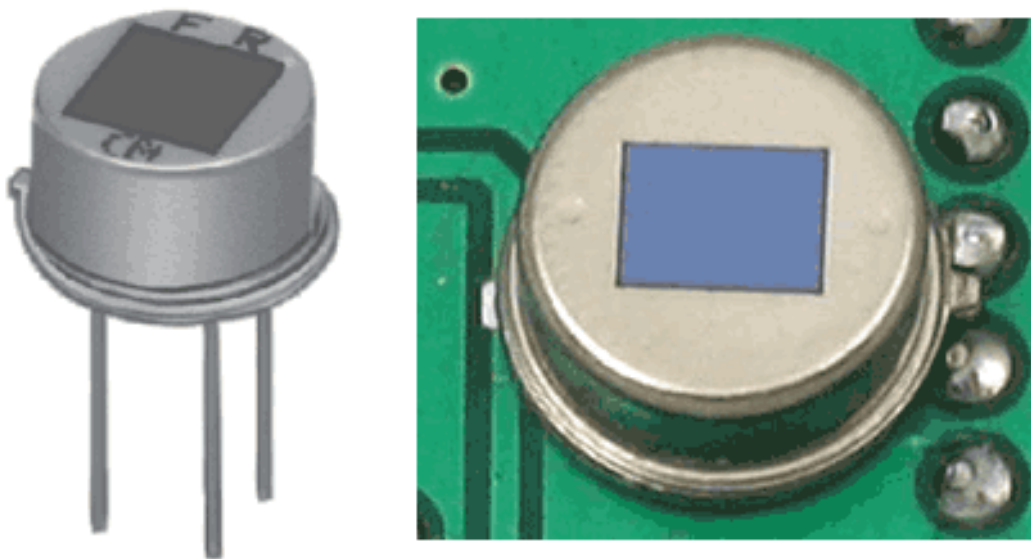
Όταν αναφερόμαστε σε ηλεκτρονικά κυκλώματα, οι αισθητήρες συνήθως μετρούν κάποια ιδιότητα του περιβάλλοντος τους όπως θερμοκρασία, επίπεδο φωτεινότητας, απόσταση κλπ. Έπειτα, έχουν τη δυνατότητα να μεταφέρουν την πληροφορία που έχουν αποκτήσει στο υπόλοιπο κύκλωμα το οποίο πιθανόν με χρήση κάποιου επεξεργαστή θα εκτελέσει κάποια ενέργεια ανάλογα με το σήμα που δέχτηκε. Με λίγα λόγια οι αισθητήρες είναι τα εξαρτήματα – συσκευές οι οποίες δίνουν ζωή σε ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα και το καθιστούν ικανό να αλληλοεπιδράσει με το περιβάλλον και να φερθεί σαν ζωντανός ευφυής οργανισμός παίρνοντας αποφάσεις ανάλογα με την κατάσταση του περιβάλλοντός του.

Στην περίπτωση των Αυτόνομων Επίγειων Αισθητήρων, προεκτείνουν τις δικές μας αισθήσεις και μας δίνουν τη δυνατότητα να παρατηρήσουμε μακρύτερα απ' την εμβέλεια των δικών μας αισθήσεων ώστε να έχουμε την επιλογή λήψης αποφάσεων, χωρίς κόπο, την οποία επιλογή δε θα είχαμε διαφορετικά, ή το κόστος σε κόπο, χρόνο ή προσωπικό θα ήταν πολύ μεγαλύτερο.

Παρακάτω, εξετάζονται οι πιο βασικοί αισθητήρες που μπορούν να εξυπηρετήσουν τον σκοπό που αναφέρθηκε.

4.2 Πυροηλεκτρικοί (PIR)

Οι αισθητήρες αυτοί μετρούν το ποσό υπέρυθρης ακτινοβολίας που δέχονται από το περιβάλλον τους και τα αντικείμενα που βρίσκονται σε αυτό, εφόσον αυτά βρίσκονται στο πεδίο παρατήρησής τους. Είναι παθητικοί αισθητήρες διότι δεν εκπέμπουν κάποιου είδους ακτινοβολία για να επιτύχουν το σκοπό τους αλλά η υπέρυθρη ακτινοβολία που απορροφούν τα διεγείρει με αποτέλεσμα να προκληθούν ανάλογες διακυμάνσεις στην τάση εξόδου τους οι οποίες μπορούν να ανιχνευθούν και να μετρηθούν και εφόσον ξεπερνούν κάποιο όριο, γνωρίζουμε ότι συνέβη κίνηση κάποιου αντικειμένου. Ουσιαστικά, οι αισθητήρες αυτοί λαμβάνουν διαρκώς το υπέρυθρο αποτύπωμα του περιβάλλοντός τους και σε περίπτωση που το αποτύπωμα αυτό μεταβληθεί αντιλαμβάνονται την κίνηση αντικειμένων, χωρίς να μπορούν να ξεχωρίσουν τι είδους αντικείμενο κινήθηκε. ^[4]

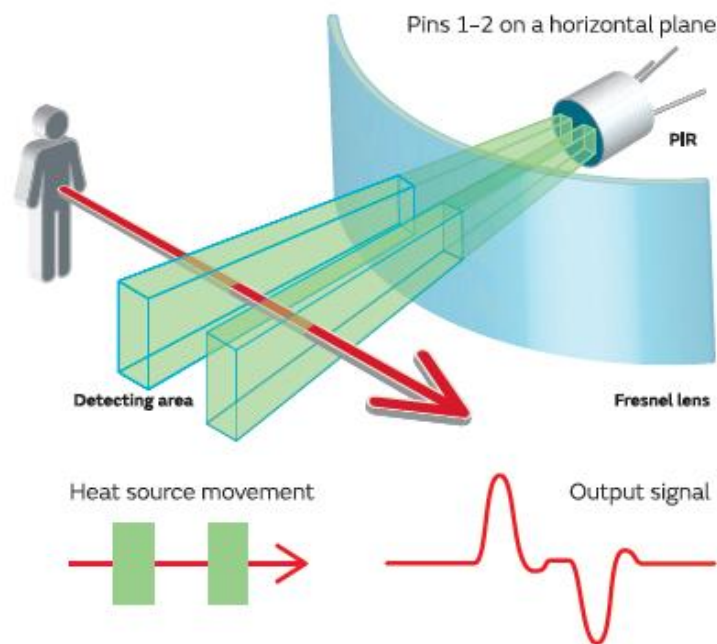


Εικόνα 5. Ένας τυπικός πυροηλεκτρικός αισθητήρας



Εικόνα 6. Ολοκληρωμένη συσκευή εφοδιασμένη με πυροηλεκτρικό αισθητήρα, με προσαρμοσμένο φακό Φρενέλ

Συνήθως, χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με φακούς Φρενέλ (Fresnel) οι οποίοι κατακερματίζουν την επιφάνειά τους σε πολλές μικρές περιοχές ή ζώνες, βελτιώνοντας δραματικά την δυνατότητά τους να αντληφθούν μεταβολές στην υπέρυθρη ακτινοβολία που προσκρούει στον αισθητήρα. Η εμβέλειά τους είναι σχετικά μικρή, μέχρι 10μ και η μεγαλύτερη αδυναμία τους είναι ότι δεν μπορούν να λειτουργούν με αξιοπιστία υπό το ηλιακό φως. Το φως του ηλίου καθώς εμπεριέχει μεγάλα ποσά υπέρυθρης ακτινοβολίας απορροφάται φυσικά από τον αισθητήρα, προκαλώντας όμως κορεσμό με αποτέλεσμα να τον καθιστά ανίκανο να αντληφθεί μεταβολές στο επίπεδο της απορροφούμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας. Έτσι οι αισθητήρες αυτοί χρησιμοποιούνται είτε σε κλειστούς ή εσωτερικούς χώρους είτε σε εξωτερικούς, με κατάλληλη κάλυψη όμως από τον ήλιο και την οπτική επαφή με αυτόν.

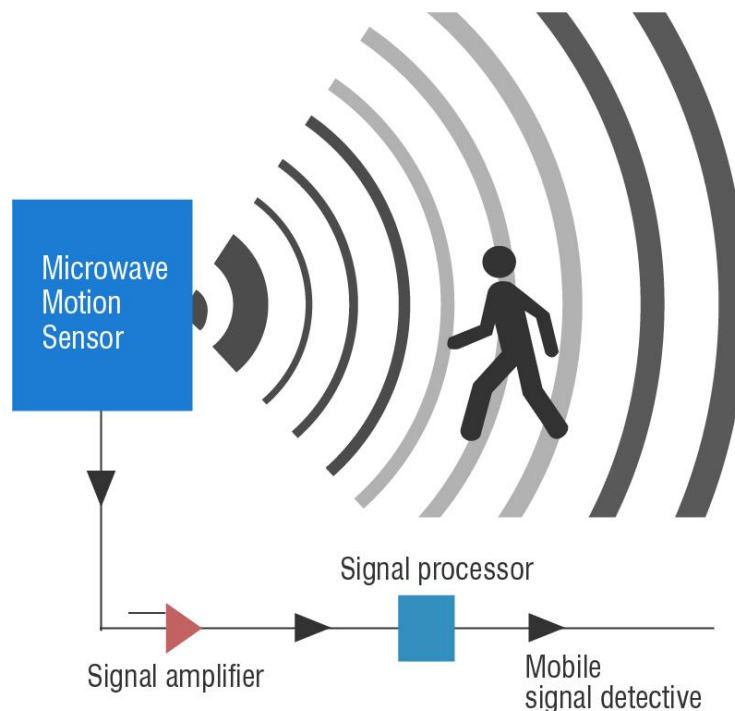


Εικόνα 7. Αναπαράσταση της λειτουργίας ενός πυροηλεκτρικού αισθητήρα

4.3 Μικροκυματικοί - Ραντάρ (Microwave Radar)

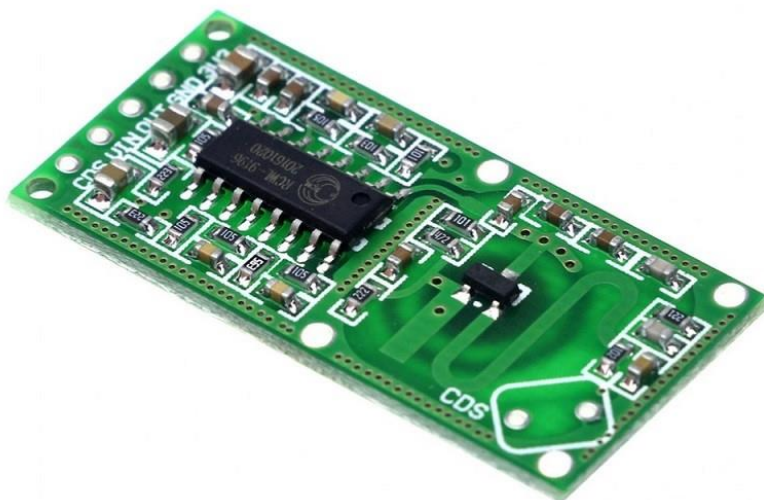
Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι αισθητήρες αυτοί οι οποίοι για να ανιχνεύσουν κίνηση βασίζονται στην εκπομπή και λήψη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και στο φαινόμενο Doppler. Στην ουσία αποτελούν μια απλοποιημένη μορφή ραντάρ μικρών διαστάσεων, το οποίο εκπέμπει συνεχώς ακτινοβολία η οποία αφού προσκρούσει σε αντικείμενα στο χώρο πλησίον του αισθητήρα, ανακλάται και επιστρέφει πίσω στον αισθητήρα από τον οποίο απορροφάται. Βασικό στοιχείο στο οποίο στηρίζεται η λειτουργία του αισθητήρα είναι το φαινόμενο Doppler, η μεταβολή δηλαδή της συχνότητας ενός κύματος το οποίο προσκρούει σε ένα κινούμενο αντικείμενο. Έτσι ένας μικροκυματικός αισθητήρας εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικά κύματα, τα οποία αφού ανακλαστούν σε κινούμενα αντικείμενα, επιστρέφουν στον αισθητήρα έχοντας λίγο διαφορετική συχνότητα από αυτή που είχαν όταν εκπέμφθηκαν. Εξαιτίας της διαφοράς αυτής στη συχνότητα, ο αισθητήρας «αντιλαμβάνεται» την κίνηση ενός αντικειμένου, μέσα φυσικά στην ακτίνα δράσης του. Η ακτίνα αυτή εξαρτάται από την ισχύ εκπομπής

του αισθητήρα και δεν είναι αυστηρά καθορισμένη αλλά επηρεάζεται από το περιβάλλον και τις συνθήκες του.



Εικόνα 8. Απεικόνιση της λειτουργίας ενός μικροκυματικού αισθητήρα

Το βασικό κύκλωμα των μικροκυματικών αισθητήρων συνήθως αποτελείται από τον ολοκληρωμένο κύκλωμα του πομποδέκτη, έναν ενισχυτή και την κεραία η οποία είναι τυπωμένη στην πλακέτα για ελαχιστοποίηση του όγκου που καταλαμβάνει ο αισθητήρας. Ο πομποδέκτης είναι υπεύθυνος για την εκπομπή των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων καθώς και της λήψης των ανακλώμενων κυμάτων μέσω της κεραίας, η οποία είναι κατασκευασμένη ώστε να έχει ιδιοσυχνότητα ίση με την συχνότητα εκπομπής του πομποδέκτη. Τέλος, ο ενισχυτής αυξάνει την ισχύ της λαμβανόμενης ακτινοβολίας για να είναι πιο εύκολο να αναλυθεί.



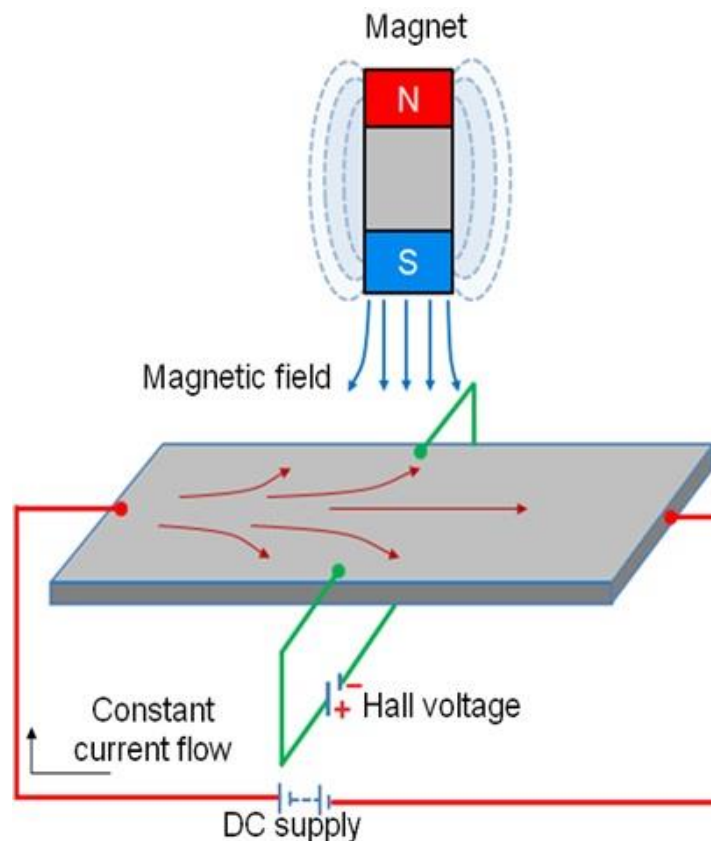
Εικόνα 9. Το εσωτερικό ενός μικροκυματικού αισθητήρα – ανιχνευτή κίνησης



Εικόνα 10. Ένας τυπικός μικροκυματικός αισθητήρας του εμπορίου

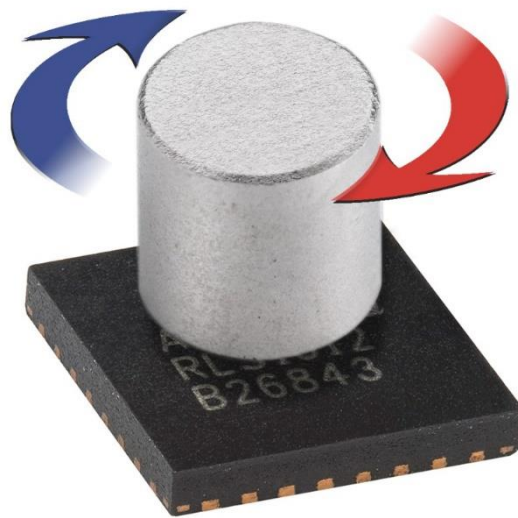
4.4 Μαγνητικοί (Magnetic / Gauss sensors)

Οι μαγνητικοί αισθητήρες είναι μικροηλεκτρομηχανικοί αισθητήρες οι οποίοι έχουν την ικανότητα να μετρούν την ένταση του μαγνητικού πεδίου στο οποίο εκτίθενται. Οι περισσότεροι από αυτούς λειτουργούν ανιχνεύοντας και μετρώντας την επίδραση της δύναμης Lorentz που αναπτύσσεται. Η αρχή λειτουργίας τους φαίνεται στην εικόνα. Όταν ένας αγωγός διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, υπό την επίδραση μαγνητικού πεδίου, η ροή των ηλεκτρονίων διαταράσσεται με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερη συγκέντρωση ηλεκτρικού φορτίου σε κάποια περιοχή του αγωγού σε σχέση με άλλες. Αυτή η διαφορά ηλεκτρικού φορτίου συνεπάγεται διαφορά δυναμικού, δηλαδή ηλεκτρική τάση, η οποία είναι δυνατό να μετρηθεί και είναι ανάλογη με την ένταση του μαγνητικού πεδίου το οποίο επιδρά στον αγωγό. ^[1]



Εικόνα 11. Η αρχή λειτουργίας ενός μαγνητικού αισθητήρα

Μια απλή χρήση των μαγνητικών αισθητήρων είναι σε ηλεκτρονικές πυξίδες, οι οποίες βέβαια περιλαμβάνουν συνήθως τσιπ τρισδιάστατου μαγνητικού αισθητήρα, δηλαδή πολλαπλού αισθητήρα, ο οποίος αποτελείται από τρεις αισθητήρες τοποθετημένων σε τρεις άξονες αντίστοιχα, κάθετους μεταξύ τους. Έτσι μπορούν να υπολογίζουν την κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου της γης ανεξάρτητα από την διάταξη της πυξίδας στο χώρο.



Εικόνα 12. Το τσιπ αυτό είναι ένα μοντέλο μαγνητικού αισθητήρα του εμπορίου με επιφάνεια μόλις $3 \times 3 \text{ mm}^2$

Ένα στοιχείο των μαγνητικών αισθητήρων είναι ότι οι μετρήσεις τους επηρεάζονται από την ύπαρξη φερομαγνητικών υλικών έμμεσα, καθώς τα φερομαγνητικά υλικά διαστρεβλώνουν τα μαγνητικά πεδία στα οποία βρίσκονται. Στην περίπτωση βέβαια μιας πυξίδας αυτό είναι ανεπιθύμητο φαινόμενο και έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι για την αντιμετώπισή του ή την εφαρμογή διορθώσεων ώστε τα αποτελέσματα που εξάγονται από τον αισθητήρα να μην περιέχουν σφάλματα. Όμως στην περίπτωση των Αυτόνομων Αισθητήρων, ή γενικότερα εάν ο σκοπός χρήσης ενός μαγνητικού αισθητήρα είναι η ανίχνευση ύπαρξης ξένων αντικειμένων σε μια περιοχή, το φαινόμενο αυτό είναι θεμιτό

και εκμεταλλεύσιμο διότι εάν σε κάποια χρονική στιγμή, οι μετρήσεις ενός μαγνητικού αισθητήρα αλλάξουν, ενώ φυσικά ο αισθητήρα παραμένει στατικός, σημαίνει ότι κάποιο αντικείμενο το οποίο περιέχει φερομαγνητικά υλικά, όπως ο σίδηρος και το ατσάλι, έχει εισέλθει στην ακτίνα ανίχνευσης του αισθητήρα. Η διαστρέβλωση έτσι του μαγνητικού πεδίου πλησίον του αισθητήρα είναι ένδειξη ότι κάποιο όχημα για παράδειγμα έχει πλησιάσει αρκετά τον αισθητήρα ώστε να προκαλέσει μεταβολή στις μετρήσεις του.

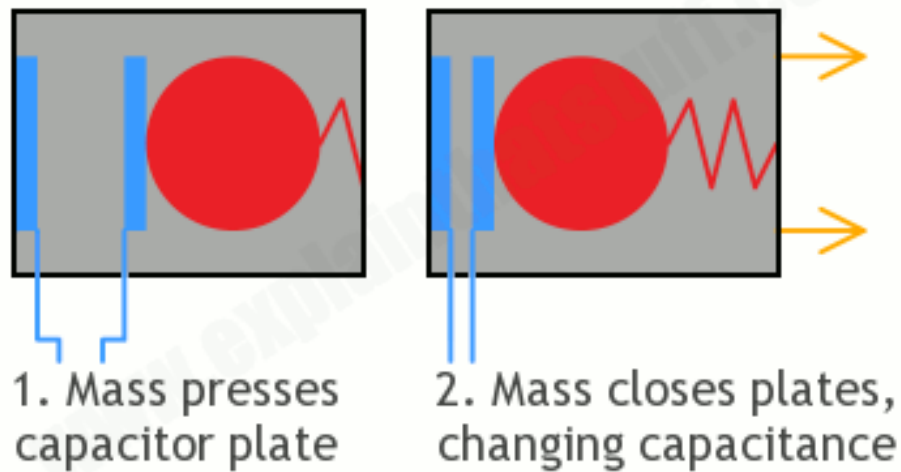
4.5 Επιταχυνσιόμετρα (Accelerometers)

Τα επιταχυνσιόμετρα είναι συσκευές οι οποίες έχουν την ικανότητα να μετρούν την επιτάχυνση την οποία αποκτά το αντικείμενο στο οποίο είναι τοποθετημένα, όταν ασκείται σε αυτά κάποια εξωτερική δύναμη. Ειδική περίπτωση αποτελεί η βαρύτητα σε ένα σώμα το οποίο εκτελεί ελεύθερη πτώση, όπου το επιταχυνσιόμετρο θα μας έδινε μηδενική μέτρηση καθώς η βαρύτητα σε αυτή την περίπτωση ασκείται και στο επιταχυνσιόμετρο και στο σύστημα αναφοράς του κι έτσι η σχετική επιτάχυνση είναι μηδενική.

Τα επιταχυνσιόμετρα μπορούν έτσι να υπολογίζουν ταλαντώσεις ακόμη κι αν αυτές δεν έχουν επίκεντρο την ίδια τη συσκευή και για το λόγο αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε Αυτόνομους Αισθητήρες, καθώς κάποιο αντικείμενο που προσεγγίζει τον Αισθητήρα θα προκαλέσει ταλαντώσεις στο έδαφος οι οποίες θα μεταφερθούν και στο επιταχυνσιόμετρο.

Τα επιταχυνσιόμετρα είναι συνήθως χωρητικά και η αρχή λειτουργίας τους μπορεί να αναπαρασταθεί με μια μικρή σφαιρική μάζα μέσα σε ένα κυτίο, με το οποίο συνδέεται με ένα ελατήριο, θεωρώντας ότι το επιταχυνσιόμετρο λειτουργεί σε έναν άξονα κίνησης. Τότε σε περίπτωση που ασκείται στο κυτίο κάποια δύναμη, τότε αυτό επιταχύνεται με επιτάχυνση που μας δίνεται από το 2^ο Νόμο του Νεύτωνα ίση με τη δύναμη που ασκείται προς τη μάζα του.

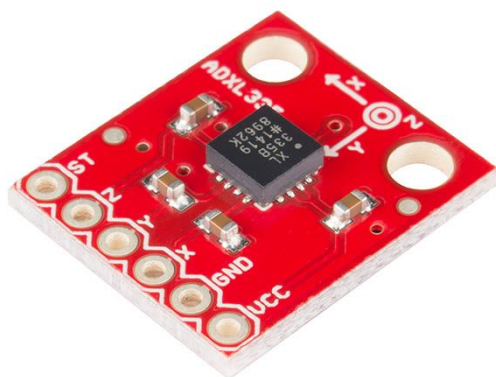
Capacitive accelerometer



Εικόνα 13. Απεικόνιση της λειτουργίας ενός χωρητικού επιταχυνσιόμετρου

Η σφαίρα όμως στο εσωτερικό του, λόγω αδράνειας, θα αντισταθεί στην επιτάχυνση αυτή και το ελατήριο που την συνδέει με το κυτίο θα συσταλεί ή θα διασταλεί ανάλογα με τη συνιστώσα του διανύσματος της επιτάχυνσης στο άξονα του επιταχυνσιόμετρου. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα ο πυκνωτής που σχηματίζεται μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας της σφαίρας και του κυτίου να έχει μια συγκεκριμένη χωρητικότητα, πάντα ανάλογη με την επιτάχυνση που υφίσταται το κυτίο. Μετρώντας λοιπόν ο αισθητήρας την χωρητικότητα του πυκνωτή αυτού, μετρά έμμεσα την επιτάχυνση.

Τα επιταχυνσιόμετρα βέβαια πλέον έχουν πιο πολύπλοκη κατασκευή και είναι γενικά μικρο-ηλεκτρο-μηχανικά (Micro-Electro-Mechanical - MEM), δηλαδή αποτελούν συνδυασμό μηχανικών κινητών μερών πολύ μικρών διαστάσεων και ηλεκτρικού κυκλώματος, κι έτσι μπορούν και κατασκευάζονται επιταχυνσιόμετρα με όγκο λίγων κυβικών χιλιοστών με μορφή μικροτσιπ. Η λειτουργία τους φαίνεται στην εικόνα.



Εικόνα 14. Ένα κοινό MEMS επιταχυνσιόμετρο του εμπορίου

4.6 Σεισμικοί αισθητήρες (Seismic Sensors / Geophones)

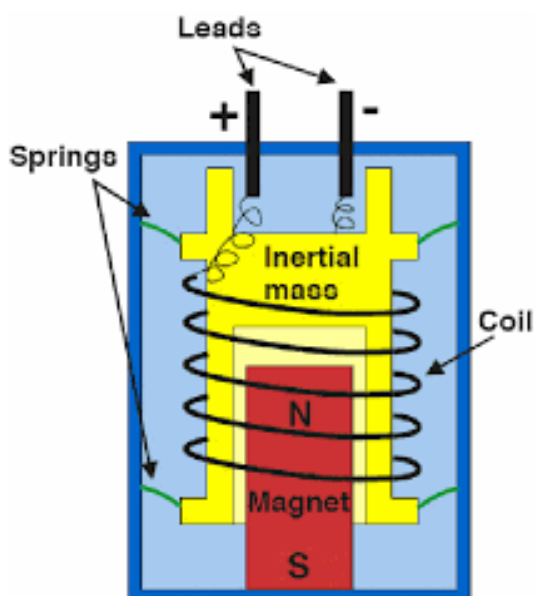
Οι αισθητήρες αυτοί παίρνουν το όνομά τους από τον αρχικό σκοπό κατασκευής τους, την ανίχνευση σεισμικών δονήσεων. Κατά την μετακίνηση τεκτονικών πλακών προκαλούνται πολύ χαμηλής συχνότητας ταλαντώσεις οι οποίες μπορούν να ανιχνευθούν από τους αισθητήρες αυτούς. Είναι πάρα πολύ ευαίσθητοι και μπορούν να ανιχνεύσουν ταλαντώσεις πολύ μικρού πλάτους είτε γιατί σεισμική δραστηριότητα είναι πολύ ασθενής είτε γιατί είναι σε μεγάλη απόσταση από τον αισθητήρα.

Παράλληλα όμως και λόγω της μεγάλης ευαισθησίας τους, οι σεισμικοί αισθητήρες μπορούν να ανιχνεύσουν κίνηση αντικειμένων στο έδαφος και μάλιστα πολύ καλύτερα από τα επιταχυνσιόμετρα που περιγράφηκαν προηγουμένως.

Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται συχνά στην κατασκευή Αυτόνομων Αισθητήρων, δίνοντας τους την δυνατότητα να ανιχνεύσουν εδαφική κίνηση όπως βήματα ή κίνηση τροχοφόρου οχήματος, από απόσταση 100 μέτρων, αυξάνοντας έτσι δραματικά την ακτίνα ανίχνευσης κίνησης ενός Αισθητήρα.

Η αρχή λειτουργίας των αισθητήρων αυτών, όπως φαίνεται και στην εικόνα, στηρίζεται στο φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Μία μάζα με ένα πηνίο είναι

ελεύθερα να κινούνται σε κάποιον άξονα και στον ίδιο άξονα υπάρχει ένας μαγνήτης κολλημένος στο κυτίο που περιέχει όλο το σύστημα. Σε περίπτωση που υπάρξει ικανή δόνηση, το κυτίο με το μαγνήτη θα πραγματοποιήσουν με τη σειρά τους ταλάντωση, πιθανόν εξαιρετικά μικρού πλάτους, η οποία όμως θα αναγκάσει το πηνίο λόγω επαγωγής να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο με κατάλληλους μηχανισμούς μπορεί να ενισχυθεί και να μετρηθεί, με αποτέλεσμα να ανιχνευθεί η δόνηση. Λόγω κατασκευής οι σεισμικοί αισθητήρες έχουν σχετικά μεγάλο μέγεθος και δεν είναι τόσο ευέλικτοι όσο οι υπόλοιποι αισθητήρες. ^[6]



Εικόνα 15. Απεικόνιση της λειτουργίας ενός σεισμικού αισθητήρα

Επιπλέον, έχουν γενικά μεγάλο κόστος, το οποίο φυσικά είναι ανάλογο με την ποιότητα υλικών και κατασκευής, την αντοχή τους στις καιρικές συνθήκες αλλά και με την ευαισθησία τους.



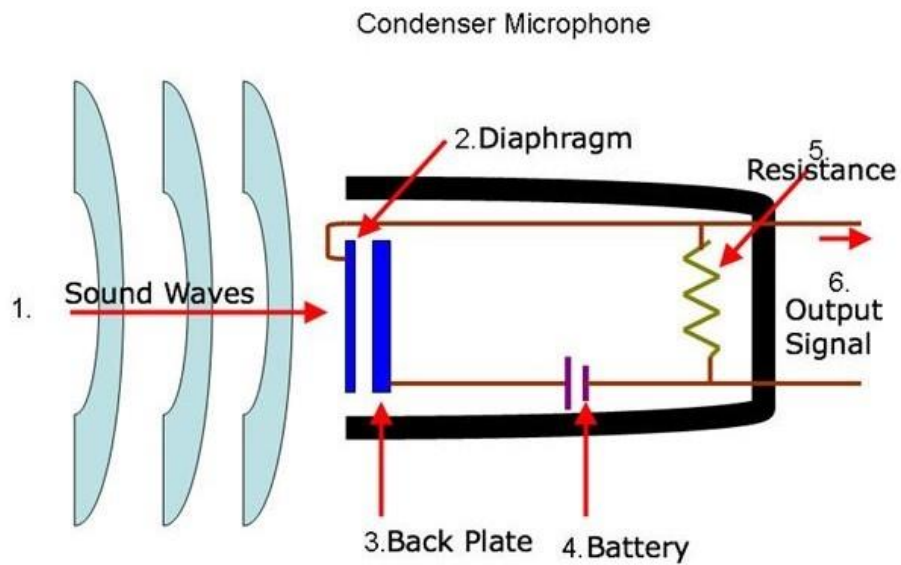
Εικόνα 16. Ένας τυπικός σεισμικός αισθητήρας του εμπορίου

4.7 Ηχητικοί - Μικρόφωνα (Microphones)

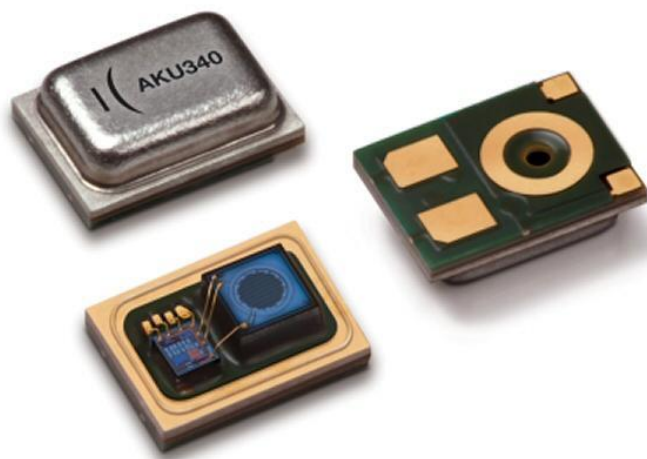
Το μικρόφωνο είναι μια συσκευή η οποία μπορεί να μετατρέπει τον ήχο σε ηλεκτρικά σήματα. ^[2] Είναι ευρέως διαδεδομένη και χρησιμοποιείται σε κάθε σύγχρονη συσκευή επικοινωνίας όπως στις συσκευές τηλεφώνου κινητές και μη κλπ. Ένα μικρόφωνο έχει την ικανότητα να απορροφά τα διαμήκη κύματα που δημιουργεί στον αέρα ο ήχος και στην έξοδό του να παράγει ένα αντίστοιχο ηλεκτρικό σήμα. Συνήθως τα μικρόφωνα είναι χωρητικά, δηλαδή βασίζονται στην ιδέα ενός μεταβλητού πυκνωτή ο οποίος σχηματίζεται από μια στατική μεταλλική πλάκα στο εσωτερικό του μικροφώνου και μια κινητή η οποία απομακρύνεται ή πλησιάζει την στατική ανάλογα με τα διαμήκη κύματα που προσκρούουν σε αυτή. Ουσιαστικά το κύκλωμα μετράει την χωρητικότητα του πυκνωτή αυτού και το σήμα εξόδου είναι ανάλογο με την συχνότητα και την ένταση του ήχου που φτάνει στο μικρόφωνο.

Στην περίπτωση των Αυτόνομων Αισθητήρων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση «μη συνηθισμένων» ήχων, όπως ομιλία, τον ήχο από τη λειτουργία μιας

μηχανής τροχοφόρου κλπ., με τη βοήθεια φυσικά κατάλληλης επεξεργασίας σήματος και φίλτρων.



Εικόνα 17. Η αρχή λειτουργίας ενός χωρητικού μικροφώνου



Εικόνα 18. Εμπορικά μικρόφωνα επιφανείας SMD, τα οποία χρησιμοποιούνται σε μικροσυσκευές



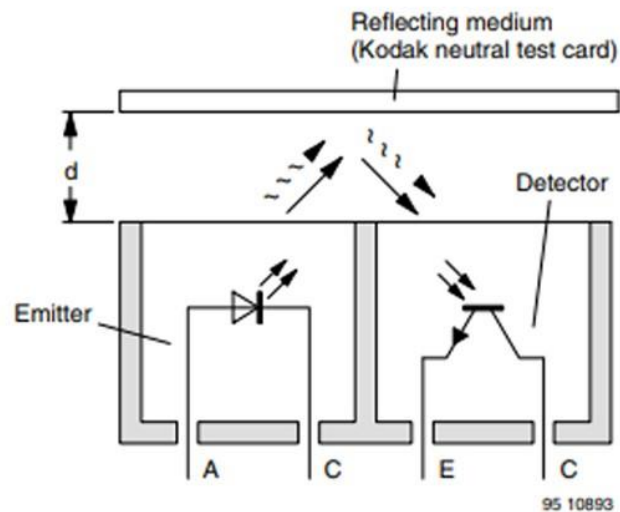
Εικόνα 19. Ένα τυπικό χωρητικό μικρόφωνο του εμπορίου

4.8 Οπτικοί (Optical)

Οι οπτικοί ή αλλιώς φωτοηλεκτρικοί αισθητήρες μπορούν να αντιληφθούν την απουσία ή την ύπαρξη αντικειμένων στην εγγύτητά τους ή ακόμη και να εκτιμήσουν την απόσταση από κάποιο αντικείμενο. Αποτελούνται από δύο βασικά στοιχεία, μία δίοδο εκπομπής φωτός, συνήθως στο υπέρυθρο φάσμα, και μια φωτοδίοδο ή φωτοτρανζίστορ τα οποία έχουν το ρόλο του δέκτη της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. ^[5]

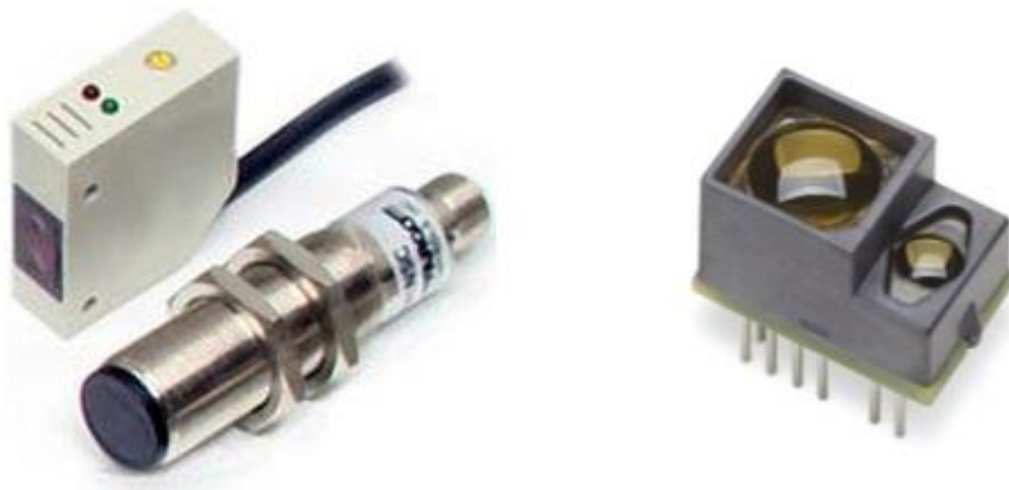
Όπως φαίνεται και στην εικόνα, τα δύο στοιχεία είναι συνήθως διατεταγμένα παράλληλα. Η δίοδος εκπέμπει ακτινοβολία η οποία, εφόσον ανακλαστεί σε κάποιο αντικείμενο επιστρέφει και απορροφάται από τη φωτοδίοδο ή το φωτοτρανζίστορ κι έτσι ο αισθητήρας «αντιλαμβάνεται» την ύπαρξη του αντικειμένου. Το αντικείμενο φυσικά θα πρέπει να βρίσκεται στην κατεύθυνση εκπομπής της δίοδου και σε απόσταση μεταξύ κάποιων ορίων τα οποία καθορίζονται από την κατασκευή του αισθητήρα, δηλαδή το είδος και το μοντέλο των εξαρτημάτων καθώς και της ισχύος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. Όπως φαίνεται και στην εικόνα, τα δύο στοιχεία είναι συνήθως διατεταγμένα παράλληλα. Η δίοδος εκπέμπει ακτινοβολία η οποία, εφόσον ανακλαστεί

σε κάποιο αντικείμενο επιστρέφει και απορροφάται από τη φωτοδίοδο ή το φωτοτρανζίστορ κι έτσι ο αισθητήρας «αντιλαμβάνεται» την ύπαρξη του αντικειμένου. Το αντικείμενο φυσικά θα πρέπει να βρίσκεται στην κατεύθυνση εκπομπής της δίοδου και σε απόσταση μεταξύ κάποιων ορίων τα οποία καθορίζονται από την κατασκευή του αισθητήρα, δηλαδή το είδος και το μοντέλο των εξαρτημάτων καθώς και της ισχύος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας.



Εικόνα 20. Απεικόνιση της λειτουργίας του οπτικού αισθητήρα. Αριστερά φαίνεται η φωτοδίοδος που εκπέμπει την ακτινοβολία και δεξιά το φωτοτρανζίστορ που τη λαμβάνει

Οι οπτικοί αισθητήρες καταναλώνουν γενικά πολύ μικρή ισχύ όμως έχουν περιορισμούς. Έχουν μικρό πεδίο παρατήρησης διότι μπορούν να ανιληφθούν αντικείμενα μόνο σε ένα πολύ στενό κωνικό χώρο στην κατεύθυνση εκπομπής τους, η απόσταση ανίχνευσης είναι σχετικά μικρή καθώς η εκπεμπόμενη ακτινοβολία διαχέεται στο χώρο και εξασθενεί και τέλος οποιοδήποτε εμπόδιο, σε μικρή απόσταση από αυτούς, τους καθιστά ανίκανους να ανιληφθούν κάποιο αντικείμενο.

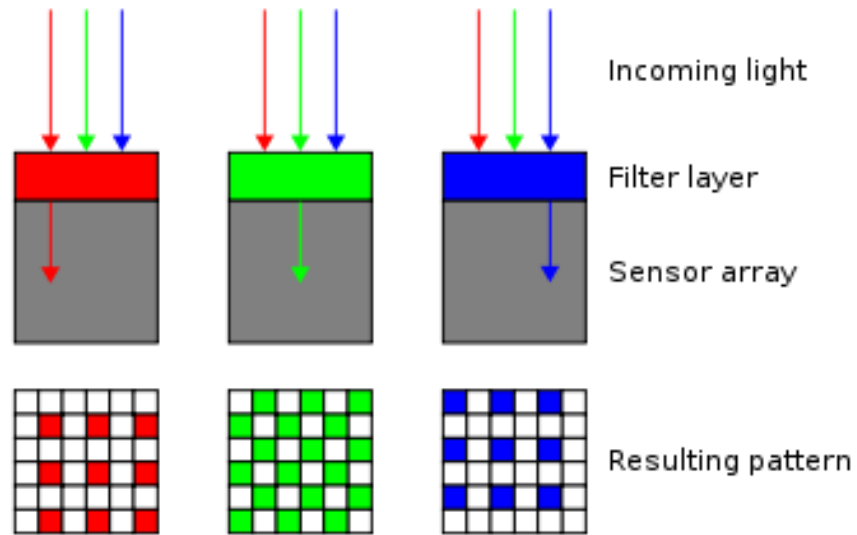


Εικόνα 21. Οπτικοί αισθητήρες του εμπορίου. Αριστερά, η φωτοδίοδος και το φωτοτρανζίστορ είναι δύο ξεχωριστές συσκευές. Δεξιά, ένας κοινός οπτικός αισθητήρας.

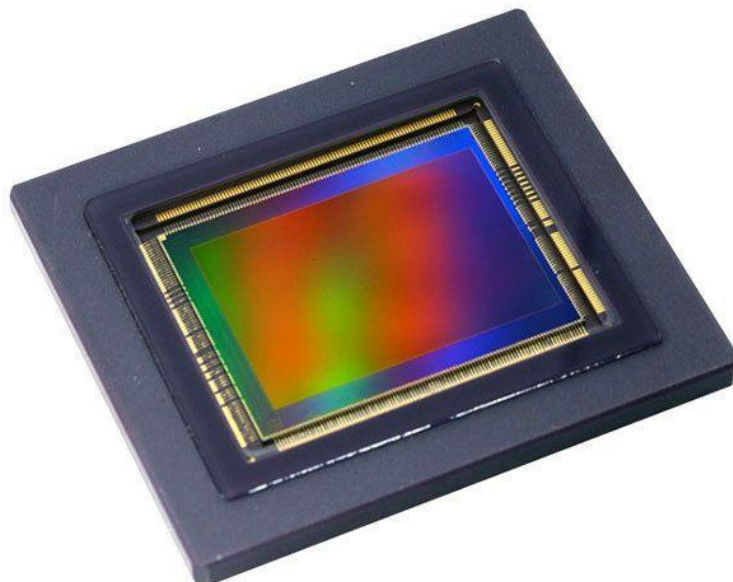
4.9 Αισθητήρες εικόνας (Image sensors)

Οι αισθητήρες αυτοί ανιχνεύουν και μετατρέπουν την χρωματική πληροφορία του φωτός που απορροφούν σε ηλεκτρικά σήματα. ^[3] Διαθέτουν πολλαπλά στοιχεία στην επιφάνειά τους τα οποία ανάλογα με τον αριθμό τους προσδίδουν μεγαλύτερη ή μικρότερη ανάλυση της εικόνας που μπορούν να αποθηκεύσουν. Κάθε στοιχείο απορροφά διαφορετικό τμήμα της δέσμης φωτός που προσκρούει στην επιφάνεια του αισθητήρα και μπορεί να απορροφά ακτινοβολία συγκεκριμένου μήκους κύματος και το σήμα εξόδου κάθε εικονοστοιχείου (pixel) είναι ανάλογο της έντασης του φωτός που απορροφά. Συνήθως τα εικονοστοιχεία είναι κατασκευασμένα να απορροφούν ακτινοβολία με μήκος κύματος που αντιστοιχεί σε κόκκινο, πράσινο και μπλε χρώμα (RGB) συνθέτοντας τελικά μια εικόνα πλήρους ή φυσικού χρώματος. Η λειτουργία αυτή απεικονίζεται στην εικόνα. Οι αισθητήρες αυτοί αποτελούν το βασικό εξάρτημα σε κάθε συσκευή ικανή να αποθηκεύει εικόνες, δηλαδή ικανή να λαμβάνει φωτογραφίες ή βίντεο, όπως φωτογραφικές μηχανές ή κάμερες. Για λόγους επιτήρησης είναι αρκετά σημαντικοί

καθώς μπορούν εκτός από ανίχνευση κίνησης όπως οι περισσότεροι αισθητήρες, μπορούν να απεικονίζουν το αντικείμενο που κινήθηκε ή τον εισβολέα.



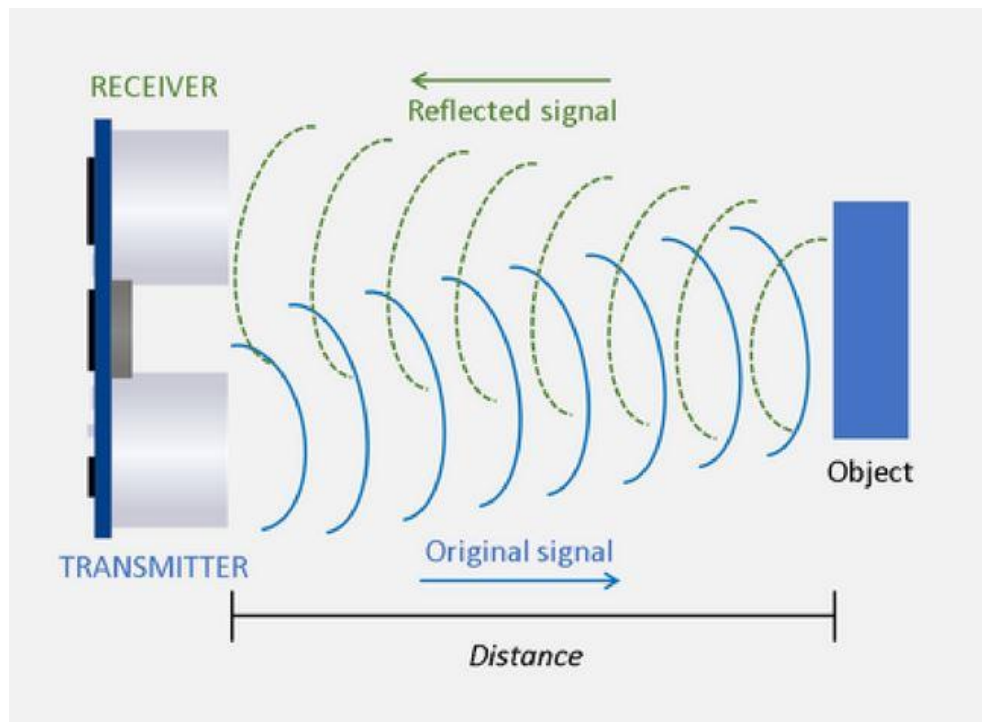
Εικόνα 22. Η αρχή λειτουργίας των αισθητήρων εικόνας



Εικόνα 23. Η αισθητήρια επιφάνεια ενός αισθητήρα εικόνας

4.10 Υπερηχητικοί (Sonar)

Οι υπερηχητικοί αισθητήρες λειτουργούν με τρόπο παρόμοιο με ένα ραντάρ, χρησιμοποιούν ωστόσο ηχητικά κύματα αντί για ηλεκτρομαγνητικά. Κατά τη λειτουργία τους εκπέμπουν υπερήχους, δηλαδή ήχους συχνότητας μεγαλύτερης του ανώτατου ορίου του φάσματος το οποίο μπορεί να ακούσει ένας άνθρωπος (περίπου 18kHz), οι οποίοι ανακλώνται στο περιβάλλοντα χώρο και τα αντικείμενα που υπάρχουν σε αυτόν και επιστρέφοντας στον αισθητήρα δίνουν πληροφορία για την απόσταση από τα αντικείμενα αυτά ή την ταχύτητά τους. Η πληροφορία που θα δώσει ο αισθητήρας εξαρτάται από την κατασκευή του με βασική διάκριση την απόσταση ή την ταχύτητα ενός αντικειμένου, όπως αναφέρθηκε.



Εικόνα 24. Απεικόνιση της αρχής λειτουργίας των υπερηχητικών αισθητήρων

Στην πρώτη περίπτωση ο αισθητήρας εκπέμπει σύντομης διάρκειας υπέρηχους, συγκεκριμένης συχνότητας, δηλαδή παλμούς, οι οποίοι επιστρέφουν μετά από συγκεκριμένο χρόνο αφού ανακλαστούν σε κάποια επιφάνεια, κι αφού η συχνότητα είναι

συγκεκριμένη, ο αισθητήρας αναγνωρίζει τον παλμό που εξέπεμψε. Ο χρόνος που θα μεσολαβήσει από την εκπομπή του κάθε παλμού έως την λήψη του είναι ανάλογος με την απόσταση από την επιφάνεια την οποία συνάντησε και συγκεκριμένα διπλάσιος καθώς ο παλμός θα την έχει διανύσει δύο φορές. Από την ταχύτητα του ήχου λοιπόν και το χρόνο, υπολογίζεται η απόσταση.

$$v_{\text{ήχου}} = \frac{2\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow \Delta x = v_{\text{ήχου}} \frac{\Delta t}{2}$$

Στην δεύτερη περίπτωση, ο αισθητήρας εκπέμπει συνεχώς κάποιον υπέρηχο, συγκεκριμένης πάλι συχνότητας, ο οποίος ανακλώμενος στην επιφάνεια κάποιου αντικειμένου επιστρέφει στον αισθητήρα με συχνότητα ίση με την αρχική, εάν το αντικείμενο είναι ακίνητο και διαφορετική εάν το αντικείμενο κινείται. Αυτό συμβαίνει λόγω του φαινομένου Doppler και από τις εξισώσεις είναι εύκολο να υπολογιστεί έτσι η ταχύτητα του αντικειμένου. Αυτή είναι και η τεχνολογία που χρησιμοποιείται στα «ραντάρ» της αστυνομίας για την εκτίμηση της ταχύτητας των διερχόμενων οχημάτων.

$$f = \frac{c \pm v_r}{c \pm v_s} f_0 \Rightarrow v_r = \mp \frac{f}{f_0} \left(1 \pm \frac{v_s}{c} \right)$$

Όπου:

v_s η ταχύτητα της πηγής του ήχου (του αισθητήρα)

v_r η ταχύτητα του αντικειμένου

f_0 η αρχική συχνότητα του εκπεμπόμενου ήχου

f η συχνότητα του ήχου που επιστρέφει

c η ταχύτητα του ήχου (συνήθως θεωρείται 340 m/s)



Εικόνα 25. Ένας κοινός υπερηχητικός αισθητήρας του εμπορίου

4.11 Άλλοι αισθητήρες

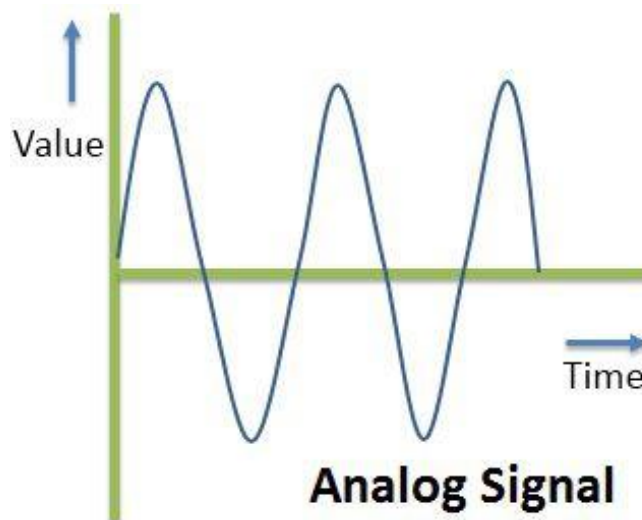
Στο κεφάλαιο αυτό καλύφθηκαν οι περισσότερες βασικές κατηγορίες αισθητήρων και η αρχή λειτουργίας τους. Βέβαια υπάρχει πολύ μεγάλη ποικιλία καθώς υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες και υλικά με τα οποία μπορεί να υλοποιηθεί ο κάθε αισθητήρας αλλά είναι δυνατό να γίνει συνδυασμός των διάφορων αισθητήρων ανάλογα με την εφαρμογή στην οποία αυτοί απαιτούνται.

Φυσικά, πέρα από τους αισθητήρες που περιγράφηκαν, οποιαδήποτε συσκευή μπορεί να αντιδράσει ή να μεταβάλλει την κατάστασή της λόγω κάποιου εξωτερικού ερεθίσματος μπορεί να θεωρηθεί και να λειτουργήσει ως αισθητήρας.

5 Ανάλυση απόκρισης αισθητήρων – Επεξεργασία Σημάτων

5.1 Αναλογικά και ψηφιακά σήματα

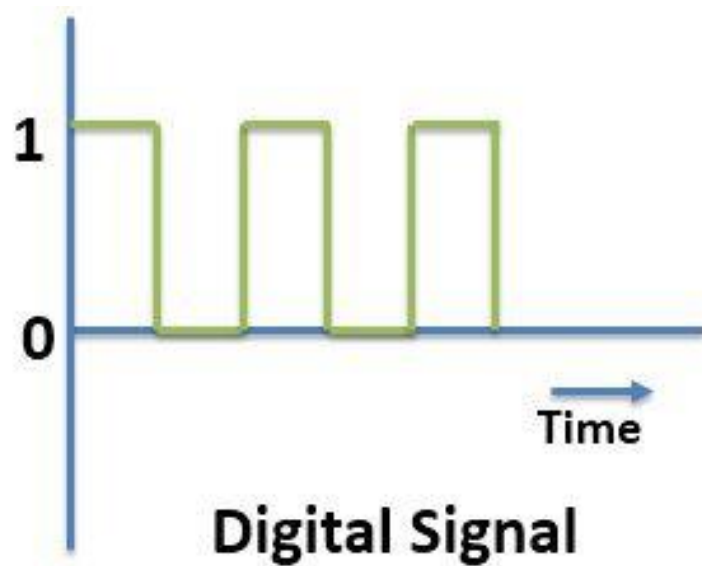
Σήμα είναι κάθε συνάρτηση ή διαδικασία η οποία μεταφέρει κάποια πληροφορία σχετικά με κάποιο φαινόμενο. Οποιοδήποτε φυσικό μέγεθος το οποίο μεταβάλλεται στο χώρο ή στο χρόνο μπορεί να αποτελεί σήμα και να χρησιμοποιηθεί για την μετάδοση πληροφορίας σε κάποιο παρατηρητή. Τα σήματα δεν είναι απαραίτητα τεχνητά αλλά εμφανίζονται συνεχώς και στη φύση, με τη μορφή ενεργειών που πραγματοποιούν οργανισμοί για να ειδοποιήσουν άλλους οργανισμούς, ή ενέργειες που πραγματοποιούν τα κύτταρα ενός οργανισμού για την επικοινωνία μεταξύ τους. Η επικοινωνία αυτή μπορεί να συμβαίνει σε επίπεδο χημείας με την έκκριση χημικών ουσιών, σε επίπεδο ηλεκτρικό με την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, ή μπορεί να είναι ηχητικά κλπ.



Εικόνα 26. Αναπαράσταση ενός αναλογικού σήματος στο πεδίο του χρόνου

Αν και στη φύση τα σήματα είναι αναλογικά, τα τεχνητά σήματα μπορεί να είναι είτε αναλογικά είτε ψηφιακά. Η μορφή τους δηλαδή μπορεί να είναι είτε συνεχής και να υπακούει σε κάποια συνάρτηση (κυματομορφή) είτε να είναι διακριτή (παλμός), συνήθως

μεταξύ δύο καταστάσεων, οι οποίες εναλλάσσονται, μεταφέροντας την κατάλληλη πληροφορία. Τα αναλογικά σήματα παίρνουν διάφορες τιμές μεταβαλλόμενα χρονικά, συνεχείς εντός κάποιων ορίων, ενώ τα ψηφιακά παίρνουν συγκεκριμένο αριθμό τιμών, συνήθως δύο, 0 και 1.



Εικόνα 27. Αναπαράσταση ενός ψηφιακού σήματος στο πεδίο του χρόνου

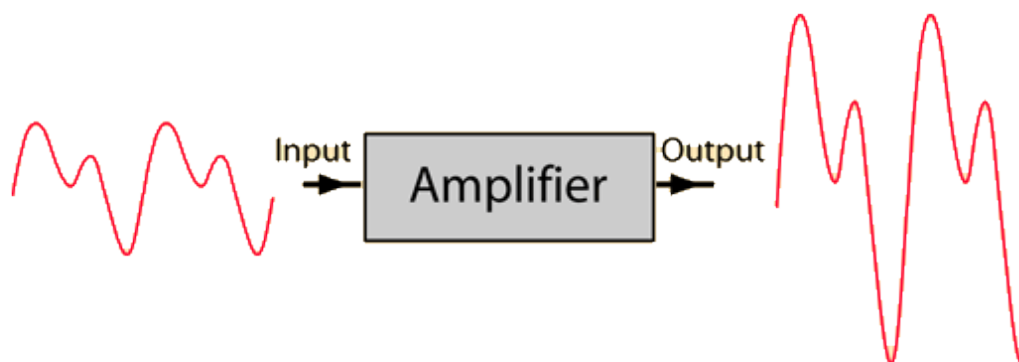
5.2 Η απόκριση / σήμα εξόδου των αισθητήρων

Κατά τη λειτουργία τους οι διάφοροι αισθητήρες, ανάλογα με τα ερεθίσματα από το περιβάλλον τα οποία λαμβάνουν, ή αλλιώς την «είσοδο» τους, παράγουν κάποια μετρήσιμη αντίδραση ή απόκριση που καλείται σήμα «εξόδου». Το σήμα αυτό μπορεί να είναι όπως περιγράφηκε νωρίτερα, είτε αναλογικό είτε ψηφιακό. Γενικά το κύριο στοιχείο, εξάρτημα ή κύκλωμα ενός αισθητήρα έχει αναλογική έξοδο όμως με χρήση ειδικών διατάξεων εξαρτημάτων η έξοδος αυτή μετατρέπεται σε ψηφιακή καθώς πολλές φορές δε μας ενδιαφέρει εξ ολοκλήρου η πληροφορία που παρέχει ο αισθητήρας αλλά συγκεκριμένες τιμές ή κάποιο εύρος τιμών στο οποίο κυμαίνεται η έξοδος του ή αξιοποιείται το σύνολο της πληροφορίας η οποία όμως μετατρέπεται σε ψηφιακή μορφή,

μια σειρά δηλαδή από δυαδικά συνήθως ψηφία. Ένα μικρόφωνο για παράδειγμα, έχει φυσικά αναλογική έξοδο και στην περίπτωση που ο σκοπός του είναι να καταγράψει ήχο, τότε είναι θεμιτή η αξιοποίηση του συνόλου της πληροφορίας που διαθέτει ή το μεγαλύτερο μέρος αυτής, οπότε θα χρησιμοποιηθεί η έξοδός του στην μορφή που είναι ή θα ψηφιοποιηθεί δηλαδή θα μετατραπεί σε σειρά από δυαδικά ψηφία τα οποία θα αναπαριστούν το αρχικό σήμα. Στην περίπτωση όμως που ο σκοπός χρήσης του μικροφώνου θα ήταν η ενεργοποίηση κάποιας συσκευής εάν το επίπεδο έντασης του ήχου στο χώρο βρίσκεται πάνω από κάποιο όριο, τότε θα ήταν αρκετό να συγκρίνεται, με χρήση κάποιας ηλεκτρονικής διάταξης, το επίπεδο έντασης του ήχου σε τακτά χρονικά διαστήματα με το επιθυμητό όριο και εφόσον το ξεπερνά η έξοδος να είναι «1», διαφορετικά να είναι «0».

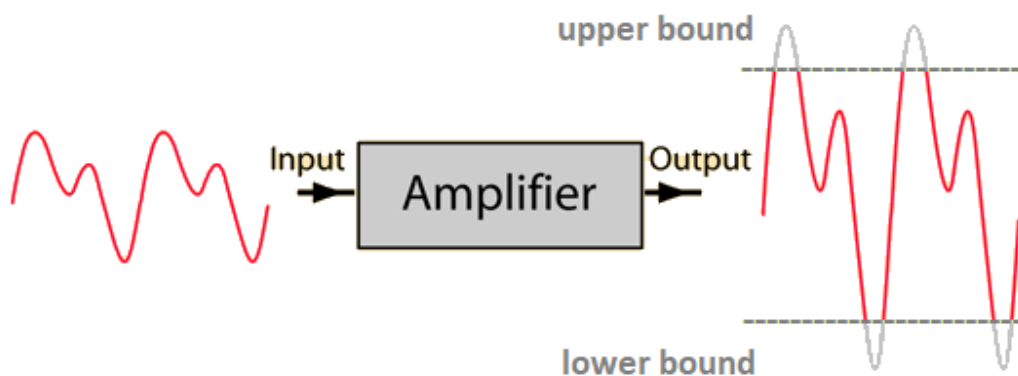
5.3 Ενίσχυση σημάτων

Πολλές φορές το σήμα εξόδου ενός αισθητήρα είναι ασθενές και η διάκριση μεταξύ διαφορετικών τιμών του αδύνατη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μειωμένη ακρίβεια ή ακόμα και αδυναμία μεταφοράς και αξιοποίησης του σήματος αυτού. Για το λόγο αυτό υπάρχουν ειδικές ηλεκτρονικές διατάξεις με τις οποίες πραγματοποιείται ενίσχυση του εν λόγω σήματος. Δηλαδή, το αρχικό σήμα υπόκειται σε επεξεργασία με την οποία γίνεται μια αλλαγή κλίμακας και ουσιαστικά πολλαπλασιασμός του πλάτους του σήματος με κάποιο προεπιλεγμένο παράγοντα. Ο παράγοντας αυτός μπορεί να είναι ορισμένος είτε κατασκευαστικά και συνεπώς προκαθορισμένος για ένα συγκεκριμένο ενισχυτή είτε να υπάρχει η δυνατότητα καθορισμού του με χρήση συγκεκριμένων εξαρτημάτων ή δίνοντας κάποιο σήμα – εντολή στο κύκλωμα.



Εικόνα 28. Λειτουργία των ενισχυτών σημάτων. Το πλάτος του σήματος εξόδου είναι πολλαπλάσιο του πλάτους του σήματος εισόδου

Αφού η κλίμακα του σήματος έχει αυξηθεί είναι εύκολο να γίνουν διακριτές οι μεταβολές του και να γίνει καλύτερη ή πλήρης αξιοποίηση της πληροφορίας που αυτό παρέχει. Ένα αποτέλεσμα της ενίσχυσης ενός σήματος είναι η απομάκρυνση των ακρότατων τιμών ή ορίων μεταξύ των οποίων κυμαίνεται. Η αύξηση δηλαδή της διαφοράς της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής την οποία παίρνει. Αυτό μπορεί να αποτελέσει μειονέκτημα σε κάποιες περιπτώσεις γιατί δεν είναι δυνατό να υπάρχει κύκλωμα χωρίς όρια (η με άπειρα όρια) τιμών που μπορεί να υπολογίσει και συνεπώς εάν τα όρια τιμών του σήματος ενός αισθητήρα είναι μεγαλύτερα από αυτά του κυκλώματος στο οποίο ο



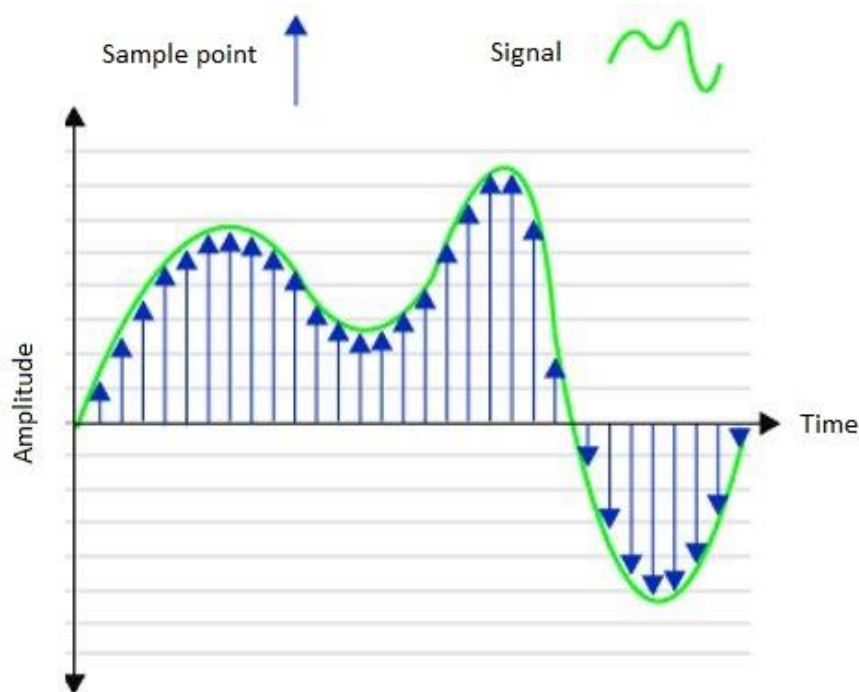
Εικόνα 29. Απώλεια των ακρότατων τιμών του σήματος κατά την ενίσχυση

αισθητήρας μεταδίδει το σήμα, θα υπάρχει απώλεια πληροφορίας. Φυσικά πολλές φορές είναι αδιάφορες οι τιμές εκτός κάποιων ορίων κι έτσι δεν υπάρχει ουσιαστικά απώλεια πληροφορίας. Γενικά όμως η ακρίβεια της πληροφορίας και η απόσταση των ορίων είναι αντιστρόφως ανάλογα μεγέθη και επιλέγονται ανάλογα με τον σκοπό που εξυπηρετεί μια συσκευή.

5.4 Ψηφιοποίηση σημάτων

Αν και τα σήματα που λαμβάνονται από τους αισθητήρες μπορούν να είναι είτε αναλογικά είτε ψηφιακά, είναι τις περισσότερες φορές θεμιτό να βρίσκονται σε ψηφιακή μορφή ή να μετατραπούν σε αυτή καθώς προσφέρει πολύ περισσότερες δυνατότητες. Καταρχήν η επεξεργασία των ψηφιακών σημάτων είναι πολύ ευκολότερη, ειδικά την σημερινή εποχή με τα συστήματα που έχουν αναπτυχθεί και με την επεξεργαστική ισχύ που διαθέτουν, ενώ τα αναλογικά απαιτούν πολύπλοκα κυκλώματα τα οποία ανεβάζουν το κόστος και η λειτουργία τους επηρεάζεται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος και μπορεί τελικά να μη λειτουργήσουν όπως αναμένεται. Επιπλέον, τα ψηφιακά σήματα είναι πολύ πιο ανθεκτικά στο θόρυβο και τα σφάλματα κατά τη μεταφορά τους, ιδιαίτερα εφόσον εφαρμόζονται ειδικοί αλγόριθμοι ελέγχου σφαλμάτων και επιδιόρθωσής τους ενώ για τα αναλογικά ο θόρυβος και οι διαταραχές του σήματος από το περιβάλλον είναι σημαντικό πρόβλημα, κυρίως στο πεδίο του χρόνου. Τέλος, με τη χρήση σύγχρονων μεθόδων και εξοπλισμού η ταχύτητα μεταφοράς των ψηφιακών σημάτων είναι πολύ μεγαλύτερη από την δυνατή ταχύτητα μεταφοράς ενός αναλογικού σήματος.

Με χρήση λοιπόν πληθώρας εξαρτημάτων και κυκλωμάτων, ανάλογα με την εφαρμογή, γίνεται ψηφιοποίηση των αναλογικών σημάτων, μια διαδικασία που βασίζεται στη δειγματοληψία του σήματος και χρήση διακριτών τιμών για την αναπαράσταση του

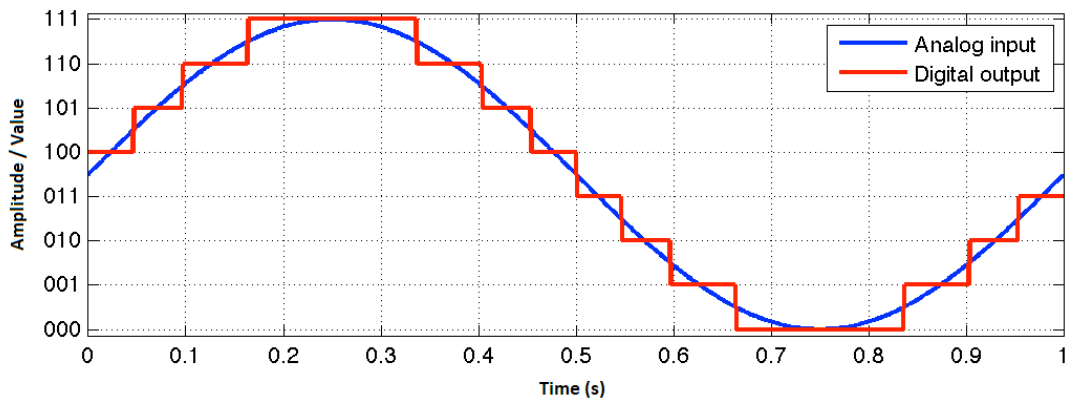


Εικόνα 30. Ψηφιοποίηση ενός σήματος. Η δειγματοληψία γίνεται σε διακριτές χρονικές στιγμές

αρχικού σήματος. Κατά την ψηφιοποίηση το αναλογικό σήμα εισέρχεται σε κάποιο ειδικό κύκλωμα όπου ανά τακτά χρονικά διαστήματα μετράται το πλάτος του και η τιμή αποθηκεύεται σε ψηφιακή μορφή.

Προφανώς η δειγματοληψία γίνεται σε μικρά χρονικά διαστήματα ωστόσο είναι πεπερασμένα το οποίο σημαίνει ότι δεν είναι δυνατό να ψηφιοποιηθεί ολόκληρο το αναλογικό σήμα καθώς αυτό θα σήμαινε ότι θα λαμβάνονταν άπειρα δείγματα. Υπάρχει δηλαδή κάποια μεγάλη ή μικρή απώλεια της πληροφορίας που μεταφέρει το αρχικό σήμα. Φυσικά το αρχικό σήμα δεν είναι ούτε αυτό τέλειο καθώς στην πράξη εμπεριέχει θόρυβο. Η διαδικασία της ψηφιοποίησης φαίνεται στην εικόνα.

Παρατηρώντας τη γραφική παράσταση του αρχικού αναλογικού σήματος και του τελικού ψηφιακού στο γράφημα παρατηρούμε ότι δεν συμπίπτουν απόλυτα και μάλιστα το ψηφιακό μοιάζει τετραγωνισμένο. Υπάρχουν βέβαια μέθοδοι με τις οποίες το σχήμα του ψηφιακού σήματος διορθώνεται και προσεγγίζει το αρχικό πχ. με παρεμβολή,



Εικόνα 31. Κατά την ψηφιοποίηση γίνεται προσεγγιστική αναπαράσταση του αρχικού αναλογικού σήματος

διαδικασία όμως που δεν αρκεί για να διατηρηθεί πλήρως το αρχικό σήμα. Εάν λοιπόν το παραγόμενο ψηφιακό σήμα αποκλίνει πολύ από το αρχικό, αρκεί να αυξηθεί η συχνότητα δειγματοληψίας, ο αριθμός δηλαδή των δειγμάτων που λαμβάνονται στη μονάδα του χρόνου, όπως φαίνεται και στο γράφημα. Το πρόβλημα αυτό οδήγησε στην δημιουργία του Θεωρήματος Nyquist-Shannon, από τον ηλεκτρονικό μηχανικό Harry Nyquist και τον μαθηματικό - ηλεκτρολόγο μηχανικό Claude Shannon, το οποίο αποδεικνύει ότι για την τέλεια ψηφιοποίηση, δηλαδή την ακριβή αναπαράσταση ενός σήματος σε ψηφιακή



Εικόνα 32. Η ψηφιακή αναπαράσταση ενός σήματος γίνεται πιο ακριβής όσο αυξάνεται η ανάλυση, δηλαδή η περίοδος δειγματοληψίας

μορφή, αρκεί η συχνότητα της δειγματοληψίας να είναι διπλάσια της μεγαλύτερης συχνότητας που εμπεριέχεται στο σήμα, καθώς όπως θα δούμε παρακάτω κάθε σήμα αποτελείται στην ουσία από συμβολή κυματομορφών διάφορων συχνοτήτων.

5.5 Φίλτρα

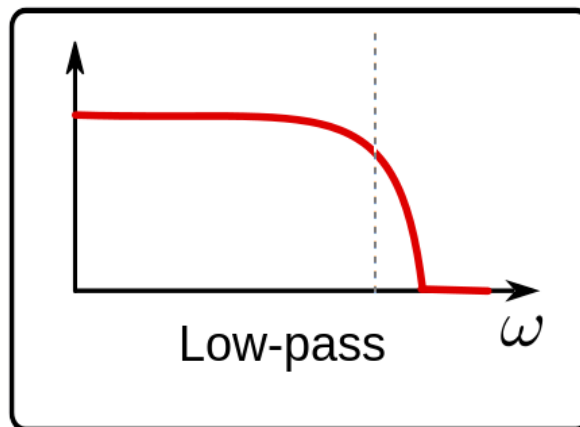
5.5.1 Γενικά

Στην επεξεργασία σημάτων, το φίλτρο είναι μια συσκευή ή διαδικασία η οποία αφαιρεί κάποια ανεπιθύμητα στοιχεία από το σήμα που μας ενδιαφέρει. Τα στοιχεία αυτά συνήθως είναι συχνότητες που εμπεριέχονται στο σήμα ή θόρυβος, τυχαίες διακυμάνσεις δηλαδή του σήματος που προκαλούνται από το περιβάλλον και μειώνουν φυσικά την ευκρίνεια του σήματος.

Στην περίπτωση των αναλογικών σημάτων τα φίλτρα είναι συσκευές, κυκλώματα δηλαδή που επιτελούν το έργο αυτό του «φιλτραρίσματος» ενώ στην περίπτωση των ψηφιακών σημάτων είναι συνήθως διαδικασίες, δηλαδή αλγόριθμοι που εκτελούνται σε κάποιο επεξεργαστή στον οποίο μεταφέρονται τα σήματα προς επεξεργασία.

5.5.2 Χαμηλοπερατά φίλτρα (Low Pass)

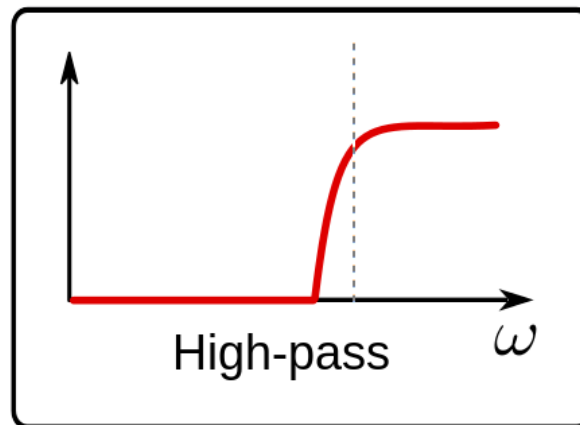
Τα Χαμηλοπερατά φίλτρα αποκόπτουν τις υψηλές συχνότητες που εμπεριέχονται σε ένα σήμα και διατηρούν τις χαμηλές. Φυσικά ο χαρακτηρισμός «χαμηλές» και «υψηλές» συχνότητες είναι σχετικός και αφορά την οριακή συχνότητα ή συχνότητα αποκοπής, πέρα από την οποία, οι μεγαλύτερες συχνότητες είναι αδιάφορες και περιττές. Η συχνότητα αποκοπής ορίζεται γενικά ως η συχνότητα στην οποία το πλάτος του σήματος έχει κέρδος -3 db.



Εικόνα 33. Απεικόνιση της ισχύος του σήματος στο πεδίο των συχνοτήτων, ενός χαμηλοπερατού φίλτρου, η οποία μειώνεται δραστικά μετά την συχνότητα αποκοπής

5.5.3 Υψιπερατά φίλτρα (High Pass)

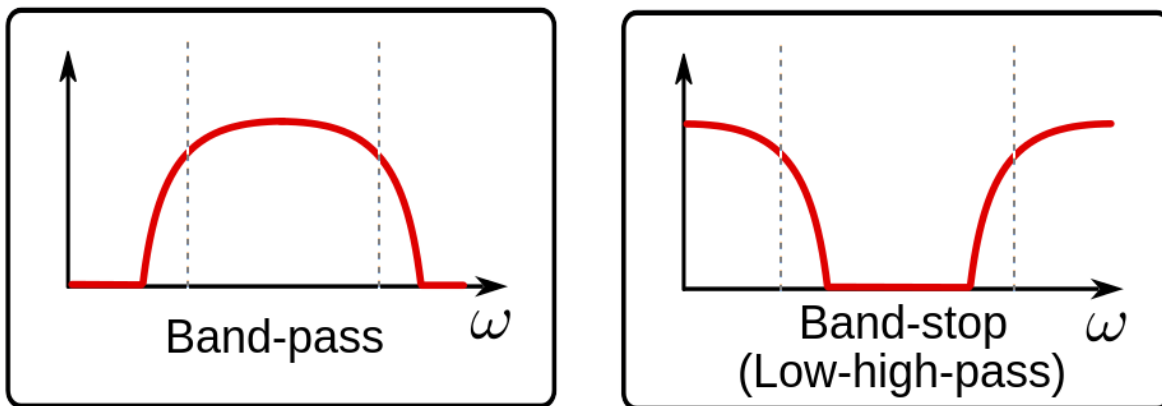
Τα Υψιπερατά φίλτρα λειτουργούν αντίστροφα από τα Χαμηλοπερατά και αποκόπτουν τις χαμηλότερες από την συχνότητα αποκοπής συχνότητες και διατηρούν τις υψηλές.



Εικόνα 34. Απεικόνιση της ισχύος του σήματος στο πεδίο των συχνοτήτων, ενός υψιπερατού φίλτρου, η οποία μειώνεται δραστικά πριν την συχνότητα αποκοπής

5.5.4 Ζωνοπερατά & Ζωνοφρακτά φίλτρα (Band-Pass & Band-Stop)

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα φίλτρα στα οποία ορίζονται δύο συχνότητες αποκοπής, μια χαμηλή και μια υψηλή, κατά την κατασκευή του φίλτρου. Στην περίπτωση των Ζωνοπερατών φίλτρων, οι συχνότητες που βρίσκονται στη «ζώνη» μεταξύ των δύο συχνοτήτων αποκοπής διατηρούνται και όσες είναι εκτός της ζώνης αυτής, δηλαδή μικρότερες της χαμηλής και υψηλότερες από την υψηλή συχνότητα αποκοπής, αφαιρούνται από το σήμα. Αντίστοιχα, στα Ζωνοφρακτά φίλτρα αποκόπτονται οι συχνότητες που βρίσκονται εντός της παραπάνω ζώνης και επιτρέπονται μόνο όσες βρίσκονται εκτός αυτής.

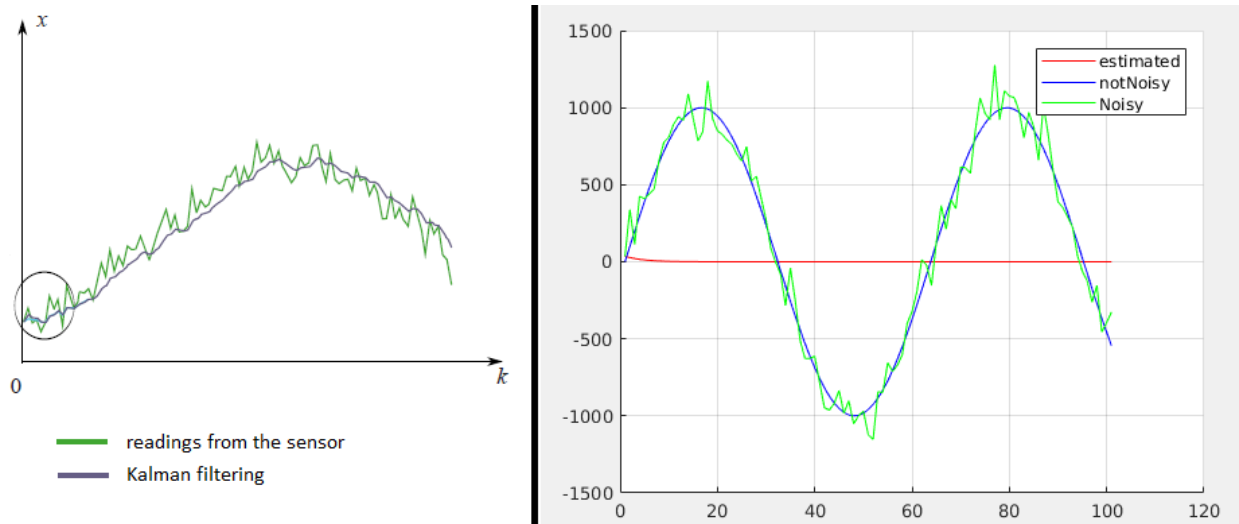


Εικόνα 35. Αριστερά, η απεικόνιση των Ζωνοπερατών φίλτρων, με αποκοπή των συχνοτήτων εκτός της ζώνης που ορίζεται από τις δύο συχνότητες αποκοπής. Δεξιά η απεικόνιση των Ζωνοφρακτών φίλτρων, με αποκοπή των συχνοτήτων εντός της ζώνης.

5.5.5 Το Φίλτρο Κάλμαν (Kalman filter)

Το φίλτρο Κάλμαν δεν είναι φίλτρο με την αυστηρή έννοια της λέξης, είναι όμως μια διαδικασία η οποία βασισμένη στη στατιστική χρησιμοποιεί τις παρατηρήσεις του σήματος, στη διάρκεια του χρόνου, το οποίο εμπεριέχει θόρυβο και διάφορες ανακρίβειες και πραγματοποιεί εκτιμήσεις της πραγματικής τιμής του σήματος ανά χρονική στιγμή, οι οποίες είναι πιο ακριβείς από αυτές που

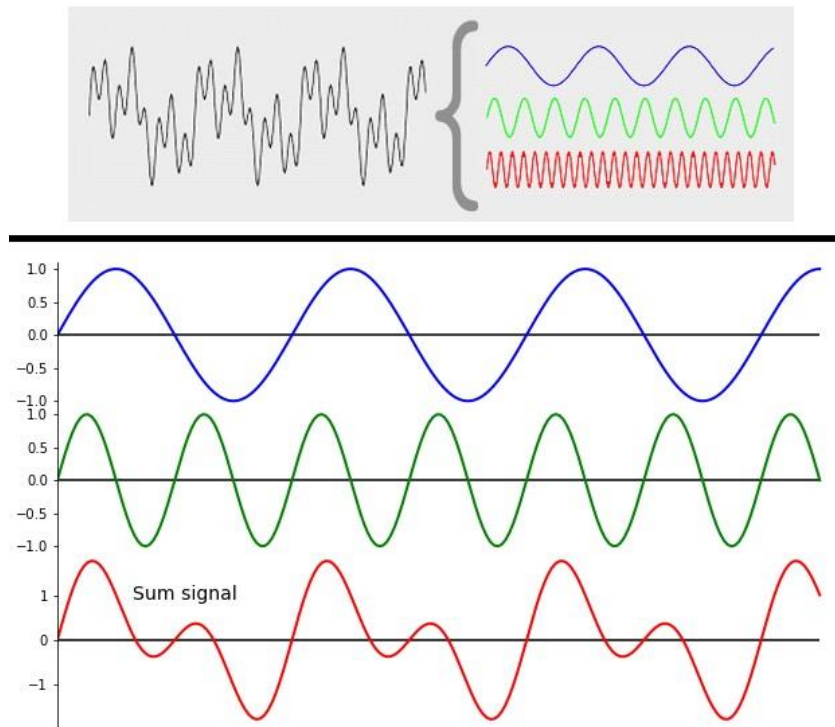
προέρχονται μόνο από τις μετρήσεις του σήματος. Αφαιρεί δηλαδή τον θόρυβο από κάποιο σήμα.



Εικόνα 36. Η αφαίρεση του θορύβου από ένα σήμα με τη χρήση του φίλτρου Κάλμαν

5.6 Μετασχηματισμός Fourier

Ο μετασχηματισμός Fourier επίσης δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως φίλτρο, είναι όμως μια πολύ σημαντική και χρήσιμη μέθοδος στην ανάλυση σημάτων. Η ανάλυση Fourier είναι μια μαθηματική μέθοδος ανάλυσης μιας συνάρτησης ή ενός σήματος ώστε αυτό να προσεγγιστεί και να αναπαρασταθεί από ένα άθροισμα απλών τριγωνομετρικών συναρτήσεων. Ο μετασχηματισμός αυτός της αρχικής συνάρτησης σε άθροισμα απλών τριγωνομετρικών συναρτήσεων, επιτρέπει την ταυτοποίηση σημάτων και άντληση επιπλέον πληροφοριών που δεν είναι διαθέσιμες με χρήση κάποιας άλλης μεθόδου.



Εικόνα 37. Πάνω, η ανάλυση ενός σήματος στις συχνότητες που το αποτελούν. Κάτω, η σύνθεση ενός σήματος από το «άθροισμα» δύο συχνοτήτων

Το ακουστικό σήμα για παράδειγμα που παράγεται κατά τη λειτουργία μιας συγκεκριμένης μηχανής αυτοκινήτου, εάν αναλυθεί προκύπτουν συχνότητες οι οποίες είναι χαρακτηριστικές για τη μηχανή αυτή και αποτελούν κατά κάποιο τρόπο το ηχητικό αποτύπωμά της. Έτσι, εφαρμόζοντας τον μετασχηματισμό Fourier σε ένα ηχητικό σήμα το οποίο μπορεί να περιέχει θόρυβο και ήχους από πολλά αυτοκίνητα, ομιλία κλπ. μπορεί να αποκαλύψει την ύπαρξη των χαρακτηριστικών συχνοτήτων της μηχανής και συνεπώς να «προδώσει» τη λειτουργία της συγκεκριμένης μηχανής στην περιοχή όπου λήφθηκε το σήμα που εξετάζεται.

6 Πρακτική Εφαρμογή

6.1 Περιγραφή

Το σύστημα που κατασκευάστηκε αποτελεί μια απόδειξη της ορθότητας της ιδέας των Αυτόνομων Επίγειων Αισθητήρων και δίνει μια καλύτερη εικόνα των δυνατοτήτων τους. Βέβαια η κλίμακα του έργου είναι περιορισμένη, όπως είναι και οι δυνατότητες του, γεγονός που οφείλεται σε πρακτικούς και οικονομικούς λόγους, ωστόσο γίνεται εύκολα κατανοητή η λειτουργία και η χρησιμότητά τους.



Εικόνα 38. Ο Αυτόματος Επίγειος Αισθητήρας που κατασκευάστηκε στα πλαίσια της πρακτικής εφαρμογής

Το παρόν σύστημα αποτελείται από πέντε (5) Αυτόνομους Αισθητήρες, ένα (1) βασικό κόμβο επικοινωνίας και την Εφαρμογή Επιτήρησης σε Η/Υ.

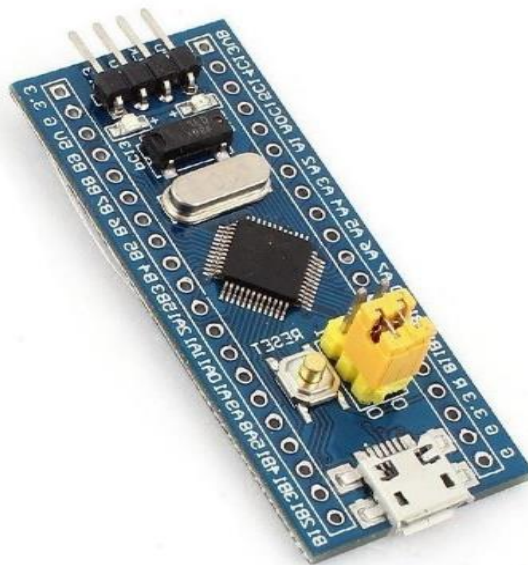
Οι Αυτόνομοι Αισθητήρες αποτελούνται από:

α. Θήκη - Περίβλημα

Η θήκη σχεδιάστηκε σε εφαρμογή σχεδίασης δισδιάστατου και τρισδιάστατου μηχανολογικού σχεδίου (SolidWorks 2017) ώστε να υπάρχει αρκετή ακρίβεια διαστάσεων και να μπορούν να τοποθετηθούν τα ηλεκτρονικά στο εσωτερικό της χωρίς πρόβλημα αλλά και χωρίς σπατάλη χώρου. Το εξωτερικό σχήμα σχεδιάστηκε ώστε να είναι όμοιο με το σχήμα μιας πέτρας, το οποίο σε συνδυασμό με τον χρωματισμό της με ειδικό χρώμα που προσομοιάζει πέτρα, προσδίδει αρκετά ρεαλιστικό καμουφλάζ ώστε να αφομοιώνεται στο περιβάλλον και να μην γίνεται αντιληπτός ο Αισθητήρας. Η υλοποίηση έγινε με τρισδιάστατη εκτύπωση (3D printing) με νάιλον (Nylon), υλικό το οποίο είναι αρκετά ανθεκτικό χωρίς να δημιουργεί πρόβλημα στη λειτουργία των ηλεκτρονικών που φιλοξενεί, τα οποία αντιθέτως προστατεύει σε πολύ μεγάλο βαθμό.

β. Επεξεργαστής

Την θέση του επεξεργαστή καταλαμβάνει ένας μικροελεγκτής (MCU) τύπου STM32F103C8T6, ο οποίος κυκλοφορεί ευρέως για γενική χρήση, με αρκετές

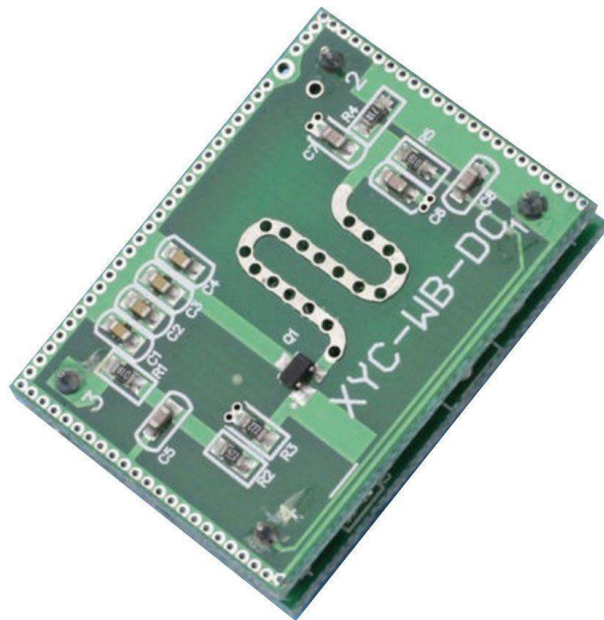


Εικόνα 39. Ο μικροελεγκτής STM32F103C8T6 με την πλακέτα του

δυνατότητες, οι οποίες καλύπτουν τις ανάγκες του παρόντος έργου. Ο μικροελεγκτής λοιπόν αυτός είναι υπεύθυνος για την επεξεργασία των εισερχόμενων σημάτων από τον αισθητήρα, το GPS και τη συσκευή ασύρματης επικοινωνίας και την αποστολή τους προς την «βάση».

γ. Αισθητήρας

Ο αισθητήρας αποφασίστηκε να είναι μικροκυματικός, καθώς δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από τις εξωτερικές συνθήκες και από εμπόδια και μπορεί να λειτουργεί ενώ βρίσκεται «κρυμμένος» στο εσωτερικό της «πέτρας» που περιγράφηκε παραπάνω. Εκπέμπει συνεχώς ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία η οποία ανακλάται, σε κάποιο ποσοστό, στα γύρω αντικείμενα και επιστρέφει στον αισθητήρα ο οποίος αντιλαμβάνεται έτσι την κίνηση αντικειμένων. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής επιλέχτηκε ένας κοινός τύπος, χαμηλών σχετικά δυνατοτήτων και κόστους.



Εικόνα 40. Ο μικροκυματικός αισθητήρας XYC-WB-DC1

δ. Συσκευή Προσδιορισμού Θέσης - GPS

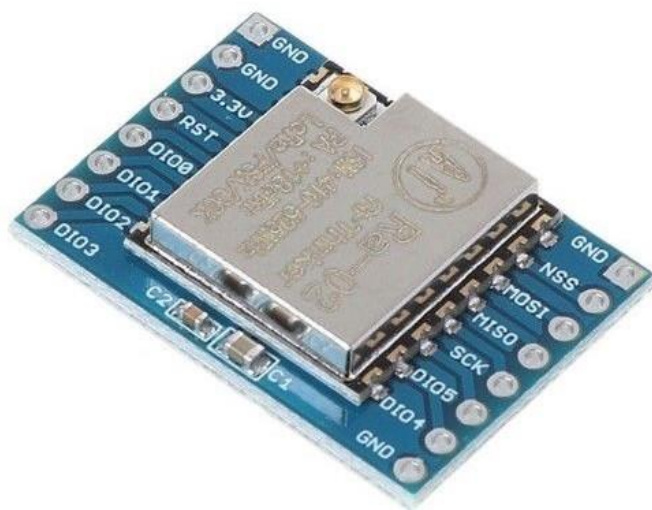
Η συσκευή αυτή, βασική για την εξυπηρέτηση του σκοπού του συστήματος, καθώς είναι απαιτούμενο να γνωρίζουμε τις συντεταγμένες στις οποίες θα πραγματοποιηθεί ανίχνευση κίνησης. Το GPS που χρησιμοποιήθηκε είναι το UBLOX Neo M7.



Εικόνα 41. Ο εντοπιστής θέσης GPS Ublox Neo M7

ε. Πομποδέκτης

Η συσκευή αυτή αποτελεί ταυτόχρονα την φωνή και τα αυτιά του συστήματος καθώς μπορεί να αφουγκράζεται σήματα που εκπέμπονται προς την εκάστοτε συσκευή αλλά και να αποστέλλει σήματα προς τους υπόλοιπους Αισθητήρες του δικτύου ή την βάση. Για τους σκοπούς αυτούς χρησιμοποιήθηκε το Semtech SX1278.



Εικόνα 42. πομπодέκτης Semtech SX1278

στ. Κεραία



Εικόνα 43. Κεραία ιδιοσυχνότητας 433MHz και κέρδους περίπου 0 dbi

Η ενέργεια που εξέρχεται από τον πομποδέκτη χρειάζεται την κατάλληλη κεραία, ώστε να μεταδώσει τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα στο χώρο διαφορετικά η εκπομπές θα είναι πολύ ασθενείς καθώς ένα ελάχιστο ποσοστό της εκπεμπόμενης ενέργειας θα καταφέρει να φύγει από το κύκλωμα, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει βλάβη στον πομποδέκτη. Ακόμη και στη λήψη σημάτων όμως, εάν δεν υπάρχει κεραία ή αυτή δεν έχει τα κατάλληλα χαρακτηριστικά, τότε το σύστημα του πομποδέκτη δεν μπορεί να συντονιστεί στην σωστή συχνότητα και καθίσταται μη αποδοτικό ή και ανίκανο να λάβει εισερχόμενα σήματα. Λόγω περιορισμένου χώρου, η κεραία αν και κατάλληλη για το σύστημα, έχει πολύ μικρό μέγεθος με αποτέλεσμα να μειώνει την εμβέλεια αποστολής/λήψης, συμβιβασμός όμως που ήταν απαραίτητος ώστε το σύστημα να μην είναι εύκολο να εντοπιστεί στο έδαφος.

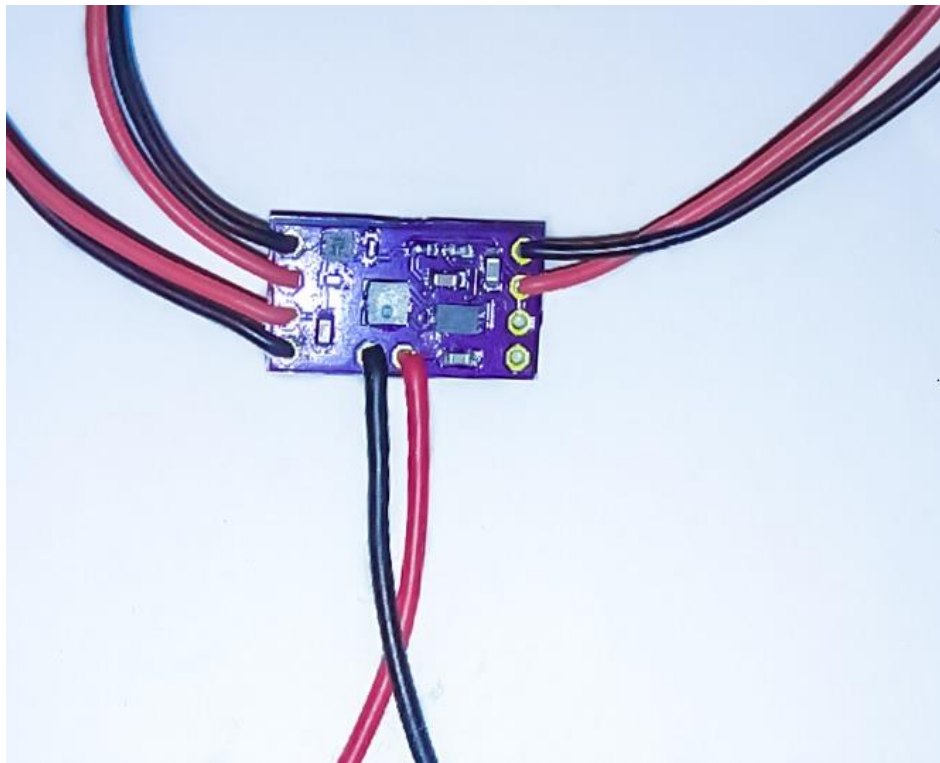


Εικόνα 44. Καλώδιο διασύνδεσης της κεραίας με τον πομποδέκτη

ζ. Τροφοδοτικό

Το σύστημα τροφοδοσίας σχεδιάστηκε εξ αρχής καθώς σε μια τέτοια εφαρμογή είναι σημαντική η σταθερότητα των παρεχόμενων τάσεων, η χαμηλή

κατανάλωση αλλά και οι φυσικές διαστάσεις, κάτι το οποίο επιτεύχθηκε σε πολύ μεγάλο βαθμό. Έτσι, το σύστημα τροφοδοσίας αντλώντας ενέργεια από την μπαταρία, παρέχει την απαιτούμενη ισχύ, με τα κατάλληλα χαρακτηριστικά, προς όλες τις συσκευές και κυκλώματα του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, το τροφοδοτικό λαμβάνει από τη μπαταρία τάση 4.2 βολτ (μέγιστη τάση κατά την κατάσταση πλήρους φόρτισης) έως 3.2 βολτ (ελάχιστη τάση κατά την κατάσταση στην οποία η μπαταρία θεωρείται εξαντλημένη), την οποία ανεβάζει στα 5 βολτ σταθερά καθώς αυτή είναι η τάση λειτουργίας του μικροκυματικού αισθητήρα την οποία του παρέχει και επίσης παρέχει 3.3 βολτ στα υπόλοιπα στοιχεία του συστήματος.



Εικόνα 45. Το τροφοδοτικό του συστήματος

η. Μπαταρία

Η μπαταρία, η καρδιά του συστήματος, παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια σε ολόκληρο το κύκλωμα. Λόγω των ενεργειακών απαιτήσεων του συστήματος αλλά και του χώρου, επιλέχθηκε μπαταρία Ιόντων Λιθίου (Li-Ion) τύπου 18650 και συγκεκριμένα η Panasonic NCR18650B, λόγω του μικρού σχετικά όγκου που καταλαμβάνει και της μεγάλης ενεργειακής της χωρητικότητας 12.4 Wh ή 44.64 kJ.



Εικόνα 46. Μπαταρία Panasonic NCR18650B υψηλής ενεργειακής χωρητικότητας

Ο Βασικός κόμβος επικοινωνίας αποτελείται από:



Εικόνα 47. Ο Βασικός κόμβος του συστήματος, που επιτρέπει τη διασύνδεση του Η/Υ με το δίκτυο των Αισθητήρων

α. Πλαστική θήκη

Χρησιμοποιήθηκε μια απλή πλαστική θήκη με αρκετό χώρο για τις συσκευές που περιέχει κι έγιναν οι κατάλληλες τροποποιήσεις για να είναι δυνατή η εύκολη διασύνδεση με Η/Υ και η τοποθέτηση κεραίας εξωτερικά.

β. Πομποδέκτη

Ο πομποδέκτης είναι ο ίδιος που χρησιμοποιήθηκε και για τους Αισθητήρες.

γ. Επεξεργαστή

Ο επεξεργαστής είναι ο ίδιος που χρησιμοποιήθηκε και για τους Αισθητήρες

δ. Κεραία

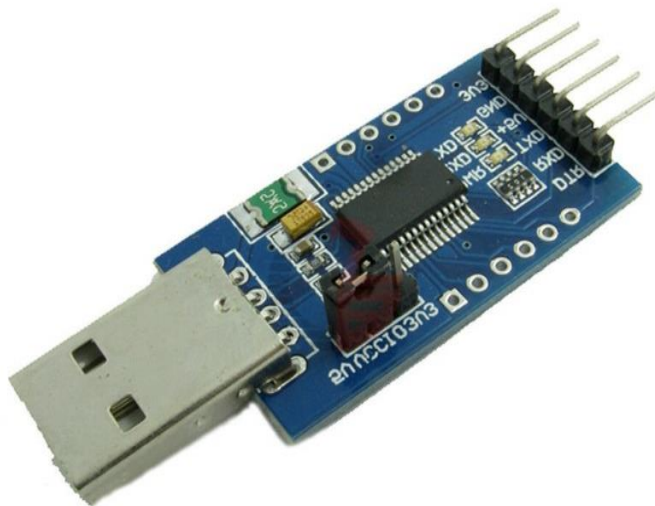
Για τον πομποδέκτη του βασικού κόμβου, επιλέχθηκε μια πιο «ισχυρή» και μεγαλύτερου μεγέθους κεραία, καθώς δεν υπάρχει περιορισμός χώρου όπως υπάρχει στους Αισθητήρες, κι έτσι η ποιότητα της σύνδεσης μεταξύ βασικού κόμβου και Αισθητήρων βελτιώθηκε.



Εικόνα 48. Κεραία ιδιοσυχνότητας 433MHz και κέρδους περίπου 3 dbi

ε. Αμφίδρομο μετατροπέα σημάτων USB – Serial

Η συσκευή αυτή χρησιμοποιήθηκε ώστε να είναι δυνατή η εύκολη διασύνδεση του Βασικού Κόμβου με κάποιον Η/Υ και την ανταλλαγή δεδομένων. Τα δεδομένα προς τον Η/Υ μπορούν έτσι να γίνουν διαθέσιμα στην Εφαρμογή Επιτήρησης ώστε να προβάλλονται αυτά στην οθόνη του Η/Υ.



Εικόνα 49. Αμφίδρομος μετατροπέας σειριακού πρωτοκόλλου επικοινωνίας UART σε USB και αντίστροφα

στ. Τελευταίο στοιχείο, απαραίτητο όμως για τη λειτουργία του συστήματος, αποτελεί η εφαρμογή επιτήρησης η οποία καθιστά δυνατή την αναπαράσταση των δεδομένων, δηλαδή των σημείων – συντεταγμένων που βρίσκονται οι Αισθητήρες, της ακτίνας δράσης του κάθε Αισθητήρα και φυσικά της κατάσταση του κάθε Αισθητήρα (πχ. εκτός λειτουργίας, ενεργός, ανίχνευσης). Στην εικόνα φαίνεται το περιβάλλον της εφαρμογής.



Εικόνα 50. Στιγμιότυπο της οθόνης από την εφαρμογή επιτήρησης, η οποία προβάλλει τα δεδομένα από τους αισθητήρες

6.3 Λειτουργία – Χαρακτηριστικά

6.3.1 Βασικός Κόμβος

Η συσκευή αυτή, η οποία όπως αναφέρθηκε συνδέεται με Η/Υ, βρίσκεται μονίμως σε κατάσταση «ακρόασης», έχοντας δηλαδή τον πομποδέκτη ενεργοποιημένο, βρίσκεται σε ετοιμότητα να λάβει οποιοδήποτε σήμα εκπνεμφθεί από τους Αισθητήρες. Εάν λάβει κάποιο σήμα το αποκωδικοποιεί και αντλεί τις πληροφορίες που εμπεριέχει το εισερχόμενο μήνυμα, δηλαδή τις συντεταγμένες του αισθητήρα που πραγματοποίησε την εκπομπή και τους λόγους για τους οποίους την πραγματοποίησε. Οι λόγοι αυτοί μπορεί να είναι η ανίχνευση κίνησης, η επιβεβαίωση καλής λειτουργίας ενός αισθητήρα το οποίο γίνεται τακτικά, η χαμηλή στάθμη της μπαταρίας κλπ.

Οι πληροφορίες που αντλεί ο Βασικός κόμβος καταλήγουν να προβληθούν στην οθόνη του Η/Υ, με τη χρήση της Εφαρμογής Επιτήρησης.

Η συσκευή αυτή δεν απαιτεί τη χρήση μπαταρίας καθώς τροφοδοτείται από τον Η/Υ με τον οποίο είναι συνδεδεμένη και μπορεί να λειτουργεί καταναλώνοντας ελάχιστη ενέργεια χωρίς να έχει αντίκτυπο στην λειτουργία του Η/Υ.

6.3.2 Αυτόνομοι Αισθητήρες

Οι Αισθητήρες έχοντας τοποθετηθεί στην επιθυμητή περιοχή στο έδαφος, βρίσκονται σε κατάσταση αδράνειας με ενεργοποιημένο τον μικροκυματικό τους αισθητήρα. Σε περίπτωση ανίχνευσης κίνησης, ο μικροκυματικός αισθητήρας ειδοποιεί τον επεξεργαστή, ο οποίος με τη σειρά του δίνει εντολή στον πομποδέκτη να στείλει το κατάλληλο μήνυμα προς τον Βασικό Κόμβο και κατόπιν το σύστημα εισέρχεται πάλι σε κατάσταση αδράνειας ώστε να εξοικονομηθεί ενέργεια. Ανά τακτά χρονικά διαστήματα, το σύστημα ενεργοποιείται με σκοπό να στείλει μήνυμα καλής λειτουργίας προς τον Βασικό Κόμβο. Οι Αισθητήρες όμως μπορούν και να λάβουν μηνύματα, κυρίως από άλλους αισθητήρες καθώς υπάρχει περίπτωση κάποιος Αισθητήρας να βρίσκεται σε πολύ μεγάλη απόσταση από τον Βασικό Κόμβο. Τότε, οι πιο κοντινοί Αισθητήρες έχουν το ρόλο του αναμεταδότη, ώστε να φτάσει η κάθε πληροφορία στην Βασικό Κόμβο.

Η ακτίνα ανίχνευσης των Αισθητήρων είναι περίπου 9μ, η εμβέλεια του πομποδέκτη των Αισθητήρων, σε πραγματικό έδαφος και συνθήκες, είναι περίπου 1χλμ και η διάρκεια μιας εκπομπής είναι περίπου 300 ms. Επιπλέον, ο καθορισμός της ακριβούς τοποθεσίας του εκάστοτε Αισθητήρα είναι γρήγορος και η απόκλιση των συντεταγμένων που λαμβάνονται από τη συσκευή GPS είναι περίπου 1μ. Τέλος, ο πομποδέκτης διαθέτει αναπήδηση συχνότητας και είναι εύκολο να γίνει κρυπτογράφηση των δεδομένων που αποστέλλονται ώστε να είναι το σύστημα ασφαλές.

6.3.3 Εφαρμογή Επιτήρησης

Ο ρόλος της εφαρμογής είναι να προβάλλει τα δεδομένα, τα οποία παραλαμβάνει από τον Βασικό Κόμβο, στην οθόνη του Η/Υ για να είναι εύκολη η εποπτεία του Δικτύου από τον χρήστη. Κατά την εκτέλεση της εφαρμογής εμφανίζεται στην οθόνη μια προβολή σφαίρας η οποία προσεγγίζει επαρκώς το σχήμα της Γης. Στο πλέγμα από μεσημβρινούς και ισημερινούς που σχηματίζεται εμφανίζονται οι περιοχές ανίχνευσης των Αισθητήρων με χρωματισμούς ανάλογα με την κατάσταση λειτουργίας τους.

6.3.4 Επιδόσεις

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η ακτίνα ανίχνευσης του εκάστοτε Αισθητήρα είναι περίπου 9μ, κάτι το οποίο εξαρτάται και από το εγγύς περιβάλλον του, καθώς αντικείμενα ή ψηλή βλάστηση και κυρίως βράχοι και γενικότερα συμπαγή εμπόδια μπορούν να μειώσουν την ακτίνα αυτή. Για παράδειγμα σε δοκιμή που πραγματοποιήθηκε ένας τοίχος πάχους 15 εκ. πλησίον του Αισθητήρα, σχεδόν υποδιπλασιάζει την ακτίνα ανίχνευσής του μειώνοντάς την στα 5 μ. περίπου. Ο λόγος είναι ότι η ενέργεια που εκπέμπεται από τον μικροκυματικό αισθητήρα ανακλάται ή απορροφάται από τα διάφορα εμπόδια, και δεν επαρκεί για να καλύψει την αρχική εμβέλειά του.

Η εμβέλεια του πομποδέκτη είναι περίπου 1 χλμ. σε πραγματικό έδαφος, χωρίς βέβαια κάποιο σημαντικό και υπερμέγεθες εμπόδιο όπως ένα κτίριο. Όπως και στην περίπτωση του μικροκυματικού αισθητήρα, έχουμε εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας και τα εμπόδια μπορούν να επηρεάσουν την εκπομπή τους. Στην περίπτωση βέβαια του πομποδέκτη, η συχνότητα των εκπεμπόμενων ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι 433 MHz και είναι πιο «διατρητικά» καθώς δεν απορροφώνται εύκολα, σε αντίθεση με αυτά του μικροκυματικού αισθητήρα που εκπέμπει στα 5 GHz.

Η κατασκευή του κάθε Αισθητήρα είναι αρκετά στιβαρή, από νάιλον (nylon), το οποίο έχει μεγάλη αντοχή σε χαμηλές και υψηλές θερμοκρασίες και στην

υγρασία. Επιπλέον το εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας των κυκλωμάτων του συστήματος είναι -20 με 120 βαθμοί Κελσίου, συνεπώς οι Αισθητήρες έχουν πολύ υψηλή ανθεκτικότητα στις συνθήκες του περιβάλλοντος. Τέλος, εφόσον δεν υπάρχουν κινούμενα μέρη στο σύστημα, τα οποία μειώνουν τη διάρκεια ζωής του λόγω τριβών, αλλά ούτε και ακραίες συνθήκες λειτουργίας, όπως υψηλές τάσεις ή ρεύματα μεγάλης έντασης, η διάρκεια ζωής των εξαρτημάτων εξαρτάται μόνο από την ποιότητα κατασκευής, που ακόμη κι αν αυτή δεν είναι η καλύτερη, ανέρχεται σε πολλά χρόνια.

6.4 Διάρκεια ζωής - Ενεργειακή κατανάλωση

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η συνολική κατανάλωση κάθε Αισθητήρα αλλά και η κατανάλωση ανά συσκευή που εμπεριέχεται σε κάθε Αισθητήρα, όπως μετρήθηκε με πολύμετρο ακριβείας εργαστηρίου.

Συσκευή	Τάση λειτουργίας	Κατάσταση αδράνειας		Κανονική λειτουργία		Κατανάλωσ η Ισχύος
		Κατανάλωση ρεύματος	Χρόνος (%)	Κατανάλωση ρεύματος	Χρόνος (%)	
Τροφοδοτικό	3.7 V	0.011 mA	0	0.011 mA	100	0.041 mW
Επεξεργαστής	3.3 V	0.170 mA	99.98	40.000 mA	0.02	0.587 mW
Πομποδέκτης	3.3 V	0.135 mA	99.984	120.000 mA	0.016	0.509 mW
GPS	3.3 V	0.000 mA	99.99	80.000 mA	0.01	0.026 mW
Ραντάρ	5.0 V	0.002 mA	0	2.000 mA	100	10.000 mW
Σύνολο:						11.163 mW

Το σενάριο σύμφωνα με το οποίο εκτιμήθηκαν οι χρόνοι λειτουργίας είναι ως εξής:

α. Ο κάθε Αισθητήρας εκπέμπει σήμα επιβεβαίωσης καλής λειτουργίας μία φορά ανά ώρα.

β. Κάθε ώρα τυγχάνει να γίνει ανίχνευση άρα και αποστολή σήματος για ενημέρωση του συστήματος ή αναμετάδοση τέτοιου σήματος από γειτονικό Αισθητήρα. Η ανίχνευση βέβαια μία φορά ανά ώρα ανά Αισθητήρα είναι

υπερβολική, όμως εφόσον αρκετοί Αισθητήρες είναι πιθανόν να λειτουργήσουν ως αναμεταδότες, ιδιαίτερα σε κάποιο μεγαλύτερης κλίμακας δίκτυο, η παραδοχή αυτή είναι αρκετά ρεαλιστική.

γ. Μία φορά ανά εβδομάδα γίνεται επανεντοπισμός της θέσης του Αισθητήρα με τη βοήθεια του GPS. Η μετακίνηση ενός Αισθητήρα είναι αρκετά απίθανη οπότε η διαδικασία αυτή γίνεται επικαλυπτικά, για την καλύτερη λειτουργία του δικτύου των Αισθητήρων.

Το σύστημα εναλλάσσεται μεταξύ δύο καταστάσεων λειτουργίας. Η πρώτη, η κατάσταση αδράνειας, είναι η κατάσταση κατά την οποία το σύστημα δεν εκτελεί κάποια ενέργεια, παραμένει ωστόσο ενεργοποιημένο και σε ετοιμότητα πλην βέβαια του τροφοδοτικού το οποίο απαιτείται να λειτουργεί διαρκώς για να παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια στο σύστημα και του μικροκυματικού αισθητήρα ο οποίος συνεχώς λειτουργεί εποπτεύοντας τον χώρο. Στην κατάσταση αυτή το σύστημα παραμένει όσο το δυνατόν περισσότερο καθώς η κατανάλωση είναι αμελητέα. Η δεύτερη κατάσταση λειτουργίας είναι η κανονική λειτουργία όπου το σύστημα εκτελεί κάποια ενέργεια, όπως λήψη ή αποστολή μηνύματος, λήψη συντεταγμένων από το δέκτη GPS ή κάποια επεξεργασία δεδομένων. Στην δεύτερη κατάσταση η κατανάλωση είναι σχετικά μεγάλη και για το λόγο αυτό το σύστημα παραμένει σε αυτή όσο το δυνατόν λιγότερο.

Παρατηρούμε ότι τελικά η μέση κατανάλωση ενός Αισθητήρα εκτιμάται στα 11.163 mW. Επιπλέον είναι προφανές ότι τη μεγαλύτερη ποσοστιαία κατανάλωση, η οποία ανέρχεται στο 90% της συνολικής, έχει ο μικροκυματικός αισθητήρας – ραντάρ. Αυτό οφείλεται αφενός στα ευτελή υλικά κατασκευής του και το μη ιδανικό σχεδιασμό αλλά κυρίως στο γεγονός ότι η εκπομπή του είναι συνεχής, κάτι που δεν είναι απαραίτητο.

Παρακάτω υπολογίζεται η ενεργειακή χωρητικότητα της μπαταρίας σε ένα Αισθητήρα.

Μπαταρία				
Χωρητικότητα	Μέση Τάση	Απόδοση Τροφοδοτικού	Ενεργειακή Χωρητικότητα	Ωφέλιμη Ενεργειακή Χωρητικότητα
3350 mAh	3.7 V	90%	12395 mWh	11156 mWh

Παρατηρούμε ότι η ωφέλιμη ενεργειακή χωρητικότητα της μπαταρίας είναι μικρότερη απ' όσο αναμένεται καθώς κατά τη μετατροπή της τάσης που παρέχει η μπαταρία, η οποία κυμαίνεται από 3.2 V έως 4.2 V, σε σταθερά 3.3 V και 5 V, τάσεις απαραίτητες για τη σωστή λειτουργία των συσκευών του συστήματος, υπάρχουν απώλειες στο σύστημα τροφοδοσίας της τάξης του 10%.

Σύμφωνα λοιπόν με τα δεδομένα αυτά, η διάρκεια ζωής ενός Αισθητήρα ανέρχεται σε:

$$\begin{aligned}
 \text{Διάρκεια ζωής} &= \frac{\text{Ωφέλιμη ενεργειακή χωρητικότητα μπαταρίας}}{\text{Μέση κατανάλωση Αισθητήρα}} = \frac{11156 \text{ mWh}}{11163 \text{ mW}} \\
 &= 999.37 \text{ ώρες} \cong 41 \text{ ημέρες}
 \end{aligned}$$

Η διάρκεια ζωής αυτή μπορεί να φαίνεται πολύ μικρή, όμως αφορά το πρωτότυπο που κατασκευάστηκε στα πλαίσια της εργασίας αυτής με μη ιδανικά για το σκοπό εξαρτήματα, κυρίως τον μικροκυματικό αισθητήρα, ο οποίος όπως ήδη αναφέρθηκε, καταναλώνει το 90% περίπου της ισχύος στο σύστημα, όμως με κατασκευαστικές και λειτουργικές βελτιώσεις μπορεί να υποχλιαπλασιαστεί, οπότε η διάρκεια ζωής αντίστοιχα θα αυξηθεί δραματικά, στα 5 χρόνια περίπου.

7 Συμπεράσματα – Μελλοντική εργασία

Στην παρούσα εργασία έγινε περιγραφή των Αυτόνομων Επίγειων Αισθητήρων, του τρόπου λειτουργίας τους, των δυνατοτήτων τους και ανάλυσης των τμημάτων, συσκευών και κυκλωμάτων από τα οποία αποτελείται, σε θεωρητικό επίπεδο αλλά και σε πρακτικό. Είναι αρκετά σαφής λοιπόν η θέση που κατέχουν οι Αυτόνομοι Επίγειοι Αισθητήρες στο χώρο της ασφάλειας περιοχών, εγκαταστάσεων και συνόρων.

Υπάρχουν βέβαια αρκετές δυνατότητες ακόμη που θα μπορούσαν να εξεταστούν και να αξιοποιηθούν, για την δημιουργία ενός πιο αποδοτικού και ολοκληρωμένου συστήματος ασφαλείας. Ξεφεύγοντας από τα πλαίσια της εργασίας αυτής και της πρακτικής εφαρμογής που έγινε, υπάρχει αρχικά χώρος για βελτιώσεις στο υλικό και στη ποιότητά του, ιδιαίτερα όταν στόχος είναι η μαζική παραγωγή για εμπορική χρήση. Καλύτερη ποιότητα συνεπάγεται αυτόματα μεγαλύτερο χρόνο ζωής του υλικού αλλά, ενεργειακής απόδοσης και φυσικά επιδόσεων. Επιπλέον με χρήση καλύτερων και περισσότερων τύπων αισθητήρων μπορούν να ενισχυθούν οι υπάρχουσες δυνατότητες (πχ. εμβέλεια ανίχνευσης) και να εξαλειφθούν αδυναμίες που προκύπτουν από τη χρήση ενός μόνο τύπου αισθητήρων. Αξίζει να σημειωθεί ότι στο σύστημα που αναπτύχθηκε και μόνο η βελτίωση του μικροκυματικού αισθητήρα και η «διακοπτόμενη» λειτουργία του μπορεί να εκτοξεύσει την ενεργειακή απόδοσή του, επιτρέποντας την συνεχή λειτουργία ενός Αισθητήρα για 5 χρόνια με χρήση μιας μικρής μπαταρίας Λιθίου.

Σαφώς και η διαθέσιμη στο σύστημα ενέργεια δεν είναι απαραίτητο να προέρχεται μόνο από την μπαταρία του, και θα μπορούσε εύκολα να χρησιμοποιηθεί κάποιο μικρό φωτοβολταϊκό πάνελ, είτε για την επέκταση του χρόνου λειτουργίας είτε για την υποστήριξη πιο ενεργειοβόρων δυνατοτήτων όπως η διασύνδεση με δορυφόρους για πιο άμεση αποστολή πληροφοριών, έτσι όμως περιορίζεται το στοιχείο της απόκρυψης και οι Αισθητήρες γίνονται πιο εύκολα διακριτοί, κάτι που μπορεί να είναι ανεπιθύμητο.

Όσον αφορά τον τομέα του λογισμικού, επίσης υπάρχουν ποικίλες βελτιώσεις που είναι δυνατό να γίνουν με χαρακτηριστικό παράδειγμα την ανάπτυξη «έξυπνων» αλγορίθμων, ικανών να ταυτοποιήσουν τον τύπο του πιθανού εισβολέα και να διευκρινιστεί εάν πρόκειται για άνθρωπο ή όχημα, κι όχι για παράδειγμα για κάποιο ζώο.

Τέλος, πολύ αποδοτικός μπορεί να αποβεί ο συνδυασμός Αισθητήρων με άλλες μεθόδους ή μέσα επιτήρησης, όπως για παράδειγμα με Μη Επανδρωμένα Αεροσκάφη. Έτσι, σε περίπτωση ανίχνευσης σε κάποιο σημείο, ένα ΜΕΑ μπορεί να απογειωθεί ή εάν βρίσκεται ήδη σε πτήση για λόγους εναέριας περιπολίας, να κατευθυνθεί άμεσα στις συντεταγμένες που έχει αποστείλει στο σύστημα κάποιος Αισθητήρας (Fly-on-Cue), δίνοντας σαφή εικόνα, κυριολεκτικά, για το τι συμβαίνει εκεί.

Γενικά, οι Αυτόνομοι Επίγειοι Αισθητήρες χρησιμοποιούνται ήδη για τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν και μπορούν να συνεχίσουν να χρησιμοποιούνται στο μέλλον παρόλο που, όπως και κανένα σύστημα ή μέσο, δεν αποτελεί πανάκεια ή λύση σε κάθε πρόβλημα, όμως με κατάλληλο σχεδιασμό και συνδυασμό με άλλα μέσα, μπορεί να αποτελεί έναν άγρυπνο κι ακούραστο φρουρό, αποτρέποντας την παραβίαση ασφαλείας των ορίων, όπου αυτά υπάρχουν και για όσο είναι αναγκαίο αυτά να προστατεύονται.

8 Βιβλιογραφία

- [1] Lenz, J., Edelstein, A.S., "Magnetic sensors and their applications." IEEE Sensors J. 2006, 6, 631-649.
- [2] Sessler, G.M.; West, J.E. (1962). "Self-biased condenser microphone with high capacitance". Journal of the Acoustical Society of America. **34** (11): 1787–1788.
- [3] E. R. Fossum, "CMOS image sensors: Electronic camera-on-a-chip", IEEE IEDM Tech. Dig., pp. 17-25, 1995.
- [4] Nepal, Gopal & Biswa, Rajen & Adhikari, Devi & Chodon, Pema & Gyeltshen, Sangay & Chenchu, (2013). Passive Infrared (PIR) Sensor Based Security System. International Journal of Electrical, Electronics and Computer Systems. 14. 772-778.
- [5] Types of Optical Sensors, Banner Engineering Corporation
http://info.bannersalesforce.com/xpedio/groups/public/documents/literature/pr_p1_t1_e.pdf
- [6] John M Reynolds (2011). An Introduction to Applied and Environmental Geophysics-second edition. WILEY BLACKWELL. p. 170. [ISBN 978-0-471-48535-3](#)