

Απο την Μαμπεντζίδου Ιωάννα

Θεσσαλονίκη

Ιανουάριος 2011

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	2
Παρουσίαση θέματος.....	3
Κεφάλαιο 1	
1.1 Ανάπτυξη ασύρματου δικτύου αισθητήρων στο ηφαίστειο Reventador.....	4
1.2 Λειτουργία των κόμβων.....	7
1.3 Απόδοση συστήματος.....	8
Κεφάλαιο 2	
2.1 Χρήση ασύρματου δικτύου αισθητήρων στο ηφαίστειο Tungurahua	9
2.2 Λειτουργία του συστήματος.....	10
2.3 Ανάλυση δεδομένων και απόδοση του δικτύου.....	12
Κεφάλαιο 3	
Ανάπτυξη ασύρματου δικτύου για την παρακολούθηση παγετώνων.....	13
3.1 Σχεδίαση και λειτουργία του δικτύου – Τοπολογία.....	14
3.2 Διατήρηση λειτουργίας του δικτύου.....	16
3.3 Αποτελέσματα.....	.17
Κεφάλαιο 4	

Συγκρίσεις των προαναφερθέντων δικτύων-Μελλοντική έρευνα.....	18
Βιβλιογραφία.....	19

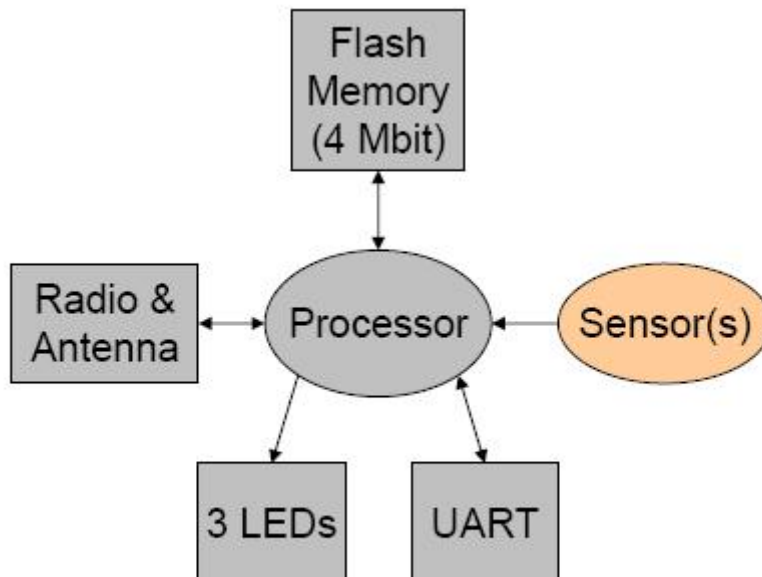
Περίληψη

Σε αυτήν την εργασία, γίνεται αναφορά στην παρακολούθηση του περιβάλλοντος με την χρήση των δικτύων αισθητήρων. Συγκεκριμένα, αναφερόμαστε στην ανάπτυξη δικτύου για την παρακολούθηση ηφαιστειών στο Εκουαδόρ και την παρακολούθηση παγετώνων στην Νορβηγία. Γίνεται εκτενής αναφορά στον τρόπο που έχουν αναπτυχθεί τα συγκεκριμένα δίκτυα, όπως τοπολογία, στον αριθμό των κόμβων που χρησιμοποιήθηκαν κάθε φορά, ποιές ήταν οι απαιτήσεις απο τους κόμβους και κατά πόσο απέδωσαν εν τέλει τα δίκτυα αυτά. Στο τέλος, αναφερόμαστε στα συμπεράσματα που προκύπτουν απο αυτές τις μελέτες και στα μελλοντικά σχέδια των επιστημόνων όσον αφορά στην βελτίωση της χρήσης των ασύρματων δικτύων αισθητήρων για τις επόμενες έρευνες και μελέτες, ώστε να υπάρξει ακόμα καλύτερη απόδοση του συστήματος.

This project, describes environmental monitoring with the usage of sensor networks. Particularly, it refers to the deployment of wireless sensor networks for the monitoring of volcanoes in Ecuador and of glaciers in Norway. Also, there is an extensive reference to the network's topology, that is the way that the nodes were distributed in an area, to the number of nodes that was used in these different studies and to their total performance. In the end, there are conclusions that come of these deployments and future works including the improvement of the sensor network design for future studies, so that there will be even better the performance of the system.

Παρουσίαση θέματος

Οι κόμβοι αισθητήρων είναι μικρές ενσωματωμένες συσκευές που κυρίως πραγματοποιούν απλούς υπολογισμούς, λαμβάνοντας ή αποστέλλοντας δεδομένα. Ένα αυτόνομο σύνολο τέτοιων κόμβων ονομάζεται ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (WSN) [9]. Οι πρόσφατες καταστροφές που βιώσαμε, σχετικά με τις κλιματικές αλλαγές σε όλο τον κόσμο, έχουν καταστήσει τα δίκτυα αισθητήρων πολύ σημαντικά για την καλύτερη κατανόηση του περιβάλλοντος και της εξέλιξής του για τον άνθρωπο [9].



Εικ. 1. Ένα απλό δίκτυο αισθητήρων

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων χρησιμοποιούνται, πλέον, σε πολλές επιστημονικές μελέτες όπως είναι η περιβαλλοντική παρακολούθηση, η παρακολούθηση του οικοσυστήματος και η κατασκευαστική παρακολούθηση (structural monitoring) [5]. Σε όλες αυτές τις επιστήμες, η χρήση των δικτύων αισθητήρων, λόγω της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, παρέχει απίστευτες δυνατότητες για την συλλογή δεδομένων, καθώς αυτές οι δυνατότητες δεν είναι εφικτές μέσω των υπάρχοντων επιστημονικών οργάνων. Όμως, παρά την αυξημένη ζήτηση που υπάρχει στα δίκτυα αισθητήρων, επειδή είναι ακόμα καινούρια

τεχνολογία, δεν έχουν γίνει αρκετές μελέτες, ώστε να αναδείξουν την αξία τους να παρέχουν σημαντική και αξιόπιστη πληροφορία για τους επιστήμονες. Έχουν προκύψει πολλές προκλήσεις που θα πρέπει να αντιμετωπιστούν από τους ειδικούς, όπως η απώλεια μηνυμάτων, η δυσλειτουργία των κόμβων, κλπ.[5] Το γεγονός ότι οι εξελίξεις στην ασύρματη τεχνολογία είναι ραγδαίες, δίνει ώθηση στην ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων σε πολλά θέματα παρακολούθησης.

Οι τεχνικές απαιτήσεις για την ανάπτυξη ενός συστήματος παρακολούθησης του περιβάλλοντος είναι η ύπαρξη αυτονομίας του δικτύου, που επιτυγχάνεται με την χρήση μπαταριών, η αξιοπιστία καθώς και η δυνατότητα του δικτύου να αντιμετωπίζει επιτυχώς τα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν κατά την διάρκεια της λειτουργίας ενός ασύρματου δικτύου. Επίσης, ένα εξίσου άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό είναι η ευελιξία του συστήματος, ώστε να προσαρμόζεται στις διάφορες συνθήκες που θα προκύπτουν κάθε φορά. Αυτοί οι παράγοντες παίζουν καθοριστικό ρόλο για την ανάπτυξη δικτύου κυρίως σε υπο δύσκολες συνθήκες, όπως είναι φυσικά το περιβάλλον των ηφαιστειών και των παγετώνων που αναφέρεται παρακάτω.

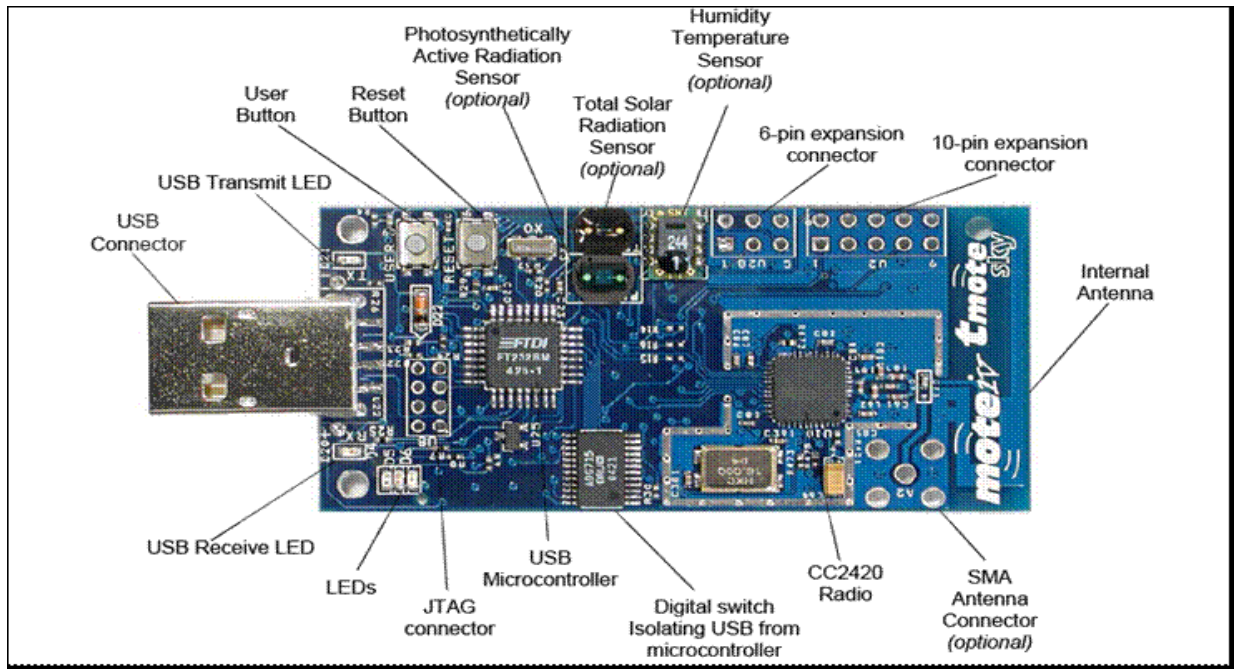
Κεφάλαιο 1

Σε αυτό το τμήμα της εργασίας θα γίνει αναφορά σε εφαρμογές των ασύρματων δικτύων αισθητήρων στην παρακολούθηση κάποιων φαινομένων του περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα, θα αναφερθούμε στο ηφαίστειο Reventador, το οποίο βρίσκεται στο βόρειο Εκουαδόρ, περίπου 100 km από την πρωτεύουσα Quito.

1.1 Ανάπτυξη ασύρματου δικτύου αισθητήρων στο ηφαίστειο Reventador

Η εγκατάσταση ασύρματου δικτύου αισθητήρων στο Reventador πραγματοποιήθηκε την περίοδο 1-19 Αυγούστου το 2005. Η συστοιχία αποτελούνταν από 16 κόμβους, κατανεμημένους σε μια έκταση μεγαλύτερη των 3 km, κάθε ένα από τα οποία είναι εξοπλισμένα με αισθητήρες που εντοπίζουν σεισμική και ακουστική

συχνότητα. Οι κόμβοι αυτοί βασίζονται στην πλατφόρμα TMote Sky¹, που αποτελείται από έναν επεξεργαστή TI MSP430, SRAM



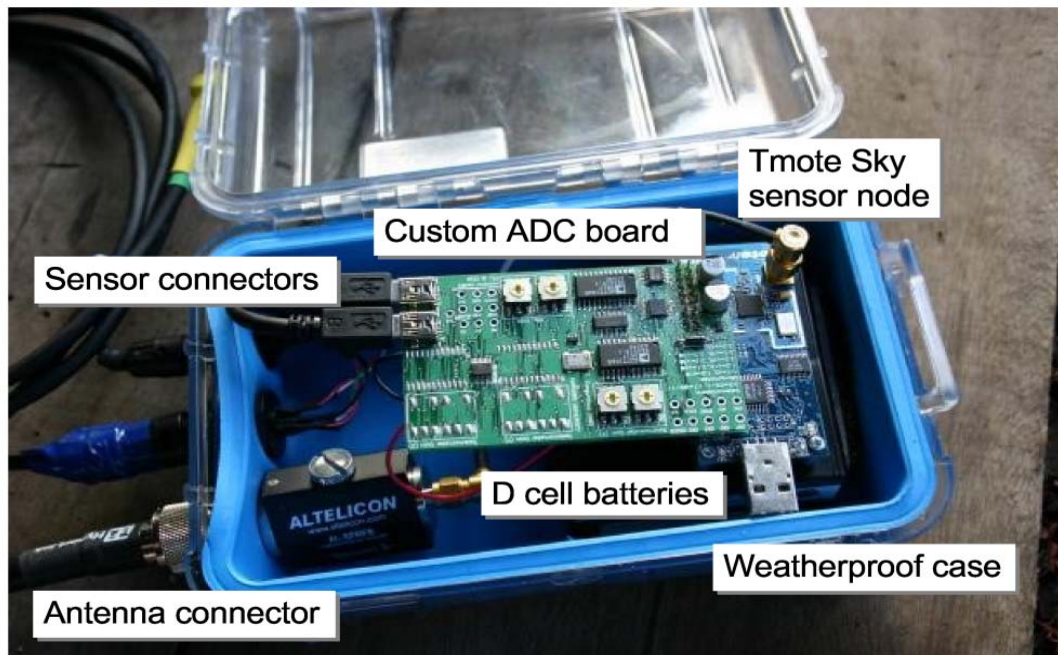
Εικ. 2. Μια πλατφόρμα TMote Sky

(ή Static Memory) των 10KB, μνήμη PROM των 48 KB, flash memory 1MByte και από ένα Chipcon CC2420 radio [4,5,14]. Το λειτουργικό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε ήταν το TinyOS². Επίσης, για τις ανάγκες του συγκεκριμένου project, σχεδιάστηκε μια πλατφόρμα που παρέχει 4 κανάλια των 24-bit μετατροπής του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό [5]. Επιπλέον, οι κόμβοι περιείχαν σεισμόμετρα, omnidirectional μικρόφωνα και κεραίες [4,5].

Οι κόμβοι τοποθετήθηκαν σε μια απόσταση 200-400m μεταξύ τους. Για την λειτουργία τους τοποθετήθηκαν σε αυτά από ένα ζεύγος D-cell μπαταρίες, που προσέφεραν διάρκεια ζωής περίπου μιάς εβδομάδας [5]. Φυσικά ο κάθε κόμβος τοποθετήθηκε δε αδιάβροχες συσκευές. Εκτός από τα παραπάνω, χρησιμοποιήθηκαν επίσης, Free Wave radio modem, που το καθένα περιείχε μπαταρία αυτοκινήτου για ενέργεια και η επαναφόρτισή τους γινόταν μέσω των ηλιακών συλλεκτών, για να καλύπτεται η απομακρυσμένη ραδισύνδεση ανάμεσα στους κόμβους και στην βάση,

¹ TMote Sky: μονάδα ασύρματου αισθητήρα για μεγάλης κλίμακας και υψηλού ρυθμού δεδομένων και εφαρμογών ασύρματου δικτύου

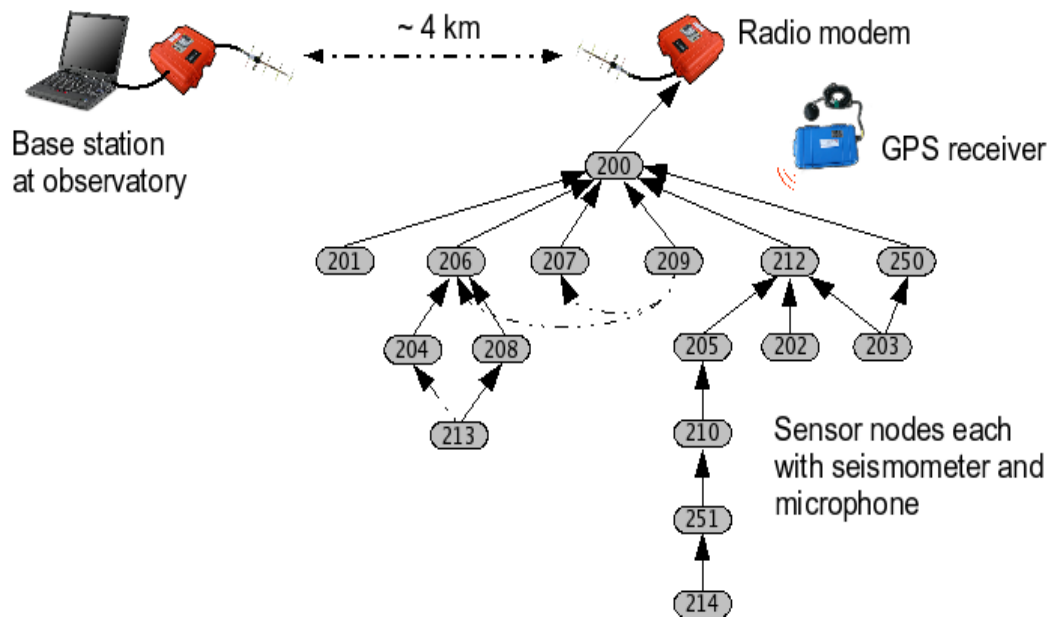
² TinyOS: λειτουργικό σύστημα γραμμένο στην γλώσσα προγραμματισμού nesC, μια διάλεκτο της γλώσσας C



Εικ. 3. Ο κόμβος αισθητήρων που χρησιμοποιήθηκε στο συγκεκριμένο δίκτυο

που βρισκόταν σε απόσταση 4,6km [4]. Όσον αφορά στο παρατηρητήριο, χρησιμοποιήθηκε ένας φορητός Η/Υ για την συγκέντρωση των δεδομένων και για την παρακολούθηση και τον έλεγχο του δικτύου. Τέλος, για την εγκατάσταση μιάς βάσης δεδομένων που θα παρέχει χρονοσφραγίδα στα γεγονότα, χρησιμοποιήθηκε το Crossbow Micaz συνδεδεμένο σε έναν δέκτη GPS [5].

Οι κόμβοι στήθηκαν σε μια τοπολογία δέντρου με multi-hop δρομολόγηση στον κόμβο πύλη, ο οποίος συνδέεται με φυσικό τρόπο στον Free Wave modem [5]. Ο κάθε κόμβος εκπέμπει ένα μήνυμα για τη κατάστασή του κάθε 10sec και περιλαμβάνει την θέση του στην τοπολογία, το buffer status, την τοπική και παγκόσμια ώρα, την τάση της μπαταρίας και άλλες πληροφορίες [4,5]. Επίσης, η βάση μπορεί να στέλνει μια εντολή δίνοντας οδηγίες σε κάθε κόμβο για να ανταποκριθεί στέλνοντας αναφορές για την κατάσταση στην οποία βρίσκεται, ώστε είτε να ξεκινήσει είτε να σταματήσει την συλλογή δεδομένων και να ορίσει διάφορους παραμέτρους που αφορούν το λογισμικό [5]. Για τις εντολές αυτές χρησιμοποιείται ένα flooding πρωτόκολλο. Ένα άλλο πρωτόκολλο που



Εικ. 4. Η αρχιτεκτονική του δικτύου: οι κόμβοι σχηματίζουν multihop τοπολογία

χρησιμοποιήθηκε για τον επαναπρογραμματισμό και την επανεκκίνηση των κόμβων ήταν το Deluge³ [1,5].

1.2 Λειτουργία των κόμβων

Οι κόμβοι προγραμματίστηκαν έτσι ώστε να εντοπίζουν σε τοπικό επίπεδο, σημαντικά σεισμικά γεγονότα και να στέλνουν αναφορές για αυτά στην Βάση [5]. Εάν σε σύντομο χρονικό διάστημα ανταποκριθούν αρκετοί κόμβοι, στέλνοντας αναφορές, τότε η Βάση επιχειρεί να ‘κατεβάσει’ τα δεδομένα των τελευταίων 60sec απο κάθε κόμβο [4,5].

Κατά την περίοδο ομαλής λειτουργίας, δοκιμάζει συνεχόμενα τους σεισμικούς και ακουστικούς αισθητήρες στα 100Hz, αποθηκεύοντας τα δεδομένα αυτά στην μνήμη flash [5]. Ο τρόπος αποθήκευσης των δεδομένων είναι ο εξής: τα δεδομένα αποθηκεύονται σε τμήματα των 256-byte στην flash, που αντιμετωπίζεται σαν ένα κυκλικό buffer και που αποθηκεύει δεδομένα 20 λεπτών περίπου. Το κάθε αυτό τμήμα περιέχει ετικέτα με την τοπική ώρα, η οποία με την σειρά της ‘‘χαρτογραφείται’’ αργότερα σε επίπεδο παγκόσμιας ώρας [5].

³ Deluge: αξιόπιστο πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων για την διάδοση μεγάλου όγκου δεδομένων απο μερικούς κόμβους-πηγές σε πολλούς άλλους στο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

Επιπλέον, οι κόμβοι “τρέχουν” έναν υπολογιστικό αλγόριθμο εντοπισμού γεγονότων. Όταν, λοιπόν, αυτός ο αλγόριθμος ξεπερνάει κάποιο συγκεκριμένο όριο χρόνου, τότε ο κόμβος μεταδίδει αναφορά γεγονότος στην Βάση. Εφ’όσον η Βάση δεχτεί αναφορές από το 30% των ενεργών κόμβων μέσα σε 10sec, θα θεωρήσει ότι το γεγονός είναι σημαντικό και θα αρχίσει την συλλογή δεδομένων [5]. Η επιστημονική ομάδα που ασχολήθηκε με το συγκεκριμένο project, ανέπτυξε ένα πρωτόκολλο με το όνομα ‘Fetch’ για την ανάκτηση δεδομένων από κάθε κόμβο. Η λειτουργία του βασίζεται στο ότι η Βάση αναμένει 30sec πριν ξεκινήσει να “διαπερνάει” τους κόμβους. Έπειτα, στέλνει εντολή στον κάθε κόμβο να αναστείλει προσωρινά τη συλλογή δεδομένων, με σκοπό να εξασφαλίσει την ακεραιότητα του γεγονότος [4,5]. Για κάθε από τα 206 τμήματα (blocks) δεδομένων στα 60sec, η Βάση στέλνει ένα block request στον κάθε κόμβο. Ο κόμβος με την σειρά του “διαβάζει” και μεταδίδει τα δεδομένα σαν μια σειρά, που αποτελείται από 8 πακέτα, “κόβει” δηλαδή τα δεδομένα σε 8 κομμάτια [5]. Μετά από ένα σύντομο διάλειμμα μερικών δευτερολέπτων, η Βάση θα ζητήσει acknowledgment σε περίπτωση μη λήψης κάποιου πακέτου. Μόλις ολοκληρωθεί επιτυχώς η λήψη δεδομένων, τότε η Βάση στέλνει ξανά εντολή προς τον κόμβο να συνεχίσει την δειγματοληψία, ώστε να προχωρήσει στην λήψη δεδομένων από τον επόμενο κόμβο [5].

1.3 Απόδοση συστήματος

Σε γενικές γραμμές η απόδοση του συστήματος ήταν ικανοποιητική. Καθ’όλη την διάρκεια της έρευνας, που κράτησε 19 ημέρες, ανακτήθηκαν 107 MBytes δεδομένων. Ο μέσος χρόνος ανάκτησης δεδομένων των κόμβων έφτασε στο 96%, αρκετά ενθαρρυντικός αριθμός και δείχνει ότι οι κόμβοι ήταν αξιόπιστοι παρά το “κρασάρισμα” του λογισμικού.

Κεφάλαιο 2

2.1 Χρήση ασύρματου δικτύου αισθητήρων στο ηφαίστειο Tungurahua

Για την παρακολούθηση του ηφαιστείου Tungurahua χρησιμοποιήθηκε επίσης δίκτυο αισθητήρων. Το ηφαίστειο αυτό εντοπίζεται στο κεντρικό Εκουαδόρ και είναι ενεργό.



Εικ. 5. Εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στην ανάπτυξη δικτύου στο Tungurahua: με την σειρά που τα βλέπουμε είναι ο κόμβος παρακολούθησης υποηχητικών σημάτων, ο Free Wave modem και η κεραία Yagi προσανατολισμένη προς το παρατηρητήριο

Ο εντοπισμός της περιοχής για την ανάπτυξη του δικτύου έγινε μέσω GPS και η έρευνα διήρκεσε τρεις μέρες. [16].

Η αρχιτεκτονική του συστήματος περιλαμβάνει διάφορα εξαρτήματα που είναι τρεις κόμβοι για την παρακολούθηση των υποηχητικών κυμάτων (infrasound monitoring node) [16]. Αυτοί οι κόμβοι μεταδίδουν τα σήματα σε έναν κόμβο-συλλέκτη, ο οποίος με την σειρά του αναμεταδίδει τα σήματα μέσω ασύρματου link μεγάλης απόστασης σε μια ενσύρματη Βάση. Εκεί υπάρχει ένα laptop, το οποίο “τρέχει” ποικίλα προγράμματα για την οπτικοποίηση, ανάλυση και αποθήκευση αυτών των σημάτων [16]. Επίσης, το δίκτυο αποτελείται από έναν GPS δέκτη, το οποίο λαμβάνει GPS σήμα και αναμεταδίδει τα σήματα στους υποηχητικούς κόμβους αλλά και στον κόμβο-συλλέκτη μέσω ραδιομηνυμάτων [16]. Τόσο ο GPS δέκτης όσο

και το Free Wave modem που χρησιμοποιήθηκε, τροφοδοτήθηκαν απο μπαταρίες 2-AA, που λειτούργησαν συνεχόμενα κατα την διάρκεια της έρευνας, χωρίς να χρειαστεί κάποια αλλαγή [16]. Ο κόμβος-συλλέκτης, ο GPS δέκτης, το Free Wave modem, η κεραία Yagi, και η μπαταρία τοποθετήθηκαν στο κάτω και στο εσωτερικό μέρος ενός δένδρου. Ένας απο τους υποηχητικούς κόμβους τοποθετήθηκε περίπου 1m πάνω απο το έδαφος στο ίδιο δένδρο [16]. Ο δεύτερος κόμβος τοποθετήθηκε 6.3m μακριά σε ένα άλλο δένδρο καθώς κι ο τρίτος κόμβος τοποθετήθηκε 10.7m στο κούτσουρο ενός άλλου δένδρου [16]. Η τοποθέτηση δεν ήταν τυχαία, καθώς οι υποηχητικοί κόμβοι τοποθετήθηκαν ανυψωμένα στο έδαφος, ώστε να βελτιώσουν την ραδιοφωνική λήψη και ταυτόχρονα την ενόχληση απο τους διάφορους θορύβους [16]. Τέλος οι κόμβοι τοποθετήθηκαν σε ειδικές θήκες για νπροστατευτού απο τα στοιχεία της φύσης.

Ο κόμβος-συλλέκτης, ο υποηχητικός κόμβος, και ο GPS δέκτης βασίζονται στην πλατφόρμα Mica2⁴, μια συνηθισμένη ασύρματη συσκευή αισθητήρα. Αποτελείται απο έναν επεξεργαστή 7.3 MHz ATmega128L, code μνήμη 128KB, data memory 4KB και ένα Chipcon CC1000 ραδιοφωνικής λειτουργίας 433MHz με ρυθμό δεδομένων 34kbps περίπου. Το λειτουργικό σύστημα του Mica2 είναι το TinyOS [16,19].

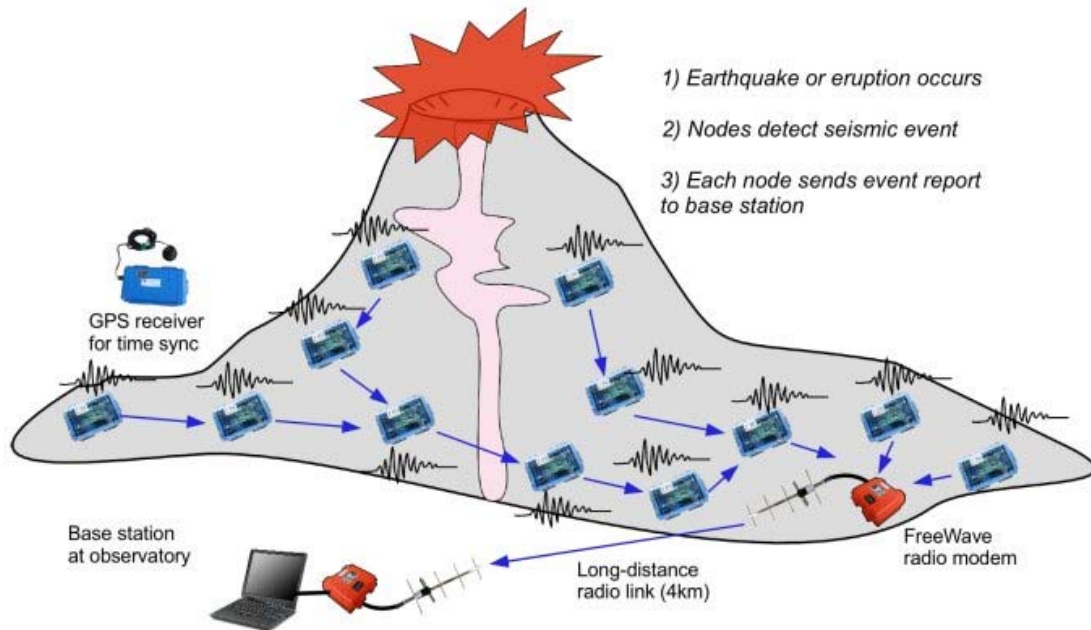
2.2 Λειτουργία του συστήματος

Ο κόμβος που διαβάζει τα υποηχητικά κύματα χρησιμοποιεί μια πλατφόρμα (board) που περιλαμβάνει έναν ενισχυτή κι ένα κύκλωμα φιλτραρίσματος συνδεδεμένο σε ένα μικρόφωνο Panasonic WM-034 BY (omnidirectional⁵ electrets microphone) [16,20]. Ο κάθε κόμβος αυτός έχει προγραμματιστεί να πραγματοποιεί δειγματοληψία δεδομένων συνεχόμενα στα 102.4 Hz, επιτρέποντας σήματα μέχρι και 51.2 Hz [16]. Ένα σύνολο απο διαδοχικές δειγματοληψίες “πακετάρεται” σε ραδιο-πακέτο των 32-byte και μεταδίδεται στα 4Hz. Η επικεφαλίδα του πακέτου περιλαμβάνει έναν αριθμό ακολουθίας για τον εντοπισμό χαμένων πακέτων, το ID του κόμβου-πηγή και πληροφορίες για την πρόσφατη GPS ώρα [16]. Κατά την διάρκεια της λήψης των πακέτων ο κόμβος-συλλέκτης μεταδίδει ένα σύντομο acknowledgment. Εφ’όσον δεν

⁴ Mica2: μια μονάδα τρίτης γενιάς που χρησιμοποιείται για χαμηλή κατανάλωση ενέργειας στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων

⁵ Omnidirectional microphone: ένα μικρόφωνο το οποίο καλύπτει όλες τις κατεθύνσεις, για αυτό και πολλές φορές το λένε και nondirectional, και λειτουργικά, θεωρείται ως μια τέλεια σφαίρα τριών διαστάσεων

ληφθεί απο τον κόμβο-πηγή, θα προσπαθήσει να το αναμεταδώσει μέχρι πέντε φορές [16]. Ο κόμβος-συλλέκτης μεταδίδει τα ληφθέντα μηνύματα στην σειριακή του θύρα (serial port), η οποία είναι



Εικ. 6 . Η αρχιτεκτονική του δικτύου αισθητήρων για την παρακολούθηση του ηφαιστείου

συνδεδεμένη σε ένα Free Wave ευρέως φάσματος modem, παρέχοντας έτσι αξιόπιστη σύνδεση που καλύπτει αποστάσεις των 20km και πάνω (για να εξασφαλιστεί η σύνδεση στα δύο Free Wave modems, χρησιμοποιήθηκε ένα ζευγάρι κεραίες Yagi των 9dBi 900MHz) [16].

Στο τέλος του link λήψης δεδομένων υπάρχει ένας δεύτερος Free Wave modem, ο οποίος συνδέεται σε έναν φορητό H/Y της Βάσης κι οποίος “τρέχει” ένα πρόγραμμα Java, που καταγράφει τα ακατέργαστα δεδομένα σε φακέλους [16]. Ο κάθε φάκελος αυτός περιλαμβάνει τα περιεχόμενα του κάθε ληφθέντος πακέτου, που αποτελείται απο δείγματα υποηχητικών σημάτων απο κάθε κόμβο καθώς και τα μηνύματα με την χρονοσφραγίδα του GPS [16]. Αυτά τα πραγματικού χρόνου δεδομένα, πέρα απο την αποθήκευσή τους στους φακέλους, εξάγονται μέσω μιάς TCP υποδοχής (με την χρήση ενός προγράμματος του TinyOS) επιτρέποντας την οπτικοποίηση και την επεξεργασία των δειγμάτων απο άλλα προγράμματα [16,19].

Όσον αφορά στον GPS κόμβο, το project επικεντρώθηκε στην συσχέτιση των συμμάτων απο τους πολλαπλούς κόμβους και την σύγκριση αυτών με εκείνα που λαμβάνονται απο τους βοηθητικούς ενσύρματους κόμβους. Επειδή είναι πολύ

σημαντικό να υπάρχει ακριβής ώρα ενός γεγονότος, χρησιμοποιείται το μοντέλο Garmin GPS18LVC δέκτης [16]. Το GPS συνδέεται σε ξεχωριστό Mica2 κόμβο, ο οποίος φέρεται σαν GPS δέκτης. Το πρωτόκολλο χρονικού συγχρονισμού που χρησιμοποιήθηκε, είναι παρόμοιο με το RBS⁶ (Reference-Broadcast Synchronization) [16,].

Σε εργαστηριακό επίπεδο υπήρξε το πρόβλημα της παραμόρφωσης των ραδιομηνυμάτων κατά την διάρκεια της μετάδοσης, ίσως λόγω του μήκους του μηνύματος και άλλων ζητημάτων. Για την διόρθωση του προβλήματος χρησιμοποιήθηκαν πληροφορίες απο το TinyOS MAC layer [16,19].

2.3 Ανάλυση δεδομένων και απόδοση του δικτύου

Το υλικό που καταγράφηκε κατά την τριήμερη αυτή έρευνα είναι παραπάνω των 54^{ωv} ωρών. Παρουσιάστηκαν πολλές προκλήσεις κατά την ανάλυση των δεδομένων. Υπήρξε μεγάλος αριθμός πακέτων-μηνυμάτων που χάθηκαν, σε άλλες περιπτώσεις τα Free Wave modems παρουσίασαν σύντομες διακοπές, κάτι που συνέβαλλε στην απώλεια δεδομένων απο όλους τους κόμβους [16]. Επίσης, κάποια μηνύματα απο τον GPS δέκτη δεν παραλήφθηκαν απο την Βάση και τέλος σε πολλές περιπτώσεις καταγράφηκαν διπλά πακέτα, μάλλον λόγω χαμένων acknowledgment και περιττής αναμετάδοσης.

⁶ RBS: μοντέλο στο οποίο οι κόμβοι στέλνουν αναφορές στους γειτονικούς τους κόμβους, χρησιμοποιώντας φυσικού-επιπέδου μεταδόσεις

Κεφάλαιο 3

Ανάπτυξη ασύρματου δικτύου για την παρακολούθηση παγετώνων

Το καλοκαίρι του 2004 στο Brikdalsbreen της Νορβηγίας, εγκαταστάθηκε δίκτυο αισθητήρων για την παρακολούθηση των παγετώνων. Το δίκτυο ονομάστηκε GlacsWeb και αναπτύχθηκε για να λειτουργήσει υπό άσχημες καιρικές συνθήκες.

Για να κατανοήσουν οι επιστήμονες τις κλιματικές αλλαγές που βιώνουμε τις τελευταίες δεκαετίες, εξαιτίας της υπερθέρμανσης του πλανήτη, είναι σημαντικό να κατανοήσουν πρώτα την συνεισφορά των παγετώνων σε αυτές τις αλλαγές. Ο σκοπός της εγκατάστασης ασύρματου δικτύου σε αυτό το περιβάλλον ήταν η συλλογή δεδομένων από τους κόμβους μέσα στους πάγους, χωρίς την χρήση καλωδίων καθώς θα διατάρραταν την γαλήνη του περιβάλλοντος [11].

3.1 Σχεδίαση και λειτουργία του δικτύου - Τοπολογία

Το δίκτυο αποτελείται από οκτώ κόμβους ενσωματωμένους στον πάγο, την Βάση, έναν Σταθμό Αναφοράς 2.5km μακριά από τους παγετώνες, με την λειτουργία ηλεκτρονικού δικτύου και τον Server ασύρματου δικτύου (SNS) με έδρα το Southampton της Αγγλίας [11]. Το δίκτυο σχεδιάστηκε έτσι ώστε να λαμβάνει πληροφορίες για τον καιρό και την θέση της Βάσης. Το τελευταίο κομμάτι του δικτύου ήταν η συνένωση όλων των πληροφοριών σε μια βάση δεδομένων, SQL, στον SNS μαζί με υψηλής κλίμακας δεδομένων από χάρτες και δορυφόρους [11].

Η τοπολογία του δικτύου έγινε με βάση την έρευνα που διεξήχθη, για τον καθορισμό γεωφυσικών ανωμαλιών, όπως η ύπαρξη ποταμού κάτω από τα στρώματα πάγου, Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, οι κόμβοι τοποθετήθηκαν σε τρύπες 25m και σε απόσταση 25m το ένα από το άλλο κι αυτό διότι στον πάγο, σε αντίθεση με τον αέρα η εμβέλεια της επικοινωνίας των κόμβων μειώνεται σημαντικά, λόγω φυσικά της πυκνότητας του πάγου [11].

Πρίν την τοποθέτηση των κόμβων στους πάγους, αυτά προγραμματίστηκαν ώστε να “ξυπνάνε” κάθε τέσσερις ώρες και να καταγράφουν διάφορες μετρήσεις που περιελάμβαναν την θερμοκρασία, την ένταση (εξαιτίας του πάγου), την πίεση (εάν

έναν κόμβος βυθιστεί στο νερό), τον προσανατολισμό (σε τρεις διαστάσεις), την αντίσταση (για να καθοριστεί αν βρίσκονται στο ίζημα του πάγου, στον πάγο ή στο νερό) και την τάση της μπαταρίας [11]. Οπότε, σε καθημερινή βάση ο κάθε κόμβος είχε να εκτελέσει 6 σετ διεργασιών. Όσον αφορά στην Βάση, είχε προγραμματιστεί να επικοινωνεί με τους κόμβους μι φορ την ημέρα, κατά την διάρκεια της οποίας τροφοδοτείται απο την κατάσταση αναμονής του για περίπου πέντε λεπτά, όπου και συλλέγει δεδομένα απο τους κόμβους και “διαβάζει” τις μετρήσεις του καιρού απο τον μετεωρολογικό σταθμό [11]. Επιπλέον, μια φορά την εβδομάδα καταγράφει την τοποθεσία του μεσω του GPS, κάτι που κρατάει δέκα λεπτά [11]. Πραγματοποιώντας όλες αυτές τις εργασίες, στέλνει όλα τα δεδομένα στον Η/Υ του Σταθμού Αναφοράς, μέσω μόντεμ μεγάλης ραδιοφωνικής εμβέλειας. Με την σειρά του ο Σταθμός Αναφοράς στέλνει κάθε βράδυ τα δεδομένα στον Server (SNS), μέσω ISDN dial-up [11]. Αυτά τα δεδομένα αποθηκεύνατι σε μια βάση δεδομένων, στην οποία οι ειδικοί των παγετώνων έχουν πρόσβαση.

Για την σχεδίαση του συτήματος έπρεπε να ληφθούν υπ’ όψιν διάφοροι παράγοντες όπως, η επεκτασιμότητα, η κατανάλωση ενέργειας, το κόστος και τους υλικούς περιορισμούς (hardware) [11,9]. Όσον αφορά στο κόστος των κόμβων, θα έπρεπε να γίνει ουσιαστική και σωστή επένδυση σε αυτά, παίρνοντας υπ’ όψιν το γεγονός των δύσκολων καιρικών συνθηκών που θα έπρεπε να αντιμετωπίσουν για μεγάλο χρονικό διάστημα. χωρίς αποτυχίες [11,7]. Ο κάθε κόμβος τροφοδοτήθηκε με έξι 3.6V Lithium Thionyl Chloride κύτταρα, προσφέροντας ενέργεια 6AH. Η επιλογή αυτή βασίστηκε στην υψηλή ενεργειακή συχνότητα αυτών αλλά και στο χαρακτηριστικό της χαμηλής τους θερμοκρασίας. Η συνολική ενέργεια που κατανάλωνε ο κάθε κόμβος, σύμφωνα με τις μετρήσεις, θα ήταν 5.8 mWH.

Για την τροφοδοσία της Βάσης χρησιμοποιήθηκαν μπαταρίες lead-acid gel, οι οποίες έδιναν ενέργεια σε έναν ενσωματωμένο StrongARM-based υπολογιστή, σ’ έναν GPS, GSM και σε μεγάλης εμβέλειας τμήματα (modules) επικοινωνίας [11]. Οι μπαταρίες ήταν συνδεδεμένες παράλληλα με δύο ηλιακούς συλλέκτες, καθώς το δίκτυο στήθηκε το καλοκαίρι, ώστε να παράγουν ακόμα μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας, 15WH την ημέρα. Οπότε, η συνολική απόδοση των μπαταριών θα έπρεπε, θεωρητικά, να καλύψουν 330 ημέρες!

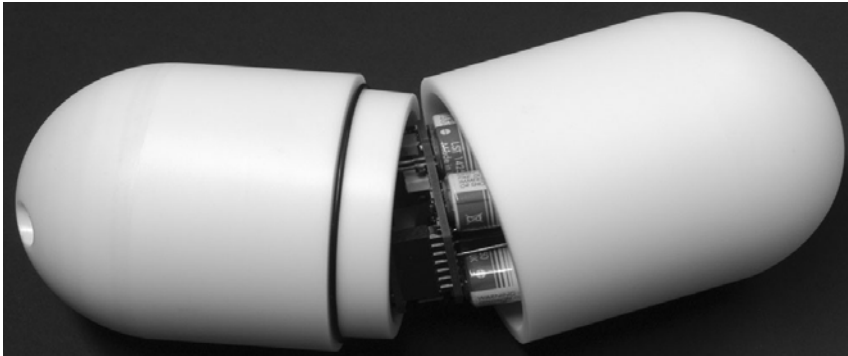
Για την εξασφάλιση επικοινωνίας με τους κόμβους, μέσα από τους πάγους, χρησιμοποιήθηκε το RF (Radio-Frequency) circuit design⁷, ωστόσο για ακόμα καλύτερη επικοινωνία πάρθηκαν και κάποια επιπλέον μέτρα [11,7]. Οι κόμβοι συνδέονται με την Βάση με single-hop σύνδεση και το λειτουργικό σύστημα της Βάσης ήταν το Linux.

3.2 Διατήρηση λειτουργίας του δικτύου

Για την διατήρηση της λειτουργίας του δικτύου πάρθηκαν κάποια ζωτικής σημασίας μέτρα. Οι κόμβοι σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να μπορεί κανείς να έχει πρόσβαση σε αυτά από οποιοδήποτε μέρος του κόσμου, κάνοντάς τα ευέλικτα. Για να υπάρχει όμως ταυτόχρονα και ασφάλεια, τοποθετήθηκε σε αυτά ένας ‘‘φύλακας-χρονόμετρο’’ ώστε να διασφαλίζει τον τερματισμό οποιουδήποτε μη έγκυρου προγράμματος μέσα σε προκαθορισμένο χρόνο [11,8]. Όσον αφορά στην Βάση, σε περίπτωση που χαθεί η επικοινωνία με τον Σταθμό Αναφοράς, ενεργοποιείται το GSM modem, το οποίο επιτρέπει την άμεση αποστολή των δεδομένων στον Server μέσω sms. Εάν ανιχνευθεί κάποιο λάθος στην επικοινωνία, τότε ο αποστολέας μπορεί να ξαναστείλει μέχρι και τρεις φορές, όπως έχει ρυθμιστεί αρχικά. Οι κόμβοι περιέχουν μνήμη Flash ROM 64kb, η οποία είναι οργανωμένη σαν ένα ring buffer [11,21]. Οι πληροφορίες που αποθηκεύονται σε αυτήν είναι 96bytes.

Όσο για τους υλικούς περιορισμούς, ένας τυπικός κόμβος αισθητήρα αποτελείται από τέσσερα βασικά τμήματα που είναι αυτό της ενέργειας, των αισθητήρων, της πεξεργασίας και του πομποδέκτη [11]. Αυτές οι μονάδες, λοιπόν, θα έπρεπε να τοποθετηθούν σε μια συσκευή στο μέγεθος μιάς παλάμης, που είναι μια κάψουλα πολυεστέρα σε σχήμα αυγού, ώστε να μπορεί εύκολα να τοποθετηθεί κάτω από τους πάγους [11,7].

⁷ circuit design: η διαδικασία της σχεδίασης κυκλωμάτων καλύπτει από πολύπλοκα ηλεκτρονικά συστήματα μέχρι ξεχωριστά τρανζίστορς μέσα σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα



Εικ. 7. Ο κόμβος ανοιχτός σε σχήμα αυγού

Οι μπαταρίες και το ηλεκτρονικό κομμάτι της Βάσης τοποθετήθηκαν σε δύο ξεχωριστά και σφραγισμένα κουτιά, πάνω στα οποία τοποθετήθηκαν οι ηλιακοί συλλέκτες, για ευνότερους λόγους [11].

3.3 Αποτελέσματα

Απο τους οκτώ κόμβους που τοποθετήθηκαν αρχικά στο περιβάλλον παρακολούθησης, η συλλογή δεδομένων έγινε απο τους επτά κόμβους για την περίοδο Αυγούστου-Ιανουαρίου και για τους επόμενους μήνες η πρόσβαση μειώθηκε στους τρεις κόμβους. Οι λόγοι που εξηγούν αυτό το αποτέλεσμα είναι οτι η επικοινωνία χάθηκε εξαιτίας της μετακίνησης των πάγων, που μετέφεραν τους κόμβους μακριά απο την εμβέλεια επικοινωνίας, η κατάρρευση της Βάσης μετά απο τρεις μήνες λειτουργίας, που είχε ως αποτέλεσμα να χαθούν τα δεδομένα. Ένας άλλος λόγος πιστεύεται οτι είναι η αχρήστευση των κόμβων απο την πίεση των πάγων και γενικά των δύσκολων καιρικών συνθηκών

Κεφάλαιο 4

Συγκρίσεις των προαναφερθέντων δικτύων-Μελλοντική έρευνα

Συγκρίνοντας τα δίκτυα που στήθηκαν σε κάθε περίπτωση, τόσο για την παρακολούθηση των ηφαιστειών όσο και των παγετώνων, παρατηρούμε αρχικά ότι πριν από κάθε τοποθέτηση δικτύου προηγείται μια εις βάθος έρευνα για το που πρέπει να στηθεί το δίκτυο. Ο αριθμός των κόμβων που χρησιμοποιήθηκαν στις διάφορες αυτές έρευνες ποικίλει ανάλογα με τον σκοπό του κάθε project. Το συνηθισμένο λειτουργικό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε ήταν το TinyOS, από μοντέλα κόμβων ήταν τα Mica2 ενώ και στις τρεις περιπτώσεις δικτύων υπήρξε χρήση GPS δέκτη.

Προβλήματα παρουσιάστηκαν και στα τρία αυτά project, τα οποία οφείλονταν σε διαφορετικούς παράγοντες για το δίκτυο στους παγετώνες σε σχέση με αυτόν με τα ηφαίστεια, λόγω διαφορετικών συνθηκών και παραμέτρων.

Το κοινό συμπέρασμα, όσον αφορά στην μελλοντική έρευνα, ήταν η χρήση μεγαλύτερου αριθμού των κόμβων αισθητήρων, για την κάλυψη έρευνας σε μεγαλύτερη έκταση. Επίσης, διαπιστώθηκε ότι η χρήση multi-hop ή ad-hoc συνδέσεων είναι καλύτερα από τα single-hop, που χρησιμοποιήθηκε στους παγετώνες. Η χρήση πρωτοκόλλων είναι επίσης σημαντική για την βελτίωση της επικοινωνίας μέσα στο δίκτυο για τις μελλοντικές μελέτες.

Ένας πρωταρχικός στόχος για το μέλλον είναι η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, για την επίτευξη μεγαλύτερης διάρκειας ζωής των δικτύων. Ένα άλλο θέμα βελτίωσης των μελετών αφορά και την ασφάλεια των δικτύων, όπως η ύπαρξη κάποιου προγράμματος για τον έλεγχο πρόσβασης στα δεδομένα, π.χ. το χρονόμετρο-φύλακας που είδαμε προηγουμένως στα δίκτυα παγετώνων.

Βιβλιογραφία

- [1] Boukerche Azzedine (2009). *Algorithms and Protocols for Wireless Sensor Networks*. Canada, Wiley
- [2] Rgharendra C.S., Sivaningam Krishna M. and Callaway Edgar H. Jr. (2006). *Wireless Sensor Networks (1st ed.)*. New York, NY: Springer
- [3] Callaway Edgar H. *Wireless Sensor Networks: architectures and protocols*. Boca Raton, FL: Auerbach
- [4] Werner-Allen G., Lorincz K., Ruiz M., Marcillo O., Johnson J., Lees J. and Welsh M. (2006). Deploying a wireless sensor network on an active volcano. *IEEE Internet Computing Magazine*, 10, 18-25. Retrieved from <http://www.eecs.harvard.edu/~mdw/papers/volcano-ieeeic06.pdf>
- [5] Werner-Allen G., Lorincz K., Johnson J., Lees J. and Welsh M. (2006). Fidelity and yield in a volcano monitoring sensor network. *Proceedings of the 7th symposium on Operating systems design and implementation*. Retrieved from <http://www.eecs.harvard.edu/~mdw/papers/volcano-osdi06.pdf>
- [6] Castellano Mario, Buonocunto Ciro, Capello Marco and La Rocca Mario. Seismic Surveillance of Active Volcanoes: The Osservatorio Vesuviano Seismic Network (OVSN - Southern Italy). *Osservatorio Vesuviano - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia* Retrieved from: <http://www.earth-prints.org/bitstream/2122/2803/1/The%20OV%20Seismic%20Network.pdf>
- [7] Martinez Kirk, Hart, J.K., Ong J. (2006). Environmental Sensor Networks. *IEEE COMPUTER*, 37, 50-56. Retrieved from <http://eprints.ecs.soton.ac.uk/9997/1/martinez11.pdf>
- [8] Vaidya B., Min Chen, and Rodrigues J.J.P.C. (2009). Improved Robust User Authentication Scheme for Wireless Sensor Networks. *Wireless Communication and*

Sensor Networks (WCSN), 2009 Fifth IEEE Conference on, 1-6. Retrieved from <http://www.cis.nctu.edu.tw/~wuuyang/papers/An%20Improved%20Dynamic%20User%20Authentication%20Scheme-FINAL.pdf>

[9] Barrenetxea G, Ingelrest F., Schaefer G., and Vetterli M. (2008). Wireless Sensor Networks for Environmental Monitoring: the SensorScope Experience. *Communications, 2008 IEEE International Zurich Seminar on*, 98-101. Retrieved from <http://infoscience.epfl.ch/record/115311/files/izs.pdf>

[10] Chee-Yee Chong, Kumar S. P., (2003). Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges. *Proceedings of the IEEE*, 91, 1247-1256. Retrieved from <http://diec.unizar.es/asignaturas/defaultWebs/11964/Materiales%20auxiliares%20A4.pdf>

[11] Padhy, P., Martinez, K., Riddoch, A., Ong, H. L. R. and Hart, J. K. (2005) Glacial Environment Monitoring using Sensor Networks. *In: Real-World Wireless Sensor Networks*. Retrieved from http://eprints.ecs.soton.ac.uk/10845/1/Glacsweb-REALSWSN_Workshop_Paper.pdf

[12] Akyildiz I.F., Weillian Su, Sankarasubramaniam Y., and Cayirci E. (2002). A Survey on Sensor Networks. *Communications Magazine IEEE*, 40, 102-114. Retrieved from http://www.ee.up.ac.za/main/_media/en/postgrad/subjects/eks732/wsn_survey.pdf

[13] Aronsky Alexander , Segall Adrian. (2010). A Multipath Routing Algorithm for Mobile Wireless Sensor Networks. *Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC), 2010 Third Joint IFIP*, 1-6. Retrieved from http://webee.technion.ac.il/courses/048846/29_DCBM.pdf

- [14] Weinberg D., Zhang J. Advanced Computer Architecture. Retrieved from <http://faculty.uml.edu/y Luo/Teaching/AdvCompArch/reports/WeinbergZhangFinalReport.pdf>
- [15] Elson J., Girod L., and Estrin D. (2002). Fine-Grained Network Time Synchronization using Reference Broadcasts. In *Proceedings of the Fifth Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI 2002)*. Retrieved from <http://lecs.cs.ucla.edu/Publications/papers/broadcast-osdi.pdf>
- [16] Werner-Allen G., Johnson J., Ruiz M., Lees J. and Welsh M. (2005). Monitoring volcanic eruptions with a wireless sensor network. *Wireless Sensor Networks, 2005. Proceedings of the Second European Workshop on*, 108-120. Retrieved from <http://www.eecs.harvard.edu/~mdw/papers/volcano-ewsn05.pdf>
- [17] http://en.wikipedia.org/wiki/Circuit_design
- [18] http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_Sensor_Networks
- [19] <http://en.wikipedia.org/wiki/TinyOS>
- [20] <http://en.wikipedia.org/wiki/Microphone#Omnidirectional>
- [21] http://en.wikipedia.org/wiki/Circular_buffer