



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

Διπλωματική Εργασία

**Σχεδίαση και Ανάπτυξη Ασύρματου Κόμβου Μέτρησης και Ανάλυσης
Σεισμικών Δεδομένων Συμβατού με Δίκτυα LoRaWAN**

Φοιτητής: Κασσελούρης Κωνσταντίνος

ΑΜ: 71444991

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. ΠΥΡΟΜΑΛΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Επ. Καθηγητής Π.Α.Δ.Α

ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, (ΜΗΝΑΣ) (ΕΤΟΣ)

Η παρούσα διπλωματική εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την τριμελή εξεταστική επιτροπή, η οποία ορίστηκε από την Γ.Σ. του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, σύμφωνα με το νόμο και τον εγκεκριμένο Οδηγό Σπουδών του τμήματος.

Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

Υπογραφές Επιτροπής:

Πυρομάλης Δημήτριος (Επιβλέπων)

Λάσκαρης Νικόλαος (Μέλος)

Δρόσος Χρήστος (Μέλος)

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και (Ονοματεπώνυμο Φοιτητή/ήτριας),
Μήνας, Έτος**

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος/η Κωνσταντίνος Κασσελούρης του Θωμά, με αριθμό μητρώου 71444991 φοιτητής/τρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Ο Δηλών
Κωνσταντίνος Κασσελούρης



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω θερμά τις ευχαριστίες μου στους ανθρώπους που ήταν δίπλα μου και με βοήθησαν με ενέπνευσαν κατά τη διάρκεια της εκπόνηση της.

Ευχαριστώ θερμά τον Καθηγητή κ. Δημήτριο Πυρομάλη, για την καθοδήγηση του και την εμπιστοσύνη που έδειξε σε εμένα.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω και τους Καθηγητές κ. Νικόλαος Λάσκαρης και κ. Χρήστο Δρόσο για την συμμετοχή τους στην τριμελή εξεταστική επιτροπή.

Περίληψη

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η σχεδίαση και ανάπτυξη ενός ασύρματου συστήματος μετρήσεων σεισμικών δεδομένων κάνοντας χρήση χαμηλής ενέργειας. Το δίκτυο επικοινωνίας θα στηρίζεται στην τεχνολογία LoRaWAN.

Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκε σχεδιασμός θεωρητικού και τυπωμένου κυκλώματος και υλικολογισμικού του μικροελεγκτή που αξιοποιεί δύο αισθητήρες μέτρησης σεισμικών δεδομένων καθώς και ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα που χρησιμοποιεί την τεχνολογία LoRaWAN. Τα δεδομένα αποστέλλονται αρχικά σε έναν LoRaWAN συλλέκτη ενώ στη συνέχεια μεταφέρονται στο διαδίκτυο για περαιτέρω επεξεργασία.

Ο ασύρματος κόμβος που σχεδιάστηκε θα συμβάλει στην παρακολούθηση της κατάστασης μια κατασκευής. Συγκεκριμένα με την κατάλληλη τοποθέτηση του σε στρατηγικά σημεία της κατασκευής δίνεται η δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης του δομήματος ώστε να πραγματοποιείται έγκαιρη διάγνωση βλαβών μετά από έναν σεισμό. Βασικό πλεονέκτημα της προτεινόμενης λύσης είναι η δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου καθώς και το γεγονός ότι αποτελεί μη καταστροφικό έλεγχο.

Abstract

The purpose of this thesis is the design and development of a wireless system for measuring seismic data using low energy, the communication network will be based on LoRaWAN technology.

Specifically, the theoretical and printed circuit and the firmware of the microcontroller was designed, which uses two seismic data sensors and an integrated circuit that uses LoRaWAN technology. The data is sent to a LoRaWAN concentrator after the data is transferred to the internet for further processing.

The designed wireless node will help monitor the health status of a construction. Specifically, with its proper placement in strategic points of the construction, it is possible to continuously monitor the structure in order to make fast diagnosis of damage after an earthquake. The main advantage of the proposed solution is the possibility of remote control as well as the fact that it is a non-destructive inspection.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	4
Abstract	5
1 Κεφάλαιο 1 : ΤΕΤΑΡΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ	11
1.1 Η δημιουργία της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης	11
1.2 Αρχές Σχεδιασμού	12
1.2.1 Διασύνδεση	12
1.2.2 Διαφάνεια πληροφοριών	12
1.2.3 Τεχνική βοήθεια	12
1.2.4 Αποκεντρωμένες αποφάσεις	13
1.3 Κυβερνοφυσικά συστήματα	14
1.4 ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ	14
1.5 ΧΩΡΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	15
1.5.1 Καταναλωτικούς	15
1.5.2 Βιομηχανικούς	16
1.5.3 Χώρους υποδομών	16
2 Κεφάλαιο 2 : Επικοινωνία συσκευών	18
2.1 Το μοντέλο OSI	18
2.2 Τοπολογίες δικτύων	19
2.2.1 MESH	19
2.2.2 STAR	20
2.2.3 BUS	20
2.2.4 RING	21
2.2.5 TREE	21
2.3 Πρωτόκολλα επικοινωνίας	23

2.3.1	Wi-fi	23
2.3.2	Li-Fi	24
2.3.3	Zigbee	25
2.3.4	Bluetooth και Bluetooth χαμηλής ενέργειας(BLE)	27
2.3.5	Cellular (GSM)	29
2.3.6	LoRaWAN	31
3	Κεφάλαιο 3 : Σεισμός	35
3.1	Εθνικό δίκτυο επιταχυνσιογράφων	38
3.2	Παρακολούθηση κατασκευών με χρήση επιταχυνσιογράφου	39
3.2.1	Παράδειγμα χρήσης του αισθητήρα	40
4	Κεφάλαιο 4 : Σεισμογράφοι με ηλεκτροχημικούς μορφοτροπείς	45
4.1	Ηλεκτρομηχανικοί επιταχυνσιογράφοι και σειсмоγράφοι	46
4.2	Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες	47
4.3	Ψηφιακοί καταγραφείς σεισμών	48
4.4	Σεισμικά δίκτυα	49
4.5	Πρωτόκολλα συνεχούς μετάδοσης σεισμικών δεδομένων	50
4.5.1	SeedLink protocol	50
4.5.2	EarthWorm	50
4.6	Παρακολούθηση κατάστασης υγείας των κτιρίων	50
4.7	Εύρεση βλαβών χρησιμοποιώντας μη καταστροφικό έλεγχο	51
4.7.1	Ραδιογραφία	51
4.7.2	Υπέρηχοι	51
4.7.3	Μέθοδοι ταλαντώσεων	52
4.7.4	Οπτικοί μέθοδοι	52
4.7.5	Θερμογραφία	52

4.7.6	Ηλεκτρομαγνητική μέθοδος	53
4.7.7	Έλεγχος μαγνητικών σωματιδίων	53
5	Κεφάλαιο 5 : Σχηματικό διάγραμμα και τυπωμένο κύκλωμα	54
5.1	Επιλογή εξαρτημάτων	60
5.1.1	Μικροελεγκτής (MCU)	60
5.2.1	Lora module	61
5.2.2	Αισθητήρας δόνησης	63
5.2.3	Ο αισθητήρας επιτάχυνσης	68
5.2.4	Μπαταρία	70
5.3	ChirpStack LoRaWAN Network	71
5.3.1	ChirpStack Gateway Bridge	71
5.3.2	ChirpStack Network Server	71
5.3.3	ChirpStack Application Server	71
5.4	Raspberry Pi 3 model B+	72
5.5	Laura Wan concentrator	73
5.6	Τροφοδοσία gateway bridge	74
5.7	Enclosure Raspberry Pi και Lora gateway	75
6	Κεφάλαιο 6	77
6.1	Δημιουργία σεισμοσειράς	77
6.2	Καταγραφή δεδομένων	78
6.3	Προσομοίωση σεισμού	79
	Συμπεράσματα	91

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1 4η βιομηχανική επανάσταση	11
Εικόνα 2 Το μοντέλο OSI.....	18
Εικόνα 3 Τοπολογία δικτύου MESH	20
Εικόνα 4 Τοπολογία δικτύου STAR.....	20
Εικόνα 5 Τοπολογία δικτύου BUS	21
Εικόνα 6 Τοπολογία δικτύου RING.....	21
Εικόνα 7 Τοπολογία δικτύου TREE	22
Εικόνα 8 Λογότυπο του Wi-Fi.....	23
Εικόνα 9 Λογότυπο του Li-Fi.....	24
Εικόνα 10 Λογότυπο του Zigbee.....	25
Εικόνα 11 Λογότυπο του Bluetooth	27
Εικόνα 12 Λογότυπο του GSM.....	29
Εικόνα 13 Λογότυπο του LoRa	31
Εικόνα 14 Σύγκριση πρωτοκόλλων σε σχέση της ταχύτητας με το εύρος.....	34
Εικόνα 15 Κυματομορφή σεισμού στη νότια Καλιφόρνια.....	35
Εικόνα 16 Σεισμικός κύκλος διαδικασία συσσωρευτής ελαστικής ενέργειας και παραμόρφωσης.....	37
Εικόνα 17 Εθνικό δίκτυο επιταχυνσιογράφων.....	39
Εικόνα 18 Kobe, Ιαπωνία 1995 (γέφυρα Hansin).....	42
Εικόνα 19 Πρωτοβάθμιος ταλαντωτής	43
Εικόνα 20 Προσομοίωση γέφυρας με τη μέθοδο του πρωτοβάθμιου ταλαντωτή.....	43
Εικόνα 21 Ηλεκτροχημικός σειсмоγράφος	45
Εικόνα 22 Ηλεκτρομηχανικός επιταχυνσιογράφος χωρητικότητας	46
Εικόνα 23 Πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας επιτάχυνσης.....	47
Εικόνα 24 Σύστημα μέτρησης εδάφους GMSplus	48
Εικόνα 25 Τηλεμετρία συστήματα μέτρησης σεισμών.....	49
Εικόνα 26 Σχέδιο θεωρητικού κυκλώματος.....	55
Εικόνα 27 Σχέδιο τυπωμένου κυκλώματος.....	56
Εικόνα 28 Μπροστά μέρος πλακέτας (PCB).....	57

Εικόνα 29 Πίσω μέρος πλακέτας (PCB)	58
Εικόνα 30 Μπροστά μέρος πλακέτας με τα εξαρτήματα	59
Εικόνα 31 Ολοκληρωμένο κύκλωμα και οι έξοδοι του lora module	61
Εικόνα 32 Αρχή λειτουργίας του αισθητήρα D7s	64
Εικόνα 33 Τοπολογία των εξόδων του αισθητήρα D7s	65
Εικόνα 34 Διάγραμμα ροής του αισθητήρα D7s.....	67
Εικόνα 35 Τοπολογία των εξόδων του αισθητήρα ADXL345.....	69
Εικόνα 36 Επικοινωνία του τελικού κόμβου με τον server	72
Εικόνα 37 raspberry pi model 3 b+.....	73
Εικόνα 38 shield iC880A	74
Εικόνα 39 meanwell RS25-5	75
Εικόνα 40 Enclosure Raspberry Pi και Lora gateway.....	76
Εικόνα 41 Σεισμοσειρά τριών φάσεων	77
Εικόνα 42 Πρώτη φάση σεισμοσειράς.....	77
Εικόνα 43 Δεύτερη φάση σεισμοσειράς	78
Εικόνα 44 Τρίτη φάση σεισμοσειράς	78
Εικόνα 45 Προσομοίωση σεισμού σε woofer μπροστά όψη.....	80
Εικόνα 46 Προσομοιώσεις μου σε woofer πλάγια όψη	81
Εικόνα 47 Μέτρηση από τον αισθητήρα adxl345 στις τρεις φάσεις του σεισμού.....	82
Εικόνα 48 Πρώτη φάση του σεισμού	83
Εικόνα 49 Δεύτερη φάση του σεισμού	84
Εικόνα 50 Τρίτη φάση του σεισμού	85
Εικόνα 51 Οι τρεις φάσεις του σεισμού τοποθετημένο πάνω στο σωλήνα.....	86
Εικόνα 52 Πρώτη φάση του σεισμού πάνω στο σωλήνα	87
Εικόνα 53 Δεύτερη φάση του σεισμού πάνω στο σωλήνα.....	87
Εικόνα 54 Τρίτη φάση του σεισμού πάνω στο σωλήνα.....	88
Εικόνα 55 FFT στη βάση του σωλήνα.....	89
Εικόνα 56 FFT στην κορυφή του σωλήνα.....	90

1 Κεφάλαιο 1 : ΤΕΤΑΡΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ

Η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση, ή αλλιώς Βιομηχανία 4.0 (Industry 4.0), Είναι η παρών τάση αυτοματοποίησης και ανταλλαγής δεδομένων σε τεχνολογίες της παραγωγής. Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά είναι η επικοινωνία από μηχανή σε μηχανή (M2M) και το διαδίκτυο των αντικειμένων (IIoT), που χρησιμοποιείται και έχει ως αποτέλεσμα αυξημένο αυτοματισμό, βελτιωμένη επικοινωνία, παραγωγή και ανάπτυξη έξυπνων μηχανών ικανών για την ανάλυση και τη διάγνωση ζητημάτων, χωρίς να χρειάζεται η ανθρώπινη παρέμβαση.

[1]



Εικόνα 1 4η βιομηχανική επανάσταση

<https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/09/02/what-is-industry-4-0-heres-a-super-easy-explanation-for-anyone/?sh=58999d829788>

1.1 Η δημιουργία της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης

Ο όρος Βιομηχανία 4.0 (Industry 4.0) προέρχεται από ένα έργο που είχε στρατηγική υψηλής τεχνολογίας της Γερμανικής κυβέρνησης, το οποίο έχει σαν σκοπό μεγαλύτερο έλεγχο ή μεγαλύτερη αυτοματοποίηση της βιομηχανίας. Ένα από τα (χαρακτηριστικά) πράγματα που περιλαμβάνει η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση είναι η μεγάλη εξατομίκευση των προϊόντων κάτω από συνθήκες μαζικής παραγωγής βάζοντας (ενσωματώνοντας) στα μηχανήματα τη λογική(τη δυνατότητα) της αυτόματης πιστοποίησης, της αυτόματης παραμετροποίησης και της αυτοδιάγνωσης. Στην έκθεση του Ανόβερου, στις 8 Απριλίου του

2013, παρουσιάστηκε η ολοκληρωμένη ιδέα της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης από τον Siegfried Dais και των Henning Kagermann.

1.2 Αρχές Σχεδιασμού

Υπάρχουν τέσσερις βασικές αρχές σχεδιασμού που θεωρούνται αναπόσπαστες στη βιομηχανία 4.0:

1.2.1 Διασύνδεση

Η διασύνδεση είναι μια ικανότητα των μηχανών και των ανθρώπων που χρησιμοποιείτε για να συνδέονται και να επικοινωνούν μεταξύ τους. Σαν φυσικό μέσο χρησιμοποιείτε το διαδίκτυο. Για της μηχανές είναι το διαδίκτυο των αντικειμένων (IoT) ενώ για τους ανθρώπους του διαδικτύου των ανθρώπων (IoP).

1.2.2 Διαφάνεια πληροφοριών

Η διαφάνεια πληροφοριών είναι η σύνδεση μεταξύ μηχανών και ανθρώπων. Επιτρέπει στους σε όσους εκμεταλλεύονται αυτή την τεχνολογία να συλλέγουν πολύ μεγάλες ποσότητες δεδομένων σε όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας, Ενισχύοντας με αυτόν τον τρόπο τη λειτουργικότητα και εντοπίζοντας πολλά σημεία καινοτομίας και βελτίωσης.

1.2.3 Τεχνική βοήθεια

Η τεχνική βοήθεια αποτελείται από δύο μέρη.

Το πρώτο μέρος είναι η ικανότητα των συστημάτων υποστήριξης να παρέχουν μια βοήθεια το εργατικό προσωπικό, κάνοντας χρήση συγκεντρωμένο πλήθος πληροφοριών με σκοπό λήψη σωστών και τεκμηριωμένων αποφάσεων διευκολύνει στην επίλυση των επειγόντων προβλημάτων που πρέπει να λυθούν σε μικρό χρονικό διάστημα.

Το δεύτερο μέρος είναι η ικανότητα των κυβερνοφυσικών συστημάτων να παρέχουν υποστήριξη φυσικά τον άνθρωπο κάνοντας διεξαγωγή μιας σειράς καθηκόντων που είναι πιθανός δυσάρεστες, υπερβολικά εξαντλητικές ή ακόμα και μη ασφαλείς.

1.2.4 Αποκεντρωμένες αποφάσεις

Οι αποκεντρωμένες αποφάσεις είναι η βασική ικανότητα των κυβερνοφυσικών συστημάτων στο να λαμβάνουν αποφάσεις από μόνα τους και σαν συνέχεια γίνεται η εκτέλεση των καθηκόντων τους όσο το δυνατόν πιο αυτόνομα χωρίς κάποια παρέμβαση.

Υπάρχουν πολλά χαρακτηριστικά που απαρτίζουν την Βιομηχανία 4.0 . μερικά από αυτά είναι:

- Έξυπνοι αισθητήρες.
- Επαυξημένη πραγματικότητα (augmented reality).
- Πλατφόρμες στο διαδίκτυο των αντικειμένων (Iot).
- Προηγμένες διεπαφές ανθρώπου-μηχανής.
- Μεγάλα αναλυτικά στοιχεία και προηγμένες διαδικασίες.
- Κινητές συσκευές.
- Τεχνολογίες εντοπισμού θέσης.
- Οπτικοποίηση δεδομένων και ενεργοποίηση ζωντανής εκπαίδευσης.

1.3 Κυβερνοφυσικά συστήματα

Τα κυβερνοφυσικά συστήματα είναι μεγάλου μήκους ετερογενή δίκτυα, τα οποία έχουν σκοπό να φέρουν τεχνολογικές αλλαγές συνδέοντας τον φυσικό κόσμο με τον κυβερνοχώρο. Το παραπάνω πραγματοποιείται ενσωματώνοντας τη δυναμική των φυσικών διαδικασιών με αυτές του λογισμικού και των δικτύων παρέχοντας μοντελοποίηση, αφηρημένο σχεδιασμό και τεχνολογίες ανάλυσης για όλο το σύστημα. Η ιδεολογία των κυβερνοφυσικών συστημάτων άρχισε από το πεδίο της μηχανικής και η βασική του ιδέα ήταν να παρέχει ενσωμάτωση της επεξεργασίας και της επικοινωνίας του συστήματος από τον κυβερνοχώρο με σκοπό να παρακολουθεί και να ελέγχει το σύστημα στον φυσικό κόσμο.

1.4 ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

Το διαδίκτυο των αντικειμένων έχει φέρει μεγάλες αλλαγές στα συστήματα μετρήσεων και στην τηλεμετρία. Το ΙΟΤ αποτελείται από συσκευές, οι οποίες είναι συνδεδεμένες μέσω του διαδικτύου και μπορεί να είναι τοποθετημένες σε όλο τον κόσμο. Οι συσκευές αυτές λαμβάνουν και μοιράζονται τα δεδομένα τους με οποιουδήποτε είδους συσκευή. Οποιαδήποτε συσκευή μπορεί να γίνει ΙΟΤ τοποθετώντας της αισθητήρες ή ενεργοποιητές και συνδέοντάς την στο διαδίκτυο. Το βιομηχανικό διαδίκτυο των αντικειμένων κάνει χρήση αισθητήρων και ενεργοποιητών για να βελτιώσει τις διεργασίες παραγωγής.

Το διαδίκτυο των αντικειμένων (ΙΟΤ) αποτελείται από το δίκτυο φυσικών αντικειμένων που έχουν ενσωματωμένους αισθητήρες και ενεργοποιείτες, κάνουν χρήση λογισμικού και άλλων τεχνολογιών με σκοπό τη σύνδεση στο δυτικό και την ανταλλαγή πληροφοριών με άλλες συσκευές ΙΟΤ και συστημάτων μέσω του διαδικτύου. Το διαδίκτυο που χρησιμοποιούμε όλοι για να ανταλλάσσουμε πληροφορίες, πλέον, δεν είναι μόνο το δίκτυο υπολογιστών, αντιθέτως, έχει εξελιχθεί σε και έχει γίνει ένα δίκτυο συσκευών ποικίλων τύπων και μεγεθών όπως οχημάτων, συσκευών μέτρησης, έξυπνων τηλεφώνων, οικιακών συσκευών, υπολογιστών, παιχνιδιών, φωτογραφικών μηχανών, ιατρικών οργάνων και βιομηχανικών συστημάτων, κτιρίων, ζώων, ανθρώπων, αλλά και πληροφοριών επικοινωνίας και ανταλλαγής δεδομένων, εντοπισμού θέσης, ανίχνευσης ακόμη και προσωπική παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο.

1.5 ΧΩΡΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Γενικά, μπορούμε να χωρίσουμε το σύνολο των εφαρμογών που χρησιμοποιούν το διαδίκτυο των αντικειμένων σε τρεις σημαντικούς χώρους :

1.5.1 Καταναλωτικούς

Ένα αυξημένο τμήμα των συσκευών που χρησιμοποιούν το διαδίκτυο των αντικειμένων δημιουργούνται για άμεση χρήση από τους καταναλωτές, συμπεριλαμβανομένων των συνδεδεμένων οχημάτων, του αυτοματισμού στο σπίτι που έχουν τηλεματική, της φορητής τεχνολογίας, της συνδεδεμένης υγείας και των συσκευών με δυνατότητες απομακρυσμένης παρακολούθησης. Μια τέτοια εφαρμογή είναι και το «έξυπνο σπίτι» (Smart home), όπου κάθε συσκευή αποτελεί ένα μέρος της ευρύτερης έννοιας του οικιακού αυτοματισμού, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει τον φωτισμό, την θέρμανση, τον κλιματισμό, τα συστήματα μέσων και ασφαλείας καθώς και τα συστήματα κάμερας. Υπάρχουν μακροπρόθεσμα οφέλη τα οποία περιλαμβάνουν την εξοικονόμηση ενέργειας διασφαλίζοντας αυτόματα ο φωτισμός οπός και οι συσκευές είναι σβηστές ή σε λειτουργία αναμονής κάνοντας ταυτόχρονα ενημέρωση στους κατοίκους του κάθε σπιτιού για την ενεργειακή τους κατανάλωση.

1.5.2 Βιομηχανικούς

Γνωστό ως βιομηχανικό διαδίκτυο των αντικειμένων (IIOT), οι βιομηχανικές συσκευές IIOT αποκτούν και αναλύουν δεδομένα από βιομηχανικές συσκευές, οι οποίες έχουν αισθητήρες κατάστασης της λειτουργίας των μηχανών και ενεργοποιητές για τη βέλτιστη διαχείριση των διεργασιών τους. Κάνοντας έναν συνδυασμό που αποτελείτε από συσκευές παρακολούθησης της επιχειρησιακής τεχνολογίας, το βιομηχανικό διαδίκτυο των αντικειμένων (IIOT) διευκολύνει στην στη ρύθμιση και παρακολούθηση βιομηχανικών συστημάτων. Επίσης, η ίδια εφαρμογή μπορεί να εφαρμοστεί για να γίνονται αυτοματοποιημένες ενημερώσεις αρχείων όπως παράδειγμα για την τοποθέτηση επιπρόσθετων στοιχείων στις βιομηχανικές μονάδες αποθήκευσης. Στο βιομηχανικό διαδίκτυο των αντικειμένων μπορούμε να ξέρουμε την στιγμή την οποία χρειάζεται επισκευή ή αν έχει παρουσιάσει κάποια βλάβη η συνδεδεμένη συσκευή με αποτέλεσμα να μπορούμε να κάνουμε έγκαιρη διάγνωση και πρόληψη βλαβών ανάλογα με την λειτουργική κατάστασή του και των ενδείξεων των αισθητήρων.

1.5.3 Χώρους υποδομών

Ένα ακόμη σημαντικό είναι η παρακολούθηση και ο έλεγχος των βιώσιμων αστικών και αγροτικών υποδομών που αυτά απαρτίζονται από τις γέφυρες, τις σιδηροδρομικές γραμμές και τα αιολικά πάρκα τα οποία είναι εντός και αυτόν που βρίσκονται σε υπεράκτιας ζώνης. Αυτά αποτελούν βασική εφαρμογή του διαδικτύου των αντικειμένων. Η υποδομή του διαδικτύου των αντικειμένων μπορεί έχει χρήση στην παρακολούθηση οποιωνδήποτε σημαντικών και μη γεγονότων ή αλλαγών σε δομικές συνθήκες οι οποίες μπορεί να προξενήσουν κάποιο ατύχημα ή να θέσουν σε κίνδυνο την ασφάλεια. Το IOT μπορεί να έχει όφελος ακόμα και στον κατασκευαστικό κλάδο με την εξοικονόμηση κόστους, την μείωση χρόνου, την καλύτερη ποιότητα εργασίας, τον τρόπο διαχείρισης της ροής της εργασίας χωρίς τη χρήση χαρτιού και συνεπώς να οδηγήσει σε αύξηση της παραγωγικότητας. Ένα σημείο ακόμα που μπορεί να βοηθήσει βρίσκετε στη λήψη ταχύτερων αποφάσεων και στην εξοικονόμηση χρημάτων κάνοντας ανάλυση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (Real-Time Data Analytics). Μπορεί, επίσης, να χρησιμοποιηθεί για τον προγραμματισμό δραστηριοτήτων της επισκευής και της συντήρησης με έναν αποτελεσματικό τρόπο, συντονίζοντας τις τυχόν εργασίες μεταξύ διαφορετικών παροχών υπηρεσιών όπως και χρηστών αυτών των εγκαταστάσεων. Οι συσκευές IoT είναι κατάλληλες και έχουν εφαρμογή

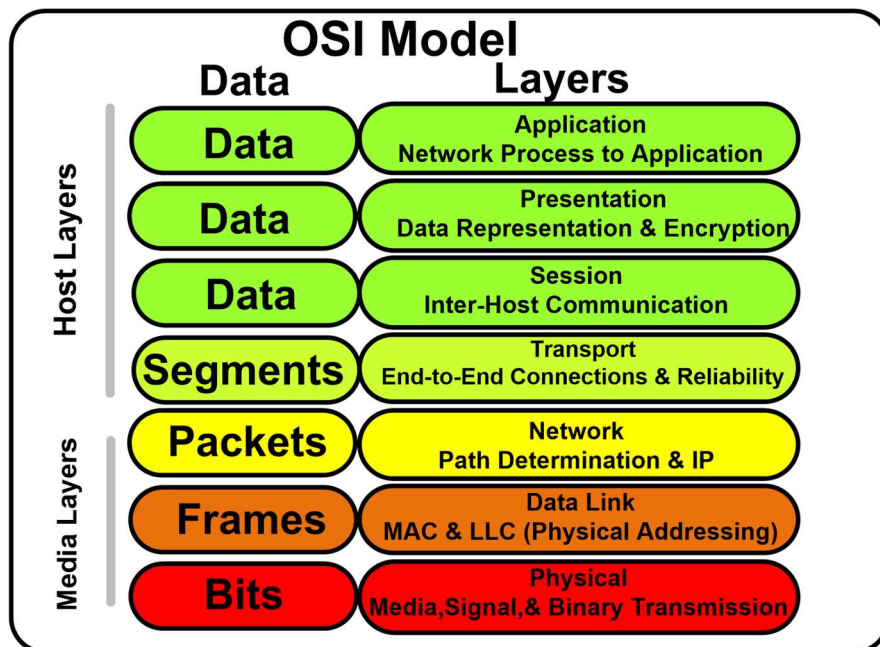
σε σημεία που χειμάζετε έλεγχο κρίσιμης υποδομής, όπως για παράδειγμα σε γέφυρες οι οποίες θα πρέπει να δημιουργούν παροχή πρόσβασης σε πλοία. Η χρήση συσκευών IoT για έλεγχο και την παρακολούθηση της λειτουργικής κατάστασης της υποδομής είναι πιθανό να παρέχει βελτίωση στη διαχείριση συμβάντων και στον συντονισμό απόκρισης μιας έκτακτης ανάγκης. Η ποιότητα κάθε υπηρεσίας, ο χρόνος αναβάθμισης και τη μείωση του κόστους λειτουργίας θα μπορούσε να βελτιωθεί σε όλους τους τομείς οι οποίοι σχετίζονται με την υποδομή.

2 Κεφάλαιο 2 : Επικοινωνία συσκευών

Η επικοινωνία των συσκευών είναι πολύ σημαντική ώστε να μπορούμε να συλλέγουμε τα δεδομένα από τις συσκευές και να τους δίνουμε εντολές προκειμένου να κάνουν μία συγκεκριμένη διεργασία. Για αυτό τον λόγο, έχουν τεθεί κάποια πρότυπα για τον τρόπο επικοινωνίας προς τις συσκευές και των συσκευών μεταξύ τους, τα οποία ονομάζονται πρωτόκολλα.

2.1 Το μοντέλο OSI

Το μοντέλο OSI συχνά χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη σχεδίαση των δικτύων των υπολογιστών. Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει επτά στρώματα. Το έβδομο και πιο ψηλό στρώμα είναι το στρώμα της εφαρμογής, ενώ το πρώτο είναι το πιο χαμηλό και φυσικό στρώμα μετάδοσης δεδομένων.



Εικόνα 2 Το μοντέλο OSI

<https://bambiblogger.wordpress.com/2018/04/30/open-systems-interconnection-model->

osi-model/

Τα πρωτόκολλα στα οποία στηρίζονται οι επικοινωνίες χρησιμοποιούν τα τρία τελευταία στρώματα τα οποία είναι:

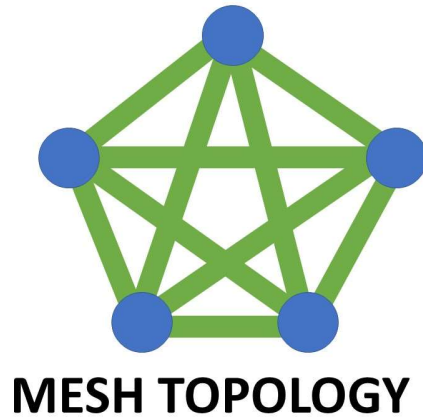
1. Το φυσικό στρώμα, στο οποίο εμπεριέχονται τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της σύνδεσης.
2. Το στρώμα των δεδομένων, το οποίο περιέχει τις φυσικές διευθύνσεις Mac και τον έλεγχο λογικής σύνδεσης.
3. Το στρώμα του δικτύου, το οποίο διαχειρίζεται τη μεταφορά των δεδομένων μεταξύ κόμβων και διαφορετικών δικτύων.

2.2 Τοπολογίες δικτύων

Η τοπολογία δικτύων μας δείχνει πώς διαφορετικές συσκευές είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους και τον τρόπο που επικοινωνούν. Οι τοπολογίες μπορεί να είναι δύο ειδών είτε φυσικές είτε λογικές.

2.2.1 MESH

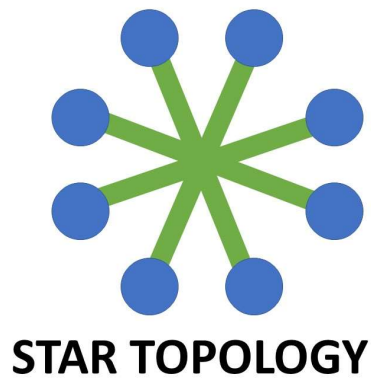
Στην τοπολογία mesh οι συσκευές συνδέονται μεταξύ τους δημιουργώντας εφεδρικές συνδέσεις με τις συσκευές. Υπάρχουν δύο είδη της τοπολογίας mesh. Το full mesh, όπου η κάθε συσκευή συνδέεται με όλες τις συσκευές του ίδιου δικτύου. Το Partial mesh, που είναι και το πιο συνηθισμένο, όπου οι συσκευές οργανώνονται και συνδέονται ανάλογα με τις συσκευές τις οποίες μπορούν να επικοινωνήσουν.



Εικόνα 3 Τοπολογία δικτύου MESH

2.2.2 STAR

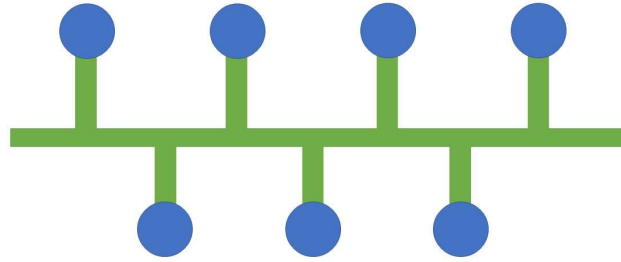
Στην τοπολογία Star οι συσκευές είναι συνδεδεμένες με μία κεντρική, η οποία ονομάζεται hub. Οι συσκευές επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω του δικτύου μεταφέροντας τα δεδομένα τους μέσα από το hub.



Εικόνα 4 Τοπολογία δικτύου STAR

2.2.3 BUS

Στην τεχνολογία bus κάθε συσκευή συνδέεται σε ένα κεντρικό σημείο το οποίο θα συνδέει όλες τις συσκευές μεταξύ τους. Τα δεδομένα μεταφέρονται στο καλώδιο και κάθε συσκευή τα διαβάζει.

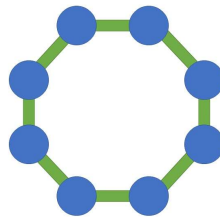


BUS TOPOLOGY

Εικόνα 5 Τοπολογία δικτύου BUS

2.2.4 RING

Στην τοπολογία Ring πολλές συσκευές συνδέονται μεταξύ τους σε έναν βρόχο. Τα δεδομένα μεταφέρονται γύρω από τον δακτύλιο με κάθε συσκευή να διαβάζει δεδομένα, τα οποία προορίζονται μόνο για αυτήν.

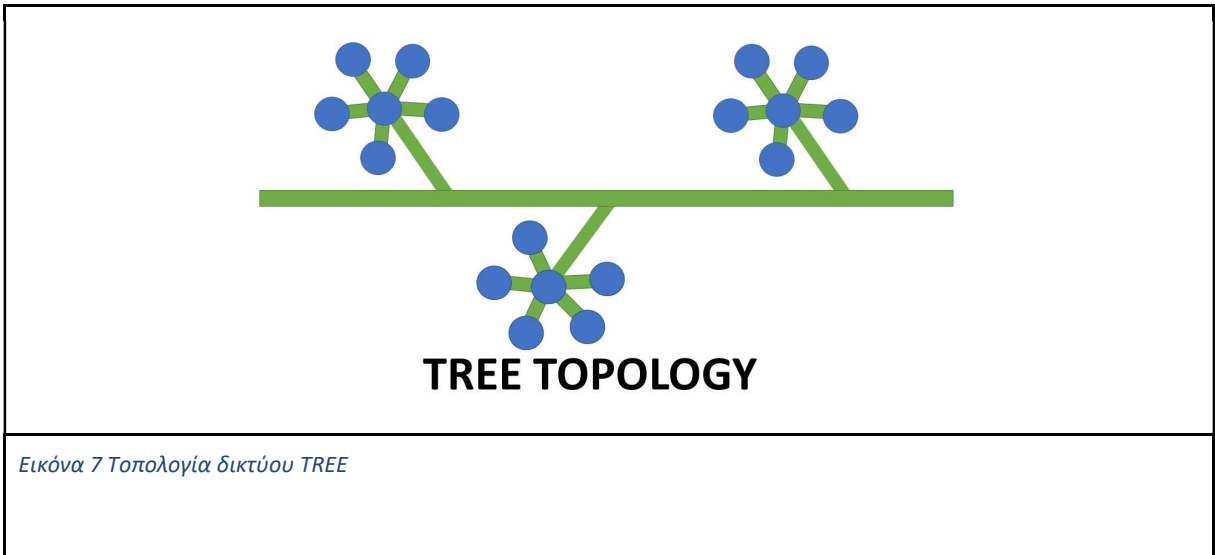


RING TOPOLOGY

Εικόνα 6 Τοπολογία δικτύου RING

2.2.5 TREE

Η τοπολογία Tree είναι μία υβριδική τοπολογία, η οποία έχει τα χαρακτηριστικά των τοπολογιών Bus και Star.



Εικόνα 7 Τοπολογία δικτύου TREE

2.3 Πρωτόκολλα επικοινωνίας

Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας είναι ένα σύνολο κανόνων για το πώς θα επικοινωνούν οι συσκευές μεταξύ τους στο ίδιο δίκτυο. Τα πρωτόκολλα έχουν σκοπό να επεξεργάζονται τα δεδομένα που παίρνουν από τις συσκευές. Αυτό το σύνολο δεδομένων το τεμαχίζουν σε μικρά πακέτα ώστε να μπορούν να τα στείλουν στο δίκτυο. Κάθε πρωτόκολλο είναι μοναδικό και έχει ένα συγκεκριμένο τρόπο λειτουργίας, ο οποίος είναι προκαθορισμένος από τον οργανισμό που το έφτιαξε.

2.3.1 Wi-fi



Εικόνα 8 Λογότυπο του Wi-Fi

<https://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>

Το Wi-Fi είναι ένα σύνολο από κάποια ασύρματα πρότυπα, τα οποία είναι γνωστά και ως IEEE 802.11. Χρησιμοποιεί συχνότητα 2.4GHz με 14 κανάλια ή συχνότητα των 5GHz με 48 κανάλια. Το Wi-Fi για να αποστείλει δεδομένα, τα οποία στο φυσικό επίπεδο είναι 0 και 1, στέλνει ένα εναλλασσόμενο ραδιοσήμα πάνω στο φέρον σήμα και μπορεί να επιτύχει ταχύτητα μετάδοσης 11 Mbps και απόσταση 30 μέτρα (2.4 GHz). Η απόσταση επηρεάζεται σημαντικά από τα υλικά που θα συναντήσει και το αν θα είναι σε οπτική επαφή με τις συσκευές. Το Wi-Fi καθορίζεται από τη φυσική διεύθυνση Mac και το φυσικό στρώμα PHY για τα ασύρματα δίκτυα, τα οποία δουλεύουν και σε διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων. Τα δεδομένα που θα τοποθετηθούν στο πακέτο για αποστολή οργανώνονται σε πλαίσια, τα οποία εμπεριέχουν την Mac, τα δεδομένα και τον έλεγχο σειράς πλαισίου.

Το Wi-Fi υποστηρίζει τρεις βασικές τοπολογίες δικτύου την IBSS, BSS και ESS. Όλες αυτές οι τοπολογίες υποστηρίζονται από το επίπεδο των δεδομένων μέσω της Mac.

2.3.2 Li-Fi



Εικόνα 9 Λογότυπο του Li-Fi

<http://www.li-fi-centre.com/li-filogo-2/>

Το Li-Fi είναι ένα ασύρματο αμφίδρομο δίκτυο υψηλής ταχύτητας, το οποίο βασίζεται σε γρήγορη διαμόρφωση του φωτός. Μοιάζει πολύ με το WiFi, αλλά αντί να μεταδίδει συχνότητες μεταδίδει φυσικό φως αυξάνοντας την ταχύτητα από GHz σε THz.

Το Li-Fi χρησιμοποιεί λάμπες LED ως πομπούς, αλλάζοντας το ρεύμα, το οποίο παρέχεται στο LED με πολύ γρήγορη ταχύτητα. Μπορούμε να τοποθετήσουμε δεδομένα ανάλογα με το πόσο γρήγορα αλλάζει η φωτεινότητα, τα οποία μπορεί ο δέκτης με έναν φωτοδέκτη να τα λάβει. Αυτές οι αλλαγές είναι πολύ γρήγορες για να τις δει το ανθρώπινο μάτι γι' αυτό το Li-Fi δεν επηρεάζει τη βασική εφαρμογή των LED. Το Li-Fi μπορεί να πιάσει μέχρι και τα 224 gigabits το δευτερόλεπτο και δεν επηρεάζεται καθόλου από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Το Li-Fi δεν μπορεί να διαπεράσει τοίχους, το οποίο σημαίνει ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε οπτική επαφή.

2.3.3 Zigbee



Εικόνα 10 Λογότυπο του Zigbee

<https://www.neothingsiot.com/portfolio/zigbee/>

Το ZigBee είναι ένα δίκτυο, το οποίο παρέχει μετάδοση δεδομένων έως και 250 kbits/s. Χρησιμοποιεί το φυσικό στρώμα PHY και τη φυσική διεύθυνση MAC σύμφωνα με το IEEE 802.15.4 πρότυπο και μπορεί να επιτύχει αποστάσεις μεταξύ 10 και 100 μέτρων σε οπτική επαφή. Επίσης, χρησιμοποιεί τις συχνότητες 868 megahertz για την Ευρώπη ή 2.4 GHz για τον υπόλοιπο κόσμο και έχει ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 20 kbit/s (868 MHz) και 250 kbit/s (2.4 GHz) και χρησιμοποιεί 16 κανάλια.

Σε κάθε δίκτυο ZigBee πρέπει να υπάρχει ένας διαχειριστής ZigBee (ZC), ο οποίος θα είναι στο κέντρο του δικτύου. Οι τελικές συσκευές που χρησιμοποιούν ZigBee δεν μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους και πρέπει για να επικοινωνήσουν να χρησιμοποιήσουν έναν μεταγωγέα επιπλέον, ο οποίος θα μεταδώσει μεταξύ των συσκευών και του διαχειριστή τα δεδομένα και προς τα πίσω.

Ένα δίκτυο μπορεί να λειτουργεί με ή χωρίς φάρο. Αν λειτουργεί με φάρο μπορούν οι τελικές συσκευές να στέλνουν πακέτα περιοδικά και στο ενδιάμεσο μπορούν να κοιμούνται ώστε να έχουν περισσότερη ενέργεια.

Οι κόμβοι στο δίκτυο βρίσκονται από το στρώμα δικτύου, το οποίο αυτόματα δημιουργεί ένα δίκτυο που βρίσκει σε ποια κανάλια μπορεί να λειτουργήσει και δίνει 16 bit διεύθυνση σε κάθε συσκευή στο δίκτυο. Η επικοινωνία του δικτύου μπορεί να αναμεταδίδεται ή να διανέμεται πολλές φορές ή μόνο μία. Το δίκτυο μπορεί να οργανωθεί με τοπολογία mesh ή

tree. Στο επίπεδο του δικτύου μπορεί να περιοριστεί ο αριθμός των αναπηδήσεων εφόσον είναι γνωστή η ακτίνα στην οποία θα ταξιδέψει το πακέτο.

Το επίπεδο δικτύου είναι υπεύθυνο για να καλύπτει μέσα στο δίκτυο τον πίνακα μετακινήσεων στο πακέτο. Μετά από τη δημιουργία του δικτύου ο διαχειριστής επεξεργάζεται ποιες συσκευές θα μείνουν ή θα φύγουν από το δίκτυο.

Στο επίπεδο της εφαρμογής υπάρχουν τα εξής βασικά υλικά, το application support (APS) που είναι διεπαφή υποστρώματος δικτύου. Το ZigBee Device Object (ZDO) κάνει τη διαχείριση των διεργασιών του και τη διαχείριση των συσκευών και, ταυτόχρονα, καθορίζει αν θα λειτουργεί ως συντονιστής router. Η συσκευή, επίσης, διαχειρίζεται θέματα ασφάλειας του δικτύου.

Στη δομή της εφαρμογής παρέχονται διάφορες υπηρεσίες, οι οποίες περιλαμβάνουν ζεύγη κλειδιών για στοιχεία των διεργασιών και της υπηρεσίας μηνυμάτων για μεταφορά δεδομένων. Το προφίλ της εφαρμογής χρησιμοποιείται, κυρίως, για τη διαμόρφωσή της. Ήδη, είναι προκαθορισμένα διάφορα προφίλ για συνηθισμένες εφαρμογές. Κάθε προφίλ πρέπει να έχει μία ταυτότητα των 16 bit, το οποίο θα χρησιμοποιείται από την ZigBee Alliance.

Κάθε προφίλ δεν περιέχει το σύμπλεγμα των συσκευών και το υπόμνημα. Κάθε σύμπλεγμα έχει τη δικιά του 16 bit ταυτότητα και συμπεριλαμβάνει ένα σύνολο από χαρακτηριστικά, τα οποία οργανώνονται σε ζευγάρια κλειδιών. Τα υπομνήματα των συσκευών κρατούνται ξεχωριστά από το προφίλ της εφαρμογής και εμπεριέχουν πέντε διαφορετικά δομικά στοιχεία:

1. Το υπόμνημα του κόμβου (ταυτότητα από τον κατασκευαστή, τύπος)
2. Ενέργεια (άμα εμπεριέχει μπαταρία, η οποία θα είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο διανομής ρεύματος και την κατάσταση της μπαταρίας)
3. Μία απλή περιγραφή (την ταυτότητα, το προφίλ και σε ποιο σύμπλεγμα ανήκει)
4. Μία σύνθετη περιγραφή (σειριακός αριθμός κ.ά.)
5. Την ταυτότητα του χρήστη γιατί μπορεί να είναι έως 16 χαρακτήρες ascii για περισσότερες πληροφορίες.

Η ασφάλεια του δικτύου βασίζεται σε μία κρυπτογράφηση υψηλού επιπέδου AES 128 bit κλειδιών. Τα κύρια κλειδιά τοποθετούνται στα κέντρα, τα οποία είναι αξιόπιστα και αυτά με τη σειρά τους παρέχουν κλειδιά στους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου για ασφαλείς συνδέσεις.

2.3.4 Bluetooth και Bluetooth χαμηλής ενέργειας(BLE)



Εικόνα 11 Λογότυπο του Bluetooth

<https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Bluetooth-logo.svg>

Το Bluetooth δημιουργήθηκε για εφαρμογές τηλεφωνίας και διαχείρισης υπολογιστών και αναπτύχθηκε στα μέσα του 1990 από τη Nokia.

Το φυσικό στρώμα λειτουργεί στη ζώνη του Industrial-Scientific-Medical (ISM) και στη συχνότητα μεταξύ 2.402GHz έως 2.480GHz. Αυτή η ζώνη διατίθεται παγκοσμίως για χρήση χωρίς άδεια. Τα δεδομένα διαμορφώνονται μεταπηδώντας σε διάφορες συχνότητες. Το φάσμα στις συχνότητες που αλλάζουν πάει σύμφωνα με πλάνο, για να βελτιωθεί η ασφάλεια και να μειωθούν οι παρεμβολές. Οι μεταπηδήσεις γίνονται με ρυθμό 1600 μεταπηδήσεις το δευτερόλεπτο. Ο εσωτερικός χρόνος μεταξύ των πακέτων καθορίζει μία θέση στον οποίο κάθε πακέτο μπορεί να σταλεί. Τα πακέτα είναι συγκεκριμένου τύπου και εμπεριέχουν ένα κωδικό πρόσβασης, την κεφαλίδα. Το πακέτο και τα δεδομένα μπορούν να φτάσουν έως και 2.745 kbits. Τα πακέτα πολλών θέσεων μπορούν να σταλούν χρησιμοποιώντας 5 θέσεις, τα οποία έχουν ως αποτέλεσμα ένα ρυθμό μετάδοσης δεδομένων έως 1 Mbit/s.

Το Bluetooth υποστηρίζει δύο τύπους συνδέσεων.

1. Οργανωμένη σύγχρονη σύνδεση SCO, η οποία δίνει συμμετρία και μία ροή πληροφοριών, ενώ υποστηρίζει και λειτουργίες φωνής.

2. Ασύγχρονη, χωρίς ACL σύνδεση, η οποία είναι σχεδιασμένη για γρήγορες μεταδόσεις που μπορούν να λειτουργήσουν είτε συμμετρικά είτε ασύμμετρα.

Η δημιουργία σύνδεσης μεταξύ των συσκευών γνωστή ως σύζευξη.

Οι συσκευές bluetooth μπορούν να οργανώσουν αυτοοργανωμένα δίκτυα γνωστά και ως piconets.

Συνήθως μία συσκευή δημιουργεί το δίκτυο, λειτουργεί σαν Master και έχει ρόλους διαχείρισης της αναπήδησης της συχνότητας αποστέλλοντας τον παλμό χρονισμού.

Τα συστήματα bluetooth μπορούν να διαχωριστούν σε controller, host και applications.

Ο controller έχει τα παρακάτω στρώματα:

- Το φυσικό στρώμα, το οποίο παρέχει την διεπαφή της συχνότητας.
- Μία λειτουργία άμεσου ελέγχου, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για έλεγχο του φυσικού στρώματος.
- Τη σύνδεση του στρώματος, η οποία παρέχει υπηρεσίες σύνδεσης δεδομένων.
- Μία υπενθύμιση μεταξύ του host/controller προς τον host.

Ο host συμπεριλαμβάνει:

- Το πρωτόκολλο ελέγχου της λογικής σύνδεσης και προσαρμογής (L2CAP), το οποίο παρέχει ένα κανάλι αφαίρεσης και κανάλια πολυπλεξίας για την σύνδεση δεδομένων.
- Ο διαχειριστής της ασφάλειας, ο οποίος διαχειρίζεται τη σύζευξη και την κατανομή κλειδιών.
- Το πρωτόκολλο χαρακτηριστικών, το οποίο ορίζει την πρόσβαση δεδομένων ανά συσκευή.
- Ένα γενικό προφίλ χαρακτηριστικών, το οποίο ορίζει τους τύπους χαρακτηριστικών και τη χρήση τους.
- Ένα γενικό προφίλ πρόσβασης, το οποίο ορίζει την ανακάλυψη των συσκευών και τις υπηρεσίες σύνδεσης.

Το στρώμα του application περιέχει:

- Τα χαρακτηριστικά, τα οποία έχουν τα δεδομένα σε γνωστή σύνταξη και μία γνωστή ταυτότητα από όλους (UUID).
- Μία διεργασία, η οποία έχει το σύνολο των χαρακτηριστικών της εφαρμογής και διαχειρίζεται τη σύνδεσή τους.
- Τα προφίλ που περιγράφουν τη χρήση των υπηρεσιών.

Το bluetooth χαμηλής ενέργειας (BLE) ορίζεται κάτω από το Bluetooth, αλλά διαφέρει σε αρκετά χαρακτηριστικά. Είναι βελτιστοποιημένο για εφαρμογές χαμηλής ενέργειας, το οποίο σημαίνει ότι χρησιμοποιεί όσο το δυνατόν λιγότερες εκπομπές. Οι συσκευές BLE έχουν φίλτρο καταστάσης, το οποίο διατηρεί τις καταστάσεις μεταξύ εκπομπών και η χρήση του χωρίς σύνδεση διαφέρει από αυτήν του Bluetooth. Οι συσκευές που χρησιμοποιούν BLE είναι οργανωμένες ως ένα σύστημα client-server, παρέχοντας μία αρχιτεκτονική προσανατολισμένη προς υπηρεσίες για να έχει πρόσβαση στις πληροφορίες στο server.

2.3.5 Cellular (GSM)



Εικόνα 12 Λογότυπο του GSM

<https://www.freevector.com/gsm>

Οι πρώτες ενέργειες για το GSM άρχισαν στα μέσα του 1980 και μέχρι σήμερα χρησιμοποιείται ευρέως παρόλο που μέσα στα χρόνια ο τρόπος με τον οποίο εφαρμόζεται το GSM άλλαξε σημαντικά.

Στην αρχή το GSM σχεδιάστηκε σε ένα κύκλωμα διακοπών, το οποίο δημιουργούσε μία αποκλειστική σύνδεση μεταξύ δύο χρηστών από οποιοδήποτε μέρος του κόσμου μέσω του δικτύου. Με την πάροδο του χρόνου υπάρχει ως αποτέλεσμα και η εξέλιξη το φυσικό

κύκλωμα διακοπών έγινε εικονικό και οι κόμβοι του δικτύου είναι συνδεδεμένοι μέσω IP. Παρόλο, που οι τηλεφωνικές κλήσεις παραμένουν σημαντικές, υπάρχουν και διαφορετικοί τύποι επικοινωνίας που γίνονται μέσω δικτύου και έχουν ένα μεγαλύτερο ρόλο.

Η μικρότερη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων στις απλές συνδέσεις είναι στα 64 kbit/s. Ένα τέτοιο κανάλι μπορεί να μας βοηθήσει για μεταφορά δεδομένων και ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι 2.048 Mbit/s, όπου αυτός διαιρείται σε 32 θέσεις χρονικές που μας δίνουν 64 kbit/s σε κάθε θέση.

Το LTE είναι ένα πρότυπο για την ασύρματη επικοινωνία και για την δικτύωση κινητών συσκευών, το οποίο έχει υψηλές ταχύτητες έως και 299.6 Mbps και αποτελεί την εξέλιξη του GSM/UMTS.

Το LTE(Long Term Evolution) mobile και το narrowband IOT είναι τα δύο IOT πρότυπα βασισμένα στην τεχνολογία LTE. Σχεδιάστηκαν για εφαρμογές IOT, αλλά με διαφορετικά χαρακτηριστικά σε σχέση με τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και την κάλυψη.

Το LTE-M βασίζεται πάνω στο LTE και υποστηρίζει επέκταση της ζωής της μπαταρίας χρησιμοποιώντας ορισμένες δυνατότητες. Προσφέρει, επίσης, υψηλή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων μέχρι 1 Mbps και παρέχει παραπάνω ευελιξία από το NB-IOT.

Το narrowband IOT συνυπάρχει με το GSM και χρησιμοποιεί το LTE στις συχνότητες 700, 800 και 900 MHz. Υποστηρίζει αμφίδρομη επικοινωνία και σε κάθε κεραία μπορούν να συνδεθούν έως 50000 συσκευές. Χρειάζεται ελάχιστο 180 kHz bandwidth για την δημιουργία σύνδεσης.

Το θετικό που παρέχουν τα δίκτυα GSM είναι ότι χρησιμοποιούν την υπάρχουσα δομή των κινητών τηλεφώνων. Ωστόσο, δεν έχουν παντού κάλυψη για τις περισσότερες εφαρμογές του IOT.

2.3.6 LoRaWAN



Εικόνα 13 Λογότυπο του LoRa

<https://lora-alliance.org/>

Το LoRaWAN είναι μία τεχνολογία για μετάδοση δεδομένων σε μεγάλη εμβέλεια, το οποίο σχεδιάστηκε από την Semtech Corporation.

Οι εφαρμογές του διαδικτύου των αντικειμένων έχουν κίνητρο να συνδυάσουν 9 δίκτυα και να καλύπτουν μεγάλες γεωγραφικές περιοχές, αλλά να συνεχίσουν να παρέχουν χαμηλή ενέργεια κατά τη λειτουργία για χρήση από συσκευές, οι οποίες λειτουργούν με μπαταρία.

Το LoRaWAN είναι ένα παράδειγμα ενός τέτοιου δικτύου. Αυτό το δίκτυο χρησιμοποιεί τις συχνότητες 868 MHz για την Ευρώπη και 915 MHz για την Αμερική, ενώ για τον υπόλοιπο κόσμο 433 MHz που ανήκει στις ελεύθερες συχνότητες. Επιπλέον, κάνει χρήση τεχνικών ευρέως φάσματος και βασίζεται σε chirped-FM διαμόρφωση. Ο server του δικτύου διαχειρίζεται τη μετάδοση δεδομένων και την ισχύ εκπομπών των συνδέσμων για βελτιστοποίηση της μπαταρίας και του διαθέσιμου εύρους ζώνης.

Η επικοινωνία μπορεί να τοποθετηθεί σε διάφορους ρυθμούς δεδομένων. Ο ρυθμός μετάδοση δεδομένων μπορεί να είναι από 0,3 έως και 50 kbits/s. Το δίκτυο LoRaWAN έχει σκοπό την εμβέλεια σε σχέση με τα συμβατικά ασύρματα δίκτυα. Μία σύνδεση μπορεί να γίνει πάνω από 2 km σε πόλεις και πάνω από 20 χιλιόμετρα σε περιοχές, οι οποίες έχουν χαμηλές παρεμβολές.

Μία τελική συσκευή LoRaWAN λειτουργεί σε μία από τις τρεις κλάσεις.

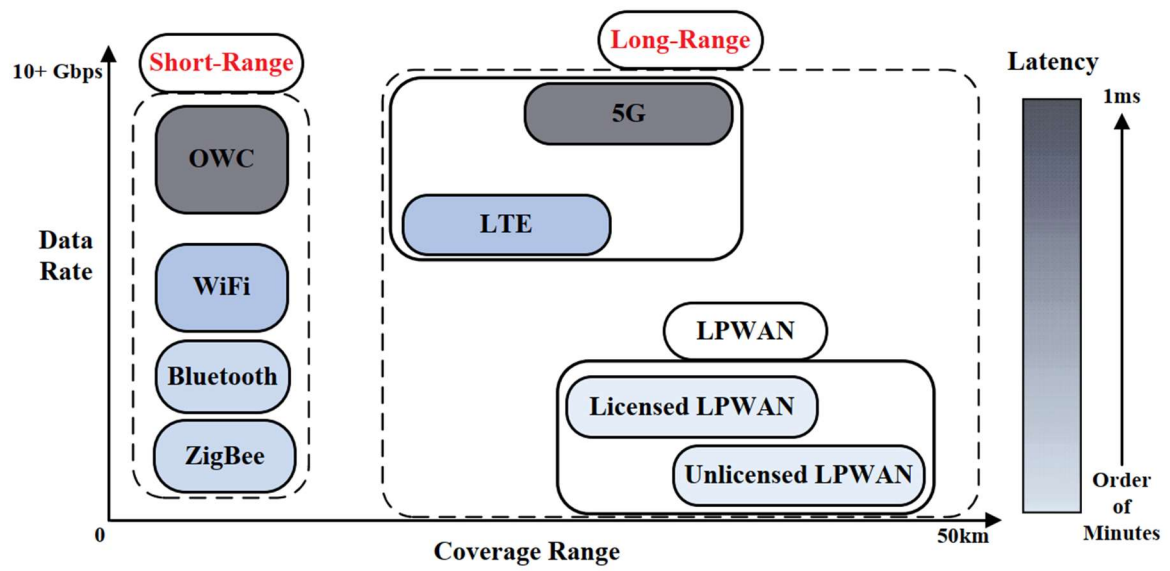
- Κλάση A. Η επικοινωνία ξεκινάει μόνο όταν αρχίσει την επικοινωνία η τελική συσκευή. Όλες οι επικοινωνίες είναι ασυγχρονες χρησιμοποιώντας το Aloha πρωτόκολλο.
- Κλάση B. Οι συσκευές συγχρονίζονται στους φάρους του δικτύου και ο συγχρονισμός μπορεί να μειώσει την καθυστέρηση των δεδομένων, αλλά σε κόστος μεγαλύτερης ενεργειακής κατανάλωσης.
- Κλάση C. Οι συσκευές δεν σταματούν να στέλνουν και να λαμβάνουν όλη την ώρα, παρέχοντας μικρότερη καθυστέρηση για τις εισερχόμενες μεταδόσεις και ανεβάζοντας σημαντικά την ενεργειακή κατανάλωση.

Μία πύλη δικτύου LoRa συνδέεται με διάφορες συσκευές σε τοπολογία star. Η πύλη δικτύου είναι συνδεδεμένη στο ίντερνετ και μεταφράζει τα δεδομένα μεταξύ των συνδέσεων LoRaWAN και του Internet χρησιμοποιώντας ασφαλείς συνδέσεις TCP/IP. Το δίκτυο ορίζει τα κλειδιά συνεδριών και των δύο δικτύων και τα κλειδιά της εφαρμογής βασισμένα στο AES πρότυπο.

Το δίκτυο LoRaWAN έχει και το κομμάτι του server, ο οποίος θα είναι ο δέκτης των δεδομένων των συσκευών, κάνει επεξεργασία των δεδομένων και αφαιρεί τα διπλότυπα πακέτα. Τα δεδομένα μετά τα περνάει στο επίπεδο της εφαρμογής που τρέχει πάνω του.

Technical considerations	Cellular LPWA		Proprietary LPWAN	Short Range			
	LTE-M	NB-IoT		LoRa	Wi-Fi	ZigBee	Bluetooth BLE
Outdoor device radio range	>10km	>15km	>10km	<=250m	<300	<100m	>10m
Indoor coverage	Medium	High	High	High	High	High	High
Energy efficiency	~10 years	~10 years	10-20 years	<10 days	6-12 months	~10 years	<10 days
Mobility	High	Medium	Low	Low	Low	Very low	Very low
Positioning	Very high	High	Low	Medium	Medium	Medium	Medium
Latency	10-15 ms	1.6-10 s	>10 s	8-36 ms	<30 ms	3 ms	10ms
Device density	High	High	High	Low	Medium	High	Medium
MAX OUTPUT POWER	0.2 W (max)	0.2 W (max)	0.025 W	0.1 W	0.1 W	0.003 W	
Standard	3GPP	3GPP	LoRaWAN	802.11a/b/g/n/ac	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.1	Similar to 802.11
Topologies	Star	Star	Star	Star	Star, mesh	mesh	Star
Data Rate	<500 kbps (2G), <2 Mbps (3G), <10 Mbps (4G) <100 Mbps (5G)		0.25–50 Kbps	<1 Gbps	250 Kbps	1 Mbps	<224 Gbps
Frequency	B3 (1800 MHz), B7 (2600MHz), B8 (900 MHz), B20 (800 MHz), B28(700 MHz)		868 MHz, 915 MHz	2.4 GHz, 5 GHz	2.4 GHz ISM 868–915 MHz ISM	2.4 GHz ISM	400–800 THz

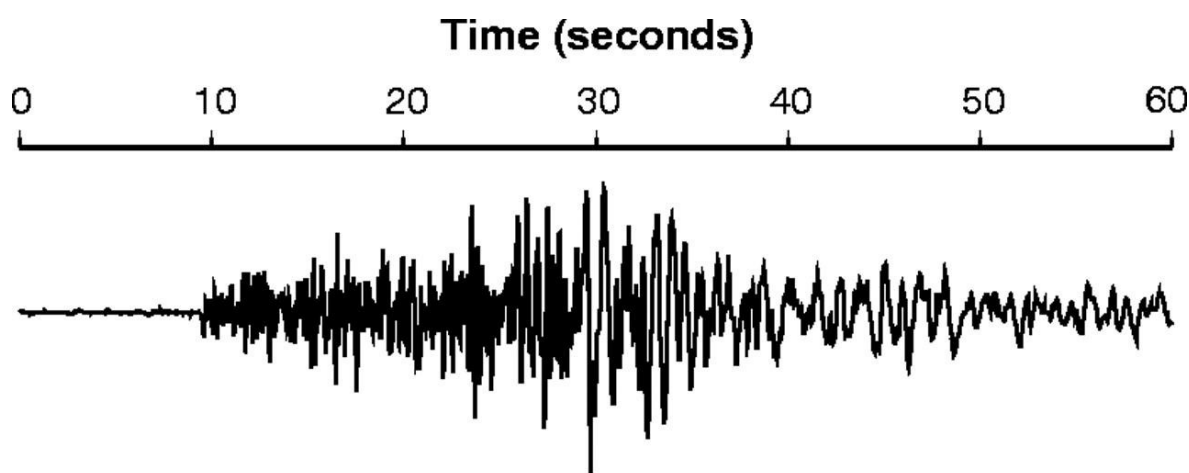
Πίνακας 1 Σύγκριση ασύρματων δικτύων



Εικόνα 14 Σύγκριση πρωτοκόλλων σε σχέση της ταχύτητας με το εύρος

3 Κεφάλαιο 3 : Σεισμός

Σεισμός ορίζεται η δόνηση του εδάφους που πραγματοποιείται μετά από η διατάραξη της μηχανικής ισορροπίας των λιθωμάτων ενώ προκαλείται από φυσικά αιτία στο εσωτερικό της. Η μετακίνηση αυτή προέρχεται από σχετική ολίσθηση ανάμεσα στις πλευρές του σεισμογόνου ρήγματος. Αξίζει να αναφερθεί ότι οι εδαφικές δονήσεις που εκφράζονται με τα σεισμικά κύματα διαδίδονται στο εσωτερικό της γης και τελικά καταλήγουν στην επιφάνειά της. Η περίοδος ενός σεισμικού κύματος μπορεί να είναι τάξης κλασμάτων του δευτερολέπτου ενώ μπορεί να φτάσει και τα 54 λεπτά.



Εικόνα 15 Κυματομορφή σεισμού στη νότια Καλιφόρνια

<https://science.sciencemag.org/content/300/5620/786/tab-figures-data>

Η μελέτη του κόμβου μέτρησης δεδομένων αποτελεί τομέα της μακροσεισμικής.

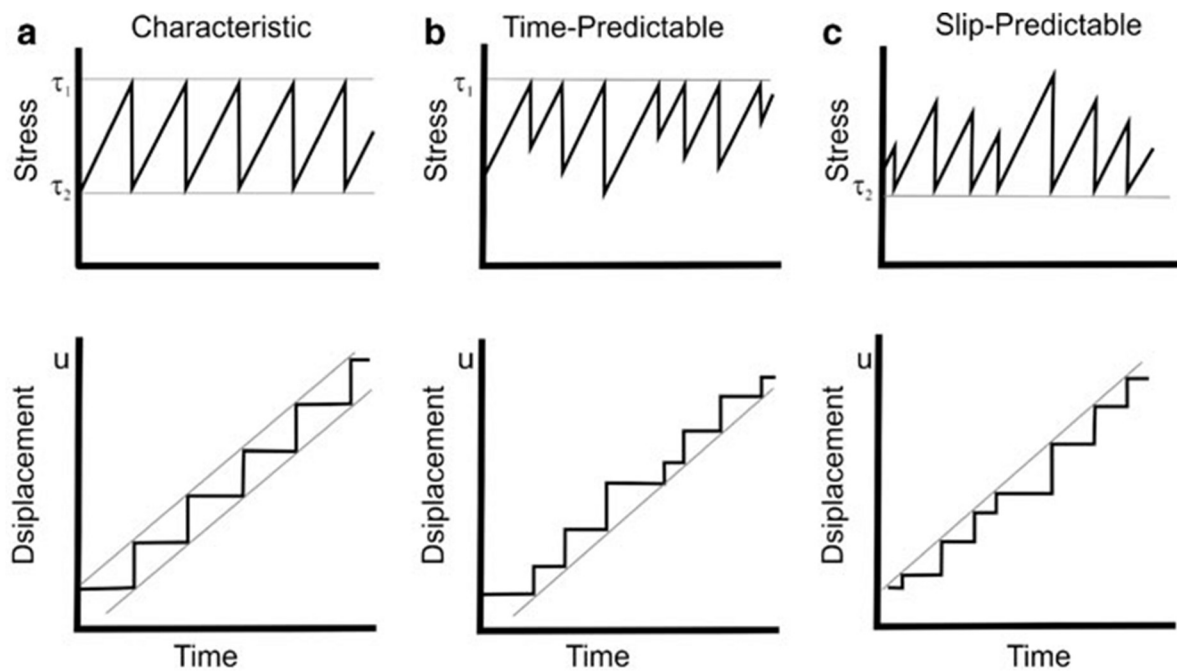
Η κίνηση του εδάφους, όπως και των υλικών, αναλύεται σε μετάθεση και περιστροφή. Στη σεισμολογία μελετάται η μετάθεση και η παραγωγός της ως προς το χρόνο, την επιτάχυνση και την ταχύτητα. Οι σεισμολογικοί σταθμοί είναι εξοπλισμένοι με όργανα, τα οποία μπορούν να ανιχνεύσουν την κίνηση σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων 0,001-1000 Hz. Η περιστροφική σεισμική κίνηση είναι σημαντική μόνο κοντά στις σεισμικές εστίες.

Frequency range (Hz)	Type of measurements
0.00001–0.0001	Earth tides
0.0001–0.001	Earth free oscillations, earthquakes
0.001–0.01	Surface waves, earthquakes
0.01–0.1	Surface waves, P and S waves, earthquakes with $M > 6$
0.1–10	P and S waves, earthquakes with $M > 2$
10–1000	P and S waves, earthquakes, $M < 2$

Πίνακας 2 Οι συνηθισμένες συχνότητες, οι οποίες δημιουργούνται από συγκεκριμένες πηγές

Ο σεισμός είναι αποτέλεσμα των δυνάμεων, που ασκούνται στα πετρώματα των επιφανειακών στρωμάτων της γης. Οι δυνάμεις αυτές έχουν ως αποτέλεσμα τη συνεχή επιβολή ελαστικών παραμορφώσεων στα πετρώματα καθώς και τη συγκέντρωση δυναμικής ενέργειας. Τη στιγμή κατά την οποία οι τάσεις που ασκούνται ξεπεράσουν την αντοχή του πετρώματος σε μια ορισμένη θέση αυτό σπάει και προκαλείται μια στιγμιαία σχετική μετακίνηση των δύο πετρωμάτων. Έτσι το πέτρωμα διαχωρίζεται σε δύο τεμάχια. Η επιφάνεια αυτή λέγεται ρήγμα. Μετά τον σχηματισμό του ρήγματος οι τάσεις πρέπει κάθε φορά να υπερβαίνουν την τιμή της τριβής η οποία αναπτύσσεται ανάμεσα στις επιφάνειες του ρήγματος. Με αυτό τον τρόπο προκαλείται απότομη ολίσθηση και συνεπώς σεισμός. Κατά την ολίσθηση, μέρος της συσσωρευμένης ελαστικής ενέργειας μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια, η οποία ονομάζεται και σεισμική ενέργεια.

Η επαναληπτική διαδικασία συσσώρευσης ελαστικής ενέργειας παραμόρφωσης σε ένα σειсмоγόνο ρήγμα, η οποία απελευθερώνεται γέννηση ισχυρών σεισμών, αποτελεί τον σεισμικό κύκλο.



Εικόνα 16 Σεισμικός κύκλος διαδικασία συσσωρευτικής ελαστικής ενέργειας και παραμόρφωσης

https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4419-7695-6_8

Η μηχανική συμπεριφορά ενός ρήγματος δεν είναι σταθερή, λόγω της ανομοιογένειας του. Συνεπώς, οδηγείται στην απελευθέρωση τάσεων διαφόρων επιπέδων με συνέπεια τη γέννηση σεισμών διαφόρων μεγεθών. Ακόμα, η ταχύτητα κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών που προκαλεί η φυσική διάρρηξη μπορεί να μην είναι σταθερή βραχυπρόθεσμα κατά τη διάρκεια δύο διαδοχικών κύκλων. Στο ρήγμα εκτός από ελαστική παραμόρφωση προκαλείται και ανελαστική με τη μορφή σεισμικής ολίσθησης. Συνεπώς, μέρος της ενέργειάς της λιθοσφαιρικής κίνησης μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια κατά τη διάνοιξη του ρήγματος.

Οι σεισμικές βλάβες, που είναι άμεσες, αποτελούν συνέπεια της διάδοσης των σεισμικών κυμάτων από το έδαφος, στα θεμέλια, στο κέλυφος και τέλος στη στέψη των κατασκευών. Η κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής κίνησης προκαλεί μικρότερες βλάβες σε σχέση με την οριζόντια συνιστώσα. Αυτό συμβαίνει καθώς η κατακόρυφη συνιστώσα είναι μικρότερη της οριζόντιας με εξαίρεση την περιοχή πολύ κοντά στο επίκεντρο. Επιπλέον, κατά την κατακόρυφη διεύθυνση ασκείται συνεχώς το βάρος του κτιρίου με συνέπεια τον περιορισμό

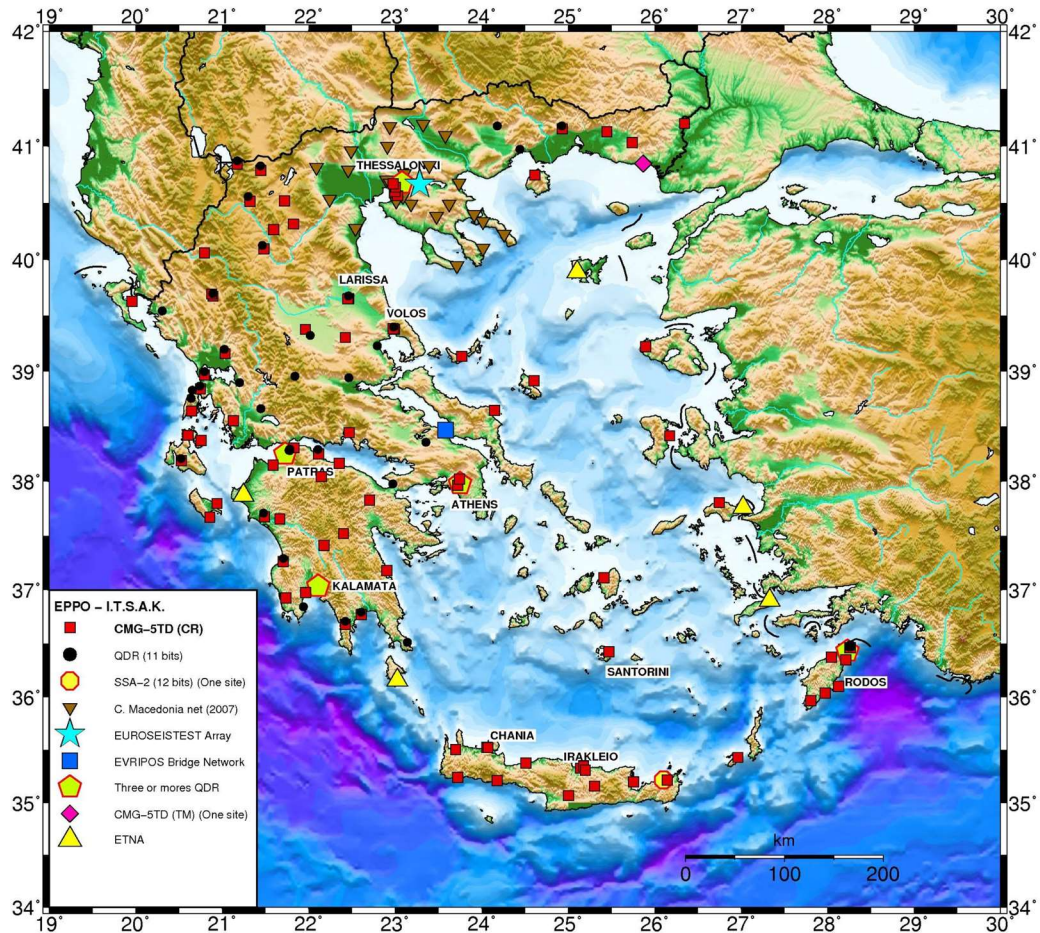
των σημαντικών μετακινήσεων και συνεπώς βλαβών εξαιτίας των κατακόρυφων σεισμικών δυνάμεων. Ωστόσο, η κατακόρυφη συνιστώσα είναι υπεύθυνη για τη γένεση τάσεων συμπίεσης στα κτίρια.

Η σεισμική κίνηση αναλύεται σε οριζόντια και κατακόρυφη συνιστώσα. Συνέπεια της οριζόντιας μετακίνησης αποτελεί η διατμητική παραμόρφωση στοιχείων των κατασκευών και την ανάπτυξη τάσεων συμπίεσης και εφελκυσμού. Οι διευθύνσεις των παραπάνω τάσεων είναι κάθετες μεταξύ τους και για αυτό το λόγο βλέπουμε συχνά στα κτίρια διαρρήξεις που σχηματίζουν ορθές γωνίες μεταξύ τους. Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι οι συνέπειες στην κατασκευή από την οριζόντια συνιστώσα της σεισμικής κίνησης διαμορφώνεται ανάλογα με τη σχέση της διεύθυνσης της σεισμικής δύναμης σε σχέση με τον προσανατολισμό της κατασκευής

3.1 Εθνικό δίκτυο επιταχυνσιογράφων

Στην Ελλάδα, όπως και σε πολλές χώρες, υπάρχει ένα εθνικό δίκτυο επιταχυνσιογράφων. Το δικό μας αποτελείται από 250 επιταχυνσιογράφους ψηφιακής τεχνολογίας .

Το <http://www.itsak.gr/head> παρέχει μία βάση δεδομένων που επιτρέπει την αναζήτηση σε σχέση με παλιούς σεισμούς ή την ημερομηνία που έγινε.



Εικόνα 17 Εθνικό δίκτυο επιταχυνσιογράφων

http://www.itsak.gr/page/infrastructures/networks/acc_network/

3.2 Παρακολούθηση κατασκευών με χρήση επιταχυνσιογράφου

Ένα από τα πράγματα που μας ενδιαφέρει σε ένα κτίριο είναι η απόκριση του σε έντονες εδαφικές μετακινήσεις. Η καταγραφή της επιτάχυνσης μιας σεισμικής διέγερσης χαρακτηρίζεται ως ο πιο καθοριστικός παράγοντας για την απεικόνιση και πλήρη κατανόηση της δυναμικής απόκρισης μιας κατασκευής. Για την παρακολούθηση της δομικής κατάστασης μιας κατασκευής προτείνεται η εγκατάσταση συστήματος αισθητήρων σε επιλεγμένες θέσεις στον φέροντα οργανισμό του δομήματος. Το σύστημα αυτό τοποθετείται σε οποιαδήποτε επιφάνεια με σκοπό τη μέτρηση της επιτάχυνσης για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη μεταβολή της επιτάχυνσης ως προς το χρόνο. Έτσι, παρέχεται η δυνατότητα

παρακολούθησης της κατασκευής, αλλά και η συλλογή αξιόπιστων και επαρκούς πλήθους εξατομικευμένων δεδομένων. Με τα παραπάνω δεδομένα, ο πολιτικός μηχανικός που θα κληθεί να πραγματοποιήσει εργασίες συντήρησης ή επισκευής θα έχει τη δυνατότητα να εντοπίσει άμεσα και στοχευμένα τις αδυναμίες της κατασκευής. Τα βασικά, λοιπόν, πλεονεκτήματα της εγκατάστασης συστημάτων αισθητήρων με σκοπό την παρακολούθηση της δομικής κατάστασης των κατασκευών είναι:

1. Η συνεχής παρακολούθηση του δομήματος.
2. Η ελαχιστοποίηση του χρόνου διακοπής της λειτουργίας των κατασκευών για εργασίες συντήρησης ή αποκατάστασης.
3. Η μείωση του κόστους συντήρησης.
4. Η βελτίωση της ασφάλειας και της αξιοπιστίας.
5. Η καλύτερη σχεδίαση μελλοντικών κατασκευών.

Συνήθως, για να αποφευχθεί η συνεχής λειτουργία του, η συλλογή δεδομένων του συστήματος αρχίζει με την άφιξη των πρώτων ισχυρών κυμάτων, ενώ το τέλος των καταγραφών συνδέεται άμεσα με τις τελευταίες ασθενείς δονήσεις.

3.2.1 Παράδειγμα χρήσης του αισθητήρα

Όπως αναφέρθηκε, προηγουμένως, ιδιαίτερα σημαντική είναι η μελέτη της δυναμικής απόκρισης των κατασκευών, ενώ εξαιρετικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη των φορέων γεφυρών. Η επιτάχυνση είναι το μέγεθος, το οποίο μετράται άμεσα, όταν ο φορέας υπόκειται σε μια δυναμική καταπόνηση, όπως αυτή του σεισμού. Στην περίπτωση μιας γέφυρας ιδιαίτερα σημαντική είναι η επιτάχυνση της ανωδομής, η οποία είναι ανεξάρτητη από την επιτάχυνση στη στάθμη του εδάφους. Για την επαλήθευση των υπολογισμών που θα πραγματοποιηθούν απαιτείται η εγκατάσταση ενός αισθητήρα στη στάθμη του εδάφους, ώστε να καταγράφεται η επιτάχυνση του εδάφους ως προς ένα σημείο αναφοράς.

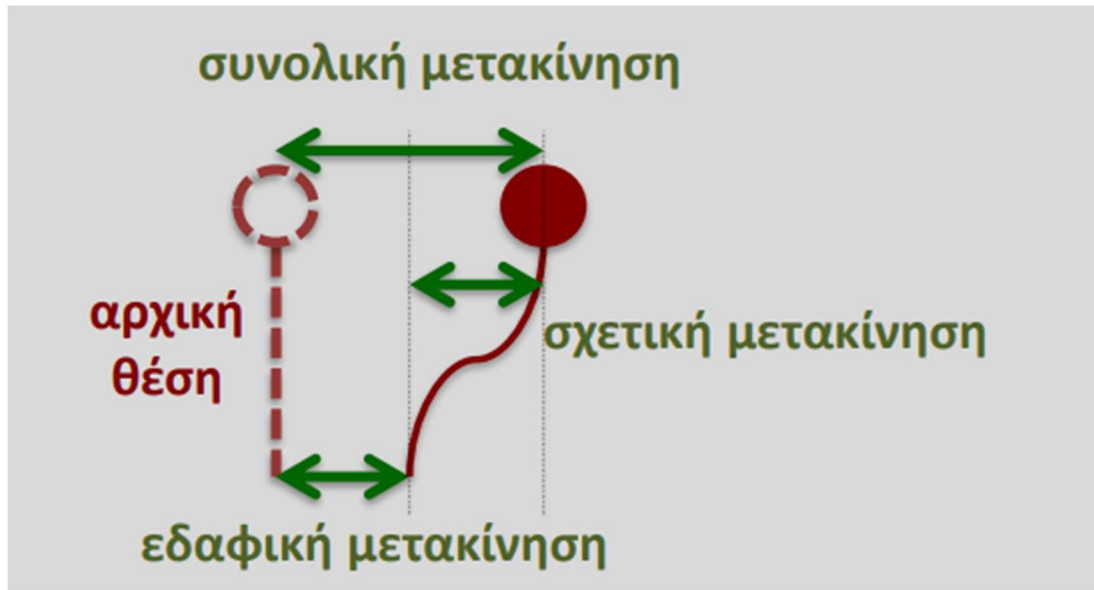
Με τη χρήση αριθμητικών ολοκληρώσεων από τα δεδομένα των επιταχύνσεων μπορούν να υπολογιστούν και οι ταχύτητες και οι μετακινήσεις του δεδομένου σημείου. Μετά τον προσδιορισμό των παραμορφώσεων προκύπτουν από αναλυτικούς υπολογισμούς τα εντατικά μεγέθη που αναπτύσσονται στην κατασκευή. Σε έναν φορέα τα εντατικά μεγέθη που μελετώνται είναι η ροπή, η τέμνουσα και η αξονική δύναμη. Η αξονική δύναμη εκδηλώνεται με τη βράχυνση ή τον εφελκυσμό του δομικού στοιχείου. Η ροπή προκαλεί ετερόσημες παραμορφώσεις στις ακραίες ίνες του δομικού στοιχείου, ενώ η τέμνουσα έχει ως συνέπεια την ανάπτυξη διατμητικών παραμορφώσεων στα σημεία πλησίον των στηρίξεων. Η διαδικασία ξεκινά με τον προσδιορισμό του μέτρου ελαστικότητας είτε λαμβάνοντας τιμές από τη βιβλιογραφία για το αντίστοιχο υλικό είτε με τη χρήση υπερήχων. Έπειτα, η αξονική δύναμη εξάγεται εφαρμόζοντας τον νόμο του Hooke : $\sigma = E * \epsilon$, όπου σ είναι η ορθή τάση, E είναι το μέτρο ελαστικότητας και με ϵ ορίζεται η παραμόρφωση. Στη συνέχεια, λαμβάνοντας ως δεδομένα τις παραμορφώσεις προσδιορίζεται η καμπυλότητα (ϕ) που έχει αναπτυχθεί στη διατομή και αξιοποιώντας το διάγραμμα Ροπών - Καμπυλοτήτων ($M-\phi$) του δομικού στοιχείου υπολογίζεται η ροπή. Στο σημείο αυτό, έχοντας ως δεδομένα την αξονική δύναμη και τη ροπή μπορεί εύκολα να εξαχθεί το βέλος κάμψης του φορέα, το οποίο θα είναι μικρότερο από το πραγματικό (μετρούμενο) βέλος που παρατηρείται στην κατασκευή. Το γεγονός αυτό, οφείλεται στο ότι για την εξαγωγή του βέλους κάμψεως με αναλυτικές σχέσεις δεν συνυπολογίζεται η δράση της τέμνουσας δύναμης, εξαιτίας της οποίας αναπτύσσεται επιπρόσθετο βέλος κάμψεως πλησίον των στηρίξεων. Αναφορικά με τον υπολογισμό του βέλους λόγω της τέμνουσας δύναμης με τη χρήση της θεωρίας της διατμητικής παραμόρφωσης λαμβάνοντας υπόψη το μέτρο διάτμησης G . Τέλος, εκτός από τις τιμές της έντασης και της παραμόρφωσης που αναπτύσσονται στα δομικά στοιχεία, με τη χρήση συστημάτων με αισθητήρα μέτρησης της επιτάχυνσης μπορεί να επιτευχθεί και η απεικόνιση των ιδιομορφικών χαρακτηριστικών της κατασκευής αναλύοντας την τυχαία ταλάντωση της κατασκευής σε επιμέρους, ώστε να υπολογιστούν οι συχνότητες των δεσποζουσών ιδιομορφών της κατασκευής.

Η μέθοδος η οποία αναλύθηκε προηγουμένως δύναται να χρησιμοποιηθεί εύκολα σε γέφυρες, ενώ τα δεδομένα των επιταχύνσεων και των μετακινήσεων που εξάγονται είναι πολύ χρήσιμα για την κατανόηση της συμπεριφοράς του φορέα υπό την επιβαλλόμενη

φόρτιση. Επιπλέον, είναι προφανές ότι με την πυκνότερη τοποθέτηση συστημάτων καταγραφής επιταχύνσεων επιτυγχάνεται ακριβέστερη αποτύπωση της λειτουργίας του φορέα.

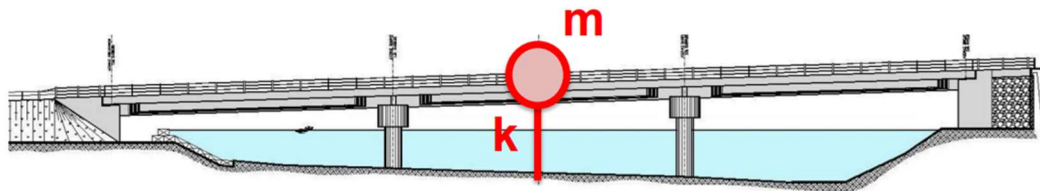


Εικόνα 18 Kobe, Ιαπωνία 1995 (γέφυρα Hanshin)



Εικόνα 19 Πρωτοβάθμιος ταλαντωτής

Αντισεισμική Τεχνολογία 1, Δρ. Μιχάλης Φραγκιαδάκης, Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

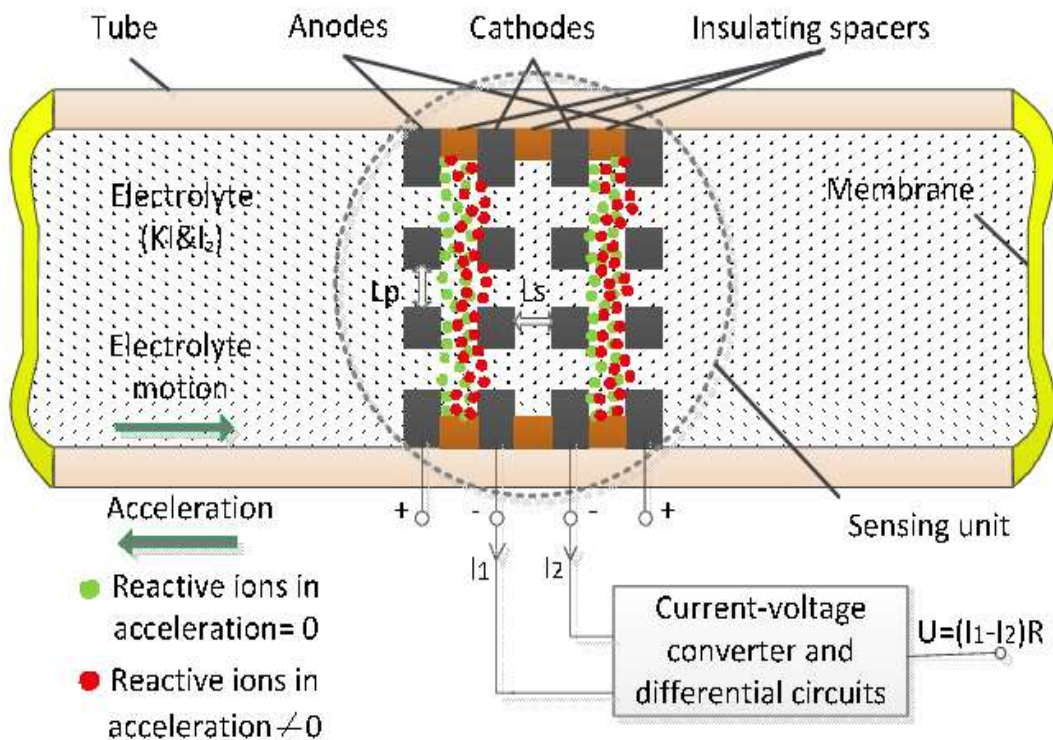


Εικόνα 20 Προσομοίωση γέφυρας με τη μέθοδο του πρωτοβάθμιου ταλαντωτή

Αντισεισμική Τεχνολογία 1, Δρ. Μιχάλης Φραγκιαδάκης, Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

4 Κεφάλαιο 4 : Σεισμογράφοι με ηλεκτροχημικούς μορφοτροπείς

Ένας από τους καινούργιους αισθητήρες για τη μέτρηση σεισμών είναι ο ηλεκτροχημικός μετατροπέας, ο οποίος σχεδιάστηκε με σκοπό να ανιχνεύει την αδράνεια της μάζας και την κίνηση του υγρού, χρησιμοποιώντας ηλεκτρόδια από πλατίνα πολλών στρώσεων με μερικά χιλιοστά απόσταση μεταξύ τους. Το υγρό που χρησιμοποιείται είναι ένας ηλεκτρολύτης με πολλά ιόντα, ο οποίος μπορεί να κινείται ελεύθερα. Βάζοντας μία συνεχή τάση στα ηλεκτρόδια παράγει διαφορετική κλίση συγκέντρωσης ιόντων. Επειδή, ο ηλεκτρολύτης είναι αγωγίμος, έχει ένα σταθερό ρεύμα, το οποίο μεταβάλλεται σύμφωνα με τη μεταβολή της ταχύτητας και αυτή η τεχνική ονομάζεται Molecular Electronic Transfer (MET).



Εικόνα 21 Ηλεκτροχημικός σεισμογράφος

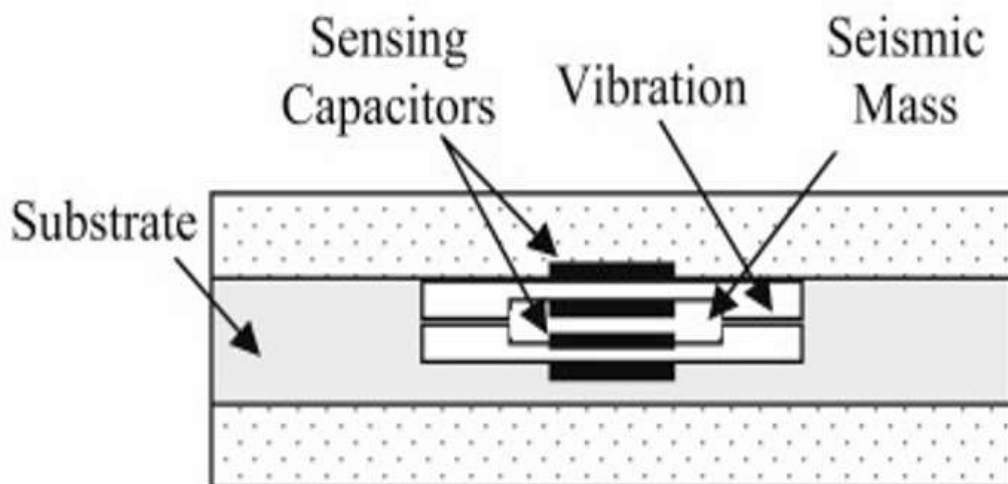
<https://www.semanticscholar.org/paper/An-electrochemical-seismometer-with-frequency-under-Sun-He/61cf0ac457e9e0eb65801b05e04f9de32da3ad6f/figure/0>

4.1 Ηλεκτρομηχανικοί επιταχυνσιογράφοι και σειсмоγράφοι

Άλλη μία τεχνολογία που χρησιμοποιείται είναι η MEMS (for Micro Electro-Mechanical Systems). Αυτή η τεχνολογία στην αρχή κατασκευάστηκε για εφαρμογές πλοήγησης στον αέρα. Τα πρώτα ηλεκτρομηχανικά συστήματα χρησιμοποιούσαν ένα σύστημα μάζας ελατηρίου μέσα στα στρώματα ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος.

Άλλου είδους τεχνικές για μετρήσεις χρησιμοποιούν το φαινόμενο τούνελ (tunnel effect), τη διάθλαση του φωτός, πιεζοηλεκτρικά, πιεζοαγωγή ή και ηλεκτρομηχανικά φαινόμενα.

Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται. Η μία είναι ανοιχτού βρόχου και η άλλη κλειστού βρόχου. Στην προσέγγιση κλειστού βρόχου τα δεδομένα είναι μη γραμμικά και, συνήθως, χρειάζεται ηλεκτροστατική ανατροφοδότηση, ενώ στην προσέγγιση του ανοιχτού βρόχου τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι σχεδόν γραμμικά.

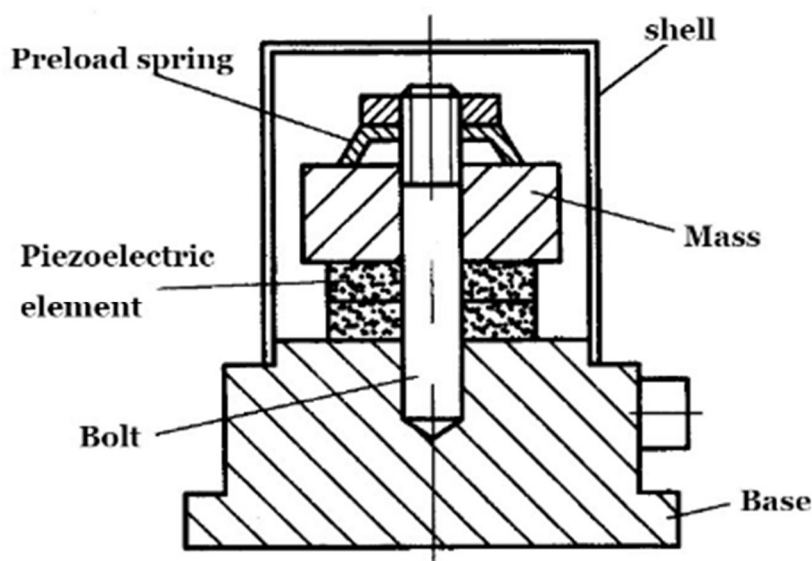


Εικόνα 22 Ηλεκτρομηχανικός επιταχυνσιογράφος χωρητικότητας

https://www.researchgate.net/figure/A-typical-MEMS-accelerometer-construction-a-Piezoresistive-using-cantilever-design_fig1_26547676

4.2 Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες

Τα πιεζοηλεκτρικά υλικά χρησιμοποιούνται εδώ και πολύ καιρό για την παρακολούθηση των δονήσεων. Ο πιεζοηλεκτρικός σένσορας βασίζεται στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο, δηλαδή, στο γεγονός ότι, όταν ασκείται μία μηχανική δύναμη στο εξωτερικό του κρυστάλλου αυτός παράγει μία τάση στα άκρα του. Τα πιεζοηλεκτρικά υλικά χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: μονού κρυστάλλου, πολλών κρυστάλλων και στα οργανικά πιεζοηλεκτρικά υλικά.



Εικόνα 23 Πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας επιτάχυνσης

<https://www.utmel.com/blog/categories/sensors/what-is-a-piezoelectric-sensor>

Για τη μέτρηση της επιτάχυνσης το πιεζοηλεκτρικό στοιχείο, συνήθως, αποτελείται από δύο κομμάτια. Πάνω του τοποθετείται μία μάζα συγκεκριμένου βάρους, η οποία ασκεί πίεση στο κέντρο του, όπου βρίσκεται μία βίδα με ένα ελατήριο, η οποία ασκεί συνεχόμενη πίεση. Οπότε, όταν ο σένσορας δεχθεί μετακίνηση η μάζα που έχει, λόγω της αδράνειας θα ασκήσει μία δύναμη προς την αντίθετη κατεύθυνση, με αποτέλεσμα αυτό να μπορεί να μετρηθεί και να είναι ανάλογο της μετακίνησης.

4.3 Ψηφιακοί καταγραφείς σεισμών

Οι σύγχρονοι καταγραφείς σεισμών χρησιμοποιούν έναν μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, ο οποίος έχει ανάλυση 24 bit και συχνότητα δειγματοληψίας από 20 HZ εως 1024 HZ. Τα δεδομένα όλης της ημερας για ένα κανάλι είναι $3 (24 \text{ bits}) * 24 (\text{ώρες}) * 3600 (\text{δευτερόλεπτα}) * 1024 (\text{συχνότητα δειγματοληψίας}) = 265420800 (\text{bytes})$ ή 253 Mb. Τα 253 Mb της ημέρας αντιστοιχούν σε 7.6 GB τον μήνα, που είναι ένας μεγάλος όγκος δεδομένων. Για 3 κανάλια που αντιστοιχούν στις 3 διευθύνσεις είναι 22,78 GB. Λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων τοποθετείται ένας υπολογιστής για τη διαχείριση και την απαλοιφή των δεδομένων, όταν δεν υπάρχει σεισμός και γίνεται προσωρινή αποθήκευση. Το λειτουργικό που χρησιμοποιεί είναι συνήθως linux.



Εικόνα 24 Σύστημα μέτρησης εδάφους GMSplus

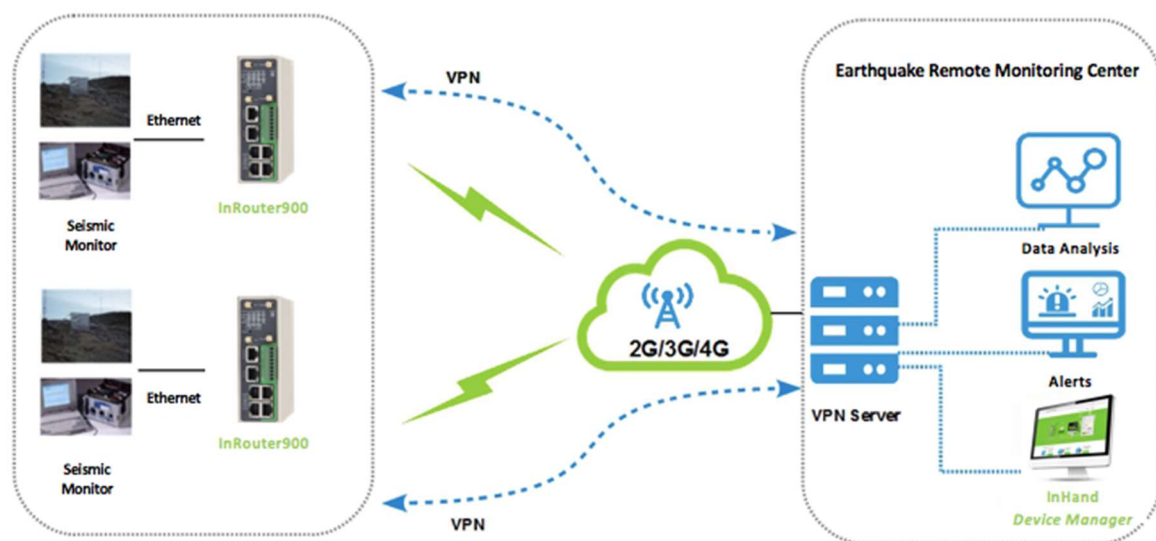
www.geosig.com/GMSplus---GMSplus6-id12557.aspx

4.4 Σεισμικά δίκτυα

Τα σεισμικά δίκτυα είναι πολλοί σταθμοί, οι οποίοι συλλέγουν ατομικά δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και συγκεντρώνονται σε ένα σημείο για ανάλυση. Ο σκοπός των σεισμικών δικτύων είναι να βρίσκει που έγινε ο σεισμός και την έντασή του. Για να βρεθούν οι συντεταγμένες του σεισμού χρειάζονται 3 ή παραπάνω σταθμοί.

Η επικοινωνία που έχουν οι σταθμοί είναι μέσω διαδικτύου και αυτό γίνεται μέσω ethernet ή μέσω δικτύου GSM. Στις περιπτώσεις που αυτό δεν είναι εφικτό, γίνεται μέσω δορυφόρου, που το καθιστά μια ακριβή λύση. Συνήθως, χρησιμοποιείται το seedlink protocol, το οποίο είναι δημόσιο και αξιόπιστο.

Το κεντρικό software έχει σκοπό να λαμβάνει και να αποθηκεύει τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, όπως επίσης να βρίσκει την τοποθεσία των σεισμών και το μέγεθός τους αυτόματα.



Εικόνα 25 Τηλεμετρία συστήματα μέτρησης σεισμών

<https://www.inhandnetworks.com/solutions/seismic-monitoring.html>

4.5 Πρωτόκολλα συνεχούς μετάδοσης σεισμικών δεδομένων

Τα σύγχρονα σεισμικά δίκτυα χρησιμοποιούν το διαδίκτυο. Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται είναι το tcp/ip για να μεταφέρει τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Το πρωτόκολλο tcp/ip ξαναστέλνει τα πακέτα, τα οποία έχουν κάποιο σφάλμα αλλά σε περίπτωση απώλειας σύνδεσης δεν θα στείλει το πακέτο. Αυτό αναγκάζει τους σταθμούς να έχουν έναν buffer για όσο διαρκεί η διακοπή της σύνδεσης. Πολλοί κατασκευαστές έχουν δημιουργήσει τα δικά τους πρότυπα, τα οποία χρειάζονται το δικό τους software στον σταθμό και στο κέντρο συλλογής δεδομένων.

4.5.1 SeedLink protocol

Το πρωτόκολλο seedlink αναπτύχθηκε από την LISS (Live Internet Seismic Server) και χρησιμοποιείται σε πάρα πολλούς σταθμούς. Το πρωτόκολλο στέλνει 512 byte σε κάθε πακέτο MiniSeed, ώστε η εφαρμογή στη μεριά του δέκτη να τα διαχειρίζεται με μια συνεχόμενη ροή δεδομένων. Υπάρχει η δυνατότητα να σταλούν πακέτα πίσω, που να ζητούν συγκεκριμένα πακέτα δεδομένων, τα οποία χάθηκαν ή έχουν κάποιο σφάλμα.

4.5.2 EarthWorm

Άλλο ένα πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται και είναι ανοιχτού κώδικα είναι το EarthWorm. Το πρωτόκολλο EarthWorm μπορεί να συνεργαστεί με το πρωτόκολλο SeedLink, όπως και με άλλα πρωτόκολλα του εμπορίου. Το πρωτόκολλο EarthWorm είναι ένα πρωτόκολλο ζωντανής μετάδοσης δεδομένων, το οποίο αποθηκεύει σε έναν buffer από μερικά λεπτά έως μερικές ώρες ανάλογα την μνήμη ram του υπολογιστή. Υπάρχει δυνατότητα ανάκτησης των δεδομένων σε περίπτωση που χαθεί το πακέτο ή δεν έχει αποσταλεί σωστά.

4.6 Παρακολούθηση κατάστασης υγείας των κτιρίων

Η παρακολούθηση κατάστασης υγείας των κτιρίων είναι η ενσωμάτωση ενός συστήματος αισθητήρων, που χρησιμοποιεί διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας, για απόκτηση

δεδομένων, επεξεργασία και αποθήκευσή τους. Η παρακολούθηση κατάστασης υγείας κτιρίων χρησιμοποιείται σε κτίρια, γέφυρες, τούνελ, φράγματα, ιστορικά κτίρια και σε πολλά άλλα.

4.7 Εύρεση βλαβών χρησιμοποιώντας μη καταστροφικό έλεγχο

Στις περισσότερες μεθόδους μη καταστροφικού ελέγχου προσπαθούμε να βρούμε τις διάφορες ιδιότητες των υλικών, όπως οι ελαστικές ιδιότητες και η σκληρότητα.

Οι βλάβες συσχετίζονται με οπτική αλλαγή σε κάποια γεωμετρική συνιστώσα. Οι περισσότερες από αυτές τις παραμέτρους μπορούν να συσχετιστούν με τις ιδιότητες των υλικών του κτιρίου όπως η μάζα, η σκληρότητα και η απόσβεση .

4.7.1 Ραδιογραφία

Η ραδιογραφία είναι μία μέθοδος που χρησιμοποιείται για αποτίμηση των κατασκευαστικών υλικών σε βιομηχανική κλίμακα. Η ραδιογραφία χρησιμοποιεί ακτίνες τύπου X , Γ ή ακτίνες Newton, για να βρουν τις διαφορές της επιφάνειας των υλικών και μερικές ατέλειες στις συγκολλήσεις. Ατέλειες σε υλικά μπορούν να βρεθούν με βάση τη διαφορετική απορρόφηση της ραδιοακτινοβολίας και έχει ως αποτέλεσμα διαφορετικά επίπεδα στο ραδιογραφικό film. Η ενέργεια που απορροφάται εξαρτάται από το πάχος και την πυκνότητα του υλικού. Οι συχνές βλάβες συγκόλλησης είναι μερικές ρωγμές, οι οποίες ανιχνεύονται σαν μαύρα σημεία στο φιλμ, ενώ η έλλειψη ένωσης φαίνεται με μυτερές γωνίες.

4.7.2 Υπέρηχοι

Το τεστ υπερήχων κάνει χρήση αποσυμπυκνωμένης υψηλής ενέργειας ακουστικά κύματα, τα οποία δημιουργούνται χρησιμοποιώντας ένα ταλαντωτή, που συνήθως χρησιμοποιεί συχνότητες από 1 έως και 50 MHz. Για να εντοπίσουμε την ύπαρξη προβλημάτων και για να κάνουμε έναν χαρακτηρισμό ιδιοτήτων του υλικού, ο πομποδέκτης υπερήχων μπορεί να

δουλέψει με δύο τρόπους, είτε με επαφή είτε χωρίς επαφή χρησιμοποιώντας επιστροφή ή διαπερνώντας το υλικό. Το τεστ υπερήχων χρησιμοποιείται για να ανιχνεύσει ελαττώματα στις συγκολλήσεις, να κάνει έλεγχο των δομών, να βρίσκει διάβρωση και τέλος να υπολογίζει τις ιδιότητες των υλικών.

4.7.3 Μέθοδοι ταλαντώσεων

Μπορούμε να βρούμε ρωγμές στο υλικό που μας ενδιαφέρει χρησιμοποιώντας ταλαντώσεις. Η τεχνική είναι πιο αποτελεσματική από τους υπέρηχους ή από τα ραδιογραφήματα. Μπορούμε να βρούμε ελαττώματα στα κτήρια χρησιμοποιώντας αλλαγές στις φυσικές συχνότητες μέσω λεπτομερούς ανάλυσης .

4.7.4 Οπτικοί μέθοδοι

Οι οπτικές μέθοδοι συμπεριλαμβάνουν προσεγγίσεις, όπως η φωτοελαστικότητα. Αυτές οι μέθοδοι βρίσκουν τα υλικά ανάλογα με τη διαφοροποίηση , την αλλαγή στην ένταση και τη διαφορά φάσης στη διάθλαση. Οι διαφορές αυτές μπορούν να δείξουν ρωγμές σε συγκεκριμένα σημεία και σε διάφορες στρώσεις.

4.7.5 Θερμογραφία

Η μέθοδος της θερμογραφίας χρησιμοποιείται για να βρεθεί και να μετρηθεί η υπερϊώδης ακτινοβολία στην οποία εκπέμπουν τα αντικείμενα. Τα υλικά, τα οποία έχουν ελαττώματα έχουν διαφορετικές σταθερές θερμοκρασίας. Η διαφορά αυτή μεγαλώνει, όταν τα υλικά θερμαίνονται. Η διαφορά της θερμότητας μπορεί να μετρηθεί με δύο τρόπους, με σταθερή θερμότητα ή με παλλόμενη θερμότητα. Αυτές οι δύο μέθοδοι χρησιμοποιούνται για να βρουν τη διάδοση ρωγμών και κενών σε διάφορα στρώματα των υλικών.

4.7.6 Ηλεκτρομαγνητική μέθοδος

Η ηλεκτρομαγνητική μέθοδος, γνωστή και ως Eddy-current, αυτή η μέθοδος είναι από τις πιο γνωστές και ταυτόχρονα ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους για έλεγχο κτιρίων και επιφανειακές ή κοντά στην επιφάνεια ρωγμές διάβρωσης ή άλλα ελαττώματα. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται για να βρει ελαττώματα σε ηλεκτρικά αγώγιμα υλικά συσχετίζοντας την εμπέδηση που μετριέται με ένα σύστημα αναφοράς. Σε μερικές περιπτώσεις ένα παλλόμενο ρεύμα χρησιμοποιείται για να κάνει αυτή τη διεργασία πιο γρήγορη.

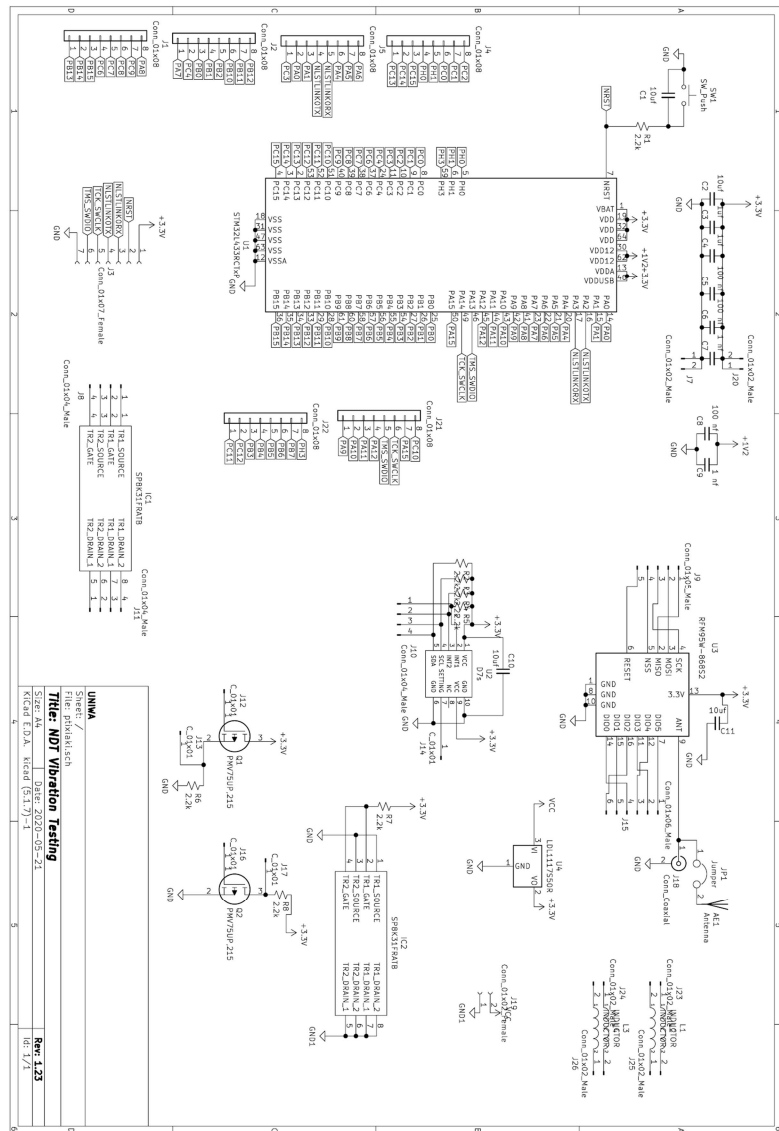
4.7.7 Έλεγχος μαγνητικών σωματιδίων

Ο έλεγχος μαγνητικών σωματιδίων χρησιμοποιείται για να βρίσκει τις μαγνητικές διαρροές από την επιφάνεια στα σιδηρομαγνητικά υλικά. Αυτές οι μαγνητικές διαρροές μπορεί να μεταφερθούν σε μόνιμες ταλαντώσεις στα υλικά υπό δοκιμή. Άλλη μία μέθοδος που χρησιμοποιείται για να βρούμε ζημιά στα υλικά είναι να προσπαθήσουμε να βρούμε το θόρυβο μέσω επαγωγής.

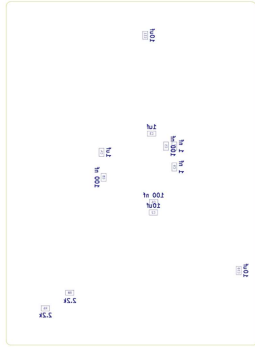
5 Κεφάλαιο 5 : Σχηματικό διάγραμμα και τυπωμένο κύκλωμα

Το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε για τη σχεδίαση του σχηματικού διαγράμματος, όπως και για τη σχεδίαση του τυπωμένου κυκλώματος είναι το kicad. Το kicad είναι ένα πρόγραμμα ανοιχτού λογισμικού με δυνατότητες σχεδιασμού του θεωρητικού κυκλώματος και της μεταφοράς του σε τυπωμένο κύκλωμα, είναι δωρεάν και είναι ένας από τους λόγους που επιλέχθηκε. Η λογική στην οποία σχεδιάστηκε το σχηματικό αλλά και το τυπωμένο κύκλωμα είναι η ευελιξία, για αυτό το λόγο τα περισσότερα εξαρτήματα στην πλακέτα καταλήγουν σε διάτρητες επαφές, ώστε να μπορούν να γίνονται γρήγορα αλλαγές στο κύκλωμα και προσθήκη άλλων στοιχείων σε περίπτωση, που χρειαστεί χωρίς να υπάρξει επανασχεδιασμός της πλακέτας. Όσο για τον σχεδιασμό του τυπωμένου κυκλώματος έγινε προσπάθεια θωράκισης από πιθανές παρεμβολές σημάτων, λόγω της εκπομπής rf στα 868 MHz. Επίσης, τοποθετήθηκαν και περισσότερα αποτυπώματα εξαρτημάτων σε περίπτωση που χρειαστεί να κολληθούν και να συνδεθούν με το κύκλωμα για κάποια πιθανή μετατροπή ή αλλαγή στο κύκλωμα.

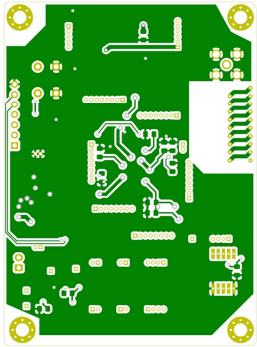
Εμπεριέχει κονέκτορα για γρήγορη αλλαγή μπαταρίας και προστασία ανάποδης τροφοδοσίας. Ο σταθεροποιητής τάσεως είναι επιλεγμένος, ώστε να είναι κατάλληλος για την τροφοδοσία του μικροελεγκτή και των λοιπών εξαρτημάτων της πλακέτας.



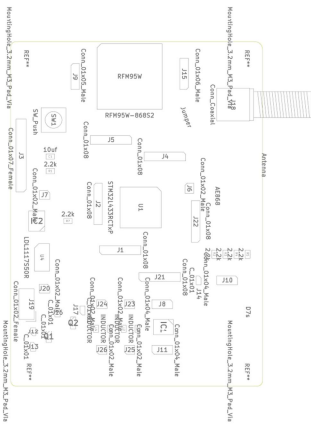
Εικόνα 26 Σχέδιο θεωρητικού κυκλώματος



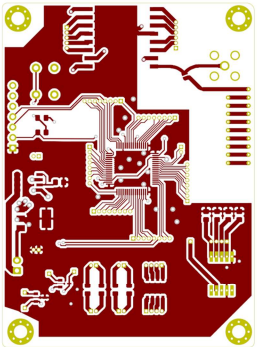
NDT_Vibration_B_Fab



NDT_Vibration_B_CU.gbr

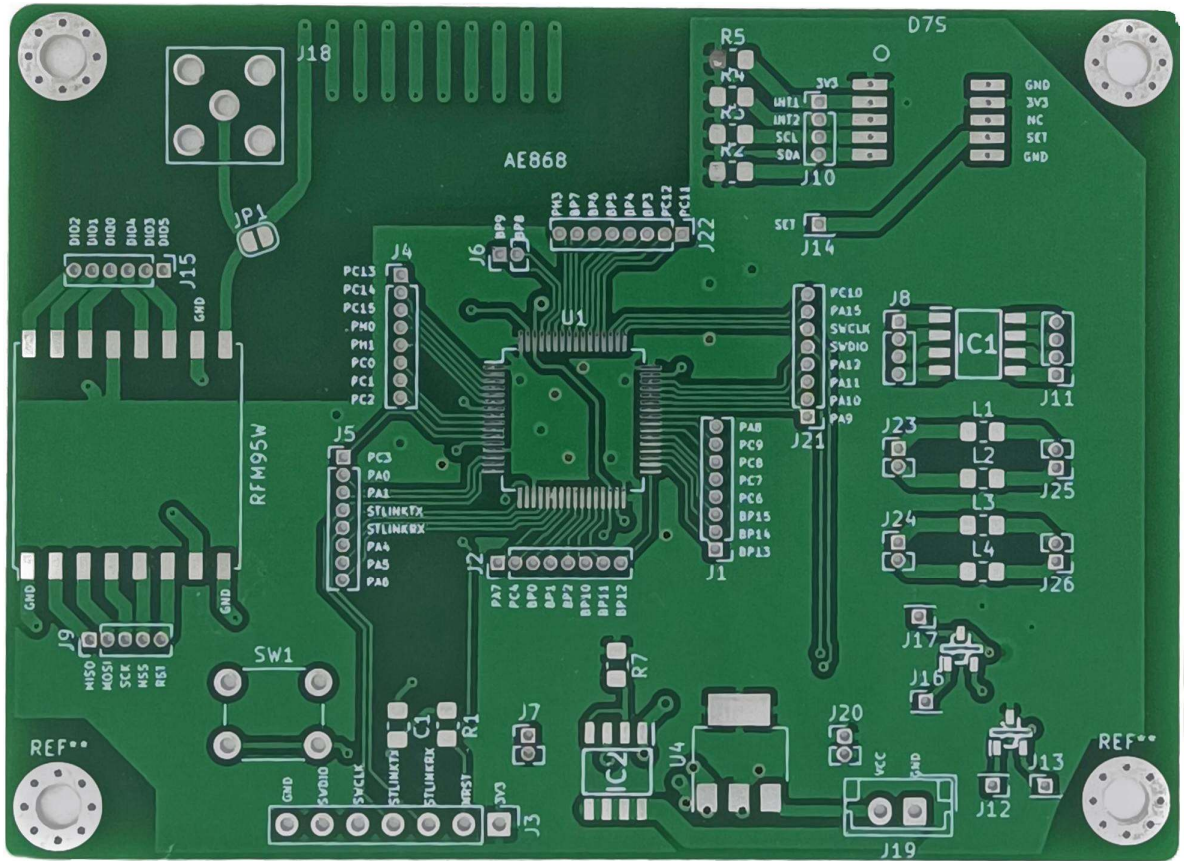


NDT_Vibration_F_Fab

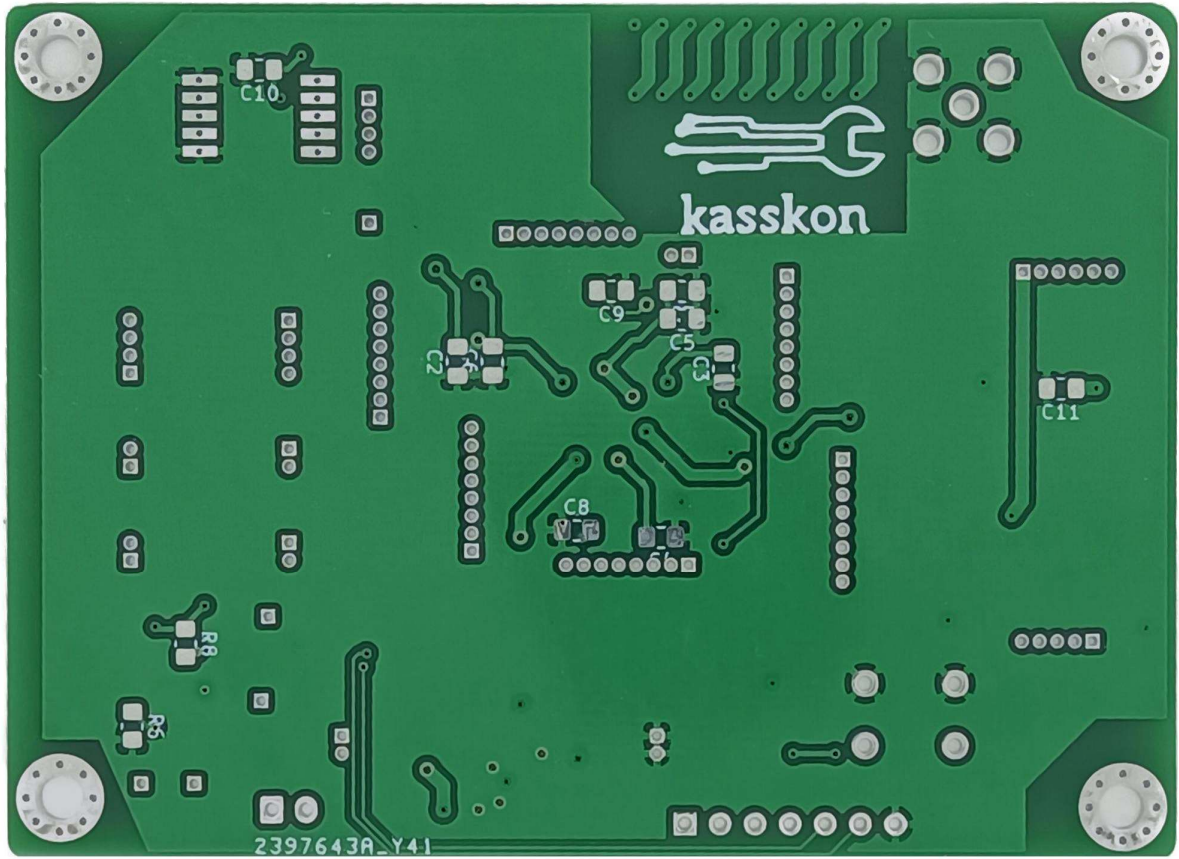


NDT_Vibration_F_CU.gbr

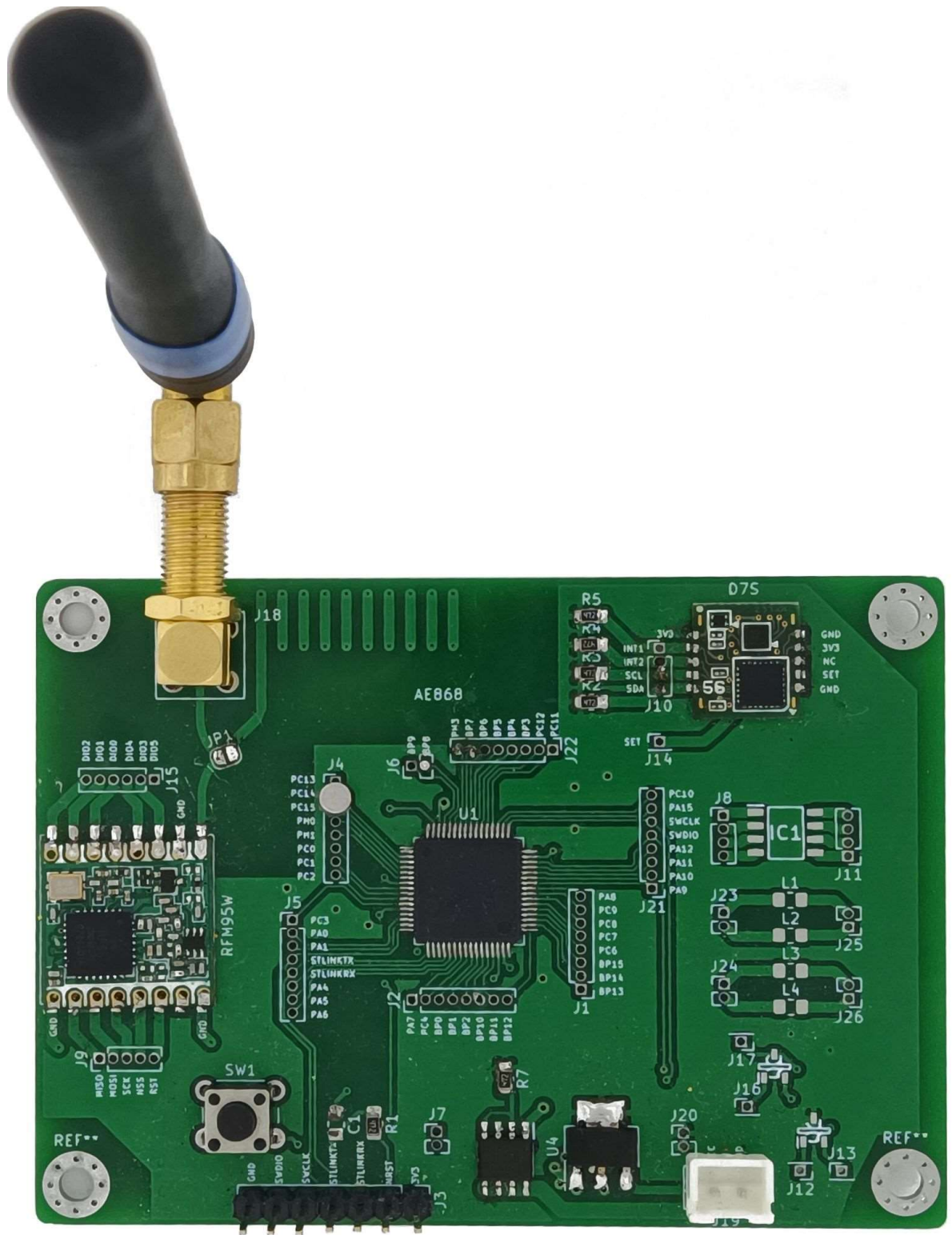
Εικόνα 27 Σχέδιο τυπωμένου κυκλώματος



Εικόνα 28 Μπροστά μέρος πλακέτας (PCB)



Εικόνα 29 Πίσω μέρος πλακέτας (PCB)



Εικόνα 30 Μπροστά μέρος πλακέτας με τα εξαρτήματα

5.1 Επιλογή εξαρτημάτων

5.1.1 Μικροελεγκτής (MCU)

Η καρδιά του συστήματος είναι ένας μικροελεγκτής stm32L433RCP, ο οποίος είναι μικροελεγκτής αρχιτεκτονικής ARM Cortex®-M4 32-bit της εταιρείας ST και είναι από τη σειρά χαμηλής ενέργειας (28nA Standby mode), για αυτό έχει το γράμμα L.

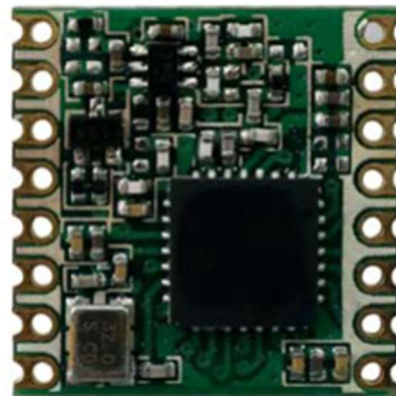
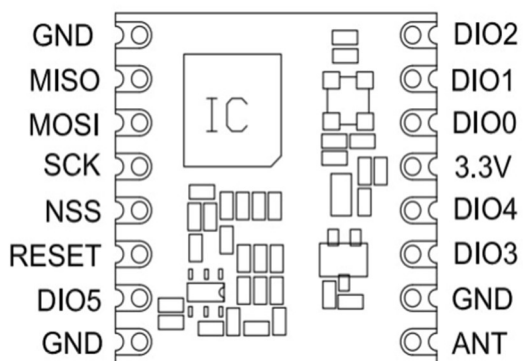
Η μέγιστη συχνότητα που μπορεί να φτάσει είναι έως και 80 MHz μέσω του εσωτερικού PLL που έχει. Διαθέτει πολλά περιφερειακά για επικοινωνία, όπως τρία κανάλια I2C, τέσσερα κανάλια USART, τρία κανάλια SPI, ένα κανάλι CAN και ένα κανάλι USB.

Έχει αρκετή μνήμη για να μπορεί να λειτουργήσει το λογισμικό mbed OS, το οποίο είναι ανοιχτού κώδικα για το διαδίκτυο των αντικειμένων. Το mbed παρέχει δύο προφίλ. Το πρώτο προφίλ είναι το πλήρες, το οποίο έχει rtos (λειτουργικό σύστημα πραγματικού χρόνου) και υποστηρίζει την εκτέλεση πολλών παράλληλων κωδικών σε πραγματικό χρόνο. Το δεύτερο προφίλ είναι το bare metal στο οποίο δεν παρέχει rtos και είναι σχεδιασμένο για εφαρμογές, οι οποίες δεν χρειάζονται πολύπλοκη διαχείριση. Επίσης, αυτό το προφίλ χρησιμοποιείται σε συσκευές, οι οποίες έχουν περιορισμένη μνήμη και προσπαθεί να κάνει βελτιστοποίηση του μεγέθους της τελικής εφαρμογής .

Ο λόγος που επιλέχθηκε το Mbed OS είναι επειδή περιέχει βιβλιοθήκη για το Lora Stack και το καθιστά πιο εύκολο στη χρήση του.

5.2.1 Lora module

Η επιλογή της επικοινωνίας καθορίστηκε από την ανάγκη οι αισθητήρες να βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από το gateway. Οπότε επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί το πρωτόκολλο LoraWan και για αυτό χρησιμοποιείται το τσιπάκι, το οποίο μπορεί να κάνει τέτοιου είδους μετάδοση. Το τσιπάκι που επιλεχθηκε είναι το rf95w, το οποίο έχει τάση τροφοδοσίας 3.3V και παρέχει μεγάλο εύρος διάδοσης επικοινωνίας με καλή ανοσία στο θόρυβο και χαμηλή κατανάλωση ρεύματος. Έχει 168 dB maximum link budget με κατανάλωση 10.3 mA έχοντας τη δυνατότητα να μεταδώσει έως και 37.5 kbps. Χρησιμοποιεί πρωτόκολλο επικοινωνίας SPI και η επικοινωνία του με τον μικροελεγκτή γίνεται μέσω αυτού, ενώ η ταχύτητα του clock μπορεί να είναι έως και 10MHz.



Εικόνα 31 Ολοκληρωμένο κύκλωμα και οι έξοδοι του lora module

Number	Name	Description & Stand Alone Mode
1	GND	Ground
2	MISO	SPI Data output
3	MOSI	SPI Data input
4	SCK	Clock input
5	NSS	SPI Chip select input
6	RESET	RESET
7	DIO5	Digital I/O, software configured
8	GND	Ground
9	ANT	RF signal
10	GND	Ground
11	DIO3	Digital I/O, software configured
12	DIO4	Digital I/O, software configured
13	3.3V	Supply voltage
14	DIO0	Digital I/O, software configured
15	DIO1	Digital I/O, software configured
16	DIO2	Digital I/O, software configured

Πίνακας 3 Η λειτουργία των εξόδων του lora module

Οι έξι γενικής χρήσης είσοδοι και έξοδοι που έχει το rfm95 και χρησιμοποιούνται στο Lora, ανάλογα με τα δύο bit που έχουν οι καταχωρητές RegDioMapping1 και RegDioMapping2, δίνουν διάφορες πληροφορίες για την κατάσταση της μετάδοσης των δεδομένων στην επικοινωνία Lora.

DIO Mapping	00	01	10	11
DIO0	<u>RxDone</u>	TxDone	CadDone	-
DIO1	<u>RxTimeout</u>	<u>FhssChangeChannel</u>	<u>CadDetected</u>	-
DIO2	<u>FhssChangeChannel</u>	<u>FhssChangeChannel</u>	<u>FhssChangeChannel</u>	-
DIO3	CadDone	<u>ValidHeader</u>	<u>PayloadCrcError</u>	-
DIO4	<u>CadDetected</u>	<u>PLLlock</u>	<u>PLLlock</u>	-
DIO5	ModeReady	ClkOut	ClkOut	-

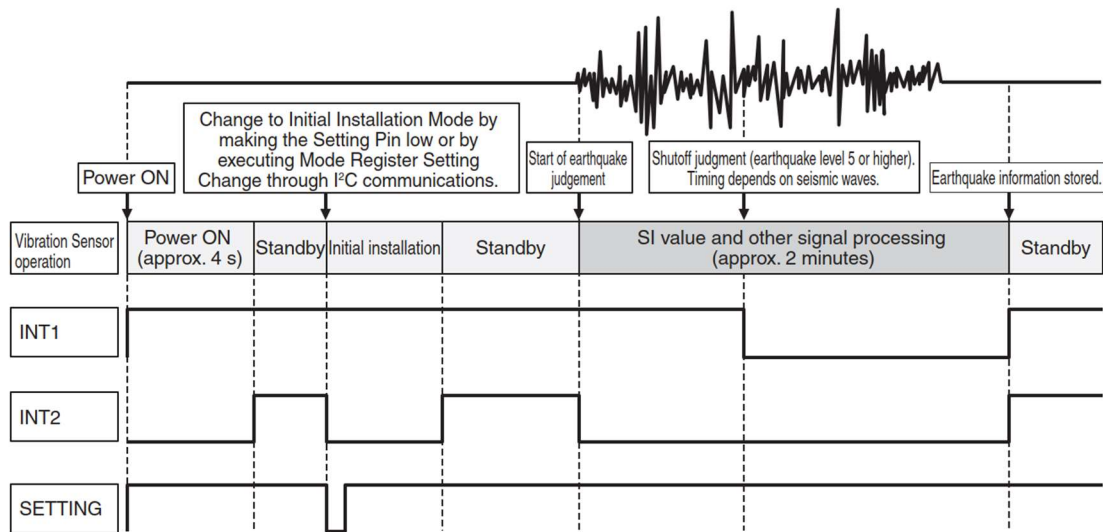
Πίνακας 4 Οι έξοδοι IO 0 έως IO 5

5.2.2 Αισθητήρας δόνησης

Για τον αισθητήρα δόνησης επιλέχθηκε ο D7S από την εταιρεία Omron, διότι έχει ενσωματωμένο αλγόριθμο αξιολόγησης σεισμού και είναι πολύ μικρός σε μέγεθος. Η τάση τροφοδοσίας του είναι στα 3.3V και ταυτόχρονα έχει χαμηλή κατανάλωση standby: 90 μ A και κατά τη διάρκεια επεξεργασίας των δεδομένων 300 μ A, οπότε η χρήση του ενδείκνυται σε εφαρμογές, οι οποίες χρειάζεται η μπαταρία να κρατάει για πολύ καιρό.

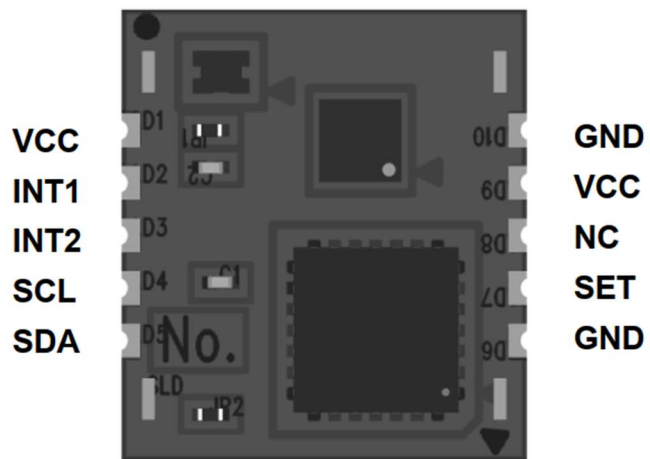
Ο αισθητήρας για να μιλήσει με τον μικροελεγκτή χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο i2c.

● Operation Chart



Εικόνα 32 Αρχή λειτουργίας του αισθητήρα D7s

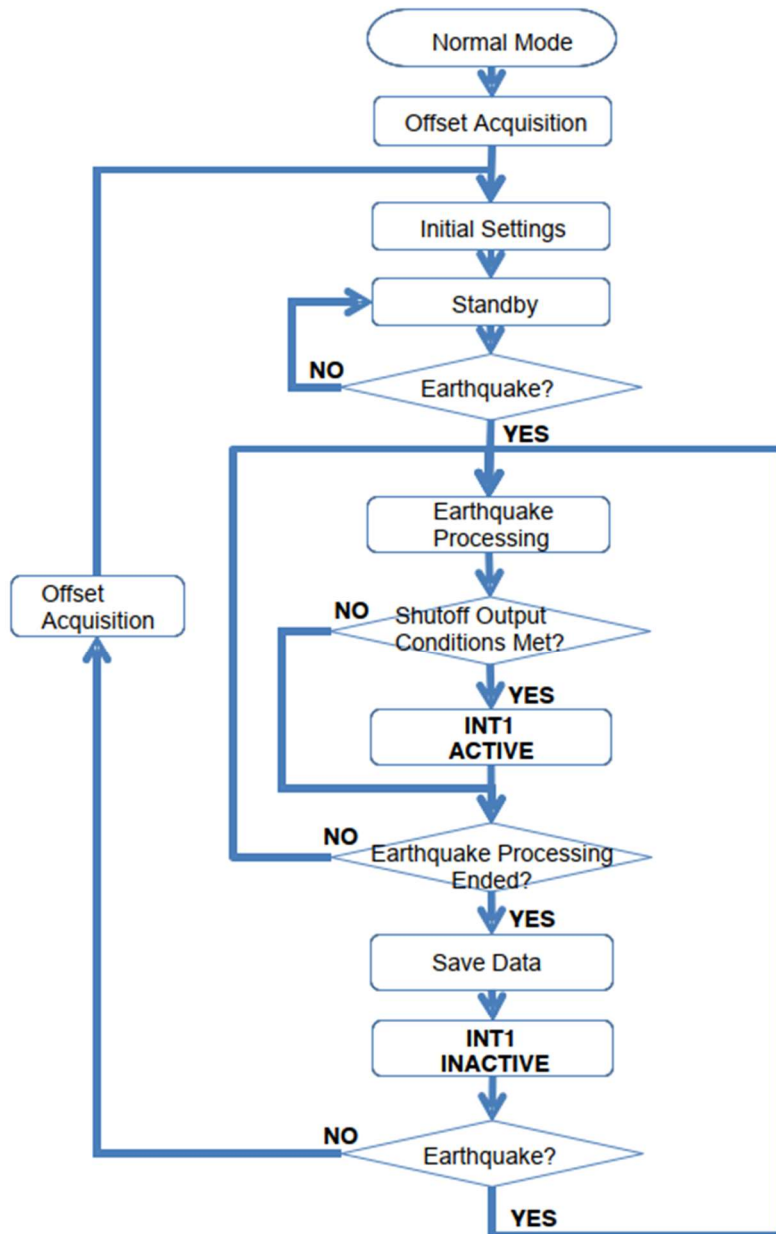
Ο αισθητήρας σεισμού έχει δύο εξόδους int 1 και int 2. Η έξοδος int 1 ενεργοποιείται, όταν ανιχνευτεί από τον αισθητήρα ότι υπάρχει σεισμός μεγαλύτερος από 0.80 m/s^2 . Η έξοδος int 2 ενεργοποιείται την πρώτη φορά που πάρει τροφοδοσία ο αισθητήρας ή του βάλουμε σε register να κάνει initialize ή όταν ανιχνεύσει κάποια μετακίνηση, ασχέτως, αν είναι σεισμός ή όχι.



Εικόνα 33 Τοπολογία των εξόδων του αισθητήρα D7s

	Signal	Function	Description
1	VCC	Power supply voltage	Supply voltage
2	INT1	<u>Shutoff</u> output	An open-drain output. Goes active (ON) when the shutoff judgment condition and collapse detection condition are met.
3	INT2	Processing notification output	An open-drain output. Goes active (ON) during earthquake calculations, offset acquisition, and self-diagnostic processing.
4	SCL	I2C clock	Pull up the voltage to VCC even when you do not use I2C.
5	SDA	I2C data	Pull up the voltage to VCC even when you do not use I2C.
6	GND	Power supply voltage	Ground
7	SETTING	Initial setting input	Changes the Sensor to Initial Installation Mode for an input from an external device. Normal Mode: High Initial Installation Mode: Low
8	NC	Not connected	Completely floating and cannot be connected to another line.
9	VCC	Power supply voltage	Supply voltage
10	GND	Power supply voltage	Ground

Πίνακας 5 Η λειτουργία των εξόδων του αισθητήρα D7s



Εικόνα 34 Διάγραμμα ροής του αισθητήρα D7s

Ο αισθητήρας παίρνει τις τιμές και των τριών διευθύνσεων και τις κρατάει ως αρχικές μετατόπισης, τις οποίες μετά τις συγκρίνει με τις προηγούμενες που έχει καταχωρημένες. Αν έχουν μεγάλη διαφορά κρατάει τις καινούργιες μετατοπίσεις. Έπειτα, ο αισθητήρας παραμένει στην αναμονή για τον σεισμό και ελέγχει αν έχει σεισμό, στην περίπτωση που έχει κάνει επεξεργασία των δονήσεων και υπολογίζει τις τιμές του s_i και το rga και παίρνει

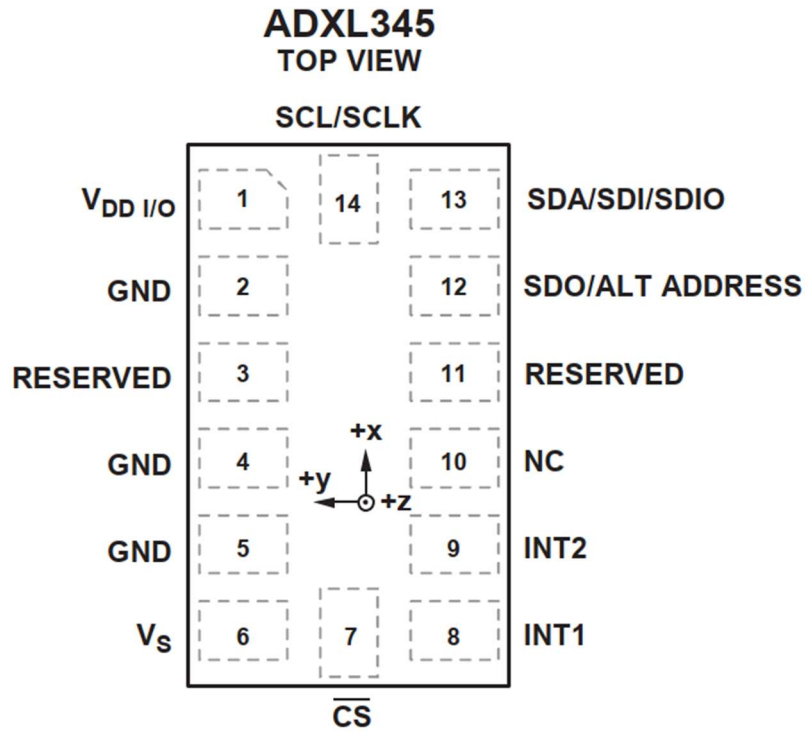
μετρήσεις κάθε 320 ms. Αν ο αισθητήρας κρίνει, ότι υπάρχει σεισμός, τότε θα ενεργοποιήσει την έξοδο int 1 και μπορούμε να διαβάσουμε μέσω του i2c τις τιμές του si και το pga και όταν τελειώσει ο σεισμός ο αισθητήρας θα αποθηκεύσει τη μέγιστη τιμή του si και του pga μέσα στους καταχωρητές. Έπειτα, θα απενεργοποιήσει την έξοδο int 1 και τέλος θα κοιτάξει αν εξακολουθεί να έχει σεισμό. Αν δεν έχει, θα αποθηκεύσει στον καταχωρητή τις καινούργιες μετατοπίσεις κατά τους τρεις άξονες.

5.2.3 Ο αισθητήρας επιτάχυνσης

Για τον αισθητήρα επιτάχυνσης επιλέχθηκε ο ADXL345, ο οποίος είναι επιταχυνσιογράφος τριών διευθύνσεων. Η αρχή λειτουργίας του είναι η διαφορική μέτρηση χωρητικότητας μεταξύ δύο πλακών, οπότε η επιτάχυνση που ασκείται βγάζει από τη θέση ισορροπίας τους πυκνωτές δημιουργώντας στην έξοδο του σένσορα μία ανάλογη κατά το πλάτος επιτάχυνση. Ο σένσορας είναι χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης και υψηλής ανάλυσης και έχει πολύ μικρή κατανάλωση, ίση με 23 μA σε χαμηλή δειγματοληψία και κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, ενώ καταναλώνει 0.1 μA σε standby. Η τάση τροφοδοσίας του είναι συμβατή με 3,3 volt, όσο έχουν και τα υπόλοιπα ηλεκτρονικά.

Η χαμηλότερη διακριτοποίηση κάθε bit της συσκευής είναι 3,9 μιν μπερδρφτι με μιλιγραμμηg ή αλλιώς 0,039 m/s^2 και στις τρεις διευθύνσεις.

Υπάρχουν δύο τρόποι επικοινωνίας με τον επιταχυνσιογράφο είτε με spi είτε με I2C. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή θα επιλέξουμε το spi.



Εικόνα 35 Τοπολογία των εξόδων του αισθητήρα ADXL345

	Signal	Description
1	VDD I/O	Digital Interface Supply Voltage
2	GND	This pin must be connected to ground
3	RESERVED	Reserved. This pin must be connected to VS or left open
4	GND	This pin must be connected to ground
5	GND	This pin must be connected to ground
6	VS	Supply Voltage
7	CS	Chip Select
8	INT1	Interrupt 1 Output
9	INT2	Interrupt 2 Output
10	NC	Not Internally Connected
11	RESERVED	Reserved. This pin must be connected to gnd or left open
12	SDO/ALT ADDRESS	Serial Data Output (SPI 4-Wire)/Alternate I2C Address Select (I2C)
13	SDA/SDI/SDIO	Serial Data (I2C)/Serial Data Input (SPI 4-Wire)/Serial Data Input and Output (SPI 3-Wire)
14	SCL/SCLK	Serial Communications Clock. SCL is the clock for I2C, and SCLK is the clock for SPI

Πίνακας 6 Η λειτουργία των εξόδων του αισθητήρα ADXL345

Για το spi πρέπει μέσα στον καταχωρητή DATA_FORMAT που έχει τη διεύθυνση 0x31 να τοποθετεί 0 στο Bit 6 του καταχωρητή.

5.2.4 Μπαταρία

Η μπαταρία που θα μπορούσε να επιλεγθεί είναι μη επαναφορτιζόμενη και είναι τύπου χλωριούχου λιθίου, η οποία είναι με υψηλή ενεργειακή πυκνότητα. Μπορεί να αντέξει

μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας, έχει χαμηλό βαθμό εκφόρτισης περίπου 1% μετά από έναν, οπότε μπορεί να έχει διάρκεια ζωής πάνω από 20 χρόνια μέχρι τη στιγμή που θα χρειαστεί να χρησιμοποιηθεί και έχει υψηλή αντίσταση στην ατμοσφαιρική διάβρωση.

5.3 ChirpStack LoRaWAN Network

Το ChirpStack LoRaWAN Network είναι ένας σέρβερ ανοιχτού κώδικα, ο οποίος κατασκευάστηκε για χρήση Lora. Παλιά ονομαζόταν LoRaServer project. Βασίζεται πάνω στο δίκτυο LoRaWAN πρωτόκολλο και υποστηρίζει τις συσκευές τύπου A, B και C. Επίσης, επιτρέπει την αμφίδρομη επικοινωνία με σκοπό την επίβλεψη των συσκευών και τον έλεγχό τους.

Ο server ChirpStack αποτελείται από τρία κομμάτια:

5.3.1 ChirpStack Gateway Bridge

Η Γέφυρα δικτύου ChirpStack μεταφράζει τα πακέτα από Lora σε κατάλληλα για χρήση στο διαδίκτυο και τα προωθεί στον ChirpStack network server σε μορφή Jason και Protobuf μέσω του MQTT.

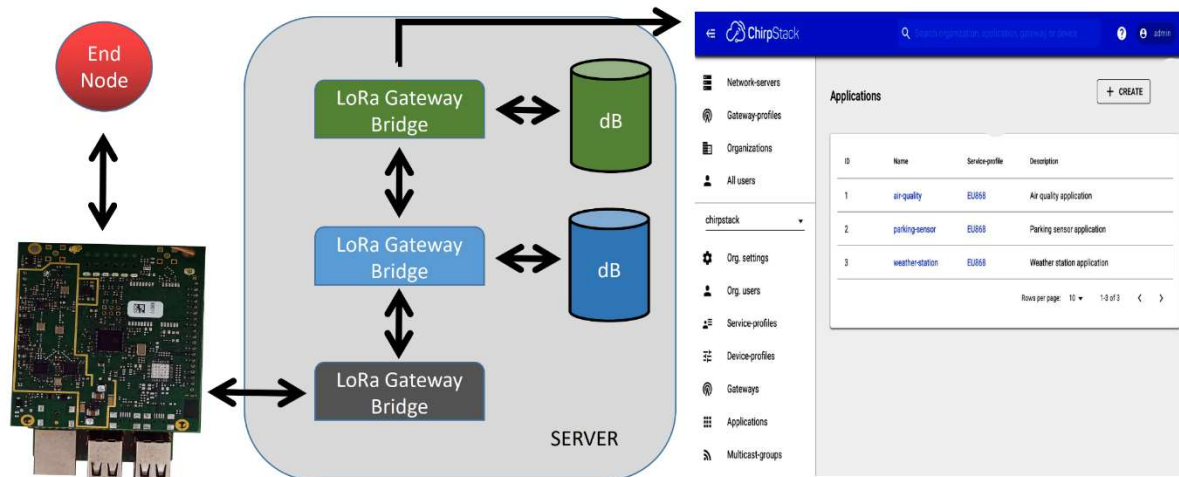
5.3.2 ChirpStack Network Server

Ο Network server είναι υπεύθυνος για την εύρεση διπλότυπων πακέτων από το LoRaWAN και συλλέγει τα πλαίσια των πακέτων. Τα επαληθεύει και επικοινωνεί με τον ChirpStack Application Server, καθώς και προγραμματίζει τα πακέτα προς τις συσκευές.

5.3.3 ChirpStack Application Server

Ο server της εφαρμογής είναι υπεύθυνος για τον χώρο των συσκευών στο δίκτυο LoRaWAN. Διαχειρίζεται συσκευές που θέλουν να μπουν στο δίκτυο, όπως επίσης και την

κρυπτογράφηση των δεδομένων από το επίπεδο της εφαρμογής και τέλος προσφέρει ένα περιβάλλον διεπαφής με τις συσκευές σε μορφή σελίδας.



Εικόνα 36 Επικοινωνία του τελικού κόμβου με τον server

5.4 Raspberry Pi 3 model B+

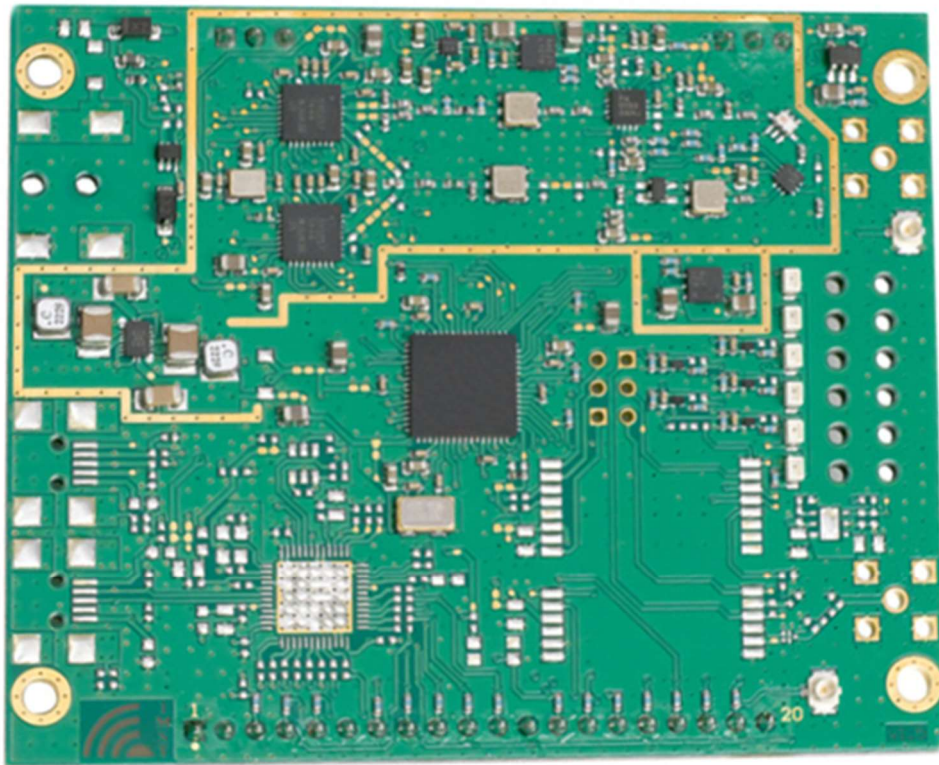
Το raspberry pi model 3 b είναι ένας μικροϋπολογιστής που τρέχει σε συχνότητα 1,4 gigahertz και έχει 64 bit τετραπύρηνο επεξεργαστή Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53, 1 giga ram, bluetooth, wi-fi, ethernet, τέσσερις πόρτες usb 2.0 και hdmi.



Εικόνα 37 raspberry pi model 3 b+

5.5 Laura Wan concentrator

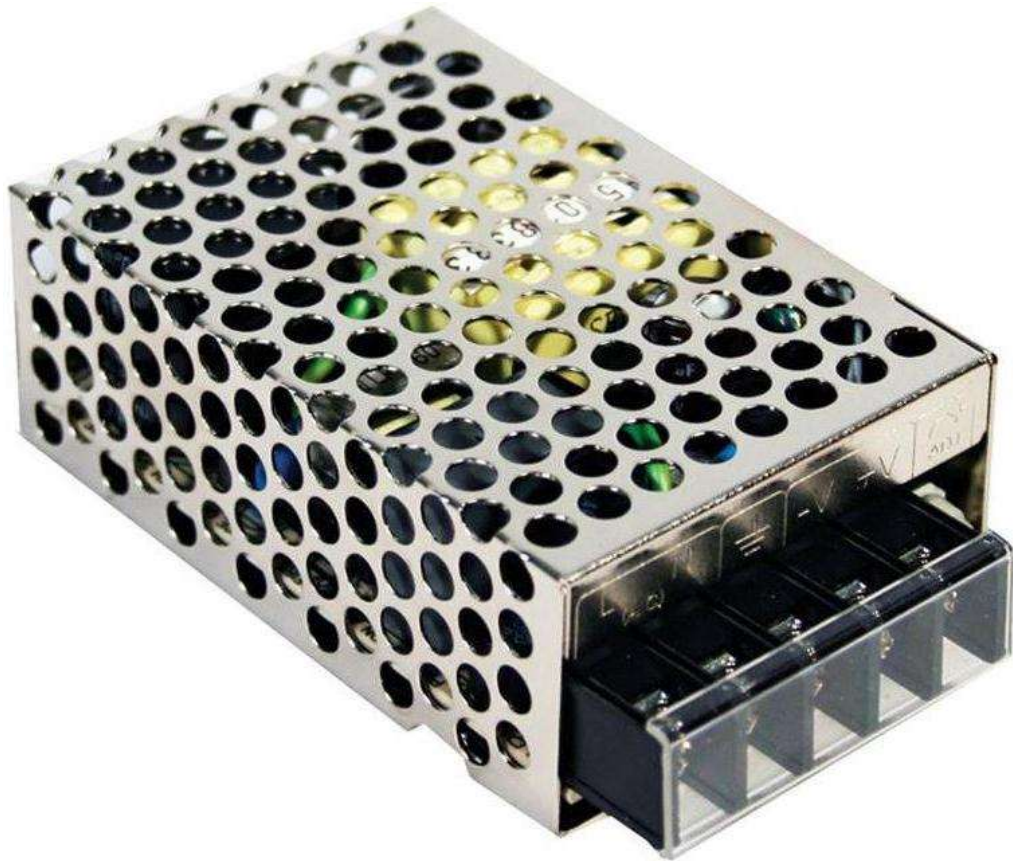
Για το gateway χρησιμοποιήθηκε shield iC880A συχνότητας 868 mhz, ο οποίος μπορεί να λάβει έως και 8 παράλληλα πακέτα. Η επικοινωνία του με το raspberry pi γίνεται μέσω του πρωτοκόλλου sri. Έχει ευαισθησία έως και - 137 dbm, χρησιμοποιεί το τσιπάκι sx 1301 ή τον επεξεργαστή της συχνότητα 868 mhz και δύο τσιπάκια rf sx 1257 και η έξοδος του είναι έως 20 dbm και μπορεί να πιάσει τα 15 χιλιόμετρα σε οπτική επαφή.



Εικόνα 38 shield iC880A

5.6 Τροφοδοσία gateway bridge

Χρησιμοποιήθηκε ένα τροφοδοτικό meanwell RS25-5 για μετατροπή τάσεως από 230 volt ac σε 5 volt dc με μέγιστη έξοδο 5 A. Επιπλέον, έχει προστασία από βραχυκύκλωμα, από υπερφόρτωση ή υπέρταση, διότι το raspberry model 3 b + προτείνει τροφοδοτικό που να μπορεί να παρέχει 2,5 A.



Εικόνα 39 meanwell RS25-5

5.7 Enclosure Raspberry Pi και Lora gateway

Έγινε η σχεδίαση με τη χρήση του fusion 360, το οποίο είναι σχεδιαστικό πρόγραμμα για 3d μοντέλα και το έχει δημιουργήσει η autodesk του enclosure για να μπορέσει να τοποθετηθεί το τροφοδοτικό, το raspberry pi model 3b+, το shield, η κεραία και τέλος να γίνει η κατάλληλη σύνδεση τους.

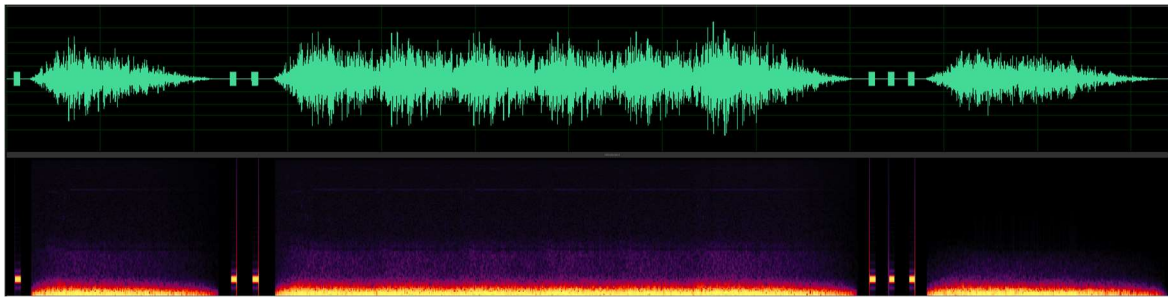


Εικόνα 40 Enclosure Raspberry Pi και Lora gateway

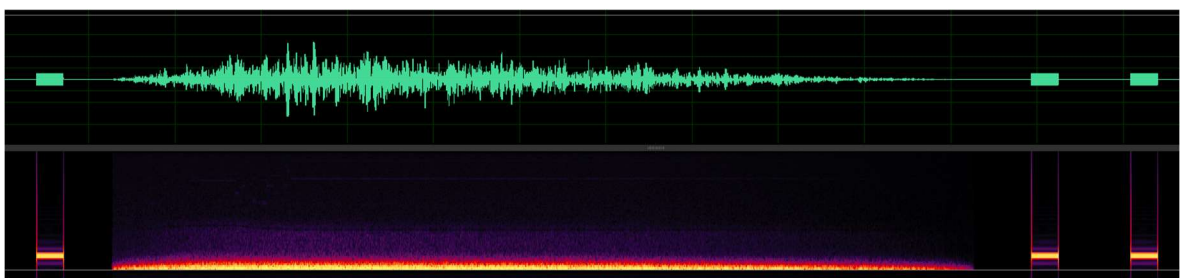
6 Κεφάλαιο 6

6.1 Δημιουργία σεισμοσειράς

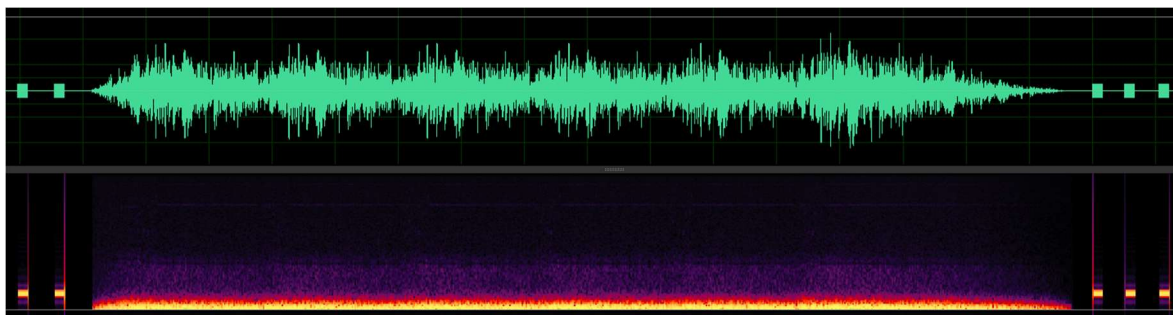
Για τη δημιουργία προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκε ένα woofer και μία σεισμοσειρά σε μορφή ήχου, η οποία επαναλαμβάνεται σε τρεις φάσεις, αλλά σε κάθε φάση έχει διάφορες αλλαγές, όπως στο πλάτος του σεισμού, τη συχνότητα και το χρόνο που διαρκεί. Οι διαφοροποιήσεις στον ήχο δημιουργήθηκαν με λογισμικό, το οποίο είναι για επεξεργασία ήχου. Ο διαχωρισμός αυτών των τριών φάσεων αρχίζει με μία σύντομη συχνότητα σε συγκεκριμένα Hertz. Με σκοπό να υπάρχει διακρίτοτητα στις φάσεις με ηχητικό σήμα, κάθε ηχητικό σήμα χρησιμοποιείται πριν την αρχή των φάσεων του σεισμού.



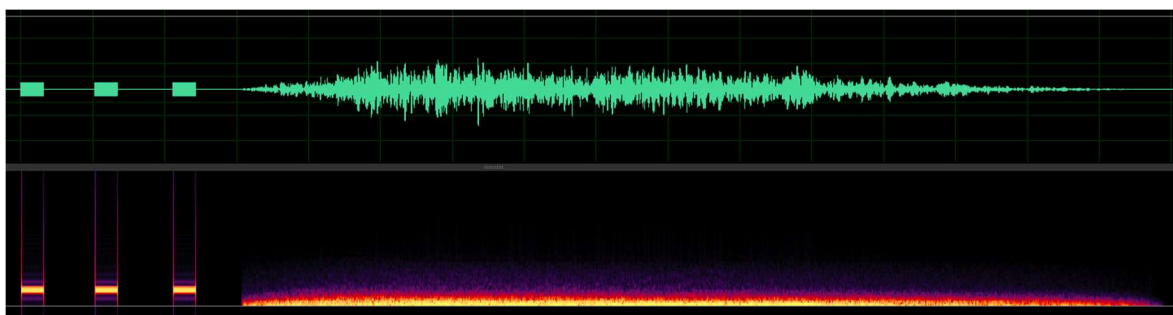
Εικόνα 41 Σεισμοσειρά τριών φάσεων



Εικόνα 42 Πρώτη φάση σεισμοσειράς



Εικόνα 43 Δεύτερη φάση σεισμολογίας



Εικόνα 44 Τρίτη φάση σεισμολογίας

6.2 Καταγραφή δεδομένων

Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε το board NUCLEO-L433RC-P, που έχει ακριβώς τον ίδιο μικροελεγκτή και έναν προγραμματιστή ST link v2. Ο σκοπός είναι να υπάρξει ένας εύκολος τρόπος αποθήκευσης των εικόνων μέσω του προγράμματος stm32cube Monitor και επίσης να αποθηκευτούν τα δεδομένα σε μορφή csv για περαιτέρω επεξεργασία. Ο ελεγκτής τοποθετεί τα δεδομένα σε μία συγκεκριμένη θέση μνήμης, οπότε με το πρόγραμμα stm32cube monitor μπορούμε να εξάγουμε τα δεδομένα από τη συγκεκριμένη θέση της μνήμης που τοποθετούνται.

Στη θέση της μνήμης 0x2000008c βρίσκεται η επιτάχυνση κατά άξονα X, ενώ στη θέση της μνήμης 0x20000084 βρίσκεται η επιτάχυνση κατά άξονα Y και στη θέση της μνήμης 0x20000090 βρίσκεται η επιτάχυνση κατά άξονα Z.

6.3 Προσομοίωση σεισμού

Το woofer χρησιμοποιείται ως ένα σύστημα προσομοίωσης σεισμού χρησιμοποιώντας για τις δονήσεις ένα πηνίο και ένα μόνιμο μαγνήτη. Ο μόνιμος μαγνήτης είναι κολλημένος, σε μία μεμβράνη, η οποία ανάλογα με το μαγνητικό πεδίο που ασκείται πάλλεται, με αποτέλεσμα να παράγει ηχητικές δονήσεις, οι οποίες μεταφέρονται και στον σκελετό του.

Έγινε σχεδίαση μιας βάσης με τη χρήση του fusion 360, το οποίο είναι σχεδιαστικό πρόγραμμα για 3d μοντέλα και έχει δημιουργηθεί από την autodesk. Ο σκοπός της δημιουργίας της βάσης είναι να κρατάει πακτωμένο τον αισθητήρα, όπως και τον σωλήνα και τον δεύτερο αισθητήρα πάνω στον σωλήνα.



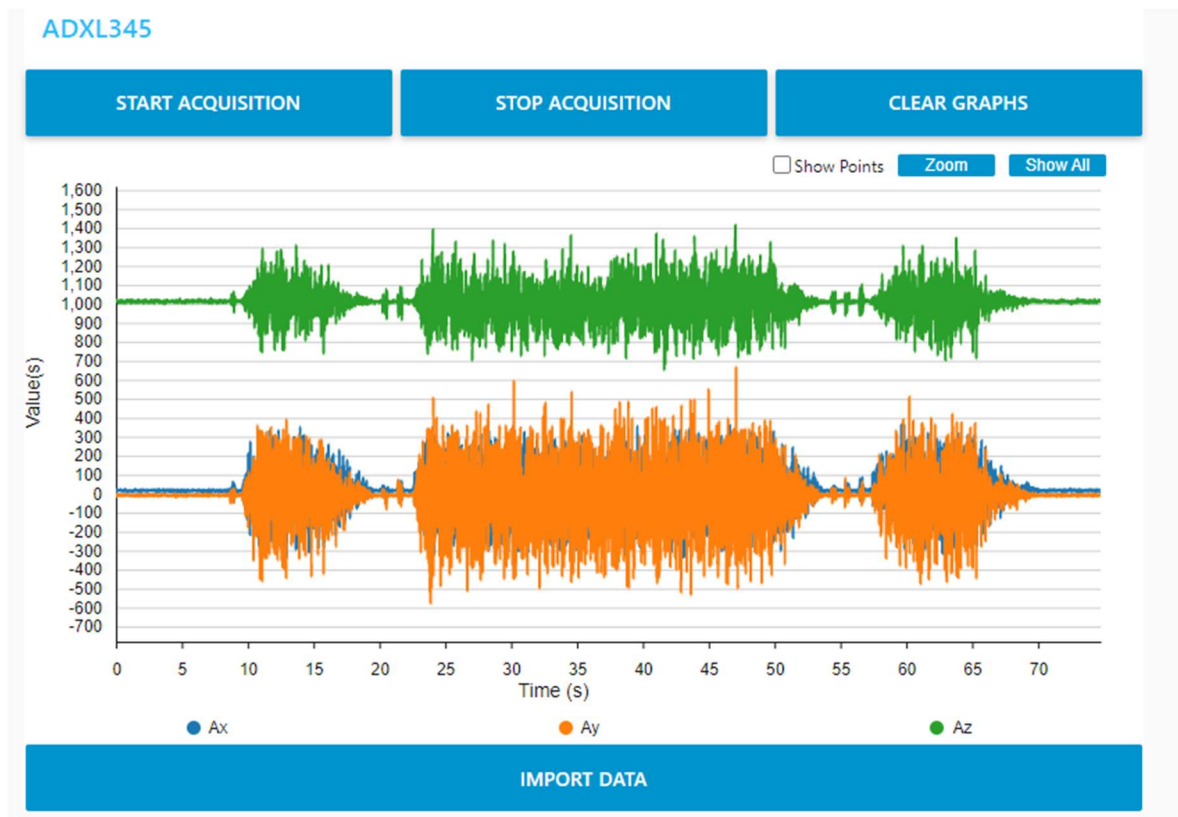
Εικόνα 45 Προσομίωση σεισμού σε woofer μπροστά όψη



Εικόνα 46 Προσομοιώσεις μου σε woofer πλάγια όψη

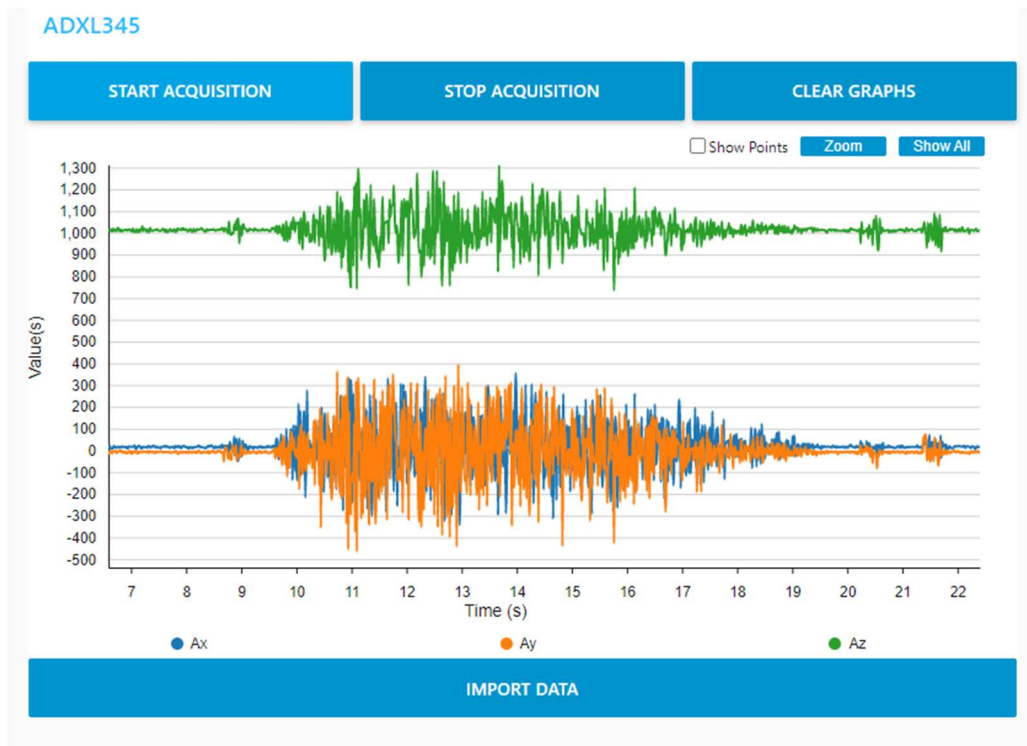
Τοποθετώντας τον αισθητήρα πάνω στο γούφερ, παρατηρούμε τα εξής αποτελέσματα. Εμφανίζεται μεγαλύτερη μετακίνηση κατά τη διεύθυνση του άξονα Y, διότι προς τα εκεί πάλλεται το ηχείο. Υπάρχουν μετακινήσεις και προς τον άξονα X και προς τον άξονα Z. Αυτές

οφείλονται στο ότι το ηχείο δεν είναι πακτωμένο, οπότε λόγω των παλμών που δημιουργεί μετακινείται και προς τις δύο διευθύνσεις X και Y.

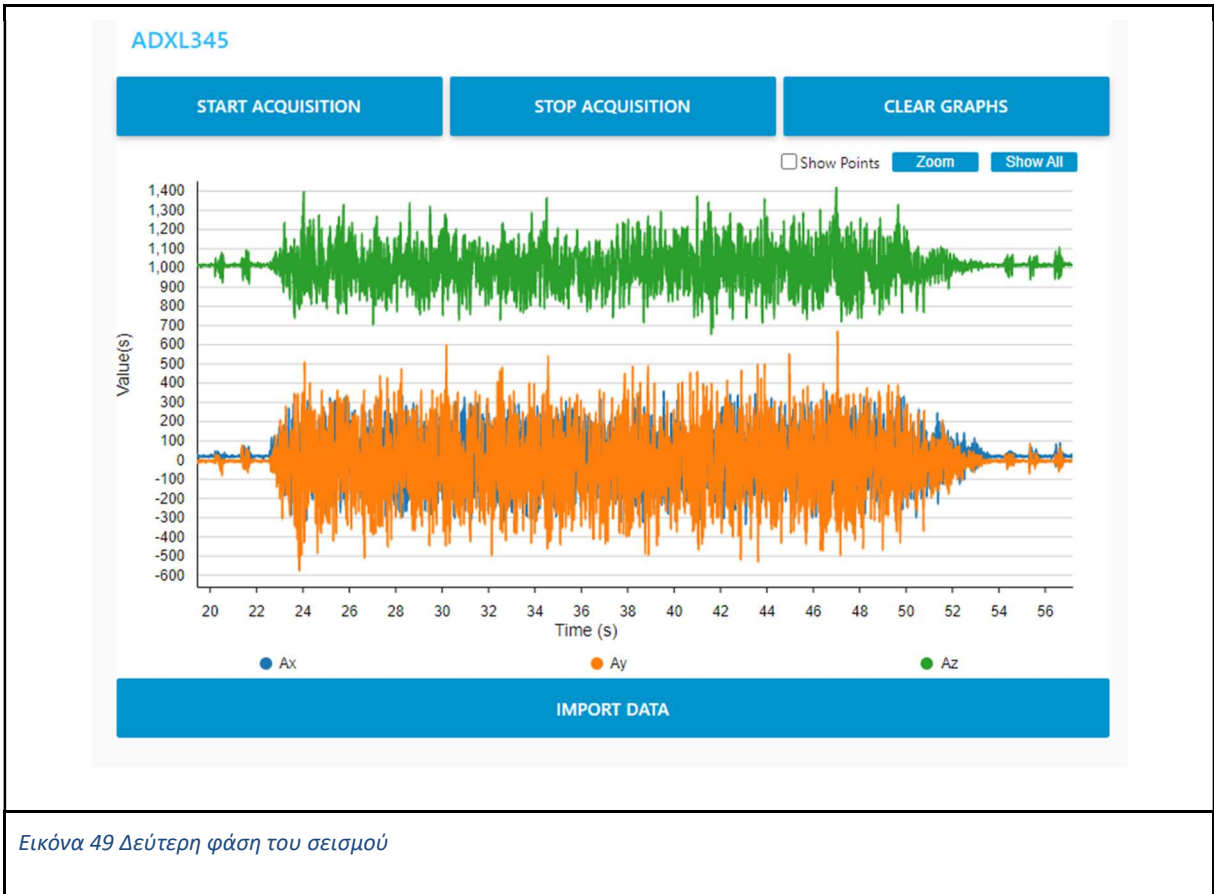


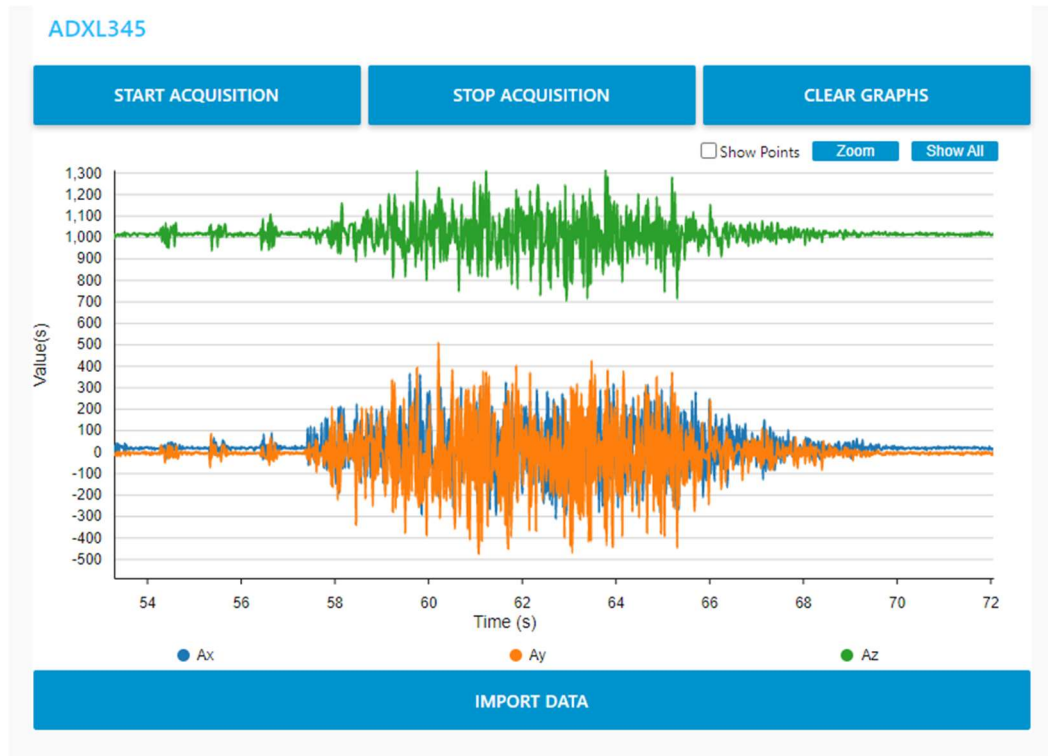
Εικόνα 47 Μέτρηση από τον αισθητήρα adxl345 στις τρεις φάσεις του σεισμού

Παρατηρούμε ότι τα σήματα που παράγονται στην έξοδο του ηχείου είναι λίγο διαφορετικά από το σήμα που βάλαμε στην είσοδο. Αυτή η διαφοροποίηση οφείλεται στο ότι ο ενισχυτής δεν είναι τέλειος και μπορεί να κάνει κάποιες αλλοιώσεις ή κάποιες καθυστερήσεις. Επιπρόσθετα, ούτε το woofer είναι τέλειο και υπάρχουν αλλαγές ανάλογα με το φάσμα των συχνοτήτων, οπότε παράγονται καθυστερήσεις και αλλοιώσεις στο σήμα. Αυτό παρατηρείται από την αρχική ηχητική ένδειξη, η οποία είναι ένα ημίτονο συγκεκριμένης συχνότητας και συγκεκριμένου πλάτους. Είναι παραμορφωμένη, λόγω του φίλτρου του woofer, που είναι σχεδιασμένο για να παίζει σε χαμηλές συχνότητες.



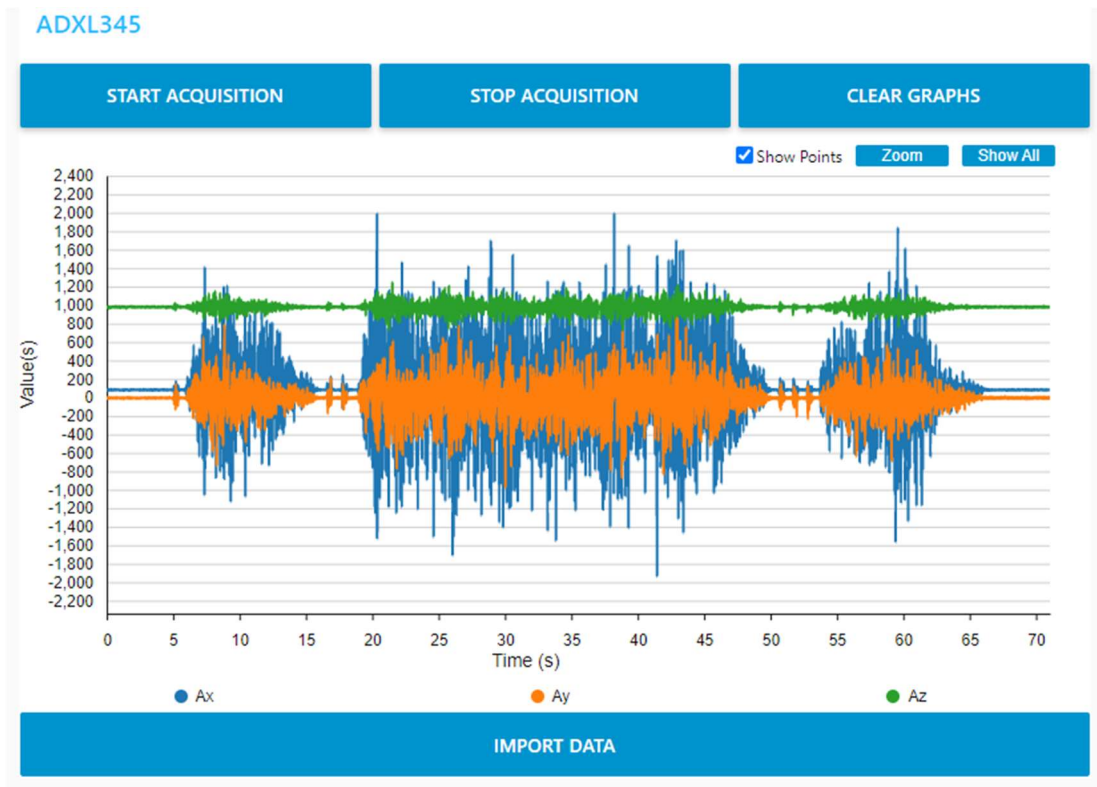
Εικόνα 48 Πρώτη φάση του σεισμού



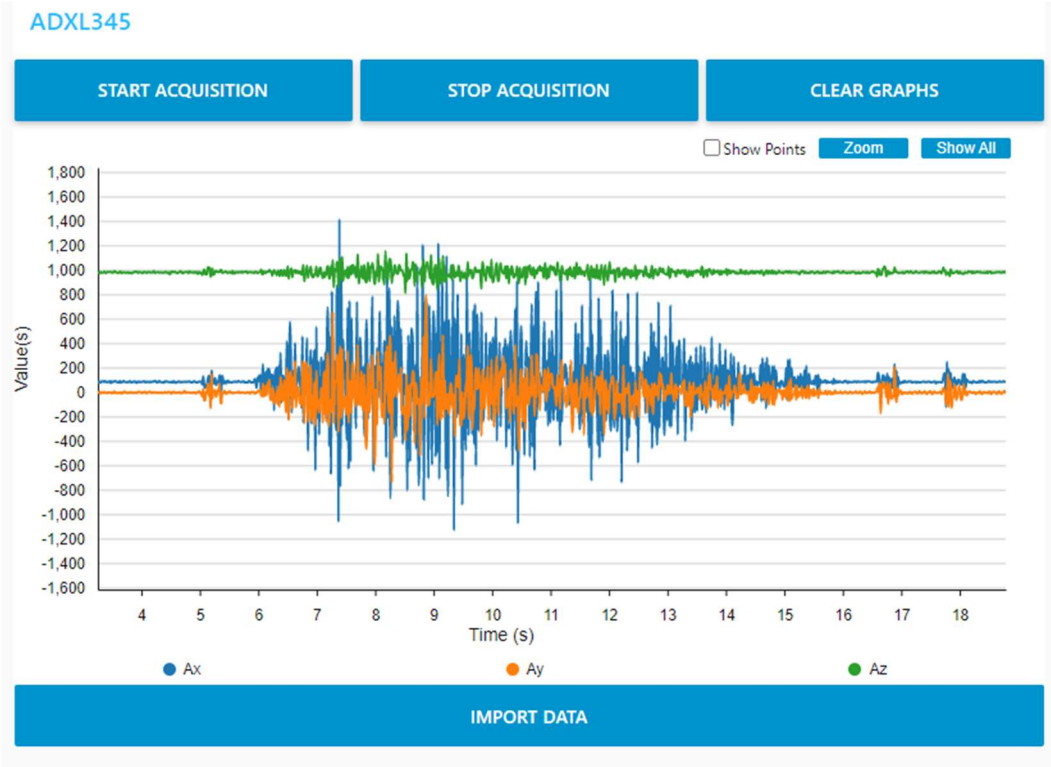


Εικόνα 50 Τρίτη φάση του σεισμού

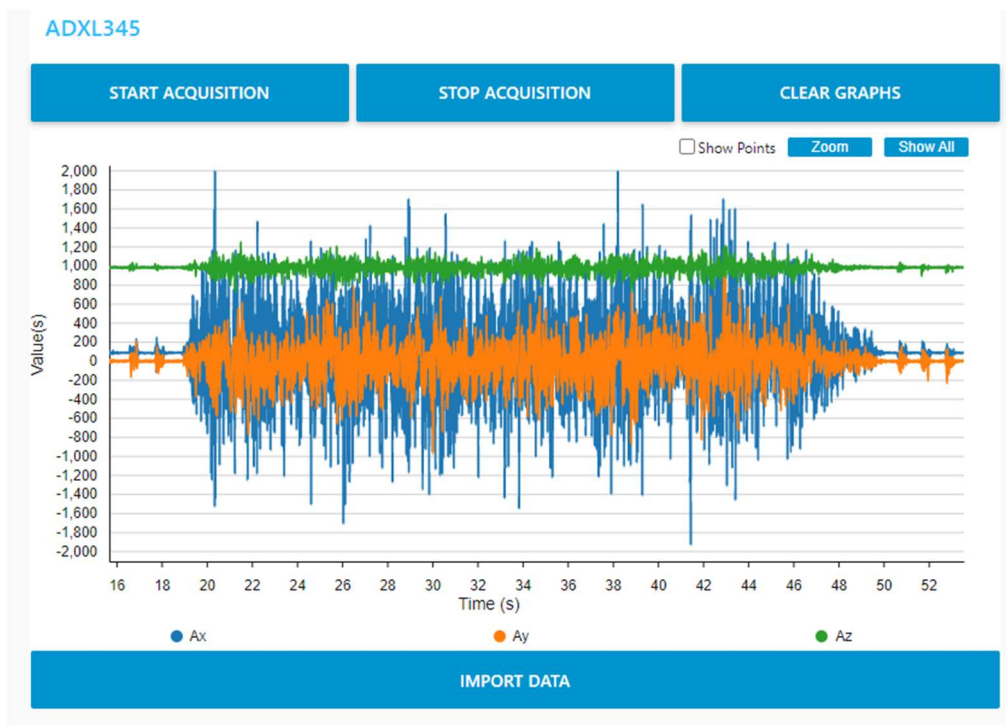
Τοποθετώντας τον αισθητήρα πάνω στον σωλήνα δημιουργούμε ένα πρωτοβάθμιο σύστημα και παρατηρούμε ότι έχουν μειωθεί πάρα πολύ οι επιταχύνσεις προς το Z άξονα, ενώ ταυτόχρονα έχουν αυξηθεί αρκετά ως προς τους άξονες X και Y. Αυτό συμβαίνει, διότι ο σωλήνας είναι πακτωμένος πάνω στο woofer και οι επιταχύνσεις αυξάνονται πολύ παραπάνω σε σχέση με το ύψος λόγω ταλαντώσεων και δημιουργεί μία διαφορά στο σήμα που παίρνουμε. Η διαφορά που δημιουργεί στις συχνότητες προκύπτει, διότι ο σωλήνας που προσομοιάζει ένα κτίριο ενός ορόφου λειτουργεί σαν ένα φίλτρο και κάνει μία απόσβεση των δονήσεων.



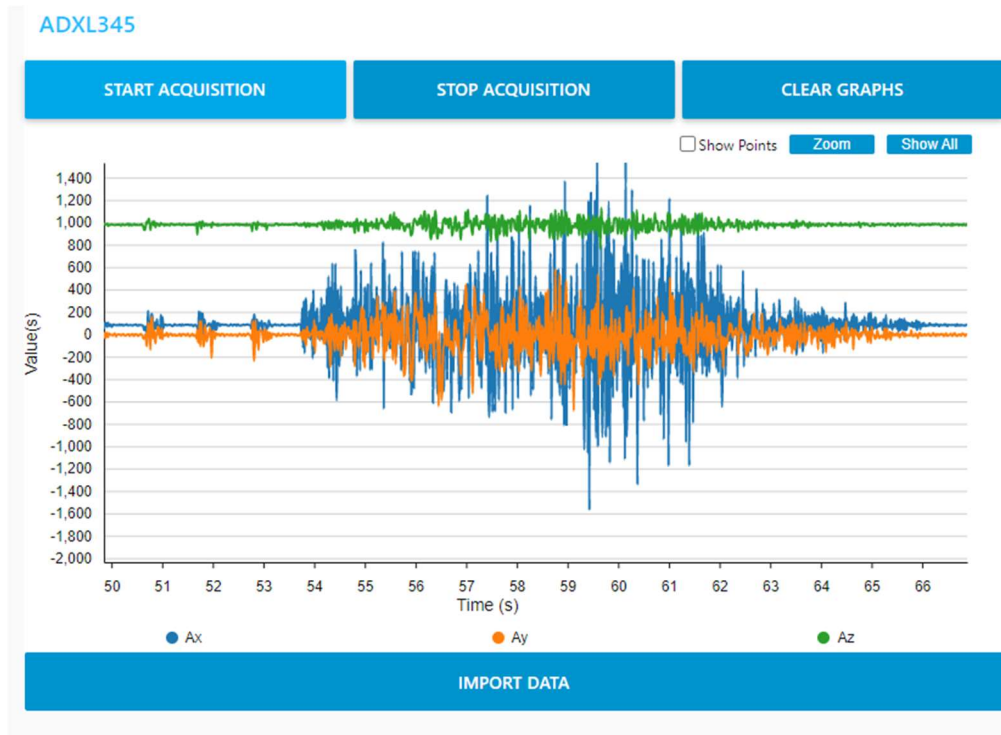
Εικόνα 51 Οι τρεις φάσεις του σεισμού τοποθετημένο πάνω στο σωλήνα



Εικόνα 52 Πρώτη φάση του σεισμού πάνω στο σωλήνα

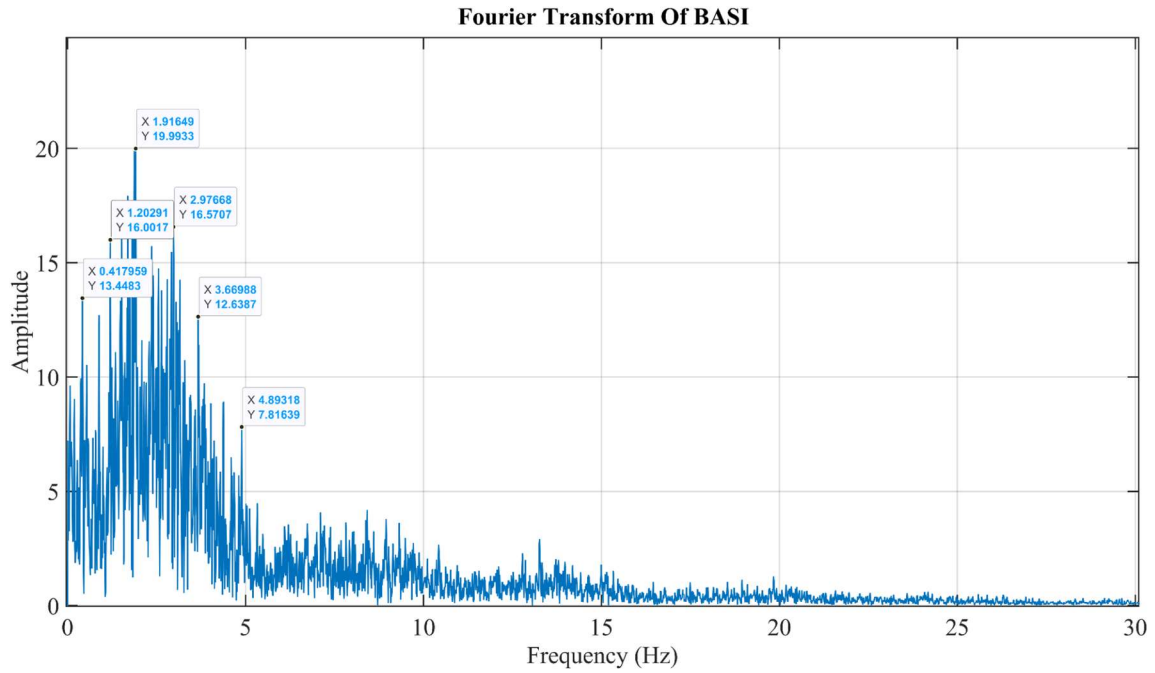


Εικόνα 53 Δεύτερη φάση του σεισμού πάνω στο σωλήνα



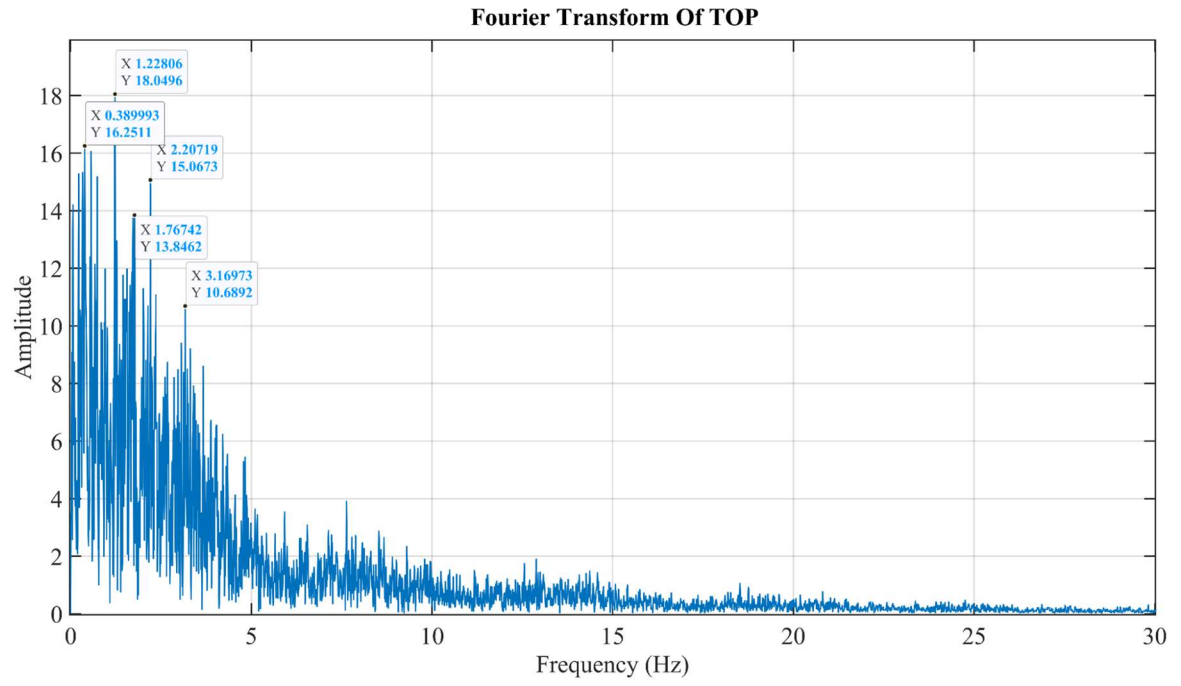
Εικόνα 54 Τρίτη φάση του σεισμού πάνω στο σωλήνα

Κάνοντας fft με τη χρήση του matlab παρατηρούμε, ότι στη βάση του woofer το σήμα που τοποθετήθηκε στην είσοδο αποτελείται από συχνότητες, οι οποίες είναι έως 5 hertz. Μεταξύ 5 έως 30 hertz είμαστε στο επίπεδο θορύβου και δεν υπάρχει κάποια σημαντική συχνότητα.



Εικόνα 55 FFT στη βάση του σωλήνα

Κάνοντας FFT πάνω στον σωλήνα βλέπουμε ότι οι συχνότητες έχουν μετακινηθεί και έχουν αλλάξει. Αυτό γίνεται, διότι παρεμβάλλεται η ιδιοσυχνότητα του σωλήνα, οπότε έχουν αλλάξει οι συχνότητες, οι οποίες αποτελούν το σήμα. Με αυτό τον τρόπο, μπορούμε να βρούμε την ιδιοσυχνότητα του πρωτοβάθμιου ταλαντωτή και αν έχει κάποια ρωγμή ή κάποιο ελάττωμα θα δημιουργηθεί διαφορά στις συχνότητες. Επιπλέον, θα έχει μία καθυστέρηση το σήμα να φτάσει από τη βάση μέχρι την κορυφή.



Εικόνα 56 FFT στην κορυφή του σωλήνα

Συμπεράσματα

Μια από τις βασικές απαιτήσεις του συστήματος που σχεδιάστηκε ήταν να λειτουργεί ασύρματα ώστε να διευκολύνεται ο απομακρυσμένος έλεγχος της κατασκευής και η παρακολούθηση τυχόν βλαβών έπειτα από μια σεισμική δόνηση. Επιπλέον δόθηκε ιδιαίτερη σημασία στις ενεργειακές απαιτήσεις της συσκευής οι οποίες και ελαχιστοποιηθούν. Το σύστημα που αναπτύχθηκε έχει πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας καθώς λειτουργεί μόνο όταν υπάρχει σεισμός και μεταφέρει τις πληροφορίες του στο server για ανάλυση. Ακόμα το γεγονός ότι ενεργοποιείται μόνο κατά τη διάρκεια σεισμικών δονήσεων συμβάλει στον περιορισμό του όγκου των δεδομένων που διακινούνται πράγμα που το καθιστά ανταγωνιστικό σε σύγκριση με τα υπάρχοντα συστήματα. Επιπροσθέτως λόγω της επικοινωνίας LoRa ο κάθε κόμβος μπορεί να βρίσκεται σε αρκετά μεγάλη απόσταση σε σχέση με το gateway. Βασική μέριμνα δόθηκε ώστε να μειωθεί το κόστος του υπό μελέτη συστήματος ώστε να συμβάλλουμε στην περαιτέρω διάδοση των μεθόδων απομακρυσμένης παρακολούθησης των κατασκευών. Τέλος η συσκευή σχεδιάστηκε ώστε να καταλαμβάνει τον ελάχιστο δυνατό όγκο για την εύκολη τοποθέτηση της. Επιπλέον δεν χρειάζεται παροχή ρεύματος εφόσον λειτουργεί με μπαταρία η οποία μπορεί να αντέξει χωρίς αντικατάσταση περίπου 20 χρόνια.

Kef1=1-7

Kef2=8-19

Kef3=20-

Kef3=1-5

Αναφορές

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

- [1] B. Marr, «Why Everyone Must Get Ready For The 4th Industrial Revolution».
- [2] H. Mario, P. Tobias και O. Boris, «Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios:A Literature Review».
- [3] A. S. Gillis, «What is internet of things (IoT)».
- [4] H. Boyes, B. Hallaq, J. Cunningham και TimWatson, «The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework».
- [5] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic και M. Palaniswami, «Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions».
- [6] K. Schwab, The Fourth Industrial Revolution.
- [7] S. Patnaik, New Paradigm Of Industry 4.0 Internet Of Things, Big Data Cyber Physical Systems.
- [8] H. Bidgoli, The Handbook of Computer Networks, LANs, MANs, WANs, the Internet, and Global, Cellular, and Wireless Networks.
- [9] B. Chaudhari και M. Zennaro, LPWAN Technologies for IoT and M2M Applications.
- [10] S. Cirani, G. Ferrari, M. Picone και L. Veltri, Internet of Things Architectures, Protocols and Standards.

- [11] G. Glissa και A. Meddeb, «6LowPsec: An end-to-end security protocol for 6LoWPAN».
- [12] F. Ohrtman και K. Roeder, Wi-Fi Handbook Building 802.11b Wireless Networks.
- [13] H. Wei, J. Rykowski και S. Dixit, WiFi, WiMAX, and LTE Multi-Hop Mesh Networks Basic Communication Protocols and Application Areas.
- [14] S. Dimitrov και H. Haas, Principles of LED Light Communications Towards Networked Li-Fi.
- [15] O. A. Postolache, E. Sazonov και S. C. Mukhopadhyay, Sensors in the Age of the Internet of Things Technologies and applications.
- [16] C. Panek, Networking Fundamentals.
- [17] J. Holler, V. Tsiatsis, C. Mulligan, S. Avesand, S. Karnouskos και D. Boyle, From Machine-To-Machine to the Internet of Things. Introduction to a New Age of Intelligence.
- [18] M. Sauter, From GSM to LTE-Advanced Pro and 5G An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband.
- [19] M. Wolf, Embedded System Interfacing Design for the Internet-of-things lot and Cyber-physical Systems Cps.