



Τεχνολογικό
Πανεπιστήμιο
Κύπρου

Σχολή Μηχανικής και
Τεχνολογίας

Πτυχιακή εργασία

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ
ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ
ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ**

Νικόλας Κωνσταντίνου

Λεμεσός, Μάϊος 2018

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Πτυχιακή εργασία

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ
ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ
ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

του

Νικόλα Κωνσταντίνου

Επιβλέπων Καθηγητής

Δρ. Χριστόδουλος Δανέζης

Λεμεσός, Μάϊος 2018

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Νικόλας Κωνσταντίνου, 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Πολίτικων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους γονείς μου για την έμπρακτη στήριξη και την διαπαιδαγώγηση που μου πρόσφεραν όλα αυτά τα χρόνια.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Δρ. Χριστόδουλο Δανέζη, ο οποίος με καθοδηγούσε και με συμβούλευε καθ' όλη την διάρκεια της πτυχιακής μου εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι σύγχρονοι ρυθμοί ανάπτυξης επισύρουν την συνεχή κατασκευή τεχνικών έργων με απώτερο στόχο τη βελτίωση της ποιότητας ζωής του σύγχρονου Άνθρωπου. Ωστόσο, πολλές φορές δεν λαμβάνονται τα κατάλληλα προληπτικά μετρά για την προφύλαξη των έργων από γεωκινδύνους, όπως είναι τα κατολισθητικά φαινόμενα και οι σεισμοί. Οι καταστροφές που μπορούν να προκαλέσουν αυτά τα φαινόμενα είναι σημαντικές καθώς απειλούν ανθρώπινες ζωές. Ως εκ τούτου επιβάλλεται η συνεχής παρακολούθηση των έργων ή των περιοχών υψηλής επικινδυνότητας. Οι σύγχρονες λύσεις παρακολούθησης έχουν υψηλό κόστος και συνεπώς δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη μεγάλων περιοχών ενδιαφέροντος. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι ο σχεδιασμός και η υλοποίηση πειραματικής πλατφόρμας αισθητήρων χαμηλού κόστους για τη μελέτη των κατολισθητικών φαινομένων. Η πλατφόρμα χρησιμοποιεί σαν κεντρικό υπολογιστή τον μικροϋπολογιστή Raspberry Pi 3 Model B, που διαθέτει την δυνατότητα σύνδεσης με περιφερειακές συσκευές εισόδου/εξόδου. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για την συλλογή της απαιτούμενης πληροφορίας είναι : 1)ένας δεκτής GNSS μονής συχνότητας, 2) ένα αδρανειακό σύστημα, και 3) ένας ολοκληρωμένος μετεωρολογικός σταθμός. Η πλατφόρμα συνοδεύεται από κατάλληλο σύστημα τηλεμετρίας για την αποστολή της πληροφορίας σε κατάλληλο εξυπηρετητή μέσω του διαδικτύου. Το προϊόν της παρούσας εργασίας αποδεικνύει ότι σήμερα κάθε άλλο παρά ποτέ είναι δυνατή η δημιουργία μίας λύσης η οποία θα παρέχει συλλογή ετερογενούς πληροφορίας, αποτελέσματα υψηλής ακρίβειας σε χαμηλό κόστος.

Λέξεις κλειδιά: Raspberry Pi, κατολίσθησης, δεκτής GNSS , αδρανειακά συστήματα

ABSTRACT

Modern rhythms of growth impulse the continuous construction of technical works and this is due to the ultimate goal of improving the quality of life of the modern humans. However, precautionary measures are often not taken to protect from geological hazards, such as landslides and earthquakes. The disasters that can be caused from these phenomena are important as they threaten human lives. It is therefore necessary to continuously monitor structures or areas of high risk. Modern monitoring solutions have high costs and therefore can not be used to cover large areas of interest. The aim of this paper is to design and implement a low-cost experimental platform for the study of landslide phenomena. The platform developed uses the Raspberry Pi 3 Model B microprocessor as the central processor and is connected to peripheral I / O devices. The sensors used to collect the required information are: 1) a single-frequency GNSS receiver, 2) an inertial system and 3) an integrated meteorological station. The platform is accompanied by a suitable telemetry system capable of sending the information to a suitable server over the internet. The product of this paper stresses that today, more than ever, it is possible to create a solution that will provide a collection of heterogeneous information with high precision while maintaining a low cost product.

Keywords: Raspberry Pi , landslide, receiver GNSS, Inertial navigation system

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	v
ABSTRACT.....	vi
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	ix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	x
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	xi
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ.....	xii
1 Εισαγωγή.....	1
2 Μεθοδολογία παρακολούθησης φυσικών κίνδυνων	2
3 Κατολισθήσεις.....	5
3.1 Ταξινόμηση κατολισθήσεων.....	6
3.1.1 Ταξινόμηση ανάλογα με το είδος της κίνησης και τη γεωμετρία.....	6
3.1.2 Ταξινόμηση ανάλογα με το στάδιο δράσης.....	7
3.1.3 Ταξινόμηση ανάλογος με την ταχύτητα κίνησης.....	8
3.1.4 Ταξινόμηση ανάλογος του υλικού	9
3.2 Αίτια κατολισθήσεων	9
3.2.1 Πρωτογενή αίτια κατολισθητικών φαινομένων.....	10
3.2.2 Δευτερογενή αίτια κατολισθητικών φαινομένων	10
4 Υφιστάμενες Λύσεις.....	12
4.1 Real-time deformation monitoring by a wireless network of low-cost GPS....	12
4.2 Performance of low-cost GNSS receiver for landslides monitoring: test and results	13
4.3 Wireless sensor network in landslide monitoring system with remote data management	15

4.4	Monitoring landslide displacements with the Geocube wireless network of low-cost GPS.....	16
5	Υλοποίηση Προτεινόμενης Πλατφόρμας	18
5.1	Μικροϋπολογιστής-Raspberry pi 3 Model B	19
5.2	Δέκτης GNSS EVK-M8T Ublox	20
5.3	Αδρανειακό σύστημα MPU-6050.....	21
5.4	Grove Weather Pi.....	22
6	Υλοποίηση του συστήματος	23
6.1	Δέκτης GNSS.....	23
6.2	Αδρανειακό σύστημα	25
6.3	Μετεωρολογικός σταθμός- GroveWeatherPi	27
7	Συμπεράσματα.....	29
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	31
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	33

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Όργανα και μέθοδοι για την παρακολούθηση μετακινήσεων.....	4
Πίνακας 2: Προτεινόμενη κλίμακα ταχύτητας κατολισθήσεων	8
Πίνακας 3: Συνολικά αποτέλεσμα	14
Πίνακας 4 : Συχνότητες που είναι διαθέσιμες από κάθε GNSS	20
Πίνακας 5 : Χαρακτηριστικά δεκτή EVK-M8T	21
Πίνακας 6 : Συνδεσμολογία αδρανειακού αισθητήρα στο Raspberry Pi	26

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Ασύρματος δέκτης GPS χαμηλού κόστους Geocube	12
Διάγραμμα 2 : Μικρομετρική πλάκα για ελεγχόμενες παραμορφώσεις	14
Διάγραμμα 3 : WSN σύστημα παρακολούθησης κατολισθήσεων	15
Διάγραμμα 4: Λειτουργίες και αισθητήρες που περιλαμβάνουν η sensing node(αριστερά) και host node(δεξιά)	16
Διάγραμμα 5: Αρχιτεκτονική συστήματος Geocube.....	17
Διάγραμμα 6 : Αρχιτεκτονική συστήματος παρακολούθησης κατολισθήσεων	18
Διάγραμμα 7: Raspberry Pi 3 Model B	20
Διάγραμμα 8 : Αισθητήρας MPU-6050.....	21
Διάγραμμα 9 : Διάγραμμα αρχιτεκτονικής του μετεωρολογικού σταθμού(αριστερά) & τελική μορφή με μετεωρολογικού σταθμού (δεξιά) (πηγή : http://www.switchdoc.com)	22
Διάγραμμα 10 : Ρύθμιση του δέκτη GNSS που αφορά την λήψη των δεδομένων.....	23
Διάγραμμα 11 : Κώδικας από το python script gps_ubx.py.....	24
Διάγραμμα 12 : Κώδικας από το python strip gpsx.py	25
Διάγραμμα 13 : Στιγμιότυπο από το python script για τη ρύθμιση των κλιμάκων ευαισθησίας και τον υπολογισμό της συχνότητας	26
Διάγραμμα 14 : Πίνακας διεπαφών σύνδεσης PI2Grove (πηγή : http://www.switchdoc.com).....	27

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

GNSS:	Global Navigation Satellite System
GPS:	Global Positioning System
WSN:	Wireless Sensor Network
LSNNS:	Local Sensing Node Network System
CS:	Cloud System
HS:	Host System
SN:	Sensing Node
HN:	Host Node
MEMS:	Micro-Electro-Mechanical Systems
RAM:	Random Access Memory
GPIO:	General Purpose Input Output pins
I2C:	Inter-Integrated Circuit
SPI:	Serial Peripheral Interface Bus
NMEA:	National Marine Electronics Association
UTC:	Coordinated Universal Time
WGS84:	World Geodetic System 1984
PPP:	Precise Point Positioning

ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ

GNSS	Παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης
GPS	Αμερικανικό GNSS
GLONASS	Ρωσικό GNSS
BeiDou	Κινεζικό GNSS
WGS84	Παγκόσμιο σύστημα αναφοράς συντεταγμένων

1 Εισαγωγή

Η ανθρωπότητα τα τελευταία χρονιά διανύει μια περίοδο ανάπτυξης που κινείται με ταχύτατους ρυθμούς. Το γεγονός αυτό δημιουργεί την ανάγκη για την υλοποίηση όλο και περισσότερων τεχνικών έργων με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας ζωής του συγχρόνου ανθρώπου. Λόγω των ταχύτατων ρυθμών ανάπτυξης πολλές φορές δεν λαμβάνονται τα κατάλληλα προληπτικά μετρά για την προφύλαξη των έργων από φυσικούς κίνδυνους, όπως είναι τα κατολισθητικά φαινόμενα και οι σεισμοί. Οι καταστροφές που μπορούν να προκαλέσουν αυτά τα φαινόμενα επηρεάζουν την ανθρώπινη κοινωνία σε διάφορους τομείς. Αρχικά μπορούν να καταστρέψουν οικισμούς ή και υφιστάμενα έργα υποδομής και έτσι να προκληθούν ανεπανόρθωτες ζημιές στην οικονομία της περιοχής. Ακόμη μπορεί να είναι η αίτια για την απώλεια ανθρώπινων ζωών. Συνεπώς είναι αναγκαίο αυτά τα φαινόμενα να παρακολουθούνται διαχρονικά ή σε πραγματικό χρόνο έτσι ώστε να λαμβάνονται κατάλληλα προληπτικά μετρά για την αντιμετώπιση τους.

Για την παρακολούθηση αυτών των φαινομένων απαιτούνται μετρήσεις όσον το δυνατόν υψηλότερης ακριβείας από ετερογενείς αισθητήρες προκειμένου να ληφθεί όλο το εύρος της απαιτούμενης πληροφορίας (π.χ. μικρομετακινήσεις θέσης, μετεωρολογική πληροφορία κ.α.). Συμφώνα με αυτές τις προδιαγραφές είναι συνήθως χρησιμοποιείται γεωδαιτικός εξοπλισμός υψηλής ακριβείας, όπως ένας ρομποτικός ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός ή ένα δίκτυο από γεωδαιτικούς δέκτες GNSS ή γεωτεχνικοί αισθητήρες. Ωστόσο, οι συγκεκριμένοι εξοπλισμοί έχουν υψηλό κόστος το οποίο έχει άμεσο αντίκτυπο στον αριθμό των διαθέσιμων αισθητήρων για την παρακολούθηση ευρύτερων περιοχών. Συνεπώς δημιουργείται η ανάγκη υλοποίησης μια λύσης χαμηλού κόστους για την μεγαλύτερη σε εύρος παρακολούθηση φυσικών φαινομένων όπως οι κατολισθήσεις ή οι εδαφικές υποχωρήσεις στο επίπεδο μίας χώρας.

Για την κάλυψη αυτής της ανάγκης στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε σχεδιασμός και υλοποίηση μιας πειραματικής πλατφόρμας, που αποτελείται από ετερογενείς αισθητήρες χαμηλού κόστους. Η πλατφόρμα χρησιμοποιεί σαν κεντρικό υπολογιστή τον μικροϋπολογιστή χαμηλού κόστους Raspberry Pi 3 Model B, που διαθέτει την δυνατότητα σύνδεσης με περιφερειακές συσκευές εισόδου/ εξόδου. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται από την για την συλλογή των απαιτούμενων δεδομένων είναι ένας δεκτής GNSS μονής συχνότητας χαμηλού κόστους, ένα

αδρανειακό σύστημα, και έναν ολοκληρωμένο μετεωρολογικό σταθμό. Η πλατφόρμα επιτρέπει την αποθήκευση των δεδομένων τοπικά (σε σκληρό δίσκο), ενώ ταυτόχρονα υποστηρίζει τη δομημένη αποστολή των δεδομένων μέσω κατάλληλου συστήματος τηλεμετρίας προς έναν κεντρικό εξυπηρετητή.

2 Μεθοδολογία παρακολούθησης φυσικών κινδύνων

Στο πλαίσιο των αναγκών μιας γεωτεχνικής ερευνάς για την μελέτη κατολισθητικών φαινομένων, μελετώνται οι μορφολογικές συνθήκες, τα κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης, η γεωλογική δομή της, καθώς και στοιχεία σχετικά με τους κατολισθαίνοντες σχηματισμούς. Μια ολοκληρωμένη γεωτεχνική έρευνα για την μελέτη κατολισθήσεων αποτελείται από τέσσερα μέρη: (α) οι υπαίθριες έρευνες, (β) οι εργαστηριακές έρευνες, (γ) η ανάλυση αστοχιών και (δ) τα μέτρα θεραπείας. Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται συνοπτικά οι μέθοδοι που αφορούν στις υπαίθριες έρευνες και πιο συγκεκριμένα στο στάδιο παρακολούθησης της ολισθαίνουσας μάζας (Ρόζος 2010).

Η παρακολούθηση της ολισθαίνουσας μάζας πραγματοποιείται μέσω διάφορων μεθόδων όπου η καθεμιά χρησιμοποιεί διαφορετικές παραμέτρους που αφορούν στην ροή της κατολίσθησης. Οι παράμετροι που επηρεάζουν την συμπεριφορά της κατολίσθησης και έχουν μεγάλη σημασία για την παρακολούθηση του φαινομένου είναι το βάθος, ο τάπητας της κατολίσθησης, η ταχύτητα, το μέγεθος του κόκκου και η δύναμη κρούσης. Επίσης, υπάρχουν μετεωρολογικές παράμετροι όπως η ένταση της βροχοπτώσης, οι συσσωρευμένες βροχοπτώσεις και ιστορία των βροχοπτώσεων που συμβαίνουν στην περιοχή που μας ενδιαφέρει (Itakura et al. 2005).

Για την καταγραφή των δεδομένων που αφορούν στις πιο πάνω παραμέτρους, χρησιμοποιούνται διάφορα όργανα και μέθοδοι. Σύμφωνα με την Σ.Αρναούτη τα όργανα διαχωρίζονται σε δυο κατηγορίες: (α) στα όργανα επιφανειακών μετακινήσεων και στα (β) όργανα μέτρησης μετακινήσεων στο υπέδαφος.

Οι πιο κατάλληλες μέθοδοι για τη μέτρηση επιφανειακών μετακινήσεων είναι οι γεωδαιτικές μέθοδοι. Τα γεωδαιτικά όργανα που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των μετακινήσεων στα τεχνικά έργα έχουν υψηλή ή ιδιαίτερα υψηλή ακρίβεια, δεδομένου των μικρών τιμών των μετακινήσεων που συνήθως καλούνται να καταγράψουν. Ανάμεσά τους ξεχωρίζουν οι ηλεκτρονικοί χωροβάτες για τη μέτρηση υψομετρικών

διαφορών και οι γεωδαιτικοί σταθμοί για την εκτίμηση των μετακινήσεων και στις τρεις διευθύνσεις. Αξίζει να αναφερθεί ότι για την ορθότητα των καταγραφών αυτών, κρίνεται η επιλογή των σταθερών σημείων αναφοράς. Ακόμη στις γεωδαιτικές μεθόδους συγκαταλέγονται και τα συστήματα δορυφορικού εντοπισμού GNSS. Στα γεωτεχνικά έργα χρησιμοποιείται ο σχετικός στατικός εντοπισμός, όπου ένας δέκτης βρίσκεται σταθερός σε ένα σημείο αναφοράς και ένας δεύτερος δέκτης τοποθετείται στις θέσεις που είναι προς μελέτη, επιτρέποντας έτσι την εκτίμηση των μετακινήσεων του σημείου του δεύτερου δέκτη ως προς τον πρώτο, εξαλείφοντας τα κοινά συστηματικά σφάλματα που προέρχονται από τους δορυφόρους και την ατμόσφαιρα. Άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι οι φωτογραμμετρικές τεχνικές, οι οποίες υστερούν σε ακρίβεια, αλλά προσφέρουν μεγάλο πλήθος καταγραφόμενων σημείων και περιορίζουν την απαίτηση ανθρώπινης παρουσίας στο πεδίο. Επίσης σε μερικές περιπτώσεις λύση αποτελούν και τα επιφανειακά επιμηκυσσιόμετρα, τα οποία χρησιμοποιούνται για την καταγραφή της μετακίνησης μεταξύ ρωγμών που εμφανίζονται στην επιφάνεια του εδάφους.

Τα όργανα που επιτρέπουν την εκτίμηση των μετακινήσεων κάτω από την επιφάνεια του εδάφους προϋποθέτουν γεώτρηση και διακρίνονται σε δυο κατηγορίες: (α) σε αυτά που εκτιμούν τη μετακίνηση παράλληλα στον άξονά τους κι ονομάζονται επιμηκυσσιόμετρα και (β) σε αυτά που εκτιμούν τη μετακίνηση κάθετα στον άξονά τους κι ονομάζονται κλισιόμετρα. Τα επιμηκυσσιόμετρα μπορούν περαιτέρω να διαχωριστούν ανάλογα με το αν φέρουν ή όχι βολίδα. Στα επιμηκυσσιόμετρα με βολίδα, η βολίδα ανιχνεύει τη θέση των σημείων ελέγχου που βρίσκονται στη σωλήνωση κι επομένως εκτιμάται η σχετική μετακίνηση μεταξύ των σημείων ελέγχου. Δεδομένου ότι η σωλήνωση (και συνεπώς τα σημεία ελέγχου) ακολουθεί την παραμόρφωση του εδάφους, η σχετική μετακίνηση των σημείων ελέγχου ταυτίζεται με αυτήν του εδάφους. Αν ζητείται η απόλυτη μετακίνηση, τότε είτε η γεώτρηση χρειάζεται να εδράζεται σε σταθερό έδαφος είτε η θέση του επιφανειακού τμήματος της γεώτρησης να καθορίζεται χωρικά από τοπογραφικές μεθόδους, ώστε να προσφέρουν ένα σταθερό σημείο αναφοράς. Στην περίπτωση των επιμηκυσσιόμετρων χωρίς βολίδα, εκτιμάται η διαφορική μετακίνηση κατά μήκος των άκρων ράβδου ή καλωδίου που βρίσκεται εντός της γεώτρησης. Απόλυτες μετακινήσεις προκύπτουν αναφορικά με κάποιο σταθερό σημείο, όπως και στα επιμηκυσσιόμετρα με

βολίδα. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται η μέθοδοι και ορίγματα μέτρησης μετακινήσεων(Αρναούτη 2010).

Πίνακας 1: Όργανα και μέθοδοι για την παρακολούθηση μετακινήσεων

Εργαλεία	Μέθοδος	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Καταγεγραμμένη μετακίνηση
Γεωδαιτικοί σταθμοί	Μέθοδος πολικών συντεταγμένων	Δυνατότητα χρήσης χωρίς ανακλαστήρα	Επιρροή από συνθήκες φωτισμού	εμφανειακή οριζόντια κατακόρυφη
Δέκτες GNSS	Σχετικός στατικός εντοπισμός	ταχύτητα, ανεξάρτητη καιρικών συνθηκών, ολιγομελές προσωπικό		Επιφανειακή οριζόντια κατακόρυφη
Φωτογραμμετρία		μετρήσεις σε δυσπρόσιτες περιοχές, μεγάλο πλήθος σημείων	χαμηλή ακρίβεια	επιφανειακή, οριζόντια, κατακόρυφη
Επιμηκυνσίμετρα με βολίδα	Μαγνητικό	πολλαπλές μετρήσεις με το βάθος,	σχετικές μετακινήσεις	υπόγεια, αξονική
	Μικρόμετρο	Πολλαπλές μετρήσεις με το βάθος, πολύ μεγάλη ακρίβεια	σχετικές μετακινήσεις	υπόγεια, αξονική
Κλισιόμετρα	Με αισθητήρα force-balance servoaccelerometer	πολλαπλές μετρήσεις με το βάθος	αντιδιαμετρικές μετρήσεις για εξάλειψη σφάλματος zero shift	υπόγεια, κάθετη
SAA	Με αισθητήρα accelerometer	πολλαπλές μετρήσεις σε 3D	μικρή εμπειρία	εμφανειακή, υπόγεια, οριζόντια, κατακόρυφη, κάθετη

3 Κατολισθήσεις

Ο όρος κατολίσθηση ή κατολισθητικό φαινόμενο ορίζεται ως «Οι οποιεσδήποτε μετακινήσεις εδαφικών μαζών και πετρωμάτων ασχέτως μορφής, εκτάσεως και γενεσιουργών αιτιών, που λαμβάνουν χώρα σε φυσικές επιφάνειες με απότομες κλίσεις και σε πρηνή ορυγμάτων, υπό την επίδραση της βαρύτητας, άλλοτε απότομα με καταστροφικές συνέπειες και άλλοτε με μικρή ταχύτητα, φέρονται με τον γενικό όρο κατολισθήσεις».

Αρχικά, σε μια κατολίσθηση μπορούμε να παρατηρήσουμε πέντε χαρακτηριστικά μέρη: (α) η επιφάνεια αποχωρισμού, (β) επιφάνεια ολίσθησης, (γ) το σώμα της κατολίσθησης, (δ) ο κώνος ή σωρός των υλικών που κατολίσθησαν και (ε) ο πόδας της κατολίσθησης. Η επιφάνεια αποχωρισμού είναι η εκτομή της κλιτύς από την οποία διαχωρίστηκε η μάζα που κατολίσθησε από το σταθερό τμήμα. Η μορφή της επιφάνειας εκτομής μπορεί να είναι τοξοειδής, πεταλοειδής, ημικυκλική, σπανιότερα επίπεδη και πολλές φορές ανώμαλη και σύνθετη. Η επιφάνεια ολίσθησης είναι η επιφάνεια εκείνη πάνω στην οποία λαμβάνει χώρα η μετακίνηση των μαζών που κατολίσθησαν. Η μορφή της μπορεί να είναι επίπεδη, κογχώδης, ή ημισελινοειδής. Το σώμα της αποτελείται από τη μάζα των υλικών που μετακινήθηκαν κατά την κατολίσθηση. Ο κώνος ή σωρός της κατολίσθησης σχηματίζεται από τη συσσώρευση των υλικών, τα οποία αφού μετακινήθηκαν κατά μήκος μίας διαδρομής, σταμάτησαν και συγκεντρώθηκαν στη θέση στην οποία η κινητική τους ενέργεια μηδενίστηκε, δηλαδή στο κάτω μέρος του σώματος της κατολίσθησης. Ανάλογα με τη δομή και το είδος των πετρωμάτων που μετακινήθηκαν, την ταχύτητα της μετακίνησης, και την κλίση της επιφάνειας ολίσθησης, οι μάζες που κατολίσθησαν και σχημάτισαν τον κώνο ενδέχεται να χάσουν τελείως ή μερικώς την αρχική τους δομή. Σε λίγες μόνο περιπτώσεις οι μάζες αυτές διατηρούν τη δομή που είχαν πριν μετακινηθούν. Τέλος, ο πόδας της κατολίσθησης είναι το ακραίο, χαμηλότερο συνήθως, τμήμα του κώνου. Σε σπάνιες περιπτώσεις ο πόδας δεν συμπίπτει με το χαμηλότερο τοπογραφικά τμήμα του κώνου. Αυτό συμβαίνει μόνο όταν τα υλικά της κατολίσθησης υποχωρούν και πέρα από τον άξονα της κοιλάδας, ανεβαίνουν και στην απέναντι κλιτύ (Σακελλαρίου 2008).

3.1 Ταξινόμηση κατολισθήσεων

Κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφορα είδη ταξινόμησης των κατολισθητικών φαινομένων, εκ των οποίων οι πιο κυρίες πραγματοποιούνται ανάλογα με το είδους του υλικού, τη μορφή της επιφανείας ολίσθησης, την ταχύτητα της μετακίνησης, το στάδιο δράσης της κατολίσθησης και το πάχος της μάζας που κατολίσθησε. Σε αυτή την ενότητα θα αναφερθούν αυτές με τις οποίες θα απασχοληθούμε.

3.1.1 Ταξινόμηση ανάλογα με το είδος της κίνησης και τη γεωμετρία

Για την ταξινόμηση των κατολισθήσεων ανάλογα με το είδους της κίνησης περιλαμβάνει πέντε κατηγορίες: (α) η πτώση, (β) οι ανατροπές, (γ) η ολίσθηση, (δ) η εξάπλωση και (ε) οι ροές. Κάθε μια από αυτές έχει τα δικά της χαρακτηριστικά με βάση τα οποία μπορεί να αναγνωρισθεί.

Ας ξεκινήσουμε από την κατηγορία των **πτώσεων** όπου αρχικά αποκολλάται έδαφος ή βράχος από μια απότομη πλαγιά, κατά μήκος μίας επιφάνειας, στην οποία υπάρχει μικρή ή καθόλου διατμητική αντοχή. Στη συνέχεια το υλικό, καθώς κατεβαίνει χτυπά στην πλαγιά και καταρακουλιάει. Η κίνηση είναι πολύ γρήγορη έως εξαιρετικά γρήγορη. Εκτός από την περίπτωση όπου η μετατιθέμενη μάζα έχει υποσκαφτεί, προηγείται της πτώσης μικρή ολίσθηση ή ανατροπή, κινήσεις οι οποίες χωρίζουν το υλικό από την ακίνητη μάζα. Η υποσκαφή συνήθως συμβαίνει σε συνεκτικά εδάφη ή στον πόδα ενός βράχου, κάτω από την επίδραση κυμάτων ή σε όχθες ποταμού υπό διάβρωση.

Η **ανατροπή** των πρανών ή βραχώμαζας ορίζεται ως η ανατροπή του πρανούς με ως προς τα εμπρός περιστροφή γύρω από ένα σημείο ή άξονα, κάτω από το κέντρο βάρους της μάζας. Μερικές φορές προκαλείται από το βάρος του υλικού, που βρίσκεται στο πάνω μέρος της πλαγιάς ενώ άλλες φορές από το νερό ή τον πάγο στις ρωγμές της μάζας. Η ανατροπή μπορεί να οδηγήσει σε πτώσεις ή ολισθήσεις, που εξαρτώνται από τη γεωμετρία της κινούμενης μάζας, τη γεωμετρία της επιφάνειας αστοχίας και την προέλευση και το μέγεθος των κινηματικά ενεργών ασυνεχειών. Οι ανατροπές ποικίλουν από εξαιρετικά αργές σε εξαιρετικά γρήγορες, ενώ μερικές φορές επιταχύνουν κατά την κίνηση. Μία μορφή ανατροπής είναι η ανατροπή λόγω κάμψης, κατά την οποία συνεχείς στήλες θραύονται καθώς κάμπτονται προς τα εμπρός. Η ολίσθηση και η υποθάλπτουσα διάβρωση του πόδα αφήνει την αστοχία να αρχίσει και να προχωρήσει με βαθιές ρωγμές.

Στην περίπτωση της **ολίσθησης** του πρηνούς λαμβάνει χώρα κίνηση της εδαφικής ή βραχώδους μάζας προς τον πόδα της κατολίσθησης, και συμβαίνει κυρίως κατά επιφάνειες αστοχίας ή σε σχετικά λεπτές ζώνες έντονης διατμητικής τάσης. Η κίνηση δε συμβαίνει αρχικά, αυτομάτως σε όλη την επιφάνεια που καταλήγει τελικά να είναι η επιφάνεια αστοχίας. Τα πρώτα σημάδια της κίνησης του εδάφους είναι ρωγμές στην αρχική επιφάνεια του εδάφους, κατά μήκος των οποίων σχηματίζεται η κύρια πλαγιά της ολίσθησης. Η μετατιθέμενη μάζα μπορεί να ολισθήσει κάτω από τον πόδα της επιφάνειας αστοχίας, καλύπτοντας την αρχική επιφάνεια του εδάφους της πλαγιάς, που στη συνέχεια γίνεται η επιφάνεια αποχωρισμού.

Τέλος οι **ροές** ορίζονται ως η συνεχής κίνηση στον χώρο, κατά την οποία οι επιφάνειες διάτμησης έχουν μικρή διάρκεια ζωής, είναι κοντά η μία στην άλλη και συνήθως δεν διατηρούνται. Η κατανομή των ταχυτήτων, στο μετατιθέμενο υλικό, μοιάζει με εκείνη ενός παχύρρευστου υγρού. Το κάτω όριο της κινούμενης μάζας μπορεί να είναι μια επιφάνεια κατά μήκος της οποίας λαμβάνει χώρα διαφορική κίνηση ή μια παχιά ζώνη με κατανεμημένη διάτμηση. Έτσι υπάρχει μια βαθμιαία μετάβαση από ολισθήσεις σε ροές, που εξαρτάται από το περιεχόμενο του νερού, την κινητικότητα και εξέλιξη της κίνησης. Οι ολισθήσεις χαλασμάτων μπορούν να μετατραπούν σε εξαιρετικά γρήγορες ροές ή στοιβάδες καταλοίπων, αφού το κινούμενο υλικό χάνει τη συνεκτικότητά του, προσλαμβάνει νερό ή συναντά πιο απότομες πλαγιές (Morello 2017; Παντελίδης 2012).

3.1.2 Ταξινόμηση ανάλογα με το στάδιο δράσης

Οι κατολισθήσεις ταξινομούνται ανάλογα με το στάδιο δράσης που βρίσκονται σε πέντε κατηγορίες. Αρχικά έχουμε τις ενεργές κατολισθήσεις που είναι εκείνες οι οποίες **δρουν πρόσφατα**. Σε αυτήν την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται κατολίσθησης που δρουν για πρώτη φορά και κατολισθήσεις που έχουν ξανά ενεργοποιηθεί στο παρελθόν. Μία κατολίσθηση, η οποία είναι πάλι ενεργή μετά από περίοδο κατά την οποία είναι ανενεργή, ονομάζεται **επανενεργοποιημένη**. Αυτές οι κατολισθήσεις γενικά κινούνται κατά τις προϋπάρχουσες επιφάνειες, των οποίων οι παράμετροι αντοχής πλησιάζουν τις παραμένουσες ή τελικές τιμές. Οι κατολισθήσεις, οι οποίες έχουν κινηθεί μέσα στον τελευταίο ετήσιο κύκλο των εποχών, αλλά που δεν κινούνται στο παρόν, καλούνται **αδρανείς**. Ακολούθως, οι **ανενεργές κατολισθήσεις** είναι οι κατολισθήσεις κατά τις οποίες δεν σημειώθηκε κάποια μετακίνηση για περισσότερο από έναν ετήσιο κύκλο

εποχών. Αυτή η κατάσταση μπορεί να διαιρεθεί σε επί μέρους κατηγορίες. Αν οι λόγοι που προκαλούν την κατολίσθηση παραμένουν ορατοί, η κατολίσθηση είναι **λανθάνουσα**. Αλλά αν το ποτάμι που διαβρώνει τον πόδα της κινούμενης πλαγιάς, αλλάζει πορεία η κατολίσθηση καλείται **εγκαταλελειμμένη**. Αν ο πόδας της πλαγιάς έχει προστατευθεί από διάβρωση με ενίσχυση των όχθων ή άλλα μέτρα που έχουν σταματήσει την κίνηση, η κατολίσθηση περιγράφεται ως **σταθεροποιημένη**. Υπάρχει ακόμα μια κατηγορία που αφορά σε κατολισθήσεις που δεν ήταν ορατές στο τοπίο για χιλιάδες χρονιά. Αυτές ονομάζονται **αρχαίες** ή **απολιθωμένες**. Όταν οι κατολισθήσεις καλυφθούν από άλλες αποθέσεις, αναφέρονται σαν **θαμμένες**, ενώ εκείνες οι οποίες έχουν δημιουργηθεί καθαρά κάτω από διαφορετικές γεωμορφικές ή κλιματικές συνθήκες, ίσως χιλιάδες έτη πριν, λέγονται **relict** (Παντελίδης 2012).

3.1.3 Ταξινόμηση ανάλογος με την ταχύτητα κίνησης

Μια σημαντική παράμετρος που υποδεικνύει το βαθμό επικινδυνότητας μίας κατολίσθησης είναι η ταχύτητα κίνησης. Η ταχύτητα κίνησης που μπορεί να έχει μια κατολίσθησή ποικίλει. Μπορεί να είναι από εξαιρετικά γρήγορη μέχρι εξαιρετικά αργή. Στον Πίνακα 2 φαίνονται αναλυτικά η διεθνώς αποδεκτή ταξινόμηση των ταχυτήτων που μπορεί να έχει μια κατολίσθηση(Παντελίδης 2012).

Πίνακας 2: Προτεινόμενη κλίμακα ταχύτητας κατολισθήσεων

Κατηγορία	Περιγραφή	Ταχύτητα(mm/sec)	Τυπική ταχύτητα
7	Εξαιρετικά γρήγορη	$>5 \times 10^3$	>5 m/sec
6	Πολύ γρήγορη	50	5 m/sec
5	Γρήγορη	5×10^{-1}	3 m/min
4	Μέτρια	5×10^{-3}	1.8 m/hr
3	Αργή	5×10^{-5}	13 m/ year
2	Πολύ αργή	5×10^{-7}	1.6 m/ year
1	Εξαιρετικά αργή	$<5 \times 10^{-7}$	16 mm/ year

3.1.4 Ταξινόμηση ανάλογος του υλικού

Σε μια κατολίσθηση τα υλικά που συμμετέχουν μπορεί να είναι βράχος δηλαδή μια σκληρή μάζα η οποία ήταν άθικτη και στην αρχική της θέση πριν από την αρχή της κατολίσθησης. Είτε έδαφος που δημιουργήθηκε από στερεά τεμάχια, συνήθως από ορυκτά και βράχους, τα οποία είτε μεταφέρθηκαν είτε σχηματίστηκαν από την τριβή των βράχων μεταξύ τους. Επίσης ένα σημαντικό συνθετικό υλικό των εδαφών είναι αέρια ή υγρά που συμπληρώνουν τους πόρους του εδάφους.

Το έδαφος διακρίνεται σε δυο κατηγορίες: (α) τα **χώματα** και (β) τα **κατάλοιπα**. Τα χώματα αναφέρονται σε εδάφη που το 80% ή περισσότερο αποτελείται από κόκκους μικρότερους από 2 mm, ενώ τα κατάλοιπα είναι εδάφη που το 20% - 80% αποτελείται από κόκκους μεγαλύτερους από 2 mm και το υπόλοιπο από κόκκους μικρότερους από 2 mm(Σακελλαρίου 2008).

3.2 Αίτια κατολισθήσεων

Τα αίτια που προκαλούν ένα καλαισθητικό φαινόμενο αφορούν σε συνδυασμό πολλών και διαφορετικών παραγόντων. Οι παράγοντες που επηρεάζουν είναι φυσικές διεργασίες καθώς και ανθρωπογενείς δραστηριότητες που μπορούν να ταράξουν την ισορροπία μιας φυσικής κλιτύος ή ενός τεχνητού πρανούς. Κάποιοι από τους παράγοντες προϋπάρχουν και δρουν για μεγάλο ή μικρό χρονικό διάστημα, ενώ άλλοι παράγοντες είναι παροδικοί ή περιοδικοί και παρέχουν την αφορμή για την εκδήλωση του φαινομένου. Συνεπώς γίνεται αντιληπτό ότι κάποιοι παράγοντες αποτελούν την αιτία των κατολισθήσεων και κάποιοι άλλοι την αφορμή.

Στη βιβλιογραφία πραγματοποιείται διάκριση των παραγόντων σε πρωτογενείς και δευτερογενείς. Πρωτογενείς παράγοντες ονομάζονται εκείνοι που δημιουργούν την προδιάθεση ολίσθησης ενός σχηματισμού και αφορούν στη γεωτεκτονική της περιοχής και στο κλίμα, ενώ οι δευτερογενείς στις τοπικές και παροδικές συνθήκες, καθώς και στην επίδραση του ανθρώπου. Τα δευτερογενή αίτια είναι εκείνα που προκαλούν άμεσα την κατολίσθηση(Σακελλαρίου 2008).

3.2.1 Πρωτογενή αίτια κατολισθητικών φαινομένων

Το γεωλογικό υπόβαθρο και η τεκτονική της περιοχής συμβάλουν στην εμφάνιση των κατολισθητικών φαινομένων. Αρχικά, το γεωλογικό υπόβαθρο αφορά στη θέση των στρωμάτων στο υπέδαφος καθώς και τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά. Από αυτό γίνεται ξεκάθαρο ότι ένα έδαφος που αποτελείται από πολλά και ετερογενή στρώματα είναι πιο επιρρεπές σε κατολισθητικά φαινόμενα. Αυτό οφείλεται στο ότι δημιουργούνται πολλές πιθανές επιφάνειες ολίσθησης αναμεσά στα διαφορετικά υλικά, σε σχέση με ένα έδαφος το οποίο αποτελείται από ένα μόνο στρώμα. Ακόμη ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο παίζει και η κλίση των στρωμάτων. Όταν έχει την ίδια φορά με το πρηνές μπορεί να επηρεάσει περισσότερο την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων.

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την ευστάθεια ενός πρηνούς είναι το ύψος του νερού που πέφτει στην περιοχή, σε μορφή χιονόπτωσης ή βροχόπτωσης. Το ύψος του νερού μπορεί να δώσει το έναυσμα της κατολίσθησης είτε μειώνοντας την αντοχή του εδάφους, είτε αυξάνοντας την εσωτερική έντασή του. Η επίδραση του νερού συνίσταται είτε στο γεγονός ότι αυξάνεται η ποσότητα του νερού στους πόρους του υλικού, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι τάσεις στο εσωτερικό των εδαφών είτε να παρασύρονται κόκκοι υλικού από την επιφάνεια και με τη μορφή ροής να εγκαθίστανται και πάλι σε περιοχές με χαμηλότερο υψόμετρο.

Τα πετρώματα και τα εδάφη που αποτελούν μια περιοχή είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει τις κατολίσθησεις, αφού μερικά είδη εδαφών, όπως ο φλύσχης με στοιχεία αργίλου ή τα αργιλικά εδάφη είναι περισσότερο επιρρεπή σε αυτά (Σακελλαρίου 2008).

3.2.2 Δευτερογενή αίτια κατολισθητικών φαινομένων

Η αύξηση του φαινόμενου ειδικού βάρους, ή βάρους του όγκου των υλικών αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα δευτερογενή αίτια. Συμβαίνει όταν για κάποιο λόγο προσθήκη νερού μέσα σ' αυτά, από διείσδυση, πλευρική διήθηση ή τριχοειδή ανύψωση.

Έτσι αν ένα πρηνές έχει γωνία κλίσεως που πλησιάζει τη γωνία ηρεμίας, η προσρόφηση νερού ακόμη και σε μικρή ποσότητα μπορεί να αποτελέσει την αιτία για την εκδήλωση κατολίσθησης. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αύξηση του βάρους λόγω της προσθήκης νερού μέσα στους πόρους των υλικών, υπάρχει μόνο για όσα από αυτά βρίσκονται

ψηλότερα από τη στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Κάτω από αυτόν τα υλικά υφίστανται την άνωση και το βάρος τους γίνεται μικρότερο.

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει είναι η κλίση του πρσανούς, όπου εάν αυξηθεί είτε από φυσικούς παράγοντες, είτε από ανθρώπινη επέμβαση, μπορεί να προκαλέσει κατολίσθηση. Ο κύριος φυσικός παράγοντας είναι η διάβρωση των πετρωμάτων προκαλούμενη από τη ροή νερού ή την ενέργεια των κυμάτων. Οι ανθρώπινες επεμβάσεις, που προκαλούν αυξήσεις των κλίσεων των κλιτύων, είναι οι πάσης φύσεως εκχωματώσεις, όπως αυτές που γίνονται στις ανοικτές εκσκαφές μεταλλευτικών εκμεταλλεύσεων, στις κατασκευές συγκοινωνιακών έργων, στις κατασκευές διωρύγων, ορυγμάτων, εκσκαφών θεμελίων. Είναι λοιπόν φανερό ότι κατά τις εκχωματώσεις και κατά τις κατασκευές επιχωμάτων, η κλίση που πρέπει να δίνεται στα πρανά πρέπει να είναι αισθητά κατώτερη από τη γωνία ηρεμίας των υλικών, αν ληφθεί υπόψη ότι η γωνία αυτή μεταβάλλεται για το ίδιο υλικό ανάλογα με την ποσότητα του νερού που περιέχεται μέσα σ' αυτό.

Αύξηση του βάρους από επιβολή φορτίου μπορεί να γίνει είτε από φυσικές διεργασίες είτε από τεχνητές παρεμβάσεις. Στις φυσικές διεργασίες περιλαμβάνεται η μετακίνηση υλικών και η εκ νέου απόθεσή τους σε νέες θέσεις. Τέτοιες διεργασίες μπορούν να γίνουν είτε από τα νερά της βροχής, είτε από κατακρημνίσεις βραχών και καταπτώσεις απότομων κλιτύων. Μεγάλη αύξηση του βάρους μπορεί να γίνει επίσης από τη συσσώρευση χιονιού σε ορισμένες θέσεις. Η επιβολή φορτίων που οφείλονται σε επέμβαση του ανθρώπου, με κατασκευές έργων πάνω σε κλιτύες ή σε επιχωματώσεις, αποτελεί την τεχνητή αύξηση του βάρους και οι συνέπειες απ' αυτή μπορεί να είναι καταστροφικές αν δε ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα(Σακελλαρίου 2008).

4 Υφιστάμενες Λύσεις

Ο σχεδιασμός της προτεινόμενης πλατφόρμας προέκυψε από την βιβλιογραφική αναζήτηση και επισκόπηση υφιστάμενων λύσεων και προτάσεων. Έτσι σε αυτήν την ενότητα θα παρουσιαστούν κάποιες λύσεις που δοθήκαν για την παρακολούθηση κατολισθητικών φαινομένων σε πραγματικό χρόνο ή μετεπεξεργασία, με την χρήση αισθητήρων χαμηλού κόστους.

4.1 Real-time deformation monitoring by a wireless network of low-cost GPS

Οι Lionel Benoit, Pierre Briole, Olivier Martin, και Christian Thom σε αυτή τους την εργασία παρουσιάζουν την μεθοδολογία επεξεργασίας δεδομένων που προκύπτουν από ένα δίκτυο δεκτών GPS/GNSS μονής συχνότητας και χαμηλού κόστους. Ο δέκτης μονής συχνότητας που χρησιμοποιήθηκε είναι LEA-6T από την ublox. Το σύστημα αυτό δεν αποτελείται μόνο από τον δεκτή GPS/GNSS, αλλά και από μετεωρολογικούς αισθητήρες, όπως είναι αισθητήρες υγρασίας εδάφους και αισθητήρες ατμοσφαιρικής πίεσης (διάγραμμα 1). Όπως αναφέρεται το σύστημα είναι κατάλληλο για την πραγματοποίηση πολλών εργασιών, όπως είναι η παρακολούθηση μικρομετακινήσεων και η παρακολούθηση κατολισθήσεων, αφού οι ακρίβειες που μπορεί να φτάσει είναι στα εκατοστά ή ακόμα και στα χιλιοστά. Στόχος της εργασίας ήταν να δοκιμαστεί το σύστημα στην επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για την παρακολούθηση παραμορφώσεων στο πεδίο.



Διάγραμμα 1: Ασύρματος δέκτης GPS χαμηλού κόστους Geocube

Η μέθοδος επεξεργασίας που προτείνεται είναι κατάλληλη για την παρακολούθηση περιοχών μικρής έκτασης. Στόχος της μεθόδου είναι η παρακολούθηση είτε πολύ αργών

κινήσεων, είτε πολύ αποτόμων αλλαγών στην κίνηση σε πραγματικό χρόνο. Εξελίσσεται στα παρακάτω τρία στάδια:

- Εφαρμογή της αντιστροφής φάσης φορέα από ένα φίλτρο Kalman με ένα μοντέλο ειδικά σχεδιασμένο για μικρά ασύρματα δίκτυα GPS.
- Ανιχνεύσεις αργών κινήσεων μέσω παρακολούθησης της θέσης.
- Απότομη ανίχνευση μετατοπίσεων με χρονική επιβράδυνση

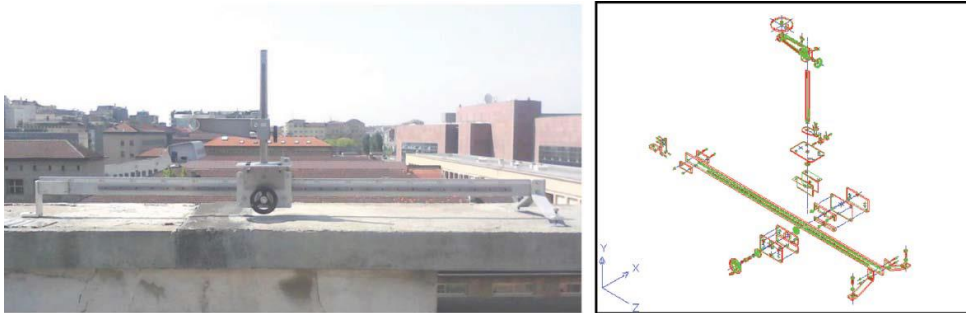
Στην συνέχεια παρουσιάζει τα αποτελέσματα της μεθόδου και δίνει έμφαση στις ακριβείς που έχουν που έχουν προκύψει μετά από την επεξεργασία των δεδομένων που είναι 3 mm οριζοντιογραφική ακρίβεια και 5 mm υψομετρική ακρίβεια. Επίσης αναφέρει ότι το σύστημα δοκιμαστικέ με ρυθμό δειγματοληψίας 10s και ποσοστό επιτυχίας 99,65%. Στο τέλος καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η προτεινομένη μέθοδος επεξεργασίας, σε συνδυασμός με το σύστημα ασύρματων δεκτών GPS/GNSS χαμηλού κόστους (Geocube), μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση κατολισθήσεων (Benoit et al. 2014).

4.2 Performance of low-cost GNSS receiver for landslides monitoring: test and results

Οι A.CINA και M.PIRAS στην εργασία τους έχουν ως στόχο να ελέγξουν αν ένα σύστημα GNSS χαμηλού κόστους είναι σε θέση να χρησιμοποιηθεί σε αυτόματο σύστημα παρακολούθησης, ειδοποίησης και εντοπισμό κατολισθητικών φαινομένων. Συγκεκριμένα, δημιούργησαν ένα δίκτυο μόνιμων σταθμών GNSS χαμηλού κόστους και έκαναν χρήση τεχνικών όπως είναι το VRS. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν λαμβάνοντας υπόψη την απόσταση από τον σταθμό αναφοράς GNSS και τον χρόνο δειγματοληψίας του δεκτή. Επίσης παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και η ακρίβεια, τόσο οριζοντιογραφικά όσο και υψομετρικά.

Για να ελεγχθεί η ικανότητα των δεκτών χαμηλού κόστους GNSS στην ανίχνευση μικρομετακινήσεων δημιουργήθηκε μια ειδική διάταξη και πραγματοποιήθηκε μια επαναλαμβανομένη γνωστή κίνηση (διάγραμμα 2). Στις διάφορες δοκιμές που έγιναν οι παράγοντες που μεταβλήθηκαν ήταν η δοκιμή μονόσυχνων δεκτών και διπλόσυχνων δεκτών GNSS με παράλληλη δοκιμή διάφορων τύπων κεραιών. Τα αποτελέσματα των δοκιμών υπολογιστήκαν με μετα-επεξεργασία των δεδομένων. Οι συνδυασμοί που

δοκιμαστήκαν ήταν τρεις στο σύνολο, και ήταν οι εξής: γεωδαιτικός δέκτης GNSS με γεωδαιτική κεραία, ο δέκτης GNSS της ublox 5T με γεωδαιτική κεραία και ο δέκτης GNSS της ublox 5T με μια συμβατική αντένα.



Διάγραμμα 2 : Μικρομετρική πλάκα για ελεγχόμενες παραμορφώσεις

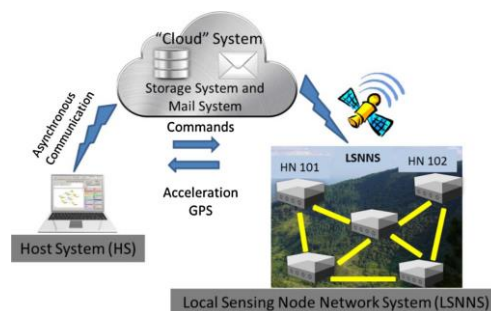
Τα συνολικά αποτελέσματα από τις δοκιμές παρουσιάζονται στον πίνακα 3 δείχνουν ότι οι δέκτες χαμηλού κόστους είναι ικανοί να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση κατολισθητικών φαινομένων. Ο χρόνος καταγραφής των δεκτών σε όλες τις δοκιμές ήταν 10 λεπτά. Αυτό επιτυγχάνετε μόνο με την χρήση τεχνικών όπως είναι το Virtual RINEX που επιτρέπει τον περιορισμό του μήκους βάσης μεταξύ master και rover δεκτή και βελτιώνει το ποσοστό καθορισμού της ασάφειας φάσης. Επίσης είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι για να έχουμε αυτά τα αποτελέσματα πρέπει οι μόνιμοι σταθμοί GNSS να βρίσκονται σε σημεία που να είναι καταλληλά για μέτρησεις, δηλαδή να είναι ορατή αρκετοί δορυφόροι, να έχουμε μια καλή γεωμετρία των δορυφόρων και μην έχουμε ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο(Cina and Piras 2015).

Πίνακας 3: Συνολικά αποτέλεσμα

Δέκτης και αντένα	Residual East(mm)	Residual North(mm)	Residual h(mm)
Γεωδαιτικός δέκτης και αντένα	-2 ± 1	-5±3	2±5
u-blox & u-blox αντένα	3±3	-6±3	-17±9
u-bloxr & γεωδαιτική αντένα	-1±1	-3±3	-5±4
u-bloxr και γεωδαιτική αντένα(stop and go)	7±2	-2±4	2±5

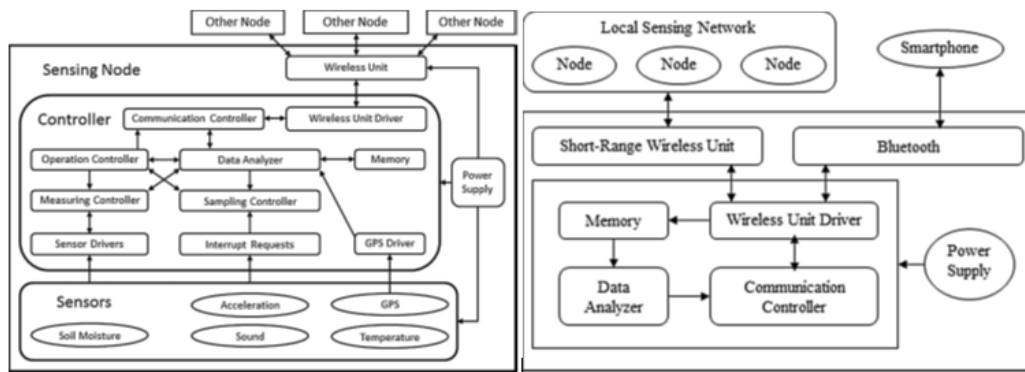
4.3 Wireless sensor network in landslide monitoring system with remote data management

Σε αυτή την εργασία παρουσιάζετε ένα σύστημα Wireless Sensor Network (WSN) που χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση κατολισθήσεων σε απομακρυσμένες περιοχές. Όπως αναφέρετε το WSN σύστημα έχει σαν στόχο την πρόβλεψη πιθανής κατολίσθησης και την προστασία ανθρώπινων ζώων που ενδεχομένως να βρεθούν σε κίνδυνο. Για αυτό το WSN στέλνει ειδοποιήσεις στους κατάλληλους φορείς για την κατάσταση που επικρατεί στα σημεία ενδιαφέροντος. Το WSN σύστημα αποτελείται από τρία βασικά υποσυστήματα που είναι τα Local Sensing Node Network System (LSNNS), Cloud System (CS) και Host System (HS) (διάγραμμα 3). Το κάθε υποσύστημα διαδραματίζει τον δικό του ρόλο. Αρχικά το LSNNS περιλαμβάνει ένα σύνολο από αισθητήρες για την συλλογή δεδομένων όπως είναι η θερμοκρασία, το ύψος βροχής, την ταχύτητα κίνησης και την υγρασία τα οποία και χρησιμοποιεί στην εφαρμογή ενός γεωμετρικού μοντέλου της κλίσης.



Διάγραμμα 3 : WSN σύστημα παρακολούθησης κατολισθήσεων

Το υποσύστημα LSNNS αποτελείται από sensing nodes (SN) που περιέχουν διάφορους αισθητήρες και τους host nodes (HN) που αποθηκεύουν και να διαβιβάζουν τα δεδομένα στο HS. Οι sensing nodes (SN) περιλαμβάνουν αισθητήρες όπως επιταχυνσιόμετρα, θερμομέτρα, αισθητήρες υγρασίας εδάφους, αισθητήρες ήχου και συσκευές GPS (διάγραμμα 4). Οι host nodes (HN) διαθέτουν τον απαραίτητο εξοπλισμό ώστε να μπορούν να έχουν επικοινωνία με του κόμβους SN και το HS για την αποθήκευση δεδομένων και τη διαβίβαση των ρυθμίσεων (διάγραμμα 4).



Διάγραμμα 4: Λειτουργίες και αισθητήρες που περιλαμβάνουν η sensing node(αριστερά) και host node(δεξιά)

Το σύστημα παρακολούθησης κατολισθήσεων μετά από τους απαραίτητους ελέγχους και δοκιμές στο πεδίο φαίνεται πως είναι σε θέση να ανταποκριθεί στις προσδοκίες των κατασκευαστών του, δηλαδή να μπορεί να λειτουργεί τόσο σε κατάσταση ηρεμίας, αλλά και κατά την διάρκεια μια κατολίσθησης. Σημαντικό χαρακτηριστικό είναι η δυνατότητα έγκαιρης πληροφόρησης των αρμόδιων φορέων για την κατάσταση σε περιοχές ενδιαφέροντος σχεδόν σε πραγματικό χρόνο (Khoa and Takayama 2018).

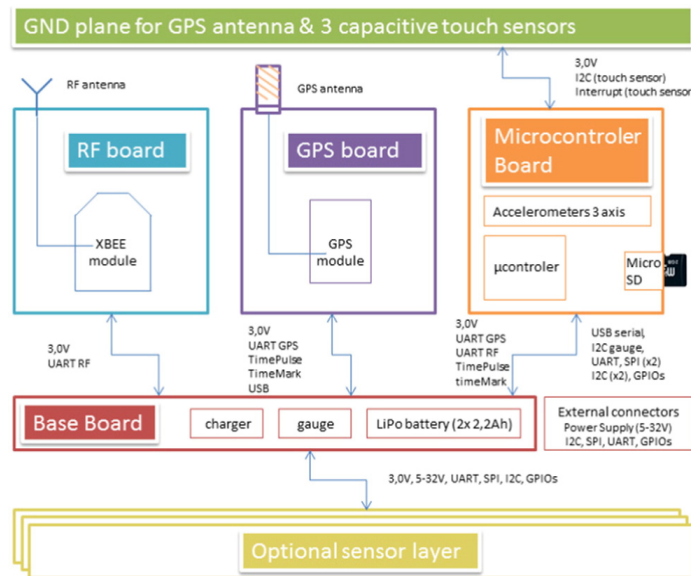
4.4 Monitoring landslide displacements with the Geocube wireless network of low-cost GPS

Η παρακολούθηση των κατολισθήσεων απαιτεί μετρήσεις υψηλής ακρίβειας στις 3Δ, με υψηλή δειγματοληψία. Οι επίγειες γεωδαιτικές μέθοδοι διαθέτουν αυτά τα χαρακτηριστικά. Ωστόσο, τίθεται το ζήτημα του υψηλού κόστους με άμεσο αντίκτυπο στον αριθμό των εξοπλισμών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση ευρύτερων περιοχών. Για αυτό λόγο οι συγγραφείς προτείνουν τη χρήση του συστήματος Geocube το οποίο διαθέτει μονόσυχο δεκτή GNSS χαμηλού κόστους, όπως και άλλους βοηθητικού αισθητήρες όπως είναι τα Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS).

Οι προδιαγραφές με τις οποίες πραγματοποιήθηκε ο σχεδιασμός του Geocube βασίζονται στην ικανότητα εκτέλεσης μέτρησης με ακρίβεια καλύτερη του εκατοστού. Σημαντική παράμετρος είναι η δυνατότητα εκτέλεσης μετρήσεων σε μια χρονική κλίμακα για όλους του αισθητήρες του συστήματος. Επιπλέον, η δυνατότητα εύκολης ενσωμάτωσης διάφορων τύπων αισθητήρων αποτέλεσε βασική προϋπόθεση για το σχεδιασμό του. Έμφαση επίσης δόθηκε στη δημιουργία ασυρμάτου δικτύου για την μεταφορά

δεδομένων. Τέλος το σύστημα θα πρέπει να υποστηρίζει δυνατότητα τροφοδοσίας από ηλιακό συλλέκτη έτσι ώστε να είναι ενεργειακά αυτόνομο.

Προκειμένου η υλοποίηση του συστήματος Geocube να γίνει βάση αυτών των προδιαγραφών δημιουργήθηκαν τρεις βασικές μονάδες. Αρχικά η μονάδα GPS αποτελείται από ένα δέκτη μονής συχνότητας GPS (LEA-6 T) και μια κεραία (SL1206). Η μονάδα GPS χρησιμοποιείται τόσο για εύρεση της διαφοράς θέσης, όσο και για την αναφορά των δεδομένων από όλους στους αισθητήρες σε μια ενιαία χρονική κλίμακα που είναι ο χρόνος GPS. Έπειτα έχουμε την μονάδα ραδιοεπικοινωνίας που χρησιμοποιεί μια συσκευή Xbee pro για την επικοινωνία μεταξύ των κόμβων του δικτύου. Επιπλέον, περιλαμβάνει την μονάδα διαχείρισης η οποία χρησιμοποιεί ένα μικροελεγκτή MSP430F5438A για τη διαχείριση των δεδομένων και των αισθητήρων. Τέλος, διαθέτει μια κάρτα μνήμης micro-SD 2 GB για την καταγραφή δεδομένων (διάγραμμα 5).

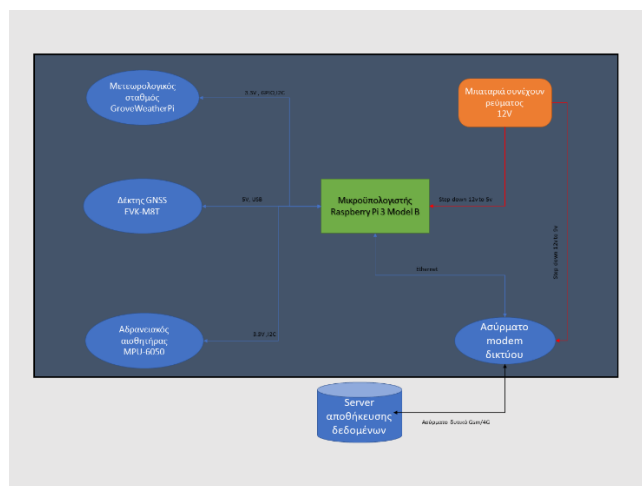


Διάγραμμα 5: Αρχιτεκτονική συστήματος Geocube

Για τον έλεγχο του συστήματος και την προσαρμογή του με τις απαιτήσεις σχεδιασμού, οι συγγραφείς πραγματοποίησαν μετρήσεις πεδίου διάρκειας 40 ημερών χρησιμοποιώντας δίκτυο από ασύρματους δέκτες GPS/GNSS, στην περιοχή Super-Sauze που βρίσκεται στις νότιες Γαλλικές Άλπεις. Μετά την πραγματοποίηση των μετρήσεων σε πραγματικές συνθήκες φαίνεται ότι το σύστημα Geocube είναι σε θέση να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση κατολισθήσεων (Yigit et al. 2016).

5 Υλοποίηση Προτεινόμενης Πλατφόρμας

Για τον σχεδιασμό του συστήματος παρακολούθησης κατολισθήσεων θέσαμε κάποια κριτήρια. Αυτά αφορούσαν στην ποιότητα και το είδος των δεδομένων που θα καταγράφει το συγκεκριμένο σύστημα. Αρχικά για την καταγραφή της θέσης του συστήματος χρησιμοποιήθηκε ο δέκτης GPS/GNSS μονής συχνότητας EVK-M8T από την u-blox. Ο δέκτης GNSS/GPS στο συγκεκριμένο σύστημα δεν χρησιμοποιείται μόνο για την καταγραφή της θέσης, αλλά και την αναφορά των δεδομένων που συλλέγονται από όλους τους αισθητήρες του συστήματος σε μια κοινή χρονική κλίμακα που είναι ο χρόνος GPS. Στη συνέχεια, για την ανίχνευση μικρομετακινήσεων αλλά και μετακινήσεων με χαμηλή ταχύτητα, χρησιμοποιήθηκε ένα αδρανειακός αισθητήρας MPU-6050 που διαθέτει γυροσκόπιο και επιταχυσιόμετρο με την δυνατότητα καταγραφής μετρήσεων τρεις άξονες. Ακόμη στόχος του συστήματος ήταν να καταγράψει μετεωρολογική πληροφορία για την περιοχή μελέτης, όπως η θερμοκρασία, η ατμοσφαιρική υγρασία, η υγρασία εδάφους, η ταχύτητα ανέμου, η διεύθυνση του ανέμου, και το ύψος βροχής. Αυτά τα δεδομένα συλλέγοντες από ένα ολοκληρωμένο μετεωρολογικό σταθμό που ονομάζετε GroveWeatherPi. Όλοι οι αισθητήρες συνδέονται στον μικροϋπολογιστή Raspberry Pi 3 Model B όπου γίνεται η διαχείριση, ανάλυση και μετάδοση των δεδομένων που προκύπτουν από τους διάφορους αισθητήρες σε κεντρικό sever για την αποθήκευσή τους(διάγραμμα 6).



Διάγραμμα 6 : Αρχιτεκτονική συστήματος παρακολούθησης κατολισθήσεων

Η μετάδοση των δεδομένων γίνεται με την βοήθεια ενός modem ασυρμάτου δικτύου που συνδέετε στο Raspberry Pi και του δίνει την δυνατότητα πρόσβασης στο διαδίκτυο.

Τέλος το σύστημα τροφοδοτείτε από μια μπαταριά συνεχούς ρεύματος 12V, και χρησιμοποιούνται δυο step-down για την μετατροπή της ισχύος σε 5V για την τροφοδοσία του Raspberry Pi και σε 9V για την τροφοδοσία του GPRS modem.

5.1 Μικροϋπολογιστής-Raspberry pi 3 Model B

Το Raspberry pi 3 Model B είναι ένας μικρό-υπολογιστής χαμηλού κόστους, που επιτρέπει την σύνδεση με περιφερικές συσκευές για την είσοδο και έξοδο δεδομένων όπως είναι πληκτρολόγιο, ποντίκι, οθόνη και παρέχει χώρο αποθήκευσης δεδομένων. Τα χαρακτηριστικά αυτά το καθιστούν κατάλληλο είτε για χρήση εφάμιλλη με έναν κανονικό προσωπικό υπολογιστή ή τη διενέργεια του ρολό κεντρικού υπολογιστή για την διαχείριση και το συντονισμό ενός συστήματος αισθητήρων εισόδου/εξόδου. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά που διαθέτει είναι ένας τετραπύρηνος επεξεργαστής 64-bit CPU 1.2 GHZ με 1GB RAM, τέσσερις θήρες USB 2.0, θύρα HDMI για σύνδεση με οθόνη, 1 θύρα Ethernet 10/100Mbps, 1 θύρα κάρτας μνήμης MicroSD, ενσωματωμένο Bluetooth και Wi-Fi, 40 General Purpose Input Output (GPIO) για την σύνθεση με αισθητήρες, θύρα CSI camera ,θύρα DSI για οθόνη αφής. Για τροφοδοσία χρησιμοποιεί Micro USB 2.5A. (Irshad & Feroz, 2016)(Raspberry Pi Foundation 2016). Το Raspberry pi 3 Model B υποστηρίζει λειτουργικά συστήματα ανοιχτού κώδικα που έχουν σαν βάση UNIX-Linux, όπως τα Raspbian, NOOBS και Ubuntu Mate(“Raspberry Pi Downloads - Software for the Raspberry Pi” 2015).

Όπως προανάφερα το Raspberry Pi μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ένας κεντρικός υπολογιστής που συντονίζει, αναλύει και αποθηκεύει δεδομένα από διάφορους αισθητήρες, όπως αισθητήρες απόστασης, κινητήρες και αισθητήρες βροχής. Όσον αφορά το συντονισμό των αισθητήρων, την ανάλυση των δεδομένων εισόδου και την αποθήκευση τους είναι δυνατή η δημιουργία εφαρμογών σε διάφορες γλώσσες προγραμματισμού όπως οι Python, Java, C και C++. Επίσης, έχει τη δυνατότητα αποθήκευσης των πρωτογενών δεδομένων και των αποτελεσμάτων που προκύπτουν είτε τοπικά ή μέσω του διαδικτύου με αποστολή σε κατάλληλο εξυπηρετητή. Όσον αφορά την σύνδεση των αισθητήρων στο Raspberry Pi δίνονται δυο επιλογές, είτε σύνδεση μέσω των τεσσάρων θυρών USB 2.0 που διαθέτει, είτε μέσω των 40 General Purpose Input Output pins (GPIO) (διάγραμμα 7) στα οποία μπορούν να συνδεθούν οι αισθητήρες. Ακόμη υποστηρίζει δυο πρωτοκολλά για την επικοινωνία με τους αισθητήρες: (α) το –

Inter-Integrated Circuit (I2C) και το (β) Serial Peripheral Interface Bus (SPI) (Irshad and Feroz 2016; “Raspberry Pi Downloads - Software for the Raspberry Pi” 2015; Shah and Haradi 2016).



Διάγραμμα 7: Raspberry Pi 3 Model B

5.2 Δέκτης GNSS EVK-M8T Ublox

Ο δέκτης μονής συχνότητας EVK-M8T διαθέτει το chip NEO-M8P της εταιρείας ublox για εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη ακρίβειας και λύση σε πραγματικό χρόνο. Το NEO-M8P έχει την δυνατότητα να παρακολουθήσει πολλών δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης, όπως είναι το Global Positioning System (GPS), το BeiDou το οποίο είναι το κινέζικο GNSS και το GLONASS το οποίο είναι το ρωσικό GNSS. Στον πίνακα 4 παρουσιάζονται η συχνότητες που είναι ανιχνεύσιμες από το NEO-M8P.

Πίνακας 4 : Συχνότητες που είναι διαθέσιμες από κάθε GNSS

Δορυφορικών Συστημάτων Πλοήγησης	Συχνότητα (MHz)
GPS	L1C/A@ 1575.42 MHz
BeiDou	B1I@ 1561.098 MHz
GLONASS	L1OF@ 1602 MHz + k*562.5 kHz

Ακόμη το chip NEO-M8P δίνει την δυνατότητα καταγραφής δεδομένων NMEA, αλλά και πρωτογενών μετρήσεων. Επίσης ο δέκτης EVK-M8T παρέχει την δυνατότητα με την κατάλληλη ρύθμιση να μεταδίδει διαφορετικό τύπο δεδομένων, ταυτόχρονα σε κάθε στην κάθε μια από της διεπαφές που διαθέτει. Οι ρυθμίσεις που πιθανόν να χρειαστούν να πραγματοποιηθούν στον δεκτή EVK-M8T, αναλόγως των προδιαγραφών της εργασίας,

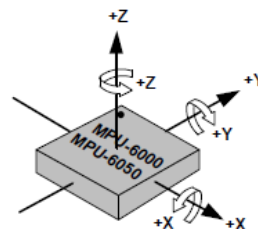
πραγματοποιούνται μέσω του εξειδικευμένου λογισμικού u-center. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του δεκτή EVK-M8T παρουσιάζονται στον πίνακα 5(u-blox Document Information 2017a; b).

Πίνακας 5 : Χαρακτηριστικά δεκτή EVK-M8T

Κατηγορία	Χαρακτηριστικά
Διεπαφή	1 USB port για GNSS δεδομένα και τροφοδοσία 1 RS232 Connection pins i2s/SPI
Τροφοδοσία	USB port 5V /μπαταριά 5V
Διάσταση	105 x 64 x 26 mm

5.3 Αδρανειακό σύστημα MPU-6050

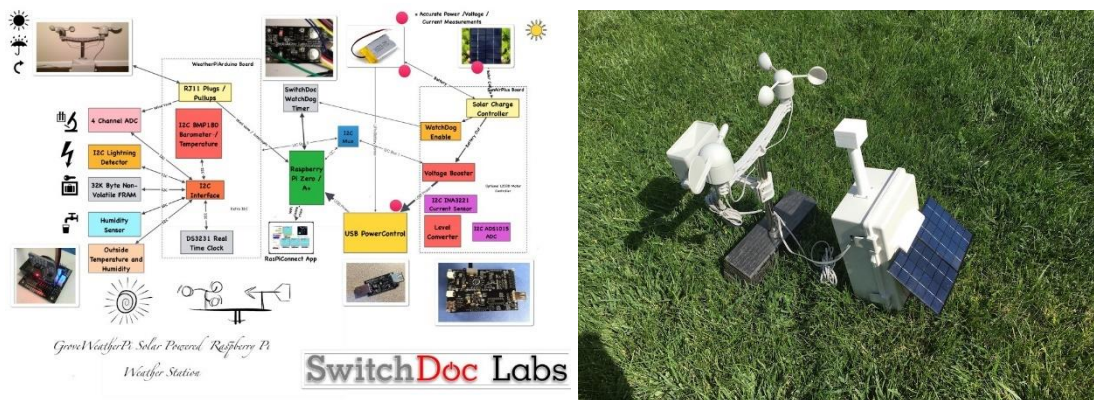
Το αδρανειακό σύστημα MPU-6050 είναι ένα ολοκληρωμένο αδρανειακό σύστημα που διαθέτει γυροσκοπίο και επιταχυσίομετρο. Τα χαρακτηριστικά του γυροσκοπίου είναι καταγραφή γωνιών προσανατολισμού 3-αξόνων σε μια κλίμακα από διαφορετικές ευαισθησίες που είναι ± 250 , ± 500 , ± 1000 , ± 2000 %/sec. Τα χαρακτηριστικά του επιταχυσίομετρου είναι η καταγραφή της επιτάχυνσης στους τρεις άξονες σε μια κλίμακα $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$, $\pm 16g$. Ακόμη διαθέτει εσωτερικό ταλαντωτή ώστε να μπορεί να πετύχει μετρήσεις με υψηλή δειγματοληψία. Η μέγιστη συχνότητα καταγραφής είναι 400kHz(InvenSense 2013).



Διάγραμμα 8 : Αισθητήρας MPU-6050

5.4 Grove Weather Pi

Ο Grove Weather Pi είναι ένας μετεωρολογικός σταθμός που σχεδιαστικέ από την εταιρεία SwitchDoc Labs. Οι αισθητήρες που περιλαμβάνει είναι: ανιχνευτής φωτός, αισθητήρας θερμοκρασίας, αισθητήρας υγρασίας, αισθητήρας βαρομετρική πίεσης, ηλιακούς συλλέκτες, αισθητήρας βροχής και αισθητήρας ανέμου. Τα δεδομένα που προκύπτουν είναι η ταχύτητα του ανέμου, διεύθυνση του ανέμου, βροχόπτωση, θερμοκρασία, υγρασία και βαρομετρική πίεση(διάγραμμα 9). Ακόμη το Grove Weather Pi σχεδιασμένο για 24ωρη καταγραφή μετεωρολογικών δεδομένων και για αυτό είναι εφοδιασμένο με ηλιακούς συλλέκτες(Switchdoc 2016).



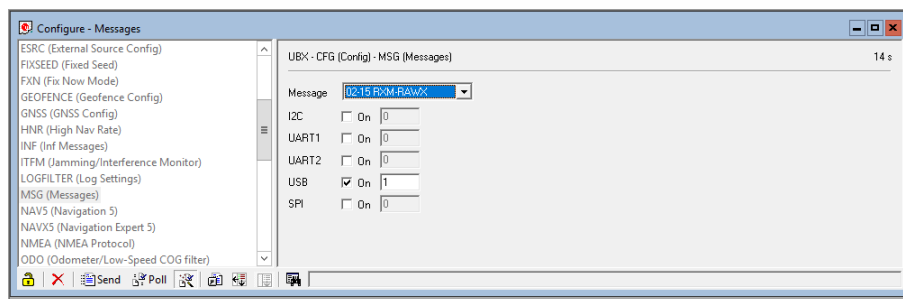
Διάγραμμα 9 : Διάγραμμα αρχιτεκτονικής του μετεωρολογικού σταθμού(αριστερά) & τελική μορφή με μετεωρολογικού σταθμού (δεξιά) (πηγή : <http://www.switchdoc.com>)

6 Υλοποίηση του συστήματος

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν αναλυτικά πως έγινε η συνδεσμολογία του κάθε αισθητήρα στο μικροϋπολογιστή, αλλά και ο κώδικας στη γλώσσα προγραμματισμού Python που χρησιμοποιήθηκε για τον συντονισμό και έλεγχο όλων των αισθητήρων της πλατφόρμας.

6.1 Δέκτης GNSS

Για την καταγραφή των δεδομένων από τον δέκτη GNSS ήταν αναγκαίο να γίνουν συγκεκριμένες ρυθμίσεις για τον καθορισμό του είδους των δεδομένων που θα καταγράφει ο δέκτης, και από ποια θύρα θα είναι διαθέσιμα. Οι τύποι δεδομένων που είναι διαθέσιμοι από τον συγκεκριμένο δέκτη είναι η μορφή National Marine Electronics Association (NMEA), όπως και πρωτογενή δεδομένα (raw) για κάθε δορυφόρο, όπως ψευδοαποστάσεις και φάσεις. Οι ρυθμίσεις του δέκτη έγιναν μέσω του λογισμικού u-center που ανήκει στην u-blox. Για λόγους ευκολίας στην συνδεσμολογία του δέκτη με τον μικροϋπολογιστή Raspberry pi, όλα τα δεδομένα είναι διαθέσιμα μέσω την θύρας USB του δέκτη. Τα δεδομένα που καταγράφει ο δέκτης μέσω της θύρας USB είναι δεδομένα NMEA που περιέχουν πληροφορία για την θέση του, η οποία έχει προκύψει μέσω λύσης απολύτου εντοπισμού, αλλά και παροχή του χρόνου στην χρονική κλίμακα UTC. Ακόμη πραγματοποιείται καταγραφή των πρωτογενών δεδομένων, για να τη δυνατότητα μετεπεξεργασίας και τον προσδιορισμό της θέσης του δέκτη με αρκετά μεγαλύτερη ακρίβεια(διάγραμμα 10).



Διάγραμμα 10 : Ρύθμιση του δέκτη GNSS που αφορά την λήψη των δεδομένων

Ακολούθως, ο δέκτης συνδέθηκε στον μικροϋπολογιστή Raspberry Pi στην θύρα USB ώστε να πραγματοποιηθούν η λήψη και η αποθήκευση των δεδομένων πλοήγησης. Για να είναι δυνατή η λήψη αλλά και η αποθήκευση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η

γλώσσα προγραμματισμού Python η οποία διαθέτει τις κατάλληλες βιβλιοθήκες για την πραγματοποίηση αυτών των διεργασιών.

Όπως προαναφέρθηκε ο δέκτης καταγραφεί τόσο πρωτογενή δεδομένα αλλά και NMEA δεδομένα, για αυτό δημιουργήθηκαν δυο Python scripts που διαχειρίζονται και αποθηκεύουν τα δεδομένα. Αρχικά το Python script με όνομα gps_ubx.py διαβάζει τα πρωτογενή δεδομένα που λαμβάνει ο δέκτης και στην συνέχεια τα αποθηκεύει σε ένα αρχείο με μορφότυπο .ubx, που είναι κατάλληλος για την αποθήκευση πρωτογενών δεδομένων. Επίσης λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων που προκύπτουν κατά τη διάρκεια ενός 24ωρου, αλλά και για λόγους ασφάλειας, δημιουργείται ένα νέο αρχείο κάθε 1 ώρα (διάγραμμα 11).

```
#library
import serial
import os
from datetime import datetime, timedelta
"""-----"""
def customWrite (completeName):    """Η συνάρτησης customWrite καταγραφεί σε ένα
                                     αρχείο αλλά τα δεδομένα που λαμβάνει ο δέκτης GNSS"""
    data = open(completeName,"a")
    try:
        data.write(line)
    except NameError:
        data.write('error'+'\n')
    data.close()
#####
gps_1 = serial.Serial( "/dev/ttyACM0" , baudrate = 9600)
next_time = datetime.now()
count = 1
while True:
    line = gps_1.readline()
    if (datetime.now() > next_time ): """Σε αυτό το σημείο δημιουργείτε ένα νέο αρχείο
                                     κάθε 1 ώρα αρχείο με μορφοτικό «.ubx»"""
        name_file_1 = "data_Gnss_UBX"+str(count)
        save_path = '/home/pi/py_final_programas/data/gnss_data_ubx'
        completeName = os.path.join(save_path, name_file_1 + ".ubx")
        next_time = datetime.now() + timedelta(hours=1)
        count = count+1
    customWrite(completeName)
```

Διάγραμμα 11 : Κώδικας από το python script gps_ubx.py

Για την διάχυση και την αποθήκευση των προτάσεων NMEA, δημιουργήθηκε Python script με όνομα gpsx.py. Αρχικά, εντοπίζει τις NMEA πρότασεις που ξεκινούν από τα ακρωνύμια '\$GNRMC' και περιέχουν πληροφορία για τις ελλειψοειδείς συντεταγμένες του δέκτη στο παγκόσμιο σύστημα αναφοράς WGS84. Ακόμη, παρέχει πληροφορία που αφορά την ώρα και ημερομηνία. Τα δεδομένα αποθηκεύονται σε ένα αρχείο με τον μορφότυπο .txt και καταγράφονται σύμφωνα με την κεφαλίδα που περιέχετε στο αρχείο. Ακόμη δημιουργείται ένα νέο αρχείο κάθε 1 ώρα, όπου στο όνομα του αρχείου περιλαμβάνεται η ημερομηνία και η χρονική στιγμή που δημιουργήθηκε (διάγραμμα 12).

```

import serial
import os
from datetime import datetime, timedelta
"""
def customWrite(completeName):
    data = open(completeName, "a")
    try:
        data.write(str(date)+"\n")
        data.write(str(time_1[0])+"\n")
        data.write(str(lati[0])+"\n")
        data.write(str(long[0])+"\n")
    except NameError:
        data.write('error'+'\n')
    data.close()
'''
gps_1 = serial.Serial( "/dev/ttyACM0" , baudrate = 9600)
next_time = datetime.now()
while True:
    line = gps_1.readline()
    dat= line.split(',')
    str2="$GNRMC"
    try:
        inde = dat[0].index(str2)
        lati = dat[3:4]
        long =dat[5:6]
        time_1 = dat[1:2]
        date = dat[9]
        if (datetime.now() > next_time ):
            name_file_1 = "data_Gnss"+str(datetime.now())
            save_path = '/home/pi/py_final_programas/data/gnss_data'
            completeName = os.path.join(save_path, name_file_1 + ".txt")
            data = open (completeName, "a")
            data.write("DATE, TIME, LATITUDE, LONGITUDE"+'\n')
            data.close()
            next_time = datetime.now() + timedelta(hours=1)
            customWrite(completeName)
    except:
        print "Error"

```

Διάγραμμα 12 : Κώδικας από το python strip gpsx.py

6.2 Αδρανειακό σύστημα

Η συνδεσμολογία που ακολουθήθηκε για το αδρανειακό σύστημα ήταν μέσω των ακροδεκτών GPIO που διαθέτει ο μικροϋπολογιστής Raspberry Pi. Ο αισθητήρας συνδέθηκε στους ακροδέκτες GPIO μέσω των ακροδεκτών i2c. Πριν την σύνδεση του αισθητήρα στο μικροϋπολογιστή που χρησιμοποιήσαμε, χρειάστηκε να γίνουν κάποιες ρυθμίσεις για να είναι δυνατή η λήψη των δεδομένων από τον αισθητήρα MPU6050. Οι ρυθμίσεις που πραγματοποιήθηκαν είναι η ενεργοποίηση του πρωτοκόλλου επικοινωνίας i2c και η εγκατάσταση των βιβλιοθηκών pyhton-smbus και mpu6050. Η βιβλιοθήκη pyhton-smbus είναι αναγκαία ώστε να είναι δυνατή λήψη των δεδομένων μέσω του πρωτοκόλλου i2c, ακόμη η βιβλιοθήκη mpu6050 περιέχει όλες συνάρτησεις που αφορούν στη ρύθμιση του αισθητήρα και τη λήψη των δεδομένων. Ακολούθως, συνδέθηκε ο αδρανειακός αισθητήρας στο Raspberry pi ,όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 6.

Πίνακας 6 : Συνδεσμολογία αδρανειακού αισθητήρα στο Raspberry Pi

Raspberry Pi	MPU 6050
Pin 1/ 3.3v PWR	VCC
Pin 6/ GND	GND
Pin 5/ I2C1 SCL	SCL
Pin 3/ I2C1 SDA	SDA

Τα δεδομένα που καταγράφονται από το αδρανειακό σύστημα είναι η επιτάχυνσή κατά τους τρεις άξονες, όπως και οι γωνίες στροφής των αξόνων (γωνιακή ταχύτητα). Για τη λήψη και την καταγραφή των δεδομένων δημιουργήθηκε ένα python script, το οποίο δίνει την δυνατότητα στον χρήστη, εφόσον, το επιθυμεί να ρυθμίσει την ευαισθησία του γυροσκοπίου με βάση τέσσερις επιλογές ± 250 , ± 500 , ± 1000 , ± 2000 %/sec. Ακόμη, ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει την κλίμακα ευαισθησίας του επιταχυνσιόμετρου με τέσσερις επιλογές $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$, $\pm 16g$, όπως επίσης και να ρυθμίσει τη συχνότητα καταγραφής του δεκτή. Σε περίπτωση που ο χρήστης δεν επιθυμεί να ρύθμισει τις κλίμακες ευαισθησίας των αισθητήρων, τότε η καταγραφή των δεδομένων πραγματοποιείται με τις προκαθορισμένες τιμές που είναι ± 2000 %/sec για το γυροσκόπιο και $\pm 16g$ για το επιταχυνσιόμετρο.

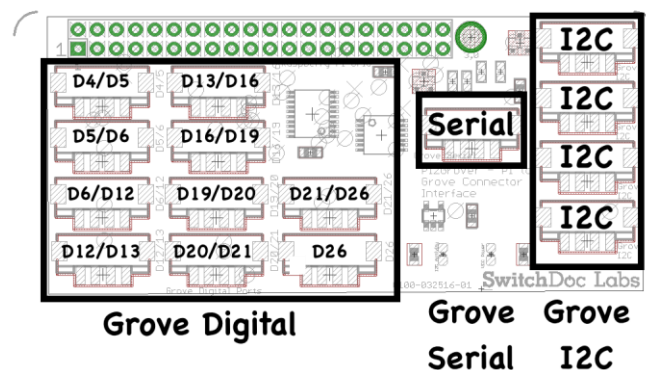
```
#####
set = raw_input("You would like some but some adjustment ? (Y/N) \n")
if set == 'Y' or set == 'y':
    gyro_set = raw_input("Selected the frequency of recording the gyroscope :\n- 250\n- 500\n- 1000\n- 2000\n")
    if gyro_set == '250':
        sensor.set_gyro_range(0x00)
    if gyro_set == '500':
        sensor.set_gyro_range(0x08)
    if gyro_set == '1000':
        sensor.set_gyro_range(0x10)
    if gyro_set == '2000':
        sensor.set_gyro_range(0x18)
    accel_set = raw_input("Selected g accel :\n- 2g\n- 4g\n- 8g\n- 16g\n")
    if accel_set == '2g':
        sensor.set_accel_range(0x00)
    if accel_set == '4g':
        sensor.set_accel_range(0x08)
    if accel_set == '8g':
        sensor.set_accel_range(0x10)
    if accel_set == '16g':
        sensor.set_accel_range(0x18)
elif set == 'N' or set == 'n':
    sensor.set_gyro_range(0x18)
    sensor.set_accel_range(0x18)
#####
# Calculation of frequency
freq_set= raw_input("Measuring frequency(Hz): ")
milsec = float(1000.0/float(freq_set))
freq=timedelta(0,0,0,int(milsec))
#####
```

Διάγραμμα 13 : Στιγμιότυπο από το python script για τη ρύθμιση των κλιμάκων ευαισθησίας και τον υπολογισμό της συχνότητας

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η μέγιστη συχνότητα καταγραφής του αισθητήρα MPU6050 είναι 400kHz, δηλαδή ο αισθητήρας μπορεί καταγραφεί μετρήσεις ανά 0.0000025 sec. Λόγω του μεγάλου πλήθους των δεδομένων, προέκυψε η ανάγκη για την οργάνωση σε διαφορετικά αρχεία να τακτά χρονικά διαστήματα. Αυτή η λειτουργία υλοποιήθηκε στη γλώσσα προγραμματισμού python που χρησιμοποιήθηκε για την λήψη και καταγραφή των δεδομένων του αδρανειακού αισθητήρα. Το χρονικό διάστημα που θεωρήθηκε κατάλληλο είναι κάθε μια ώρα. Ακόμη, για την επίτευξη βέλτιστης οργάνωσης, κάθε νέο αρχείο που δημιουργείται, ονοματίζεται με βάση την ημερομηνία και την ακριβής χρονική στιγμή που δημιουργήθηκε. Στα δεδομένα που αποθηκεύονται, εκτός των επιταχύνσεις και των γωνιών στροφής στους τρεις άξονες, καταγράφεται και η ημερομηνία και η χρονική στιγμή που πραγματοποιήθηκε η κάθε καταγραφή.

6.3 Μετεωρολογικός σταθμός- GroveWeatherPi

Για την συνδεσμολογία του μετεωρολογικού σταθμού GroveWeatherPi στο μικροϋπολογιστή Raspberry Pi, χρησιμοποιήθηκε πίνακας διεπαφών σύνδεσης PI2Grove στον οποίο συνδέθηκαν όλοι οι αισθητήρες που διαθέτει ο μετεωρολογικός σταθμός (διάγραμμα 14).



Διάγραμμα 14 : Πίνακας διεπαφών σύνδεσης PI2Grove (πηγή : <http://www.switchdoc.com>)

Η συνδεσμολογία των αισθητήρων στο PI2Grove παρουσιάζεται στο διάγραμμα 15. Στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκε έλεγχος μέσω του python script testSDL_Pi_TCA9545.py προκειμένου να ελεγχθεί ότι όλοι οι αισθητήρες είναι συνδεδεμένοι στις κατάλληλες διεύθυνσεις i2c που έχουν προκαθοριστεί από τον κατασκευαστή.

Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε εγκατάσταση λογισμικού βάσεων δεδομένων MySQL και της βιβλιοθήκης σχεδίασης 2D διαγραμμάτων της γλώσσας προγραμματισμού Python, Matplotlib, που είναι απαραίτητα για την οπτικοποίηση της συλλεχθείσας πληροφορίας.

Έπειτα πραγματοποιήθηκαν τροποποιήσεις στον κώδικα του λογισμικού που προσφέρει ο κατασκευαστής, ώστε να εξυπηρετεί τις ανάγκες της εφαρμογής. Οι τροποποιήσεις που έγιναν αφορούν την αποθήκευση των δεδομένων που καταγράφονται από τους αισθητήρες του μετεωρολογικού σταθμού. Αρχικά δημιουργούνται νέα αρχεία αποθήκευσης των δεδομένων κάθε μια ώρα, ώστε να γίνει οργάνωση του μεγάλου όγκου πληροφορίας. Επίσης σε κάθε νέο αρχείο, στην πρώτη γραφή αναφέρεται η χρονική στιγμή που έγινε η καταγραφή, αλλά και με ποια σειρά καταγράφονται τα δεδομένα. Τα δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού είναι η εσωτερική-εξωτερική θερμοκρασία, εσωτερική-εξωτερική υγρασία, ύψος βροχής, ένταση του ανέμου, κατεύθυνση ανέμου, υψόμετρο και βαρομετρική πίεση.

7 Συμπεράσματα

Η πειραματική πλατφόρμα αισθητήρων σχεδιαστικε και υλοποιήθηκε με σκοπό την παρακολούθηση των φυσικών γεωκινδύνων, αλλά και μικρομετακινήσεων στην φυσική γήινη επιφάνια, που μπορούν να επηρεάσουν την ανθρώπινη κοινωνία του σήμερα σε διάφορους τομείς. Οι προδιάγραφες που ακολουθηθήκαν για τον σχεδιασμό και υλοποίηση της πολυπαραμετρικής πλατφόρμας αισθητήρων ήταν η συλλογή τις απαιτούμενης πληροφορίας προκειμένου να υπολογιστούν η θέση και η μετακίνηση της πλατφόρμας, η καταγραφή χρονοσειρά αδρανειακών μετρήσεων, η συλλογή μετεωρολογικών δεδομένων και η διαμόρφωση μιας λύσης χαμηλού κόστους. Σύμφωνα με τις προδιάγραφες χρησιμοποιήθηκε μονόσυχνος δέκτης GNSS χαμηλού κόστους που διαθέτη την δυνατότητα καταγραφής πρωτογενών δεδομένων και NMEA δεδομένων για την καταγραφή της θέσης αλλά και της ενιαία χρονική κλίμακας των δεδομένων. Επίσης χρησιμοποιήθηκε αδρανειακός αισθητήρας χαμηλού κόστους για την καταγραφή των μετακινήσεων της πλατφόρμας στον τρισδιάστατο χορό. Για την συλλογή των μετεωρολογικών δεδομένων, χρησιμοποιήθηκε ο μετεωρολογικός σταθμος GroveWeatherPi που διαθέτει την απαραίτητη γκάμα από αισθητήρων προκειμένου να ληφθεί η αναγκαία πληροφορία. Για την ολοκλήρωση της πλατφόρμας και τη μεταφορά των δεδομένων σε κάποιον κεντρικό εξυπηρετητή χρησιμοποιήθηκε ο μικροϋπολογιστής χαμηλού κόστους Raspberry Pi Model B.

Η προτεινόμενη πλατφόρμα μπορεί να θεωρηθεί μια ολοκληρωμένη λύση για την παρακολούθηση φυσικών φαινομένων γιατί σε αντίθεση με άλλες πρότασης που γίνονται στη βιβλιογραφία, διαθέτει μεγάλη γκάμα από αισθητήρες. Επίσης ένα μεγάλο πλεονέκτημα της πρότασης μου είναι το χαμηλό κόστος κατασκευής που ανέρχεται περίπου στα €600. Το γεγονός αυτό παρέχει ευελιξία για την τοποθέτηση πολλών πλατφορμών στο πεδίο ανάλογα με την μορφολογία του εδάφους της περιοχής μελέτης, και συνεπώς οδηγεί στη διεύρυνση της έκτασης της περιοχής μελέτης.

Οι βελτιωτικές κινήσεις που μπορούν να πραγματοποιηθούν στην προτεινόμενη πλατφόρμα αισθητήρων είναι η βελτιστοποίηση όσον αφορά στην ενεργειακή της αυτονομία. Στην παρούσα έκδοση η τροφοδοσία πραγματοποιείται μέσω μπαταρίας συνεχούς ρεύματος, γεγονός που περιορίζει σημαντικά το χρονικό διάστημα όπου η πλατφόρμα μπορεί να εκτελεί μετρήσεις. Εναλλακτική επιλογή είναι η τροφοδοσία μέσω

εναλλασσόμενου ρεύματος από κάποιο υποστατικό που βρίσκεται σε κοντινή απόσταση από το σημείο ενδιαφέροντος. Διαφορετικά, το πρόβλημα της τροφοδοσία μπορεί να επιλυθεί με την χρήση ηλικιών συλλεκτών για τη συνεχή φόρτιση της μπαταρίας.

Επισημαίνεται ότι η πλατφόρμα θα πρέπει να τοποθετείται σε κατάλληλη κατασκευή (π.χ. μπετόν) στο πεδίο ώστε να εξασφαλίζεται η σταθερή και ευθυγραμμισμένη τοποθέτησή της στο σημείο ενδιαφέροντος. Προτεινόμενες λύσεις για την ορθή εγκατάσταση είναι μέσω αγκύρωσης της πλατφόρμας στο έδαφος ή τοποθέτησής της σε κάποια βάση ώστε να αποφευχθούν ανεπιθύμητες μετακινήσεις.

Συμπεραίνεται ότι μέσω μελλοντικών παρεμβάσεων η προτεινόμενη διάταξη μπορεί να μετατραπεί σε ένα ολοκληρωμένο και άρτιο σύστημα παρακολούθησης φυσικών κινδύνων. Ενδεικτικά αναφέρεται η χρήση νέων τύπων αισθητήρων, όπως τα γεώφωνα χαμηλού κόστους. Με αυτή την προσθήκη μπορεί να επαυξηθεί η συλλεγόμενη πληροφορία και να χρησιμοποιηθεί και στη μελέτη τεκτονικών φαινομένων. Επίσης ο δέκτης GNSS μονής συχνότητας μπορεί να αντικατασταθεί με ένα δέκτης GNSS τριών συχνοτήτων χαμηλού κόστους (βλ. ublox F9), που θα είναι διαθέσιμος στην αγορά σε σύντομο χρονικό διάστημα. Επιπλέον η χρήση μεθόδων ς μεγαλύτερης ακριβείας, όπως είναι ο στατικός απόλυτος εντοπισμός ή ο ακριβής απόλυτος εντοπισμός (PPP). Τέλος, προτείνεται η δημιουργία μια ιστοσελίδας που θα χρησιμοποιεί το κατάλληλο περιβάλλον διεπαφής χρήστη και θα παρουσιάζονται όλα τα δεδομένα που συλλέγονται από την πλατφόρμα, μηνύματα προειδοποίησης που να ενημερώνουν τους αρμόδιους χρήστες ώστε να διαμορφωθεί σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα προειδοποίησης και κατ' επέκταση πρόληψης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Benoit, L., Briole, P., Martin, O., and Thom, C. (2014). “Real-time deformation monitoring by a wireless network of low-cost GPS.” *Journal of Applied Geodesy*, 8(2), 119–128.
- Cina, A., and Piras, M. (2015). “Performance of low-cost GNSS receiver for landslides monitoring: test and results.” *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 6(5–7), 497–514.
- InvenSense. (2013). *MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification*, InvenSense Inc.
- Irshad, M. E., and Feroz, M. M. (2016). “Scope of IoT : Performance and Hardware Analysis Between Raspberry Pi-3 And Arduino Uno.” 5(6), 580–588.
- Itakura, Y., Inaba, H., and Sawada, T. (2005). “A debris-flow monitoring devices and methods bibliography.” *Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol 5, Iss 6, Pp 971-977 (2005) VO - 5*, Copernicus Publications, (6), 971.
- Khoa, V. Van, and Takayama, S. (2018). “Wireless sensor network in landslide monitoring system with remote data management.” *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, Elsevier, 118(November 2017), 214–229.
- Morello, R. (2017). “Potentialities and limitations of thermography to assess landslide risk.” *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, Elsevier, (July), 1–11.
- “Raspberry Pi Downloads - Software for the Raspberry Pi.” (2015). *Raspberry Pi*, <<https://www.raspberrypi.org/downloads/%5Cnfiles/26/downloads.html>> (Feb. 3, 2018).
- Raspberry Pi Foundation. (2016). “Raspberry Pi 3 Model B.” <<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>> (Feb. 3, 2018).
- Shah, D., and Haradi, V. (2016). “IoT Based Biometrics Implementation on Raspberry Pi.” *Procedia Computer Science*, 79, 328–336.

- SwitchDoc Labs, LLC. (2016). *GroveWeatherPi - Solar Raspberry Pi based Weather Station.*, SwitchDoc Labs, LLC
- u-blox Document Information. (2017a). *NEO-M8P - M8 High Precision GNSS Modules*, u-blox America Inc.
- u-blox Document Information.(2017b). *EVK-7/EVK-8/EVK-M8 -Evaluation Kits (PCB Version C/D)*, u-blox America In.
- Yigit, C. O., Coskun, M. Z., Yavasoglu, H., Arslan, A., and Kalkan, Y. (2016). "The potential of GPS Precise Point Positioning method for point displacement monitoring: A case study." *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, Elsevier Ltd, 91, 398–404.
- Αρναούτη, Α. Σ. (2010). "Γεωστατιστική ανάλυση των μετρήσεων στη γεωτεχνική μηχανική. Εφαρμογή στην εκτίμηση των μετακινήσεων του εδάφους" Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Ποιητικών Μηχανικών, Θεσσαλονίκη.
- Παντελίδης, Λ. (2012). " Τύποι και αίτια κατολισθήσεων " Σημειώσεις Μαθήματος, Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου, Τμήμα Πολίτικων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής ,Λεμεσός.
- Ρόζος, Ε. Δ. (2010). " Κατολισθητικά φαινόμενα" Σημειώσεις Μαθήματος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο(ΕΜΠ), Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων,Αθηνά.
- Σακελλαρίου, Μ. (2008). " Γεωτεχνική Μηχανική " Σημειώσεις Μαθήματος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο(ΕΜΠ), Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Αθηνά.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Κώδικας python

Δημιουργία και αποθήκευση ubx αρχείων(gps_ubx.py)

```
import serial

import os

from datetime import datetime, timedelta

def customWrite(completeName):

    data = open(completeName, "a")

    try:

        data.write(line)

    except NameError:

        data.write('error'+'\n')

    data.close()

#####

gps_1 = serial.Serial( "/dev/ttyACM0" , baudrate = 9600)

next_time = datetime.now()

count = 1

while True:

    line = gps_1.readline()

    if (datetime.now() > next_time ):

        name_file_1 = "data_Gnss_UBX"+str(count)

        save_path = '/home/pi/py_final_programas/data/gnss_data_ubx'

        completeName = os.path.join(save_path, name_file_1 + ".ubx")

        next_time = datetime.now() + timedelta(hours=1)

        count = count+1
```

```

        customWrite(completeName)

Αποθήκευση θέσης και χρόνου(gpsx.py)

import serial

import os

from datetime import datetime, timedelta

"""-----"""

def customWrite(completeName):

    data = open(completeName, "a")

    try:

        data.write(str(date)+",")

        data.write(str(time_1[0])+",")

        data.write(str(lati[0])+"N"+",")

        data.write(str(long[0])+"E"+"\n")

    except NameError:

        data.write('error'+'\n')

    data.close()

#####

gps_1 = serial.Serial( "/dev/ttyACM0" , baudrate = 9600)

next_time = datetime.now()

while True:

    line = gps_1.readline()

    dat= line.split(',')

    str2="GNRMC"

    try:

        inde = dat[0].index(str2)

        lati = dat[3:4]

```

```

long =dat [5:6]

time_1 = dat[1:2]

date = dat [9]

if (datetime.now() > next_time ):

    name_file_1 = "data_Gnss"+str(datetime.now())

    save_path = '/home/pi/py_final_programas/data/gnss_data'

    completeName = os.path.join(save_path, name_file_1 + ".txt")

    data = open (completeName,"a")

    data.write("DATE,TIME,LATITUDE,LONGITUDE"+"\\n")

    data.close()

    next_time = datetime.now() + timedelta(hours=1)

    customWrite(completeName)

except:

    print "Error"

```

Διαχείριση και αποθήκευση δεδομένων αδρανειακού αισθητήρα(mpu6050_lab.py)

```

from mpu6050 import mpu6050

from datetime import datetime, timedelta

import os.path

#####

sensor = mpu6050(0x68)

#####

def customWrite(completeName):

    data = open(completeName,"a")

    try:

        data.write(str(datetime.now()))

        data.write(',')

```



```

data.write(str(gyro_d['x']))

data.write(',')

data.write(str(gyro_d['y']))

data.write(',')

data.write(str(gyro_d['z']))

data.write(',')

data.write(str(accle_d['x']))

data.write(',')

data.write(str(accle_d['y']))

data.write(',')

data.write(str(accle_d['z']))

data.write('\n')

except NameError:

    data.write('error'+'\n')

data.close()

#####

set_ = raw_input("You would like some but some adjustment ? (Y/N) \n")

if set_ == 'Y' or set_ == 'y':

    gyro_set_ = raw_input("Selected the frequency of recording the gyroscope :\n-
250\n- 500\n- 1000\n- 2000\n")

    if gyro_set_ == '250':

        sensor.set_gyro_range(0x00)

    if gyro_set_ == '500':

        sensor.set_gyro_range(0x08)

    if gyro_set_ == '1000':

        sensor.set_gyro_range(0x10)

```

```

if gyro_set_== '2000':
    sensor.set_gyro_range(0x18)
    accel_set_= raw_input("Selected g accel :\n- 2g\n- 4g\n- 8g\n- 16g\n")
if accel_set_=='2g':
    sensor.set_accel_range(0x00)
if accel_set_=='4g':
    sensor.set_accel_range(0x08)
if accel_set_=='8g':
    sensor.set_accel_range(0x10)
if accel_set_=='16g':
    sensor.set_accel_range(0x18)
elif set_=='N'or set_=='n':
    sensor.set_gyro_range(0x00)
    sensor.set_accel_range(0x00)
#####
# Calculation of frequency
freq_set= raw_input("Measuring frequency[Hz]: ")
milsec = float(1000.0/float(freq_set))
freq=timedelta(0,0,0,int(milsec))
#####
gyro_d=0.0
accle_d=0.0
next_time = datetime.now()
while True :
    ti = datetime.now()
    gyro_d = sensor.get_gyro_data()

```

```

accele_d = sensor.get_accel_data()

while ti+ freq > datetime.now():

    pass

if (datetime.now() > next_time ):

    name_file_1 = "data_mpu6050"+str(datetime.now())

    save_path = '/home/pi/py_final_programas/data/mpu6050_data'

    completeName = os.path.join(save_path, name_file_1 + ".txt")

    data = open (completeName,"a")

    data.write("DATE_TIME,GYROSCOPE_X,GYROSCOPE_Y,GYROSCOPE_Z,ACCELEROMETER_X,ACCELEROMETER_Y,ACCELEROMETER_Z"+ "\n")

    data.close()

    next_time = datetime.now() + timedelta(hours=1)

customWrite(completeName)

```

Κυρίο μέρος κώδικα για την διαχείριση του μετεωρολογικού σταθμού (GroveWeatherPi.py)

```

def customWrite(completeName):

    data = open(completeName,"a")

    try:

        data.write(str(datetime.now())+',')

        data.write(str(totalRain)+',')

        data.write(str(rain60Minutes)+',')

        data.write(str(currentWindSpeed)+',')

        data.write(str(currentWindGust)+',')

        data.write(str(currentWindDirection)+',')

        data.write(str(currentWindDirectionVoltage)+',')

```

```

        data.write(str(bmp180Temperature) + ',')
        data.write(str(bmp180Pressure) + ',')
        data.write(str(bmp180Altitude) + ',')
        data.write(str(bmp180SeaLevel) + ',')
        data.write(str(HTUtemperature) + ',')
        data.write(str(HTUhumidity) + ',')
        data.write(str(outsideTemperature) + ',')
        data.write(str(outsideHumidity))
        data.write('\n')

    except NameError:
        data.write('error data'+'\n')

data.close()

# Main Loop

import os.path

from datetime import datetime, timedelta

next_time = datetime.now()

while True:

    # process Interrupts from Lightning

    if (as3935Interrupt == True):

        try:

            process_as3935_interrupt()

        except:

            print "exception - as3935 I2C did not work"

    if (config.TCA9545_I2CMux_Present):

```

```

tca9545.write_control_register(TCA9545_CONFIG_BUS0)

# process commands from RasPiConnect

processCommand()

if (datetime.now() > next_time ):

    name_file_1 = "data_pi_wather"+str(datetime.now())

    save_path = '/home/pi/py_final_programas/data/pi_wather'

    completeName = os.path.join(save_path, name_file_1 + ".txt")

    data = open(completeName,"a")

    data.write('DATE_TIME,TOTALRAIN,RAIN60MINUTES,CURRENTWIND
SPEED,CURRENTWINDGUST,CURRENTWINDDIRECTION,CURRENTWINDDI
RECTIONVOLTAGE,BMP180TEMPERATURE,BMP180PRESSURE,BMP180ALTI
TUDE,BMP180SEALEVEL,HTUTEMPERATURE,HTUHUMIDITY,OUTSIDETEM
PERATURE,OUTSIDEHUMIDITY')

    data.close()

    next_time = datetime.now() + timedelta(hours=1)

customWrite(completeName)

time.sleep(1.0)

```