



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ

ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανάπτυξη ολοκληρωμένης διάταξης για την καταγραφή σεισμικής καταπόνησης κτιρίων βασισμένη σε τεχνολογίες «νέφους» και Ασύρματων δικτύων μεγάλης απόστασης

Φοιτητής : Σφενδουράκης Εμμανουήλ, 43252

Επιβλέπων: Παπαγέωργας Παναγιώτης, Καθηγητής

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη και η αξιολόγηση τεχνολογιών για την ανάπτυξη συστήματος που αφορά την εκτίμηση καταπόνησης κτιρίων και εγκαταστάσεων από σεισμικές δραστηριότητες και αποτροπή μετασεισμικών επιπτώσεων μέσω απομακρυσμένου ελέγχου και διαχείρισης. Στο θεωρητικό υπόβαθρο, θα μελετηθούν οι διάφορες τεχνολογίες αιχμής που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως σχετικά με την παρακολούθηση και αντιμετώπιση των σεισμικών και μετασεισμικών φαινομένων. Στη συνέχεια, θα μελετηθούν τα πρωτόκολλα και τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται για την ασύρματη επικοινωνία, και θα γίνει σύγκριση και εκτίμηση των προτύπων αυτών σχετικά με την εφαρμογή τους. Τέλος θα αναλυθούν όλοι οι κόμβοι που απαρτίζουν την πειραματική υλοποίηση σχετικά με τις προδιαγραφές, το κόστος, τις επιλογές υλοποίησης και τη σύγκριση των διαφορετικών επιλογών.

Στη πειραματική υλοποίηση, αναπτύχθηκε σύστημα με βάση τις προδιαγραφές που έχουν αναλυθεί βασισμένο σε μικροελεγκτή που λαμβάνει μετρήσεις από αισθητήρα σχετικά με την καταπόνηση κτιρίων, και στη συνέχεια απομακρυσμένη επικοινωνία με κεντρικό κόμβο για έλεγχο και απεικόνιση των μετρήσεων σε cloud εφαρμογή με σκοπό την δημιουργία ενός χάρτη που περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό κόμβων για τη δυναμική ενημέρωσή του, για την εκτίμηση των επιπτώσεων από σεισμική δραστηριότητα. Η ανάπτυξη της προτεινόμενης υποδομής θα μπορούσε να αποτελέσει πολύτιμο εργαλείο για την εκτίμηση σε πραγματικό χρόνο των επιπτώσεων σεισμικής δραστηριότητας σε κρίσιμες υποδομές από τις αρχές διαχείρισης κρίσεων υλοποιώντας ένα μεγάλης κλίμακας ΚυβερνοΦυσικό Σύστημα (Cyber Physical System).

**ΛΕΞΕΙΣ – ΚΛΕΙΔΙΑ:** Διαδίκτυο των Αντικειμένων, Διαδίκτυο των Αντικειμένων για σεισμικές μετρήσεις, Δίκτυα Μεγάλων Αποστάσεων, Σεισμικός αισθητήρας, Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, πρωτόκολλο LoRa, Node-RED

## ABSTRACT

The aim of the present thesis is to study and evaluate technologies for the development of a system for the estimation of the stresses of buildings and critical infrastructure from seismic activity and the optimized management of post-earthquake effects. In the theoretical background, there will be an analysis of the various technologies used to monitor and address seismic and post-earthquake phenomena. Next, the most suitable protocols and standards used for wireless communication with the sensing nodes will be studied and will be compared and evaluated for the implementation of an experimental setup. Finally, we will analyze all the nodes that realise the experimental setup with the specifications, cost and implementation options according to specific metrics. In the experimental setup, a system based on microcontroller has been realized, that perform measurements from a specific earthquake sensor, and then after appropriate analysis the aggregated data are deployed through a remote communication with a central node for controlling and displaying these measurements through a cloud application and an associated map supporting a very large number of nodes for continually updating the points of interest in case of an earthquake event.

**KEYWORDS:** Internet of things, Internet of things for earthquake measurements, Wide area networks, Earthquake sensor, LPWAN, Wireless Sensor networks, LoRa Protocol, Node-RED

## ΣΚΟΠΟΣ - ΕΡΓΑΛΕΙΑ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι να εξετάσει και να αναλύσει ένα ολοκληρωμένο open source σύστημα αποτελούμενο από χαμηλού κόστους ασύρματο δίκτυο αισθητήρων και τις επιμέρους τεχνολογίες ως λύση στα σεισμικά και μετασεισμικά φαινόμενα. Χρησιμοποιήθηκαν οι πιο σύγχρονες τεχνολογίες, καθώς και επαγγελματικός εξοπλισμός, ώστε να μπορεί το σύστημα να παρουσιαστεί ως έτοιμη λύση για το εμπόριο.

- Στο πρώτο κεφάλαιο έγινε ανάλυση των βασικότερων εννοιών του Διαδικτύου των πραγμάτων, των κυβερνο φυσικών συστημάτων και των ασύρματων δικτύων αισθητήρων.
- Στο δεύτερο κεφάλαιο έγινε αναφορά στο θεωρητικό υπόβαθρο ολόκληρου του συστήματος προς υλοποίηση όπως επίσης και των επιμέρους στοιχείων του ξεχωριστά.
- Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά όλη η διαδικασία της υλοποίησης του συστήματος.
- Στο τελευταίο κεφάλαιο εξάγονται τα συμπεράσματα και ενδεχόμενες προτάσεις για περαιτέρω ανάπτυξη του συστήματος.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Παπαγεώργα Παναγιώτη, για την συνεχή υποστήριξη και τη συμβουλευτική καθοδήγηση του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για τη ψυχολογική υποστήριξη τους κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ABSTRACT	3
ΣΚΟΠΟΣ - ΕΡΓΑΛΕΙΑ	4
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	6
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	12
1.1 Διαδίκτυο των πραγμάτων	12
1.1.1 Η έννοια του Διαδικτύου των πραγμάτων	12
1.1.2 Εφαρμογές του διαδικτύου των πραγμάτων	13
1.2 Ενσωματωμένα και κυβερνοφυσικά συστήματα	13
1.3 Σεισμοί και τεχνολογία	16
1.3.1 Φυσικό φαινόμενο των σεισμών	16
1.3.2 Ανάλυση της σύνδεσης μεταξύ της ζημιάς των σεισμών και των κυβερνοφυσικών συστημάτων.	17
1.4 Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (Wireless sensor networks ή WSN) και οι τεχνολογίες τους:	18
Zigbee	19
Bluetooth	20
LPWAN	20
Sigfox	20
LoRa	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	27
2.1 Εισαγωγή και θεωρητικό υπόβαθρο του συστήματος	27
2.2 Τεχνικές προδιαγραφές του συστήματος	28
2.2.1 Αισθητήρας D7S	28
2.2.2 Ανοικτή πλατφόρμα μικροελεγκτή Arduino Uno	32

2.2.3	Επέκταση (Shield) Dragino LoRa	33
2.2.4	Raspberry Pi	34
2.2.5	iC880A LoRaWAN Concentrator	34
2.2.6	Προγραμματισμός με Node-RED	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3		36
Υλοποίηση του συστήματος		36
3.1	υλοποίηση του Hardware μέρους του συστήματος	37
3.2	υλοποίηση του Software	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4		56
Συμπεράσματα και περαιτέρω υλοποίηση		56
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ		58
Παράρτημα Α		58
Κώδικας Arduino UNO με LoRa Shield :		58
Παράρτημα Β		64
Βιβλιογραφία		67

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1	- IOT Devices 2015-2025[2]	11
Εικόνα 2	- Σύγκριση ενσωματωμένων και κυβερνο φυσικών συστημάτων[4]	12
Εικόνα 3	- Τεκτονική κίνηση της πλάκας στον παγκοσμίως[5]	14
Εικόνα 4	- D7S και σεισμοί[6]	16
Εικόνα 5	- Zigbee logo [8]	17
Εικόνα 6	- Bluetooth logo [9]	18

Εικόνα 7 - Sigfox logo [10]	18
Εικόνα 8 – LTE-M logo [12]	19
Εικόνα 9 - LoRa logo[14]	20
Εικόνα 10 – Το chirp είναι το ημιτονοειδές σήμα που αυξάνει ή μειώνει τη συχνότητα του στο χρόνο [16]	21
Εικόνα 11 - Κλάσεις LoRa [17]	22
Εικόνα 12 - LoRa network [18]	22
Εικόνα 13 – LPWAN & IOT[19 ]	23
Εικόνα 14 – Grillo logo [22]	24
Εικόνα 15 – Frida logo [24]	25
Εικόνα 16 - Ο αισθητήρας D7S της Omron[25]	26
Εικόνα 17 - Η κυκλωματική διάταξη του D7S.[25]	28
Εικόνα 18 - Εικόνα: Διάγραμμα παλμών λειτουργίας. Operation Chart[25]	29
Εικόνα 19 - Διάγραμμα ροής D7S[27]	29
Εικόνα 20 - Arduino Uno[28]	31
Εικόνα 21 - Lora Shield[29]	32
Εικόνα 22 - Raspberry Pi 3 Model B+ [30]	32
Εικόνα 23 - Ανάλυση των στοιχείων του ic880a[31]	33
Εικόνα 24 - Βασικός κόμβος στο Node-RED[32]	34
Εικόνα 25 – How MQTT works [34]	34
Εικόνα 26 – Σχηματικό Client End Node	40
Εικόνα 27 - Δήλωση του Gateway	44
Εικόνα 28 - Δήλωση της εφαρμογής και των συσκευών	44



Εικόνα 29 – Δήλωση του MQTT Node Στο Node - Red	45
Εικόνα 30 – Function Node στο Node - Red	46
Εικόνα 31 – Function Blocks στο Node - Red	46
Εικόνα 32 - Function Node στο Node - Red	47
Εικόνα 33 - Function Node στο Node - Red	47
Εικόνα 34 - Function Block στο Node - Red	48
Εικόνα 35 - Function Node στο Node - Red	49
Εικόνα 36 – Απεικόνιση σεισμικής δόνησης στο Node - Red	50
Εικόνα 37 - Απεικόνιση σεισμικής δόνησης στο Node - Red	50
Εικόνα 38 - Κόμβος βάσης δεδομένων	51
Εικόνα 39 – Node – Red Complete Flow	52