

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ
ΒΡΑΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΟ ΘΕΡΙΣΟ ΧΑΝΙΩΝ»**

ΜΑΡΙΑ Ε.ΚΟΜΠΙΤΣΑΚΗ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ :

Βαφείδης Αντώνιος (Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης) (επιβλέπων)

Γαλετάκης Μιχαήλ (Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης)

Κρητικάκης Γεώργιος (Ε.Δ.Ι.Π. Πολυτεχνείου Κρήτης)

Χανιά, Νοέμβριος 2018

"Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σ' αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις των εξεταστών"

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διπλωματική εργασία με τίτλο «ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΒΡΑΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΟ ΘΕΡΙΣΟ ΧΑΝΙΩΝ» έχει σαν στόχο την εύρεση των βέλτιστων παραμέτρων του σεισμικού συστήματος έτσι ώστε να ελέγχονται οι καταπτώσεις βράχων που δημιουργούνται στο Θέρισο αλλά και σε οποιαδήποτε άλλη περιοχή. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια των κατάλληλων αλγορίθμων καθώς και με ορισμένες δοκιμές πεδίου που μας οδηγούν σε συγκεκριμένα αποτελέσματα.

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ.Αντώνιο Βαφείδη, επιβλέποντα Καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης για την ανάθεση της συγκεκριμένης διπλωματικής και την συνεχή καθοδήγησή του.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη για την συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή, τον κ.Παρτσινέβελο Παναγιώτη, Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης και τον Ε.ΔΙ.Π της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης κ.Γεώργιο Κρητικάκη για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη την διάρκεια της διπλωματικής εργασίας και την καθοδήγηση που μου παρείχε σε κάθε της βήμα.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία καθώς και ο εξοπλισμός, αποκτήθηκαν στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος «ΙΣΤΡΙΑ» (11_ΣΥΝ_9_1389) της δράσης «ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ 2011» που χρηματοδοτείται από το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Ανταγωνιστικότητα & Επιχειρηματικότητα» - ΕΠΑΝ ΙΙ & Επιχειρησιακά Προγράμματα των Περιφερειών σε Μετάβαση στα πλαίσια του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ) 2007-2013 με συγχρηματοδότηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης, του Ευρωπαϊκού Ταμείου Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ) και της Ελλάδας.

Τέλος, να ευχαριστήσω την οικογένειά μου που με την οικονομική και ψυχολογική τους υποστήριξη με βοήθησαν να δουλέψω σε άνετο περιβάλλον όλα αυτά τα χρόνια.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι βραχοπτώσεις μπορεί να προκαλέσουν τραυματισμούς καθώς και σοβαρές ζημιές σε υποδομές, όπως κατοικίες, σιδηρόδρομους, οδικούς άξονες, καθώς και σε επιφανειακά ορυχεία-μεταλλεία. Μέτρα ανάρθρωσης των βραχοπτώσεων όπως, για παράδειγμα, τα συρματοπλέγματα πρανών, έχουν αναπτυχθεί κυρίως κατά μήκος των δικτύων χερσαίων μεταφορών για την ελαχιστοποίηση των αυτοκινητιστικών ατυχημάτων. Σε συνδυασμό με τα μέτρα αυτά, η παρακολούθηση των βραχοπτώσεων μπορεί να συμβάλλει καταλυτικά, τόσο στην έγκαιρη προειδοποίηση των διερχόμενων οχημάτων για την αποφυγή ατυχημάτων, όσο και στην άμεση ενημέρωση των αρχών για την απομάκρυνση των βραχωδών τεμαχίων από το οδόστρωμα.

Σε αυτή την εργασία, παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας ενός συστήματος παρακολούθησης βραχοπτώσεων, χαμηλού κόστους, που είχε εγκατασταθεί πιλοτικά στον οδικό άξονα Χανίων-Θερίσου, με σκοπό την βελτίωση της ασφάλειας των διερχόμενων οχημάτων. Ο κύριος εξοπλισμός ανίχνευσης των βραχοπτώσεων είναι ένας 24κάναλος σεισμογράφος που προμηθεύει το σύστημα παρακολούθησης με μετρήσεις δονήσεων της περιοχής μελέτης, καθώς και μια κάμερα που εποπτεύει το οδόστρωμα. Μια σειρά από αλγόριθμους, που αναπτύχθηκαν στο Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής σε περιβάλλον Matlab επεξεργάζονται σε πραγματικό χρόνο (real time) τις καταγραφές του σεισμογράφου προκειμένου να διαπιστωθεί αν μια δόνηση οφείλεται σε βραχόπτωση ή σε άλλα πιθανά αίτια. Στην περίπτωση βραχόπτωσης εκδίδουν ένδειξη προειδοποίησης (alarm). Οι καταγεγραμμένες δονήσεις στην περιοχή μελέτης κατηγοριοποιήθηκαν, ανάλογα με την προέλευσή τους, σε 4 κύριες κατηγορίες. Δονήσεις που προέρχονται: 1) από διερχόμενα οχήματα (Cars), 2) από κατάπτωση βράχου (Rock), 3) από ταυτόχρονη διέλευση οχήματος και κατάπτωση βράχου (CarRock) και 4) από διερχόμενους ανθρώπους (People). Οι εν λόγω αλγόριθμοι χρησιμοποιούν τον λόγο της μέσης τιμής βραχείας διάρκειας (Short Time Average – STA) προς τη μέση τιμή μακράς διάρκειας (Long Time Average - LTA) (STA/LTA ratio) καθώς και την ανάλυση fractal. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η βελτιστοποίηση του σεισμικού συστήματος παρακολούθησης βραχοπτώσεων με την εύρεση των βέλτιστων παραμέτρων στους αλγόριθμους επεξεργασίας. Η προτεινόμενη μεθοδολογία αξιολογήθηκε με δεδομένα από 3 ελεγχόμενα πειράματα και εφαρμόστηκε σε δεδομένα συνεχούς (24ωρης) παρακολούθησης συνολικά 86 ημερών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, οι προσδιοριζόμενες βέλτιστες παράμετροι επεξεργασίας επιτυγχάνουν στα ελεγχόμενα πειράματα ποσοστό επιτυχίας ανίχνευσης βραχοπτώσεων 80,50 %, ποσοστό επιτυχίας ανίχνευσης για την κατηγορία Cars 93,93%, ποσοστό επιτυχίας ανίχνευσης για την κατηγορία People 72,72% και ποσοστό επιτυχίας ανίχνευσης για την κατηγορία CarRocks 53,33% ενώ παράλληλα παρουσιάζουν τον ελάχιστο αριθμό ψευδών προειδοποιήσεων βραχόπτωσης (false alarm).

Πίνακας περιεχομένων

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.1 ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΒΡΑΧΟΠΤΩΣΕΩΝ. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗΣ ΒΡΑΧΟΠΤΩΣΕΩΝ. ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ-ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ.....	7
1.1.1 Αναγκαιότητα αντιμετώπισης των βραχοπτώσεων	7
1.1.2 Μηχανισμοί ενεργοποίησης των βραχοπτώσεων	7
1.1.3 Προστατευτικά μέτρα	8
1.1.4 Αποτίμηση της επικινδυνότητας	9
1.2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΒΡΑΧΟΠΤΩΣΕΩΝ/ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ.....	10
1.3 ΛΟΓΟΣ STA/LTA	11
1.3.1 Εφαρμογές μεθοδολογίας	12
1.4 ΑΝΑΛΥΣΗ FRACTAL (POWER SPECTRAL METHOD)	12
1.4.1 Εφαρμογές μεθοδολογίας	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο : ΘΕΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ.....	14
2.1 ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	14
2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο : ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ	24
3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ.....	24
3.1.1 Ανάλυση STA / LTA.....	24
3.1.2 Ανάλυση Fractal	26
3.2 ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ	29
3.2.1 Περιγραφή ελεγχόμενων πειραμάτων	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο : ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ.....	32
4.1. ΕΥΡΕΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΓΟΡΙΘΜΟ STA/LTA.....	32
4.1.1 Υπολογισμός Συνολικού Ποσοστού επιτυχίας των προτεινόμενων τιμών των παραμέτρων	37
4.1.2 Διαγράμματα ROC.....	39
4.1.3. Σύγκριση παλιών και νέων προτεινόμενων τιμών παραμέτρων αλγόριθμου STA/LTA	40
4.2. ΕΥΡΕΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟ FRACTAL.....	42
4.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΝΕΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	44
4.4 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	52
4.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΕ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΕΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΜΕ ΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ	56

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	59
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ :.....	61
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	65

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΒΡΑΧΟΠΤΩΣΕΩΝ. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗΣ ΒΡΑΧΟΠΤΩΣΕΩΝ. ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ-ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ.

1.1.1 Αναγκαιότητα αντιμετώπισης των βραχοπτώσεων

Σημαντικός είναι ο αριθμός περιστατικών βραχοπτώσεων που οδηγούν σε θανατηφόρα ατυχήματα, σε καταστροφές κτιρίων, δρόμων, καθώς και αυτοκινήτων. Το γεγονός αυτό επιφέρει αρνητικές επιπτώσεις στην οικονομία μιας περιοχής ή μιας χώρας ενώ παρατηρείται πιο συχνά σε ορεινές περιοχές. Επομένως, αποτελεί ανάγκη για τις δημόσιες αρχές η αντιμετώπιση της κατάπτωσης βράχων με την χρήση προστατευτικών μέτρων, καθώς και με ένα ολοκληρωμένο σύστημα πρόβλεψης και παρακολούθησης βραχοπτώσεων. Η εκτίμηση της επικινδυνότητας των βραχοπτώσεων καθώς και ο προσδιορισμός των μηχανισμών ενεργοποίησης, είναι απαραίτητες προϋποθέσεις για την λήψη των κατάλληλων μέτρων.

1.1.2 Μηχανισμοί ενεργοποίησης των βραχοπτώσεων

Οι πιο σημαντικοί μηχανισμοί ενεργοποίησης των βραχοπτώσεων σύμφωνα με τους Βογιατζής et al., 2004, Χαραλάμπους et al. 2008 και Krautblatter et al., 2009 Wilson et al., 2003 είναι :

- ❖ ο σεισμός
- ❖ η βροχόπτωση
 - Οι Krautblatter et al., 2009, στην έρευνά τους επικεντρώθηκαν στο να εξελίξουν ένα μοντέλο συσχετισμού βραχοπτώσεων με την ένταση της βροχόπτωσης, βασιζόμενοι σε μετρήσεις 4 ετών σε έναν τοίχο στις γερμανικές Άλπεις.
 - Σε κάποιες δημοσιεύσεις η βροχόπτωση απλώς αναφέρεται ως αιτία πρόκλησης βραχόπτωσης (Wilson et al., 2003), ενώ σε άλλες περιπτώσεις παρουσιάζονται και στοιχεία από βροχομετρικούς σταθμούς (Krautblatter et al., 2009).
 - Αρκετοί ερευνητές, έχουν ασχοληθεί με τον συγκεκριμένο μηχανισμό ενεργοποίησης κατάπτωσης βράχων κυρίως σε σεισμογενείς περιοχές όπως η Ελλάδα, κυρίως μετά από ένα συγκεκριμένο σεισμικό γεγονός το οποίο προκάλεσε βραχόπτωση (Βογιατζής et al., 2004, Χαραλάμπους et al. 2008).

ενώ σημαντικό ρόλο αποτελούν το είδος του πετρώματος αλλά και το κλίμα της περιοχής. Σύμφωνα με τους Christaras et al. (2010) ισχυρή βροχόπτωση προκάλεσε καταπτώσεις βράχων στον επαρχιακό δρόμο Νέων Μουδανιών–Κασσάνδριας το Δεκέμβριο του 2009. Σύμφωνα με τον βροχομετρικό σταθμό στην Κασσάνδρα την ημέρα της πρώτη κατάπτωσης βράχων ισχυρή βροχόπτωση της τάξης των 56mm έπεσε στην περιοχή, ποσοστό που αντιστοιχούσε στο 81% της βροχόπτωσης ολόκληρου του μήνα (Δεκέμβριος). Οι ερευνητές

που διενήργησαν αυτοψία στην περιοχή συσχέτισαν την κατάπτωση βράχων με την έντονη βροχοπτώση εκείνης της ημέρας. Αρκετοί ερευνητές επίσης έχουν συσχετίσει τη σεισμική δραστηριότητα με φαινόμενα αποκόλλησης και κατάπτωσης βραχωδών τεμαχίων. Αυτό σημαίνει ότι ο συγκεκριμένος μηχανισμός ενεργοποίησης εξαρτάται από τη σεισμική δραστηριότητα της περιοχής. Σύμφωνα με την έρευνα των Sepulveda et al. (2005) σε περιοχές όπου υπάρχει έντονη τεκτονική εμφανίζονται συχνά σεισμοί μικρής έως μεγάλης έντασης που δύναται να επηρεάσουν την ευστάθεια των πρανών ενώ παράλληλα δημιουργούν καταπτώσεις. Η σημαντικότερη παράμετρος είναι η σεισμική επιτάχυνση που εμφανίζεται σε κάποια περιοχή, παρά το γενικότερο μέγεθος του σεισμού, ενώ σε παρόμοια γεωμορφολογικά πρανή με αντίστοιχες γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες, η πιθανή μεγέθυνση της σεισμικής δράσης είναι αυτή που θα προκαλέσει περισσότερες βραχοπτώσεις. Η επιρροή του σεισμού σύμφωνα με τους Χαραλάμπους και συνεργάτες (2008), είναι ότι η σεισμική δράση δημιουργεί ελαστικά κύματα διαφορετικής συχνότητας στους γεωλογικούς σχηματισμούς με αποτέλεσμα την προσωρινή μεταβολή των τάσεων στα πρανή. Σε ήδη ασταθείς γεωλογικές μάζες, η σεισμική δραστηριότητα προσθέτει οριζόντια φόρτιση η οποία τις ωθεί σε αστοχία.

Όσον αφορά στις βροχοπτώσεις, περιλαμβάνονται στις κλιματολογικές συνθήκες, οι οποίες αφορούν στις μεταβολές των καιρικών συνθηκών ανά συγκεκριμένα χρονικά όρια. Άλλα παρόμοια φαινόμενα αποτελούν οι ισχυροί άνεμοι, ακραίες θερμοκρασιακές μεταβολές, χιονοπτώσεις, παγετοί κλπ.

Δευτερεύοντες αλλά εξίσου σημαντικοί μηχανισμοί ενεργοποίησης αποτελούν (Apostolou et al., 2014)

- ❖ οι ανθρωπογενείς παράγοντες (όπως για παράδειγμα η επιβολή κραδασμών-δονήσεων, η μεταβολή στην κλίση του πρανούς, κατασκευή γεωτεχνικών έργων κλπ)
- ❖ βλάστηση
- ❖ φυτοκάλυψη
- ❖ ζωική επίδραση
- ❖ ορειβάτες

1.1.3 Προστατευτικά μέτρα

Για την επιλογή των κατάλληλων προστατευτικών μέτρων πρέπει να είναι γνωστό το μέγεθος της βραχομάζας. Αρχικά, τα πιο συνηθισμένα από αυτά, είναι ο σχεδιασμός υπόστεγου, περιφράξεων και αναχωμάτων (φυσικά ή τεχνητά ανοίγματα συσσώρευσης χωμάτων από εκσκαφή για τον έλεγχο ή περιορισμό του νερού ή της βραχομάζας). Άλλα προστατευτικά μέτρα αποτελούν οι μικροπάσσαλοι, βίδες και τα αγκύρια. Ως φυσικά συστήματα προστασίας, θεωρούνται τα δάση. Η προστατευτική τους επίδραση οφείλεται βασικά στην επίδραση φραγμού (απώλεια ενέργειας) της βλάστησης. Αν αυτό το φαινόμενο φραγμού είναι αποτελεσματικό ή όχι καθορίζεται από το μέγεθος και την

κινητική ενέργεια του βράχου, τη συνολική δασική έκταση που συνεισφέρει στην αναχαίτιση του βράχου, καθώς και τα είδη των δένδρων (Berger and Dorren, 2007). Σε περίπτωση μεγαλύτερου όγκου βράχων, μπορεί να πραγματοποιηθεί η έναρξη μιας ελεγχόμενης κατολίσθησης, λαμβάνοντας τα αποτελέσματα από το σεισμικό σύστημα παρακολούθησης βραχοπτώσεων με σκοπό την εκτίμηση του κινδύνου, με αριθμητικές προσομοιώσεις και πειράματα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα παρακολούθησης αποτελεί η κατολίσθηση Jinposuke-dani, η οποία είναι η πιο ενεργή κατολίσθηση της ορεινής περιοχής της Haku-san, στην Ιαπωνία, με ρυθμό που αγγίζει τα 10cm/yr. Το φαινόμενο εξελίσσεται εντός του γεωλογικού σχηματισμού Tedorì, ο οποίος αποτελείται από εναλλασσόμενα στρώματα αργιλικού σχιστόλιθου (shale) και ψαμμίτη. Η κλίση του πρανούς είναι 22 μοίρες. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τον υψηλό κίνδυνο που διατρέχουν 1200 άνθρωποι από πιθανή βραχόπτωση, οδήγησε το αρμόδιο Υπουργείο της Ιαπωνίας στην υιοθέτηση ενός 7ετούς προγράμματος εκτεταμένης ενόργανης παρακολούθησης, με σκοπό τον εντοπισμό των παραγόντων που επηρεάζουν την κατολίσθηση και τον επακόλουθο σχεδιασμό των μέτρων υποστήριξής της.

1.1.4 Αποτίμηση της επικινδυνότητας

Για την αποτίμηση της επικινδυνότητας των βραχοπτώσεων απαραίτητη προϋπόθεση είναι τα φυσικά χαρακτηριστικά του πρανούς να είναι γνωστά (ύψος, γωνία πρανούς, υλικό, συνοχή, γωνία τριβής κτλ). Προκειμένου να εκτιμηθεί η επικινδυνότητα των κατολισθήσεων που συνδέονται με διάφορες καταστροφές και να δοθεί προτεραιότητα στις πιστώσεις για έργα συντήρησης και αποκατάστασης, το Υπουργείο Μεταφορών του Όρεγκον (ΗΠΑ) ανέπτυξε ένα σύστημα ταξινόμησης (Rockfall Hazard Rating System), ειδικά σχεδιασμένο για αυτοκινητόδρομους, (Pierson et al., 1990, National Highway Institute 1993, Scesi et al., 2001), για τον εντοπισμό επικίνδυνων πλαγιών που απαιτούν επείγουσα αποκατάσταση ή περαιτέρω μελέτη. Αρκετές μελέτες στη Νότια Ιταλία εξέτασαν τη δυνατότητα εφαρμογής του Συστήματος Αξιολόγησης Κινδύνου Βραχόπτωσης (Rockfall Hazard Rating System - RHRS) και η μέθοδος έδειξε κάποιες κρίσιμες πτυχές (Budetta και Panico, 2002). Το Σύστημα Αξιολόγησης Κινδύνου Βραχόπτωσης (RHRS) αποτελεί ένα ενεργητικό εργαλείο που επιτρέπει στους οργανισμούς μεταφορών να αντιμετωπίζουν κατασταλτικά τους κινδύνους που προκαλούνται από βραχοπτώσεις, αντί να δρουν απλώς θεραπευτικά στα ατυχήματα από αυτές. Το RHRS παρέχει έναν αξιόπιστο, τυποποιημένο τρόπο για να κατασκευαστεί σωστά ένας αυτοκινητόδρομος, αποτιμώντας αριθμητικά τον κίνδυνο για βραχοπτώσεις κατά μήκος των οδικών δικτύων. Στην τροποποιημένη μέθοδο του RHRS (Budetta και Panico, 2002), για την αξιολόγηση της επικινδυνότητας των βραχοπτώσεων-κατολισθήσεων μελετούνται και παρακολουθούνται οι εξής παράμετροι:

- H = Ύψος κλίσης
- AVR = Μέσος Κίνδυνος Οχήματος

- D_a = Η εκτιμώμενη απόσταση που επιτρέπει στον οδηγό να σταματήσει πριν την βραχόπτωση (σε περίπτωση που υπάρχει)
- L_c = Πλάτος Δρόμου
- D_b = Μέγεθος Βραχομάζας
- V_{fall} = Όγκος βραχόπτωσης ανά περιστατικό
- h = Ετήσια βροχόπτωση
- f = Συχνότητα Βραχόπτωσης

Μεγάλο μέρος της βαθμολογίας του RHRS είναι υποκειμενικό. Η σωστή εκπαίδευση στην εφαρμογή RHRS είναι απαραίτητη για να εξασφαλιστεί η συνοχή των αξιολογήσεων μεταξύ διαφορετικών κριτών και να εξασφαλίζεται ομοιογένεια στην αριθμητική αποτίμηση του κινδύνου βραχοπτώσεων. Η τροποποιημένη μέθοδος RHRS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για χωροταξικό σχεδιασμό πριν εκτελεστούν μελέτες με περισσότερες λεπτομέρειες. Κύριος σκοπός της μεθόδου αυτής είναι να επισημάνει τα όρια και τα πλεονεκτήματα καθώς και να παρουσιάσει τις αλλαγές που εισήχθησαν για τη βελτίωση της προαναφερθείσας μεθόδου. Με την τροποποιημένη μέθοδο, οι εκτιμήσεις για τις παραπάνω παραμέτρους, το ύψος κλίσης, τον όγκο του βράχου, το μέγεθος της βραχομάζας, την ετήσια βροχόπτωση κλπ. έχουν καταστεί ευκολότερες και πιο αντικειμενικές.

1.2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΒΡΑΧΟΠΤΩΣΕΩΝ/ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Η σεισμική παρακολούθηση δίνει την ευκαιρία να μελετηθούν οι μηχανισμοί ενεργοποίησης των βραχοπτώσεων σε μια μικρή περιοχή, με πολύ ακριβείς καταγραφές. Αυτή η μέθοδος είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη, επιτρέποντας να καταγράψει αρκετές χιλιάδες γεγονότα ανά έτος. Σε ένα σύστημα παρακολούθησης κατολισθήσεων, τα σεισμόμετρα ανιχνεύουν μικρο-σεισμούς, οι οποίοι προκαλούνται από την μετακίνηση του πρσανούς, λόγω της ολίσθησης των γεωϋλικών αλλά και της κατάπτωσης βράχων. Συνεπώς η σεισμολογία εμφανίζεται ως μια πολλά υποσχόμενη τεχνική για να συμπληρώσει τις κλασσικές τεχνικές για την παρακολούθηση ενεργών κατολισθήσεων. Για παράδειγμα στις γαλλικές Άλπεις, το S'echilienne rockslide είναι ένα από τα φυσικά φαινόμενα που παρουσιάζουν τον υψηλότερο κίνδυνο όσον αφορά στα κοινωνικοοικονομικά αποτελέσματα των κατολισθήσεων. Η ενεργή αυτή κατολίσθηση, είναι πιθανό να προκαλέσει ένα φυσικό φράγμα που θα εμπόδιζε τη ροή του ποταμού Romanche που βρίσκεται ακριβώς από κάτω [Panet, 2000]. Κάτι τέτοιο, θα μπορούσε να έχει ολέθριες συνέπειες για τους ανθρώπους και τις ανθρώπινες υποδομές. Για τους λόγους αυτούς, στην περιοχή αυτή έχει εγκατασταθεί από το 1988 ένα δίκτυο παρακολούθησης των μετατοπίσεων πολλαπλών τεχνικών (GPS, λείζερ, ραντάρ) και ένας μετεωρολογικός

σταθμός. Τα τοπικά σεισμολογικά δίκτυα έχουν χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση ενεργών κατολισθήσεων. Οι περισσότερες σεισμολογικές μελέτες έχουν χρησιμοποιήσει περιφερειακά δίκτυα, με σκοπό την παρακολούθηση της σεισμικότητας (McSaveney and Downes, 2002). Γενικότερα, η σεισμολογία χρησιμοποιείται για τη μελέτη διάδοσης μιας βραχόπτωσης, την ανίχνευση προειδοποιητικών σημάτων καθώς και στην ανάλυση διάφορων παραμέτρων της περιοχής μελέτης που επιδρούν στις κατολισθήσεις-βραχοπτώσεις. Πιο συγκεκριμένα,

- Ο Norris (1994) χρησιμοποίησε σεισμικούς σταθμούς για την ανίχνευση βραχοπτώσεων για τρία ηφαίστεια.
- Οι McSaveney (2002) και McSaveney and Downes (2002) μέτρησαν το χρόνο έναρξης, τη διάρκεια, την ένταση και την ταχύτητα των βραχοπτώσεων στη Νέα Ζηλανδία με τη βοήθεια των σεισμικών σημάτων.
- Σύμφωνα με τους Deparis et al. (2008) διερευνήθηκαν δέκα κατολισθήσεις που σημειώθηκαν στις Γαλλικές Άλπεις και καταγράφηκαν από περιφερειακό σεισμολογικό δίκτυο και προσπάθησαν να συνδέσουν τις σεισμικές παραμέτρους με τις ιδιότητες της βραχόπτωσης.
- Σύμφωνα με τους Brodsky et al. (2003) με την χρήση σεισμικών κυμάτων χαρακτηρίστηκαν τρεις τεράστιες κατολισθήσεις παγκοσμίως.
- Σύμφωνα με τους Del Gaudio et al. (2008) έγινε καταγραφή μικρο-δονήσεων σε περιοχή επιρρεπή σε βραχοπτώσεις στην κεντρική Ιταλία.
- Ειδικά σχεδιασμένα μόνιμα δίκτυα εγκαταστάθηκαν στη Νορβηγία λόγω της κατολίσθησης Aknes (Roth and Blikra, 2005) καθώς και στις Ελβετικές Άλπεις λόγω της κατολίσθησης Randa (Spillmann et al., 2007), προκειμένου να χαρακτηριστεί η μικρο-σεισμικότητά τους.
- Σύμφωνα με τους Amitrano et al. (2005) παρατηρήθηκε προειδοποιητική μικρο-σεισμικότητα πριν από την κατάρρευση ενός απότομου βράχου στη Νορμανδία.

Το έργο «ΙΣΤΡΙΑ - Ανάπτυξη Ολοκληρωμένου Συστήματος Αναγνώρισης Βραχοπτώσεων σε Αυτοκινητόδρομους», (Partsinevelos et.al 2016) αποτελεί προσπάθεια για την πρόγνωση και παρακολούθηση του φαινομένου, αλλά και της έγκαιρης ανίχνευσής του. Έτσι, οι φορείς διαχείρισης των αυτοκινητοδρόμων, αλλά και οι απλοί χρήστες του οδικού δικτύου να ενημερώνονται έγκαιρα ώστε να λαμβάνουν τα απαραίτητα μέτρα ασφαλείας.

1.3 ΛΟΓΟΣ STA/LTA

Η μέση τιμή βραχείας διάρκειας (Short Time Average – STA) σχετίζεται με την ανάλυση χρονοσειρών για τον εντοπισμό απότομων μεταβολών του πλάτους, του μετρούμενου μεγέθους, όπως για παράδειγμα, ενός σεισμού. Η μέση τιμή μακράς διαρκείας (Long Time Average - LTA) παρέχει πληροφορίες σχετικά με το πλάτος του τυχαίου θορύβου συναρτήσει του χρόνου. Ο λόγος αυτών των δυο (STA/LTA) είναι ο πιο συνηθισμένος δείκτης που χρησιμοποιείται σε συστήματα παρακολούθησης δονήσεων για τον αυτόματο εντοπισμό αυτών, που προκαλούνται λόγω σεισμού (Trnkoczy, 1999). Πιο συγκεκριμένα,

χρησιμοποιείται σε φορητές συσκευές εγγραφής σεισμικών γεγονότων καθώς και σε πακέτα λογισμικού για την επεξεργασία των αδύνατων σημάτων ενός σεισμικού δικτύου. Υπολογίζει συνεχώς τις μέσες τιμές του πλάτους ενός σεισμικού σήματος σε δύο χρονικά παράθυρα διαφορετικού μήκους. Όταν ο λόγος των STA/LTA υπερβαίνει μια προκαθορισμένη τιμή-όριο, ένα γεγονός θεωρείται ότι οφείλεται σε σεισμική δόνηση και τα δεδομένα αρχίζουν να καταγράφονται σε ένα αρχείο. Ο κύριος στόχος, , τόσο για τις βέλτιστες τιμές των χρονικών παραθύρων STA και LTA, όσο και για την βέλτιστη επιλογή της τιμής-ορίου του λόγου STA/LTA είναι η υψηλότερη δυνατή ευαισθησία του συστήματος παρακολούθησης για ένα συγκεκριμένο τύπο σεισμικού σήματος, επιτρέποντας την καταγραφή ακόμα και των πιο αδύναμων σεισμικών δονήσεων που προέρχονται από το φαινόμενο που μελετάται (πχ. Σεισμοί) με τον ελάχιστο αριθμό ψευδών αναγνώρισεων (false alarms).

1.3.1 Εφαρμογές μεθοδολογίας

Η τοποθεσία του συμβάντος, δηλαδή η θέση της δόνησης, είναι ένα σημαντικό μέγεθος στην επεξεργασία των μικροσεισμικών δεδομένων. Για τους αλγορίθμους που καθορίζουν τη θέση βάσει των χρόνων άφιξης των κυμάτων P (διαμήκη) και S (εγκάρσια), η ακριβής επιλογή χρόνου είναι καθοριστική. Έχουν προταθεί διαφορετικές μεθοδολογίες για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας συλλογής των πρώτων αφίξεων με το πιο συνηθισμένο το λόγο (STA / LTA) (Allen, 1978). Ο λόγος STA / LTA υπολογίζεται πάνω σε μια χαρακτηριστική συνάρτηση, η οποία εκφράζει συνήθως η ενέργεια της σεισμικής δόνησης. Ο Allen (1978) χρησιμοποιεί επίσης μια συνάρτηση που λαμβάνει υπόψη την χρονική παράγωγο του σεισμικού ίχνους, δίνοντάς του ένα βάρος που εξαρτάται από τον λόγο σήματος προς θόρυβο (SNR). Οι Braathen et al., 2004 πραγματοποίησαν εκτεταμένη έρευνα σε βραχώδεις αστοχίες πρηνών στην Νορβηγία. Μέρος της ερευνάς τους αφορούσε και την περίπτωση της σεισμικής διέγερσης ως παράγοντα αποσταθεροποίησης και κατάπτωσης βράχων. Επίσης, σύμφωνα με τους Mavrouli et al., 2008 η πιο σημαντική επίδραση στην δημιουργία καταπτώσεων βραχωδών τεμαχών αποτελεί η εδαφική σεισμική επιτάχυνση καθώς και τα φαινόμενα ενίσχυσης της σεισμικής επιτάχυνσης λόγω μορφολογίας (topographic amplification) σε απότομα πρηνή.

1.4 ANALYSE FRACTAL (POWER SPECTRAL METHOD)

Ο όρος fractal που επινοήθηκε αρχικά το 1975 από τον Μάντελμπροτ αναφέρεται σε ένα γεωμετρικό σχήμα το οποίο επαναλαμβάνεται συνεχώς σε άπειρο βαθμό μεγέθυνσης (Χαμαλίδης, 2010). Ουσιαστικά fractal καλούνται αντικείμενα στον χώρο ή διακυμάνσεις στο χρόνο που αποτελούνται από – παρόμοια με το όλον- επιμέρους μέρη και όταν υποβάλλονται σε μεγεθύνσεις κλίμακας εμφανίζουν όλο και μεγαλύτερη λεπτομέρεια στη δομή τους και συνεπώς με μεγέθυνση προκύπτει μεγαλύτερη ακρίβεια στην εκάστοτε μέτρησή τους. Παρουσιάζουν δηλαδή κάποια μορφή αυτό-ομοιότητας και δεν μπορούν να περιγραφούν με χρήση μιας μοναδικής κλίμακας μέτρησης (Πολυχρονάκη, 2011). Στα ελληνικά ο όρος fractal αποδίδεται ως μορφόκλασμα ή μορφοκλασματικό σύνολο. Σύμφωνα με τους Karlan and Glass (Πολυχρονάκη, 2011) ορισμένα παραδείγματα τέτοιων

αντικειμένων που συναντώνται στη φύση και τη βιολογία είναι : το αρτηριακό σύστημα, το βρογχικό δέντρο των πνευμόνων, οι ακτογραμμές και τα σύννεφα.

Η ανάλυση fractal μιας χρονοσειράς υλοποιείται στο πεδίο συχνοτήτων, όπου δημιουργείται ένα διάγραμμα, με οριζόντιο άξονα τον λογάριθμο του δείκτη των δειγμάτων στο χώρο της συχνότητας (IF) και κατακόρυφο άξονα τον λογάριθμο της φασματικής πυκνότητας ισχύος (Power Spectral Density - PSD) της χρονοσειράς (Gholamy, et al., 2008). Από το διάγραμμα αυτό προκύπτει μια ευθεία γραμμή όπου ο λογάριθμος της φασματικής πυκνότητας ισχύος υπολογίζεται ως εξής :

$$\log[\text{PSD (IF)}] = a \cdot \log(\text{IF}) + b \quad (1.1)$$

Η διάσταση fractal (D) είναι το μέτρο Hausdorff, το οποίο δίνεται από (Turcotte, 1997; Gholamy et al., 2008):

$$D = (5 + a) / 2 \quad (1.2)$$

Η παράμετρος "a" αντιστοιχεί στην κλίση της ευθείας της Εξίσωσης 1.1 και είναι σε γενικές γραμμές ένας αρνητικός αριθμός. Όσο ευρύτερο είναι το φάσμα, τόσο υψηλότερη αναμένεται να είναι η διάσταση fractal. Αυτό σημαίνει ότι εάν το εύρος είναι μικρό σε σχετικά χαμηλές συχνότητες, αναμένεται και η διάσταση fractal να είναι χαμηλή ενώ αν το εύρος είναι μεγάλο (σε σχετικά υψηλή συχνότητα), αναμένεται και η διάσταση fractal να είναι υψηλή.

1.4.1 Εφαρμογές μεθοδολογίας

Οι καταγραφές σεισμικών κυμάτων στην επιφάνεια του εδάφους, περιέχουν πληροφορίες σχετικά με το πάχος και την ακουστική εμπέδηση των γεωλογικών σχηματισμών του υπεδάφους. Η οριοθέτηση των σεισμικών ανακλαστήρων είναι μια επίπονη εργασία. Οι μέθοδοι fractal διευκολύνουν την αυτόματη επιλογή των χρόνων διαδρομής ανακλώμενων κυμάτων όπου σε συνδυασμό με την ανθρώπινη νοημοσύνη πραγματοποιείται η οριοθέτηση των ανακλαστήρων. Η συλλογή αυτή περιλαμβάνει μια απόφαση για την ανίχνευση ξαφνικών αλλαγών στο πλάτος, τη συχνότητα και τη φάση των σεισμικών ιχνών. Η διάσταση fractal ενός σήματος σχετίζεται με την πολυπλοκότητά της και μετράται σε ένα κινούμενο παράθυρο χρόνου προκαθορισμένου μεγέθους αναλόγως την μέθοδο που χρησιμοποιείται. Η εφαρμογή των μεθόδων fractal στη διαδικασία της αυτόματης επιλογής σεισμικών καταγραφών είναι μια σχετικά νέα έννοια. Μια σεισμική καταγραφή είναι ένα περίπλοκο αντικείμενο το οποίο δεν μπορεί να περιγραφεί από μια μόνο παράμετρο όπως την διάσταση fractal. Οι Meissner and Meixner (1969) έδειξαν ότι τα σεισμικά κύματα που ανακλώνται στις άνω και κάτω διεπιφάνειες ενός λεπτού γεωλογικού στρώματος συμβάλουν μεταξύ τους και κατασκευάζουν ένα νέο σχέδιο κυματομορφής. Οι Taner et al (1979) χρησιμοποίησαν αναλυτικά σεισμικά ίχνη για τον υπολογισμό στιγμιαίων σεισμικών χαρακτηριστικών. Ο Barnes (1993) εισήγαγε την ιδέα της χρήσης στιγμιαίων χαρακτηριστικών για τη μελέτη σεισμικών κυμάτων.

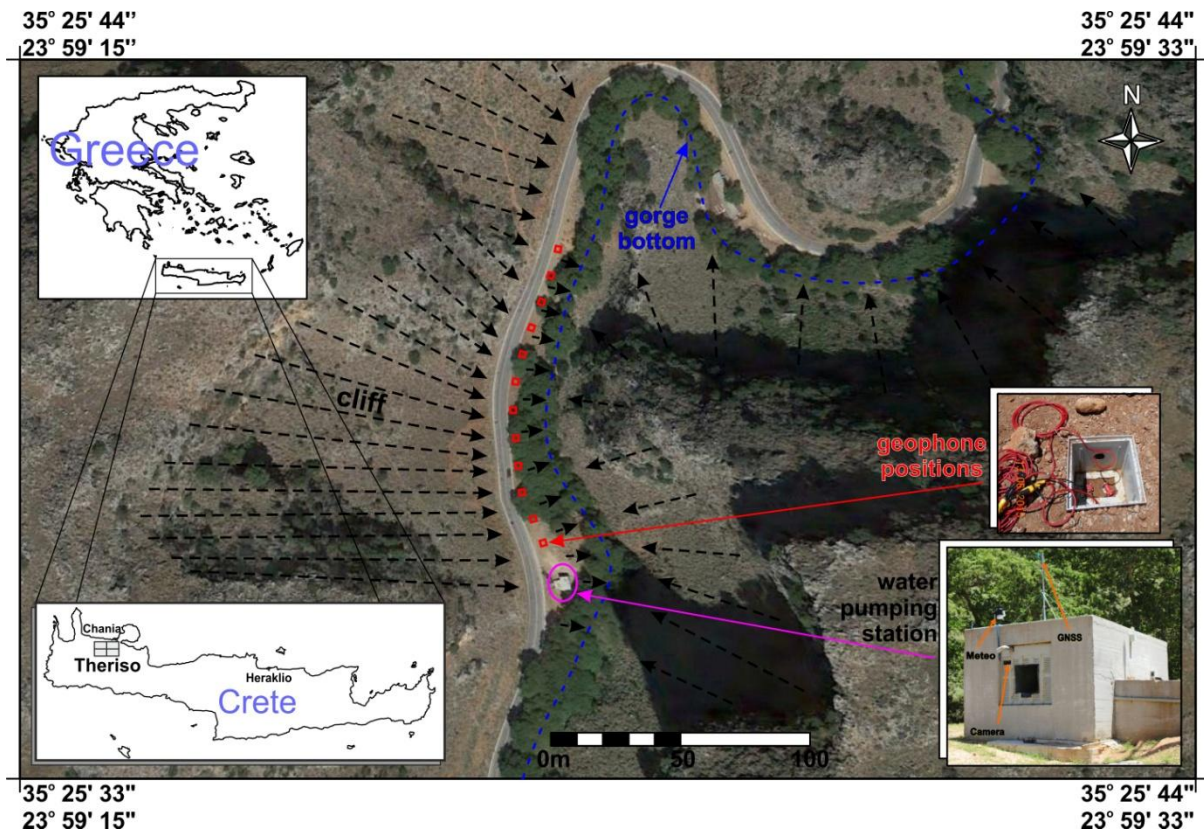
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο : ΘΕΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μια συνέχεια στο έργο ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ 2011» που χρηματοδοτήθηκε από το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Ανταγωνιστικότητα & Επιχειρηματικότητα» - ΕΠΑΝ II & Επιχειρησιακά Προγράμματα των Περιφερειών σε Μετάβαση στα πλαίσια του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ) 2007-2013 με συγχρηματοδότηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης, του Ευρωπαϊκού Ταμείου Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ) και της Ελλάδας. Σκοπός της εργασίας είναι, η εύρεση των βέλτιστων παραμέτρων στους αλγόριθμους επεξεργασίας για την βελτιστοποίηση του σεισμικού συστήματος παρακολούθησης βραχοπτώσεων ενώ ταυτόχρονα προκύπτει ο ελάχιστος αριθμός ψευδών προειδοποιήσεων.

2.1 ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή στην οποία πραγματοποιήθηκαν οι πειραματικές μετρήσεις βρίσκεται επί της επαρχιακής οδού Χανίων – Θερίσου, περίπου 12 χλμ. νοτιοδυτικά της πόλης των Χανίων της Κρήτης, στην Ελλάδα (Σχήμα 2.1). Πρόκειται για μια θέση στα όρια επαρχιακού δρόμου όπου η κυκλοφορία των αυτοκινήτων είναι συχνή, ειδικά το καλοκαίρι λόγω τουριστικής επισκεψιμότητας του Θερίσου. Το τοπογραφικό ανάγλυφο είναι εξαιρετικά έντονο καθώς ο δρόμος διέρχεται μέσα από φαράγγι, αντιπροσωπεύοντας την μορφολογία των περισσότερων περιοχών που αντιμετωπίζουν προβλήματα βραχοπτώσεων. Στην περιοχή του Θερίσου, η βραχώμαζα είναι κατακερματισμένη και τα ίχνη βραχοπτώσεων στο πόδι του πρανούς, αλλά και στο οδόστρωμα, καταδεικνύουν την συχνή εκδήλωση του φαινομένου. Σύμφωνα με τους μελετητές της «Προκαταρκτικής Μελέτης Γεωλογικής Καταλληλότητας» (Δρ. Παυλάκη Αικ. – Λιονής Μιχ., 2003) τόσο στην ίδια όσο και στην ευρύτερη περιοχή έχει καταγραφεί μεγάλη ζώνη διαμόρφωσης ρηξιγενών πρανών τα οποία και παρουσιάζουν ισχυρές κλίσεις και φιλοξενούν κινητικά φαινόμενα αστοχίας που εκδηλώνονται με καταπτώσεις ποικίλου ως και ογκώδους μεγέθους βραχωδών τεμαχών που χρήζουν συνεχούς παρακολούθησης με επιστημονικά και άλλα μέσα.



Σχήμα 2.1 : Περιοχή δοκιμών παρακολούθησης βραχοπτώσεων επί της επαρχιακής οδού Χανίων-Θερίσου (Parstinevelos et al., 2016. Εικόνα Google Earth™, 27.11.2015).

2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ

Το σύστημα παρακολούθησης που έχει εγκατασταθεί στην περιοχή μελέτης αποτελείται από τα εξής όργανα (Σχήματα 2.2-2.4):

- 12 γεώφωνα κατακόρυφης και 12 γεώφωνα οριζόντιας συνιστώσας ιδιοσυχνότητας 4.5 Hz
- ένας 24κάναλος σειсмоγράφος SUMMIT HYDRA (DMT) ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για να καταγράψει τις δονήσεις των βραχοπτώσεων
- ένα επιταχυνσιόμετρο
- ένα GPS
- ένας μετεωρολογικός σταθμός
- υπολογιστικό σύστημα (Server Dell Power Edge T320 E5-2420) για την αποθήκευση και επεξεργασία των δεδομένων
- μια κάμερα

Τα επιστημονικά όργανα του συστήματος παρακολούθησης βραχοπτώσεων εγκαταστάθηκαν σε αντλιοστάσιο που βρίσκεται στην περιοχή μελέτης (Σχήμα 2.1). Για την προστασία των γεωφώνων, τοποθετήθηκαν μέσα σε φρεάτια (Σχήμα 2.2). Το καλώδιο διασύνδεσης των γεωφώνων με τον σειсмоγράφο τοποθετήθηκε μέσα σε πλαστικό σωλήνα, ο οποίος θάφτηκε σε χάνδακα πλάτους 0,40 m, βάθους 0,40 m και συνολικού μήκους 140 μέτρων. Επίσης, πραγματοποιήθηκε κατασκευή και τοποθέτηση ιστού για την τοποθέτηση της κεραίας του δορυφορικού συστήματος εντοπισμού, ηλεκτρολογική σύνδεση και δημιουργία ανεξάρτητης παροχής ρεύματος, εγκατάσταση μετεωρολογικού σταθμού, τοποθέτηση πίνακα προστασίας των οργάνων στο εσωτερικό του αντλιοστασίου και τέλος, εγκατάσταση εικονοληπτικής μηχανής ανίχνευσης κίνησης σε κατάλληλη θέση. (Σχήμα 2.4)

Ο εξοπλισμός πλαισιώνεται από ένα σύστημα λήψης αποφάσεων που αξιολογεί τα δεδομένα από τα όργανα και εκδίδει ειδοποίηση στέλνοντας e-mail όταν ανιχνεύεται βραχώπτωση ή/και αποθηκεύει τα δεδομένα όταν ενεργοποιηθεί κάποιο γεγονός (event) από τον σειсмоγράφο αλλά δεν έχει χαρακτηριστεί ως βραχώπτωση (false) με βάση τα υπόλοιπα διαθέσιμα στοιχεία. Πιο συγκεκριμένα, κοντά σε ένα αντλιοστάσιο νερού τοποθετήθηκαν 12 ζεύγη γεωφώνων κατακόρυφης και οριζόντιας συνιστώσας ιδιοσυχνότητας 4.5Hz σε ίσες αποστάσεις των 10 μέτρων κατά μήκος του δρόμου (Σχήμα 2.1). Σε όλες τις θέσεις παρατήρησης, τα γεώφωνα οριζόντιας συνιστώσας ήταν προσανατολισμένα κάθετα στην γραμμή μελέτης, δηλαδή κάθετα στο δρόμο και το πραινές.



Σχήμα 2.2 : (Αριστερά) Στο εσωτερικό του αντλιοστασίου έχουν τοποθετηθεί ο σειсмоγράφος, υπολογιστής, ο δέκτης δορυφορικού εντοπισμού, η μονάδα καταγραφής του μετεωρολογικού σταθμού, τα συστήματα τηλεπικοινωνιών. (Δεξιά) Γεώφωνα τοποθετημένα μέσα στο φρεάτιο για την προστασία τους.



Σχήμα 2.3: (Αριστερά) ο επιταχυνσιογράφος. (Δεξιά) Ο αυτόματος μετεωρολογικός σταθμός στη θέση πιλοτικής εγκατάστασης του συστήματος ανίχνευσης βραχοπτώσεων.



Σχήμα 2.4: (Αριστερά): Εξωτερική άποψη του αντλιοστασίου με επισήμανση των θέσεων εγκατάστασης των επιστημονικών οργάνων ανίχνευσης κίνησης (camera), κεραίας του δορυφορικού συστήματος εντοπισμού (GNSS) και μετεωρολογικός σταθμός (meteo). (Δεξιά) Θέσεις φρεατίων.

- **Γεώφωνα :** Η χρήση γεωφώνων για την ανίχνευση δονήσεων που προκαλούνται από βραχοπτώσεις έχει προταθεί από τους Huang et al., (2007) οι οποίοι παρατήρησαν τη δυνατότητα των γεωφώνων να ανιχνεύσουν δονήσεις που προκαλούνται από πτώση βράχων βάρους 12 και 50kg. Σκοπός είναι η διερεύνηση του ελάχιστου μεγέθους βράχου την πτώση του οποίου μπορούν να ανιχνεύσουν τα γεώφωνα, αλλά και η εκτίμηση της σχέσης μεταξύ της απόστασης από την πηγή κρούσης και την ενέργεια κρούσης (Agioutantis et al, 2014).
- **Σεισμογράφος :** Η ορθή παραμετροποίηση του σεισμογράφου αποτελεί σημαντικό παράγοντα επιτυχίας του συστήματος αναγνώρισης βραχοπτώσεων εφόσον χρησιμοποιήθηκε ως το κύριο μέσο ανίχνευσης κατάπτωσης βράχων. Τα μέλη της

ομάδας του έργου πραγματοποίησαν πειραματικές διατάξεις πριν και μετά την μόνιμη εγκατάσταση του σειсмоγράφου και των γεωφώνων στο πεδίο. Κατά την σύνδεση των γεωφώνων με τον σειсмоγράφο, σε μονό αριθμό καναλιών (1,3,5,...,23) έχουν συνδεθεί τα γεώφωνα κατακόρυφης συνιστώσας ενώ σε ζυγό αριθμό καναλιών (2,4,6,...,24) έχουν συνδεθεί τα γεώφωνα οριζόντιας συνιστώσας. Ο σειсмоγράφος παραμετροποιήθηκε έτσι ώστε να μην καταγράφει συνεχώς. Αντίθετα, η καταγραφή των γεγονότων πραγματοποιείται μόνο όταν ικανοποιηθούν τα κριτήρια ενός εσωτερικού αλγόριθμου βασιζόμενου στο λόγο STA/LTA. Οι ρυθμιζόμενες παράμετροι του εσωτερικού αλγόριθμου του σειсмоγράφου έχουν οριστεί με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε, αφενός να αποκλείουν την ενεργοποίηση της καταγραφής από τον τυχαίο θόρυβο, αλλά να διασφαλίζουν την έναρξη της καταγραφής από οποιαδήποτε απότομη δόνηση του εδάφους από φυσικά (π.χ. βραχόπτωση) ή ανθρωπογενή αίτια. Η περαιτέρω αξιολόγηση των καταγραφών πραγματοποιείται σε 2^ο χρόνο (post process).

- Οι πιο σημαντικοί παράμετροι ρύθμισης του σειсмоγράφου είναι:
 - **Sampling Rate (Hz):** Ρυθμός δειγματοληψίας στο χρόνο για κάθε κανάλι. Χρησιμοποιήθηκε 1000 Hz παρέχοντας δυνατότητα για διάστημα δειγματοληψίας ίσο με 1 ms και μέγιστη (Nyquist) συχνότητα καταγραφής εδαφικών ταλαντώσεων έως 500 Hz.
 - **Continuous mode:** Ο σειсмоγράφος μπορεί να λειτουργήσει είτε καταγράφοντας σε συνεχή βάση, είτε ξεκινώντας την καταγραφή μετά την ενεργοποίησή της από κάποιο σεισμικό γεγονός (δόνηση).
 - **STA window (ms):** Χρονικό παράθυρο STA. Ορίστηκε στα 4 ms.
 - **LTA window (ms):** Χρονικό παράθυρο LTA. Ορίστηκε στα 256 ms.
 - **STA/LTA Trigger Ratio:** Ο λόγος ενεργοποίησης STA / LTA αναφέρεται στο κατώτατο όριο του λόγου STA / LTA που εάν ξεπεραστεί σηματοδοτεί την αρχή ενός συμβάντος. Ο λόγος αυτός ορίστηκε στο 3.
 - **STA/LTA De Trigger Ratio:** Ο λόγος απενεργοποίησης STA / LTA αναφέρεται στο όριο του λόγου STA / LTA κάτω από το οποίο σηματοδοτείται η λήξη ενός συμβάντος. Ο λόγος αυτός ορίστηκε στο 1.5.
 - **STA/LTA Timeout (s):** Ο χρόνος ενεργοποίησης μιας καταγραφής. Στην περίπτωση που το De Trigger ratio δεν ικανοποιείται μετά την πάροδο του χρόνου αυτού, επανεξετάζεται ο λόγος STA/LTA σε σχέση με το προκαθορισμένο του όριο (STA/LTA Trigger Ratio). Ορίστηκε στα 2s.
 - **Post Trigger Length:** Το χρονικό διάστημα σε δευτερόλεπτα που καταγράφεται μετά την πρώτη ενεργοποίηση της καταγραφής. Ορίστηκε στα 2 s.

- **Pre Trigger Length:** Το χρονικό διάστημα σε δευτερόλεπτα που προηγείται από την πρώτη ενεργοποίηση της καταγραφής. Ορίστηκε στα 2 s.
- **Re Trigger Length:** Χρονικό παράθυρο σε δευτερόλεπτα κατά το οποίο η καταγραφή επεκτείνεται αν οι συνθήκες ενεργοποίησης (STA /LTA Trigger Ratio) ισχύουν κατά τη διάρκεια του χρονικού παραθύρου που έχει οριστεί η καταγραφή μετά την πρώτη ενεργοποίηση (STA/LTA Timeout). Ορίστηκε στα 0.5 s.
- **Number of required channels for coincidence:** Απαιτούμενος αριθμός καναλιών που πρέπει πληρούν ταυτόχρονα τα κριτήρια ενεργοποίησής τους (STA/LTA Trigger Ratio) για την έναρξη της καταγραφής δεδομένων. Χρησιμοποιήθηκε η τιμή των 6 καναλιών που, κατά κανόνα, αντιστοιχούν σε 3 σταθμούς μέτρησης (φρεάτια).
- **Coincidence overlapping:** Το απαιτούμενο χρονικό διάστημα που πρέπει τα κανάλια να πληρούν ταυτόχρονα τα κριτήρια ενεργοποίησής τους. Χρησιμοποιήθηκε χρόνος ίσος με 1 ms που αντιστοιχεί σε 1 δείγμα στο χρόνο με βάση το διάστημα δειγματοληψίας (βλ. Sampling Rate)

Με βάση τις παραπάνω παραμέτρους, μια καταγραφή που αντιστοιχεί σε βραχύπωση χωρίς παρατεταμένη κύλιση ή/και αναπήδηση του βράχου, αναμένεται να διαρκεί 4.5 s (Pre Trigger Length + Post Trigger Length + Re Trigger Length)

Σε όλα τα κανάλια γίνεται προενίσχυση του αναλογικού σήματος κατά 60 db αντιστοιχώντας έτσι σε ένα δυναμικό εύρος καταγραφής σήματος από -0,0028Volt έως +0,0028Volt για τον 24 bit ψηφιακό a/d μετατροπέα.

<http://www.dmt-group.com/>

<http://www.dmt-group.com/en/products/geo-measuring-systems/summit-system.html>

Configure measurement Theriso

Measurement Channels Scaling Trigger Filter Alarm Time Expert settings

1. Measurement description

Comment 1 STA 4ms, LTA 256 ms, Ratio 3

Comment 2

Comment 3

Comment 4

Location Theriso

Network Theriso-PC

Station name Theriso

2. Measurement setup

Coincidence overlapping [s] 0.001

Continuous mode False

Number of required channels for coincidence 6

PostTrigger Length [s] 2

PreTrigger Length [s] 2

ReTrigger Length [s] 0.5

Sampling rate [Hz] 1000

Slow data channel interval [s] 29.946

3. Time conversion

Convert UTC to local time True

Enable GPS based resampling False

4. Data storage

Create .SHT header file False

Data format SEG-2

Data structuring and naming YMW\DAT-YMDhms.f

Slow data structuring and naming YMW\DAT-YMD

5. Alarm

Delay [s] 0

Duration [s] 0

Coincidence overlapping [s]

Ok Cancel

Σχήμα 2.5: Παράμετροι ρύθμισης του Σεισμογράφου.

Configure measurement Theriso

Measurement Channels Scaling **Trigger** Filter Alarm Time Expert settings

Number	Name	Trigger Algorithm	Trigger Level [Units]	Unit	STA Window [s]	LTA Window [s]	STA/LTA Trigger Ratio	STA/LTA DeTrigger Ratio	STA/LTA Timeout [s]
1	Channel01	Sta/Lta	0	V	0.004	0.256	3	1.5	2
2	Channel02	Sta/Lta	0	V	0.004	0.256	3	1.5	2
3	Channel03	Sta/Lta	0	V	0.004	0.256	3	1.5	2
4	Channel04	Sta/Lta	0	V	0.004	0.256	3	1.5	2
5	Channel05	Sta/Lta	0	V	0.004	0.256	3	1.5	2
6	Channel06	Sta/Lta	0	V	0.004	0.256	3	1.5	2
7	Channel07	Sta/Lta	0	V	0.004	0.256	3	1.5	2
8	Channel08	Sta/Lta	0	V	0.004	0.256	3	1.5	2
9	Channel09	Sta/Lta	0	V	0.004	0.256	3	1.5	2
10	Channel10	Sta/Lta	0	V	0.004	0.256	3	1.5	2
11	Channel11	Sta/Lta	0	V	0.004	0.256	3	1.5	2
12	Channel12	Sta/Lta	0	V	0.004	0.256	3	1.5	2
13	Channel13	Sta/Lta	0	V	0.004	0.256	3	1.5	2
14	Channel14	Sta/Lta	0	V	0.004	0.256	3	1.5	2
15	Channel15	Sta/Lta	0	V	0.004	0.256	3	1.5	2
16	Channel16	Sta/Lta	0	V	0.004	0.256	3	1.5	2
17	Channel17	Sta/Lta	0	V	0.004	0.256	3	1.5	2
18	Channel18	Sta/Lta	0	V	0.004	0.256	3	1.5	2
19	Channel19	Sta/Lta	0	V	0.004	0.256	3	1.5	2
20	Channel20	Sta/Lta	0	V	0.004	0.256	3	1.5	2
21	Channel21	Sta/Lta	0	V	0.004	0.256	3	1.5	2
22	Channel22	Sta/Lta	0	V	0.004	0.256	3	1.5	2
23	Channel23	Sta/Lta	0	V	0.004	0.256	3	1.5	2
24	Channel24	Sta/Lta	0	V	0.004	0.256	3	1.5	2

Ok Cancel

Σχήμα 2.6: Αλγόριθμος STA/LTA και οι τιμές που καταγράφονται για τα χρονικά παράθυρα STA, LTA

- **Επιταχυνσιογράφος** : Ο επιταχυνσιογράφος, όπως και τα γεώφωνα, έχουν τη δυνατότητα καταγραφής δονήσεων του εδάφους. Η κύρια διαφορά τους έγκειται στη συχνότητα έναρξης καταγραφής τους με τα γεώφωνα να καταγράφουν δονήσεις από 15-20Hz έως και 1500Hz ενώ οι επιταχυνσιογράφοι είναι κατασκευασμένοι έτσι ώστε να ανιχνεύουν κυρίως τη περιοχή συχνοτήτων της σεισμικής δραστηριότητας που είναι χαμηλότερη του 1Hz. Η χρήση τους ενδείκνυται για διαρκή καταγραφή των εδαφικών ταλαντώσεων που οφείλονται σε μεγαλύτερης κλίμακας δονήσεις, όπως είναι οι κατολισθήσεις, (μικρο)-σεισμοί κλπ.
- **Δέκτης Δορυφορικού Εντοπισμού – GPS** : Ο δέκτης δορυφορικού εντοπισμού χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση τυχόν μικρομετακινήσεων της θέσης του επιταχυνσιογράφου καθώς και για το συγχρονισμό των επιστημονικών οργάνων που είναι εγκατεστημένα στη πιλοτική θέση. Επίσης, οι μετρήσεις του δέκτη αυτού θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περίπτωση σεισμικής δόνησης για την καταγραφή της μετακίνησης που προκλήθηκε λόγω της σεισμικής διέγερσης.
- **Αυτόματος Μετεωρολογικός Σταθμός** : Οι διάφορες μετεωρολογικές συνθήκες οδηγούν στη δημιουργία βραχόπτωσεων με τις βροχοπτώσεις να αποτελούν τον κύριο μηχανισμό ενεργοποίησης του φαινομένου αυτού. Για το σκοπό αυτό έχει εγκατασταθεί αυτόματος μετεωρολογικός σταθμός για την καταγραφή των παραμέτρων που περιλαμβάνουν τις βροχοπτώσεις, τις χιονοπτώσεις, τις ακραίες μεταβολές θερμοκρασίας, ανέμου κλπ.
- **PC** : Με την χρήση του υπολογιστή, γίνεται συγκέντρωση, έλεγχος και επεξεργασία των καταγραφών. Πιο συγκεκριμένα, κατά την επιβεβαίωση μιας καταγραφής, αναλύεται η χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή σε κάθε στάδιο, όπως περιγράφεται στις επόμενες παραγράφους.
- **Κάμερα** : Εφόσον γίνει ανίχνευση κίνησης σε συγκεκριμένα μικρότερα τμήματα του συνολικού οπτικού πεδίου της κάμερας, πραγματοποιείται περιοδική λήψη φωτογραφιών με σκοπό την αναγνώριση των γεγονότων, δηλαδή αναγνώριση διερχόμενου οχήματος ή πτώση βράχου. Μια συνήθης μικρού μεγέθους βραχόπτωση δεν είναι δυνατό να ενεργοποιήσει την έναρξη της καταγραφής στην κάμερα. Αντίθετα, η ανίχνευση κίνησης σημαίνει πως υπάρχει διέλευση αυτοκινήτου ή πεζού στο οδόστρωμα. Στην περίπτωση αυτή το σύστημα λήψης αποφάσεων δίνει τιμή false στο γεγονός, δηλαδή ότι δεν πραγματοποιήθηκε βραχόπτωση και το σχετικό βίντεο αποθηκεύεται για μετέπειτα επεξεργασία.

Οι λειτουργίες που πραγματοποιεί το ολοκληρωμένο σύστημα λήψης αποφάσεων είναι οι εξής:

A) Ανίχνευση βραχόπτωσης

Η παραμετροποίηση του σειсмоγράφου επιτρέπει την καταγραφή όλων των πιθανών δονήσεων που προκαλούνται στην περιοχή μελέτης όπως έχει φανεί από τις πειραματικές διατάξεις. Ειδικότερα ενεργοποιείται η καταγραφή κατά τη διέλευση οχημάτων, πεζών και κατά την πτώση βράχων μεγέθους ικανού να προξενήσουν ατύχημα σε διερχόμενο όχημα. Ο σειсмоγράφος καταγράφει εγγενώς αρχεία σε μορφή *.sg2 (Pullan, 1990). Μόλις το σύστημα εντοπίσει εγγραφή νέου αρχείου, τότε αυτόματα ενεργοποιείται το πρόγραμμα MATLAB και αφού γίνει η ανάγνωση των δεδομένων, γίνονται ταυτόχρονα οι εξής διαδικασίες:

1) εφαρμογή του τροποποιημένου αλγορίθμου **STA/LTA**.

2) εφαρμογή της ανάλυσης **fractal**

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής των δυο αλγορίθμων δίνονται σε μορφή true (ύπαρξη βραχόπτωσης) ή false (μη ανίχνευση βραχόπτωσης). Εάν η απάντηση είναι false και στις δυο περιπτώσεις τότε δεν γίνεται καμία περαιτέρω διαδικασία. Εάν η απάντηση είναι true έστω σε μία από τις περιπτώσεις τότε αποθηκεύεται στο σύστημα λήψης αποφάσεων η σχετική πληροφορία μαζί με το χρόνο ανίχνευσης του συμβάντος. Τα πρωτογενή αρχεία του σειсмоγράφου, είτε αυτά είναι επιβεβαιωμένα γεγονότα, είτε όχι, αποθηκεύονται για περαιτέρω επεξεργασία.

B) Επιβεβαίωση

Χρησιμοποιώντας δεδομένα από την κάμερα που συλλέγονται σε περιοδικά χρονικά διαστήματα (30 δευτερόλεπτα), όταν αρχειοθετηθεί μια δυνητική καταγραφή βραχόπτωσης, το σύστημα θα καλέσει έναν αλγόριθμο που θα εμφανίζει εικόνες πριν και μετά το συμβάν. Ολόκληρη η διαδικασία αξιολόγησης δεν διαρκεί περισσότερο από 15 δευτερόλεπτα, καθώς όλοι οι αλγόριθμοι εκτελούνται ταυτόχρονα ενώ τα αρχεία ανάγνωσης είναι μικρά (κάθε σεισμική καταγραφή είναι περίπου 40 KB). Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης αποθηκεύονται σε ένα φάκελο στον υπολογιστή. Μόλις επιβεβαιωθεί η ανίχνευση βραχόπτωσης ειδοποιείται αυτόματα μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου ή/και SMS ο Υπεύθυνος του φορέα διαχείρισης. Στο μήνυμα αυτό περιέχονται, η εικόνα των καταγραφών του σειсмоγράφου και του αποτελέσματος εφαρμογής του τροποποιημένου αλγορίθμου STA/LTA, η εικόνα του εικονοληπτικού συστήματος που έχει ληφθεί στην αμέσως επόμενη χρονική στιγμή από την ανίχνευση του γεγονότος και ένα αρχείο μορφής .txt που περιέχει πληροφορίες σχετικά με τον χρόνο του γεγονότος της θέσης του (αν εντοπιστεί στο οδόστρωμα) και με το πλήθος των δεκτών που εντόπισαν το γεγονός.

Δεδομένου ότι τα άλλα συστήματα ανίχνευσης βράχων (δηλαδή, επίγεια σάρωση με λέιζερ ή συμβολομετρία ραντάρ επί εδάφους) πρέπει να επεξεργάζονται μεγάλο αριθμό δεδομένων, το προτεινόμενο σύστημα παρακολούθησης αποτελεί σημαντική διαφοροποίηση από τα άλλα, καθώς επίσης συμβάλλει στην αποτελεσματική εκτίμηση κινδύνου έκτακτης ανάγκης.

Γ) Μετέπειτα επεξεργασία

Η βάση δεδομένων του συστήματος τροφοδοτείται και με τα αρχεία των επιστημονικών οργάνων που θα χρησιμοποιηθούν για την ποσοτική συσχέτιση των επιβεβαιωμένων βραχοπτώσεων με τις καταγραφές των μηχανισμών ενεργοποίησης. (πχ. Βροχοπτώσεων, σεισμικών δονήσεων κλπ.). Εκτός από τις 118 (των 3 πειραμάτων) καταγραφές που οφείλονται σε επιβεβαιωμένες από το σύστημα βραχοπτώσεις, έχουν καταγραφεί επίσης και όλες οι εν δυνάμει βραχοπτώσεις (false) για να είναι δυνατή η περαιτέρω ανάλυση τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο : ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

3.1.1 Ανάλυση STA / LTA

Όπως προαναφέρθηκε, το σύστημα ελέγχει συνεχώς ένα σύστημα φακέλων για τυχόν νέες εγγραφές αρχείων *.sg2. Τότε αυτόματα ενεργοποιείται το πρόγραμμα MATLAB και αρχικά καλείται η συνάρτηση:

```
[STALTARock,Fractals]=rockfalldetect(pathfile);
```

όπου τα δεδομένα εισόδου είναι το pathfile δηλαδή το όνομα και η διαδρομή (path) στον δίσκο του υπολογιστή όπου βρίσκεται το αρχείο της μορφής *.sg2 που έχει μόλις εντοπιστεί ως νέα εγγραφή, ενώ τα δεδομένα εξόδου είναι οι μεταβλητές STALTARock και Fractals.

Όταν τα πρώτα σεισμικά δεδομένα καταγράφονται από το SUMMIT HYDRA, τότε ο αλγόριθμος "rockfalldetect" ξεκινά αυτόματα σε περιβάλλον MATLAB για να αξιολογήσει εάν η καταγραφή αποδίδεται σε βραχύπτωση. Τα στάδια επεξεργασίας είναι τα εξής:

Βήμα 1 : Με τη χρήση μετασχηματισμού Hilbert (Withers,1998) υπολογίζεται το στιγμιαίο πλάτος για κάθε σεισμικό ίχνος και στη συνέχεια ο κινητός μέσος όρος του χρησιμοποιώντας προκαθορισμένες τιμές για τις παραμέτρους STA (πχ. 32ms) και LTA (πχ. 512ms) (Whithers et al., 1988). Χρονικά παράθυρα με αναλογία μεγαλύτερη ή ίση με μια προκαθορισμένη τιμή αναλογίας STA / LTA (πχ. 2.2), είναι υποψήφια περιστατικά για βραχύπτωση.

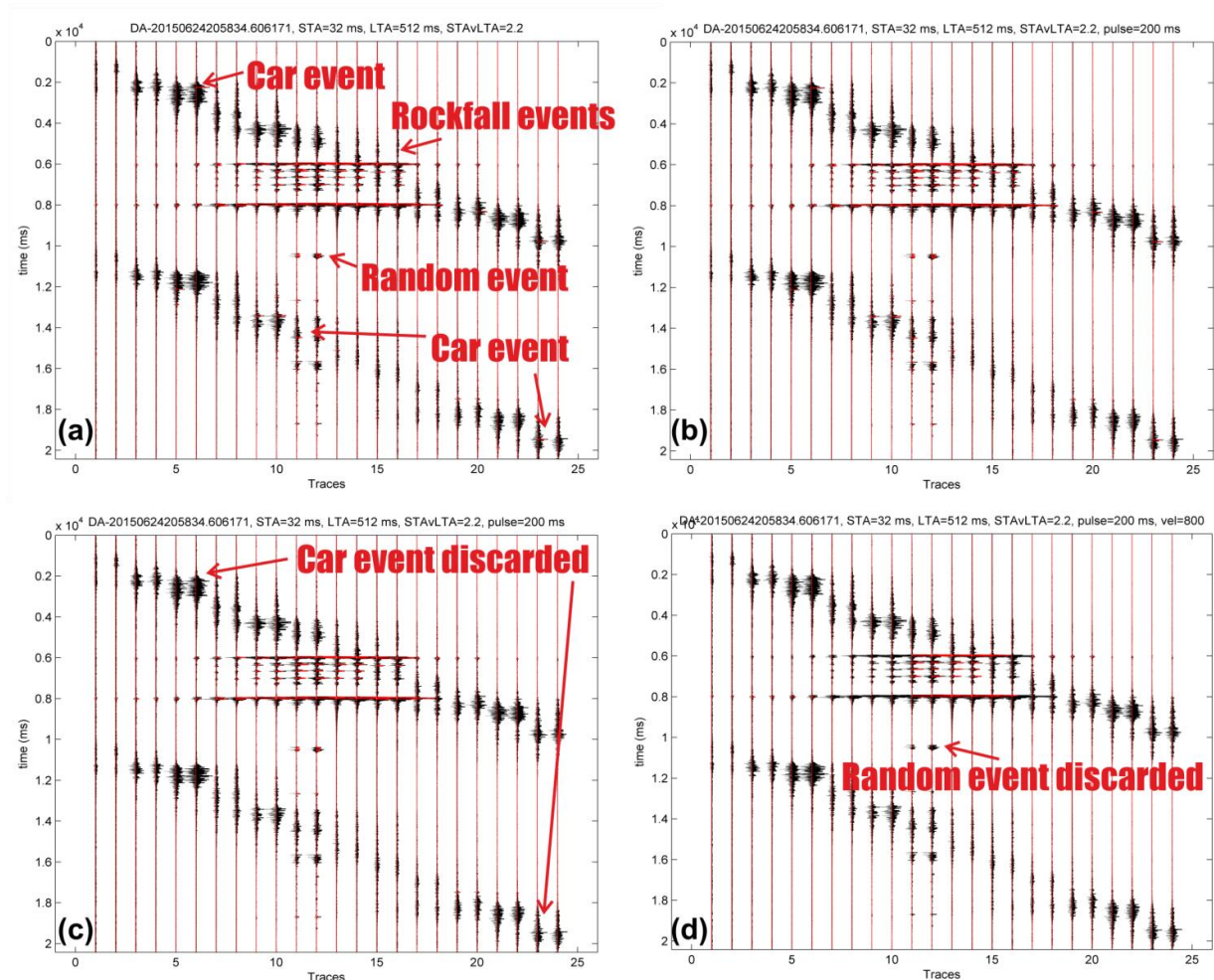
Βήμα 2 : Δεδομένου ότι οι σεισμικές δονήσεις που δημιουργούνται από μια κατολίσθηση έχουν μικρή διάρκεια, κάθε υποψήφιο περιστατικό από τις καταγραφές που έχουν εντοπιστεί από το βήμα 1 εξετάζεται για τη διάρκειά του. Τα αρχεία που έχουν διάρκεια μεγαλύτερη από προκαθορισμένο χρόνο (πχ. 200ms) απορρίπτονται.

Βήμα 3 : Οι καταγραφές από το Βήμα 2, όπου τόσο η κατακόρυφη συνιστώσα (μονός αριθμός καναλιών σειсмоγράφου) όσο και η οριζόντια συνιστώσα (ζυγός αριθμός καναλιών σειсмоγράφου) έχουν ταυτόχρονα STA / LTA μεγαλύτερη ή ίση με τη προκαθορισμένη αναλογία STA / LTA (2.2) χρησιμοποιούνται για να εξεταστούν στο βήμα 4.

Βήμα 4 : Βρίσκει εάν οι πρώτες αφίξεις από δύο γειτονικούς δέκτες κατακόρυφης ή οριζόντιας συνιστώσας εμφανίζουν σεισμική ταχύτητα μεγαλύτερη ή ίση από μια

προκαθορισμένη τιμή (πχ. 800m/s). Οι καταγραφές πρώτων αφίξεων με ταχύτητα μικρότερη από τη προκαθορισμένη απορρίπτονται.

Στη συνέχεια ακολουθούν εικόνες-παραδείγματα για κάθε ένα βήμα που περιγράφηκε παραπάνω.



Σχήμα 3.1: α) Εντοπισμός καταγραφών με τιμή STALTA μεγαλύτερο από 2.2 β) Εξέταση της διάρκειας καταγραφής γ) Καταγραφές που εντοπίζονται μόνο σε ένα είδος γεωφώνων (οριζόντιας ή κατακόρυφης συνιστώσας) απορρίπτονται δ) τα γεγονότα με σεισμική ταχύτητα μικρότερη από 800 m/s, απορρίπτονται. (Economidou et al. 2015)

Όσον αφορά στον αλγόριθμο STALTA, καλείται ως συνάρτηση [STALTARock]=STALTA(data, fname, dt, STA,LTA, ratio, vel, pulse) όπου τα δεδομένα εισόδου είναι:

- data= πίνακας με τα δεδομένα
- fname= ονομασία αρχείου
- dt= διάστημα δειγματοληψίας σε ms
- STA= χρονικό παράθυρο STA σε ms

- LTA= χρονικό παράθυρο STA σε ms
- ratio= ο λόγος STA/LTA
- vel= η ελάχιστη ταχύτητα με την οποία διαδίδονται τα σεισμικά κύματα σε m/s
- pulse= η μέγιστη χρονική διάρκεια για κάθε ξεχωριστό παλμό που οφείλεται σε βραχύπτωση σε ms

και τα δεδομένα εξόδου είναι STALTARock

3.1.2 Ανάλυση Fractal

Ο όρος fractal άρχισε να χρησιμοποιείται από τον Benoit Mandelbrot (1967), εισάγοντας το "παράδοξο της ακτογραμμής". Αυτό το παράδοξο είναι το αποτέλεσμα ενός μεταβαλλόμενου μήκους ακτής που μετράται και εξαρτάται από το μέγεθος της χρησιμοποιούμενης μεζούρας μέτρησης. Όσο μικρότερη είναι η μεζούρα, τόσο μεγαλύτερη είναι η ακτογραμμή που προκύπτει. Έτσι, μαθηματικά, δεν υπάρχει "πραγματικό" μήκος της ακτογραμμής. Το μετρημένο μήκος των ακτών, αυξάνεται χωρίς περιορισμό, καθώς γίνεται μικρότερο το εργαλείο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του μήκους. Η σχέση που συνδέει το λογάριθμο του μήκους των μετρητών s με το λογάριθμο του μήκους της ακτογραμμής L μπορεί να περιγραφεί από την ακόλουθη εξίσωση

$$\log[L(s)] = (1 - D)\log(s) + b$$

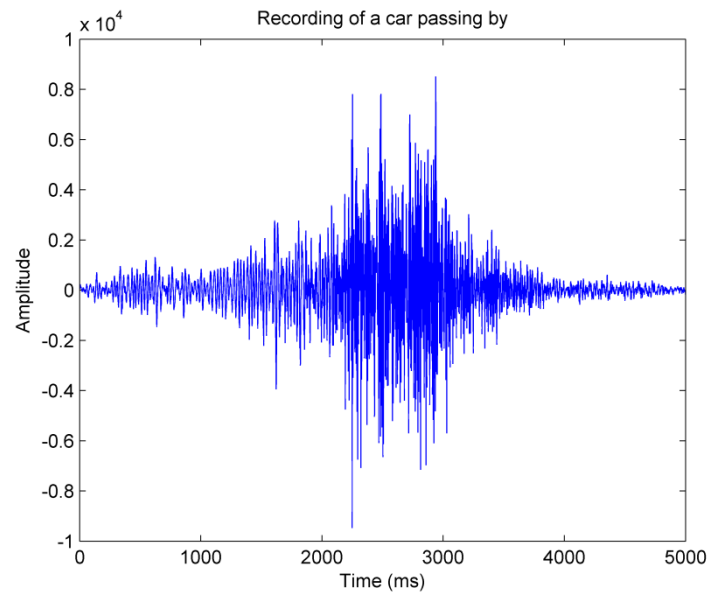
Όπου D είναι η διάσταση fractal η οποία παίρνει τιμές από 1 έως 2 και $1-D$ είναι η κλίση αυτής της γραμμής. Όσο πιο απότομη είναι η κλίση, τόσο μεγαλύτερη είναι η διάσταση fractal.

Τα στάδια επεξεργασίας είναι τα εξής:

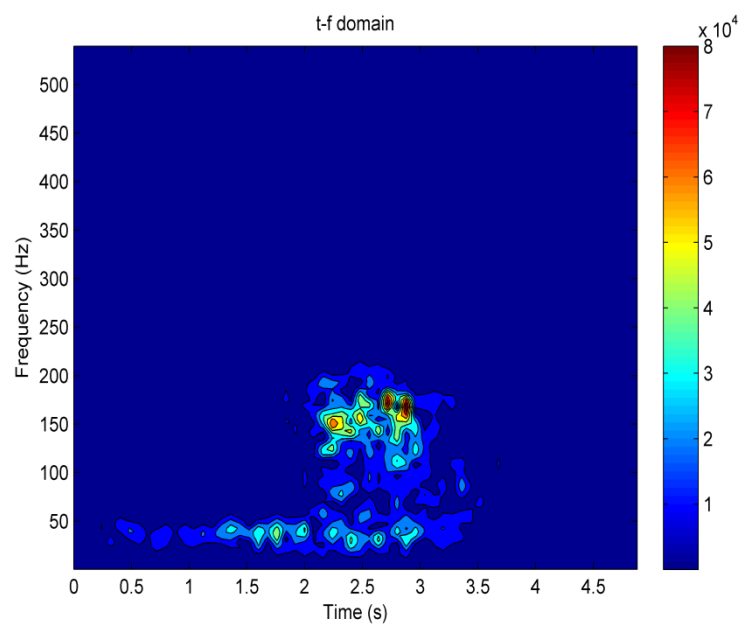
1. Πραγματοποιείται ανάλυση t-f χρησιμοποιώντας το σταθερό μετασχηματισμό Fourier (STFT) στα χρονικά παράθυρα.
2. Υπολογίζει το στιγμιαίο πλάτος του σήματος από τον ζωνοπερατό μετασχηματισμό Hilbert
3. Τα πλάτη σαρώνονται σε σταθερό χρονικό παράθυρο και υπολογίζεται η διάσταση fractal για κάθε ένα από αυτά.
4. Πραγματοποιείται επαναδειγματοληψία στα αποτελέσματα του βήματος 3.

Στο βήμα 3 η διάσταση fractal μιας χρονοσειράς που υπολογίζεται με τη μέθοδο Power Spectral (PS) είναι ευαίσθητη στο περιεχόμενο συχνότητας των χρονοσειρών. Εφαρμόζεται

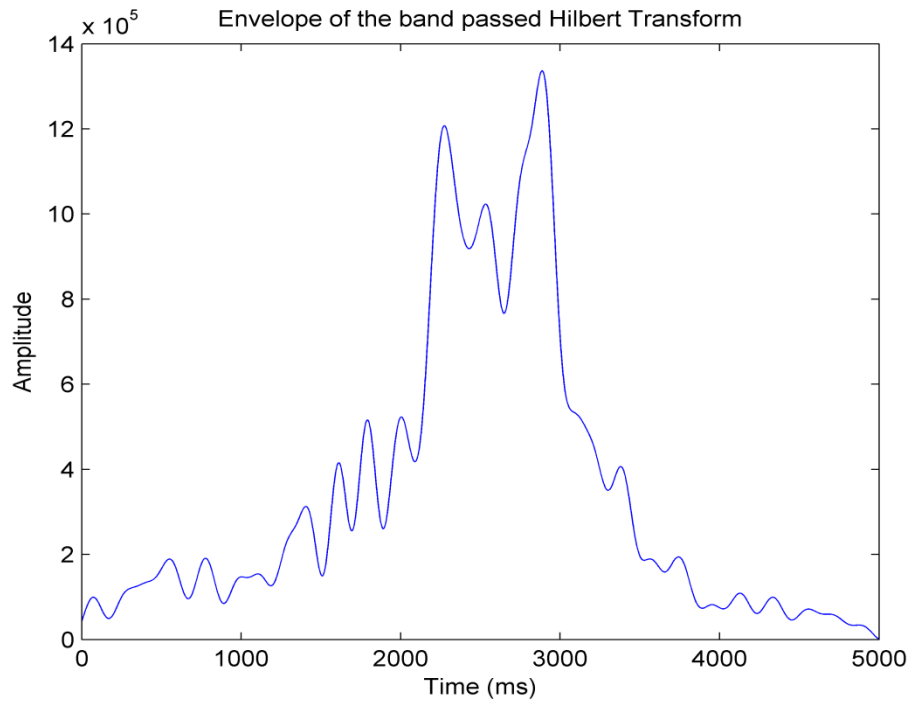
στον χώρο συχνοτήτων ενώ στη συνέχεια ακολουθούν κάποιες εικόνες που παρουσιάζουν τα βήματα που προαναφέρθηκαν.



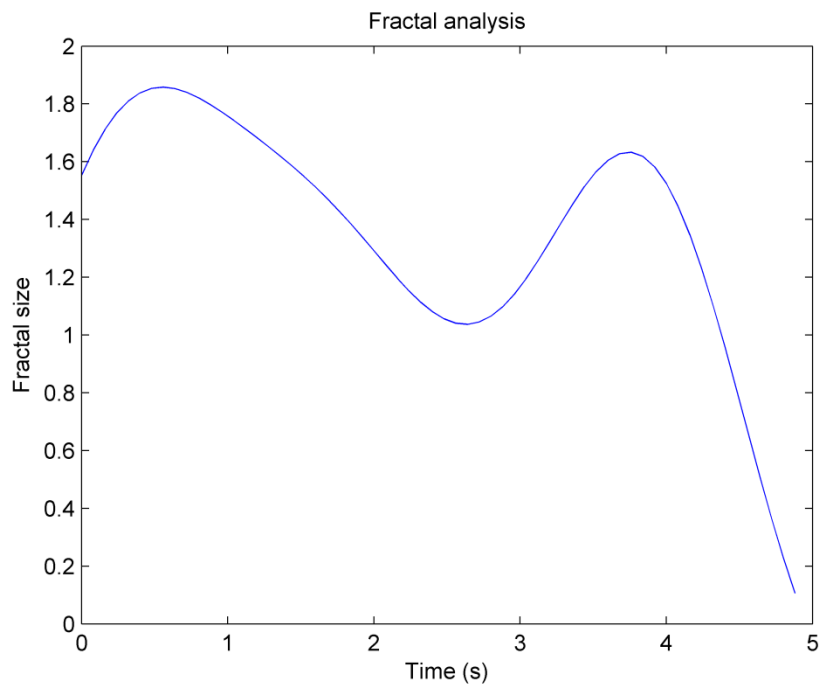
Σχήμα 3.2: Καταγραφή η οποία προέρχεται από τη διέλευση οχήματος.



Σχήμα 3.3: Η t-f αναπαράσταση της χρονοσειράς που απεικονίζεται στο Σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.4: Ο υπολογισμός του στιγμιαίου πλάτους του σήματος μέσω του μετασχηματισμού Hilbert ο οποίος είναι το αποτέλεσμα ως προς τη συχνότητα του φάσματος που απεικονίζεται στο Σχήμα 3.3.



Σχήμα 3.5: Η χρονικά μεταβαλλόμενη διάσταση fractal της χρονοσειράς που απεικονίζεται στο Σχήμα 3.4.

3.2 ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

3.2.1 Περιγραφή ελεγχόμενων πειραμάτων

Αρχικά δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων για την περιοχή του Θερίσου, όπου μέσα σε αυτή υπάρχουν όλες οι καταγραφές από την στιγμή που τοποθετήθηκε το ολοκληρωμένο σεισμικό σύστημα παρακολούθησης βραχοπτώσεων (08/06/2015), μέχρι και την στιγμή που τέθηκε εκτός αυτόματης λειτουργίας (06/12/2015). Οι συνολικές καταγραφές που μελετήθηκαν είναι **33357**. Ο αριθμός των καταγραφών διαφέρει ανά ημέρα. Για παράδειγμα, στις 8/8/2015 καταγράφηκαν 23 αρχεία από τον σειсмоγράφο, ενώ στις 27/6/2015 οι καταγραφές ήταν 965. Για την εύρεση των βέλτιστων παραμέτρων για την ανάλυση STA/LTA και Fractal πραγματοποιήθηκαν 3 ελεγχόμενα πειράματα, στις 24/6/2015, στις 22/7/2015 και στις 17/12/2015. Τα δυο πρώτα πειράματα (24/6/2015 & 22/7/2015) πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου «ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ 2011» 11ΣΥΝ_9_1389 ISTRIA «Ανάπτυξη ολοκληρωμένου συστήματος αναγνώρισης βραχοπτώσεων σε αυτοκινητόδρομους», ενώ το τρίτο πείραμα στις 17/12/2015 πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής.

Τα ελεγχόμενα πειράματα αφορούσαν στην καταγραφή του θορύβου της περιοχής και καταγραφή των δονήσεων που προκαλούνται από:

- Τη διέλευση οχημάτων (Car)
- Τον συνδυασμός ρίψης-κύλισης βράχου και διέλευση οχήματος (CarRock)
- Τους πεζούς (People)
- Τη ρίψη-κύλιση βράχου (Rock)

Στον Πίνακα 3.1 περιγράφεται συνοπτικά το πλήθος των καταγραφών για κάθε κατηγορία ανά ελεγχόμενο πείραμα καθώς και ο συνολικός αριθμός καταγραφών.

Πίνακας 3.1 : Πλήθος καταγραφών για κάθε κατηγορία ελεγχόμενου πειράματος.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΠΕΙΡΑΜΑ 24/6/2015	ΠΕΙΡΑΜΑ 22/7/2015	ΠΕΙΡΑΜΑ 17/12/2015	ΣΥΝΟΛΟ 3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ
Car	20	5	8	33
Car-Rock	12	0	18	30
People	12	11	32	55
Rock	13	40	65	118
ΣΥΝΟΛΟ	57	56	123	236

Πείραμα 17 Δεκεμβρίου 2015

Αντικείμενο του ελεγχόμενου πειράματος που πραγματοποιήθηκε την Πέμπτη 17 Δεκεμβρίου 2015 ήταν η αύξηση του αριθμού ελεγχόμενων δοκιμών για τις 4 προαναφερθείσες κατηγορίες δονήσεων στην περιοχή μελέτης. Για το λόγο αυτό, πραγματοποιήθηκε η ρίψη-κύλιση βράχων συγκεκριμένου μεγέθους και βάρους σε διαφορετικές θέσεις επί του πρηνούς παρακολούθησης και η καταγραφή των δονήσεων αυτών σε διάφορες συνθήκες. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αρχεία καταγραφών του σειсмоγράφου και η κωδικοποιημένη περιγραφή της σειράς των ρίψεων που πραγματοποιήθηκαν. Αξίζει να σημειωθεί πως κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης των πειραμάτων, ξεκίνησε βροχή για λίγη ώρα κάτι που πρέπει να ληφθεί υπόψη και να διευκρινιστεί αν επηρεάζει με κάποιο τρόπο τις καταπτώσεις βράχων.

Τα αρχεία καταγραφής ταξινομήθηκαν σε τέσσερις (4) κατηγορίες ανάλογα με το γεγονός που περιέχεται :

- διέλευση μόνο αυτοκινήτου (8 αρχεία)
- διέλευση μόνο ανθρώπου/ανθρώπων (32 αρχεία)
- ρίψη/κύλιση βράχων (65 αρχεία)
- ρίψη/κύλιση βράχων με ταυτόχρονη διέλευση αυτοκινήτων (18 αρχεία)

Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκαν 2 πέτρες από τα πρηνή της περιοχής μελέτης, μια μεγάλη, η οποία ζύγιζε 10,361kg και μια μικρότερη, βάρους 2,501kg. Έπειτα από πολλές επαναλήψεις ρίψεων, η μεγάλη πέτρα έσπασε και αντικαταστάθηκε με αντίστοιχου μεγέθους και σχήματος, η οποία ζύγιζε 13,485kg. (Σχήμα 3.2). Το σχήμα της κάθε πέτρας επιλέχθηκε έτσι ώστε να είναι δυνατή η κύλιση ή/και η αναπήδησή της κατά την βραχύπτωση, ενώ το μέγεθός τους αντιστοιχεί σε βραχύδη τεμάχια που μπορούν να προκαλέσουν ατύχημα σε διερχόμενο όχημα, αν η ρόδα (π.χ. πάνω από τον μικρό βράχο) ή το αμάξιμα του (π.χ. από τον μεγάλο βράχο) διέλθει πάνω από αυτά.



Σχήμα 3.6 : (Αριστερά) Οι πέτρες που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του 3^{ου} πειράματος. (Δεξιά) Η κατακερματισμένη μεγάλη πέτρα (δεξιά) η οποία αντικαταστάθηκε με νέα (σεσημασμένη με Χ).

Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθήθηκε και στα πειράματα που προηγήθηκαν του εν λόγω πειράματος, δηλαδή πραγματοποιήθηκαν στις 24/6/2015 και στις 22/7/2015.

Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν μονοπάτια όπως αυτό για τους ορειβάτες που ξεκινάει ανάμεσα από την 2^η και 3^η θέση, καθώς και ένα μονοπάτι που οδηγεί στον κρεμαστό κήπο, ανάμεσα στην 3^η και 4^η θέση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

4.1. ΕΥΡΕΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΓΟΡΙΘΜΟ STA/LTA

Ο τροποποιημένος αλγόριθμος STA/LTA που αναπτύχθηκε, έχει σκοπό την ανίχνευση του συνόλου, κατά το δυνατόν, βραχοπτώσεων με τον ελάχιστο αριθμό αναληθών ειδοποιήσεων (false alarms). Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιεί τις παραμέτρους του Πίνακα 4.1. Η αρχική επιλογή των τιμών των παραμέτρων του αλγόριθμου STA/LTA προέκυψε με την χρήση μόνο 57 καταγραφών που αποκτήθηκαν κατά τη διάρκεια του ελεγχόμενου πειράματος στις 24/6/2015. Η κάθε καταγραφή του εν λόγω πειράματος ελέγχθηκε από 864 διαφορετικούς συνδυασμούς των παραμέτρων του αλγόριθμου STA/LTA. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας διερευνήθηκαν οι βέλτιστες τιμές των παραμέτρων του αλγόριθμου STA/LTA, εξετάζοντας όλες τις καταγραφές (236) και από τα 3 ελεγχόμενα πειράματα. Στον Πίνακα 4.1 δίνονται οι τιμές των παραμέτρων που εξετάστηκαν σε κάθε περίπτωση (A & B).

Πίνακας 4.1 : Οι παράμετροι του τροποποιημένου STA/LTA και οι τιμές που εξετάστηκαν

Παράμετρος	Περίπτωση Α: Δεδομένα πειράματος 24/6/15 (57 καταγραφές)	Περίπτωση Β: Δεδομένα 3 πειραμάτων (236 καταγραφές)
Short-Time-Average	4, 8, 16, 32 ms	4, 8, 16, 32, 64 ms
Long-Time-Average	64, 128, 256, 512, 1024, 2048 ms	128, 256, 512, 1024, 2048 ms
STA/LTA Ratio	1.8, 2.0, 2.2	2.0, 2.2, 2.4, 2.6
Velocity	600, 800, 1000 m/s	600, 800, 1000 m/s
Pulse duration	50, 100, 150, 200 ms	50, 100, 150, 200 ms
Σύνολο δοκιμών ανά καταγραφή	864	1200

Για την εξαγωγή του βέλτιστου συνδυασμού δημιουργήθηκε κώδικας σε γλώσσα προγραμματισμού MATLAB ο οποίος έλεγχε το ποσοστό επιτυχίας, δηλαδή το υψηλότερο ποσοστό σε όλες τις κατηγορίες Car, CarRock, People και Rock (ιδανικά 100%), κάθε δυνατού συνδυασμού και για κάθε αρχείο καταγραφής.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ως επιτυχία σωστής κατηγοριοποίησης κάθε κατηγορίας θορύβου που καταγράφηκε κατά την διάρκεια των ελεγχόμενων πειραμάτων θεωρείται: α) ο χαρακτηρισμός των καταγραφών Rock και CarRock ως βραχύπτωση (True) και β) ο χαρακτηρισμός των καταγραφών Car και People ως μη βραχύπτωση (False).

Με βάση το 1^ο πείραμα (24/6/2015) και τις εξεταζόμενες τιμές (Πίνακας 4.1 – Περίπτωση Α) προέκυψαν οι βέλτιστες τιμές των παραμέτρων της δοκιμής No788/864 (Πίνακας 4.2).

Πίνακας 4.2 : Βέλτιστες τιμές των παραμέτρων του αλγόριθμου STA/LTA που προέκυψαν από τα δεδομένα του πειράματος 24/6/15 (57 καταγραφές) και αντιστοιχούν στη δοκιμή Νο788/864.

Short-Time-Average	32 ms
Long-Time-Average	512 ms
STA/LTA Ratio	2.2
Velocity	800 m/s
Pulse duration	200 ms

Ο βέλτιστος αυτός συνδυασμός των παραμέτρων επιτύχανε πολύ υψηλά ποσοστά επιτυχίας στις κατηγορίες Rock, CarRock και Car, αλλά και πολύ χαμηλά ποσοστά επιτυχίας στην κατηγορία People. Ειδικότερα, το ποσοστό (πλήθος/σύνολο δοκιμών κατηγορίας) επιτυχημένων δοκιμών για κάθε κατηγορία ήταν: Rock 100% (13/13), CarRock 100% (12/12), Car 95% (19/20) και People 8.3% (1/12). Ωστόσο, τα ποσοστά αυτά του εν λόγω βέλτιστου συνδυασμού θα τροποποιηθούν, όπως θα φανεί σε ακόλουθα εδάφια της παρούσας εργασίας, όταν εξεταστούν οι δοκιμές και από τα 3 ελεγχόμενα πειράματα.

Εφόσον οι επιλεγμένες τιμές των εξεταζόμενων παραμέτρων στις δύο περιπτώσεις ελέγχου (Περιπτώσεις A & B – Πίνακας 4.1) διαφέρουν, δεν υπάρχει και άμεση αντιστοίχιση στον αύξοντα αριθμό των δοκιμών. Προκύπτει όμως ότι ο α/α του βέλτιστου συνδυασμού παραμέτρων της περίπτωσης A (No788/864) αντιστοιχεί στον υπ' αριθμό Νο836/1200 συνδυασμού παραμέτρων της περίπτωσης B.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής πραγματοποιήθηκε το 3^ο πείραμα (17/12/2015) και ελέγχθηκαν όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί (1200) των εξεταζόμενων τιμών του Πίνακα 4.1 – Περίπτωση B για το σύνολο των καταγραφών (236) και των τριών ελεγχόμενων πειραμάτων.

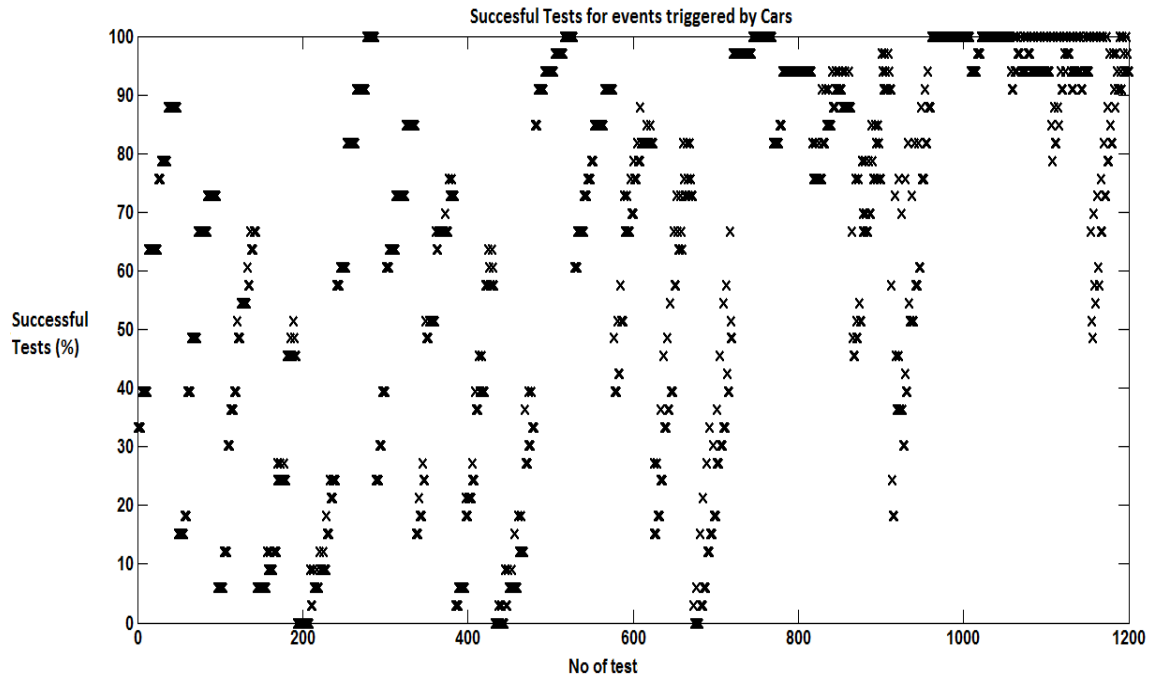
Στα Σχήματα 4.1 έως 4.4 παρουσιάζονται τα ποσοστά επιτυχίας κάθε πιθανού συνδυασμού των παραμέτρων του τροποποιημένου αλγόριθμου ST/LTA που εξετάστηκαν, κατά την Περίπτωση B, για την κάθε κατηγορία δονήσεων ξεχωριστά.

Σε κάθε γράφημα, ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στον αύξοντα αριθμό της δοκιμής (διαφορετικός συνδυασμός τιμών παραμέτρων), ενώ στον κατακόρυφο, το ποσοστό επιτυχίας της δοκιμής.

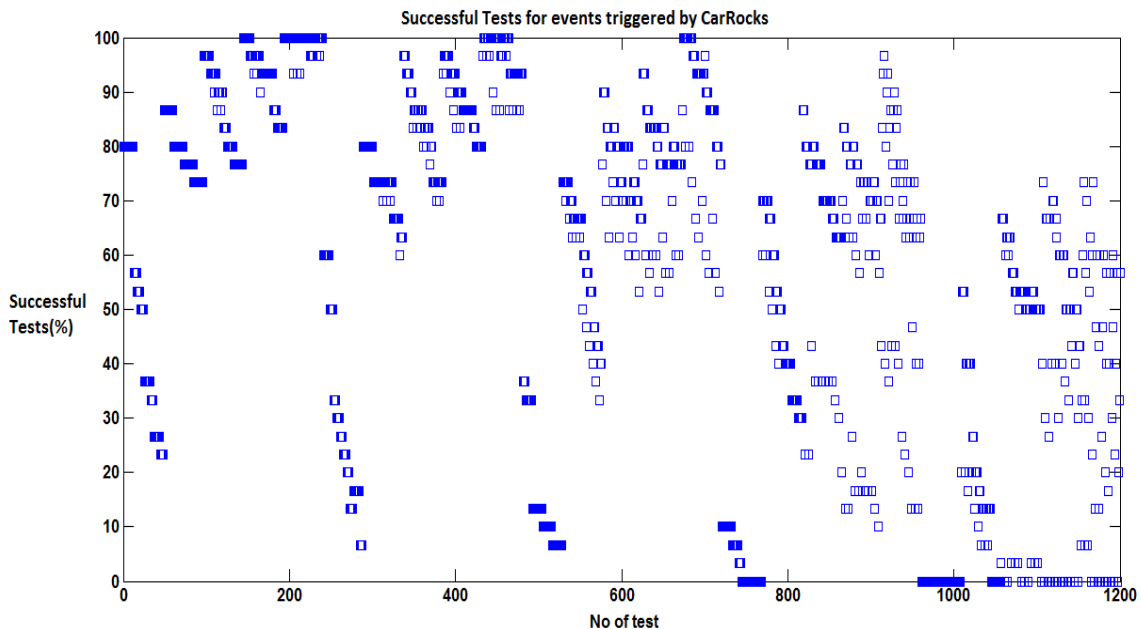
Ειδικότερα, στο Σχήμα 4.1 παρουσιάζονται τα ποσοστά επιτυχίας κάθε πιθανού συνδυασμού τιμών παραμέτρων για την κατηγορία Car. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα (περίπτωση διέλευσης αυτοκινήτου), ως επιτυχία από τον αλγόριθμο θεωρείται ο χαρακτηρισμός του γεγονότος ως μη βραχόπτωση (false). Όπως παρατηρείται, το μεγαλύτερο ποσοστό επιτυχίας κατανέμεται, κατά κανόνα, στις δοκιμές Νο 980-1200.

Στο Σχήμα 4.2 παρουσιάζονται τα ποσοστά επιτυχίας κάθε πιθανού συνδυασμού τιμών παραμέτρων για την κατηγορία CarRock. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα (περίπτωση

βραχύπτωσης η οποία λαμβάνει χώρα ταυτόχρονα με τη διέλευση αυτοκινήτου), ως επιτυχία από τον αλγόριθμο θεωρείται ο χαρακτηρισμός του γεγονότος ως βραχύπτωση (true). Το μεγαλύτερο ποσοστό επιτυχίας παρατηρείται στις δοκιμές Νο 190-240 καθώς και 450-490.



Σχήμα 4.1 : Ποσοστά επιτυχίας κάθε πιθανού συνδυασμού τιμών παραμέτρων για την κατηγορία Car.

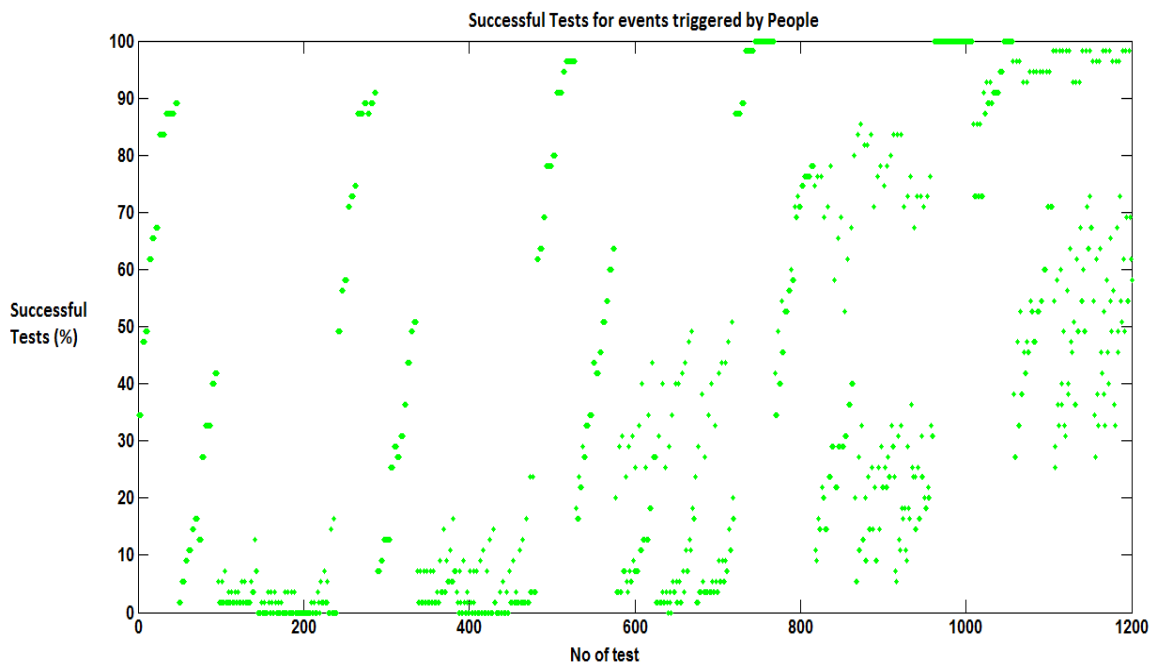


Σχήμα 4.2 : Ποσοστά επιτυχίας κάθε πιθανού συνδυασμού τιμών παραμέτρων για την κατηγορία CarRock.

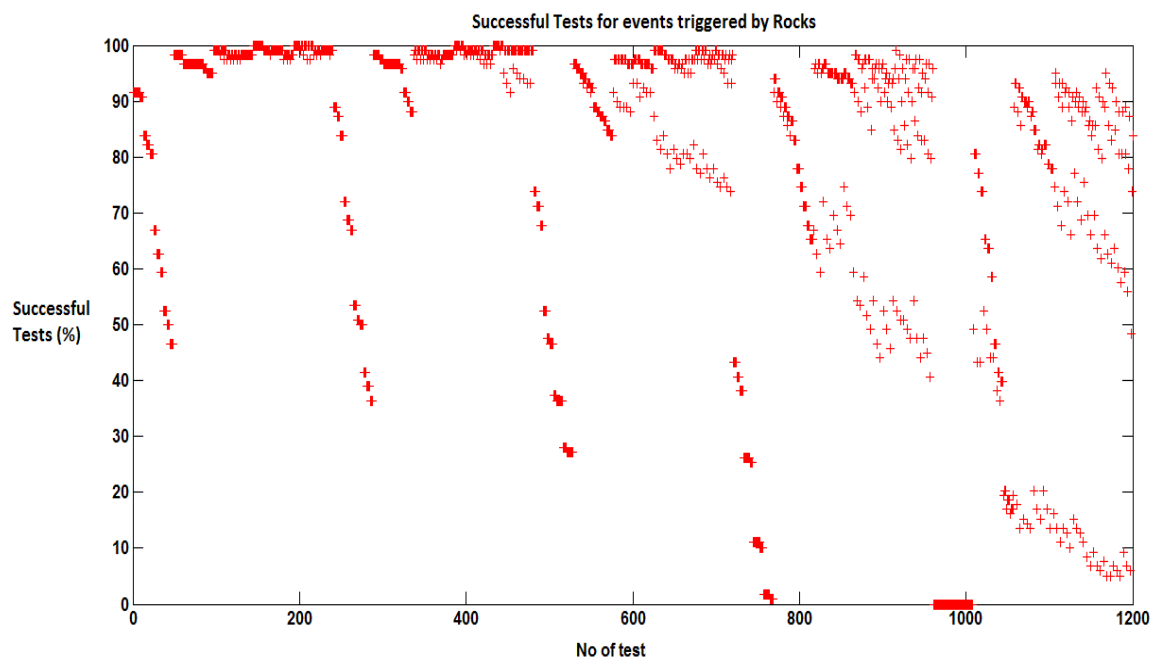
Στο Σχήμα 4.3 παρουσιάζονται τα ποσοστά επιτυχίας κάθε πιθανού συνδυασμού τιμών παραμέτρων για την κατηγορία People. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα (περίπτωση

διέλευσης πεζού), ως επιτυχία από τον αλγόριθμο θεωρείται ο χαρακτηρισμός του γεγονότος ως μη βραχόπτωση (false). Το μεγαλύτερο ποσοστό επιτυχίας παρατηρείται στις δοκιμές No 720-760 καθώς και 960-1010.

Στο Σχήμα 4.4 παρουσιάζονται τα ποσοστά επιτυχίας κάθε πιθανού συνδυασμού τιμών παραμέτρων για την κατηγορία Rock. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα (περίπτωση βραχόπτωσης), ως επιτυχία από τον αλγόριθμο θεωρείται ο χαρακτηρισμός του γεγονότος ως βραχόπτωση (true). Το μεγαλύτερο ποσοστό επιτυχίας παρατηρείται στις δοκιμές No 50-240 καθώς και 290-480.

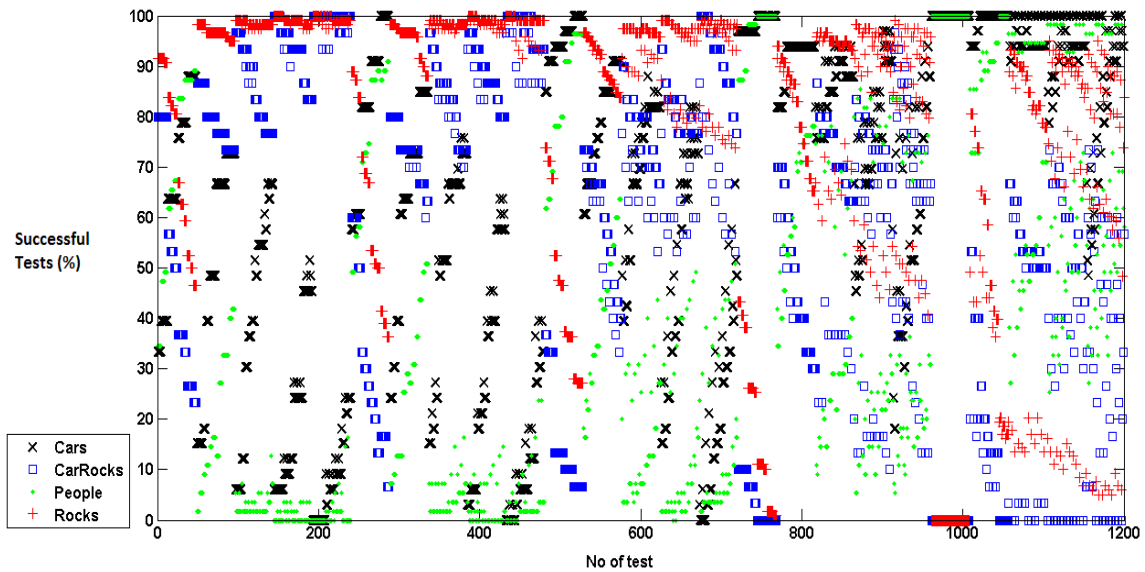


Σχήμα 4.3 : Ποσοστά επιτυχίας κάθε πιθανού συνδυασμού τιμών παραμέτρων για την κατηγορία *People*.



. Σχήμα 4.4 : Ποσοστά επιτυχίας κάθε πιθανού συνδυασμού τιμών παραμέτρων για την κατηγορία *Rock*.

Στη συνέχεια ακολουθεί το Σχήμα 4.5 παρουσιάζονται τα ποσοστά επιτυχίας κάθε πιθανού συνδυασμού τιμών των παραμέτρων του τροποποιημένου αλγόριθμου STA/LTA που εξετάστηκαν, κατά την Περίπτωση Β, για όλες τις κατηγορίες δονήσεων συγκεντρωτικά. Παρατηρείται ότι οι δοκιμές που δίνουν υψηλό ποσοστό επιτυχίας στις κατηγορίες *Rock* και *CarRock*, γενικά δίνουν χαμηλά ποσοστά επιτυχίας στις κατηγορίες *People* και *Car* (πχ δοκιμές No 200-220) και το αντίθετο (πχ δοκιμές No 980-1000). Επομένως, θα πρέπει να αναζητηθούν οι βέλτιστες δοκιμές έτσι ώστε να παρέχουν υψηλά ποσοστά σε εντοπισμό βραχοπτώσεων (*Rock* & *CarRock*) και μικρά ποσοστά σε ψευδείς προειδοποιήσεις (*false alarms*). Για τον λόγο αυτό στο πλαίσιο της εργασίας αυτής πραγματοποιήθηκε η ανάλυση ROC.



Σχήμα 4.5 : Ποσοστά επιτυχίας κάθε πιθανού συνδυασμού τιμών παραμέτρων για όλες τις κατηγορίες δονήσεων.

4.1.1 Υπολογισμός Συνολικού Ποσοστού επιτυχίας των προτεινόμενων τιμών των παραμέτρων

Για τον υπολογισμό του συνολικού ποσοστού επιτυχίας για κάθε δοκιμή υιοθετήθηκαν 4 δείκτες μέσης τιμής.

Δείκτης Μέσης Τιμής 1 : Αριθμητική μέση τιμή ποσοστού επιτυχίας. Δηλαδή το άθροισμα των ποσοστών επιτυχίας από κάθε κατηγορία κατηγορίας (Car, CarRock, People, Rock) διαιρεμένο με το πλήθος των κατηγοριών (4).

Δείκτης Μέσης Τιμής 2 : Μέση τιμή σταθμισμένη με το πλήθος των δοκιμών. Το ποσοστό επιτυχίας κάθε κατηγορίας πολλαπλασιάζεται με τον αριθμό των δειγμάτων της. Το άθροισμα του εν λόγω γινομένου που προκύπτει από κάθε κατηγορία διαιρείται με τον συνολικό αριθμό δειγμάτων (236).

Δείκτης Μέσης Τιμής 3 : Μέση τιμή με συντελεστές βαρύτητας στις διάφορες κατηγορίες δονήσεων. Για κάθε κατηγορία επιλέγεται διαφορετική βαρύτητα (το άθροισμα των 4 συντελεστών ισούται με τη μονάδα). Το ποσοστό επιτυχίας κάθε κατηγορίας πολλαπλασιάζεται με τον συντελεστή βαρύτητας και αθροίζονται τα γινόμενα. Στον δείκτη αυτό χρησιμοποιήθηκαν οι εξής συντελεστές βαρύτητας ανά κατηγορία: Car = 0.3, CarRock = 0.3, People = 0.1, Rock = 0.3. Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε ο εν λόγω δείκτης ήταν για να αποδώσει μικρότερη βαρύτητα στο ποσοστό επιτυχίας της κατηγορίας People, δεδομένου ότι γενικά, σε ένα σύστημα παρακολούθησης βραχοπτώσεων δίπλα σε αυτοκινητόδρομους ταχείας κυκλοφορίας δεν αναμένονται καταγραφές δονήσεων από διερχόμενους ανθρώπους.

Δείκτης Μέσης Τιμής 4 : Μέση τιμή με συντελεστές βαρύτητας στις διάφορες κατηγορίες δονήσεων. Ομοίως με τον Δείκτη Μέσης Τιμής 3. Αλλάζουν οι συντελεστές βαρύτητας ανά

κατηγορία: Car = 0.3, CarRock = 0.1, People = 0.3, Rock = 0.3. Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε ο εν λόγω δείκτης ήταν για να μειώσει την βαρύτητα στο ποσοστό επιτυχίας της κατηγορίας CarRock δεδομένου ότι δεν αναμένονται πολλές καταγραφές στην εν λόγω κατηγορία συγκριτικά με τις υπόλοιπες κατηγορίες

Στον Πίνακα 4.3 παρατίθενται ο α/α αριθμός των δοκιμών όπου παρουσιάζουν τα μεγαλύτερα συνολικά ποσοστά επιτυχίας για κάθε Δείκτη Μέσης Τιμής. Παρατηρείται ότι οι δοκιμές 1010,1011,1012/1200 αποτελούν την βέλτιστη επιλογή, τόσο με βάση τον Δείκτη Μέσης Τιμής 1, όσο και με βάση τον Δείκτη Μέσης Τιμής 4.

Για να είναι δυνατή η σύγκριση των νέων βέλτιστων παραμέτρων σε σχέση με τις παραμέτρους που είχαν υιοθετηθεί με βάση μόνο το 1ο πείραμα (24/6/2015), εξετάστηκαν οι προαναφερθέντες δείκτες και στην δοκιμή 836/1200 (αντίστοιχη με την 788/864). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.4.

Πίνακας 4.3 : Υπολογισμός του συνολικού ποσοστού επιτυχίας για τις βέλτιστες δοκιμές με βάση τους διαφορετικούς Δείκτες Μέσης Τιμής.

	ΔΕΙΚΤΗΣ Μ.Τ1 (Μέση Τιμή)			ΔΕΙΚΤΗΣ Μ.Τ.2 (Σταθμισμένη με το πλήθος)				ΔΕΙΚΤΗΣ Μ.Τ.3 (Συντελεστής Βαρύτητας 1)	ΔΕΙΚΤΗΣ Μ.Τ.4 (Συντελεστής Βαρύτητας 2)		
α/α δοκιμής	1010	1011	1012	782	783	784	1148	904	1010	1011	1012
ΠΟΣΟΣΤΑ ΕΠΙΤΥΧΙΑΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ (%)											
Car	93,93	93,93	93,93	93,93	93,93	93,93	93,93	90,91	93,93	93,93	93,93
CarRock	53,33	53,33	53,33	60,00	60,00	60,00	50,00	73,33	53,33	53,33	53,33
People	72,72	72,72	72,72	52,72	52,72	52,72	63,63	21,82	72,72	72,72	72,72
Rock	80,50	80,50	80,5	88,98	88,98	88,98	86,44	94,92	80,50	80,50	80,50
Σύνολο (%)	75,13			78,16				79,92	79,48		

Πίνακας 4.4 : Υπολογισμός του συνολικού ποσοστού επιτυχίας για την δοκιμή 836/1200 (αντίστοιχη της 788/864) με βάση τους διαφορετικούς Δείκτες Μέσης Τιμής

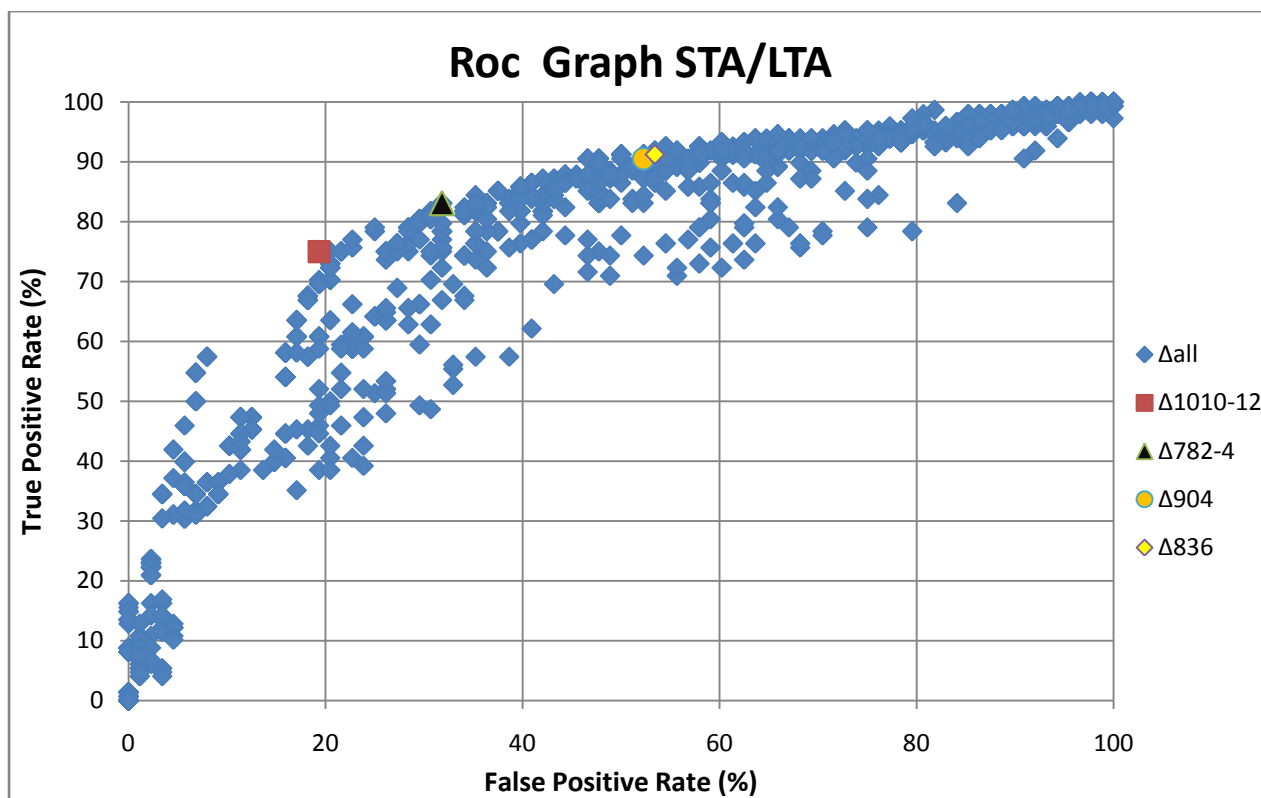
ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΣ ΜΕΣΟΣ	ΔΕΙΚΤΗΣ Μ.Τ1 (Μέση Τιμή)	ΔΕΙΚΤΗΣ Μ.Τ2 (Σταθμισμένη με το πλήθος)	ΔΕΙΚΤΗΣ Μ.Τ3 (Συντελεστής Βαρύτητας 1)	ΔΕΙΚΤΗΣ Μ.Τ4 (Συντελεστής Βαρύτητας 2)
ΠΟΣΟΣΤΑ ΕΠΙΤΥΧΙΑΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ (%)				
Car	84.85	84.85	84.85	84.85
CarRock	76.67	76.67	76.67	76.67
People	23.64	23.64	23.64	23.64
Rock	94.92	94.92	94.92	94.92
Σύνολο (%)	70.02	74.58	79.29	68.69

4.1.2 Διαγράμματα ROC

Τα διαγράμματα ROC (Receiver Operating Characteristic) είναι διαγράμματα λειτουργικού δέκτη τα οποία είναι χρήσιμα για την ταξινόμηση και την απεικόνιση των δοκιμών που έχουν δυαδικό αποτέλεσμα επιτυχίας ή αποτυχίας. Γενικά, χρησιμοποιούνται για την λήψη ιατρικών αποφάσεων και τα τελευταία χρόνια έχουν χρησιμοποιηθεί όλο και περισσότερο στην μηχανική εκμάθηση και στην εξόρυξη δεδομένων. Επίσης, έχουν χρησιμοποιηθεί από καιρό στη θεωρία ανίχνευσης σημάτων και των λανθασμένων συναγερμών (Egan, 1975; Swets et al., 2000). Ένας από τους πρώτους που υιοθέτησαν τα διαγράμματα ROC στη μηχανική εκμάθηση ήταν ο Spackman (1989), ο οποίος απέδειξε την αξία των καμπυλών ROC στην αξιολόγηση και τη σύγκριση διάφορων αλγορίθμων.

Σε κάθε συνδυασμό παραμέτρων STA/LTA εξετάζεται το πλήθος των καταγραφών και κατ' επέκταση το ποσοστό, που εμπίπτουν στις κατηγορίες: TruePositive (βραχόπτωση και θετική απόκριση του αλγόριθμου ++=+), TrueNegative (βραχόπτωση και αρνητική απόκριση του αλγόριθμου +-=-), FalsePositive (μη βραχόπτωση και θετική απόκριση του αλγόριθμου -+=-), FalseNegative (μη βραχόπτωση και αρνητική απόκριση του αλγόριθμου --=+). Το ROC είναι ένα διάγραμμα (crossplot) του ποσοστού των + (++ & -- στον κατακόρυφο άξονα) σε συνάρτηση με το ποσοστό των - (+- & -+) (Σχήμα 4.6). Οι δοκιμές που βρίσκονται πάνω αριστερά στο διάγραμμα (ιδεατά 100% + και 0% -) θεωρούνται ότι αντιστοιχούν στις βέλτιστες τιμές των παραμέτρων. Στο διάγραμμα αυτό ξεχωριστά σύμβολα-χρώματα, αντιστοιχούν στα αποτελέσματα των δοκιμών που εξετάζονται στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας ως οι πιο επιτυχείς δοκιμές.

Στο Σχήμα 4.6 απεικονίζεται το διάγραμμα ROC που δημιουργήθηκε από όλες τις εξεταζόμενες δοκιμές (1200) για την εύρεση των βέλτιστων παραμέτρων του αλγόριθμου STA/LTA. Παρατηρείται ότι οι δοκιμές 1010, 1011, 1012/1200 που συμβολίζονται με κόκκινο και βρίσκονται πάνω αριστερά σε σχέση με τις υπόλοιπες δοκιμές θεωρούνται βέλτιστες διότι είναι πιο κοντά στο ιδανικό ποσοστό επιτυχίας (100% True Positive & 0% True Negative). Η δοκιμή που συμβολίζεται με κίτρινο αντιστοιχεί στην δοκιμή 836/1200 ενώ με μαύρο και με πορτοκαλί χρώμα αντιστοιχούν σε δοκιμές που έχουν χαρακτηριστεί επίσης ως βέλτιστες, με βάση την μεθοδολογία υπολογισμού του συνολικού ποσοστού επιτυχίας, που περιγράφηκε σε προηγούμενο εδάφιο της παρούσας εργασίας. Τα ποσοστά (True Positive & True Negative) για κάθε βέλτιστη δοκιμή παρατίθενται στον Πίνακα 4.5.



Σχήμα 4.6: Διάγραμμα ROC για την εύρεση των βέλτιστων τιμών των παραμέτρων του τροποποιημένου αλγόριθμου STA/LTA.

Πίνακας 4.5 : Βέλτιστες δοκιμές οι οποίες προέκυψαν από τα ποσοστά επιτυχίας True Positive Rate(%) - False Positive Rate(%)

False Positive Rate (%)	True Positive Rate (%)	Βέλτιστες Δοκιμές
19.32	75.00	1010, 1011, 1012/1200
31.82	83.11	782, 783, 784, 1148/1200
52.27	90.54	904/1200
53.41	91.22	836/1200 (πρώην 788/864)

4.1.3. Σύγκριση παλιών και νέων προτεινόμενων τιμών παραμέτρων αλγόριθμου STA/LTA

Στον Πίνακα 4.6 εμφανίζονται τα συνολικά ποσοστά επιτυχίας για κάθε κατηγορία, (Car, CarRock, People, Rock) καθώς και οι τιμές των παραμέτρων για τις παλιές και νέες δοκιμές που προέκυψαν κατόπιν επεξεργασίας των μετρήσεων που συγκεντρώθηκαν από το σύστημα παρακολούθησης βραχοπτώσεων.

Γενικά, από την μελέτη των ποσοτικών και ποιοτικών στοιχείων της ανάλυσης αυτής προκύπτει ότι η δοκιμή 836/1200 παρουσιάζει χαμηλότερα ποσοστά επιτυχίας από νέες

βέλτιστες δοκιμές (Πίνακας 4.6) για κάθε Δείκτη Μέσης Τιμής. Οι δοκιμές Νο1010,1011,1012/1200 εμφανίζουν λίγο μειωμένο ποσοστό επιτυχίας ανίχνευσης βραχοπτώσεων (Car = 80,50%, CarRock = 53,33%) σε σχέση με την δοκιμή 836/1200 (Car = 94,92%, CarRock = 76,67%), αλλά με παράλληλη μείωση των ψευδών προειδοποιήσεων (αύξηση του ποσοστού επιτυχίας σε People & Car) που αποτελεί ένα πολύ σημαντικό παράγοντα για την αξιοπιστία του συστήματος παρακολούθησης βραχοπτώσεων. Οι βέλτιστες παράμετροι των δοκιμών Νο1010,1011,1012/1200 παρατίθενται στον Πίνακα 4.7. Παρατηρείται ότι η παράμετρος Pulse duration δεν φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την απόδοση του αλγόριθμου STA/LTA. Για το λόγο αυτό, τελικά ως βέλτιστη δοκιμή επιλέγεται η Νο1012/1200.

Πίνακας 4.6 : Ποσοστά επιτυχίας ανά κατηγορία (Car, CarRock, People, Rocks) και σύγκριση παλιάς με νέα βέλτιστη δοκιμή.

	ΠΟΣΟΣΤΑ ΕΠΙΤΥΧΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ											
	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΔΟΚΙΜΩΝ για STA/LTA											
			STA	LTA	STA/LTA	Velocity	pulse	Cars	CarRocks	People	Rocks	Σύνολο (%)
Δείκτης MT1	1η περίπτωση	1010	64	256	2	600	100	93.93	53.33	72.72	80.5	
		1011	64	256	2	600	150	93.93	53.33	72.72	80.5	75.12
	Νέα Βέλτιστη Δοκιμή											
		1012	64	256	2	600	200	93.93	53.33	72.72	80.5	
	(παλιά βέλτιστη δοκιμή)											
Δείκτης MT2		836	32	512	2.2	800	200	84.84	76.66	23.63	94.91	70.01
	2η περίπτωση	782	32	256	2.2	600	100	93.93	60	52.72	88.98	
		783	32	256	2.2	600	150	93.93	60	52.72	88.98	
		784	32	256	2.2	600	200	93.93	60	52.72	88.98	78.16
		1148	4	1024	2.6	800	200	93.93	50	63.63	86.44	
Δείκτης MT3	(παλιά βέλτιστη δοκιμή)											
		836	32	512	2.2	800	200	84.84	76.66	23.63	94.91	74.57
	3η περίπτωση	904	32	1024	2.6	0.6	0.2	90.9	73.33	21.81	94.91	79.92
Δείκτης MT4	(παλιά βέλτιστη δοκιμή)											
		836	32	512	2.2	800	200	84.84	76.66	23.63	94.91	79.29
	4η περίπτωση	1010	64	256	2	600	100	93.93	53.33	72.72	80.5	
		1011	64	256	2	600	150	93.33	53.33	72.72	80.5	79.48
	Νέα Βέλτιστη Δοκιμή											
Δείκτης MT4		1012	64	256	2	600	200	93.33	53.33	72.72	80.5	
	(παλιά βέλτιστη δοκιμή)											
Δείκτης MT4		836	32	512	2.2	800	200	84.84	76.66	23.63	94.91	68.68

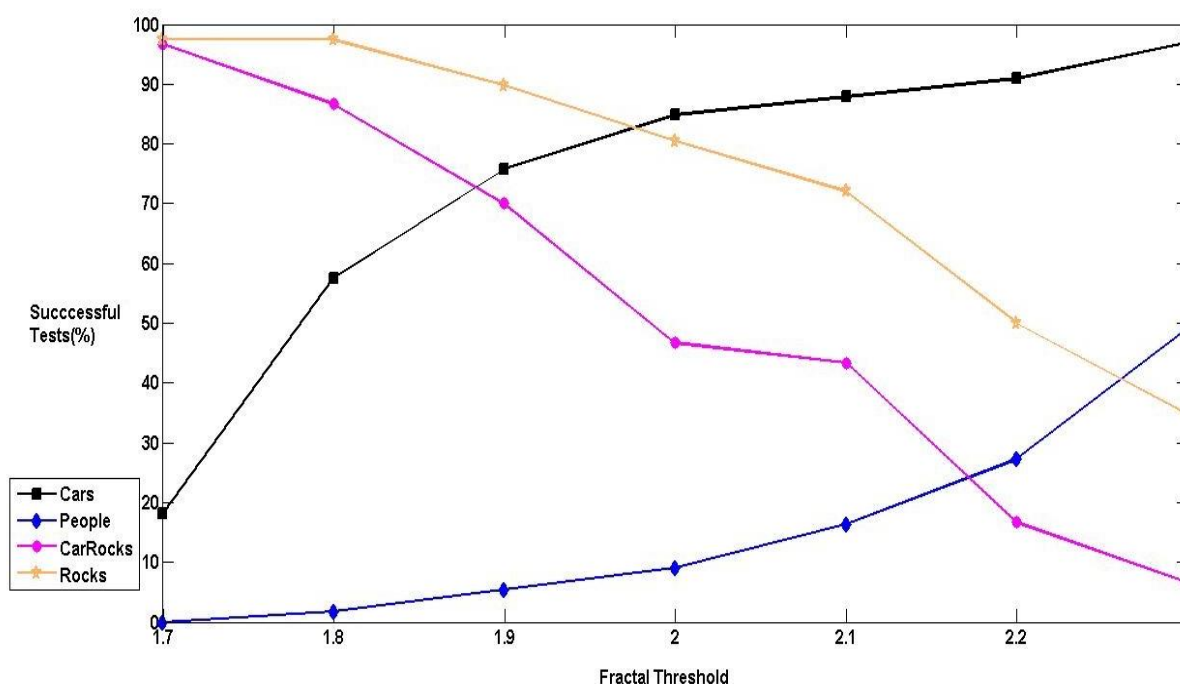
Πίνακας 4.7: Βέλτιστες παράμετροι του αλγόριθμου STA/LTA που προέκυψαν από τα δεδομένα των 3 ελεγχόμενων πειραμάτων (236 καταγραφές) και αντιστοιχούν στις δοκιμές No1010,1011,1012/1200.

Δοκιμή	1010	1011	1012
Short-Time-Average	4 ms	4 ms	4 ms
Long-Time-Average	256 ms	256 ms	256 ms
STA/LTA Ratio	2	2	2
Velocity	600 m/s	600 m/s	600 m/s
Pulse duration	100 ms	150 ms	200 ms

4.2. ΕΥΡΕΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟ FRACTAL

Στην συνέχεια πραγματοποιούνται αντίστοιχες δοκιμές για την παράμετρο της διάστασης fractal του αντίστοιχου αλγόριθμου, εξετάζοντας τις τιμές: 1.7, 1.8, 1.9, 2.0, 2.1, 2.2, 2.3

Τα αποτελέσματα από τις 7 δοκιμές για τις 236 καταγραφές των ελεγχόμενων πειραμάτων απεικονίζονται στο Σχήμα 4.7, το οποίο αναπαριστά το ποσοστό επιτυχίας κάθε δοκιμής για κάθε κατηγορία των δονήσεων. Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 4.7), για τις κατηγορίες CarRocks και Rocks το ποσοστό επιτυχίας είναι μεγαλύτερο από το threshold 1.7 έως 1.8 . Στη συνέχεια παρατηρείται μια φθίνουσα απόδοση συνολικά έως ότου το threshold πάρει την τιμή 2.3. Αντίθετα, για τις κατηγορίες Cars και People το ποσοστό επιτυχίας είναι μεγαλύτερο από το threshold 2.2 έως 2.3, παρατηρώντας αύξουσα απόδοση από την αρχική τιμή του threshold (1.7) έως την τελική τιμή (2.3).



Σχήμα 4.7 : Ποσοστά επιτυχίας αλγόριθμου fractal για τις εξεταζόμενες τιμές της διάστασης fractal και όλες τις κατηγορίες δονήσεων.

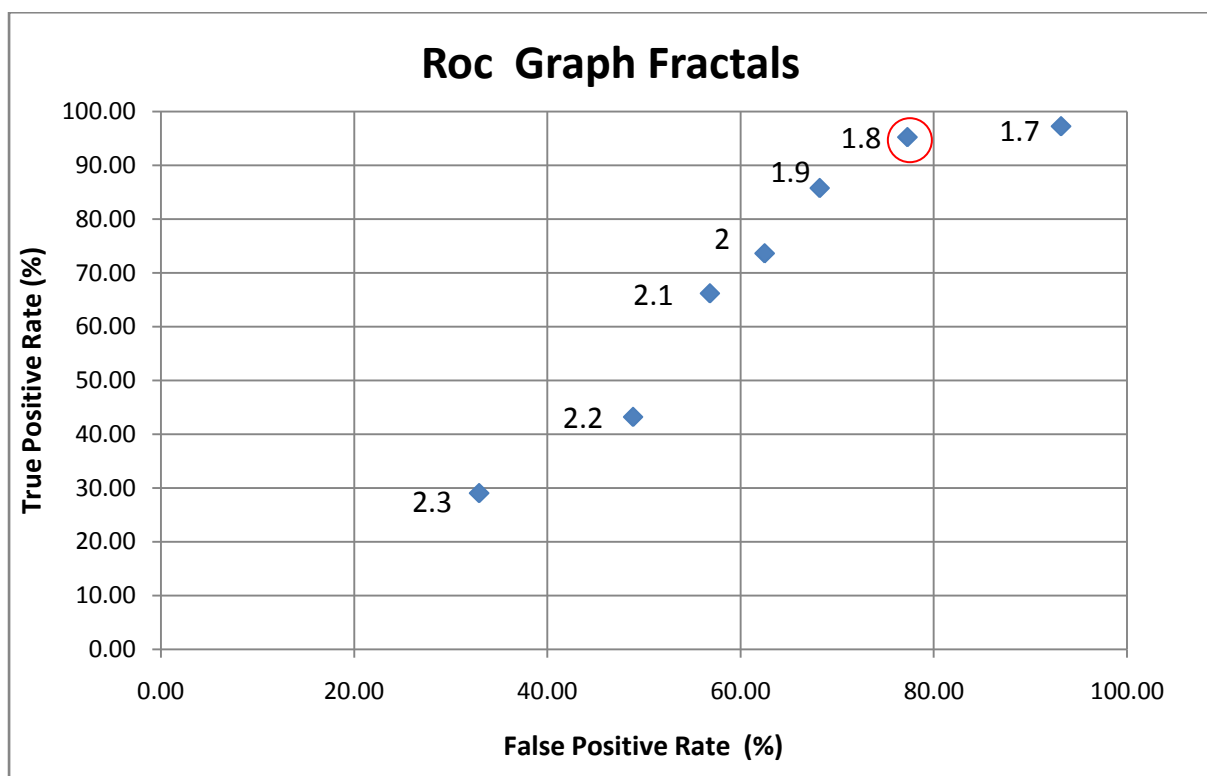
Επίσης παρατηρείται:

1. Χαμηλό ποσοστό επιτυχίας στην κατηγορία People.
2. Ίδια ποσοστά επιτυχίας με την περίπτωση STA/LTA, δηλαδή μεγάλο ποσοστό (%) σε Rock και CarRock και μικρό ποσοστό (%) σε Car και People.

Αυτό οδηγεί στην αναγκαιότητα για παραμετροποίηση της αξιολόγησης των δοκιμών και πιο συγκεκριμένα σε σταθμισμένους μέσους όρους και διαγράμματα ROC.

Στο Σχήμα 4.8 παρατίθεται το διάγραμμα ROC για την εύρεση των βέλτιστων τιμών των παραμέτρων του αλγόριθμου fractal. Η βέλτιστη απόδοση του αλγόριθμου που αντιστοιχεί σε False Positive Rate = 77.27 & True Positive Rate = 95.27 % παρατηρείται, σύμφωνα με το εν λόγω διάγραμμα και λαμβάνοντας την ελάχιστη απόσταση από το πάνω αριστερά άκρο του διαγράμματος, για όριο στην τιμή fractal ίσο με 1.8

Στον Πίνακα 4.8 παρατίθεται η τιμή της διάστασης fractal που παρουσιάζει το μεγαλύτερο συνολικό ποσοστό επιτυχίας για κάθε Δείκτη Μέσης Τιμής. Παρατηρείται ότι η τιμή της διάστασης fractal ίση με 1.9 αποτελεί την βέλτιστη επιλογή, τόσο με βάση τον Δείκτη Μέσης Τιμής 2, όσο και με βάση τον Δείκτη Μέσης Τιμής 4.



Σχήμα 4.8: Διάγραμμα ROC για την εύρεση της βέλτιστης τιμής της διάστασης fractal του αντίστοιχου αλγόριθμου.

Πίνακας 4.8: Υπολογισμός του συνολικού ποσοστού επιτυχίας του αλγόριθμου *fractal* για με βάση τους διαφορετικούς Δείκτες Μέσης Τιμής

ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΣ ΜΕΣΟΣ	ΔΕΙΚΤΗΣ Μ.Τ 1 (Μέση Τιμή)	ΔΕΚΤΗΣ Μ.Τ 2 (Σταθμισμένη με το πλήθος)	ΔΕΙΚΤΗΣ Μ.Τ 3 (Συντελεστής Βαρύτητας 1)	ΔΕΙΚΤΗΣ Μ.Τ 4 (Συντελεστής Βαρύτητας 2)
Όριο τιμής διάστασης fractal	1.8	1.9	2	1.9
ΠΟΣΟΣΤΑ ΕΠΙΤΥΧΙΑΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ (%)				
Car	57.58	57.58	57.58	75.76
CarRock	86.67	86.67	86.67	70.00
People	1.82	1.82	1.82	5.45
Rock	97.46	97.46	97.46	89.83
Σύνολο (%)	60.87	68.22	60.87	60.26

4.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΝΕΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Αξιοποιώντας τις καταγραφές από την βάση δεδομένων της περιοχής μελέτης, δημιουργήθηκαν διαγράμματα με σκοπό την συσχέτιση των καταγραφών από τις πειραματικές διατάξεις, αλλά και των υπόλοιπων δεδομένων, με κάποιους παράγοντες που πιθανόν να βελτιώσουν την απόδοση του συστήματος παρακολούθησης. Ορισμένοι σημαντικοί παράγοντες οι οποίοι εξετάζονται είναι:

- **Διάρκεια καταγραφής δόνησης (αριθμός δειγμάτων στο χρόνο)**

Η διέλευση των οχημάτων παρατηρήθηκε ότι έχει αυξημένη διάρκεια καταγραφής σε σχέση με τις καταγραφές που προέρχονται από βραχοπτώσεις. Η ενσωμάτωση ελέγχου αυτής της παραμέτρου δυνητικά θα επιφέρει μείωση των ψευδών προειδοποιήσεων από τη διέλευση οχημάτων. Ωστόσο, σε περιπτώσεις παρατεταμένης διάρκειας βραχόπτωσης μπορεί να φέρει τη μη αναγνώριση του γεγονότος ως πραγματική βραχόπτωση.

- **Πλήθος καταγραφών ανά ώρα/ημέρα**

Οι θερμοκρασιακές μεταβολές κατά τη διάρκεια ενός 24ωρου προκαλούν συστολή-διαστολή των γεωϋλικών και αναμένεται να επηρεάζουν τις βραχοπτώσεις. Επίσης, η περίοδος των βροχοπτώσεων αναμένεται να αυξήσει το πλήθος των βραχοπτώσεων.

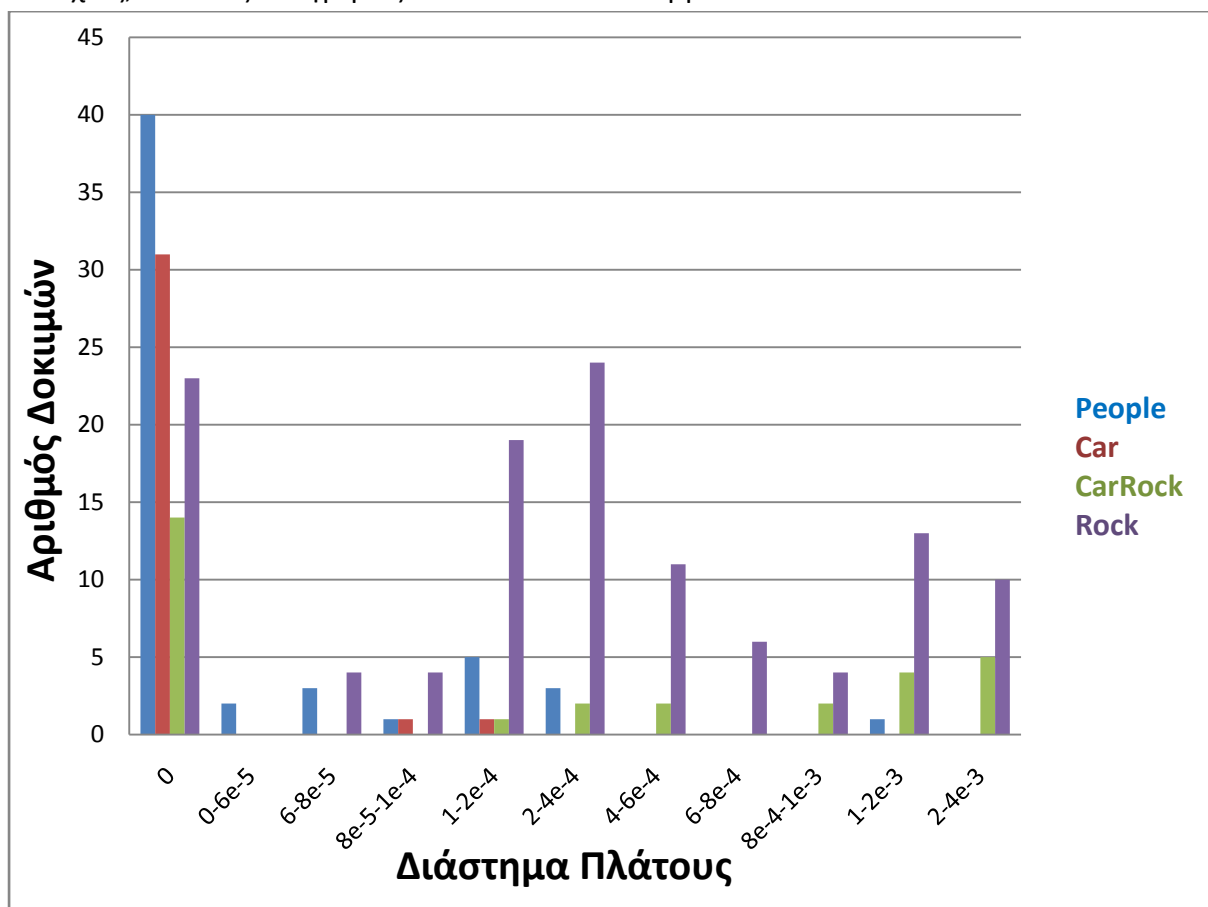
- **Αριθμός καναλιών που πληρούν ταυτόχρονα τα κριτήρια των αλγόριθμων**

Δονήσεις που παρατηρούνται σε μικρό πλήθος σταθμών αναμένεται να οφείλονται σε τοπικής έκτασης φαινόμενα (πχ. διέλευση πεζού) ενώ δονήσεις από βραχοπτώσεις, ειδικά μεγάλων τεμαχών αναμένεται να παρατηρηθούν σε μεγάλο πλήθος θέσεων παρατήρησης.

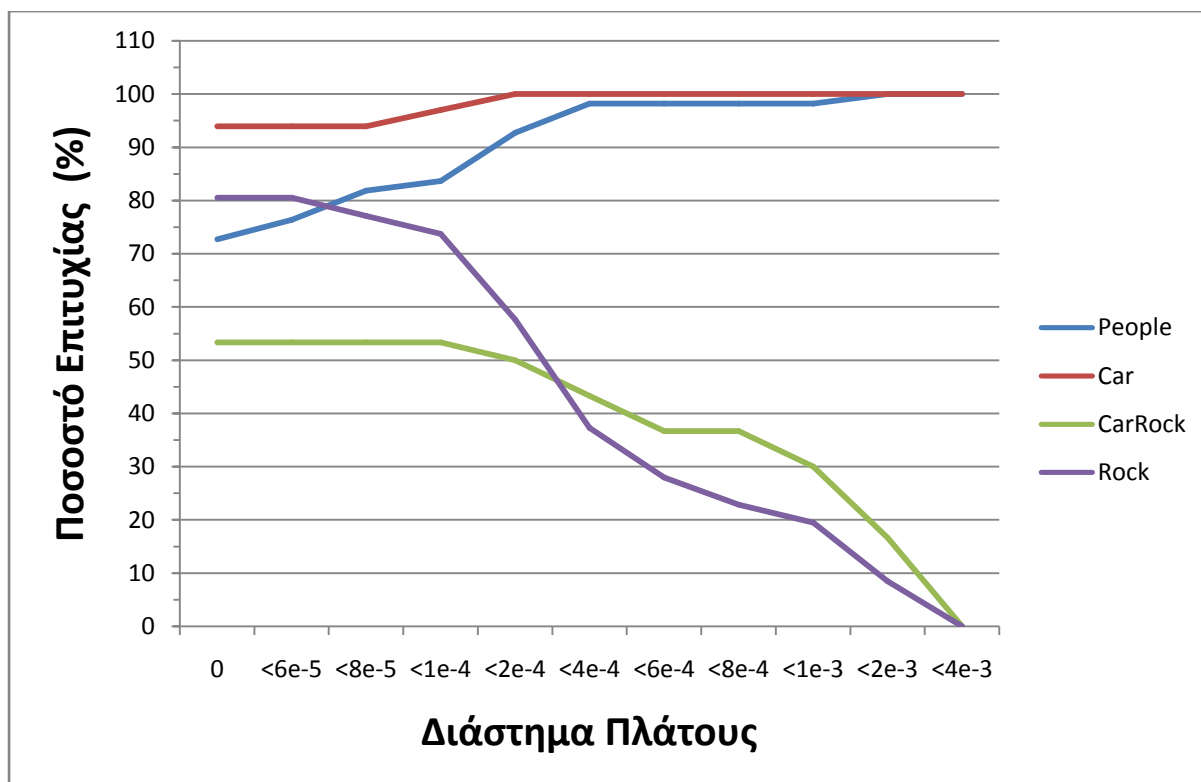
■ Μέγιστο καταγεγραμμένο πλάτος ταλάντωσης

Το μέγιστο πλάτος ταλάντωσης αναμένεται να σχετίζεται με το μέγεθος του βράχου, καθώς επίσης και ο εντοπισμός της θέσης όπου παρατηρήθηκε, μπορεί να οδηγήσει σε προσδιορισμό της θέσης βραχόπτωσης κατά μήκος της περιοχής ελέγχου.

Στο Σχήμα 4.9 παρουσιάζεται το διάγραμμα Διάστημα Πλάτους Ταλάντωσης - Αριθμού Δοκιμών ενώ στο Σχήμα 4.10 το διάγραμμα αθροιστικού διαστήματος πλάτους ταλάντωσης -Ποσοστού Επιτυχίας. Μηδενικό πλάτος σημαίνει ότι ο αλγόριθμος STA/LTA δεν έχει εντοπίσει βραχόπτωση. Στο διάστημα πλάτους ταλάντωσης 2×10^{-4} έως 4×10^{-4} παρατηρείται ο μεγαλύτερος αριθμός καταγραφών από βραχοπτώσεις, ενώ οι καταγραφές από τις κατηγορίες People, Car, αλλά και CarRock ο αλγόριθμος δεν έχει εντοπίσει βραχόπτωση. Οι κατηγορίες People και Car όσο το αθροιστικό πλάτος μεγαλώνει αυξάνεται το ποσοστό επιτυχίας, ενώ στις κατηγορίες carRock και rock συμβαίνει το αντίθετο.

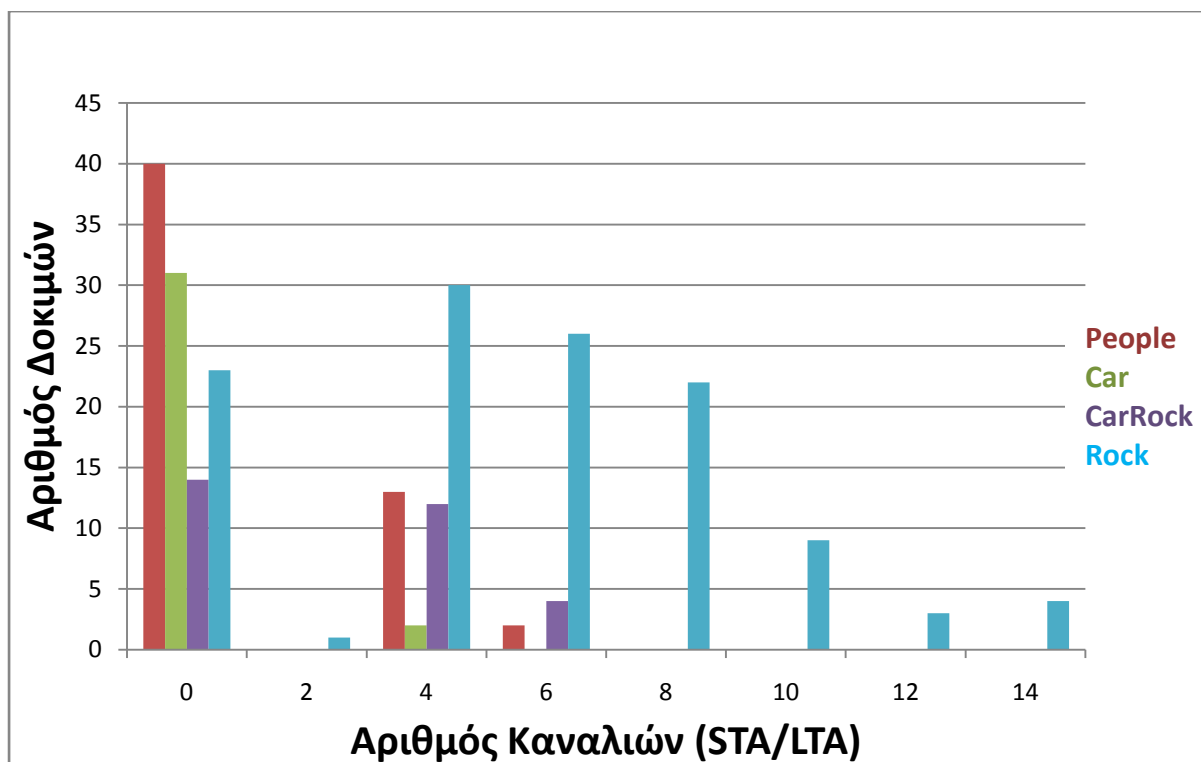


Σχήμα 4.9: Διάγραμμα Διάστημα Πλάτους- Αριθμού Δοκιμών.

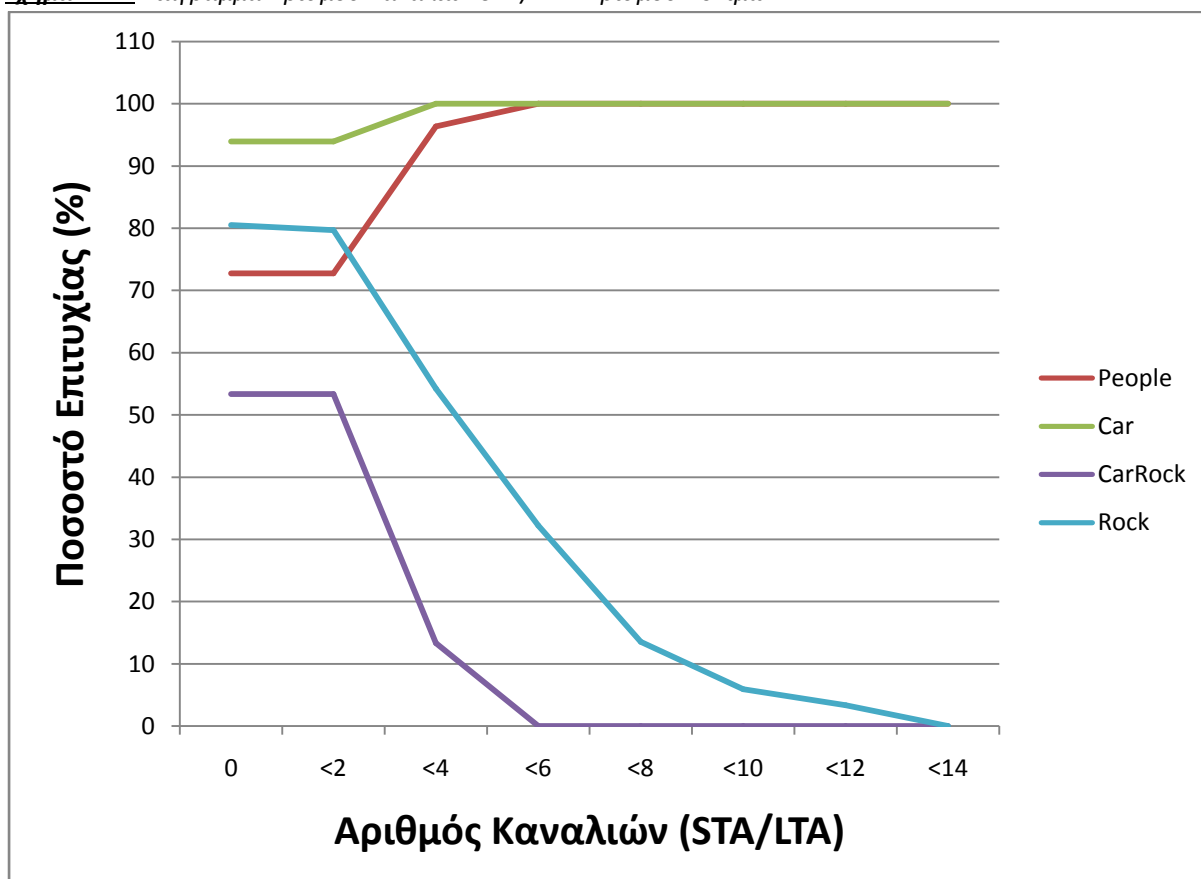


Σχήμα 4.10 : Αθροιστικό Διάγραμμα Διαστήματος Πλάτους-Ποσοστού Επιτυχίας (%).

Στο Σχήμα 4.11 παρουσιάζεται το διάγραμμα Αριθμός Καναλιών STA/LTA - Αριθμού Δοκιμών ενώ στο Σχήμα 4.12 το διάγραμμα αθροιστικού αριθμού καναλιών STA/LTA - Ποσοστού Επιτυχίας. Στο διάστημα καναλιών 2-10 έχουμε τα μεγαλύτερα ποσοστά ανίχνευσης βραχοπτώσεων και πιο συγκεκριμένα στο διάστημα καναλιών 6-8. Στο διάστημα καναλιών από 10 και πάνω δεν έχει εντοπιστεί καμία καταγραφή απ τις κατηγορίες People, Car, αλλά και CarRock. Οι κατηγορίες people και car όσο ο αθροιστικός αριθμός καναλιών μεγαλώνει αυξάνεται το ποσοστό επιτυχίας ενώ στις κατηγορίες carRock και rock συμβαίνει το αντίθετο.

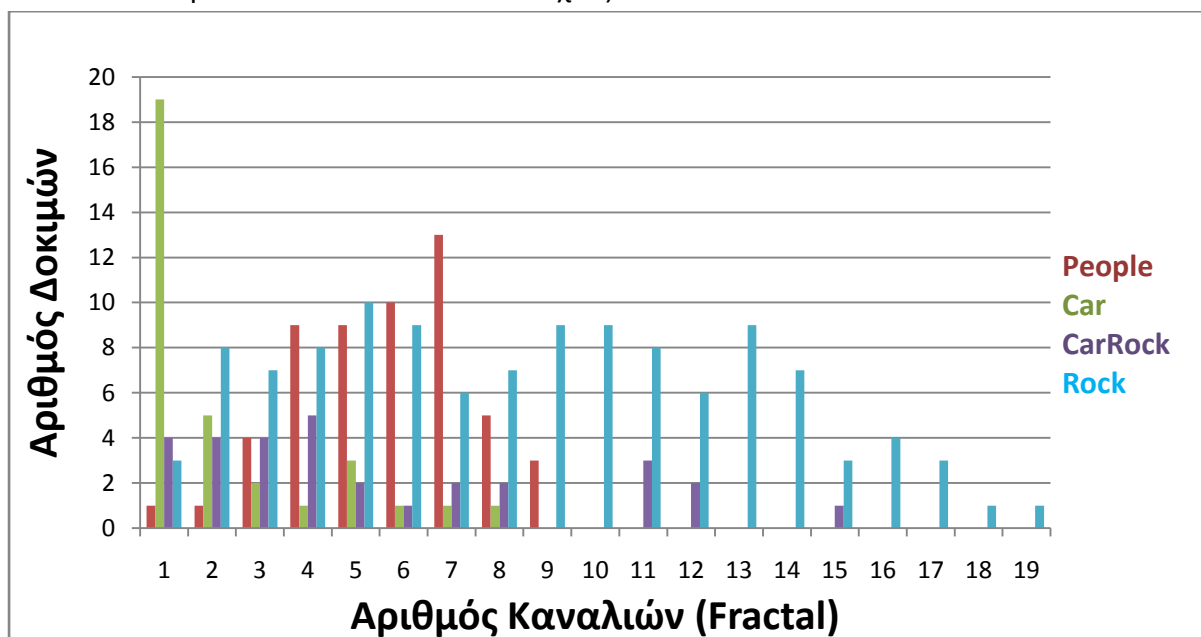


Σχήμα 4.11: Διάγραμμα Αριθμού Καναλιών STA/LTA -Αριθμού Δοκιμών.

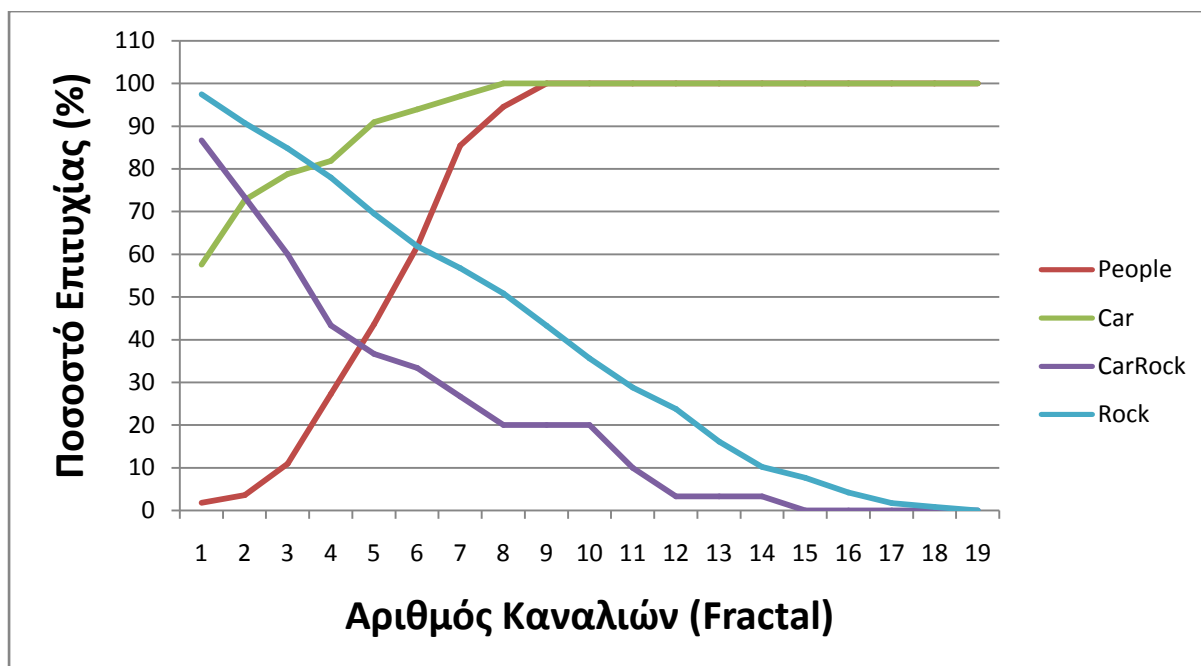


Σχήμα 4.12 : Αθροιστικό Διάγραμμα Αριθμού Καναλιών STA/LTA – Ποσοστού Επιτυχίας (%)

Στο Σχήμα 4.13 παρουσιάζεται το διάγραμμα Αριθμός Καναλιών fractal- Αριθμό Δοκιμών ενώ στο Σχήμα 4.14 το διάγραμμα αθροιστικού αριθμού καναλιών fractal - Ποσοστό Επιτυχίας. Στο διάστημα καναλιών 5-6 καθώς και 9-13 παρατηρείται ο μεγαλύτερος αριθμός καταγραφών από βραχοπτώσεις, ενώ από το κανάλι 9 και έπειτα δεν υπάρχουν καταγραφές για τις κατηγορίες Car και People. Όσο αυξάνεται ο αριθμός καναλιών fractal, τόσο αυξάνονται τα ποσοστά επιτυχίας τις περιπτώσεις People και Car. Πιο συγκεκριμένα, από το κανάλι 7 η κατηγορία Car έχει φτάσει (ιδανικά) στο 100% όπως και από το κανάλι 9 για την κατηγορία People, ενώ για τις κατηγορίες CarRock και Rock όσο αυξάνονται τα κανάλια τόσο μειώνεται το ποσοστό επιτυχίας.

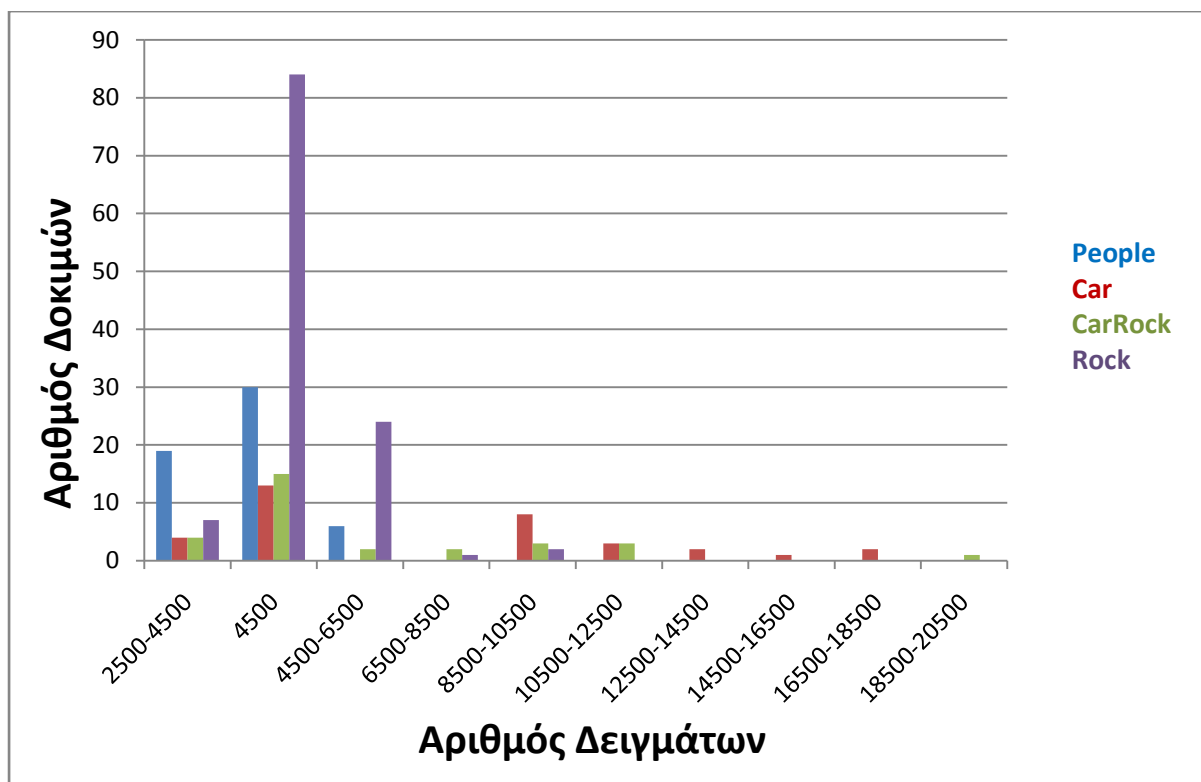


Σχήμα 4.13 : Διάγραμμα Αριθμού Καναλιών fractal- Αριθμού Δοκιμών.



Σχήμα 4.14: Διάγραμμα Αριθμού Καναλιών fractal- Ποσοστού Επιτυχίας(%).

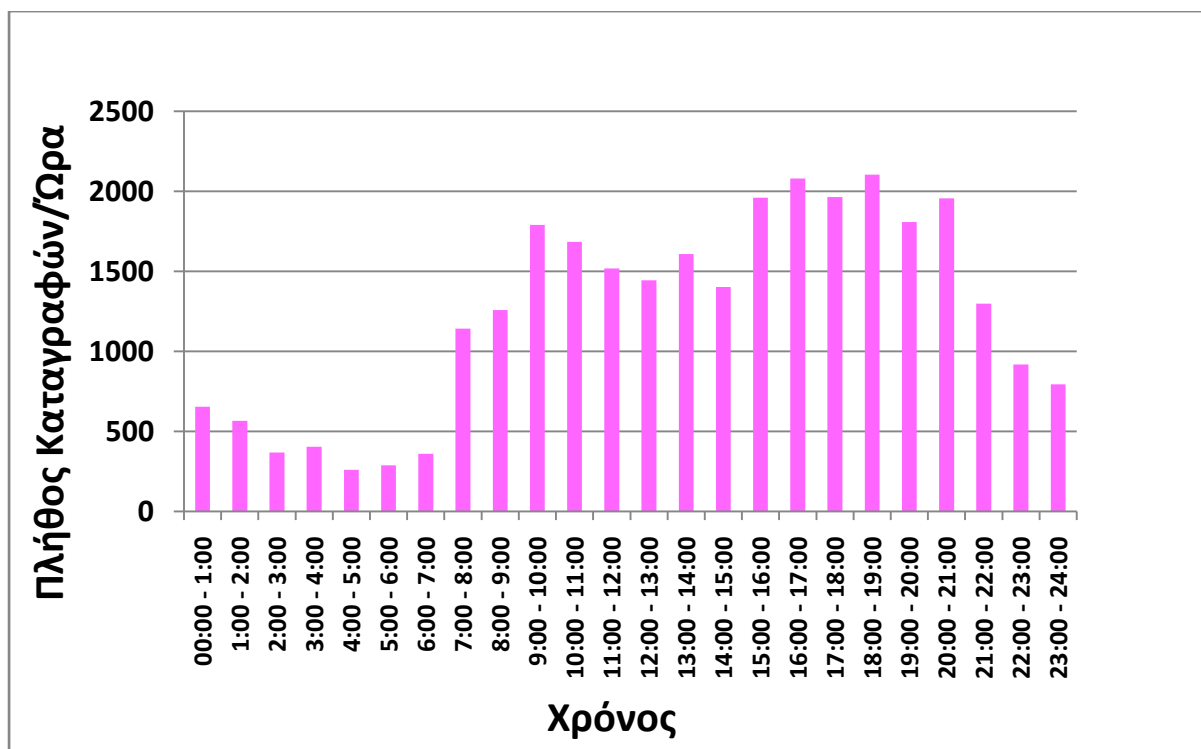
Στο Σχήμα 4.15 παρουσιάζεται το διάγραμμα Αριθμός Δειγμάτων-Αριθμός Δοκιμών. Ο αριθμός δειγμάτων 4500 ο οποίος αντιστοιχεί σε αριθμό δοκιμών 84 , παρατηρείται ότι έχει το πιο υψηλό ποσοστό επιτυχίας για την κατηγορία rock φτάνοντας στο 71.19 % σύμφωνα με τον πίνακα που βρίσκεται στο Παράρτημα Ι. Από τον αριθμό δειγμάτων 10500 και έπειτα δεν υπάρχουν καταγραφές βραχοπτώσεων , από τον αριθμό δειγμάτων 6500 και έπειτα δεν υπάρχουν καταγραφές για την κατηγορία people, από τον αριθμό δειγμάτων 12500 έως 18500 δεν υπάρχουν καταγραφές για CarRock ενώ από 4500 έως 8500 δεν υπάρχουν καταγραφές για Car.



Σχήμα 4.15: Διάγραμμα Αριθμού Δειγμάτων-Αριθμού Δοκιμών.

Στη συνέχεια, ακολουθούν διαγράμματα που αναφέρονται στις συνολικές καταγραφές της βάσης δεδομένων συναρτήσει του χρόνου και της ώρας. Πιο συγκεκριμένα, στο Σχήμα 4.16 παρουσιάζεται το διάγραμμα Ημερομηνία-Πλήθος Καταγραφών. Στο διάγραμμα αυτό, φαίνονται οι μέρες με τις περισσότερες καταγραφές από το χρονικό διάστημα που τοποθετήθηκε το σεισμικό σύστημα παρακολούθησης βραχοπτώσεων, δηλαδή από 8/6/2015 έως 17/12/2015 .

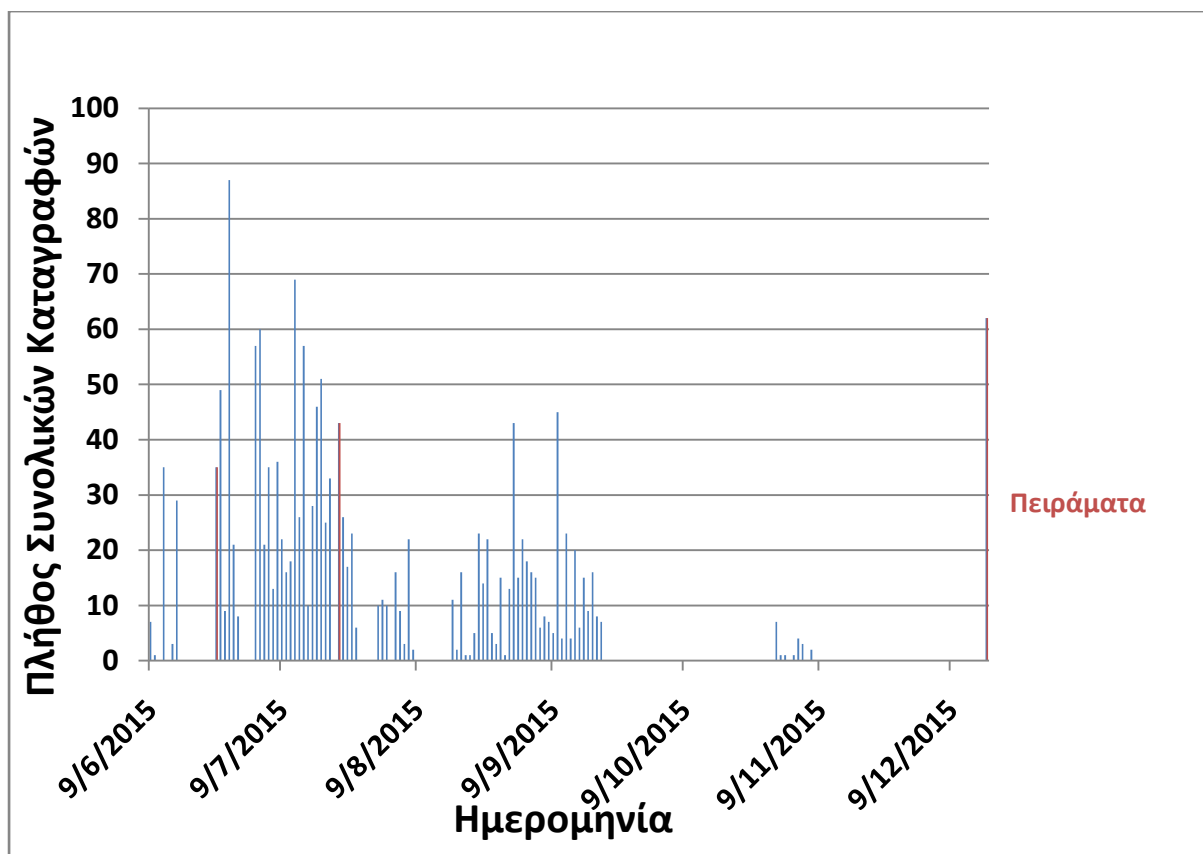
Στο Σχήμα 4.16 παρουσιάζεται το διάγραμμα Χρόνος-Πλήθος Καταγραφών/ώρα. Παρατηρείται ότι από τις 07:00 έως τις 23:00 γίνονται οι περισσότερες καταγραφές κατά τη διάρκεια μιας ημέρας. Το γεγονός αυτό, καθιστά πιο δύσκολο το γεγονός να γίνει διαχωρισμός των καταγραφών αν οφείλονται σε βραχύπωση ή σε ανθρώπινη δραστηριότητα καθώς επίσης αυξημένες είναι και οι πιθανότητες για την διέλευση οχημάτων ή για ζωική επίδραση.



Σχήμα 4.16 : Διάγραμμα Χρόνος-Πλήθος Καταγραφών/ώρα.

Στη συνέχεια κατασκευάζεται διάγραμμα με συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Πιο συγκεκριμένα, επιλέγεται από τη βάση δεδομένων ο αριθμός δειγμάτων να είναι μικρότερος ή ίσος του 6500 και θετική απόκριση των αλγόριθμων(true) STA/LTA και fractals $> 0 = 1630$ καταγραφών. Με κόκκινο χρώμα χαρακτηρίζονται οι μέρες των 3 ελεγχόμενων πειραμάτων. Στις 24/6/2015 οι μετρήσεις που καταγράφηκαν με βάση τα συγκεκριμένα φίλτρα ήταν 35, στις 22/7/15 ήταν 43 και στις 17/12/2015 ήταν 62.

Η διάρκεια των καταγραφών θα έπρεπε να είναι μεγαλύτερη, έτσι ώστε να περιλαμβάνονται και περίοδοι βροχοπτώσεων, διότι στην περίπτωση αυτή, οι πιθανότητες βροχοπτώσεων είναι αυξημένες.



Σχήμα 4.17 : Διάγραμμα Ημερομηνίας-Πλήθους συνολικών καταγραφών.

Στο Παράρτημα Ι παρουσιάζουν τα αναλυτικά αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στα παραπάνω διαγράμματα για κάθε περίπτωση (Car, CarRock, People, Rock) εξετάζοντας συγκεκριμένο παράγοντα κάθε φορά. Οι πίνακες διαχωρίζονται σε 3 κατηγορίες :

1. Πίνακας για STA/LTA
2. Πίνακας για Fractal
3. Αθροιστικό Ποσοστό Επιτυχίας (%)

4.4 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Με την χρήση κατάλληλου αλγορίθμου αξιολογήθηκαν όλες οι καταγραφές από τα ελεγχόμενα πειράματα και με βάση τις παρατηρήσεις πεδίου οι κατηγορίες Rock και CarRock χαρακτηρίζονται με **1** (true) ενώ οι κατηγορίες people και car χαρακτηρίζονται με το **0** (false). Ορισμένες από τις καταγραφές της βάσης δεδομένων από το πείραμα στις 17/12/2015 φαίνονται στον πίνακα 4.9 :

Οι τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση STA-LTA και fractal είναι :

STA= 64 , LTA=256 , Ratio=2, vel= 600, pulse=200, thresh=1.8

Πίνακας 4.9: Ενδεικτικές καταγραφές από τα ελεγχόμενα πειράματα όπως καταγράφονται στη βάση δεδομένων (στήλες 1-8).

Filename	Date	Local Time	Time-is	Sample interval	No of samples	STALTA No of channels	STALTA channels	Fractal No of channels
DA-20151217100940.510685.sg2	17/DEC/2015	10:09:40	510685	0.001	4500	0	0	5
DA-20151217100945.052677.sg2	17/DEC/2015	10:09:45	52677	0.001	2934	0	0	3
DA-20151217100948.028681.sg2	17/DEC/2015	10:09:48	28681	0.001	4426	4	7 8 9 10	6
DA-20151217100952.492686.sg2	17/DEC/2015	10:09:52	492686	0.001	4050	0	0	4
DA-20151217101010.952686.sg2	17/DEC/2015	10:10:10	952686	0.001	4500	0	0	4
DA-20151217101816.908685.sg2	17/DEC/2015	10:18:16	908685	0.001	4500	0	0	3
DA-20151217102140.330685.sg2	17/DEC/2015	10:21:40	330685	0.001	4500	8	1 2 3 4 5 6 7 8	3
DA-20151217102242.702686.sg2	17/DEC/2015	10:22:42	702686	0.001	4500	4	1 2 3 4	10
DA-20151217102440.068681.sg2	17/DEC/2015	10:24:40	68681	0.001	5000	4	1 2 3 4	1
DA-20151217102509.580685.sg2	17/DEC/2015	10:25:09	580685	0.001	6000	10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	8
DA-20151217102624.104686.sg2	17/DEC/2015	10:26:24	104686	0.001	4500	0	0	2
DA-20151217102725.236686.sg2	17/DEC/2015	10:27:25	236686	0.001	5000	14	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14	16
DA-20151217102806.714686.sg2	17/DEC/2015	10:28:06	714686	0.001	4500	8	3 4 5 6 7 8 9 10	13
DA-20151217102849.184685.sg2	17/DEC/2015	10:28:49	184685	0.001	4500	6	3 4 5 6 7 8	9
DA-20151217102959.554684.sg2	17/DEC/2015	10:29:59	554684	0.001	4500	4	3 4 5 6	4
DA-20151217110123.610682.sg2	17/DEC/2015	11:01:23	610682	0.001	4500	0	0	0
DA-20151217100846.338685.sg2	17/DEC/2015	10:08:46	338685	0.001	3686	0	0	5
DA-20151217102509.580685.sg2	17/DEC/2015	10:25:09	580685	0.001	6000	10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	8
DA-20151217102624.104686.sg2	17/DEC/2015	10:26:24	104686	0.001	4500	0	0	2

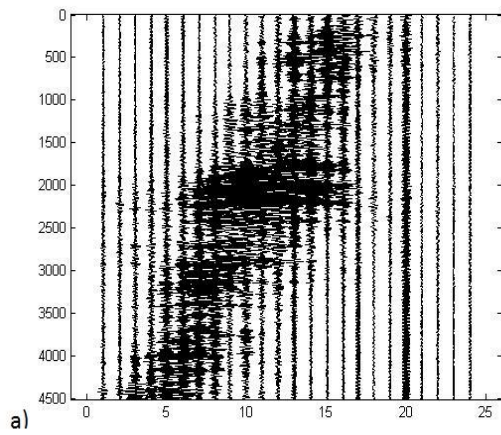
Πίνακας 4.9 (Συνέχεια): Ενδεικτικές καταγραφές από τα ελεγχόμενα πειράματα όπως καταγράφονται στη βάση δεδομένων (στήλες 1 & 9-14).

Filename	Fractal channels	chan max amp	max amplitude	ver.event	χαρακτηρισμός
DA-20151217100940.510685.sg2	9 10 11 12 13	0	0.00E+00	0.0	People
DA-20151217100945.052677.sg2	9 10 11	0	0.00E+00	0.0	People
DA-20151217100948.028681.sg2	7 8 9 10 11 12	7	1.54E-04	0.0	People
DA-20151217100952.492686.sg2	7 8 9 10	0	0.00E+00	0.0	People
DA-20151217101010.952686.sg2	1 2 3 4	0	0.00E+00	0.0	Car
DA-20151217101816.908685.sg2	10 12 14	0	0.00E+00	1.0	CarRock
DA-20151217102140.330685.sg2	5 6 9	4	2.55E-04	1.0	Rock
DA-20151217102242.702686.sg2	1 2 3 4 5 6 8 11 12 14	2	1.43E-04	1.0	CarRock
DA-20151217102440.068681.sg2	9	2	9.84E-05	1.0	Rock
DA-20151217102509.580685.sg2	1 3 4 5 6 7 8 19	6	5.32E-04	1.0	Rock
DA-20151217102624.104686.sg2	6 11	0	0.00E+00	1.0	CarRock
DA-20151217102725.236686.sg2	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16	3	1.04E-03	1.0	Rock
DA-20151217102806.714686.sg2	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13	3	5.27E-04	1.0	Rock
DA-20151217102849.184685.sg2	2 3 4 5 6 7 8 9 15	6	9.72E-04	1.0	Rock
DA-20151217102959.554684.sg2	3 4 6 8	6	2.65E-04	1.0	Rock
DA-20151217110123.610682.sg2	0	0	0.00E+00	0.0	Car
DA-20151217100846.338685.sg2	7 8 9 10 11	0	0.00E+00	0.0	People
DA-20151217102509.580685.sg2	1 3 4 5 6 7 8 19	6	5.32E-04	1.0	Rock
DA-20151217102624.104686.sg2	6 11	0	0.00E+00	1.0	CarRock

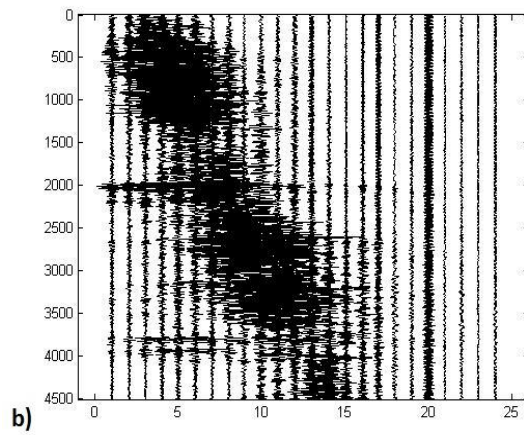
Ενδεικτικά, από το ελεγχόμενο πείραμα στις 17/12/2015 παρουσιάζονται μια καταγραφή από τον σειсмоγράφο για κάθε κατηγορία :

Για Car η καταγραφή DA-20151217110123.610682

Για CarRock η καταγραφή DA-20151217102624.104686



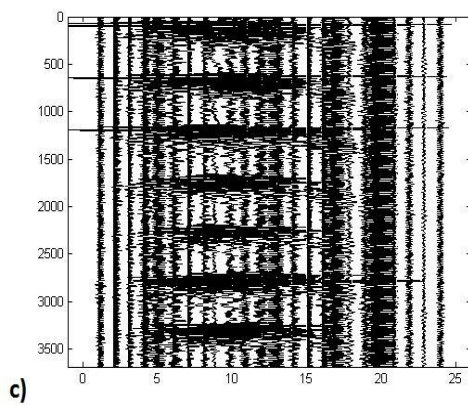
a)



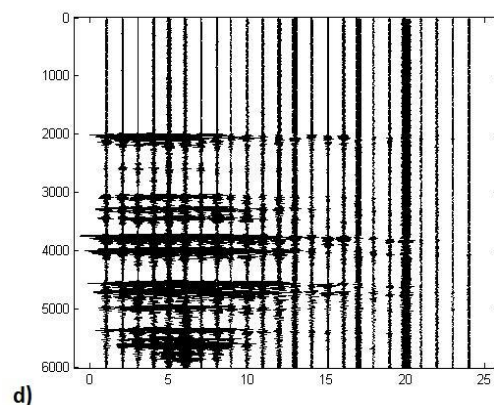
b)

Για People η καταγραφή DA-20151217100846.338685

Για Rock η καταγραφή DA-20151217102509.580685



c)



d)

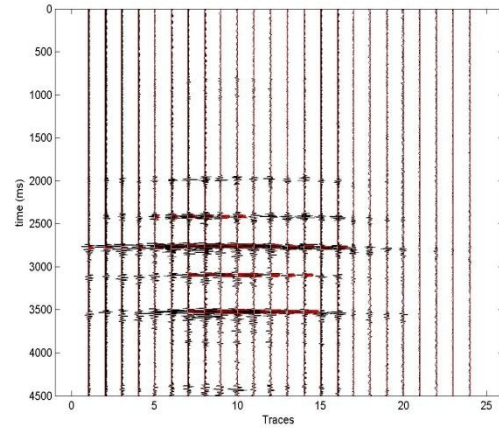
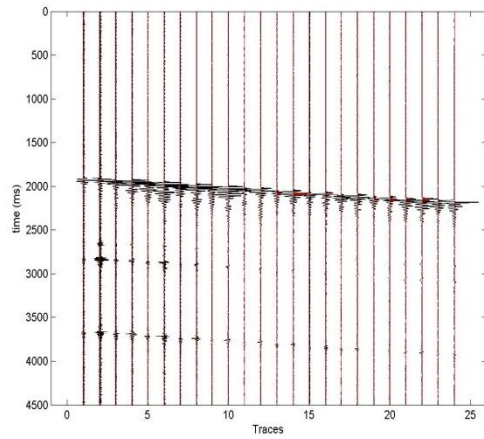
Σχήμα 4.18 : Κάθε εικόνα αντιστοιχεί σε μια κατηγορία: a)Car b)CarRock c)People d)Rock

4.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΕ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΕΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΜΕ ΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

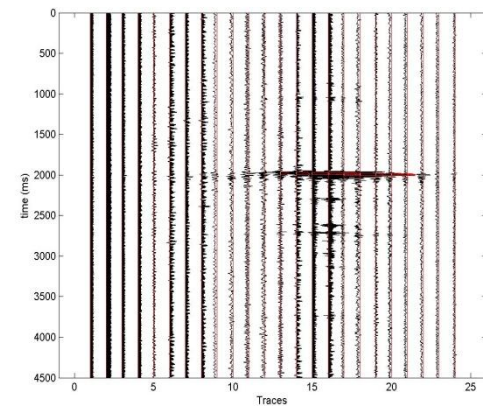
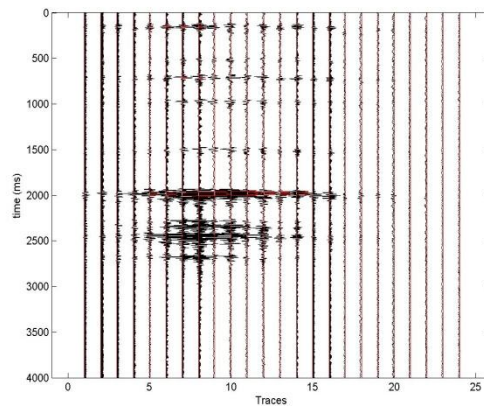
Από την βάση δεδομένων η οποία αποτελείται από 33357 καταγραφές, επιλέχθηκε να γίνει περιορισμός των οπτικά εξεταζόμενων καταγραφών, περιορίζοντας στον αλγόριθμο STA/LTA τον αριθμό των καναλιών στα οποία ανιχνεύθηκε βραχύπτωση. Ειδικότερα επιλέχθηκαν οι καταγραφές με ένδειξη βραχύπτωσης σε αριθμό καναλιών από 8 έως 18. Στις μέρες που πραγματοποιήθηκε η επιλογή των εν λόγω δεδομένων δεν συμπεριλήφθησαν οι ημέρες που πραγματοποιήθηκαν τα ελεγχόμενα πειράματα. Με αυτό το φίλτρο προέκυψαν 100 καταγραφές (χαρακτηρισμένες από τον αλγόριθμο STA/LTA ως βραχύπτωση), των οποίων πραγματοποιήθηκε η απεικόνισή τους. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ένας οπτικός διαχωρισμός και κατηγοριοποίηση των εν λόγω καταγραφών χρησιμοποιώντας κλίμακα από 0.1 έως 0.9 με βήμα 0.2. Η κλίμακα αυτή εκφράζει την πιθανότητα, που θεωρείται με βάση την οπτική παρατήρηση, η κάθε καταγραφή να αντιστοιχεί σε βραχύπτωση. Οι κύριες κατηγορίες της κλίμακας αυτής είναι:

- 0.1 (σχεδόν απίθανο να είναι βραχύπτωση). Προέκυψαν 44 καταγραφές
- 0.3 (μικρή πιθανότητα βραχύπτωσης). Προέκυψαν 37 καταγραφές
- 0.5 (μέτρια πιθανότητα βραχύπτωσης). Προέκυψαν 15 καταγραφές
- 0.7 (υψηλή πιθανότητα βραχύπτωσης). Προέκυψαν 2 καταγραφές
- 0.9 (πολύ υψηλή πιθανότητα βραχύπτωσης). Προέκυψε 1 καταγραφή

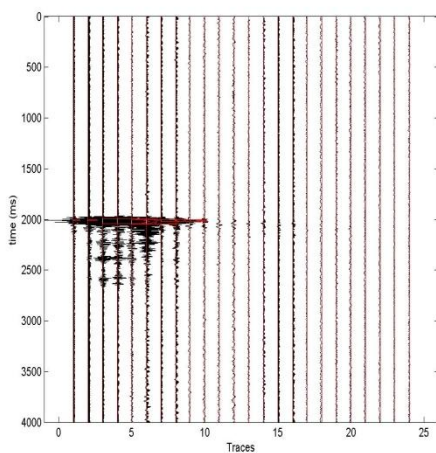
Στο Σχήμα 4.20 παρατίθενται ενδεικτικά μια απεικόνιση καταγραφής από κάθε κατηγορία. Με βάση την παραπάνω προσέγγιση, παρατηρείται ότι σε πραγματικές συνθήκες (όχι ελεγχόμενου πειράματος) ο χαρακτηρισμός καταγεγραμμένων δονήσεων ως βραχύπτωση από τον αλγόριθμο STA/LTA δίνει μάλλον πολύ περισσότερες ψευδείς προειδοποιήσεις βραχύπτωσης (false alarm) από ότι στα ελεγχόμενα πειράματα.



Σχήμα 4.19: (Αριστερά) Η καταγραφή που απεικονίζεται είναι της πιθανότητας για βραχώπτωση 0.1(σχεδόν απίθανο). (Δεξιά) καταγραφή που απεικονίζεται είναι της πιθανότητας για βραχώπτωση 0.3(μικρή).



Σχήμα 4.20: (Αριστερά) Η καταγραφή που απεικονίζεται είναι της πιθανότητας για βραχώπτωση 0.5(μέτρια). (Δεξιά) καταγραφή που απεικονίζεται είναι της πιθανότητας για βραχώπτωση 0.7(υψηλή).



Σχήμα 4.21: Η καταγραφή που απεικονίζεται είναι της πιθανότητας για βραχώπτωση 0.9(πολύ υψηλή).

Πλήρης λίστα των επιλεγμένων πραγματικών καταγραφών που ελέγχθηκαν με τον αντίστοιχο χαρακτηρισμό τους παρατίθενται στο Παράρτημα II της εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να βρεθούν οι βέλτιστοι παράμετροι έτσι ώστε το σεισμικό σύστημα παρακολούθησης βραχοπτώσεων να ανιχνεύει τις καταγραφές οι οποίες οφείλονται σε βραχύπτωση, με όσο το δυνατόν μικρότερο αριθμό false alarm.

Το συνολικό ποσοστό επιτυχίας ανίχνευσης βραχοπτώσεων με τη χρήση των νέων παραμέτρων υπερβαίνει το 75,12%. Ειδικότερα, το ποσοστό επιτυχίας ανίχνευσης βραχοπτώσεων είναι 80,50 %, το ποσοστό επιτυχίας ανίχνευσης για την κατηγορία Cars είναι 93,93%, το ποσοστό επιτυχίας ανίχνευσης για την κατηγορία People είναι 72,72% και ποσοστό επιτυχίας ανίχνευσης για την κατηγορία CarRocks είναι 53,33% ενώ παράλληλα παρουσιάζουν τον ελάχιστο αριθμό ψευδών προειδοποιήσεων βραχύπτωσης (false alarm). Στη συνέχεια, μελετήθηκαν και άλλες παράμετροι αποσκοπούσαν στην περεταίρω βελτίωση του ποσοστού επιτυχίας όπως ο αριθμός δειγμάτων, το διάστημα πλάτους, ο αριθμός καναλιών, ο χρόνος και το πλήθος καταγραφών συναρτήσεως του χρόνου. Σύμφωνα με τα διαγράμματα, όσο το αθροιστικό πλάτος μεγαλώνει αυξάνεται το ποσοστό επιτυχίας για τις κατηγορίες People και Car όσο, ενώ στις κατηγορίες carRock και rock συμβαίνει το αντίθετο. Το ίδιο συμβαίνει και με τον αριθμό καναλιών. Όσον αφορά στον αριθμό δειγμάτων, παρατηρείται ότι οι καταγραφές βραχοπτώσεων παρουσιάζονται από 2500 έως 10500. Από τον αριθμό δειγμάτων 6500 και έπειτα, δεν υπάρχουν καταγραφές για την κατηγορία people, από τον αριθμό δειγμάτων 12500 έως 18500 δεν υπάρχουν καταγραφές για CarRock ενώ από 4500 έως 8500 δεν υπάρχουν καταγραφές για Car. Για τις συνολικές καταγραφές συναρτήσεως του χρόνου, παρατηρείται ότι από τις 07:00 έως τις 23:00 γίνονται οι περισσότερες καταγραφές κατά τη διάρκεια μιας ημέρας. Το γεγονός αυτό, καθιστά πιο δύσκολο να γίνει διαχωρισμός των καταγραφών αν οφείλονται σε βραχύπτωση ή σε ανθρώπινη δραστηριότητα καθώς επίσης αυξημένες είναι και οι πιθανότητες για την διέλευση οχημάτων ή για ζωική επίδραση. Επίσης, η διάρκεια των καταγραφών θα έπρεπε να είναι μεγαλύτερη, έτσι ώστε να περιλαμβάνονται και περίοδοι βραχοπτώσεων ,διότι στην περίπτωση αυτή ,οι πιθανότητες βραχοπτώσεων είναι αυξημένες. Τέλος, με την αξιολόγηση των βέλτιστων παραμέτρων σε επιλεγμένες πραγματικές καταγραφές με οπτικό διαχωρισμό παρατηρείται ότι σε πραγματικές συνθήκες (όχι ελεγχόμενου πειράματος) ο χαρακτηρισμός καταγεγραμμένων δονήσεων ως βραχύπτωση από τον αλγόριθμο STA/LTA δίνει μάλλον πολύ περισσότερες ψευδείς προειδοποιήσεις βραχύπτωσης (false alarm) από ότι στα ελεγχόμενα πειράματα.

Σύμφωνα με τα συμπεράσματα προτείνονται:

1. Όταν παρατηρείται ότι ο αλγόριθμος εκδίδει συναγερμό σε μη συνεχόμενα κανάλια, πιθανόν αυτό να οφείλεται σε καταγραφή 2 ανεξάρτητων γεγονότων. Επομένως, εκτός από τον αριθμό καναλιών που πληρούν τα κριτήρια STA/LTA και fractal προτείνεται να ελέγχεται και ο αριθμός των συνεχόμενων καναλιών που πληρούν τα παραπάνω κριτήρια.
2. Για την αύξηση του ποσοστού επιτυχίας για δονήσεις που προέρχονται από το βηματισμό ανθρώπων, προτείνεται να ελέγχεται και η περιοδικότητα του καταγεγραμμένου σήματος, δεδομένου ότι ο ανθρώπινος βηματισμός έχει περιοδικότητα.
3. Η οπτική παρατήρηση των καταγραφών, είναι δυνατόν να αυξήσει τα ποσοστά επιτυχίας στον εντοπισμό βραχοπτώσεων. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στην οπτική συσχέτιση αυτού του είδους καταγραφών. Με βάση αυτό, προτείνεται η ετεροσυσχέτιση (Cross-Correlation) των καταγραφών του συστήματος, με καταγραφές βραχοπτώσεων αποθηκευμένες σε βάση δεδομένων. Μεγάλη συσχέτιση αναμένεται όταν η καταγραφή προέρχεται από βραχύπτωση.
4. Μελέτη για την καταλληλότητα της χρήσης "ευφυών" συστημάτων ταξινόμησης (πχ νευρωνικά δίκτυα, ανάλυση κυρίων συνιστωσών κλπ) όπου τα συστήματα αυτά θα "εκπαιδεύονται" να αναγνωρίζουν τις βραχοπτώσεις. Ωστόσο, για την "εκπαίδευση" αυτή απαιτούνται περισσότερα ελεγχόμενα πειράματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ :

Διεθνής:

1. Agioutantis, Z., Mertikas, S., Steiakakis, C., Daskalakis, A., Tripolitsiotis, A., Kritikakis, G., Apostolou, E., Kaplanidis, G., (2014), "Rockfall monitoring system for improving road safety", The 2014 ISRM European Rock Mechanics Symposium-EUROCK2014, Vigo, Spain, 27-29th May 2014
2. Allen, R., 1978, Automatic earthquake recognition and timing from single traces, Bulletin of the Seismological Society of America, 68, p. 1521-1532
3. Amitrano, D., J. R Grasso, and G. Senfaute (2005) Seismic precursory patterns before a cliff collapse and critical point phenomena, Geophys. Res. Lett. 32, L08314, doi:10.1029/2004GL022270.
4. Apostolou, E., Agioutantis, Z., Steiakakis, C. (2014), "Integrated evaluation of rockfall triggering mechanism for road monitoring". International Association for Engineering Geology – IAEG XII Congress, Torino, September 15-19 2014.
5. Barnes A. E., 1993, Instantaneous spectral bandwidth and dominant frequency with applications to seismic reflection data, Journal of Geophysic Engineering 5, 338
6. Berger, F. and Dorren, L. K. A., 2007, Principles of the tool Rockfor.NET for quantifying the rockfall hazard below a protection forest, Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 158, p. 157–165
7. Braathen, A., Blikra, L.H., Berg, S.S., Karlsen, F. (2004), "Rock-slope failures in Norway: type, geometry and hazard". Norwegian Journal of Geology, Vol. 84, pp. 67-88.
8. Brodsky, E. E., E. Gordeev, and H. Kanamori (2003) Landslide basal friction as measured by seismic waves, Geophys. Res. Lett., 30(24), 2236, doi:10.1029/2003GL018485
9. Budetta, P. and Panico, M., 2002, Il metodo "Rockfall Hazard Rating System" modificato per la valutazione del rischio da caduta massi, Geologia Tecnica ed Ambientale, 2, p. 3–13
10. Christaras B., Syrides G., Chatzipetros A. A., Mavromatis T., Papathanasiou G., Pavlides S. B., "Bulletin of the Geological Society of Greece, 2010 Proceedings of the 12th International Congress, Patras, May, 2010, p.1369
11. Del Gaudio V., S. Coccia, J. Wasowski, M. Gallipoli and M. Mucciarelli (2008), Detection of directivity in seismic site response from microtremor spectral analysis, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 8, 751-762
12. Deparis J, D Jongmans, F. Cotton, L. Baillet, F. Thouvenot and D. Hantz (2008) Analysis of rock-fall seismograms in the western Alps, Bull. Seism. Soc. America, 98,4, 1781-1796.
13. DMT GmbH & Co. KG Exploration & Geosurvey Geoinstruments 2007, First version (short Instruction Manual), documentation covering only the summit Monitoring

14. Egan J.P., 1975. Signal detection theory and ROC analysis, Series in Cognition and Perception. Academic Press, New York.
15. Gholamy, S., Javaherian, A., and Ghods, A., 2008, Automatic detection of interfering seismic wavelets using fractal methods, Journal of Geophysics and Engineering, 5, p. 338-347.
16. Huang, C.J., Yin H.Y., Chen, C.Y. (2007), "Ground vibration produced by rock motions and debris flows". Journal of Geophysical research Vol. 112, Issue F2.
17. Krautblatter M., Moser M. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 9, 1425–1432, 2009 Germany
18. Mandelbrot, B. (1967). "How Long is the Coast of Britain? Statistical Self-Similarity and Fractional Dimension". Science 156 (3775): 636–638.
19. Mavrouli O., Corominas J., Wartman J. The seismic effect on rockfall hazard Interdisciplinary Workshop on Rockfall Protection (2008), Morschach, June 23-25
20. McSaveney, M. J. (2002) Recent rockfalls and rock avalanches in Mount Cook National Park, New Zealand, in Evans, S.G. & DeGraff, J.V. (eds). Catastrophic landslides: occurrence, mechanisms and mobility. Geological Society of America Reviews in Engineering Geology, 15, 35-70.
21. McSaveney, M. J. and G. Downes (2002a) Application of landslide seismology to some New Zealand rock avalanches, in Rybar, J., Stemberk, J. & Wagner, P. (eds) Landslides. Balkema, Lisse, p. 649-654
22. Meissner R and Meixner E, 1969, Deformation of seismic wavelets by thin layers and layered boundaries, Geophysical Prospect. 17 1-27
23. N. Economou., 2015 (Technical University of Crete - TUC), G. Kritikakis (TUC), A. Tripolitsiotis (TUC), P. Partsinevelos (TUC), G. Vlachou (TUC), Z. Agioutantis (University of Kentucky) & A. Vafidis (TUC) Seismic Monitoring for Automatic Rockfall Detection along Transportation corridor, 8th Congress of the Balkan Geophysical Society
24. National Highway Institute: Rockfall Hazard Rating System participant's manual, NHI Course No. 130220, U.S. Dept. of Transportation, Federal Highway Administration, Publication No. FHWA SA-93-057, 1993.
25. Norris, R. D. (1994) Seismicity of rockfalls and avalanches at three cascade range volcanoes: Implications for seismic detection of hazardous mass movements, Bul. Seism. Soc. Am. 84, 1925-1939.
26. Panet, M., "Expertise relative aux risques d'éboulement du versant des ruines de S'échilienne" Préfecture de l'Isère, Décembre 2000, 24p
27. Partsinevelos P., Kritikakis G., Economou N., Agioutantis Z., Tripolitsiotis A., Mertikas S., Vafidis A., 2016, Integration of seismic and image data processing for rockfall monitoring and early warning along transportation networks, NATURAL HAZARDS - DORDRECHT- KLUWER ACADEMIC, 83,1, p. 133-153

28. Pierson, L. A., Davis, S. A., and Van Vickie, R.: Rockfall Hazard Rating System – Implementation Manual, Federal Highway Administration (FHWA), Report FHWA-OR-EG-90-01, FHWA, U.S. Dep. of Transp., 1990
29. Pullan, S. E., 1990, Recommended standard for seismic (/radar) files in the personal computer environment: *Geophysics*, 55, no. 09, 1260-1271.
30. Roth, M. and Blikra, L. H., 2005. Seismic Monitoring of the unstable rock slope at °Aknes, Norway. Annual meeting of the German Geophysical Society, Graz, Austria
31. Scesi, L., Seno, S., Gioia, U., and Mazzucchelli, A.: Pareti rocciose instabili e strade: un sistema di valutazione delle priorit`a di intervento, Associazione Georisorse ed Ambiente (GEAM), Torino, 92-102, 2001.
32. Sepulveda, S.A., Murphy, W., Petley, D.N., 2005. Topographic controls on coseismic rock slides during the 1999 Chi-Chi earthquake, Taiwan. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology* 38 (2), 189 – 196
33. Spackman, K.A., 1989. Signal detection theory : Valuable tools for evaluating inductive learning. In: Proc. Sixth Internat. Workshop on Machine Learning. Morgan Kaufman, San Mateo, CA, pp. 160-163.
34. Spillmann, T., H. Maurer, A. G. Green, B. Heincke, H. Willenberg, and S. Husen (2007), Microseismic investigation of an unstable mountain slope in the Swiss Alps, *J. Geophys. Res.*, 112, B07301, doi:10.1029/2006JB004723.
35. Swets J.A., Dawes, R.M., Monahan, J., 2000. Better decisions through science. *Scientific American* 283, 82-87.
36. Taner M. T., Koehler F. and Sheriff R. E., 1979, Complex seismic trace analysis *Journal of Geophysic Engineering* 5, 338
37. Trnkoczy A., 1999, Understanding and parameter setting of STA/LTA trigger algorithm, in P.Bormann, ed., *New manual of seismological observatory practice (NMSOP)*: Deutsches GeoForschungsZentrum, 1-20, http://dx.doi.org/10.2312/GFZ.NMSOP_r1_IS_8.1.
38. Turcotte, D. L., 1997, *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics*, 2nd edition, Cambridge University Press
39. Wilson P. , Cunningham A. Examples of recent rockfalls from basalt cliffs in Northern Ireland *Irish Geography*, Volume 36(2), 2003, 170-177
40. Withers M., Aster R., Young C., Beiriger J., Harris M., Moore S. and Trujillo, J.. A Comparison of Select Trigger Algorithms for Automated Global Seismic Phase and Event Detection. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 88, No. 1, pp. 95-106, February 1998.

Ελληνική :

1. «ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ 2011» Συμπράξεις Παραγωγικών και Ερευνητικών Φορέων σε Εστιασμένους Ερευνητικούς και Τεχνολογικούς Τομείς ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ 6.1, Πιλοτική Ανάπτυξη του Συστήματος του έργου 11ΣΥΝ_9_1389 ISTRIA, «Ανάπτυξη ολοκληρωμένου συστήματος αναγνώρισης βραχοπτώσεων σε αυτοκινητόδρομους»

2. «ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ 2011» Συμπράξεις Παραγωγικών και Ερευνητικών Φορέων σε Εστιασμένους Ερευνητικούς και Τεχνολογικούς Τομείς, ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ 1.1, Αναγνώριση μηχανισμών ενεργοποίησης βραχοπτώσεων στην Ελλάδα και Διεθνώς στα πλαίσια του έργου 11SYN_9_1389 ISTRIA, «Ανάπτυξη ολοκληρωμένου συστήματος αναγνώρισης βραχοπτώσεων σε αυτοκινητόδρομους» ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2013,
3. Βογιατζής Δ., Δημητρίου Α., Παπαθανασίου Γ., Β. Χρηστάρας., Καντηράνης Ν, Φιλιππίδης Α. και Μωραΐτη Ε. Καταπτώσεις βράχων κατά το σεισμό της 14/8/03 και πιθανά μέτρα προστασίας στο ανάντη πρανές του χωριού δρυμώνας του δήμου Σφακιωτών, Ν. Λευκάδας Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXXVI, 2004, Πρακτικά 10ου Διεθνούς Συνεδρίου, Θεσ/νίκη Απρίλιος 2004
4. Παυλάκη Α.– Λιονής Μ. Αναθεώρηση και Επέκταση γενικού πολεοδομικού σχεδίου (Γ.Π.Σ) Δήμου Χανίων και των περιαστικών Δήμων Ελ.Βενιζέλου, Θερίσου και Σούδας. Προκαταρκτική Μελέτη Γεωλογικής Καταλληλότητας, Ελληνική Δημοκρατία Περιφέρεια Κρήτης Δήμος Χανίων, Φεβρουάριος 2013
5. Μπιωτάκη Αικατερίνη, 2017, Ανάλυση εργαστηριακών καταγραφών δύναμης κοπής πετρωμάτων με χρήση μορφοκλασμάτων, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία Δ.Π.Μ.Σ « Σχεδιασμός και κατασκευή υπόγειων έργων»
6. Πολυχρονάκη Γ. Σ. (2011). Ανάπτυξη μεθοδολογιών βασισμένων σε μεγέθη μηχανικής δυναμικής για την ανάλυση δεδομένων επιληψίας. Διδακτορική διατριβή, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
7. Χαμαλίδης Α.(2010) Απεικόνιση της χωρικής αντίληψης του ήχου στο χώρο της επεξεργασίας σήματος. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική Σχολή, Θεσσαλονίκη
8. Χαραλάμπους, Σ., Καλογεράς Ι., Στρατάκος Ι., Σακελλαρίου Μ. Μεθοδολογία τρισδιάστατης ανάλυσης βραχοπτώσεων λόγω σεισμού. Εφαρμογή στον σεισμό της Λευκάδας 14/08/2003, M=6.2 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας 5–7 Νοεμβρίου, 2008 Άρθρο 1892

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Πίνακας Διάστημα πλάτους –Αριθμός δοκιμών

ΠΙΝΑΚΑΣ Α								
Συνολικός Αριθμός Καταγραφών	55		33		30		118	
	People		Car		CarRock		Rock	
Διάστημα Πλάτους	Αριθμός Δοκιμών	Ποσοστό Επιτυχίας (%)	Αριθμός Δοκιμών	Ποσοστό Επιτυχίας (%)	Αριθμός Δοκιμών	Ποσοστό Επιτυχίας (%)	Αριθμός Δοκιμών	Ποσοστό Επιτυχίας (%)
0	40	72.73	31	93.94	14	46.67	23	19.49
0-6e-5	2	3.64	0	0.00	0	0.00	0	0.00
6-8e-5	3	5.45	0	0.00	0	0.00	4	3.39
8e-5-1e-4	1	1.82	1	3.03	0	0.00	4	3.39
1-2e-4	5	9.09	1	3.03	1	3.33	19	16.10
2-4e-4	3	5.45	0	0.00	2	6.67	24	20.34
4-6e-4	0	0.00	0	0.00	2	6.67	11	9.32
6-8e-4	0	0.00	0	0.00	0	0.00	6	5.08
8e-4-1e-3	0	0.00	0	0.00	2	6.67	4	3.39
1-2e-3	1	1.82	0	0.00	4	13.33	13	11.02
2-4e-3	0	0.00	0	0.00	5	16.67	10	8.47
	Άθροισμα	100.00	Άθροισμα	100.00	Άθροισμα	100.00	Άθροισμα	100.00
Σύνολο Επιτυχιών	15		2		16		95	

Πίνακας Αθροιστικού Διαστήματος Πλάτους

Αθροιστικό Ποσοστό Επιτυχίας (%)				
Διάστημα Πλάτους	People	Car	CarRock	Rock
0	72.73	93.94	53.33	80.51
<6e-5	76.36	93.94	53.33	80.51
<8e-5	81.82	93.94	53.33	77.12
<1e-4	83.64	96.97	53.33	73.73
<2e-4	92.73	100.00	50.00	57.63
<4e-4	98.18	100.00	43.33	37.29
<6e-4	98.18	100.00	36.67	27.97
<8e-4	98.18	100.00	36.67	22.88
<1e-3	98.18	100.00	30.00	19.49
<2e-3	100.00	100.00	16.67	8.47
<4e-3	100	100	0	0

Πίνακας Αριθμός Καναλιών–Αριθμός Δοκιμών

ΠΙΝΑΚΑΣ για STA/LTA								
Συνολικός Αριθμός Καταγραφών	55		33		30		118	
	People		Car		CarRock		Rock	
Αριθμός Καναλιών	Αριθμός Δοκιμών	Ποσοστό Επιτυχίας	Αριθμός Δοκιμών	Ποσοστό Επιτυχίας	Αριθμός Δοκιμών	Ποσοστό Επιτυχίας	Αριθμός Δοκιμών	Ποσοστό Επιτυχίας
0	40	72.73	31	93.94	14	46.67	23	19.49
2	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.85
4	13	23.64	2	6.06	12	40.00	30	25.42
6	2	3.64	0	0.00	4	13.33	26	22.03
8	0	0.00	0	0.00	0	0.00	22	18.64
10	0	0.00	0	0.00	0	0.00	9	7.63
12	0	0.00	0	0.00	0	0.00	3	2.54
14	0	0.00	0	0.00	0	0.00	4	3.39
	Άθροισμα	100	Άθροισμα	100	Άθροισμα	100	Άθροισμα	100
Σύνολο								
	55		33		30		118	

Πίνακας Αθροιστικού Αριθμού Καναλιών

Αθροιστικό				
Αριθμός Καναλιών	People	Car	CarRock	Rock
0	72.73	93.94	53.33	80.51
<2	72.73	93.94	53.33	79.66
<4	96.36	100.00	13.33	54.24
<6	100.00	100.00	0.00	32.20
<8	100.00	100.00	0.00	13.56
<10	100.00	100.00	0.00	5.93
<12	100.00	100.00	0.00	3.39
<14	100.00	100.00	0.00	0.00

Πίνακας Αριθμός Καναλιών–Αριθμός Δοκιμών για Fractal

Συνολικός Αριθμός Καταγραφών	ΠΙΝΑΚΑΣ για Fractal							
	55		33		30		118	
	People		Car		CarRock		Rock	
Αριθμός Καναλιών	Αριθμός Δοκιμών	Ποσοστό Επιτυχίας	Αριθμός Δοκιμών	Ποσοστό Επιτυχίας	Αριθμός Δοκιμών	Ποσοστό Επιτυχίας	Αριθμός Δοκιμών	Ποσοστό Επιτυχίας
0	1	1.82	19	57.58	4	13.33	3	2.54
1	1	1.82	5	15.15	4	13.33	8	6.78
2	4	7.27	2	6.06	4	13.33	7	5.93
3	9	16.36	1	3.03	5	16.67	8	6.78
4	9	16.36	3	9.09	2	6.67	10	8.47
5	10	18.18	1	3.03	1	3.33	9	7.63
6	13	23.64	1	3.03	2	6.67	6	5.08
7	5	9.09	1	3.03	2	6.67	7	5.93
8	3	5.45	0	0.00	0	0.00	9	7.63
9	0	0.00	0	0.00	0	0.00	9	7.63
10	0	0.00	0	0.00	3	10.00	8	6.78
11	0	0.00	0	0.00	2	6.67	6	5.08
12	0	0.00	0	0.00	0	0.00	9	7.63
13	0	0.00	0	0.00	0	0.00	7	5.93
14	0	0.00	0	0.00	1	3.33	3	2.54
15	0	0.00	0	0.00	0	0.00	4	3.39
16	0	0.00	0	0.00	0	0.00	3	2.54
18	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.85
19	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.85
	Άθροισμα	100	Άθροισμα	100	Άθροισμα	100	Άθροισμα	100
Σύνολο								
	55		33		30		118	

Πίνακας Αθροιστικού Αριθμού Καναλιών

Αθροιστικό Ποσοστό Επιτυχίας(%)				
Αριθμός Καναλιών	People	Car	CarRock	Rock
0	1.82	57.58	86.67	97.46
1	3.64	72.73	73.33	90.68
2	10.91	78.79	60.00	84.75
3	27.27	81.82	43.33	77.97
4	43.64	90.91	36.67	69.49
5	61.82	93.94	33.33	61.86
6	85.45	96.97	26.67	56.78
7	94.55	100.00	20.00	50.85
8	100.00	100.00	20.00	43.22
9	100.00	100.00	20.00	35.59
10	100.00	100.00	10.00	28.81
11	100.00	100.00	3.33	23.73
12	100.00	100.00	3.33	16.10
13	100.00	100.00	3.33	10.17
14	100.00	100.00	0.00	7.63
15	100.00	100.00	0.00	4.24
16	100.00	100.00	0.00	1.69
18	100.00	100.00	0.00	0.85
19	100.00	100.00	0.00	0.00

Πίνακας Αριθμός Δειγμάτων–Αριθμός δοκιμών

ΠΙΝΑΚΑΣ								
Συνολικός Αριθμός Καταγραφών	55		33		30		118	
	People		Car		CarRock		Rock	
Αριθμός Δειγμάτων	Αριθμός Δοκιμών	Ποσοστό Επιτυχίας	Αριθμός Δοκιμών	Ποσοστό Επιτυχίας	Αριθμός Δοκιμών	Ποσοστό Επιτυχίας	Αριθμός Δοκιμών	Ποσοστό Επιτυχίας
2500-4500	19	34.55	4	12.12	4	13.33	7	5.93
4500	30	54.55	13	39.39	15	50.00	84	71.19
4500-6500	6	10.91	0	0.00	2	6.67	24	20.34
6500-8500	0	0.00	0	0.00	2	6.67	1	0.85
8500-10500	0	0.00	8	24.24	3	10.00	2	1.69
10500-12500	0	0.00	3	9.09	3	10.00	0	0.00
12500-14500	0	0.00	2	6.06	0	0.00	0	0.00
14500-16500	0	0.00	1	3.03	0	0.00	0	0.00
16500-18500	0	0.00	2	6.06	0	0.00	0	0.00
18500-20500	0	0.00	0	0.00	1	3.33	0	0.00
	Άθροισμα	100.00	Άθροισμα	100.00	Άθροισμα	100.00	Άθροισμα	100.00
Σύνολο								
	55		33		30		118	

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II

Στη συνέχεια ακολουθεί το παράρτημα οπτικού διαχωρισμού, το οποίο αποτελείται από το όνομα που είναι καταχωρημένη μια καταγραφή στη βάση δεδομένων, την ημερομηνία και την ώρα της καταγραφής αυτής καθώς και την πιθανότητα που έχει καταταχθεί. Οι πιθανότητες είναι 0.1,0.3,0.5,0.7 και 0.9 .

File No	Filename	Date	Local Time	Πιθανότητα
1	DA-20150612123959.070508.sg2	12/JUN/2015	12:39:59	0.9
2	DA-20150612124522.834511.sg2	12/JUN/2015	12:45:22	0.5
3	DA-20150612124538.458510.sg2	12/JUN/2015	12:45:38	0.5
4	DA-20150612124704.390510.sg2	12/JUN/2015	12:47:04	0.3
5	DA-20150612125252.163379.sg2	12/JUN/2015	12:52:52	0.3
6	DA-20150612125431.611381.sg2	12/JUN/2015	12:54:31	0.3
7	DA-20150612125439.051381.sg2	12/JUN/2015	12:54:39	0.5
8	DA-20150612130950.451448.sg2	12/JUN/2015	13:09:50	0.3

9	DA- 20150612140212.217565.sg2	12/JUN/2015	14:02:12	0.5
10	DA- 20150615185237.353878.sg2	15/JUN/2015	18:52:37	0.3
11	DA- 20150615223706.977878.sg2	15/JUN/2015	22:37:06	0.1
12	DA- 20150624202624.856177.sg2	24/JUN/2015	20:26:24	0.3
13	DA- 20150625000723.230177.sg2	25/JUN/2015	0:07:23	0.1
14	DA- 20150625183441.826178.sg2	25/JUN/2015	18:34:41	0.5
15	DA- 20150625185012.818178.sg2	25/JUN/2015	18:50:12	0.3
16	DA- 20150626073518.982172.sg2	26/JUN/2015	7:35:18	0.3
17	DA- 20150627084713.546178.sg2	27/JUN/2015	8:47:13	0.1
18	DA- 20150627084910.882177.sg2	27/JUN/2015	8:49:10	0.1
19	DA- 20150627150933.476176.sg2	27/JUN/2015	15:09:33	0.3
20	DA- 20150627152122.182172.sg2	27/JUN/2015	15:21:22	0.3
21	DA- 20150627153255.838177.sg2	27/JUN/2015	15:32:55	0.3
22	DA- 20150627155424.338177.sg2	27/JUN/2015	15:54:24	0.3
23	DA- 20150627155616.170178.sg2	27/JUN/2015	15:56:16	0.3
24	DA- 20150627155823.890178.sg2	27/JUN/2015	15:58:23	0.3
25	DA- 20150627160632.264178.sg2	27/JUN/2015	16:06:32	0.3
26	DA- 20150627184229.242177.sg2	27/JUN/2015	18:42:29	0.1
27	DA- 20150627191857.160177.sg2	27/JUN/2015	19:18:57	0.5
28	DA- 20150703195056.265202.sg2	03/JUL/2015	19:50:56	0.3
29	DA- 20150704070154.229208.sg2	04/JUL/2015	7:01:54	0.5
30	DA- 20150704072458.457207.sg2	04/JUL/2015	7:24:58	0.3
31	DA- 20150704101351.721207.sg2	04/JUL/2015	10:13:51	0.7
32	DA- 20150704232954.041208.sg2	04/JUL/2015	23:29:54	0.1
33	DA- 20150706211743.733835.sg2	06/JUL/2015	21:17:43	0.5

34	DA-20150706225307.201836.sg2	06/JUL/2015	22:53:07	0.1
35	DA-20150707075818.091835.sg2	07/JUL/2015	7:58:18	0.3
36	DA-20150707161538.133829.sg2	07/JUL/2015	16:15:38	0.3
37	DA-20150707172910.379835.sg2	07/JUL/2015	17:29:10	0.3
38	DA-20150709140945.695836.sg2	09/JUL/2015	14:09:45	0.1
39	DA-20150709204042.511826.sg2	09/JUL/2015	20:40:42	0.3
40	DA-20150709212342.393836.sg2	09/JUL/2015	21:23:42	0.7
41	DA-20150711001733.931830.sg2	11/JUL/2015	0:17:33	0.1
42	DA-20150711182610.993836.sg2	11/JUL/2015	18:26:10	0.1
43	DA-20150712084027.695834.sg2	12/JUL/2015	8:40:27	0.3
44	DA-20150712184240.303836.sg2	12/JUL/2015	18:42:40	0.3
45	DA-20150714005617.755713.sg2	14/JUL/2015	0:56:17	0.1
46	DA-20150714021905.381714.sg2	14/JUL/2015	2:19:05	0.1
47	DA-20150714055209.409713.sg2	14/JUL/2015	5:52:09	0.1
48	DA-20150714060914.347713.sg2	14/JUL/2015	6:09:14	0.5
49	DA-20150714190022.157714.sg2	14/JUL/2015	19:00:22	0.1
50	DA-20150716091122.915713.sg2	16/JUL/2015	9:11:22	0.5
51	DA-20150716121731.207704.sg2	16/JUL/2015	12:17:31	0.1
52	DA-20150716155850.181714.sg2	16/JUL/2015	15:58:50	0.1
53	DA-20150717093814.643713.sg2	17/JUL/2015	9:38:14	0.5
54	DA-20150717180143.461713.sg2	17/JUL/2015	18:01:43	0.1
55	DA-20150717224656.685711.sg2	17/JUL/2015	22:46:56	0.1
56	DA-20150718093555.863709.sg2	18/JUL/2015	9:35:55	0.3
57	DA-20150718164250.977714.sg2	18/JUL/2015	16:42:50	0.3
58	DA-20150719075550.813708.sg2	19/JUL/2015	7:55:50	0.1

59	DA-20150719114127.459706.sg2	19/JUL/2015	11:41:27	0.1
60	DA-20150719152428.005713.sg2	19/JUL/2015	15:24:28	0.3
61	DA-20150720033137.761714.sg2	20/JUL/2015	3:31:37	0.1
62	DA-20150720083217.529713.sg2	20/JUL/2015	8:32:17	0.1
63	DA-20150720180005.785714.sg2	20/JUL/2015	18:00:05	0.3
64	DA-20150720180543.871706.sg2	20/JUL/2015	18:05:43	0.3
65	DA-20150723182659.267927.sg2	23/JUL/2015	18:26:59	0.5
66	DA-20150723202155.403927.sg2	23/JUL/2015	20:21:55	0.5
67	DA-20150723205831.459927.sg2	23/JUL/2015	20:58:31	0.1
68	DA-20150724063435.079921.sg2	24/JUL/2015	6:34:35	0.5
69	DA-20150724063439.621927.sg2	24/JUL/2015	6:34:39	0.3
70	DA-20150724181206.939920.sg2	24/JUL/2015	18:12:06	0.1
71	DA-20150724190908.161927.sg2	24/JUL/2015	19:09:08	0.3
72	DA-20150725114003.123927.sg2	25/JUL/2015	11:40:03	0.1
73	DA-20150725164234.305924.sg2	25/JUL/2015	16:42:34	0.1
74	DA-20150726081839.237921.sg2	26/JUL/2015	8:18:39	0.1
75	DA-20150726131623.111927.sg2	26/JUL/2015	13:16:23	0.1
76	DA-20150731111002.685927.sg2	31/JUL/2015	11:10:02	0.1
77	DA-20150731145627.006624.sg2	31/JUL/2015	14:56:27	0.1
78	DA-20150802091208.450625.sg2	02/AUG/2015	9:12:08	0.3
79	DA-20150802210156.544625.sg2	02/AUG/2015	21:01:56	0.1
80	DA-20150804191840.154625.sg2	04/AUG/2015	19:18:40	0.1
81	DA-20150804235118.110625.sg2	04/AUG/2015	23:51:18	0.1
82	DA-20150807133335.690108.sg2	07/AUG/2015	13:33:35	0.1
83	DA-20150807134420.778108.sg2	07/AUG/2015	13:44:20	0.1

84	DA- 20150807182611.022108.sg2	07/AUG/2015	18:26:11	0.1
85	DA- 20150807190335.821647.sg2	07/AUG/2015	19:03:35	0.1
86	DA- 20150808135422.561007.sg2	08/AUG/2015	13:54:22	0.1
87	DA- 20150818183736.179331.sg2	18/AUG/2015	18:37:36	0.1
88	DA- 20150819184840.175332.sg2	19/AUG/2015	18:48:40	0.1
89	DA- 20150823085554.275332.sg2	23/AUG/2015	8:55:54	0.3
90	DA- 20150824200934.733332.sg2	24/AUG/2015	20:09:34	0.3
91	DA- 20150827001037.831266.sg2	27/AUG/2015	0:10:37	0.1
92	DA- 20150827224621.397265.sg2	27/AUG/2015	22:46:21	0.1
93	DA- 20150828230004.237258.sg2	28/AUG/2015	23:00:04	0.1
94	DA- 20150831073409.375265.sg2	31/AUG/2015	7:34:09	0.3
95	DA- 20150908102321.683265.sg2	08/SEP/2015	10:23:21	0.3
96	DA- 20150914092419.851265.sg2	14/SEP/2015	9:24:19	0.3
97	DA- 20150915125456.047265.sg2	15/SEP/2015	12:54:56	0.1
98	DA- 20150916090322.567265.sg2	16/SEP/2015	9:03:22	0.3
99	DA- 20150916181430.019265.sg2	16/SEP/2015	18:14:30	0.1
100	DA- 20150918171538.611265.sg2	18/SEP/2015	17:15:38	0.5