

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Διπλωματική Εργασία

Δίκτυα Έξυπνης Σκόνης

Ανύσιος Γεώργιος Α.Μ. 2414

ΠΑΤΡΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2007

Περιεχόμενα

1 Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων.	1
1.1 Αρχιτεκτονική επικοινωνίας των δικτύων αισθητήρων.	3
1.1.1 Application layer.	4
1.1.2 Transport layer.	5
1.1.3 Network layer.	6
1.1.4 Data link layer.	6
1.1.5 Physical layer.	6
1.2 Πρωτόκολλο MAC.	7
2 Πρωτόκολλα Επικοινωνίας.	9
2.1 Directed Diffusion.	9
2.1.1 Διάδοση Δεδομένων.	10
2.1.2 Ενίσχυση και εγκαθίδρυση μονοπατιού.	11
2.1.3 Εγκαθίδρυση μονοπατιού χρησιμοποιώντας θετική ενίσχυση.	11
2.1.4 Εγκαθίδρυση Μονοπατιού για Πολλαπλές Πηγές και sinks.	11
2.1.5 Τοπική Επιδιόρθωση για Χαλασμένα Μονοπάτια.	12
2.1.6 Αποκοπή Μονοπατιού Χρησιμοποιώντας Αρνητική Ενίσχυση.	12
2.1.7 Ανάλυση του Directed Diffusion.	13
2.1.8 Μετρικές.	13
2.2 Flooding.	14
2.3 Το πρωτόκολλο επικοινωνίας CKN.	15
2.3.1 Το πρωτόκολλο διάδοσης δεδομένων.	15
2.3.2 Φάση αρχικοποίησης.	16
2.3.3 Η φάση ακούσματος.	17
2.3.4 Η φάση προγραμματισμού.	18
2.3.5 Η φάση προώθησης.	20
2.3.6 Πτυχές σχεδιασμού του πρωτοκόλλου.	21
3 Παραδείγματα Εφαρμογών.	24
3.1 Εφαρμογές αποκατάστασης καταστροφών.	24
3.2 Έλεγχος του περιβάλλοντος και χαρτογράφηση βιοποικιλότητας.	25
3.3 Έξυπνα κτίρια.	25
3.4 Δυνατότητα διαχείρισης.	25
3.5 Επιτήρηση μηχανών και προληπτική συντήρηση.	26
3.6 Ιατρική και φροντίδα υγείας.	26
3.7 Λογιστικά.	26
3.8 Τηλεμαντική.	27
3.9 Γεωργία ακριβείας.	27
3.9.1 Γεωργία ακριβείας στην αλυσίδα του κρασιού.	28
4 Hardware κόμβων αισθητήρων.	32
4.1 Berkeley Motes (Crossbow).	33
4.2 Telos Motes.	39
4.3 XYZ motes.	41
4.4 DSYS25 motes.	42

5 JwebDust: ένα βασισμένο στη Java Γενικό Περιβάλλον Εφαρμογής για τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων	43
5.1 Το επίπεδο αισθητήρων (Sensor Tier)	46
5.2 Το επίπεδο ελέγχου (Control Tier)	48
5.3 Το επίπεδο πληροφορίας (Data Tier)	50
5.4 Το ενδιάμεσο επίπεδο (Middle Tier)	51
5.5 Το επίπεδο παρουσίασης (Presentation Tier)	52
6 Απαιτήσεις Χρήστη.54
6.1 Απαιτούμενη τεχνολογία αισθητήρων και εξέλιξη.	55
6.2 Μετρικές που αφορούν το έδαφος	56
6.3 Μετρικές που αφορούν τον αέρα.	58
6.4 Μετρικές που αφορούν το φυτό.	60
6.5 Καταγραφή δεδομένων και ιστορικά αρχεία.	63
6.6 Στατιστική ανάλυση και αναφορές	63
6.7 Εξ' αποστάσεως πρόσβαση μέσω Διαδικτύου.	63
6.8 Απαιτήσεις τελικών χρηστών.	63
7 Ανακεφαλαίωση και Μελλοντικές Επεκτάσεις	65

Ευχαριστίες

Θα ήθελα πρώτα από όλους να ευχαριστήσω τους γονείς μου, για την υπομονή και την κατανόηση που έδειξαν κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας που κρατάτε στα χέρια σας ή βλέπετε μπροστά στην οθόνη σας.

Κατόπιν θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα το Δρ. Σωτήρη Νικολετσέα, επίκουρο του τμήματος Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Πατρών, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση αυτής της διπλωματικής. Καθώς και για την επίβλεψη της παρούσας εργασίας και τη συνεργασία μας κατά την διάρκεια εκπόνησης της.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω το Δρ. Ιωάννη Χατζηγιαννάκη, ο οποίος είχε το ρόλο του συνεπιβλέποντα της διπλωματικής, για την σημαντική του συμβολή σε κάθε στάδιο της διπλωματικής. Πρέπει να σημειώσω ότι οι καίριες υποδείξεις και προτροπές του αποδείχτηκαν πολύτιμες για την επιτυχή ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής και αποδείχτηκε ένας ανεκτίμητος συνεργάτης και φίλος.

Κεφάλαιο 1

Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις στα μικρο-ηλεκτρομηχανικά συστήματα (MEMS), τις ασύρματες επικοινωνίες και στην ψηφιακή ηλεκτρονική παρουσιάζουν μια νέα τάση για τη μεγάλη πρόοδο που θα ακολουθήσει στο εγγύς μέλλον: πλήρη συστήματα σε ένα μικροσκοπικό τσιπ, μια ολοκληρωμένη χαμηλής ισχύος επικοινωνία, και ενσωματωμένους χαμηλής ισχύος μετατροπείς με εξαιρετικά χαμηλότερο κόστος. Μια νέα, μετα-PC εποχή παίρνει μορφή με τη λειτουργία που ωθείται από τις μικρότερες, φτηνότερες, μονάδες χαμηλής-ισχύος όσον αφορά τις παραδοσιακές πλατφόρμες υπολογιστών γραφείου και κεντρικών υπολογιστών. Τα μελλοντικά συστήματα προβλέπονται για να ενσωματωθούν βαθιά στο φυσικό περιβάλλον, με ικανότητες αντίληψης του, ίσως ακόμη και τροφοδοτούμενα από την περιβαλλοντική ενέργεια, και χρησιμοποιημένα σε πολλά έξυπνα διαστημικά σενάρια. Η τεχνολογία αισθητήρων είναι ήδη σε θέση με τους διάφορους τομείς και τις δυνάμεις να ανιχνεύσει το φως, θερμότητα, θέση, μετακίνηση, χημική παρουσία, και τα λοιπά. Σε κάθε μια από αυτές τις περιοχές, η τεχνολογία διασχίζει ένα κρίσιμο κατώτατο όριο που κάνει τη λειτουργία των δικτυωμένων αισθητήρων έναν συναρπαστικό ερευνητικό τομέα.

Προβλέπουμε ότι, στο εγγύς μέλλον, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων θα γίνουν ένα αναπόσπαστο τμήμα της ζωής μας, ίσως περισσότερο από τους σημερινούς προσωπικούς υπολογιστές. Η κεντρική ιδέα είναι να ενεργοποιηθεί ένα σύστημα που αποτελείται από έναν απέραντο αριθμό συσκευών αισθητήρων που ενσωματώνουν την αντίληψη με τις ασύρματες διεπαφές δικτύων, οι οποίες συλλέγουν και διαδίδουν τις πληροφορίες για το φυσικό περιβάλλον. Το σύστημα επεκτείνεται στους τομείς ενδιαφέροντος (που κυμαίνεται από τα σπίτια, τα σχολεία και τα πανεπιστήμια ως τις απρόσιτες εκτάσεις, τοποθεσίες καταστροφής, κ.λπ...) κάνοντας τους τα έξυπνα διαστήματα όπου οι λεπτές κοκκιώδεις ελεγκτικές υπηρεσίες και οι εφαρμογές μπορούν να παρασχεθούν.

Οι τρέχουσες λύσεις συστημάτων, τα πλαίσια πρωτοκόλλου και τα παραδείγματα παρέχουν χαρακτηριστικά τις ακόλουθες υπηρεσίες:

Περιοδική αντίληψη (οι συσκευές αισθητήρων ελέγχουν συνεχώς το φυσικό περιβάλλον και εκθέτουν συνεχώς τις μετρήσεις των αισθητήρων τους σε ένα κέντρο ελέγχου),

Γεγονός που οδηγείται (για να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας, οι συσκευές αισθητήρων ελέγχουν σιωπηλά το περιβάλλον και επικοινωνούν για να εκθέσουν τότε ορισμένα γεγονότα πραγματοποιούνται) και

Ερώτηση που βασίζεται (οι συσκευές αισθητήρων αποκρίνονται στις ερωτήσεις που γίνονται από ένα εποπτεύον κέντρο ελέγχου).

Πρόσφατα, νέες εφαρμογές έχουν προταθεί, οι οποίες απαιτούν διαφορετικές προσεγγίσεις για τη διάδοση των στοιχείων αισθητήρων στο κέντρο ελέγχου, όπως η *καταδίωξη στόχων* (όπου οι αισθητήρες ανταλλάσσουν τις αναγνώσεις αισθητήρων προκειμένου να ανιχνευθεί το σχέδιο μετακίνησης ενός ανιχνευμένου στόχου) ή η

επιτήρηση περιοχής (όπου οι αισθητήρες είναι εξοπλισμένοι με συσκευές βίντεο). Βεβαίως, περισσότερες υπηρεσίες θα γίνουν εφικτές στο εγγύς μέλλον όπου θα επιτραπούν τα διαφορετικά είδη αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον (π.χ. μέσω των ενεργοποιητών και των υπηρεσιών μηχανισμών).

Δεν πρέπει να μας προκαλεί έκπληξη ότι τα μοναδικά χαρακτηριστικά αυτού του καθεστώτος προκαλούν τις πολύ διαφορετικές ανταλλαγές σχεδίου από τα τρέχοντα γενικής χρήσης συστήματα. Τα ελλείποντα στοιχεία είναι απλές αλλά αποδοτικές στρατηγικές βελτιστοποίησης στο επίπεδο πρωτοκόλλου, μια συνολική αρχιτεκτονική συστημάτων και μια μεθοδολογία για τη συστηματική πρόοδο. Πράγματι, η πραγματοποίηση τέτοιων αποδοτικών, γερών και ασφαλών ειδικών περιβαλλόντων δικτύωσης είναι μια πρόκληση αλγοριθμική, συστήματα και τεχνολογικός στόχος. Οι μεγάλοι αριθμοί τέτοιων μικροσκοπικών και περιορισμένων σε πόρους συσκευών πρέπει να οργανωθούν από μόνα τους σε ένα ειδικό δίκτυο υπό τις ιδιαίτερα δυναμικές περιβαλλοντικές συνθήκες, που πραγματοποιούν τους υπολογισμούς τοπικά και που δεσμεύουν σε μια συνεργάσιμη προσπάθεια υπολογισμού και επικοινωνίας. Οι απαραίτητες λύσεις διαφέρουν σημαντικά, όχι μόνο όσον αφορά τον κλασικό διανεμημένο υπολογισμό αλλά και όσον αφορά την ειδική δικτύωση. Για να υπογραμμίσουμε περαιτέρω τη διαφορά θεωρούμε ότι

- ο αριθμός των συσκευών που αλληλεπιδρούν σε ένα δίκτυο αισθητήρων είναι εξαιρετικά μεγάλος έναντι αυτού σε ένα χαρακτηριστικό ειδικό δίκτυο,
- τα δίκτυα αισθητήρων είναι χαρακτηριστικά επιρρεπή σε ελαττώματα (ως αποτέλεσμα του εξοπλισμού χαμηλότερου κόστους) και
- οι περιορισμοί στην ενέργεια, την υπολογιστική δύναμη και τη μνήμη είναι αυστηρότεροι στα δίκτυα αισθητήρων.

Από αυτή την άποψη, νέα πρότυπα πρέπει να παρασχεθούν, νέες μεθοδολογίες πρέπει να θεωρηθούν, ενσωματωμένες (αλλά εύκαμπτες) τεχνικές δικτύωσης και αρχιτεκτονικές λογισμικού πρέπει να σχεδιαστούν και να εφαρμοστούν, αποδοτικές αλγοριθμικές λύσεις πρέπει να επινοηθούν, και απαιτούνται ενσωματωμένα περιβάλλοντα για την ανάπτυξη εφαρμογής.

Οι διαφορές μεταξύ των δικτύων έξυπνης σκόνης και των ad hoc δικτύων είναι οι παρακάτω

- Ο αριθμός των αισθητήρων σε ένα δίκτυο αισθητήρων έξυπνης σκόνης μπορεί να είναι αρκετές φορές μεγαλύτερος απ' ό,τι σε ένα ad hoc δίκτυο.
- Οι κόμβοι των αισθητήρων επεκτείνονται πυκνά
- Οι κόμβοι των αισθητήρων είναι επιρρεπείς σε σφάλματα
- Η τοπολογία ενός δικτύου αισθητήρων αλλάζει πολύ συχνά
- Οι κόμβοι των αισθητήρων κυρίως χρησιμοποιούν για παράδειγμα επικοινωνία ραδιοφωνικής μετάδοσης όπου τα περισσότερα ad hoc δίκτυα βασίζονται στην σημείο με σημείο επικοινωνία
- Οι κόμβοι των αισθητήρων είναι περιορισμένοι σε ενέργεια, υπολογιστικές ικανότητες, και μνήμη.
- Οι κόμβοι των αισθητήρων μπορεί να μην έχουν σφαιρικό προσδιορισμό εξαιτίας του μεγάλου ποσού από τα γενικά έξοδα και του μεγάλου αριθμού των αισθητήρων

Από τη στιγμή που μεγάλος αριθμός αισθητήρων επεκτείνεται πυκνά οι γειτονικοί κόμβοι μπορεί να είναι πολύ κοντά ο ένας με τον άλλο, έτσι τα επίπεδα ενέργειας της μετάδοσης μπορούν να κρατηθούν χαμηλά, που είναι πολύ επιθυμητό. Τα πρωτόκολλα των αισθητήρων έξυπνης σκόνης θα πρέπει να επικεντρώνονται αρχικά στην κατανάλωση ενέργειας. Θα πρέπει να έχουν ενσωματωμένους μηχανισμούς που να δίνουν στον τελικό χρήστη την επιλογή να επιμηκύνει την διάρκεια ζωής του δικτύου σε ότι αφορά το κόστος του χαμηλότερου throughput ή μεγαλύτερης καθυστέρησης στη μετάδοση.

1.1 Αρχιτεκτονική επικοινωνίας των δικτύων αισθητήρων

Οι κόμβοι αισθητήρων είναι συνήθως διεσπαρμένοι σε ένα πεδίο αισθητήρων όπως φαίνεται στην εικόνα. Καθένας από αυτούς τους αισθητήρες έχει την δυνατότητα να συλλέγει δεδομένα από το περιβάλλον και να τα στέλνει πίσω στη sink και από εκεί στους τελικούς χρήστες. Τα δεδομένα δρομολογούνται στους τελικούς χρήστες με τη χρήση μιας multihop χωρίς υποδομή αρχιτεκτονικής μέσω της sink, όπως βλέπουμε στην εικόνα. Η sink μπορεί να επικοινωνεί με τον τελικό χρήστη μέσω internet ή δορυφόρου.

Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται από τη sink και όλους τους κόμβους αισθητήρων δίνεται στην εικόνα 3. Αυτό συνδυάζει συνειδητοποίηση δύναμης και δρομολόγησης, ενσωματώνει δεδομένα σε πρωτόκολλα δικτύων, επιτυγχάνει ενεργειακή αποδοτικότητα μέσω του ασύρματου μέσου και προάγει προσπάθειες συνεργασίας μεταξύ των δικτύων αισθητήρων. Το πρωτόκολλο του σωρού (stack) αποτελείται από το επίπεδο εφαρμογών (application layer), το επίπεδο μεταφοράς (transport layer), το επίπεδο δικτύου (network layer), το επίπεδο σύνδεσης στοιχείων (data link layer), το πεδίο διαχείρισης ενέργειας (power management plane), το πεδίο διαχείρισης κινητικότητας (mobility management plane), το πεδίο διαχείρισης στόχου (task management plane). Εξαρτώμενοι από τις μετρήσεις των αισθητήρων, διαφορετικά είδη λογισμικού εφαρμογών μπορούν να κατασκευαστούν και να χρησιμοποιηθούν στο επίπεδο εφαρμογών. Το επίπεδο μεταφοράς βοηθάει να διατηρηθεί η ροή των δεδομένων εάν οι εφαρμογές του δικτύου αισθητήρων το απαιτούν. Το επίπεδο δικτύου φροντίζει για τη δρομολόγηση των δεδομένων που λαμβάνονται από το επίπεδο μεταφοράς. Εφόσον το περιβάλλον είναι θορυβώδες και οι αισθητήρες μπορεί να είναι κινητοί, το MAC πρωτόκολλο πρέπει να είναι ενημερωμένο για την ενέργεια και να είναι ικανό να μειώσει τις συγκρούσεις όσον αφορά την αναμετάδοση των γειτονικών κόμβων. Το φυσικό επίπεδο αναφέρεται στις ανάγκες ενός απλού αλλά γερού μοντέλου διαμόρφωσης, μετάδοσης και λήψης τεχνικής. Επιπλέον το πεδίο διαχείρισης της ενέργειας, της κινητικότητας και του στόχου ελέγχουν την ενέργεια, την κίνηση και τον στόχο που διανέμονται ανάμεσα στους κόμβους αισθητήρων. Αυτά τα πεδία βοηθούν τους κόμβους αισθητήρων να διαχειριστούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων και να μειώσουν την συνολική κατανάλωση ενέργειας.

Το power management plane διαχειρίζεται το πώς ένας κόμβος αισθητήρα χρησιμοποιεί την ενέργεια του. Για παράδειγμα, ο κόμβος αισθητήρα μπορεί να σταματήσει να λειτουργεί τη λήψη αφότου λάβει ένα μήνυμα από κάποιον από τους γειτονικούς κόμβους. Το φυσικό επίπεδο απευθύνεται σε απλές αλλά δυναμικές τεχνικές διαμόρφωσης, μετάδοσης και λήψης. Επιπλέον τα power, mobility και task management planes ελέγχουν την ενέργεια, την κίνηση και την στόχου διάδοση πληροφοριών ανάμεσα στους κόμβους αισθητήρων. Αυτά τα πεδία βοηθούν τους

κόμβους αισθητήρων να συνεργάζονται όταν λαμβάνουν μετρήσεις από το περιβάλλον και μειώνουν την συνολική κατανάλωση ενέργειας. Επίσης όταν η ενέργεια ενός κόμβου αισθητήρα είναι χαμηλή, τότε ο κόμβος αναμεταδίδει στους γείτονές του ότι η ενέργεια του είναι χαμηλή και δεν μπορεί να συμμετάσχει στην δρομολόγηση των μηνυμάτων. Το υπόλοιπο της ενέργειας που του έχει απομείνει χρησιμοποιείται για να λαμβάνει μετρήσεις από το περιβάλλον.

Το mobility management ανιχνεύει και καταγράφει την κίνηση των αισθητήρων έτσι ώστε να επιτυγχάνεται πάντα μια δρομολόγηση των δεδομένων πίσω στον χρήστη, και οι κόμβοι αισθητήρων να γνωρίζουν ποίοι είναι οι γειτονικοί κόμβοι αισθητήρων. Με το να γνωρίζουν ποιοι είναι οι γειτονικοί κόμβοι, οι αισθητήρες μπορούν να κρατήσουν ισορροπία όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας. Το task management plane ισορροπεί και προγραμματίζει τις μετρήσεις των αισθητήρων που γίνονται σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Δεν χρειάζεται όλοι οι κόμβοι αισθητήρων να λαμβάνουν μετρήσεις στην συγκεκριμένη περιοχή την ίδια στιγμή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, μερικοί κόμβοι αισθητήρων να εκτελούν έναν στόχο περισσότερο εύκολα από άλλους εξαρτώμενοι από το ποσό ενέργειας τους. Αυτά τα management planes χρειάζονται, έτσι ώστε οι κόμβοι αισθητήρων να μπορούν να συνεργάζονται και να καταναλώνουν χαμηλά ποσά ενέργειας και να δρομολογούν τα δεδομένα σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, και να μοιράζονται πόρους μεταξύ των κόμβων αισθητήρων. Χωρίς αυτούς, κάθε κόμβος αισθητήρα θα έπρεπε να εργάζεται χωριστά. Ολόκληρο το δίκτυο αισθητήρων, είναι πιο αποδοτικό εάν οι κόμβοι αισθητήρων συνεργάζονται μεταξύ τους, έτσι ώστε η διάρκεια ζωής του δικτύου να επιμηκυνθεί.

1.1.1 Application layer

Σε αυτήν την έρευνα εξετάζουμε τρία πιθανά πρωτόκολλα σε επίπεδο εφαρμογής τα, Πρωτόκολλο διαχείρισης αισθητήρων (SMP), το πρωτόκολλο ανάθεσης στόχου και διαφήμισης στοιχείων (TADAP) και το πρωτόκολλο αναζήτησης αισθητήρων και διάδοσης στοιχείων (SQDDP), που χρησιμοποιούνται για δίκτυα αισθητήρων που βασίζονται στα προτεινόμενα σχήματα που σχετίζονται με τα άλλα στρώματα και τις περιοχές εφαρμογών των αισθητήρων δικτύων.

Sensor management protocol (SMP)

Το να σχεδιάζει κανείς ένα πρωτόκολλο διαχείρισης για το επίπεδο εφαρμογής έχει αρκετά πλεονεκτήματα. Τα δίκτυα αισθητήρων έχουν πολλές διαφορετικές περιοχές εφαρμογών και το να τους προσφέρουν πρόσβαση μέσα από δίκτυα όπως το Internet γίνεται σκόπιμα σε μερικά τωρινά πρωτόκολλα. Ένα στάδιο εφαρμογής του πρωτοκόλλου διαχείρισης κάνει το υλικό και το λογισμικό των χαμηλότερων στρωμάτων διαφανές στις εφαρμογές διαχείρισης του δικτύου αισθητήρων.

Οι διοικητές του συστήματος αλληλεπιδρούν με τα δίκτυα των αισθητήρων χρησιμοποιώντας SMP. Αντιθέτως με πολλά άλλα δίκτυα, τα δίκτυα αισθητήρων αποτελούνται από κόμβους που δεν έχουν καθολικές IDs και είναι συνήθως αδόμετοι. Το SMP χρειάζεται να προσπελάσει τους κόμβους χρησιμοποιώντας ονομασία βασισμένη σε ιδιότητες και διευθυνσιοδότηση βασισμένη στην τοποθεσία. Το SMP είναι ένα πρωτόκολλο διαχείρισης που παρέχει τις πράξεις που χρειάζονται για να εκτελεστούν οι επόμενοι στόχοι.

- Να παρουσιάσει τους κανόνες που σχετίζονται με την συνάθροιση των δεδομένων , την ονομασία και τη συγκέντρωση που βασίζεται σε ιδιότητες των κόμβων αισθητήρων.
- Ανταλλαγή δεδομένων που σχετίζονται με αλγόριθμους εύρεσης της τοποθεσίας
- Τον χρονικό συγχρονισμό των κόμβων αισθητήρων
- Την μετακίνηση των κόμβων αισθητήρων
- Το να ενεργοποιεί και να απενεργοποιεί τους κόμβους
- Αναζήτηση της διαμόρφωσης του δικτύου αισθητήρων και της κατάστασης των αισθητήρων, και επαναδιαμόρφωση του δικτύου αισθητήρων
- επικύρωση, βασική διανομή και προστασία στην επικοινωνία των δεδομένων

Task assignment and data advertisement protocol

Μια επιπλέον σημαντική ενέργεια στα δίκτυα αισθητήρων είναι η διάδοση ενδιαφέροντος. Οι χρήστες στέλνουν την προτίμησή τους σε έναν κόμβο , σε ένα υποδίκτυο κόμβων ή σε ολόκληρο το δίκτυο. Αυτή η προτίμησή τους μπορεί να είναι για μια ιδιότητα του φαινομένου ή για ένα προκλητικό γεγονός. Μια άλλη μέθοδος είναι η δημοσίευση των διαθέσιμων δεδομένων στα οποία οι κόμβοι δημοσιεύουν τα διαθέσιμα δεδομένα στους χρήστες, και οι χρήστες αναζητούν τα δεδομένα για τα οποία ενδιαφέρονται . Ένα πρωτόκολλο επιπέδου εφαρμογής που παρέχει το λογισμικό με αποδοτικές διεπαφές για διάδοση ενδιαφέροντος είναι χρήσιμο για πράξεις χαμηλότερου επιπέδου, όπως η δρομολόγηση.

Sensor query and data dissemination protocol (SQDDP)

Το SQDDP παρέχει στις εφαρμογές των χρηστών διεπαφές ώστε να μπορούν αυτοί να διατυπώνουν ερωτήσεις, να απαντούν στις ερωτήσεις και να συλλέγουν τις απαντήσεις που έρχονται. Σημειώνουμε ότι αυτές οι ερωτήσεις δεν γίνονται σε συγκεκριμένες κορυφές . Αντιθέτως προτιμάται η με βάση τις ιδιότητες και την τοποθεσία ονομασία. Για παράδειγμα <<οι τοποθεσίες των κόμβων που αισθάνονται θερμοκρασία μεγαλύτερη των 70 °F >> είναι μια ερώτηση με βάση τις ιδιότητες . Ομοίως , << οι θερμοκρασίες που διαβάζονται από τους κόμβους σε μια περιοχή A>> είναι ένα παράδειγμα βασισμένης την τοποθεσία ονομασίας.

1.1.2 Transport layer

Η ανάγκη για ένα επίπεδο μεταφοράς υπογραμμίζεται στην βιβλιογραφία. Αυτό το επίπεδο είναι πολύ χρήσιμο όταν το σύστημα είναι σχεδιασμένο να παρέχει πρόσβαση μέσω internet ή άλλων εξωτερικών δικτύων. Ωστόσο απ' όσα γνωρίζουμε μέχρι τώρα δεν έχει γίνει καμία προσπάθεια ώστε να προταθεί ένα ενιαίο σχήμα.

Το πρωτόκολλο TCP με τους τωρινούς μηχανισμούς μετάδοσης, ταιριάζει με τα ακραία χαρακτηριστικά ενός περιβάλλοντος δικτύου αισθητήρων. Μια τέτοια μέθοδος όπως το TCP μπορεί να χρειαστεί για να μπορέσει το δίκτυο αισθητήρων να αλληλεπιδράσει με άλλα δίκτυα όπως είναι το internet. Σε αυτή τη μέθοδο , οι TCP σύνδεσμοι τελειώνουν στη sink , και ένα ειδικό πρωτόκολλο μετάδοσης μπορεί να χειριστεί τις επικοινωνίες μεταξύ του κόμβου sink και των άλλων κόμβων αισθητήρων.

1.1.3 Network layer

Το επίπεδο δικτύου των αισθητήρων κόμβων συνήθως σχεδιάζεται με βάση τις επόμενες αρχές .

- Πάντα εκτιμάται η αποδοτικότητα της ενέργειας
- Τα δίκτυα αισθητήρων αφορούν περισσότερο τα κεντρικά στοιχεία
- Η συνάθροιση των δεδομένων είναι χρήσιμη μόνον όταν δεν εμποδίζει την συνεργατική προσπάθεια των κόμβων αισθητήρων
- Ένα ιδανικό δίκτυο αισθητήρων έχει με βάση τις ιδιότητες, διευθυνσιοδότηση και τοποθέτηση

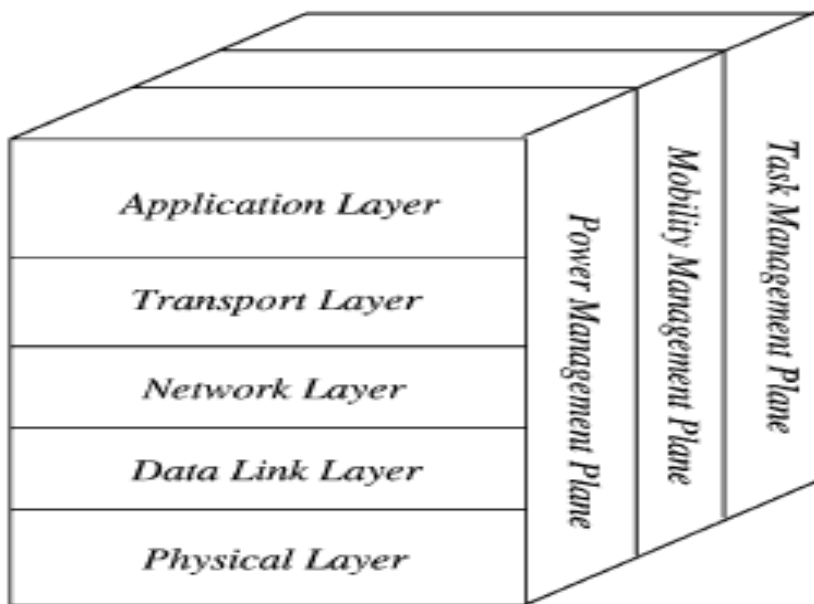


Fig. 3. The sensor networks protocol stack.

1.1.4 Data link layer

Το data link layer είναι υπεύθυνο για την πολύπλεξη των data streams , την ανίχνευση πλαισίων δεδομένων, την πρόσβαση του μέσου και τον έλεγχο λαθών. Διαβεβαιώνει πιστές point-to-point και point-to-multipoint συνδέσεις σε ένα δίκτυο επικοινωνίας

1.1.5 Physical layer

Το φυσικό επίπεδο είναι υπεύθυνο για την επιλογή της συχνότητας, για τη μεταφορά της συχνότητας, ανίχνευση σήματος, διαμόρφωση και την κρυπτογράφηση των δεδομένων. Η μετάδοση της συχνότητας και η ανίχνευση του σήματος έχουν να κάνουν με το υλικό και το σχέδιο του αναμεταδότη. Στη συνέχεια εστιάζουμε στα

αποτελέσματα της διάδοσης του σήματος, για την αποδοτικότητα της ενέργειας και τα σχήματα διαμόρφωσης για ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων.

Είναι γνωστό ότι η ασύρματη επικοινωνία σε μεγάλη απόσταση μπορεί να έχει μεγάλο κόστος, και στα δυο σε ότι αφορά την ενέργεια και την πολυπλοκότητα. Καθώς σχεδιάζουμε το φυσικό επίπεδο για τα δίκτυα αισθητήρων, η ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας είναι πολύ σημαντική. Γενικά η ελάχιστη ενέργεια εξόδου που απαιτείται για να μεταδοθεί ένα σήμα σε μια απόσταση d είναι ανάλογη του d^n όπου $2 \leq n < 4$. Ο εκθέτης n είναι κοντά στο τέσσερα για χαμηλές κεραιές και κοντά στο έδαφος κανάλια.

1.2 Πρωτόκολλο MAC

Τα πρωτόκολλα ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (Medium Access Control MAC) βρίσκονται στο χαμηλότερο επίπεδο της στοίβας πρωτοκόλλων δικτύωσης. Το επίπεδο MAC ελέγχει την πρόσβαση στο μέσο, δηλαδή τότε μπορεί ένας κόμβος να χρησιμοποιήσει το μέσο για να μεταδώσει ή να λάβει πληροφορία. Στην περίπτωση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων το μέσο είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα που διαδίδονται στον χώρο. Ο στόχος αυτών των πρωτοκόλλων είναι να μειώσουν τις συγκρούσεις κατά την επικοινωνία των συσκευών μικροαισθητήρων, να εξοικονομήσουν ενέργεια και να μεγιστοποιήσουν την μεταφορά δεδομένων.

Κατά την ασύρματη επικοινωνία υπάρχουν τέσσερις κύριες αιτίες που προκαλούν σπατάλη της ενέργειας των συσκευών μικροαισθητήρων:

- **Συγκρούσεις:** Συγκρούσεις συμβαίνουν όταν δυο οι περισσότεροι κόμβοι εκπέμπουν δεδομένα ταυτόχρονα. Όταν χρησιμοποιείται η ίδια συχνότητα εκπομπής και ο παραλήπτης βρίσκεται στην εμβέλεια των δυο εκπομπών, τότε τα σήματα από τις εκπομπές παρεμβάλλονται το ένα στο άλλο με αποτέλεσμα τα δεδομένα να παραμορφώνονται και να μην είναι δυνατή η λήψη τους. Το αποτέλεσμα είναι η απώλεια των δεδομένων και η ανάγκη για επανάληψη της εκπομπής σημαίνει σπατάλη ενέργειας.
- **Αδρανείς κόμβοι:** Συχνά το τμήμα ραδιοεπικοινωνίας ενός κόμβου παραμένει ανοιχτό αλλά αδρανές επειδή ο κόμβος περιμένει τη λήψη ενός μηνύματος. Η αιτία αυτής της σπατάλης ενέργειας είναι το ότι η επικοινωνία στα ασύρματα δίκτυα μικροαισθητήρων δεν γίνεται συγχρονισμένα με αποτέλεσμα να υπάρχουν μη αμελητέοι χρόνοι αναμονής για την άφιξη δεδομένων.
- **Άκυρες λήψεις:** Συχνά ένας κόμβος λαμβάνει μηνύματα που έχουν σαν προορισμό κάποιον άλλο κόμβο, επομένως τα δεδομένα που ελήφθησαν απλά απορρίπτονται. Αυτό συμβαίνει όταν ο δέκτης ενός κόμβου είναι προγραμματισμένος να «ακούει» το φάσμα των συχνοτήτων επικοινωνίας συνεχώς. Εκτός του ότι ξοδεύεται ενέργεια για τη λειτουργία του δέκτη, και η διαδικασία αποκωδικοποίησης των ραδιοκυμάτων είναι μια ενεργοβόρα διαδικασία που απαιτεί τη λειτουργία πολύπλοκων κυκλωμάτων αποδιαμόρφωσης.
- **Κόστος Πρωτοκόλλου:** Το ίδιο το MAC πρωτόκολλο χρειάζεται να εκπέμπει κάποια μηνύματα προκειμένου να επιτελέσει το έργο του. Αυτά τα επιπλέον μηνύματα χαρακτηρίζουν και το κόστος της λειτουργίας ενός MAC πρωτοκόλλου. Ανάλογα με το πρωτόκολλο, ο αριθμός και το μέγεθος αυτών των μηνυμάτων διαφέρει και υπό αντίξοες συνθήκες το κόστος του

πρωτοκόλλου MAC μπορεί να είναι συγκρίσιμο με το κόστος μετάδοσης δεδομένων.

Τα φαινόμενα που μόλις περιγράψαμε αντιμετωπίζονται με διάφορους τρόπους από το MAC στρώμα. Συνήθως για την αποφυγή των συγκρούσεων χρησιμοποιούνται CSMA, δηλαδή κάθε κόμβος ακούει το μέσο ώστε να εντοπίσει μεταδόσεις άλλων κόμβων και να αναβάλλει τη δικιά του. Ακόμα πριν την αποστολή του κύριου όγκου των δεδομένων ο πομπός στέλνει πρώτα ένα σύντομο μήνυμα- αίτηση στο δέκτη, και προχωρά στη μετάδοση του ωφέλιμου μηνύματος μόνο όταν ο δέκτης δώσει την άδεια του με ένα μήνυμα. Όταν το πρωτόκολλο MAC ανιχνεύσει ότι μια απόπειρα για αποστολή κατέληξε σε σύγκρουση, τηρείται ένα τυχαίο διάστημα αναμονής, πριν γίνει μια νέα απόπειρα αποστολής, ενώ η αναμονή αυξάνεται εκθετικά με κάθε αποτυχημένη προσπάθεια αποστολής.

Πιο προχωρημένες, αλλά και πιο απαιτητικές σε πόρους, τεχνικές αποφυγής συγκρούσεων είναι το TDMA κατά το οποίο δημιουργείται ένα χρονοπρόγραμμα που ορίζει συγκεκριμένες χρονικές στιγμές για κάθε κόμβο στις οποίες μπορεί να λάβει ή να εκπέμψει ένα μήνυμα. Επίσης το FDMA διαχωρίζει το φάσμα ασύρματων συχνοτήτων σε πολλά κανάλια και επιτρέπει ταυτόχρονη επικοινωνία μέσω των διαφορετικών καναλιών χωρίς να γίνονται συγκρούσεις. Ακόμα η τεχνική CDMA επιτρέπει την ταυτόχρονη χρήση ενός καναλιού για μετάδοση πολλών διαφορετικών πακέτων. Αυτό επιτυγχάνεται με προηγμένες τεχνικές διαμόρφωσης των δεδομένων, με βάση ένα σύνολο κωδικών τα διαφορετικά σήματα διαμορφώνονται έτσι ώστε ο παραλήπτης γνωρίζοντας τον κωδικό του αποστολέα να μπορεί να ανακτήσει τα δεδομένα από το πολυπλεγμένο σήμα.

Η επιπλέον κατανάλωση ενέργειας που οφείλεται στο πρόβλημα των αδρανών κόμβων και των άκυρων λήψεων συνήθως αντιμετωπίζεται με σβήσιμο του κυκλώματος του δέκτη του σωματιδίου για ένα μικρό χρονικό διάστημα. Η δυσκολία εφαρμογής αυτής της μεθόδου είναι στο να υπολογιστεί σωστά το διάστημα αυτό ώστε να αποφευχθεί η λήψη ενός μηνύματος που δεν προορίζεται για τον κόμβο ή την άσκοπη παρακολούθηση του μέσου. Όμως ο δέκτης ενός κόμβου, πρέπει να είναι σε κατάσταση λειτουργίας μέχρι την εμφάνιση του επόμενου μηνύματος, το οποίο μπορεί να προορίζεται για αυτόν. Συνήθως για να επιλυθούν τα προβλήματα αυτού του τύπου εφαρμόζονται τεχνικές συγχρονισμού των αισθητήρων όπως το TDMA.

Κεφάλαιο 2

Πρωτόκολλα Επικοινωνίας

2.1 Directed Diffusion

Ο directed diffusion είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας των ασύρματων δικτύων αισθητήρων που επιλέγει μονοπάτια με μικρότερη κατανάλωση ενέργειας για την διάδοση των δεδομένων που προέρχονται από τους αισθητήρες. Το πρωτόκολλο αυτό προτάθηκε αρχικά από τους C. Intanagonwiwat, R. Govindan και D. Estrin. Η τεχνική αυτή δεν προτάθηκε με τη μορφή ενός γενικευμένου πρωτοκόλλου αλλά περισσότερο ως ένα παράδειγμα για διάδοση πληροφορίας σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων που εξυπηρετούν μια εξειδικευμένη εφαρμογή ανίχνευσης κίνησης μικρών ζώων. Ωστόσο έχει όλα τα χαρακτηριστικά ενός αυτόνομου πρωτοκόλλου επικοινωνίας, και επιπλέον είναι δυνατό πολλά από τα βασικά χαρακτηριστικά του να ενσωματωθούν σε άλλα υπάρχοντα ή υβριδικά πρωτόκολλα με θετικές επιπτώσεις στην απόδοσή τους.

Ο directed diffusion, εστιάζει αρκετά στο γεγονός ότι στα δίκτυα έξυπνης σκόνης οι περιορισμένοι πόροι πρέπει να χρησιμοποιούνται όσο πιο αποδοτικά γίνεται και προτείνει ενσωμάτωση της τεχνικής της “ πολυπλεξής ” των δεδομένων (**data aggregation**) και του έγκαιρου διαμοιρασμού μονοπατιών διάδοσης (**early path sharing**). Η κεντρική ιδέα του αλγόριθμου είναι ότι οι κόμβοι του δικτύου συνεργάζονται για τη δημιουργία μιας δενδρικής δομής, η οποία πραγματοποιεί την πολυπλεξή των δεδομένων και έχει ως απώτερο σκοπό να επιτυγχάνει χαμηλή καθυστέρηση διάδοσης των γεγονότων προς την πηγή. Ο directed diffusion επιγχανει καλύτερη αποδοτικότητα ενέργειας μειώνοντας τα μονοπάτια από τα οποία μεταδίδονται περιττά δεδομένα.

Interests και Gradients

Σύμφωνα με την γενική λογική του directed diffusion, αρχικά το κέντρο ελέγχου οφείλει να δηλώσει το ενδιαφέρον του για μια πληροφορία. Ένα ενδιαφέρον (**interest**) είναι μια ερώτηση που γνωστοποιεί τι ζητά ένας χρήστης. Το κάθε ενδιαφέρον είναι μια λίστα από ζεύγη χαρακτηριστικού-τιμής, που περιγράφουν τα δεδομένα του προς μέτρηση γεγονότος και έχει την εξής μορφή :

```
Type = wheeled vehicle
Interval = 1s
Rect = [-100, 200, 200, 400]
Timestamp = 01:20:40
expiresAt = 01:30:40
```

Ένα ενδιαφέρον συνήθως εισάγεται στο δίκτυο από έναν τυχαίο κόμβο που ονομάζουμε **sink**. Αφότου ένας κόμβος λάβει ένα ενδιαφέρον, μπορεί να αποφασίσει να το ξαναστείλει σε ένα υποσύνολο από γειτονικούς κόμβους. Στους γειτονικούς αυτούς κόμβους μπορεί να φαίνεται ότι το ενδιαφέρον έρχεται από αυτόν τον κόμβο, ενώ στην ουσία προέρχεται από ένα απομακρυσμένο **sink**. Έτσι το

ενδιαφέρον διαδίδεται σε όλο το δίκτυο με αλγόριθμο flooding , αφού δεν είναι γνωστό ποιοι κόμβοι αισθητήρων είναι ικανοί να ικανοποιήσουν το ενδιαφέρον.

Ο κάθε κόμβος γνωρίζει ανά πάσα στιγμή από ποιους γειτονικούς κόμβους έλαβε το ενδιαφέρον και αναθέτει σε αυτούς ένα βαθμωτό αριθμό (**gradient**). Αν από κάποιο γειτονικό κόμβο έχει λάβει πολλαπλά ενδιαφέροντα τότε διατηρεί ένα βαθμωτό αριθμό για κάθε ένα από αυτά τα ενδιαφέροντα . Ένα gradient διευκρινίζει και την ροή των δεδομένων και μια κατεύθυνση στην οποία μπορεί να στείλει τα γεγονότα. Όταν η διάρκεια ενός gradient τελειώσει τότε το ενδιαφέρον διαγράφεται από τη cache.

2.1.1 Διάδοση Δεδομένων

Ένας κόμβος που βρίσκεται μέσα στην περιοχή rect παράγει ενδιαφέροντα όπως περιγράψαμε προηγουμένως. Επιπλέον, στόχος του κόμβου είναι να δραστηριοποιήσει τους τοπικούς του αισθητήρες ώστε να αρχίσουν να μαζεύουν πληροφορίες από το περιβάλλον , οι οποίοι παραμένουν κλειστοί ώστε να εξοικονομείται ενέργεια.

Ένας αισθητήρας που συλλέγει δεδομένα από το περιβάλλον ψάχνει στην cache του, που έχει αποθηκευμένα τα ενδιαφέροντα . Αν βρεθεί αποθηκευμένο ένα ενδιαφέρον που το rect του να καλύπτει την περιοχή του αισθητήρα και το type του να ταιριάζει με τα δεδομένα που μπορεί να ανιχνεύσει τότε ο κόμβος αυτός γίνεται **πηγή** και ξεκινάει να συλλέγει δεδομένα από το περιβάλλον ενεργοποιώντας τους κατάλληλους αισθητήρες. Η πηγή στέλνει σε όλους τους γείτονες με τους οποίους έχει ένα gradient, μια περιγραφή του γεγονότος κάθε ένα δευτερόλεπτο. Το μήνυμα με τα δεδομένα μεταδίδεται ξεχωριστά στους σχετικούς γείτονες .

Ένας κόμβος που λαμβάνει ένα μήνυμα με δεδομένα από τους γείτονές του ψάχνει να βρει στην cache του ένα ενδιαφέρον που να ταιριάζει με τα δεδομένα που έλαβε, εάν δεν ταιριάζει με κανένα από τα ενδιαφέροντα που έχει στην cache του τότε το αγνοεί. Στην περίπτωση που βρεθεί ένα ενδιαφέρον που να ταιριάζει με τα δεδομένα του μηνύματος τότε το αποθηκεύει στην cache του και στη συνέχεια το μεταδίδει στους γειτονικούς του κόμβους. Για να στείλει το μήνυμα εξετάζει αρχικά στην cache του τον ρυθμό ροής δεδομένων (**data rate**) από την λίστα των gradient και επιλέγει αυτούς τους κόμβους που έχουν υψηλότερο ή ίσο data rate με αυτόν των εισερχόμενων γεγονότων. Σε περίπτωση που η ροή δεδομένων είναι μικρότερη σε όλους τους γειτονικούς κόμβους τότε ο κόμβος επιβραδύνει την ροή των δεδομένων ώστε να φτάσει να είναι ίση με αυτήν του κατάλληλου gradient. Εάν για παράδειγμα ένας κόμβος λαμβάνει δεδομένα με ρυθμό 100 γεγονότα ανά δευτερόλεπτο, αλλά ένα από τα gradient είναι στα 50 γεγονότα ανά δευτερόλεπτο, τότε είτε θα πρέπει να επιλέξει έναν άλλο γείτονα, είτε θα πρέπει να στείλει τα δεδομένα με μικρότερο ρυθμό.

Η αποφυγή των loop και η μείωση του ρυθμού ροής δεδομένων δείχνουν την σημαντικότητα των ενσωματωμένων εφαρμογών σε όλους τους κόμβους . Παρόλο που αυτός ο σχεδιασμός δεν είναι σχετικός με τα παραδοσιακά δίκτυα , είναι εφικτός με οριζόμενα από την εφαρμογή δίκτυα αισθητήρων και μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την λειτουργία του δικτύου.

2.1.2 Ενίσχυση και εγκαθίδρυση μονοπατιού

Στο σχήμα που έχουμε περιγράψει μέχρι τώρα μια sink διασκορπίζει επανειλημμένα ένα ενδιαφέρον για ένα γεγονός. Καλούμε αυτά τα ενδιαφέροντα διερευνητικά, επειδή χρησιμοποιούνται για την εγκαθίδρυση και την επιδιόρθωση του μονοπατιού. Επίσης καλούμε τα αντίστοιχα gradient διερευνητικά. Όταν μια πηγή ανιχνεύσει έναν στόχο που ταιριάζει με το ενδιαφέρον τότε στέλνει διερευνητικά γεγονότα από πολλαπλά μονοπάτια στη sink. Αφότου η sink λάβει τα διερευνητικά γεγονότα, δηλαδή γεγονότα σε υψηλότερο ρυθμό ροής δεδομένων που προέρχονται από τον ζητούμενο στόχο.

2.1.3 Εγκαθίδρυση μονοπατιού χρησιμοποιώντας θετική ενίσχυση

Η ενίσχυση των μονοπατιών στον directed diffusion γίνεται με βάση κάποιους κανόνες. Ένα παράδειγμα ενός τέτοιου κανόνα είναι η ενίσχυση ενός γείτονα από τον οποίο ο κόμβος έλαβε προηγουμένως ένα γεγονός που δεν το είχε ξαναλάβει. Για την ενίσχυση αυτού του γείτονα, η sink ξαναστέλνει το αρχικό ενδιαφέρον αλλά με μικρότερο interval, δηλαδή με υψηλότερο ρυθμό ροής δεδομένων.

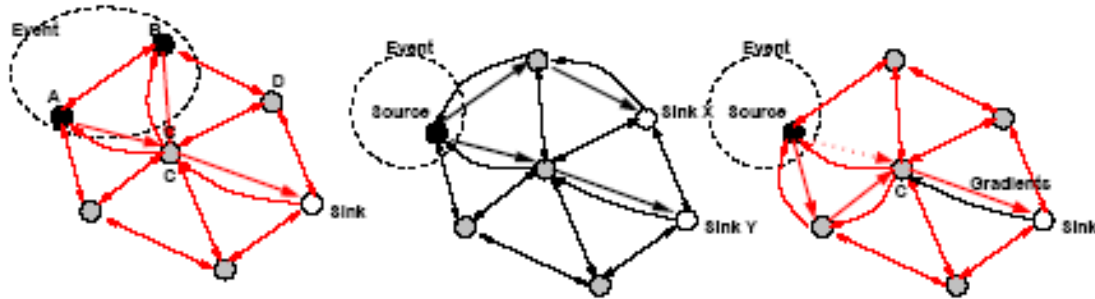
Όταν ο γειτονικός κόμβος λάβει αυτό το ενδιαφέρον διαπιστώνει ότι έχει ήδη ένα gradient σε αυτόν το γείτονα. Επιπλέον, διαπιστώνει ότι ο αποστολέας του ενδιαφέροντος το στέλνει με μεγαλύτερο ρυθμό ροής δεδομένων απ' ότι προηγουμένως. Εάν ο νέος αυτός ρυθμός ροής δεδομένων είναι μεγαλύτερος από κάθε άλλο υπάρχον gradient, ο κόμβος θα πρέπει να ενισχύσει τουλάχιστον ένα γείτονα. Για να το κάνει αυτό ο κόμβος χρησιμοποιεί την cache του και εφαρμόζει τον κανόνα που περιγράψαμε προηγουμένως. Για παράδειγμα, ο κόμβος αυτός μπορεί να επιλέξει τον πρώτο γείτονα από τον οποίο έλαβε το γεγονός που ταιριάζει στο ενδιαφέρον του. Εναλλακτικά, μπορεί να επιλέξει όλους τους γείτονες από τους οποίους έλαβε νέα γεγονότα. Αυτό δείχνει ότι ενισχύουμε γείτονες που ήδη στέλνουν τα γεγονότα στον υψηλότερο ρυθμό ροής δεδομένων. Επαναλαμβάνοντας αυτήν την διαδικασία, ένα μονοπάτι εγκαθιδρύεται για τη μεταφορά των δεδομένων.

Ο κανόνας που περιγράψαμε παραπάνω δημιουργεί ένα μικρής καθυστέρησης μονοπάτι από την πηγή στη sink. Όταν ένα μονοπάτι μεταδίδει ένα γεγονός γρηγορότερα από ένα άλλο τότε αυτό επιλέγεται από την sink για την μετάδοση των δεδομένων. Εκτός από τον κανόνα που περιγράψαμε υπάρχουν και άλλοι όπως για παράδειγμα η επιλογή του γείτονα από τον οποίο έχουν ληφθεί τα περισσότερα γεγονότα ή η επιλογή του γειτονικού κόμβου που στέλνει τα γεγονότα γρηγορότερα από τους άλλους γείτονες. Αυτές οι επιλογές έχουν ως αποτέλεσμα την δημιουργία ενός μονοπατιού που χαρακτηρίζεται από υψηλή σταθερότητα.

2.1.4 Εγκαθίδρυση Μονοπατιού για Πολλαπλές Πηγές και sinks

Στην ενίσχυση που περιγράψαμε μέχρι τώρα χρησιμοποιούσαμε ένα σενάριο με μοναδική πηγή, στην πραγματικότητα όμως οι κανόνες που αναφέραμε λειτουργούν και με πολλαπλές πηγές, όπως στην εικόνα 3(α). Υποθέτουμε αρχικά ότι όλα τα gradient είναι διερευνητικά. Σύμφωνα με αυτήν την τοπολογία, τα δεδομένα και από τις δυο πηγές φτάνουν στη sink μέσω και των δυο γειτόνων C και D. Εάν ένας από τους δυο γείτονες, έστω ο C έχει επανειλημμένα μικρότερη καθυστέρηση οι τοπικοί κανόνες που περιγράψαμε θα ενισχύσουν το μονοπάτι μέσω του C όπως βλέπουμε στην εικόνα. Ωστόσο, εάν η sink λαμβάνει τα γεγονότα του B νωρίτερα μέσω του D,

αλλά τα γεγονότα του A νωρίτερα μέσω του C, η sink θα προσπαθήσει να μεταδώσει τα υψηλής ποιότητας δεδομένα μέσω και των δυο γειτόνων. Σε αυτήν την περίπτωση η sink λαμβάνει και των δυο πηγών τα δεδομένα μέσω και των δυο γειτόνων, να ένα παράδειγμα ενεργειακής ανεπάρκειας. Ένα τέτοιο πρόβλημα μπορεί να αποφευχθεί χρησιμοποιώντας λίγη επιπλέον πολυπλοκότητα.



3(α) Πολλαπλές πηγές

3(β) Πολλαπλές sinks

3(γ) Επιδιόρθωση

Ομοίως εάν δυο sink στέλνουν ακριβώς τα ίδια ενδιαφέροντα, η διάδοση των ενδιαφερόντων, η εγκαθίδρυση των gradient και οι κανόνες ενίσχυσης λειτουργούν σωστά. Χωρίς να χάσουμε την έννοια της γενικότητας, υποθέτουμε ότι η sink Y στην εικόνα 3(β) έχει ήδη ενισχύσει ένα υψηλής ποιότητας μονοπάτι προς την πηγή. Σημειώνουμε επίσης, ότι οι άλλοι κόμβοι συνεχίζουν να λαμβάνουν διερευνητικά γεγονότα. Όταν ο χρήστης εισάγει το ίδιο ενδιαφέρον σε μια sink X, τότε η X μπορεί να χρησιμοποιήσει τους κανόνες ενίσχυσης για να δημιουργήσει το μονοπάτι που βλέπουμε. Για να καθορίσει το εμπειρικά καλύτερο μονοπάτι, η X δεν χρειάζεται να χρησιμοποιήσει την cache της για τα δεδομένα, ώστε να μεταδώσει κατευθείαν υψηλής ποιότητας δεδομένα στον εαυτό της.

2.1.5 Τοπική Επιδιόρθωση για Χαλασμένα Μονοπάτια

Μέχρι τώρα έχουμε περιγράψει περιπτώσεις στις οποίες η ενίσχυση δραστηριοποιείται από μια sink. Ωστόσο στον directed diffusion, οι ενδιαμέσοι κόμβοι σε ένα ήδη ενισχυμένο μονοπάτι μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτούς τους κανόνες ενίσχυσης. Αυτό είναι χρήσιμο αφού τους δίνεται η δυνατότητα να επιδιορθώσουν τοπικά τα χαλασμένα ή υποβιβασμένα μονοπάτια. Οι λόγοι που ένα μονοπάτι σπάει ή υποβιβάζεται οφείλονται στην μείωση της ενέργειας των κόμβων και σε περιβαλλοντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την επικοινωνία. Ας δούμε την εικόνα 3(γ) στην οποία η ποιότητα της σύνδεσης μεταξύ της πηγής και του κόμβου C υποβιβάζεται και τα γεγονότα αλλοιώνονται συχνά. Όταν ο C ανιχνεύσει αυτήν την υποβίβαση – είτε διαπιστώνοντας ότι ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων από αυτόν το γείτονα είναι χαμηλότερος απ' ό,τι ήταν, είτε διαπιστώνοντας ότι άλλοι γείτονες στέλνουν πιο νωρίς από αυτόν τον κόμβο γεγονότα – μπορεί να χρησιμοποιήσει τους κανόνες ενίσχυσης για να ανακαλύψει το μονοπάτι που βλέπουμε στην εικόνα. Τελικά ο C ενισχύει αρνητικά την απευθείας σύνδεση προς την πηγή.

2.1.6 Αποκοπή Μονοπατιού Χρησιμοποιώντας Αρνητική Ενίσχυση

Ο αλγόριθμος ενίσχυσης μονοπατιών που περιγράψαμε μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα να ενισχυθούν περισσότερα του ενός μονοπάτια. Για παράδειγμα εάν η

sink ενισχύσει έναν γείτονα A , αλλά μετά λάβει ένα νέο γεγονός από ένα γείτονα B, θα ενισχύσει το μονοπάτι μέσω του B. Εάν το μονοπάτι μέσω του B έχει ως συνέπεια να είναι καλύτερο , δηλαδή ο B να στέλνει τα γεγονότα νωρίτερα από τον A, τότε χρειαζόμαστε έναν μηχανισμό που να ενισχύει αρνητικά το μονοπάτι μέσω του A. Ένας μηχανισμός είναι ότι η sink θα αρχίσει περιοδικά να ενισχύει τον γείτονα B και θα πάψει να ενισχύει τον γείτονα A. Όλα τα gradient κατά μήκος του μονοπατιού μέσω του A , στο τέλος θα υποβιβαστούν από το να είναι διερευνητικά gradient. Μια άλλη μέθοδος είναι να υποβιβάσουμε ρητά το μονοπάτι μέσω του A στέλνοντας ένα μήνυμα αρνητικής ενίσχυσης στον A. Στην μέθοδο που περιγράφουμε η αρνητική ενίσχυση είναι προς το ενδιαφέρον με το χαμηλότερο ρυθμό ροής δεδομένων, όταν ο A λάβει αυτό το ενδιαφέρον τότε υποβιβάζει το gradient του προς τη sink. Επιπλέον , εάν όλα τα gradient είναι τώρα διερευνητικά τότε ο A με τη σειρά του ενισχύει αρνητικά όλους τους γείτονες του από τους οποίους ελάμβανε δεδομένα, αυτό έχει ως αποτέλεσμα το μονοπάτι μέσω του A να υποβαθμίζεται γρήγορα. Μια άλλη μέθοδος είναι η αρνητική ενίσχυση του γείτονα από τον οποίο κανένα νέο γεγονός δεν έχει ληφθεί, ή η αρνητική ενίσχυση του γείτονα από τον οποίο λιγότερα νέα γεγονότα έχουν ληφθεί. Η αρνητική ενίσχυση των μονοπατιών, όπως μέχρι τώρα την έχουμε περιγράψει συμβάλει επίσης στην απομάκρυνση των περιττών loops από το μονοπάτι μας.

2.1.7 Ανάλυση του Directed Diffusion

Για να απλοποιήσουμε την ανάλυσή μας υποθέτουμε ότι το δέντρο που κατασκευάζουν οι αλγόριθμοι του directed diffusion είναι η ένωση του μικρότερου μονοπατιού από την πηγή στη sink. Επιπλέον επισημαίνουμε ότι ο αλγόριθμος του directed diffusion επιλέγει ένα από τα διαθέσιμα μικρότερα μονοπάτια σύμφωνα με τον επόμενο κανόνα : από την sink στην πηγή , μια διαγώνια σύνδεση είναι πάντα η σύνδεση με τον επόμενο κόμβο εφόσον αυτή είναι το μικρότερο μονοπάτι προς την πηγή, αλλιώς επιλέγεται μια οριζόντια σύνδεση.

Εάν όλες οι πηγές στέλνουν ίδιες εκτιμήσεις του προς μέτρηση γεγονότος , και δεδομένου ότι ο directed diffusion μπορεί να πραγματοποιήσει διπλή καταστολή σε κάθε επίπεδο εφαρμογής το κόστος της μετάδοσης των δεδομένων είναι διπλάσιο του αριθμού των συνδέσεων στην ένωση όλων των δέντρων μικρότερου μονοπατιού που έχουν ως ρίζα την πηγή. Έτσι για το κόστος C_d του directed diffusion έχουμε :

2.1.8 Μετρικές

Για να αναλύσουμε την απόδοση του directed diffusion χρησιμοποιούμε τρεις μετρικές την μέση διαλυμένη ενέργεια , την μέση καθυστέρηση και τον ρυθμό παράδοσης του κάθε γεγονότος. Η μέση διαλυμένη ενέργεια μετράει την αναλογία της ολικής διαλυμένης ενέργειας ανά κόμβο προς τον αριθμό των γεγονότων που λαμβάνονται από τις sink. Αυτή η μετρική υπολογίζει την μέση εργασία που κάνει ένας κόμβος μεταδίδοντας χρήσιμες πληροφορίες στη sink. Η μετρική αυτή ορίζει την συνολική διάρκεια ζωής των κόμβων αισθητήρων. Μια άλλη μετρική , η μέση καθυστέρηση μετράει το χρόνο μετάδοσης ενός γεγονότος από την πηγή στη sink. Η μετρική αυτή ορίζει την χρονική ακρίβεια της μετάδοσης ενός γεγονότος μέσω του δικτύου των αισθητήρων. Τέλος η μετρική της αναλογίας παράδοσης κάθε ξεχωριστού γεγονότος , είναι η αναλογία των γεγονότων που στάλθηκαν προς τα γεγονότα που παρελήφθησαν.

2.2 Flooding

Η flooding είναι μια παλιά τεχνική που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για δρομολόγηση στα δίκτυα αισθητήρων. Στην πλημμύρα κάθε κόμβος που δέχεται δεδομένα ή απαντήσεις από πακέτα διαχείρισης με αναμετάδοση, εκτός εάν ένας μεγάλος αριθμός από hops για το πακέτο προσπελαύνεται, ή ο προορισμός του πακέτου είναι η ίδια η κορυφή. Η πλημμύρα είναι μια αντιδραστική τεχνική και δεν απαιτεί δαπανηρή συντήρηση τοπολογίας και πολύπλοκους αλγόριθμους ανακάλυψης δρόμου. Ωστόσο έχει μερικές ανεπάρκειες όπως

- **Implosion (Κατάρρευση)** Η κατάρρευση είναι μια κατάσταση όπου τα αναπαραγόμενα μηνύματα στέλνονται στην ίδια κορυφή. Για παράδειγμα εάν ένας αισθητήρας έχει N γειτονικούς κόμβους που είναι επίσης γειτονικοί κόμβοι με ένα κόμβο αισθητήρα B , τότε ο αισθητήρας B θα πάρει N αντίγραφα του μηνύματος που στάλθηκε από τον κόμβο A .
- **Overlap (Επικάλυψη)** Εάν δυο κορυφές μοιράζονται την ίδια περιοχή παρατήρησης, και οι δύο μπορεί να αισθανθούν τα ίδια ερεθίσματα την ίδια χρονική στιγμή. Σαν αποτέλεσμα, οι γειτονικοί κόμβοι δέχονται αναπαραγόμενα μηνύματα.
- **Resource blindness (Τύφλωση των πόρων)** Το πρωτόκολλο πλημμύρας δεν λαμβάνει υπόψη την διαθέσιμη ενέργεια των πόρων. Ένα πρωτόκολλο που να γνωρίζει την ενέργεια των πόρων θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη το πόσο τις ενέργειας που είναι διαθέσιμο σε αυτούς όλη την ώρα.

Gossiping: Μια παραγωγή του flooding είναι το gossiping στην οποία οι κόμβοι δεν μεταδίδουν ραδιοφωνικά αλλά στέλνουν τα πακέτα που έρχονται σε έναν επιλεγμένο στην τύχη γείτονα. Ένας αισθητήρας επιλέγει στη τύχη έναν γείτονα του για να στείλει τα δεδομένα. Όταν ο γειτονικός κόμβος λάβει τα δεδομένα, επιλέγει στην τύχη έναν άλλο κόμβο. Αν και αυτή η μέθοδος δεν προκαλεί κατάρρευση του δικτύου το να έχεις ένα αντίγραφο ενός μηνύματος σε οποιοδήποτε κόμβο, απαιτεί πολύ χρόνο να διαδοθεί το μήνυμα σε όλους τους κόμβους.

2.3 Το πρωτόκολλο επικοινωνίας CKN

Παρουσιάζουμε περιληπτικά τις τεχνολογικές προδιαγραφές των υπαρχόντων ασύρματων συστημάτων αισθητήρων. Κάθε κόμβος στο πρότυπό μας είναι μια πλήρως-αυτόνομη συσκευή υπολογισμού και επικοινωνίας, είναι εξοπλισμένη με ένα σύνολο οργάνων ελέγχου (π.χ. αισθητήρες για θερμοκρασία, υγρασία κ.λπ....) και χαρακτηρίζεται κυρίως από τη διαθέσιμη παροχή ηλεκτρικού ρεύματός του (μπαταρία) και το ενεργειακό κόστος του υπολογισμού και διαβίβασης στοιχείων. Ο εξοπλισμός επικοινωνίας μεταδίδει ραδιοφωνικά τα μηνύματα στις κοντινές συσκευές σε μια ακτίνα R που μπορεί να έχει διάφορες τιμές (δηλ. η ενέργεια μετάδοσης μπορεί να τεθεί σε κατάλληλα επίπεδα). Έπειτα, για την περίπτωση της μετάδοσης και της λήψης ενός μηνύματος υποθέτουμε το ακόλουθο απλό πρότυπο όπου το ραδιόφωνο καταναλώνει E_{elec} για να τρέξει τις συσκευές αποστολής και αποδοχής σημάτων και ϵ_{amp} για τον ενισχυτή μετάδοσης για να επιτύχει αποδεκτό SNR (signal to noise ratio). Επίσης υποθέτουμε ότι η μείωση σημάτων πέρα από την απόσταση r από την πηγή είναι ανάλογη προς r^2 . Κατά συνέπεια για να μεταδοθεί ένα k -bit μήνυμα σε απόσταση r στο πρότυπό μας, το η ενέργεια που σπαταλάται είναι

$$E_T(k,r) = E_{elec} * k + \epsilon_{amp} * k * r^2$$

Και για να λάβει αυτό το μήνυμα, η ενέργεια που σπαταλάται είναι

$$E_R(k,r) = E_{elec} * k$$

όπου E_{elec} και ϵ_{amp} είναι σταθερές που χαρακτηρίζουν το hardware. Συνολικά, υπάρχουν τρία διαφορετικά είδη ενεργειακού διασκεδασμού: (α) E_T , ο ενεργειακός διασκεδασμός για τη μετάδοση, (β) E_R , ο ενεργειακός διασκεδασμός για τη λήψη και (γ) E_{idle} , ο ενεργειακός διασκεδασμός για την ανενεργή κατάσταση. Για την ανενεργή κατάσταση, υποθέτουμε ότι η ενέργεια που καταναλώνεται για τα στοιχεία κυκλώματος είναι σταθερή και είναι ίση με E_{elec} (η χρονική μονάδα είναι 1 δευτερόλεπτο).

Εξετάζουμε ένα απλό δίκτυο αισθητήρων για την επιτήρηση μιας περιοχής. Στην πράξη, ένα τέτοιο δίκτυο μπορεί να αποτελείται από εκατοντάδες ή χιλιάδες αισθητήρες, οι συσκευές επεκτείνονται μέσα σε εκείνη την περιοχή. Έστω n το σύνολο των συσκευών αισθητήρων, οι οποίες είναι παρούσες σε έναν τομέα μεγέθους A . Σε μερικές περιπτώσεις, οι συσκευές μπορούν να επεκταθούν με έναν κανονικό τρόπο (π.χ. ένα δικτυωτό πλέγμα, ή μια γραμμική σειρά) μέσα σε εκείνη την περιοχή. Γενικότερα, εντούτοις, τα πρωτόκολλα επικοινωνίας και δικτύωσης δεν μπορούν να αντικαταστήσουν τους δομημένους τομείς αισθητήρων. Εδώ, υποθέτουμε ότι οι συσκευές αισθητήρων επεκτείνονται με έναν τυχαίο τρόπο, δεν κινούνται και ότι η επικοινωνία γίνεται σε δυο διαστάσεις.

2.3.1 Το πρωτόκολλο διάδοσης δεδομένων

Η βασική ιδέα της προσέγγισής μας είναι ότι η διάδοση των πληροφοριών προς την sink S πραγματοποιείται μέσα στο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων χρησιμοποιώντας εναλλασσόμενες φάσεις (εικόνα 1): (i) listening phase (η συσκευή αισθάνεται το περιβάλλον και παθητικά αφουγκράζεται τα μηνύματα), (ii) planning phase (η συσκευή προετοιμάζεται να διαδώσει τα στοιχεία στη sink S) και (iii) forwarding phase (η συσκευή συμμετέχει στη διάδοση στοιχείων).

Λαμβάνοντας υπόψη ένα ιδιαίτερο περιβαλλοντικό γεγονός το οποίο αισθάνεται από μια συσκευή p , και έναν στόχο επιτήρησης που τίθεται από το S , ένα νέο μήνυμα M παράγεται από το p . Ο στόχος μας είναι να χρησιμοποιήσουμε περιορισμένο (από , μια παράμετρο πρωτοκόλλου, αυτή μπορεί να τεθεί από τον εφαρμοστή δικτύων, ο οποίος περιγράφεται κατωτέρω) αριθμό μεγάλης εμβέλειας μεταδόσεων για να συλλέξει τις πληροφορίες σχετικά με τους γειτονικούς κόμβους και έπειτα σχεδιάζεται μια σειρά μικρής εμβέλειας , χαμηλής ενέργειας μεταδόσεων μεταξύ των κοντινών αισθητήρων, με βάση ορισμένα κριτήρια βελτιστοποίησης, έτσι ώστε το στοιχείο να διαδίδεται στο S .

Αυτή η διαδικασία παρέχει (i) υψηλή ανέχεια επειδή οι μεταδόσεις μακροχρόνιας σειράς επιτρέπουν να επιλέξουν τις πορείες που παρακάμπτουν τα εμπόδια (όπου κανένας αισθητήρας δεν είναι διαθέσιμος) ή ελαττωματικοί αισθητήρες (ότι έχει τεθεί εκτός λειτουργίας π.χ. λόγω της διακοπής ρεύματος), (ii) αυξημένη αποδοτικότητα ενέργειας λόγω της πορείας βελτιστοποίησης που εκτελείται πέρα από τη μεγάλη εμβέλεια και επίσης όπως οι περιορισμένου φάσματος μεταδόσεις που μπορούν αποτελεσματικά να υπερνικήσουν μερικά από τα αποτελέσματα διάδοσης σημάτων στις μεγάλης απόστασης μεταδόσεις και (iii) ενισχυμένη ασφάλεια οι μεταδόσεις χαμηλής ενέργειας προστατεύουν από την ανεπιθύμητη ανακάλυψη της λειτουργίας διάδοσης στοιχείων.

Στο πρωτόκολλό μας, κάθε αισθητήρας χρησιμοποιεί δύο μικρές δομές δεδομένων: (i) την γειτονική cache που αποθηκεύει ένα μικρό σύνολο από τις πληροφορίες για τις ενεργές γειτονικές συσκευές και (ii) την cache του μονοπατιού, ένας κατάλογος των IDs των κόμβων που κρατάει δεδομένα για το τελευταίο μονοπάτι που χρησιμοποιήθηκε για την μετάδοση δεδομένων στο S . Το μέγεθος της cache των γειτόνων είναι βασισμένο στην πυκνότητα του δικτύου ενώ η cache του μονοπατιού είναι περιορισμένη από την παράμετρο του πρωτοκόλλου β . Αυτές οι δομές διατηρούνται κατά τη διάρκεια της φάσης ακούσματος και είναι εκτενώς χρησιμοποιημένες κατά τη διάρκεια της φάσης προγραμματισμού.

2.3.2 Φάση αρχικοποίησης

Υποθέτουμε ότι υπάρχει μια φάση αρχικοποίησης του ασύρματου δικτύου αισθητήρων κατά τη διάρκεια της οποίας όλες οι συσκευές καταγράφουν τις τοπικές κρύπτες τους και εκτελούν ένα ελλοχεύον πρωτόκολλο εντοπισμού I . Από τότε, στο πρότυπό μας, οι συσκευές αισθητήρων δεν μπορούν να μετακινηθούν, αυτή η φάση εκτελείται μόνο μια φορά και δεν επιβάλλει περαιτέρω κατανάλωση ενέργειας στην εκτέλεση του δικτύου.

Το πρωτόκολλο I χρησιμοποιείται από τους αισθητήρες έτσι ώστε να μπορούν να είναι σε θέση να υπολογίσουν τις αποστάσεις τους μέσα σε έναν ορισμένης ακρίβεια παράγοντα, ο οποίος εξαρτάται από την τρέχουσα πρόοδο της τεχνολογίας και το πραγματικό πρωτόκολλο I . Έστω $d(i, j)$ η Ευκλείδεια απόσταση των κόμβων αισθητήρων i, j και $d_{es}(i, j)$ μια εκτίμηση αυτής της απόστασης που μετράται από τις συσκευές των αισθητήρων. Σημειώστε ότι το d_{es} δεν είναι απαραίτητα μια ακριβής αξία αλλά μάλλον μια εκτίμηση της πραγματικής απόστασης d , εντούτοις υποθέτουμε ότι οι μετρημένες αποστάσεις είναι ανάλογες με τις πραγματικές.

Το πρωτόκολλο I μπορεί να λειτουργήσει χωρίς οποιαδήποτε κοινή αίσθηση του προσανατολισμού ή οποιοσδήποτε γεωγραφικές δυνατότητες: προφανώς, να χρησιμοποιηθεί ο ειδικός τεχνικός εξοπλισμός (π.χ. έξυπνες κεραίες ή GPS) καθιστά αυτόν τον στόχο ακόμα ευκολότερο. Ένα τέτοιο πρωτόκολλο ορίζει φανταστικές εικονικές συντεταγμένες σε όλες τις συσκευές του δικτύου.

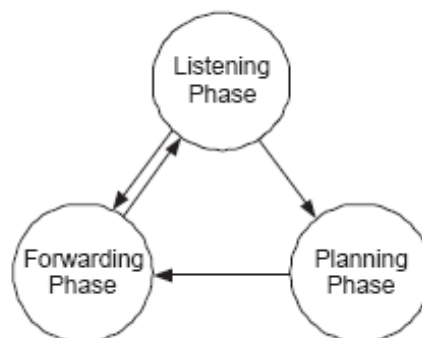
2.3.3 Η φάση ακούσματος

Σε αυτήν την φάση, οι συσκευές αισθητήρων παραμένουν παθητικά ανενεργές περιμένοντας να επικοινωνήσουν με τις κοντινές τους συσκευές ώστε να τους διαβιβάσουν τις ανακοινώσεις ή να αποκριθούν αυτές στις ανακοινώσεις, μέχρι (i) ένα νέο γεγονός που αισθάνθηκε να ταιριάζει με τα interests που δόθηκαν από τη sink (ii) ένα μήνυμα M λήφθηκε από μια άλλη συσκευή.

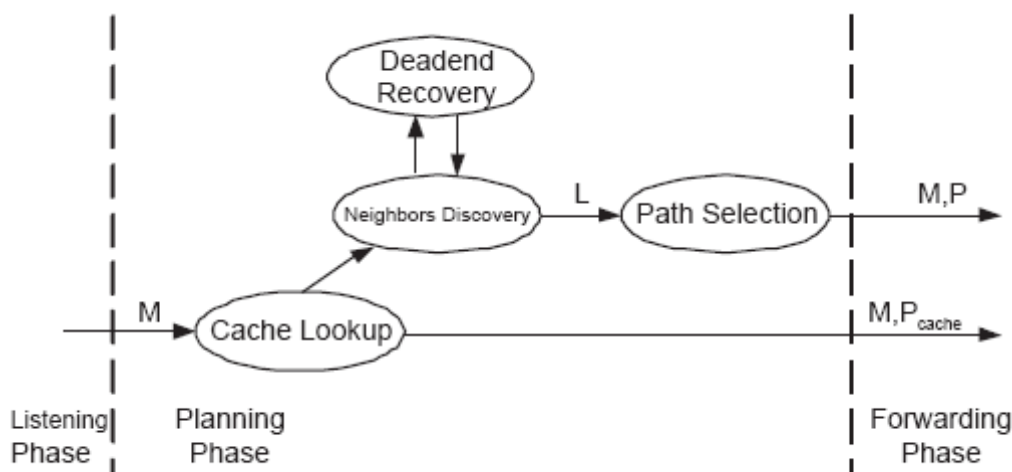
Όταν μια συσκευή p ακούει μια ανακοίνωση από p' , αυτή πρώτα ελέγχει εάν $d_{es}(p, p') \leq R_{close}$, μια σταθερά που τίθεται από τον εφαρμοστή του πρωτοκόλλου. Εάν αυτό ισχύει, προσθέτει ένα νέο μονοπάτι $P' = \{p'\}$ στην cache του μονοπατιού. Κατόπιν, αυτό χωριστά αποφασίζει (βασισμένο σε τοπικά κριτήρια) είτε να αποκριθεί σε αυτήν την ανακοίνωση είτε όχι. Το κίνητρο είναι εδώ να επιτραπεί σε κάθε μια συσκευή να ελέγξει την κατανάλωση ενέργειας με την αδιαφορία μερικών στόχων χαμηλής-προτεραιότητας, ή την απόφαση να μην ενωθεί μια συσκευή στο μονοπάτι όταν το δίκτυο είναι πυκνό και πολλές γειτονικές συσκευές έχουν ήδη ενωθεί. Η παρούσα απόφαση μπορεί να βασιστεί σε έναν μηχανισμό που εξετάζει τα διάφορα κριτήρια σχετικά με τους όρους της συσκευής (π.χ. διαθέσιμη ενέργεια, τρέχον φορτίο επίπεδα, κ.λπ.), τις τοπικές συνθήκες του δικτύου (π.χ. μέση ενέργεια γειτονιάς, τοπική πυκνότητα, κ.λπ....) και ακόμα και σφαιρικοί όροι που επιβάλλονται από τον ελεγκτή δικτύων (π.χ. λειτουργία-κανόνας: όλες οι συσκευές πρέπει να ενωθούν για να αυξήσουν το ποσοστό επιτυχίας).

Η συσκευή συνεχίζει να ακούει παθητικά οποιαδήποτε άλλη συσκευή p'' που αποκρίθηκε στην ανακοίνωση p' , και εάν $d_{es}(p'', S) < d_{es}(p, S)$ (για παράδειγμα το p'' είναι πιο κοντά S από το p), προσθέτει το p'' στην cache των γειτόνων. Αυτό το παθητικό άκουσμα επιτρέπει στις συσκευές να ενημερώνουν την κρύπτη τους με τις πρόσθετες πληροφορίες τοπολογίας δικτύων. Υπό κάποια έννοια, οι συσκευές επωφελούνται από οποιοσδήποτε μεγάλης εμβέλειας ανακοινώσεις που διευθύνονται από τις κοντινές συσκευές που υποβάλλονται στην φάση προγραμματισμού.

Εδώ σημειώνουμε ότι δεν είναι απαραίτητο για τις συσκευές να ακούουν συνεχώς το κανάλι, επειδή είναι μια μεγάλης κατανάλωσης ενέργειας διαδικασία. Το πρωτόκολλό μας μπορεί να συνδυαστεί με ένα σχέδιο συντήρησης ενέργειας χαμηλού-στρώματος ή εκτεταμένο εύκολα με την ενσωμάτωση των άγρυπνων σχεδίων στη φάση ακούσματος. Με βάση την αξιολόγηση της απόδοσης, τα πρωτόκολλά μας λειτουργούν καλά ακόμη και για τα αραιά δίκτυα, ή ειδικά, τα δίκτυα αισθητήρων για την εφαρμογή των άγρυπνων στρατηγικών.



Εικόνα 1 : Οι φάσεις του CNK



Εικόνα 2 : Η ροή της φάσης προγραμματισμού

2.3.4 Η φάση προγραμματισμού

Ένας αισθητήρας μπαίνει στη φάση προγραμματισμού όταν πρέπει να διαδοθούν τα δεδομένα. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης αυτής, ο p εξετάζει αρχικά την cache του μονοπατιού. Εάν η cache περιέχει μια έγκυρη πορεία P διαμέσου των ενδιάμεσων συσκευών, ολοκληρώνει και προχωρά στη φάση αποστολής. Εάν καμία τέτοια πορεία δεν υπάρχει, κατόπιν ο p εξετάζει την cache των γειτόνων του προκειμένου να κατασκευαστεί μια νέα πορεία P που θα χρησιμοποιηθεί από το M προς S .

Εάν η cache των γειτόνων είναι κενή, ή επειδή η cache περιέχει τα πολύ περιορισμένα στοιχεία σχετικά με τις γειτονικές συσκευές που αποτρέπουν το p από την κατασκευή μιας αρκετά μακριάς πορείας, ο p προσπαθεί να ανακαλύψει όλες τις γειτονικές συσκευές. Λαμβάνοντας υπόψη τη σειρά μετάδοσης R , ο p εκτελεί μια υψηλής ενέργειας μετάδοση στοιχείων με τη σειρά $\beta * R$ (όπου β είναι μια παράμετρος πρωτοκόλλου) αναγγέλλει το ενδιαφέρον του να διαδώσει τα στοιχεία.

Παρατηρείστε ότι κατά τη διάρκεια μιας ανακοίνωσης, είναι δυνατό ότι το p δεν θα κατορθώσει να ανακαλύψει όλες τις γειτονικές συσκευές λόγω των συγκρούσεων μηνυμάτων που εμφανίζονται λόγω των ταυτόχρονων απαντήσεων των κοντινών κόμβων. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί αυτό πρόβλημα, εφαρμόζουμε ένα απλό τυχαίο σχέδιο κατά τη διάρκεια του οποίου το p , αφότου κάνει την ανακοίνωση, περιμένει ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα t_s . Οι κοντινές συσκευές καθυστερούν την απάντησή τους μέχρι μια τυχαία περίοδο t_r , όπου $0 \leq t_r < t_s$. Φυσικά, αυτός ο μηχανισμός μπορεί να αποφευχθεί εάν το πρωτόκολλο MAC μπορεί να χειριστεί κατάλληλα τις συγκρούσεις. Μια διανεμημένη, τοπική προσέγγιση μπορεί να υποτεθεί ότι έτρεξε σε συνδυασμό με το πρωτόκολλό μας σε χαμηλότερο επίπεδο για να επιλύσει τις μέσες συγκρούσεις πρόσβασης. Εντούτοις, ακόμη και στην περίπτωση όπου ένα αποδοτικό στρώμα της MAC χρησιμοποιείται, ένα μικρό t_s μια περίοδος αναμονής δηλαδή, απαιτείται ακόμα δεδομένου ότι μια συσκευή δεν ξέρει εκ των προτέρων τον αριθμό γειτόνων που προσπαθούν να αποκριθούν στην ανακοίνωση.

Ακόμα, είναι πιθανό η συσκευή να μην μπορεί να ανιχνεύσει οποιοδήποτε γείτονα (π.χ. λόγω της χαμηλής πυκνότητας, εμπόδια δρομολόγησης, υψηλό ποσοστό αποτυχιών, κ.λπ.). Σε αυτήν την περίπτωση το πρωτόκολλο έχει φθάσει σε μια κατάσταση αδιέξοδου. Ένας πιθανός τρόπος να υπερνικηθεί αυτή η κατάσταση είναι με την επανάληψη της μετάδοσης της ανακοίνωσης (σε περίπτωση που μερικές συσκευές αποφασίζουν να συμμετέχουν αυτή τη φορά ή μερικές προηγουμένως ανενεργές συσκευές είναι τώρα άγρυπνες). Αυτή η λύση μπορεί να είναι αποτελεσματικότερη εάν συνδυάζεται με μια λειτουργία διαφορετικής κλίμακας, έπειτα η νέα ανακοίνωση θα διαβιβαστεί στη σειρά $(\beta + i) * R$, πού i είναι ένας μετρητής του αριθμού των προσπαθειών. Φυσικά η συσκευή αισθητήρων δεν μπορεί να επεκτείνει την εμβέλεια της μετάδοσης πέρα από ένα υλικό και μια ενέργεια από το επιβληθέν όριο, κατά συνέπεια στην ακραία διάδοση περιπτώσεων περαιτέρω του M θα είναι αδύνατη.

Δεδομένου ότι το p έχει αποκτήσει αρκετές πληροφορίες για τους περιβάλλοντες όρους δικτύων, επιλέγει μια πορεία P τέτοια ώστε το M να παραδώσει σε μια άλλη συσκευή αισθητήρων p'' που είναι πιο κοντά στο S από το p . Αυτή η επιλογή μπορεί να βελτιστοποιηθεί με αρκετούς τρόπους, π.χ. με την επιλογή του κόμβου με τους υψηλότερους διαθέσιμους ενεργειακούς πόρους, τον κόμβο που έχει το μικρότερο μήνυμα, ή ακόμα και τον κόμβο που έχει την πιο ενημερωμένη cache. Σαφώς, το μήκος του μονοπατιού p χαρακτηρίζεται από την τοποθεσία των πληροφοριών που κράτησε στην cache του. Εάν η γνώση για τις γειτονικές συσκευές είναι περιορισμένη, το μονοπάτι p θα είναι κοντό.

Μόλις το p'' επιλέγεται, το p χωρίζει όλους τους γειτονικούς κόμβους, για τους οποίους έχει τις πληροφορίες στην cache, σε β υπολίστες $(L_1, L_2, \dots, L_\beta)$ με έναν τρόπο τέτοιο ώστε για κάθε $p_j \in L_i : (i - 1) * R < d_{es}(p, p_j) \leq i * R$. Κατόπιν ο p επιλέγει μια συσκευή αισθητήρων από κάθε υπολίστα L_i ($i \in \{1, \beta - 1\}$) έτσι ώστε να καθορίζεται η πορεία $P = p_1, p_2, \dots, p_{\beta-1}, p''$. Εμείς εδώ εξετάζουμε ένα κριτήριο βελτιστοποίησης για την επιλογή μιας συσκευής από κάθε υπολίστα που είναι βασισμένο στις σχετικές αποστάσεις των κόμβων.

Η συσκευή αισθητήρων εκτελεί μια διαδικασία προετοιμασιών κατά τη διάρκεια της οποίας μια διμερής πολυβάθμια γραφική παράσταση β επιπέδων βασισμένα στο L . Κάθε στάδιο i της γραφικής παράστασης $G(V, E)$ περιέχει κορυφές που αντιστοιχούν στις συσκευές αισθητήρων L_i και οι ακμές G είναι μεταξύ των κορυφών των διαδοχικών σταδίων. Τα βάρη ορίζονται στις ακμές G για να απεικονίσουν την κατ' εκτίμηση φυσική απόσταση των συσκευών αισθητήρων που αντιστοιχούν σε κορυφές συγγένειας. Κατόπιν, βασισμένο στο G , το πρωτόκολλο υπολογίζει το κοντινότερο μονοπάτι που ενώνει το p και το p'' . Η διαίσθηση για τη χρησιμοποίηση μιας διμερούς πολυβάθμιας γραφικής παράστασης είναι για να μειώσει το συνολικό αριθμό ακρών $m = |V|$ και επομένως μειώνει την πολυπλοκότητα λειτουργίας του μικρότερου μονοπατιού δεδομένων των περιορισμένων ικανοτήτων επεξεργασίας των συσκευών.

Σημειώστε ότι είναι δυνατό ότι ο χωρισμός του L σε β υπολίστες $(L_1, L_2, \dots, L_\beta)$ μπορεί να οδηγήσει σε μερικές κενές υπολίστες L_i , πιθανώς λόγω της χαμηλής πυκνότητας των συσκευών αισθητήρων στην περιοχή της γειτονιάς ή οφειλόμενος στην παρουσία ενός εμποδίου δρομολόγησης. Σε αυτήν την περίπτωση το πρωτόκολλο θα παραγάγει ένα μονοπάτι P μήκους $1 < \beta$. Εντούτοις, οι κενές υπολίστες παρακάμπτονται στο κατασκευασμένο μονοπάτι, το μονοπάτι περιέχει έναν κόμβο από κάθε μη κενή υπολίστα και ο τελικός κόμβος θα είναι πάντα στη μη κενή υπολίστα ή πιο κοντά στο L_β είτε μέσα στο L_β όταν $L_\beta \neq \emptyset$. Αυτό μπορεί να

αναγκάσει το πρωτόκολλο να εκτελέσει τους λυκίσκους (μεταδόσεις) σε απόσταση μεγαλύτερη από την εμβέλεια μετάδοσης R . Μπορεί βεβαίως, να υπάρχουν και άλλες στρατηγικές για την επιλογή του μονοπατιού P που εξαρτώνται από άλλες παραμέτρους (όπως η διαθέσιμη ενέργεια, απόσταση από το S) ή/και μπορούμε επίσης να περιλάβουμε τις τεχνικές τυχαιοποίησης.

Μόλις η απόφαση σχετικά με ένα τέτοιο μονοπάτι P λαμβάνεται, το πρωτόκολλο εισάγει τη φάση αποστολής. Στη φάση αποστολής, ένα μήνυμα που περιέχει τα πραγματικά δεδομένα καθώς επίσης και το κατασκευασμένο μονοπάτι (M, P) , διαβιβάζεται στην πρώτη συσκευή αισθητήρων στο P . Κατόπιν, κάθε συσκευή p_j που λαμβάνει (M, P) προωθεί προς τα εμπρός το $(M, P - \{p_j\})$ στο p_{j+1} . Όταν η συσκευή p'' λαμβάνει $(M, \{*\})$ ολοκληρώνεται η φάση αποστολής και το πρωτόκολλο εισάγει μια νέα φάση προγραμματισμού. Τώρα το p'' είναι αρμόδιο για να προαγάγει το M προς το S .

2.3.5 Η φάση προώθησης

Στη φάση προώθησης δεδομένου ενός μηνύματος του τύπου (M, P) η συσκευή αισθητήρα κάνει τα ακόλουθα.

Το P **δεν είναι άδειο**. Το μήνυμα περιέχει τις πληροφορίες για ένα μονοπάτι των συσκευών αισθητήρων. Εάν το μονοπάτι $P' = P - \{p_j\}$ δεν είναι κενό, το P' αποθηκεύεται στην κρύπτη πορειών και το p στέλνει (M, P') στο p_1 και στέλνει ένα μήνυμα επιτυχίας στον αποστολέα (M) (δηλ. στη συσκευή από την οποία έλαβε αρχικά τις πληροφορίες) στην περίπτωση που το p παράγει το M , κανένα μήνυμα επιτυχίας δεν στέλνεται. Διαφορετικά, εάν το P' είναι κενό, το πρωτόκολλο εισάγεται στη φάση προγραμματισμού.

Το P **είναι άδειο**. Το μήνυμα δεν περιέχει καμία πληροφορία για το μονοπάτι των συσκευών αισθητήρων που χρησιμοποιούνται προκειμένου να διαδοθεί το M προς το S . Το πρωτόκολλο εισάγεται στη φάση προγραμματισμού.

Αφότου διαβιβάσει το πακέτο, το p θα περιμένει το p_1 να στείλει ένα μήνυμα επιτυχίας προκειμένου να εξασφαλίσει ότι το M παραλήφθηκε κατάλληλα και η διάδοση συνεχίζεται σύμφωνα με το πρόγραμμα. Εάν το p_1 δεν αποκριθεί εντός μιας προκαθορισμένης χρονικής περιόδου, το p υποθέτει ότι η μετάδοση αποτυγχάνει και μεταδίδει ξανά το πακέτο p_1 . Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου αποκριθεί ο p με μήνυμα επιτυχίας ή μέχρι να τελειώσει ο μέγιστος αριθμός προσπαθειών (μια παράμετρος πρωτοκόλλου). Σε αυτήν την περίπτωση, το p αποφασίζει ότι το p_1 δεν είναι πλέον ενεργό, ενημερώνει την κρύπτη του (με την αφαίρεση του p_1 και P) και εισάγεται στη φάση προγραμματισμού. Επίσης, σημειώστε ότι αφού το p έχει μια εκτίμηση για την απόσταση του από το p_1 , δηλ. η απόσταση λυκίσκου είναι λίγο πολύ γνωστή, επιτρέπουμε στο p να μειώσει ή να αυξήσει αναλόγως την εμβέλεια μετάδοσης σε ένα επίπεδο που το μήνυμα θα παραληφθεί κοντά στο p_1 . Αυτός ο μηχανισμός επιτρέπει στο πρωτόκολλό μας να εκτελέσει τους μεγάλης απόστασης λυκίσκους όπως απαιτείται από τα υπολογισμένα μονοπάτια, έτσι ώστε να παρακάμψει αποτελεσματικά ορισμένα εμπόδια δρομολόγησης ή δρομολόγηση μέσω των περιοχών χαμηλής πυκνότητας κόμβων.

2.3.6 Πτυχές σχεδιασμού του πρωτοκόλλου

Σε αυτό το τμήμα συζητάμε διάφορες πτυχές που έχουν επιπτώσεις στην απόδοση της δρομολόγησης των πρωτοκόλλων και εξηγούν λεπτομερέστερα τις σχεδιαστικές επιλογές μέσα στο CKN, καθώς επίσης και η σχέση τους με άλλες λύσεις που παρουσιάζονται στη σχετική εργασία. Ο αρχικός στόχος του πρωτοκόλλου μας είναι να κατασκευαστεί με το χαμηλότερο κόστος (ειδικά από την άποψη κατανάλωσης ενέργειας) και μικρά μονοπάτια διάδοσης δεδομένων λανθάνουσας κατάστασης λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς στις συσκευές αισθητήρων. Ο τρόπος που το CKN επιτυγχάνει αυτόν τον στόχο μπορεί πρώτα να φανεί διαισθητικά εφόσον από αρκετά μεγάλη εμβέλεια, και επομένως μεγάλο κόστος, μεταδόσεις δεδομένων απαιτούνται με στόχο να αποκτηθούν οι πληροφορίες του δικτύου σχετικά με μια συσκευή. Εντούτοις, το κόστος, της διαβίβασης μιας ανακοίνωσης και των απαντήσεων σε εκείνη την ανακοίνωση, μετριάζεται από τρεις παράγοντες:

1. Το κατασκευασμένο μονοπάτι βελτιστοποιείται κατά τέτοιο τρόπο ώστε ελαχιστοποιεί το μήκος των μονοπατιών και μεγιστοποιεί συγχρόνως την απόσταση προς τον προορισμό. Συνδυασμένο με το γεγονός ότι οι συσκευές μπορούν να μειώσουν το μονοπάτι μετάδοσης στο χαμηλότερο επίπεδο (μέσα σε ένα περιθώριο ασφάλειας) όπου το μήνυμα είναι ευδιάκριτο από το δέκτη, περισσότερη ενέργεια μπορεί να σωθεί στις σύντομες μεταδόσεις σειράς.
2. Το κατασκευασμένο μονοπάτι διαβιβάζεται ως μέρος του μηνύματος. Οι ενδιαμέσοι κόμβοι αποθηκεύουν αυτήν την πορεία στην κρύπτη πορειών τους και την χρησιμοποιούν όχι μόνο για την αποστολή του τρέχοντος μηνύματος αλλά και για τα επόμενα μηνύματα. Κατ' αυτό τον τρόπο οι πορείες είναι συγχωνευμένες και χρησιμοποιούμενες για να διαδώσουν διάφορα μηνύματα, η αρχική ενέργεια που ξοδεύεται γιατί την κατασκευή μονοπατιών αποσβήνεται.
3. Οι κόμβοι κρυφακούνε τις απαντήσεις στις ανακοινώσεις και ενημερώνουν την γειτονική cache τους αναλόγως. Επίσης, οι κόμβοι με κενή cache μονοπατιών μπορούν αμέσως να επιλέξουν το μονοπάτι τους και να είναι οι ιδρυτές της ανακοίνωσης. Κατ' αυτό τον τρόπο η συλλογή πληροφοριών γειτόνων και η κατασκευή μονοπατιών μπορούν να γίνουν παθητικά χωρίς πρόσθετο κόστος μετάδοσης. Αρχικά οι αισθητήρες μπορούν να αποκτήσουν μόνο τη μερική γνώση και τα κατασκευασμένα μονοπάτια θα είναι πιθανώς κακής ποιότητας, αλλά στη συνέχεια, αρκετοί γείτονες θα ανακαλυφθούν και η ποιότητα των κατασκευασμένων μονοπατιών θα βελτιωθεί.

Σημειώστε επίσης ότι υπάρχουν μικρά γενικά έξοδα στο ποσό των διαβιβασθέντων δεδομένων καθώς το μονοπάτι ενσωματώνεται σε κάθε μήνυμα. Η απαραίτητη αποθήκευση στο μήνυμα είναι της τάξης $O(\beta)$ η οποία είναι αρκετά μικρή για να είναι εύχρηστη από τους αισθητήρες. Το ίδιο πράγμα υποβάλλει αίτηση για το μέγεθος της κρύπτης πορειών, υποθέτοντας μια sink, ενώ για πολλές sink η απαίτηση στη μνήμη αυξάνεται γραμμικά σύμφωνα με τον αριθμό των sink. Εντούτοις, για την cache των γειτόνων το απαιτούμενο διάστημα αποθήκευσης μπορεί να είναι $O((R*\beta)^2)$. Έτσι είναι δυνατό ότι σε κάποιο αισθητήρα διαμόρφωσης οι συσκευές μπορούν να μην είναι σε θέση να προσαρμόσουν το πλήρες μέγεθος της cache των γειτόνων. Σε εκείνη την περίπτωση, το πρωτόκολλο μπορεί να χρησιμοποιήσει έναν μηχανισμό (όπως ο πιο ελάχιστα πρόσφατα χρησιμοποιημένος) που κρατά αρκετούς κόμβους στην κρύπτη έτσι ώστε οι πορείες τους μπορούν να κατασκευαστούν. Δεδομένου ότι αυτό είναι πιθανότερο να συμβεί πολύ σε πυκνά δίκτυα, ακόμα και μόνο ένα μέρος

των γειτόνων θα είναι αντιπροσωπευτικό της τοπολογίας δικτύων και το κατασκευασμένο μονοπάτι θα είναι της καλής ποιότητας.

Κατά συνέπεια το πρωτόκολλό μας επιτυγχάνει την ενεργειακή αποδοτικότητα και τη χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση χρησιμοποιώντας την εκτεταμένη γνώση δικτύων αποκτηθείσα τοπικά, κατά τρόπο εφικτό για το περιορισμένο υλικό των συσκευών αισθητήρων. Αυτή η προσέγγιση διαφοροποιεί το CKN από άλλα τοπικά πρωτόκολλα βελτιστοποίησης, όπου περιορίζεται, σε έναν λυκίσκο, η γνώση δικτύων χρησιμοποιείται για να καθοδηγήσει λαίμαργα τα στοιχεία. Κατά τη διάρκεια της αρχικοποίησης των δικτύων ένα σύνολο μονοπατιών προς τη sink κατασκευάζεται σε όλο το δίκτυο, που διαμορφώνει μια σφαιρική δομή διάδοσης στοιχείων. Στη συνέχεια αυτές οι πορείες διατηρούνται και βελτιστοποιούνται βασισμένες στα τοπικά κριτήρια (λανθάνουσα κατάσταση, αξιοπιστία της πορείας). Αντιθέτως, το CKN κατασκευάζει και διατηρεί τα μονοπάτια μετά από απαίτηση μόνο όταν διαδίδονται τα δεδομένα, αυτό γίνεται σε ένα σχετικά τοπικό επίπεδο προκειμένου να αποφευχθεί η συλλεχθείσα γνώση να γίνει ξεπερασμένη στην περίπτωση της υψηλής δυναμικής. Επίσης, αντίθετα στα συγκεντρωτικά πρωτόκολλα καμία δομή ή ιεραρχία δεν διατηρείται από το πρωτόκολλό μας.

Το πρωτόκολλό μας είναι επίσης ανεκτικό σε σφάλματα. Όταν μια αποτυχία ανιχνεύεται, το CKN αρχικοποιεί τη φάση προγραμματισμού και ένα νέο μονοπάτι επιλέγεται. Στη σχετική λογοτεχνία, η ανοχή σε σφάλματα επιτυγχάνεται κατασκευάζοντας και διατηρώντας αρκετά μονοπάτια, χωρίζοντας κατά προτίμηση, μονοπάτια μεταξύ της πηγής και του προορισμού κατά τέτοιο τρόπο ώστε κανένα σύνολο k κόμβων αποτυχίας να μπορεί να αποβάλει όλα τα μονοπάτια. Ενώ αυτές οι λύσεις επιτυγχάνουν καλή ανοχή σφαλμάτων, αλλά επιβάλλουν επίσης σημαντικό κόστος. Στο

CKN μια άλλη προσέγγιση ακολουθείται, αντί να κατασκευάσει και να διατηρεί τα πολλαπλά μονοπάτια, αντιμετωπίζει τις αποτυχίες με την επισκευή των μονοπατιών όπως απαιτείται. Κατά συνέπεια, έχουμε πολύ χαμηλά γενικά έξοδα στους αισθητήρες αλλά ως αντάλλαγμα το πρωτόκολλο δεν μπορεί να εγγυηθεί την ανοχή σφαλμάτων.

Επιπλέον, στο χαμηλότερο κόστος και την καλή αποδοτικότητα του πρωτοκόλλου μας, αισθανόμαστε ότι το CKN είναι επίσης ιδιαίτερα ευπροσάρμοστο και διαμορφώσιμο δεδομένου ότι επιτρέπει σε πολλές σχεδιαστικές επιλογές να αλλαχτούν. Όπως συζητήσαμε νωρίτερα υπάρχουν διάφορες στρατηγικές για την επιλογή της πορείας P που μπορούν να υπογραμμίσουν άλλες πτυχές και να εκτελέσουν τις διαφορετικές βελτιστοποιήσεις. Κατωτέρω παρουσιάζουμε τρεις εναλλακτικές μεθόδους κατασκευής μονοπατιών, κάθε μια από τις οποίες χρησιμοποιεί ένα διαφορετικό ποσό γνώσης δικτύων που στοχεύει στην επίτευξη των διάφορων επιθυμητών συμπεριφορών.

1. **Energy-Aware**. Σε αυτήν την περίπτωση, η ενδιάμεση συσκευή αισθητήρων p_i επιλέγεται έτσι ώστε μεταξύ όλων των συσκευών που βρίσκονται μέσα στην υπολίστα L_i να περιέχει τα πιο υψηλά ενεργειακά επίπεδα. Για να είναι σε θέση να χρησιμοποιήσει αυτό το κριτήριο, οι συσκευές που αποκρίνονται στο αναγνωριστικό σήμα p μαζί με το ID τους περιλαμβάνουν μια ένδειξη στα επίπεδα διαθέσιμης ενέργειάς τους (E_i) όταν απαντούν στις ανακοινώσεις.
2. **Randomized**. Προς μια καλή μέση εκτέλεση της περίπτωσης του πρωτοκόλλου, χρησιμοποιούμε την τυχαιοποίηση για να αποφύγουμε κακή συμπεριφορά λόγω των χειρότερης περίπτωσης διανομών εισόδου για κάθε

επιλογή (δηλ. συσκευές αισθητήρων με τις υψηλές πηγές ενέργειας να είναι μακριά η μια από την άλλη) στις ενεργειακά-ενήμερες συσκευές αισθητήρων τοποθετούμε βέλτιστα αλλά με πολύ χαμηλή διαθέσιμη ενέργεια. Κατά συνέπεια, σε αυτήν την παραλλαγή κάθε συσκευή p_i επιλέγεται ομοιόμορφα τυχαία από το L_i .

3. **Latency-Aware.** Σε αυτήν την περίπτωση, η διαδικασία βελτιστοποίησης εξετάζει τα χαρακτηριστικά δικτύων που έχουν επιπτώσεις στη ρυθμοαπόδοση από τα μονοπάτια και τις δοκιμές για να επιλέξουν το πιο κατάλληλο, λιγότερο κορεσμένο μονοπάτι. Πιο συγκεκριμένα, οι απαντήσεις των κόμβων στις ανακοινώσεις περιέχουν μια εκτίμηση της συμφόρησης, που μετριέται ως ο αριθμός των πακέτων που εκκρεμούν στη σειρά αναμονής, και ο αριθμός των κόμβων στην cache τους. Κατόπιν από κάθε υπολίστα η συσκευή αισθητήρων με τη χαμηλότερη συμφόρηση και τον υψηλότερο αριθμό γειτόνων επιλέγεται. Κατ' αυτό τον τρόπο το πιο αξιόπιστο και χαμηλότερης λανθάνουσας κατάστασης μονοπάτι κατασκευάζεται, αφού οι κορεσμένοι κόμβοι, που είναι πιθανότερο να ρίξουν τα πακέτα, αποφεύγονται ενώ επίσης οι ενδιάμεσοι κόμβοι θα έχουν έναν υψηλό αριθμό εναλλακτικών μονοπατιών σε περίπτωση που το κατασκευασμένο μονοπάτι αποτυγχάνει.

Κεφάλαιο 3

Παραδείγματα Εφαρμογών

Ο ισχυρισμός των υποστηρικτών των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι ότι αυτό το τεχνολογικό όραμα θα απλοποιήσει πολλές υπάρχοντες περιοχές εφαρμογών και να φέρει στο φως τελείως καινούργιες εφαρμογές. Αυτός ο ισχυρισμός εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, αλλά ένα μέρος των προβλεπόμενων εφαρμογών θα πρέπει να παρουσιαστεί.

Εκτός από την ανάγκη να κατασκευαστούν φτηνά, εύκολα στον προγραμματισμό και στη δικτύωση, και ενδεχομένως μεγάλης διάρκειας κόμβοι αισθητήρων, ένα κρίσιμο και πρωταρχικό συστατικό για την ανάπτυξη πραγματικών εφαρμογών είναι η πραγματική αντίληψη και οι ικανότητες προώθησης στις οποίες ένας κόμβος αισθητήρα μπορεί να χρηματιστεί. Για πολλές φυσικές παραμέτρους, η κατάλληλη τεχνολογία αισθητήρων υπάρχει και μπορεί να ενσωματωθεί σε ένα κόμβο ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Μερικές από τις πιο δημοφιλείς είναι θερμοκρασία,

υγρασία, φωτεινότητα, ακουστικά, δονήσεις (για την ανίχνευση σεισμικών δονήσεων), πίεση, χημικοί αισθητήρες (για αέρια διαφορετικών τύπων, ή για την εκτίμηση της σύστασης του εδάφους), μαγνητικοί αισθητήρες (για να αναγνωρίζονται οχήματα που περνούν από ένα συγκεκριμένο σημείο). Αλλά ακόμη πιο περίπλοκες ικανότητες των αισθητήρων είναι κατανοητές, για παράδειγμα, παιχνίδια σε έναν παιδικό σταθμό έχουν αισθητήρες αφής και κίνησης ή είναι ικανοί να καθορίσουν την ταχύτητά τους και την τοποθεσία.

Ενεργοποιητές που κατευθύνονται από ένα κόμβο ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων είναι όχι τόσο πολύπλευρο. Τοπικά, κατευθύνουν μια μηχανική συσκευή όπως να οδηγήσει ή μπορεί να αλλάξουν κάποια ηλεκτρική εφαρμογή μέσω ενός ηλεκτρονόμου όπως μια λάμπα, μια κόρνα ή παρόμοια συσκευή. Βασικά για τους κόμβους που έχουν τέτοιους αισθητήρες και /ή ικανότητες ώθησης, σε συνδυασμό με τις υπολογιστικές και επικοινωνιακές δυνατότητες, πολλά διαφορετικά είδη από κόμβους ακόμα και με διαφορετικά είδη σε μια εφαρμογή.

3.1 Εφαρμογές ανακούφισης καταστροφών

Μια από τις εφαρμογές που αναφέρονται συχνά για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι οι διαδικασίες ανακούφισης καταστροφών. Ένα τυπικό σενάριο είναι η ανίχνευση πυρκαγιάς : Κόμβοι αισθητήρων είναι εξοπλισμένοι με θερμομέτρα και μπορούν να καθορίζουν την τοποθεσία που βρίσκονται (σχετικοί μεταξύ τους ή απόλυτες συντεταγμένες). Αυτοί οι αισθητήρες τοποθετούνται σε μια πυρκαγιά, για παράδειγμα ένα δάσος και ψεκάζονται από ένα αεροπλάνο. Αυτοί συλλογικά παράγουν έναν 'χάρτη θερμοκρασίας' για την περιοχή ή καθορίζουν την περίμετρο περιοχών με υψηλή θερμοκρασία που μπορούν να έχουν πρόσβαση από απέξω , για παράδειγμα, από πυροσβέστες εξοπλισμένους με PDAs. Παρόμοια σενάρια είναι πιθανά για τον έλεγχο ατυχημάτων σε χημικά εργοστάσια.

Μερικές από αυτές τις εφαρμογές έχουν ομοιότητες με στρατιωτικές εφαρμογές, όπου οι αισθητήρες πρέπει να ανιχνεύσουν, για παράδειγμα , νάρκες του εχθρού παρά πυρκαγιές. Σε μια τέτοια εφαρμογή, οι αισθητήρες πρέπει να είναι αρκετά φτηνοί για να θεωρηθούν μιας χρήσης εφόσον απαιτείται ένας μεγάλος αριθμός αισθητήρων.

3.2 Έλεγχος του περιβάλλοντος και χαρτογράφηση βιοποικιλότητας

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ελέγχουν το περιβάλλον , για παράδειγμα, τα χημικά απόβλητα μια πιθανή εφαρμογή είναι η επιτήρηση της καρίνας ενός πλοίου : μια διάγνωση της φθοράς. Σχετική με τον έλεγχο του περιβάλλοντος είναι η χρήση ασύρματων δικτύων αισθητήρων για να αποκτήσουμε επίγνωση του αριθμού των φυτών και των ζώων που ζουν σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία (χαρτογράφηση βιοποικιλότητας)

Τα κύρια πλεονεκτήματα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων εδώ είναι μεγάλης διάρκειας, αφύλακτα, λειτουργούν χωρίς καλώδιο κοντά στα αντικείμενα που πρέπει να παρατηρηθούν : εφόσον οι αισθητήρες μπορούν να είναι αρκετά μικροί για να είναι ήσυχοι, ενοχλούν μόνο λίγο τα παρατηρούμενα ζώα και φυτά. Συχνά ένας μεγάλος αριθμός από αισθητήρες απαιτείται καθώς και σε απαιτήσεις όσον αφορά τη διάρκεια ζωής τους.

3.3 Έξυπνα κτίρια

Τα κτίρια δαπανούν μεγάλα ποσά ενέργειας από τη χρήση των Air Condition. Ένας καλύτερος πραγματικού χρόνου, υψηλής πιστότητας έλεγχος της θερμοκρασίας, της ροής αέρα, της υγρασίας και άλλων φυσικών παραμέτρων σε ένα κτίριο με τη χρήση ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων μπορεί να αυξήσει σημαντικά το επίπεδο της άνεσης και ταυτόχρονα να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας. Βελτιωμένη αποδοτικότητα ενέργειας καθώς και βελτιωμένη άνεση είναι μερικοί στόχοι των 'έξυπνων κτιρίων' για τους οποίους καλωδιωμένα συστήματα όπως BACnet, LonWorks, KNX είναι υπό κατασκευή ή έχουν ήδη επεκταθεί: αυτά τα στάνταρ περιλαμβάνουν επίσης την ανάπτυξη των ασύρματων συστατικών ή έχουν ήδη ενσωματωθεί στα στάνταρ.

Επίσης τέτοιοι κόμβοι αισθητήρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ελέγξουν τα επίπεδα μηχανικής πίεσης σε σεισμικά ενεργές ζώνες. Μετρώντας μηχανικές παραμέτρους όπως την κλίση του κτηρίου, είναι πιθανό να εξακριβωθεί γρήγορα με τη χρήση ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων εάν είναι ασφαλές να μπούμε σε ένα κτήριο έπειτα από ένα σεισμό ή εάν το κτήριο είναι έτοιμο να καταρρεύσει – ένα σημαντικό πλεονέκτημα για τη διάσωση του προσωπικού.

Το κύριο πλεονέκτημα εδώ είναι η χαρτογράφηση των φυσικών παραμέτρων. Εξαρτημένοι από την κάθε εφαρμογή οι αισθητήρες μπορούν να τοποθετηθούν σε υπάρχοντα κτήρια ή πρέπει να ενσωματωθούν σε ένα κτήριο που μόλις κατασκευάστηκε. Εάν το ενεργειακό απόθεμα είναι μεγάλο τότε η διάρκεια ζωής των αισθητήρων θα είναι πολύ μεγάλη, αλλά ο αριθμός των απαιτούμενων κόμβων και επίσης το κόστος, είναι σχετικά μέτριο, μπροστά σε αυτό ενός ολόκληρου κτηρίου.

3.4 Δυνατότητα διαχείρισης

Στη διαχείριση της δυνατότητας μεγαλύτερης από ένα απλό κτήριο, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχουν μια μεγάλη κλίμακα από πιθανές εφαρμογές. Απλά παραδείγματα περιέχουν την χωρίς κλειδί είσοδο όπου οι άνθρωποι φοράνε διακριτικά που επιτρέπουν σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων να ελέγχει ποιο άτομο επιτρέπεται να εισέλθει σε κάποιες περιοχές ενός μεγάλου κτηρίου μιας εταιρίας. Αυτό το παράδειγμα μπορεί να επεκταθεί στην ανίχνευση των εισβολέων, για παράδειγμα, των αυτοκινήτων που περνάνε μια οδό έξω από ένα κτήριο τις φυσιολογικές ώρες. Ένα μεγάλης εμβέλειας ασύρματο δίκτυο αισθητήρων θα μπορούσε να ανιχνεύσει την τοποθεσία ενός τέτοιου οχήματος και να σημάνει συναγερμό στο προσωπικό ασφαλείας. Κατά μια άποψη θα μπορούσε να τοποθετηθεί σε ένα χημικό εργοστάσιο και να ανιχνεύει διαρροή χημικών.

Αυτές οι εφαρμογές συνδυάζουν προκλητικές απαιτήσεις καθώς ο αριθμός των απαιτούμενων αισθητήρων μπορεί να είναι μεγάλος και πρέπει να συνεργαστούν και πρέπει να είναι ικανοί να λειτουργούν για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα με μπαταρίες.

3.5 Επιτήρηση μηχανών και προληπτική συντήρηση

Μια ιδέα είναι να τοποθετήσουμε κόμβους αισθητήρων σε μια περιοχή που είναι πολύ δύσκολο να φτάσουμε στα μηχανήματα όπου μπορούν να ανακαλύψουν προβλήματα που δηλώνουν την ανάγκη για συντήρηση. Παραδείγματα τέτοιων

μηχανημάτων μπορεί να είναι ρομπότ ή οι άξονες ενός τρένου. Άλλες εφαρμογές στην βιομηχανία είναι εύκολα κατανοητές.

Το κύριο πλεονέκτημα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι ότι λειτουργούν χωρίς καλώδιο, αποφεύγοντας ένα πρόβλημα συντήρησής τους, και επιτρέποντας μια φτηνή τοποθέτηση τέτοιων αισθητήρων. Η καλωδιωμένη παροχή ενέργειας μπορεί να είναι ή μπορεί να μην είναι διαθέσιμη, εξαρτώμενη από το σενάριο: Εάν δεν είναι διαθέσιμη, οι αισθητήρες θα κρατήσουν για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα σε μια πεπερασμένη προμήθεια ενέργειας αφού το να αλλάζουμε μπαταρίες δεν είναι πρακτικό και είναι και ακριβό. Από την άλλη πλευρά, το μέγεθος των κόμβων είναι συχνά ένα όχι τόσο σημαντικό θέμα ούτε και η τιμή είναι τόσο μεγάλη.

3.6 Ιατρική και φροντίδα υγείας

Η χρήση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων σε εφαρμογές της φροντίδας για την υγεία είναι ιδιαίτερα επικερδείς αλλά και ηθικά αμφισβητούμενη, εφαρμογή. Οι πιθανότητες είναι από παροδική μέχρι εντατική φροντίδα, όπου οι αισθητήρες είναι απευθείας προσκολλημένοι στους ασθενείς – το πλεονέκτημα ότι δεν έχουμε να κάνουμε με καλώδια είναι μεγάλο – για μεγάλης διάρκειας επιτήρηση των (τυπικά ηλικιωμένων) ασθενών και για να διαχειρίζονται αυτόματα τα φάρμακα. Επίσης ασθενούς και γιατρών συστήματα ανίχνευσης μέσα στα νοσοκομεία μπορούν να σώσουν ζωές

3.7 Λογιστικά

Σε μερικές διαφορετικές εφαρμογές των λογιστικών, είναι κατανοητό για να εξοπλίσουν με αγαθά (μεμονωμένα δέματα, για παράδειγμα) με απλούς αισθητήρες που επιτρέπουν έναν απλό τρόπο ανίχνευσης αυτών των αντικειμένων κατά τη διάρκεια της μεταφοράς τους ή διευκολύνουν την ανίχνευση καταλόγων σε καταστήματα ή αποθήκες εμπορευμάτων.

Σε αυτές τις εφαρμογές, δεν υπάρχει ανάγκη για έναν αισθητήρα να επικοινωνήσει ‘ενεργητικά’: να διαβάζει παθητικά τα δεδομένα είναι συχνά ικανοποιητικό, για παράδειγμα, όταν μια βαλίτσα κινείται να μπορεί να ανιχνεύει ζώνες μεταφορέων σε ένα αεροδρόμιο που περνά από συγκεκριμένα σημεία ελέγχου. Ένα τέτοιο παθητικό ανάγνωσμα είναι πολύ απλούστερο και φθηνότερο από την ενεργή επικοινωνία και από την επεξεργασία πληροφοριών.

Από την άλλη πλευρά, ένα απλό Ραδιοφωνικής Συχνότητας Προσδιοριστικό δεν μπορεί να υποστηρίξει πιο προηγμένες εφαρμογές. Είναι πολύ δύσκολο να φανταστούμε πως ένα παθητικό σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εντοπίσουμε ένα αντικείμενο σε μια αποθήκη εμπορευμάτων: μπορεί επίσης όχι εύκολα να αποθηκεύει πληροφορίες για το ιστορικό του συνημμένου αντικειμένου – ερωτήσεις όπως «που ήταν αυτό το δέμα?» είναι ενδιαφέρουσες σε πολλές εφαρμογές αλλά απαιτούν ενεργητική συμμετοχή ενός κόμβου αισθητήρα.

3.8 Τηλεμαντική

Μερικώς συσχετιζόμενες με τις λογιστικές εφαρμογές είναι οι εφαρμογές για την τηλεμαντική, όπου οι αισθητήρες εφαρμόζονται στις οδούς ή στην άκρη του δρόμου μαζεύοντας πληροφορίες για τις συνθήκες κυκλοφορίας. Ένα τέτοιο σύστημα γνωστό ως «έξυπνος δρόμος» θα μπορούσε επίσης να αλληλεπιδρά με τα αυτοκίνητα και να

αλλάζει προειδοποιήσεις κινδύνου σε ότι αφορά την κατάσταση του δρόμου και πληροφορίες για κυκλοφοριακή συμφόρηση.

Μαζί με αυτές υπάρχουν και άλλες εφαρμογές των ασύρματων δικτύων αισθητήρων που έχουν αναφερθεί στην βιβλιογραφία που περιέχουν φτερά αεροπλάνων, εφαρμογές σε εγκαταστάσεις κατεργασίας ύδατος αποβλήτων, οργάνωση των αιθουσών επεξεργασίας ημιαγωγών και των σηράγγων αέρα, σε «έξυπνους παιδικούς σταθμούς» όπου τα παιχνίδια αλληλεπιδρούν με τα παιδιά, η ανίχνευση πλημμύρων, διαλογικά μουσεία, έλεγχος ενός βιότοπου πτηνών σε ένα απομακρυσμένο νησί και εμφύτευση αισθητήρων μέσα στο ανθρώπινο σώμα (για τον έλεγχο των επιπέδων της γλυκόζης).

3.9 Γεωργία ακριβείας

Η γεωργία ακρίβειας είναι ένα σύστημα ακρίβειας που προωθεί τις μεταβλητές διοικητικές πρακτικές μέσα σε έναν τομέα, σύμφωνα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες περιοχών. Αυτό το σύστημα είναι βασισμένο στα εργαλεία και τις πηγές πληροφοριών που παρέχονται από τις σύγχρονες τεχνολογίες. Αυτές περιλαμβάνουν το σφαιρικό σύστημα τοποθεσίας (GPS), το γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών (GIS), τις συσκευές ελέγχου παραγωγής, τους αισθητήρες χώματος, φυτών και παρασίτων, τους απομονωμένους αισθητήρες, και τις μεταβλητού ρυθμού τεχνολογίες για τις εφαρμογές των εισαγωγών. Η χρήση αυτών των διαφορετικών μεθόδων συσχετίζεται με την επιθυμητή χωρική ανάλυση. Το GPS και το GIS είναι βέλτιστα ταιριαγμένα για τις ευρείες επιφάνειες αποφεύγοντας οποιοδήποτε χαρακτηρισμό μικροϋπολογιστών της περιοχής. Αντίθετα η χρήση των αισθητήρων χώματος ή/και εγκαταστάσεων επιτρέπει μια συγκεκριμένη διαχείριση σε μια πολύ μικρή επιφάνεια. Η έρευνα γεωργίας ακρίβειας άρχισε στις ΗΠΑ, τον Καναδά, την Αυστραλία και τη δυτική Ευρώπη στα μέσα της δεκαετίας του '80. Αν και μια ιδιαίτερη ερευνητική προσπάθεια έχει χρησιμοποιηθεί, είναι ακόμα μόνο μια μικρή μερίδα των αγροτών που έχουν ασκήσει οποιοδήποτε τύπο τεχνολογιών γεωργίας ακριβείας.

Στην Αυστραλία, που ελέγχει και που χαρτογραφεί τη χωρική μεταβλητότητα στο σιτάρι οι παραγωγές συγκομιδών έχουν λάβει πολλή δημοσιότητα. Κατά τη συγκομιδή ο έλεγχος παραγωγής είναι διαθέσιμος για την πατάτα, το φιστίκι, και τις θεριστικές μηχανές χορτονομής και, ακόμα υπό ανάπτυξη, για τις θεριστικές μηχανές βαμβακιού ώστε να ελέγχουν και τις ποσοτικές και ποιοτικές παραμέτρους. Στην Ιαπωνία, το Υπουργείο γεωργίας έχει αρχίσει να επενδύει στα ερευνητικά προγράμματα γεωργίας ακρίβειας, που εστιάζουν στην αντίληψη και τους σχετικούς ελέγχους με τη γεωργική μηχανοποίηση.

3.9.1 Γεωργία ακριβείας στην αλυσίδα του κρασιού

Στις τελευταίες δεκαετίες, ισχυρές και βαθιές αλλαγές εμφανίστηκαν στην προσέγγιση των παραγωγών κρασιού προς την αλυσίδα κρασιού, συνεπεία του αυξανόμενου αριθμού νέων τεχνολογιών, οι οποίες οδήγησαν στις καινοτομίες προϊόντων και διαδικασιών. Πρέπει να είναι σαφές ότι η παράδοση και ο νεωτερισμός είναι και οι δύο βασικές έννοιες προκειμένου να ληφθεί μια ποιοτική παραγωγή κρασιού. Δυστυχώς, μόνο ένα μικρό ποσοστό παραγωγών κρασιού έχει συνειδητοποιήσει ότι η καινοτομία και η έρευνα μπορούν εύκολα να λειτουργήσουν μαζί με τις παραδόσεις οινοποιών. Μια καλύτερη επιλογή των σταφυλιών, που οδηγεί στα καλύτερα κρασιά, είναι το πρώτο βήμα που οι κρασοπαραγωγοί πρέπει να εξετάσουν. Μόνο η υιοθέτηση ενός ενσωματωμένου προσανατολισμένου προς την

ποιότητα συστήματος για όλες τις διαφορετικές υποδιαδικασίες της αλυσίδας του κρασιού μπορεί να παρέχει τις σωστές οδηγίες για ένα γενικό αυξανόμενο σύστημα σταφυλιών.

Επίσης οι οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης υπογραμμίζουν τη σημασία παραγωγής σταφυλιών με τα υψηλής ποιότητας πρότυπα χωρίς ακριβώς να εξετάσουν την παραγωγή αμπελώνων. Η ποιότητα σταφυλιών συνεπάγεται την ποιότητα του κρασιού. Αυτή η στενή σχέση μεταξύ της παράδοσης και της τεχνολογίας προκειμένου να επιτευχθεί η ποιότητα στην αμπελουργία συνεπάγεται την αποκαλούμενη "στρωμάτωση". Η στρωμάτωση είναι η λέξη κλειδί για την ποιοτική αμπελουργία που αναπτύσσεται από τους παραγωγούς ως η εκπλήρωση των αναγκών τους να λειτουργήσουν σε μια γνωστή περιοχή με τα καθορισμένα κλιματολογικά χαρακτηριστικά. Ένα τέτοιο είδος στρωμάτωσης καλείται αγρο-οικολογικό, δεδομένου ότι καθορίζει τις περιοχές με τις συγκεκριμένες ιδιαιτερότητες χώματος και κλίματος. Η αγροοικολογική στρωμάτωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αφετηρία για μια μεθοδολογία του καταλόγου εδάφους και ελεγκτική, δεδομένου ότι παρουσιάζει ομοιόμορφες μερίδες της γήινης επιφάνειας. Η στρωμάτωση οδηγεί επομένως στη δημιουργία ενός λεπτομερούς χάρτη χαρακτηρίζοντας τις εύπορες περιοχές. Στην αμπελουργία, υπάρχει ένας άλλος όρος σχετικός αυστηρά με τη στρωμάτωση: "terroir"

Terroir είναι μια γαλλική λέξη που αντιπροσωπεύει τις γεωγραφικές και ανθρώπινες συντεταγμένες του φυσικού διαστήματος: περιγράφει μια ομοιόμορφη και μοναδική περιοχή για το κλίμα του, την έκθεση στον ήλιο, εδαφολογικά χαρακτηριστικά, και την ιστορική ταυτότητά του. Το terroir αναπαράγει την αλληλεπίδραση και τη σχέση μεταξύ του κλίματος, του χώματος και του τοπίου στις αλυσίδες κρασιού.

Μια άλλη λέξη κλειδί για την ποιοτική αμπελουργία είναι η ανιχνευσιμότητα. UNI (ιταλική ένωση για την ενοποίηση κανόνα) περιγράφει την ανιχνευσιμότητα ως "ικανότητα να επανοικοδομηθεί η ιστορία και να ακολουθηθεί η χρήση ενός προϊόντος από τον προσδιορισμό των ροών των υλικών και των χειριστών αλυσίδων". Είναι μια ευρεία έννοια μέσω της οποίας η ανιχνευσιμότητα μπορεί να εξεταστεί ως όργανο για πολλούς σκοπούς για την αξιολόγηση της διαχείρισης υγείας και της ποιότητας τροφίμων. Η ανιχνευσιμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τους ακόλουθους στόχους: έλεγχο των κινδύνων υγείας, εξουσιοδότησης προέλευσης, της διαχείρισης, επίβλεψη της ποιοτικής διαδικασίας.

Πώς μπορούμε να λάβουμε τη στρωμάτωση σε μια περιοχή αμπελώνων και μια ανιχνευσιμότητα σε μια αλυσίδα κρασιού? Οι επιστημονικές έρευνες έχουν βελτιώσει την ανταγωνιστικότητα εργοστασίων κρασιού με την ενίσχυση της αποδοτικότητας συστημάτων με την ανάπτυξη των νέων τεχνολογιών για κάθε ενιαίο βήμα στην αλυσίδα κρασιού, από την αύξηση σταφυλιών στο μπουκάλι κρασιού. Οι κύριοι στόχοι της ποιοτικής αμπελουργίας μπορούν να περιληφθούν στον όρο "denominazione di origine" (Carbone, 1997), δίνοντας τη σημασία σε πολλές μεταβλητές και παραμέτρους όπως η προστασία της γενετικής ταυτότητας των ποικιλιών *Vitis vinifera*, το μάρκετινγκ των τελικών προϊόντων, την καταναλωτική υγεία, κ.λπ..... Η προαναφερθείσα έννοια συναντιέται στην ανιχνευσιμότητα του όρου.

Ολόκληρη η αλυσίδα κρασιού μπορεί επομένως να θεωρηθεί ως φυσική διαδικασία που πρέπει να ελέγχεται συνεχώς από μια σειρά μεταβλητών θέσης. Η διαδικασία ελέγχου είναι βασισμένη στη χρήση των αισθητήρων. Αυτοί οι αισθητήρες κωδικοποιούν ένα πλήθος φυσικών και χημικών παραμέτρων του φυτού (θερμοκρασία φύλλων, αύξηση, ροή σφρίγγους ξυλημάτων, φωτοσύνθεση, εφίδρωση), το κλίμα, το χόμα, τη διαδικασία οινοποίησης, το ίδιο το κρασί. Τα στοιχεία μπορούν

να υποβληθούν σε επεξεργασία εύκολα προκειμένου να ληφθεί ένας πλήρης έλεγχος του αμπελώνα. Η παραγωγική ικανότητα σταφυλιών συνδέεται με το περιβάλλον, που έχει τις παρόμοιες γενετικές ιδιαιτερότητες των σταφυλιών. Οι περιβαλλοντικές πτυχές που μπορούν να έχουν επιπτώσεις στην αύξηση εγκαταστάσεων και την παραγωγή είναι η εδαφολογική έκθεση και κλίση, το μικροκλίμα των αμπελώνων (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, αέρας, ηλιακή ακτινοβολία, βροχοπτώσεις) και εδαφολογικά φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά. Τα τελευταία είναι θεμελιώδη για μια σωστή αύξηση εγκαταστάσεων (pH, περιεκτικότητα σε άλατα, χλωρίδιο, υγρασία εδάφους). Αυτές οι περιβαλλοντικές παράμετροι θα αλληλεπιδράσουν με τη φυσιολογία των εγκαταστάσεων (φωτοσύνθεση, ροή ξυλημάτων, θερμοκρασία φύλλων, περιεκτικότητα σε σάκχαρα, χρώμα) που καθορίζει την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Όλα τα στοιχεία που μετριοούνται από τους αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ταξινομήσουν τον αμπελώνα, δηλαδή δημιουργώντας τη στρωμάτωσή του. Η στρωμάτωση μπορεί να θεωρηθεί έπειτα ως πρώτο βήμα για την ανιχνευσιμότητα προϊόντων. Μέχρι μερικά έτη πριν, η στρωμάτωση ήταν μια αρκετά εμπειρική διαδικασία, αποκλείοντας τους μετεωρολογικούς σταθμούς που λειτουργούν σε μια μεγάλη επιφάνεια. Μια ακριβής στρωμάτωση ήταν σχεδόν αδύνατη να φθάσει χωρίς την κατοχή μιας στερεάς επιστημονικής μήτρας.

Με τη χρήση των νέων τεχνολογιών, εντούτοις, ένας αμπελώνας μπορεί εύκολα και βαθιά να χαρτογραφηθεί και να καθοριστεί σε κάθε σημαντική παράμετρο. Η διαδικασία στρωμάτωσης χάνει κατ' αυτό τον τρόπο το εμπειρικό σύστημα αξιολόγησής της και γίνεται μια επιστημονική διαδικασία. Οι στρωματώσεις που χρησιμοποιούνται στο ίδιο αγρόκτημα μπορούν να οδηγήσουν σε διαφορετικά αποτελέσματα, όταν η χωρική μεταβλητότητα είναι έτσι τονισμένη. Η εμφάνιση των τεχνολογιών γεωργίας ακρίβειας και μια αυξανόμενη ζήτηση για προϊόντα υψηλής ποιότητας σταφυλιών έχουν οδηγήσει σε ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για την πρακτική της αμπελουργίας ακρίβειας. Οι καλλιεργητές σταφυλιών και οι οινοποιοί ξέρουν ότι οι αμπελώνες είναι μεταβλητοί όσον αφορά την ποιότητα των σταφυλιών και την ποιότητα του κρασιού, αλλά ελλείψει των εργαλείων ή των μεθόδων για να παρατηρήσουν ακριβώς και να μετρήσουν αυτήν την παραλλαγή.

Από το 1999, όταν το πρώτο όργανο ελέγχου παραγωγής διατέθηκε εμπορικά, ένα σημαντικό πρόγραμμα της έρευνας έχει εστιάσει στην κατανόηση της φύσης, της έκτασης και των βασικών οδηγιών της μεταβλητότητας στη διαδικασία παραγωγής των σταφυλιών, και στις ευκαιρίες να εφαρμοστεί μια προσέγγιση γεωργίας ακρίβειας, και στην αμπελουργική διαχείριση και στην οινοποίηση. Μέχρι σήμερα, η έρευνα έχει δείξει ότι ενώ οι παραγωγές σταφυλιών από τον ίδιο αμπελώνα μπορούν να ποικίλουν από χρόνο σε χρόνο, τα σχέδια της παραλλαγής μέσα στο φραγμό είναι σταθερά. Αυτό έχει το προβάδισμα σε μια πολύ πρόσφατη δυνατότητα να προσδιοριστούν χαρακτηριστικά οι διαφορετικές στρωματώσεις μέσα στους φραγμούς αμπελώνων, και την ανάπτυξη της έννοιας της ζωνικής διαχείρισης αμπελώνων. Κατά συνέπεια, οι καλλιεργητές σταφυλιών και οι οινοποιοί μπορούν να είναι σε θέση να στοχεύσουν διαφορετικά στη διαχείριση των εισαγωγών τους κατά τη διάρκεια της εποχής ή/και επιλεκτικά τη συγκομιδή στον τρύγο. Οι πληροφορίες που συγκεντρώθηκαν από τα δίκτυα αισθητήρων θα μπορούσαν να καθοδηγήσουν την άρδευση, λίπανση, χρησιμοποίηση των μηχανημάτων, κατά τη συγκομιδή ή ακριβώς για οποιαδήποτε πτυχή της διαχείρισης αμπελώνων. Οι αμερικανικοί, αυστραλιανοί και οι αμπελουργοί της Νέας Ζηλανδίας πειραματίζονται με, ή έχουν τις ήδη υιοθετήσει, διάφορες τεχνικές γεωργίας ακρίβειας.

Διάφορα εργαλεία υπάρχουν ήδη ή αναπτύσσονται για να επιτρέψουν στους καλλιεργητές να καταλάβουν την παραλλαγή στο έδαφός τους. Αυτοί περιλαμβάνουν

τα όργανα ελέγχου παραγωγής, διάφορες μορφές τηλεπισκόπησης, του GPS, της δοκιμής χώματος και ιστού και των αισθητήρων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η χρησιμοποίηση ενός συνδυασμού από αυτά μπορεί να βοηθήσει στην ερμηνεία των στοιχείων αμπελουργίας ακρίβειας και μπορεί να μεγιστοποιήσει την αξία της στο σωστό και συγκεκριμένο διοικητικό προγραμματισμό των στρωματώσεων του αμπελώνα. Η υιοθέτηση και η εφαρμογή μιας προσέγγισης αμπελουργίας ακρίβειας στη διαχείριση αμπελώνων είναι μια συνεχής κυκλική διαδικασία που αρχίζει με την παρατήρηση των ιδιοτήτων αμπελώνων, που ακολουθείται από την ερμηνεία και την αξιολόγηση των συλλεχθέντων στοιχείων, που οδηγούν στην εφαρμογή της στοχοθετημένης διαχείρισης.

Ενδεχομένως, ένα από τα ισχυρότερα εργαλεία στην αμπελουργία ακρίβειας είναι η χρήση της τηλεπισκόπησης, η οποία έχει τη δυνατότητα να παρέχει γρήγορα μια περιγραφή της μορφής, του μεγέθους και του σθένους των αμπελιών για ολόκληρους τους αμπελώνες. Η δυνατότητά της για τη βελτίωση της αμπελουργικής πρακτικής στηρίζεται στο να είναι σε θέση να καθοριστούν οι χρήσιμες σχέσεις μεταξύ αυτών των περιγραφών θόλων και της ποιότητας και της παραγωγής σταφυλιών. Η ποιότητα των πληροφοριών διαθέσιμη για τη διαχείριση ενός αμπελώνα θα είναι ένας σημαντικός παράγοντας που καθορίζει την ποιότητα των αποφάσεων που λαμβάνονται και, επομένως, την ποιότητα των αποτελεσμάτων των παραχθέντων σταφυλιών, των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και, φυσικά, της αποδοτικότητας. Ενώ οι γεωπόνοι διαδραματίζουν τον κύριο ρόλο στη γεωργία ακρίβειας, οι μηχανικοί έχουν απασχοληθεί και εργάζονται για να παρέχουν τις τεχνολογίες που απαιτούνται για να εφαρμόσουν τις πρακτικές αμπελουργίας ακρίβειας. Οι καινοτομίες εφαρμοσμένης μηχανικής για την αμπελουργία ακρίβειας περιλαμβάνουν την ανάπτυξη των αισθητήρων, τους ελέγχους και τις τεχνολογίες τηλεπισκόπησης.

Οι κυρίαρχες τεχνολογίες υπολογισμού, όπως τα συστήματα δικτύων αισθητήρων, μας δίνουν τις νέες ικανότητες για την αντίληψη και τη συγκέντρωση των στοιχείων για ένα περιβάλλον και τους νέους τρόπους να διαχειριστούν αυτά τα στοιχεία ψηφιακά.

Τα ισχυρά, χαμηλού κόστους, και πραγματικού χρόνου συστήματα αισθητήρων απαιτούνται για την εφαρμογή των διάφορων τεχνολογιών γεωργίας ακρίβειας. Τα εμπορικά προϊόντα διατίθενται για μερικούς τύπους αισθητήρων, ενώ άλλα είναι αυτήν την περίοδο υπό ανάπτυξη και οι καλλιεργητές σταφυλιών και οι ερευνητές πρέπει να συνεργαστούν για να φέρουν αυτούς τους αισθητήρες και την ασύρματη τεχνολογία στον αμπελώνα, που δίνουν την πρόσβαση στους οινοποιούς σε ένα εύρος πληροφοριών που δεν είχαν ποτέ πριν.



Κεφάλαιο 4

Hardware κόμβων αισθητήρων

Το υλικό των κόμβων αισθητήρων μπορεί να ομαδοποιηθεί σε τρεις κατηγορίες κάθε μια από τις οποίες εμπεριέχει ένα διαφορετικό σύνολο από ανταλλαγές στις σχεδιαστικές επιλογές.

- Αυξημένοι γενικού σκοπού υπολογιστές: Τα παραδείγματα εμπεριέχουν χαμηλής ισχύος PC, εφαρμοσμένα PC, συνήθη PC και διάφορα PDA. Αυτοί οι κόμβοι τυπικά τρέχουν σε λειτουργικά συστήματα τέτοια όπως το Win CE, το Linux, ή πραγματικού χρόνου λειτουργικά συστήματα και χρησιμοποιούν τυπικά πρωτόκολλα ασύρματης επικοινωνίας όπως το Bluetooth ή το IEEE 802.11. Εξαιτίας της σχετικά υψηλότερης ικανότητας επεξεργασίας, μπορούν να υποστηρίξουν μια μεγάλη ποικιλία από αισθητήρες, από απλά μικρόφωνα μέχρι περιπλοκές βιντεοκάμερες. Συγκρινόμενοι με τους dedicated κόμβους αισθητήρων, καταναλώνουν μεγαλύτερα ποσά ενέργειας. Ωστόσο, όταν η ενέργεια δεν παίζει κανένα ρόλο,

αυτές οι πλατφόρμες έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να έχουν την ικανότητα να υποστηρίζουν πλήρως υποστηριζόμενα πρωτόκολλα δικτύου, δημοφιλείς γλώσσες προγραμματισμού , υλικό λογισμικού και άλλα λογισμικά

- Αφιερωμένοι εφαρμοσμένοι κόμβοι αισθητήρων: Παραδείγματα τέτοιων αισθητήρων είναι η οικογένεια των mote του Berkeley, η οικογένεια UCLA Medusa, οι Emper κόμβοι και οι MIT μAMP. Αυτές οι πλατφόρμες τυπικά χρησιμοποιούν εμπορικά μικροτσίπ δίνοντας έμφαση σε μικρό παράγοντα, χαμηλής ισχύος επεξεργασία και επικοινωνία , και απλά interface αισθητήρων. Εξαιτίας της COTS CPU τους , αυτές οι πλατφόρμες τυπικά υποστηρίζουν το ελάχιστο μια γλώσσα προγραμματισμού, τέτοια όπως η C. Ωστόσο με σκοπό να κρατήσουν το αποτύπωμα του προγράμματος μικρό που υποστηρίζεται από την μικρή μνήμη που διαθέτουν , οι προγραμματιστές έχουν πλήρη πρόσβαση στο hardware. Ένα κλασσικό παράδειγμα είναι η πλατφόρμα TinyOS και η γλώσσα προγραμματισμού που τη συνοδεύει nesC.
- Συστήματα πάνω στο μικροτσίπ(SoC) κόμβων αισθητήρων : Παράδειγμα των SoC hardware εμπεριέχουν την έξυπνη σκόνη, τον BWPC picoradio κόμβο, και ο PSTA κόμβος. Οι σχεδιαστές αυτών των πλατφόρμων προσπαθούν να ωθήσουν τα όρια του hardware εκμεταλλευόμενοι πλήρως την αρχιτεκτονική του, για ένα κόμβο αισθητήρα στο σχεδιασμό του επιπέδου του μικροτσίπ. Ο στόχος είναι να βρεθούν νέοι τρόποι να ενσωματώσουν τις CMOS , MEMS και RF τεχνολογίες για να κατασκευαστούν πάρα πολύ χαμηλής ισχύος και μικροί σε μέγεθος κόμβοι αισθητήρων που να προβάλλουν συγκεκριμένες τεχνικές μετρήσεων , υπολογισμού και επικοινωνίας. Επειδή αυτές οι πλατφόρμες είναι ακόμη υπό έρευνα με κανένα προκαθορισμένο σύνολο οδηγιών, δεν υπάρχει ακόμα καμία πλατφόρμα λογισμικού.

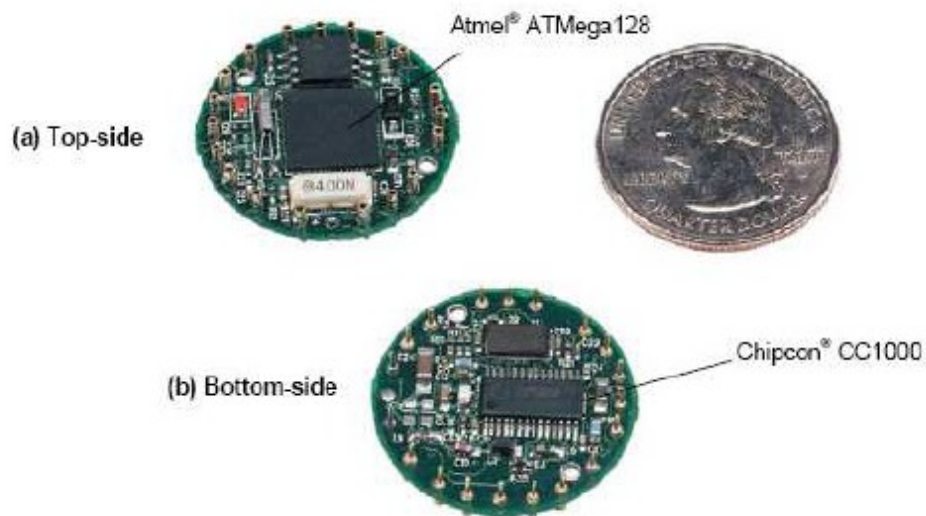
Ανάμεσα σε όλες αυτές τις πλατφόρμες , τα Berkeley motes, εξαιτίας αυτής της μικρής μορφής τους , του ελεύθερα διαθέσιμου λογισμικού τους , και της εμπορικής διαθεσιμότητας, έχουν αποκτήσει μεγάλη δημοτικότητα στην έρευνα των δικτύων αισθητήρων. Στο επόμενο τμήμα δίνουμε μια επισκόπηση των Mica motes του Berkeley.

4.1 Berkeley Motes (Crossbow)

Διάφορες εταιρίες έχουν ασχοληθεί με την παραγωγή τέτοιων πλατφόρμων. Μια από τις κύριες είναι η Crossbow η οποία παράγει τα Berkley Motes. Η Crossbow αυτή τη στιγμή παράγει 4 διαφορετικές πλατφόρμες.

- **Mica2Dot:** Η πρώτη πλατφόρμα είναι τα Mica2Dot motes. Βγήκε στην αγορά το 2002 και αποτελεί το παλαιότερο μοντέλο που παράγει αυτή τη στιγμή η Crossbow. Έχει σχεδιαστεί για εφαρμογές στις οποίες παίζει ρόλο το μέγεθος των κόμβων. Κατατάσσεται στις πλατφόρμες τρίτης γενιάς και έχει μέγεθος που δεν ξεπερνά τα 25 χιλιοστά. Το Mica2Dot mote παράγεται σε τρία διαφορετικά μοντέλα ανάλογα με τη ραδιοσυχνότητα που χρησιμοποιεί στην επικοινωνία : το MPR400(915MHz), το MPR410(433 MHz) και το MPR420 (315MHz) μοντέλο. Χρησιμοποιεί τον Chipcon CC1000, ο οποίος είναι ένας UHF RF πομποδέκτης που χρησιμοποιεί

διαμόρφωση σήματος κατά συχνότητα και μπορεί να επικοινωνεί σε ρυθμούς μέχρι 38,4 Kbaud. Όλα τα μοντέλα χρησιμοποιούν έναν ισχυρό 8-bit Atmega128L μικροελεγκτή με ταχύτητα διαύλου 4MHz. Ο Atmega128L έχει ενσωματωμένη 4Kb RAM και 128Kb ROM. Παράλληλα η συγκεκριμένη πλατφόρμα διαθέτει και 512Kb μνήμη flash για αποθήκευση εξωτερικών πληροφοριών και κώδικα. Έχει ενσωματωμένο αισθητήρα θερμοκρασίας και δυνατότητα παρακολούθησης της «ζωής» της μπαταρίας. Τέλος η συγκεκριμένη πλατφόρμα παρέχει τη δυνατότητα απομακρυσμένου ασύρματου προγραμματισμού της.



Φωτογραφία ενός Mica2Dot(MPR4x0) δίπλα σε ένα νόμισμα. Κανονικά κάθε Mica2Dot έχει μια μπαταρία 3V σε σχήμα νομίσματος τοποθετημένη στο πίσω μέρος αλλά εδώ παραλείπεται για να φανούν οι λεπτομέρειες

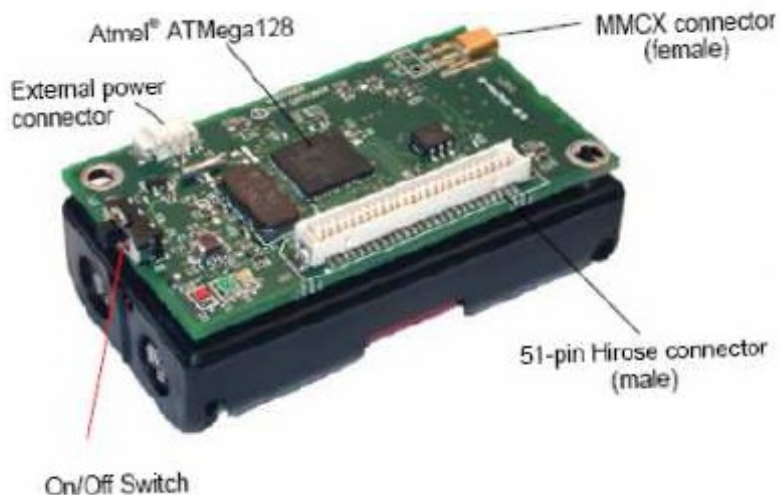
Αναλυτικότερα οι διαφορές και τα χαρακτηριστικά των 3 μοντέλων Mica2Dot φαίνονται στον παρακάτω πίνακα ανάλογα με τη συχνότητα των ραδιοπομπών τους.

Processor/Radio Board	MPR500CA	MPR510CA	MPR520CA
Processor Performance			
Program Flash Memory	128K bytes	128K bytes	128K bytes
Measurement Flash	512K bytes	512K bytes	512K bytes
Configuration EEPROM	4K bytes	4K bytes	4K bytes
Serial Communications	UART	UART	UART
Analog to Digital Converter	10 bit ADC	10 bit ADC	10 bit ADC

Other Interfaces	DIO	DIO	DIO
Current Draw	8mA	8mA	8mA
	<15uA	<15uA	<15uA
Multi-Channel Radio			
Center Frequency	868/916 MHz	433MHz	315MHz
Number of Channels	4/50	4	5
Data Rate	38,4 Kbaud	38,4 Kbaud	38,4 Kbaud
RF Power	-20 - +5 dBm	-20 - +10 dBm	-20 - +10 dBm
Receive Sensity	-98 dBm	-101 dBm	-101 dBm
Outdoor Range	500 ft	1000 ft	1000 ft
Current Draw	27 mA	25mA	25mA
	10 mA	8 mA	8 mA
	< 1 uA	< 1 uA	< 1 uA

Συγκριτικός πίνακας των τριών μοντέλων Mica2Dot.

- Mica2:** Η επόμενη πλατφόρμα της Crossbow είναι τα λεγόμενα Mica2 motes, τα οποία βγήκαν στην αγορά το 2002. Το Mica2 mote είναι μιας τρίτης γενιάς πλατφόρμα που έχει σχεδιαστεί ειδικά για δίκτυα αισθητήρων ειδικού σκοπού και χρησιμοποιείται σε χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Το Mica2 mote παράγεται σε τρία διαφορετικά μοντέλα όπως ακριβώς και το Mica2Dot : το MPR400(915MHz), το MPR410(433MHz), και το MPR420(315MHz) μοντέλο. Χρησιμοποιεί όπως και το Mica2Dot τον μεταβαλλόμενης συχνότητας πομποδέκτη Chipcon CC1000, και μπορεί να επικοινωνεί σε ρυθμούς μέχρι 38,4Kbaud. Όλα τα μοντέλα χρησιμοποιούν έναν ισχυρό 8-bit Atmega128L μικροελεγκτή με ταχύτητα διαύλου 7,37 MHz. Όπως ακριβώς στις Mica2Dot πλατφόρμες , ο Atmega128L έχει ενσωματωμένη 4Kb RAM και 128Kb ROM. Παράλληλα η συγκεκριμένη πλατφόρμα διαθέτει και 512Kb μνήμη flash για αποθήκευση πληροφοριών. Έχει χρόνο ζωής περισσότερο του ενός χρόνου με AA μπαταρίες (λειτουργώντας σε Sleep Modes) και υποδοχή για πλακέτες αισθητήρων της Crossbow (αισθητήρες φωτός, θερμοκρασίας βαρομετρικής πίεσης, επιτάχυνσης, ήχου , μαγνητικού πεδίου , υγρασίας και άλλων). Και αυτή η πλατφόρμα παρέχει δυνατότητα απομακρυσμένου ασύρματου προγραμματισμού της. Τέλος θα πρέπει να αναφέρουμε ότι οι πλατφόρμες Mica2 είναι συμβατές με τις Mica2Dot, κάτι που επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ τους και συνεπώς τον συνδυασμό τους για την δημιουργία ενός δικτύου ασύρματων αισθητήρων.



Φωτογραφία ενός Mica2(MPR4x0) χωρίς κεραία.

Αναλυτικότερα οι διαφορές και τα χαρακτηριστικά των 3 μοντέλων Mica2 φαίνονται στον παρακάτω πίνακα ανάλογα με τη συχνότητα των ραδιοπομπών τους.

Processor/Radio Board	MPR400CB	MPR410CB	MPR420CB
Processor Performance			
Program Flash Memory	128K bytes	128K bytes	128K bytes
Measurement Flash	512K bytes	512K bytes	512K bytes
Configuration EEPROM	4K bytes	4K bytes	4K bytes

Serial Communications	UART	UART	UART
Analog to Digital Converter	10 bit ADC	10 bit ADC	10 bit ADC
Other Interfaces	DIO	DIO	DIO
Current Draw	8mA	8mA	8mA
	<15uA	<15uA	<15uA
Multi-Channel Radio			
Center Frequency	868/916 MHz	433MHz	315MHz
Number of Channels	4/50	4	5
Data Rate	38,4 Kbaud	38,4 Kbaud	38,4 Kbaud
RF Power	-20 - +5 dBm	-20 - +10 dBm	-20 - +10 dBm
Receive Sensity	-98 dBm	-101 dBm	-101 dBm
Outdoor Range	500 ft	1000 ft	1000 ft
Current Draw	27 mA	25mA	25mA
	10 mA	8 mA	8 mA
	< 1 uA	< 1 uA	< 1 uA

Συγκριτικός πίνακας των τριών μοντέλων Mica2

- **Micaz** : Μια από τις τελευταίες πλατφόρμες της Crossbow είναι τα Micaz motes τα οποία βγήκαν στην αγορά το 2005. Η καινοτομία των micaz σε σχέση με τα mica2 και τα mica2dot είναι η υιοθέτηση του IEEE 802.15.4 προτύπου και των ZigBee προδιαγραφών. Κάτι που παρέχει αυτόματα μεγαλύτερη ταχύτητα μεταφοράς καθώς και ασφάλεια στις επικοινωνίες. Χρησιμοποιεί τον Chipron CC2420, ο οποίος εκπέμπει σε συχνότητα 2,4GHz και μπορεί να επικοινωνεί 250Kbps. Ο συγκεκριμένος ραδιοπομπός είναι, όπως αναφέραμε και παραπάνω. Συμβατός με τις ZigBee προδιαγραφές και

το IEEE 802.15.4 πρότυπο. Όλα τα μοντέλα χρησιμοποιούν έναν ισχυρό 8-bit Atmega128L μικροελεγκτή με ταχύτητα διαύλου 7,37 MHz που έχει ενσωματωμένη 4Kb RAM και 128Kb ROM. Παράλληλα διαθέτει 512Kb μνήμη flash για αποθήκευση πληροφοριών, όπως ακριβώς και οι δυο προηγούμενες πλατφόρμες. Έχει την ίδια υποδοχή για πλακέτες αισθητήρων της Crossbow με την Mica2 πλατφόρμα (αισθητήρες φωτός, θερμοκρασίας βαρομετρικής πίεσης, επιτάχυνσης, ήχου, μαγνητικού πεδίου, υγρασίας και άλλων). Και αυτή η πλατφόρμα παρέχει δυνατότητα απομακρυσμένου ασύρματου προγραμματισμού της.



Φωτογραφία ενός Mica2 με κεραία.

Processor/Radio Board	MPR2400CA
Processor Performance	
Program Flash Memory	128K bytes
Measurement Flash	512K bytes
Configuration EEPROM	4K bytes
Serial Communications	UART

Analog to Digital Converter	10 bit ADC
Other Interfaces	Digital V0,12C,SPI
Current Draw	8mA <15uA
RF Transceiver	
Frequency Band	2400 MHz to 2483.5 MHz
Transmit (TX) data rate	250 kbps
Adjacent channel rejection	47 dB
RF Power	-90 dBm (min), -94 dBm (typ)
Receive Sensity	-98 dBm
Outdoor Range	75m to 100m
Indoor Range	20m to 30m
Current Draw	19,7 mA 11 mA 14 uA

Πίνακας με τα χαρακτηριστικά ενός Micaz.

4.2 Telos Motes

Telos-B Η συσκευή Telos-B είναι μια open source πλατφόρμα σχεδιασμένη έτσι ώστε να επιτρέπει πειραματισμούς στην ερευνητική κοινότητα. Υποστηρίζει και αυτή, όπως και η Micaz, το IEEE 802.15.4 πρότυπο και τις ZigBee προδιαγραφές. Χρησιμοποιεί τον 16-bit TI MSP430 μικροελεγκτή της Texas Instruments, ο οποίος δουλεύει στα 8MHz και έχει 10Kb RAM και 48Kb ROM. Χρησιμοποιεί τον Chipcon CC2420, ο οποίος εκπέμπει σε συχνότητα 2,4-2,4835GHz και μπορεί να επικοινωνεί σε ρυθμούς των 250Kbps. Παράλληλα έχει εξωτερική μνήμη flash 1Mb. Η Telos-B αντίθετα με τις προηγούμενες συσκευές της Crossbow έχει ενσωματωμένη USB

υποδοχή, την οποία μπορεί κάποιος να συνδέσει απευθείας στην αντίστοιχη USB θύρα του υπολογιστή και να προγραμματίσει την συσκευή. Τέλος παράγεται σε δύο εκδοχές , μια χωρίς αισθητήρες και μια με αισθητήρες της Crossbow ενσωματωμένους.



Φωτογραφία ενός Telos-B

Processor/Radio Board	TPR2400CA
Processor Performance	
Program Flash Memory	48K bytes
Measurement Flash	1024K bytes
Configuration EEPROM	16K bytes
Serial Communications	UART
Analog to Digital Converter	12 bit ADC

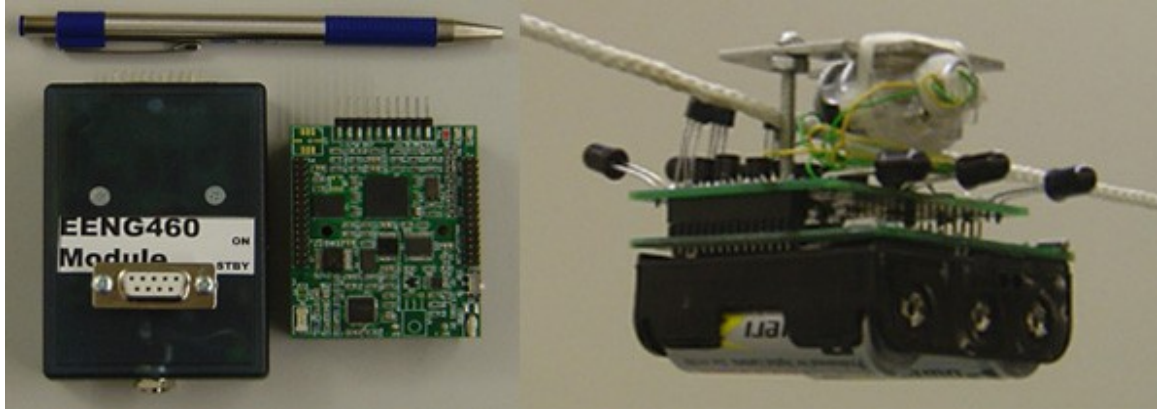
Other Interfaces	Digital I/O, 12C, SPI
Current Draw	1.8mA
	5.1uA
RF Transceiver	
Frequency Band	2400 MHz to 2483.5 MHz
Transmit (TX) data rate	250 kbps
Adjacent channel rejection	47 dB
RF Power	-90 dBm (min), -94 dBm (typ)
Receive Sensity	-98 dBm
Outdoor Range	75m to 100m
Indoor Range	20m to 30m
Current Draw	23 mA

Πίνακας με τα χαρακτηριστικά ενός Telos-B

4.3 XYZ motes

Ο κόμβος XYZ έχει σχεδιαστεί από τον OKI ML67Q500x ARM THUMB μικροεπεξεργαστή και το IEEE 802.15.4 ράδιο CC2420 από τη Chipcon. Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματά του περιλαμβάνουν την υποστήριξη δύο διαφορετικών τρόπων ύπνου της KME και έναν μακροπρόθεσμο υπερβολικά χαμηλό τρόπο ύπνου για τον ολόκληρο κόμβο. Αυτό επιτρέπει στο XYZ τη μετάβαση στο βαθύ ύπνο για εκτεταμένα χρονικά διαστήματα. Για να υποστηρίξουν έλεγχο κινητικότητας υλικού και υπολογισμούς, τα XYZ υποστηρίζουν έναν ευρύ φάσμα επιλογών δυναμικής περιοχής και δύναμης. Στη χαμηλή διαμόρφωση δύναμης ο κόμβος μοιάζει με τους υπάρχοντες μικρούς χαμηλής δύναμης κόμβους. Κινητικότητα επιτρέπεται με έναν πρόσθετο βοηθητικό πίνακα που επιτρέπει στον κόμβο κίνηση κατά μήκος μιας οριζόντιας σειράς. Ο αισθητήρας XYZ σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε στο

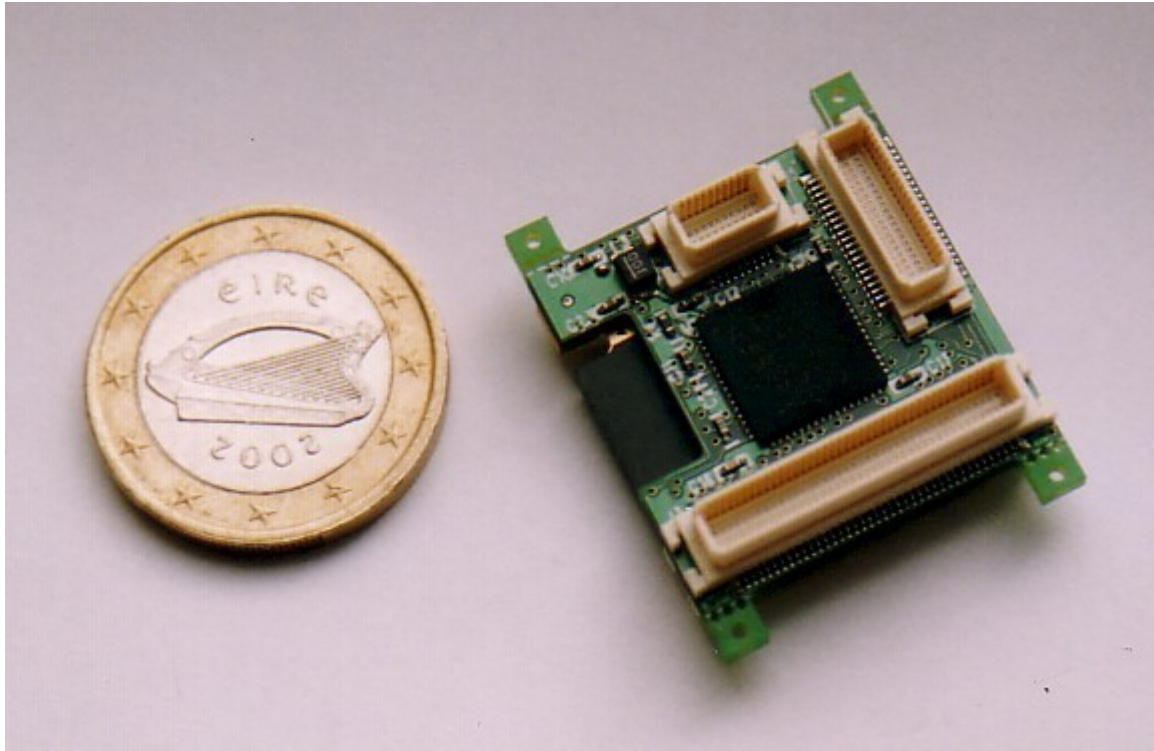
Πανεπιστήμιο του Yale στο ENALAB. Η ταχύτητα της CPU κυμαίνεται από 57.6 MHz σε 1.8MHz. Διαθέτει 32KB RAM, 256KB flash memory και 4KB boot ROM. Παίρνει ενέργεια από μπαταρίες 3 AA. Υποστηρίζεται από το SOS λειτουργικό σύστημα.



Φωτογραφία ενός XYZ mote

4.4 DSYS25 motes

Η πλατφόρμα DSYS25 είναι διαστάσεων 25mm x 25mm που αποτελείται από έναν Atmel AVR ATMEGA 128 μικροεπεξεργαστή και έναν Nordic nRF2401 πομποδέκτη. Η πρόσθετη λειτουργία, όπως η αντίληψη, προστίθεται με τη συσσώρευση των στρωμάτων στη βασική μονάδα. Μια περίληψη των βασικών χαρακτηριστικών μονάδων τονίζεται έπειτα: Ο κάθε κόμβος αποτελείται από έναν επεξεργαστή ATMEGA 128, 4 MHz και δυο σειριακές πόρτες. Η συσκευή χρησιμοποιεί ένα ραδιοφωνικό πομπό GFSK και λειτουργεί σε συχνότητες 2400 – 2524 MHz. Έχει ρυθμό μετάδοσης δεδομένων από 0 έως 1 Mbps.



Φωτογραφία ενός DSYS25 mote.

Κεφάλαιο 5

JwebDust: ένα βασισμένο στη Java Γενικό Περιβάλλον Εφαρμογής για τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

Πρόλογος

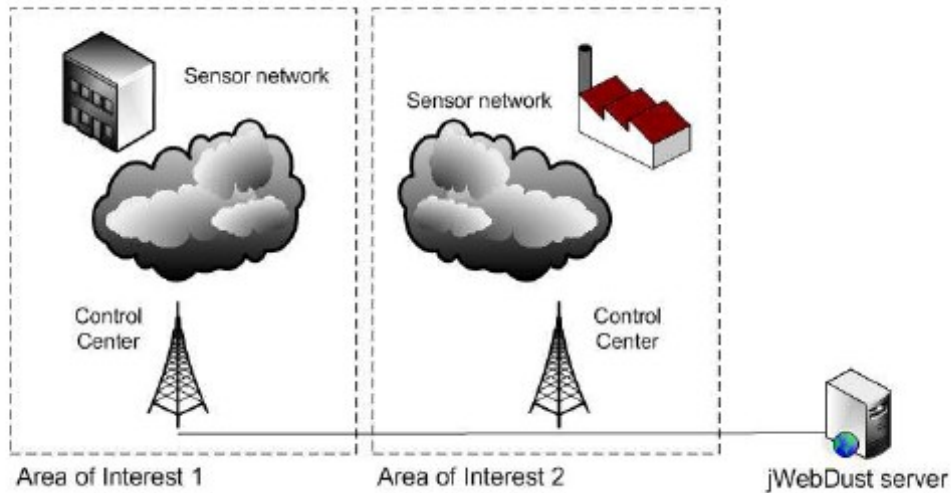
Μια άλλη πιθανή κατηγοριοποίηση των εφαρμογών για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι με βάση τη στρατηγική ανακοίνωσης των αρχών, δηλ. ο τρόπος με τον οποίο οι αρχές ενημερώνουν το ελεγκτικό κράτος. Παραδείγματος χάριν, σε ένα μουσείο, είναι σημαντικό να ενημερώνει μόνο όταν προκύπτουν καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, όπως σε μια πυρκαγιά. Από την άλλη, ο έλεγχος βιότοπων

παραδείγματος χάριν, απαιτεί συνεχή έλεγχο του φυσικού περιβάλλοντος έτσι ώστε οι πληροφορίες να συγκεντρώνονται κατά τη διάρκεια μιας μεγάλης χρονικής περιόδου. Επομένως, ανάλογα με την εφαρμογή, απαιτούνται οι ακόλουθες υπηρεσίες : (i) Periodic Sensing (οι συσκευές αισθητήρων ελέγχουν συνεχώς το φυσικό περιβάλλον και περιοδικά εκθέτουν τις μετρήσεις των αισθητήρων τους σε ένα κέντρο ελέγχου), (ii) Event driven (για να μειώσει την κατανάλωση σε ενέργεια , συσκευές αισθητήρων ελέγχει το περιβάλλον και στέλνει τις εκθέσεις μόνο όταν ορισμένα γεγονότα πραγματοποιούνται) και (iii) Query-based (οι συσκευές αισθητήρων αποκρίνονται στις ερωτήσεις που προέρχονται από ένα εποπτεύον κέντρο ελέγχου).

Λαμβάνοντας υπόψη τις ανωτέρω κατηγορίες εφαρμογών και υπηρεσιών, παρουσιάζουμε το jWebDust, ένα περιβάλλον λογισμικού που επιτρέπει την εφαρμογή των προσαρμοσμένων εφαρμογών για ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων που μπορεί (i) να παρέχει ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών, (ii) ελαχιστοποιεί τη γενική προσπάθεια εφαρμογής και (iii) μειώνει αρκετά τις ανάγκες για την διοίκηση jWebDust δικτύων και με δυνατότητα επέκτασης της εφαρμογής μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα επιλεγμένο σύνολο χαρακτηριστικών γνωρισμάτων, να τροποποιήσουμε μερικά από αυτά και να παρέχουμε νέα υπό αυτή την άποψη, το jWebDust είναι σε θέση να εξετάσει διάφορα είδη εφαρμογών (μέγεθος, λειτουργία, κ.λπ.).

Το jWebDust διαχωρίζει το σύστημα σε δυο κύριες ομάδες: τις δικτυωμένες συσκευές αισθητήρων που λειτουργούν χρησιμοποιώντας το TinyOS και το υπόλοιπο δίκτυο (π.χ κέντρα ελέγχου, βάση δεδομένων) που είναι ικανό να εκτελέσει κώδικα σε Java. Και οι δύο ομάδες του συστήματος χρησιμοποιούν μια ανοικτή αρχιτεκτονική εφαρμόζοντας την βασισμένη στα συστατικά αρχιτεκτονική. Η τυποποιημένη συστατική διεπαφή και η ανταλλαγή των στοιχείων με τα ευρέως χρησιμοποιημένα πρωτόκολλα παρέχουν την αυξανόμενη φορητότητα. Αυτό υπονοεί ότι το σύστημα μπορεί χρησιμοποιείται στις διαφορετικές αρχιτεκτονικές μηχανών καθώς επίσης και στις τεχνολογίες OS και κεντρικών υπολογιστών.

Καθορίζουμε και εφαρμόζουμε την Mote Discovery Service που μειώνει σημαντικά τη συνολική διοίκηση δικτύων που απαιτείται στις εφαρμογές για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Πιο συγκεκριμένα, αυτή η νέα υπηρεσία παρακολουθεί τα motes που συμμετέχουν στο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους (π.χ. τύποι αισθητήρων που συνδέονται με κάθε συσκευή, διαθέσιμη ενέργεια, κ.λπ.). Κατά τη διάρκεια της φάσης οργάνωσης του δικτύου, τα motes επικοινωνούν με το κέντρο ελέγχου του δικτύου και καταχωρούνται στη βάση δεδομένων του jWebDust χωρίς περαιτέρω ανθρώπινη αλληλεπίδραση. Από αυτή την άποψη, ο χρόνος που απαιτείται από τον administrator για να καταχωρηθούν οι συσκευές που αποτελούν το δίκτυο και τα χαρακτηριστικά υλικού τους μειώνεται πολύ, ειδικά στην περίπτωση όπου το δίκτυο αποτελείται από ετερογενείς συσκευές. Επίσης, σε μερικές περιπτώσεις, είναι πιθανό να ανακατανεμηθούν επιπλέον motes με σκοπό να επιμηκύνουν την διάρκεια ζωής του δικτύου ή/ και να αυξήσουν την περιοχή επιτήρησης ενώ το δίκτυο είναι σε λειτουργία. Σε τέτοιες περιπτώσεις, βελτιώνεται η *εξελιξιμότητα* των εφαρμογών που είναι βασισμένες στο jWebDust, εφόσον η ανάγκη για την διοίκηση του δικτύου είναι απρόσβλητη καθώς το μέγεθος των δικτύων αισθητήρων αυξάνεται.

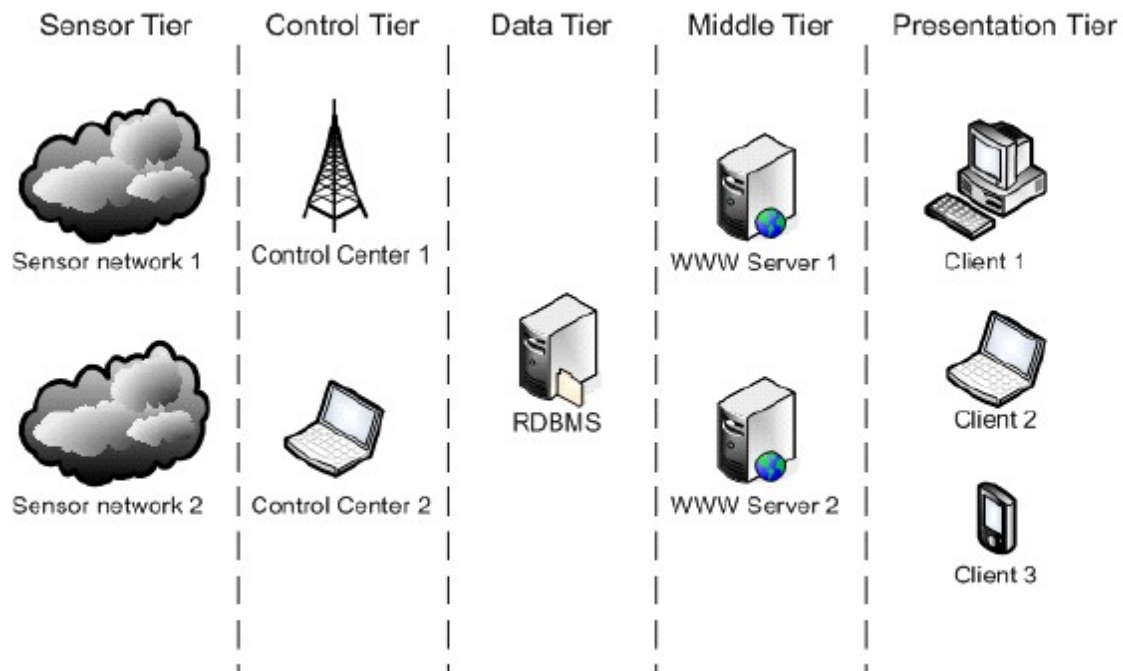


Εικόνα 1

Ένα ευδιάκριτο χαρακτηριστικό γνώρισμα του jWebDust είναι η δυνατότητά του να διαχειριστεί ένα πολλαπλό ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, κάθε ένα με ένα διαφορετικό κέντρο ελέγχου, υπό κοινή εγκατάσταση (π.χ. δείτε εικόνα 1) . Αυτό γίνεται με την εισαγωγή της έννοιας ενός ιδεατού δικτύου αισθητήρων που κάπως, κρύβει την πραγματική τοπολογία δικτύων και επιτρέπει στο χρήστη να ελέγξει τα nodes σαν αυτά να επεκτάθηκαν κάτω από έναν ενιαίο, δίκτυο αισθητήρων. Αυτή η αφαίρεση μειώνει θεαματικά τα γενικά έξοδα της διαχείρισης των πολλαπλών δικτύων. Επιπλέον, η ιδέα του ενοποιημένου ιδεατού δικτύου αισθητήρων επιτρέπει την ολοκλήρωση του συνολικά ετερογενούς αισθητήρα με τα δίκτυα, δηλ. όχι μόνο σχετικά με το διαφορετικό είδος αισθητήρων που συνδέθηκαν με τα nodes του δικτύου, αλλά και το διαφορετικό είδος αρχιτεκτονικών CPU και μονάδων επικοινωνίας.

Στο jWebDust , οι πληροφορίες που συλλέγονται στο κέντρο ελέγχου από κάθε δίκτυο αισθητήρων που λειτουργεί αποθηκεύεται σε μια ενιαία, κεντρική, σχεσιακή βάση δεδομένων. Με βάση αυτήν την βάση δεδομένων ο κεντρικός υπολογιστής, του jWebDust παρέχει ένα *web-based , user-friendly interface* το οποίο στοχεύει και στα δυο επιστημονικό καθώς επίσης και άλλο λιγότερο τεχνικά-εκπαιδευμένο προσωπικό. Αυτή η διεπαφή με τον χρήστη είναι προσαρμοσμένη και επιτρέπει στο σχεδιαστή να παρουσιάσει τις πληροφορίες με τους διαφορετικούς τρόπους και προσφέρει στατιστικές με δυνατότητα επέκτασης βασισμένες στις ανάγκες της εφαρμογής.

Η βασισμένη στα συστατικά αρχιτεκτονική που χρησιμοποιείται στο σχεδιασμό jWebDust παρέχει υψηλή προσαρμοστικότητα. Το υπό ανάπτυξη λογισμικό παρέχει μια ανοικτή διεπαφή η οποία προσθέτει στη λειτουργία και μπορεί να εφαρμοστεί και να ενσωματωθεί σε μεταγενέστερα στάδια, πιθανώς πραγματοποιημένα από τον τελικό χρήστη της εφαρμογής.



Το jWebDust σχεδιάζεται σε μια βασισμένη στα συστατικά αρχιτεκτονική με τους διάφορους και διαφορετικούς στόχους ως οδηγούς που υπογραμμίζουν την αυτονομία, την αξιοπιστία, και τη διαθεσιμότητα. Σε ένα υψηλό επίπεδο, τα συστατικά του jWebDust οργανώνονται, χρησιμοποιώντας το μοντέλο εφαρμογών N-επιπέδων. Με τον όρο αυτό εννοούμε το μοντέλο στο οποίο χωρίζουμε μια εφαρμογή σε επιμέρους επίπεδα (tiers), τα οποία επικοινωνούν μεταξύ τους με έναν καλά ορισμένο τρόπο και τους έχουν ανατεθεί συγκεκριμένες λειτουργίες. Στην περίπτωση του jWebDust χρησιμοποιούμε μια αρχιτεκτονική 5 επιπέδων.

Τα επίπεδα αυτά είναι τα εξής:

1. Το επίπεδο των αισθητήρων (Sensor Tier), το οποίο αποτελείται από τα δίκτυα αισθητήρων τα οποία διαχειρίζεται το jWebDust.
2. Το επίπεδο ελέγχου (Control Tier) ,το οποίο αποτελείται από τα κέντρα ελέγχου για κάθε ασύρματο δίκτυο αισθητήρων.
3. Το επίπεδο πληροφορίας (Data Tier) , το οποίο αποτελείται από μια βάση δεδομένων στην οποία αποθηκεύονται όλες οι πληροφορίες του συστήματος
4. Το ενδιάμεσο επίπεδο (Middle Tier) το οποίο χρησιμεύει για την επεξεργασία της πληροφορίας που περιέχεται στη βάση δεδομένων και παράλληλα παρέχει ένα interface στα υπόλοιπα επίπεδα, ώστε να έχουν πρόσβαση στη βάση δεδομένων.
5. Το επίπεδο παρουσίασης (Presentation Tier), το οποίο είναι το interface του συστήματος με τον τελικό χρήστη.

Εκτός από την διάκριση σε 5 επίπεδα , υπάρχει και μια επιπρόσθετη διάκριση των τμημάτων του jWebDust σε δυο ομάδες. Τα motes, τα οποία χρησιμοποιούν το TinyOS ως λειτουργικό σύστημα και το υπόλοιπο σύστημα (π.χ. κέντρο ελέγχου, βάση δεδομένων, application server, κτλ) το οποίο έχει τη δυνατότητα να εκτελέσει κώδικα γραμμένο σε Java.

Και οι δυο αυτές ομάδες χρησιμοποιούν σε μεγάλο βαθμό λογισμικό που έχει ήδη δοκιμαστεί τοιούτοτρόπως, οι οποίες από τη μια βοηθούν στην καλύτερη αξιοπιστία

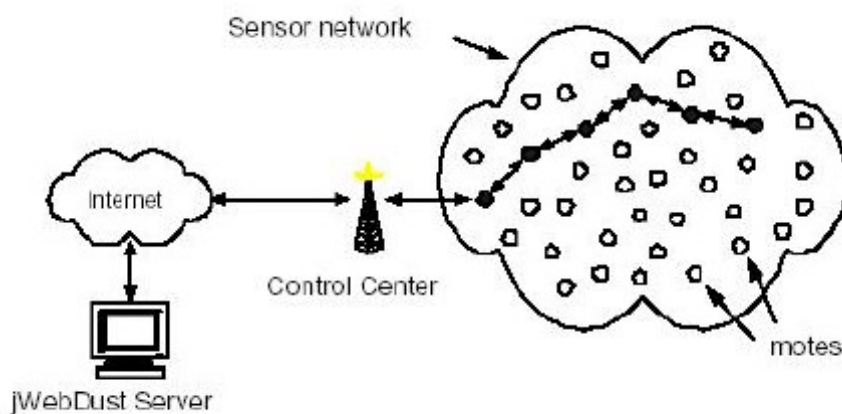
του όλου συστήματος, και από την άλλη βοηθούν στην απαίτηση για προσαρμοστικότητα. Με άλλα λόγια, για το μέρος του συστήματος που τρέχει κώδικα σε Java, μπορούμε να υλοποιήσουμε κάθε επιμέρους επίπεδο με όποια αρχιτεκτονική και υποσύστημα θέλουμε.

Σε αυτό βοηθά και η οργάνωση του συστήματος σε επίπεδα. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει σαφής διαχωρισμός των λειτουργιών του συστήματος και ορισμός του επιπέδου στο οποίο αντιστοιχεί κάθε τέτοια λειτουργία. Παράλληλα υπάρχει ένα καλά ορισμένο interface με το οποίο κάθε επίπεδο επικοινωνεί με τα υπόλοιπα. Επιπλέον όταν χρειαστεί να γίνει κάποια αλλαγή σε ένα ορισμένο επίπεδο, αυτή θα περιοριστεί μόνο στο συγκεκριμένο επίπεδο, χωρίς να επηρεάσει την υλοποίηση και τη λειτουργία των άλλων επιπέδων.

5.1 Το επίπεδο αισθητήρων (Sensor Tier)

Το επίπεδο αισθητήρων αποτελείται από τα motes που τοποθετούνται μέσα στο πεδίο που ενδιαφερόμαστε να εποπτεύσουμε, μαζί με το λογισμικό που τρέχουν οι συσκευές αυτές και τα σχετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας. Καθένα από αυτά τα motes φέρει ένα πλήθος αισθητήρων και έναν πομποδέκτη για την επικοινωνία με τα άλλα motes. Οι συσκευές αυτές στο σύνολό τους χρησιμοποιούν ασύρματη ραδιοεπικοινωνία.

Η κεντρική ιδέα στη λειτουργία αυτού του επιπέδου είναι ότι καθένα από τα motes, καθοδηγούμενο από κάποιο κέντρο ελέγχου, δειγματοληπτεί με κάποια συχνότητα το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται με τους αισθητήρες του. Κατόπιν, βάση κάποιων κριτηρίων αποφασίζει αν θα στείλει αναφορά για τη δραστηριότητα που ανιχνεύει πίσω στο κέντρο ελέγχου. Η προώθηση της πληροφορίας προς το κέντρο ελέγχου γίνεται σε συνεργασία με τα υπόλοιπα motes του δικτύου, μέσω διαδοχικών προωθήσεων από το ένα mote στο άλλο (multihop forwarding). Αυτή η λειτουργία είναι εφικτή μέσω της χρήσης ενός multihop πρωτοκόλλου δρομολόγησης. Όταν φτάσει στο κέντρο ελέγχου η πληροφορία μπορεί να αξιοποιηθεί περαιτέρω.



Σχήμα 3

Το λογισμικό που εκτελούν τα motes βασίζεται στο λειτουργικό σύστημα TinyOS και χρησιμοποιεί τις βιβλιοθήκες του για να υλοποιήσει την στοίβα πρωτοκόλλων του jWebDust. Η στοίβα πρωτοκόλλων του jWebDust φαίνεται στο σχήμα 3 και

περιλαμβάνει τα επίπεδα εφαρμογής, μεταφοράς και δικτύου (application, transport και network layer). Το λογισμικό του κάθε mote υλοποιεί έναν tree based multihop αλγόριθμο δρομολόγησης, ο οποίος περιλαμβάνεται στην επίσημη διανομή του TinyOS, με κάποιες προσθήκες.

Με τον όρο query εννοούμε ένα σύνολο από οδηγίες από τον χρήστη προς τους κόμβους του δικτύου για το πώς και πότε θα δειγματοληπτούν το περιβάλλον, με ποιους αισθητήρες θα παίρνουν τα δείγματα αυτά, μαζί με κάποιες συνθήκες για τον τρόπο με τον οποίο θα στέλνουν αναφορές πίσω στο κέντρο ελέγχου με τα δείγματα από τις μετρήσεις που έχουν γίνει.

Γενικά μπορούμε να ταξινομήσουμε τα query που μπορεί κάποιος να στείλει σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων χρησιμοποιώντας δυο κριτήρια, δηλαδή (i) τους κόμβους στους οποίους απευθύνονται, και (ii) τον τρόπο με τον οποίο στέλνουν αναφορές στο κέντρο ελέγχου του δικτύου. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τα mote-specific και τα attribute-based query, ενώ η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τα periodic sensing και τα event-driven query.

Όσον αφορά τα Mote-based query, απευθύνονται σε συγκεκριμένους κόμβους, με βάση το ID του κάθε κόμβου. Παράδειγμα ενός τέτοιου περιορισμού είναι το εξής: «Δώσε μου τη θερμοκρασία από το mote με ID 5». Τα attribute-based queries αντίθετα, δεν απευθύνονται σε συγκεκριμένα query αλλά σε ολόκληρο το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων. Σε αυτήν την περίπτωση, μόνο οι κόμβοι που ικανοποιούν κάποια συνθήκη θα απαντήσουν σε ένα τέτοιο query. Παράδειγμα ενός τέτοιου περιορισμού είναι το «δώσε μου τις μετρήσεις θερμοκρασίας από όλους τους κόμβους που έχουν μετρήσει φως πάνω από 200 μονάδες».

Προφανώς, μαζί με τους περιορισμούς με τους οποίους επιλέγουμε ποιοι κόμβοι του δικτύου θα εκτελέσουν κάποιο query, χρειαζόμαστε και χρονικούς περιορισμούς για το πότε πρέπει να αρχίσει και να σταματήσει η εκτέλεση του query. Τα periodic-update queries εισάγουν επιπλέον περιορισμούς, σε σχέση με το πότε στέλνονται αναφορές στο κέντρο ελέγχου του δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, ορίζουν ένα χρονικό διάστημα με βάση το οποίο στέλνονται οι αναφορές στο κέντρο ελέγχου. Παράδειγμα τέτοιου περιορισμού είναι το «δώσε μου τις μετρήσεις θερμοκρασίας κάθε 10 δευτερόλεπτα». Τα event driven queries αντί να εισάγουν τέτοια χρονικά κριτήρια χρησιμοποιούν την έννοια του γεγονότος για να καθορίζουν το πότε θα σταλεί αναφορά στο κέντρο ελέγχου. Παράδειγμα τέτοιου περιορισμού είναι το «όταν η θερμοκρασία αγγίξει τους 100⁰ C».

Η υλοποίηση του επιπέδου αισθητήρων αφορά τη λειτουργία μερικών πρωτοκόλλων επικοινωνίας με το κέντρο ελέγχου, τα οποία αφορούν τις εξής λειτουργίες.

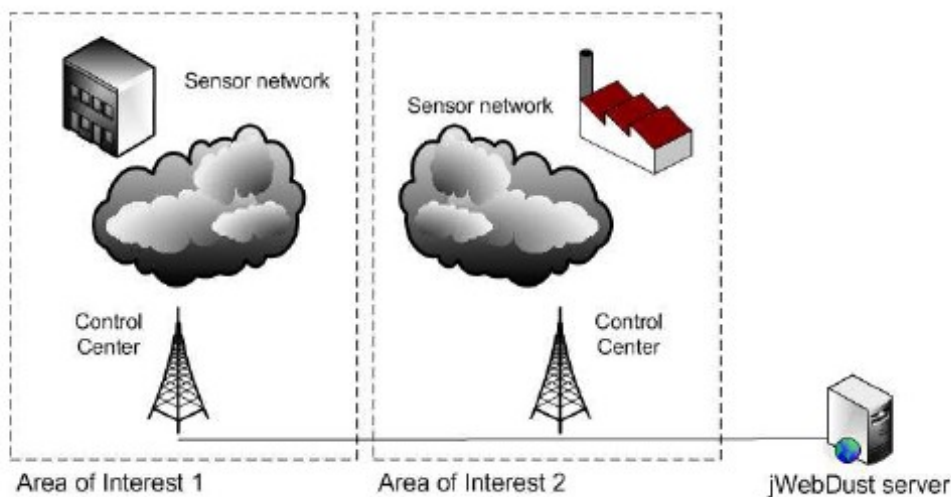
1. Διανομή queries από το κέντρο ελέγχου στα motes: το πρωτόκολλο καθορίζει τα είδη και το format των μηνυμάτων που στέλνονται από το κέντρο ελέγχου στα motes για να δηλώσουν τα queries που ορίζει ο χρήστης του συστήματος.
2. Αποστολή αναφορών από τα προς το κέντρο ελέγχου: το πρωτόκολλο καθορίζει τα είδη και το format των μηνυμάτων που στέλνονται από τα motes στο κέντρο ελέγχου ως απάντηση στα queries του χρήστη.
3. Πρωτόκολλο δήλωσης motes: τα motes χρησιμοποιούν έναν απλό πρωτόκολλο για να δηλώσουν στο κέντρο ελέγχου τον τύπο τους, καθώς και τους αισθητήρες που διαθέτουν.
4. Χρονικός συγχρονισμός: κάθε mote διαθέτει ένα ρολόι συστήματος για να καταγράφει την ακριβή ώρα που παίρνει μετρήσεις. Το ρολόι αυτό πρέπει να είναι συγχρονισμένο με το αντίστοιχο ρολόι του κέντρου ελέγχου.

5. Αναφορά κατάστασης mote: επιθυμούμε να γνωρίζουμε αν κάποιο mote είναι ακόμα ενεργό, αν έχει εξαντλήσει τα αποθέματα ενέργειας του, κτλ. Ένα απλό πρωτόκολλο φροντίζει για αυτά τα θέματα.
6. Μεταβολή εμβέλειας μετάδοσης: ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στο δίκτυο, το κάθε mote ενδέχεται να αποφασίσει να αλλάξει την εμβέλεια μετάδοσής του.

5.2 Το επίπεδο ελέγχου (Control Tier)

Το επίπεδο ελέγχου αποτελείται από τα κέντρα ελέγχου για το κάθε ασύρματο δίκτυο αισθητήρων. Τα κέντρα ελέγχου ενεργούν ως πύλες (gateways) μεταξύ του επιπέδου αισθητήρων και των υπόλοιπων επιπέδων, δηλαδή του δικτύου έξυπνης σκόνης και του υπόλοιπου κόσμου. Τα καθήκοντα ενός κέντρου ελέγχου συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Προώθηση των queries που θέλει να κάνει ο χρήστης στο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, στο επίπεδο αισθητήρων.
- Προώθηση των μετρήσεων που έρχονται από το επίπεδο αισθητήρων ως απάντηση στα queries που έχουν σταλεί στο δίκτυο, προς το επίπεδο πληροφορίας (Data Tier). Στην πραγματικότητα, δεν προωθούνται άμεσα στο επίπεδο πληροφορίας, αλλά μεσολαβεί το Ενδιάμεσο επίπεδο (Middle Tier) για την ενημέρωση της βάσης δεδομένων του συστήματος.
- Διαχείριση του ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Με άλλα λόγια σημαίνει την υλοποίηση του μέρους του κέντρου ελέγχου όσον αφορά τις διαδικασίες χρονικού συγχρονισμού των motes, δήλωσής τους, αναφορών της κατάστασής τους, κτλ.



Ένα κέντρο ελέγχου αποτελείται από ένα PC (laptop) και ένα mote συνδεδεμένο με αυτό. Το PC διατηρεί μια δικτυακή σύνδεση σε μια βάση δεδομένων, η οποία αποτελεί στην ουσία το επίπεδο πληροφορίας. Προφανώς, η βάση δεδομένων μπορεί να βρίσκεται στο ίδιο PC με το κέντρο ελέγχου εάν το επιθυμεί ο χρήστης. Το προσαρτημένο mote χρησιμεύει για την επικοινωνία με τα motes του επιπέδου των αισθητήρων και απλά προωθεί μηνύματα από και προς το κέντρο ελέγχου.

Ένα χρήσιμο και σημαντικό χαρακτηριστικό του επιπέδου ελέγχου του jWebDust είναι ότι επιτρέπει την λειτουργία του ακόμα και στην περίπτωση που διακοπεί για κάποιο σύντομο χρονικό διάστημα η σύνδεση με το επίπεδο πληροφορίας. Αυτό είναι εφικτό μέσω δυο μηχανισμών: Η προώθηση των queries στο επίπεδο αισθητήρων δεν γίνεται με την απευθείας αποστολή τους από το επίπεδο πληροφορίας στα κέντρα ελέγχου, αλλά μέσω περιοδικών ερωτήσεων από τα κέντρα ελέγχου στο επίπεδο πληροφορίας του συστήματος για νέα queries. Αν υπάρχουν τέτοια, θα ληφθούν από το κέντρο ελέγχου και θα προωθηθούν μέσω του προσαρμοσμένου mote προς το επίπεδο αισθητήρων. Αν δεν είναι εφικτή η σύνδεση του κέντρου ελέγχου με το επίπεδο πληροφορίας, θα επαναληφθεί η διαδικασία ερωτήσεων μετά από κάποιο χρονικό διάστημα. Σύμφωνα με τον δεύτερο μηχανισμό, το κέντρο ελέγχου διαθέτει έναν buffer για να αποθηκεύει τις μετρήσεις που έρχονται από το επίπεδο αισθητήρων στην περίπτωση που δεν είναι εφικτή η σύνδεση με το επίπεδο πληροφορίας. Όταν επανέλθει η σύνδεση, τότε θα προωθηθούν και οι μετρήσεις.

Η σημασία του χαρακτηριστικού αυτού οφείλεται στο γεγονός ότι το κέντρο ελέγχου μπορεί να συνδέεται ασύρματα με τα υπόλοιπα επίπεδα του συστήματος, το οποίο με τη σειρά του εμπεριέχει την πιθανότητα πρόσκαιρων διακοπών στη σύνδεση μαζί τους.

Τέλος ένα χαρακτηριστικό του επιπέδου ελέγχου του jWebDust που το διαφοροποιεί σε σχέση με τα υπόλοιπα συστήματα για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, είναι η δυνατότητα διαχείρισης πολλαπλών δικτύων μέσω των αντίστοιχων πολλαπλών κέντρων ελέγχου (ένα για το κάθε δίκτυο). Μέσω του συστήματος ο τελικός χρήστης βλέπει όλα τα δίκτυα έξυπνης σκόνης ως ένα ενιαίο «εικονικό» δίκτυο. Για κάθε δίκτυο έξυπνης σκόνης και το αντίστοιχο κέντρο ελέγχου υπάρχει ένα μοναδικό ID, οπότε με αυτόν τον τρόπο μπορεί το σύστημα να ξεχωρίζει ποια motes ανήκουν σε ποιο δίκτυο, να αποθηκεύει σωστά τις μετρήσεις από motes με το ίδιο ID αλλά από διαφορετικά δίκτυα.

5.3 Το επίπεδο πληροφορίας (Data Tier)

Το επίπεδο πληροφορίας είναι το μέρος όπου το σύστημα αποθηκεύει όλη την πληροφορία που απαιτείται για τη λειτουργία του ως σύνολο. Ουσιαστικά αποτελείται από μια σχεσιακή βάση δεδομένων, η οποία περιέχει έναν αριθμό από πίνακες, ο ορισμός των οποίων ικανοποιεί ένα σχεσιακό σχήμα για το jWebDust. Το σχήμα της βάσης του jWebDust είναι γραμμένο σε ANSI SQL, οπότε αυτόματα μπορεί να μεταφερθεί σε οποιαδήποτε βάση δεδομένων.

Οι πληροφορίες που χρειάζεται να αποθηκευτούν στο επίπεδο πληροφορίας είναι σχετικές: Με τα queries που θέλουμε να σταλούν στο δίκτυο έξυπνης σκόνης. Με τους τύπους των motes και των αισθητήρων που μπορούν να υπάρξουν μέσα στο δίκτυο έξυπνης σκόνης που διαχειριζόμαστε με το jWebDust. Με το πλήθος και τους τύπους των motes και των αισθητήρων που υπάρχουν μέσα σε αυτό το δίκτυο έξυπνης σκόνης. Με δεδομένα σχετικά με τη διαχείριση του δικτύου, όπως πότε έστειλε δεδομένα κάποιος συγκεκριμένος κόμβος για τελευταία φορά. Με τις μετρήσεις που στέλνουν τα motes ως απάντηση στα queries που έχει υποβάλλει ο χρήστης του συστήματος.

Από τη μια μεριά, η συμβολή του επιπέδου πληροφορίας είναι καθοριστική για τη λειτουργία του συστήματος, αφού στην ουσία καθορίζει τις δυνατότητές του. Είναι το σημείο που συναντιούνται.

Από την άλλη, το επίπεδο πληροφορίας δεν διεκπεραιώνει κάποια καθήκοντα, όπως ίσως θα περίμενε ο χρήστης του συστήματος, τα οποία έχουν ανατεθεί σε άλλα επίπεδα. Αυτά τα καθήκοντα περιλαμβάνουν την προώθηση queries από και προς το επίπεδο ελέγχου και την μετατροπή των δεδομένων που περιέχονται στις μετρήσεις των notes σε μονάδες κατανοητές στον τελικό χρήστη, καθήκον το οποίο έχει αναλάβει το ενδιάμεσο επίπεδο.

Το σχεσιακό σχήμα της βάσης δεδομένων αποτελείται από 10 πίνακες, οι οποίοι μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με τη λειτουργία την οποία υπηρετούν:

1. Σχετικά με τα notes: αυτοί οι πίνακες περιέχουν πληροφορίες για τους τύπους notes και αισθητήρων που μπορούν να υπάρχουν μέσα στο δίκτυο, τα notes που υπάρχουν μέσα στο δίκτυο, τα δίκτυα έξυπνης σκόνης που διαχειρίζεται το σύστημα, τους αισθητήρες του κάθε mote και το δίκτυο στο οποίο ανήκει.
2. Σχετικά με τα queries: αυτοί οι πίνακες περιέχουν τους τύπους query που μπορεί ο χρήστης να υποβάλλει στο σύστημα (και κατ'επέκταση στο δίκτυο έξυπνης σκόνης), τα queries που έχει ήδη υποβάλλει, τα notes και τους αισθητήρες τους οποίους αφορούν.
3. Σχετικά με τις μετρήσεις από το δίκτυο έξυπνης σκόνης: αποθηκεύονται οι μετρήσεις που παίρνουμε από το δίκτυο έξυπνης σκόνης για να μπορούμε να τις ανακτήσουμε και επεξεργαστούμε αργότερα.

Η διαχείριση όλων αυτών των πινάκων γίνεται μέσω του interface που προσφέρει το ενδιάμεσο επίπεδο, όπως εξηγείται στην επόμενη ενότητα, οπότε ο τελικός χρήστης δε χρειάζεται να προγραμματίσει ή να ασχοληθεί με την SQL.

5.4 Το ενδιάμεσο επίπεδο (Middle Tier)

Το ενδιάμεσο επίπεδο είναι αυτό το οποίο υλοποιεί τη λογική που ενώνει όλα τα υπόλοιπα επίπεδα σε ένα σύστημα. Το βασικό καθήκον του επιπέδου αυτού, όπως φανερώνει το όνομά του, είναι να προσφέρει ένα interface με το οποίο να αλληλεπιδρούν τα άλλα επίπεδα με το επίπεδο πληροφορίας, και πιο συγκεκριμένα, το επίπεδο ελέγχου και το επίπεδο παρουσίασης με τη βάση δεδομένων.

Το επίπεδο ελέγχου παραδίδει τις μετρήσεις από το επίπεδο αισθητήρων στο ενδιάμεσο επίπεδο και δεν νοιάζεται για το πώς θα αποθηκευθούν στη βάση δεδομένων. Το επίπεδο παρουσίασης προμηθεύεται δεδομένα από τη βάση χωρίς να νοιάζεται για τις λεπτομέρειες της μετατροπής τους σε μονάδες καταληπτές από το χρήστη ή για το πώς υλοποιούνται προσθήκες και γενικά αλλαγές στο σύστημα.

Το ενδιάμεσο επίπεδο αποτελείται από κάποιες συνιστώσες λογισμικού (Java servlets), οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν ως αυτόνομες εφαρμογές, και οι οποίες εκτελούνται σε έναν application server. Καθένα από τα servlets έχει αυστηρά καθορισμένη λειτουργία και εκτελούνται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο, με σκοπό να επεξεργαστούν δεδομένα που περιέχονται στο επίπεδο πληροφορίας και να

παράγουν κάποιο output (όπως, μια σελίδα HTML με μετρήσεις από το δίκτυο έξυπνης σκόνης).

Ένας application server είναι ένας web server , ο οποίος έχει την ικανότητα να εκτελεί κώδικα γραμμένο σε Java. Η υλοποίηση του ενδιάμεσου επιπέδου με servlets έχει ως αποτέλεσμα τον καλύτερο ορισμό των υπηρεσιών που προσφέρει και την καλύτερη κατανομή του φόρτου εργασίας του επιπέδου συνολικά. Επίσης , το επίπεδο παρουσίασης μπορεί με τον τρόπο αυτό να λειτουργεί παράλληλα και ανεξάρτητα από το ενδιάμεσο επίπεδο.

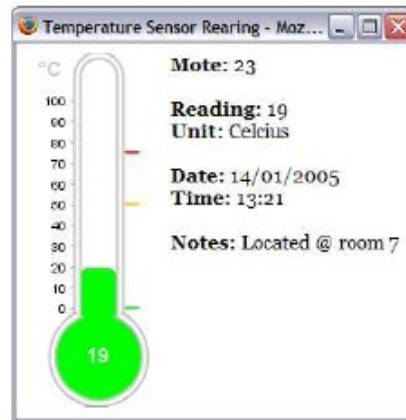
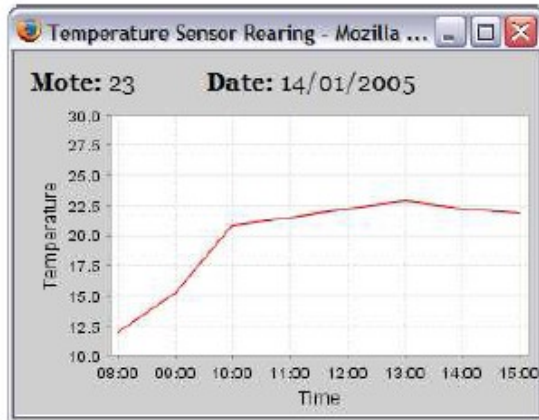
Ο κώδικας για το ενδιάμεσο επίπεδο βασίζεται από τη μια στους πίνακες που περιέχονται στη βάση δεδομένων του συστήματος και από την άλλη στη λειτουργικότητα που θέλουμε να υλοποιήσουμε στο κάθε επίπεδο. Με άλλα λόγια, υπάρχουν κλάσεις που αντιστοιχούν στους πίνακες που περιέχονται στη βάση, άλλες κλάσεις που αναλαμβάνουν την διασύνδεση με τη βάση μέσω των προηγούμενων κλάσεων. Η διαχείριση παρόμοιων τύπων γίνεται από μία κλάση για τους τύπους αυτούς, π.χ. υπάρχει μια κλάση για τη διαχείριση των τύπων (notes, αισθητήρων, queries,κτλ) συνολικά. Τα servlet που υλοποιούν το interface με τα άλλα επίπεδα παρέχουν ένα καλά ορισμένο μεθόδων για το σκοπό αυτό. Όλες αυτές οι μέθοδοι δέχονται παραμέτρους από το επίπεδο παρουσίασης και το επίπεδο ελέγχου. Εφόσον το interface είναι ορισμένο, είναι δυνατόν να υπάρξουν αλλαγές στην υλοποίηση του ενδιάμεσου επιπέδου, χωρίς να υπάρξουν αλλαγές στα υπόλοιπα επίπεδα.

Ένα επιπρόσθετο όφελος από την αρχιτεκτονική του ενδιάμεσου επιπέδου είναι το ακόλουθο. Αν είχε ακολουθηθεί μια προσεγγίσει στην οποία θα υπήρχε μόνο μια συνιστώσα λογισμικού για να αναλάβει όλη τη λειτουργικότητα του επιπέδου στην περίπτωση που θέλαμε να αλλάξουμε π.χ. το χρώμα που εμφανίζεται στο background ενός πίνακα κατόπιν κάποιας αίτησης από το επίπεδο παρουσίασης, θα έπρεπε να μεταγλωττίσουμε ξανά τον κώδικα για όλο το επίπεδο. Αντίθετα, στην παρούσα αρχιτεκτονική τέτοιες αλλαγές αφορούν μικρό μέρος του κώδικα , και πιο συγκεκριμένα κάποιο servlet το οποίο υλοποιεί τη λογική για τη συγκεκριμένη λειτουργία, οπότε απαιτείται να μεταγλωττίσουμε ξανά μόνο το συγκεκριμένο servlet.

5.5 Το επίπεδο παρουσίασης (Presentation Tier)

Το επίπεδο παρουσίασης είναι το interface με τον τελικό χρήστη και είναι το επίπεδο του συστήματος με το οποίο θα χρειαστεί να αλληλεπιδράσουν οι τελικοί χρήστες ως επί το πλείστον έπειτα από την έναρξη λειτουργίας του. Το επίπεδο παρουσίασης μπορεί να υλοποιηθεί κατά πολλούς διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με το περιβάλλον του τελικού χρήστη. Χρησιμοποιούνται οι όροι rich και thin client, ανάλογα με τις δυνατότητες του περιβάλλοντος του χρήστη. Ως rich client μπορεί να χαρακτηριστεί ο web browser ενός PC, ενώ ως thin client ο browser ενός κινητού τηλεφώνου.

Ένα από τα χαρακτηριστικά του επιπέδου παρουσίασης του jWebDust είναι η χρήση portlets για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων από το δίκτυο. Τα portlet προσφέρουν στον τελικό χρήστη τη δυνατότητα να δημιουργήσει ο ίδιος το interface με το οποίο θα χειρίζεται το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων του.



Συμπεράσματα

Έχουμε παρουσιάσει την αρχιτεκτονική των κύριων συστατικών του jWebDust, και συζητήσαμε διάφορα ευδιάκριτα χαρακτηριστικά γνωρίσματα μαζί με την εφαρμογή και τη λειτουργία τους.

Τα κύρια πλεονεκτήματα του jWebDust είναι:

1. Παρέχει ένα περιβάλλον για το πακετάρισμα και τη διαχείριση ενός μεγάλου αριθμού χαμηλού επιπέδου πρωτοκόλλων με την ελάχιστη προσπάθεια εφαρμογής και διοίκησης.
2. Επιτρέπει να εφαρμοστεί μια νέα λειτουργία που μπορεί να ενσωματωθεί εύκολα στην υπόλοιπη αρχιτεκτονική σε όλα τα επίπεδα της ιεραρχίας (δηλ. επίπεδο αισθητήρων, κεντρικό επίπεδο ελέγχου, επίπεδο βάσεων δεδομένων, user-interface επίπεδο) για να ανταποκριθεί καλύτερα στις ανάγκες εφαρμογής.
3. Υποστηρίζει πολλαπλά/ χωριστά δίκτυα αισθητήρων (δηλ. φυσικά χωρισμένα) με πολλαπλά/ χωριστά κέντρα ελέγχου και επιτρέπει να χειριστούν ως ένα ενιαίο εικονικό δίκτυο αισθητήρων, ακόμα κι αν περισσότεροι από ένας αισθητήρες μοιράζονται το ίδιο ID..
4. Τα δίκτυα αισθητήρων αποτελούνται από συσκευές με ετερογενή χαρακτηριστικά. Τα πραγματικά δίκτυα αισθητήρων είναι σπάνια ομοιογενή.
5. Υποστηρίζει αποσυνδεδεμένα/ κινητά κέντρα ελέγχου με τη λήψη ειδικής προσοχής των μακροχρόνιων αποσυνδέσεων από τα κέντρα ελέγχου, και των δικτύων αισθητήρων που συνδέονται με αυτά τα κέντρα, από τα ανώτερα μέρη της αρχιτεκτονικής (δηλ. βάση δεδομένων, Ιστός, κ.λπ.), έτσι ώστε να μην χάνονται πληροφορίες.
6. Πολλοί χρήστες μπορούν ταυτόχρονα να ρωτήσουν, να ελέγξουν, και να απεικονίσουν την εκτέλεση του ασύρματου δικτύου αισθητήρων μέσω ενός βασισμένου στο Web interface με τον χρήστη.

7. Προσφορές για μια εκτεταμένη γλώσσα διατύπωσης ερωτήσεων που υποστηρίζει (i) τις πολλαπλές ερωτήσεις ανά αισθητήρα , (ii) ταυτόχρονες ερωτήσεις μέσα και έξω από το δίκτυο, (iii) έλεγχος του ενεργού δικτύου, (iv) μηχανισμοί για να ακυρωθεί μια ερώτηση.

Κεφάλαιο 6

Απαιτήσεις Χρήστη

Εισαγωγή

Η πλατφόρμα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων μπορεί να επεκταθεί και να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλη κλίμακα στη βιομηχανία. Εύκαμπτοι και αρκετά γεροί αισθητήρες για να καλύψουν ένα ευρύ φάσμα από τις απαιτήσεις των εφαρμογών έχουν δώσει τη δυνατότητα να εφαρμοστούν σε περιοχές τέτοιες όπως η γεωργία. Ένας από τους λόγους της έρευνάς μας είναι να ασχοληθούμε με αναπτυσσόμενες τεχνολογίες που θα έχουν αντίκτυπο στα επόμενα έξι χρόνια. Τα δεδομένα που απαιτούνται από την εφαρμογή μας γίνονται χρήσιμες πληροφορίες που θα έχουν ως αποτέλεσμα να αυξηθεί η σοδειά από τους αμπελώνες , να γίνει καλύτερης

ποιότητας , να μειωθεί το κόστος, και να μειωθεί η εξάρτηση από τα χημικά λιπάσματα.

Στρατηγικές εφαρμογές και προκλήσεις

Οι αισθητήρες και οι τεχνολογίες ανάπτυξης των δικτύων αισθητήρων στον τομέα της γεωργίας ακριβείας θα επιτρέψουν στο μέλλον προσαρμοσμένες λειτουργίες και αποδοτική μέτρηση των διαφορετικών αναγκών της σοδειάς , και των φυσικών πηγών. Οι αισθητήρες και τα δίκτυα αισθητήρων υποστηρίζουν ότι η γεωργία ακριβείας μπορεί ευρέως να κατηγοριοποιηθεί σε ότι αφορά τις εφαρμογές τους.

1. απομακρυσμένοι αισθητήρες
2. αυτόνομα κινητά συστήματα
3. εφαρμοσμένα δικτυωμένα συστήματα

Απομακρυσμένες μετρήσεις μέσω δορυφόρου και αερομεταφερόμενοι αισθητήρες (π.χ. LIDAR , φασματική εικόνα) είναι προσβάσιμα στην κοινότητα της γεωργίας σε αυξανόμενη υψηλή ποιότητα , και με κάποια πείρα μπορεί να παράγουν χρήσιμα χωρικά δεδομένα για το έδαφος και τη βλάστηση. Οι μετρήσεις λαμβάνονται από το έδαφος με κάποιο όργανο τέτοιο όπως το GPR (Ground Penetrating Radar) που μπορεί να μας δώσει πολύ περισσότερες πληροφορίες για κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται είναι οι ENS και NIMS. Η γεωργία ακρίβειας έχει χρησιμοποιήσει τις αποτελεσματικές τεχνολογίες NIMS για χρόνια υπό μορφή καθοδηγούμενων με GPS τρακτέρ που εξοπλίζονται εν πλω με τα συστήματα αισθητήρων. Αυτές οι προσπάθειες χρησιμεύουν ως μια ώριμη πλατφόρμα για τις περαιτέρω εξελίξεις (οριζόμενη από την εφαρμογή ρομποτική, συστήματα απεικόνισης, χημικοί και βιολογικοί αισθητήρες). Η συνεχής ολοκλήρωση των NIMS-βασισμένων πλατφόρμων με τα στοιχεία απεικόνισης που δημιουργούνται με την τηλεπισκόπηση θα είναι ένα σημαντικό βήμα προς τη βελτιστοποίηση των επεκτάσεων. Η τρίτη μορφή επέκτασης, αυτή των διανεμημένων και ενσωματωμένων (βασισμένων στο χρώμα και στη βλάστηση) δικτύων αισθητήρων μπορεί να χρησιμοποιηθεί όχι μόνο για να παρέχει τα στοιχεία του εδάφους για τους αισθητήρες πιο υψηλού επιπέδου, αλλά και για τα λεπτομερή στοιχεία όσον αφορά τις συγκεκριμένες χημικές και βιολογικές πτυχές των γεωργικών προβλημάτων. Παραδείγματος χάριν, η τηλεπισκόπηση και η NIMS-βασισμένη απεικόνιση GPR μπορούν να προσδιορίσουν την αρχή των ανεπαρκειών αζώτου, αλλά οι βασισμένοι στο χρώμα αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βοηθήσουν στη βέλτιστη λίπανση του εδάφους με λίπασμα, αποφεύγοντας την κατάχρηση και τις πιθανές απελευθερώσεις στα υπόγεια νερά και το ύδωρ επιφάνειας. Οι βασισμένες στη βλάστηση επεκτάσεις θα εξελιχθούν βεβαίως για να βοηθήσουν προς το βέλτιστο συγχρονισμό στη συγκομιδή, την ταξινόμηση σύμφωνα με την ποιότητα, και τη βέλτιστη χρήση των πόρων (ελαχιστοποιώντας τη χρήση ύδατος και την χρήση φυτοφαρμάκων). Για τα ενσωματωμένα δίκτυα αισθητήρων, τα βασικά ζητήματα περιλαμβάνουν την ευρωστία αισθητήρων παρά τις περιβαλλοντικές συνθήκες (αξιόπιστες, τραχιές, χαμηλές απαιτήσεις δύναμης), τις κανονικές ανάγκες βαθμολόγησης (ανθεκτικές στην υποβάθμιση, την κλίση σημάτων), και τις στρατηγικές σχεδίου δικτύων ελέγχου (ικανοποιητική κάλυψη με το λιγότερο κόστος). Συνολικά, η ολοκλήρωση και η αλληλεπίδραση μεταξύ των διάφορων τρόπων επέκτασης δικτύων αισθητήρων θα είναι κρίσιμες για τις μελλοντικές εξελίξεις γεωργίας ακρίβειας. Μια βασική στρατηγική θα περιλάβει την εκμετάλλευση των στοιχείων από τους χαμηλότερους αισθητήρες διαταγής για να

προκαλέσει την υψηλότερη δειγματοληψία και την ανάλυση διαταγής. Εκείνοι που κυριαρχούν σε αυτά και άλλα διοικητικά σχέδια δικτύων αισθητήρων θα πετύχουν στην παραγωγή μεγαλύτερη ποσότητα και καλύτερη ποιότητα ελαχιστοποιώντας το κόστος.

Στο δικό μας σενάριο γεωργίας ακριβείας έχουμε έναν αμπελώνα έκτασης 6.000 τετραγωνικών μέτρων στον οποίο θέλουμε να μετρήσουμε διάφορα χαρακτηριστικά γνωρίσματα σχετικά με το χώμα, το κλίμα και τα φυτά. Αυτές οι μετρικές αναφέρονται και περιγράφονται λεπτομερώς κατωτέρω. Στον έξυπνο αμπελώνα μας τοποθετούμε τους αισθητήρες κάθε 20 φυτά και αποθηκεύουμε τα στοιχεία που επιστρέφονται από τους αισθητήρες σε μια βάση δεδομένων (RDBMS), στην οποία μπορούμε να έχουμε πρόσβαση μέσω του Ιστού. Συλλέγουμε την αξία των μετρικών μια φορά κάθε 1/2 ώρα. Το σύστημα που έχουμε σχεδιάσει περιλαμβάνει συναγερμούς, όταν υπερβαίνει η αξία μιας μετρικής ένα χαμηλότερο ή ανώτερο επίπεδο. Το σύστημα θα παράσχει επίσης στον τελικό χρήστη τις εκθέσεις και τα διαγράμματα δεδομένων και τις γραφικές παραστάσεις του σχετικού μετρικού και χρονικού διαστήματος. Στον αμπελώνα χρησιμοποιούμε τους ασύρματους αισθητήρες και ένα κέντρο ελέγχου που πρέπει να αναπτύξουν δραστηριότητες Επιπλέον όσον αφορά την διάρκεια ζωής του δικτύου τις μπαταρίες, δεν θέλουμε να τις φορτίσουμε ή να τις αλλάξουμε για χρονικές περιόδους μικρότερες από 3 μήνες. Επίσης δεν υπάρχει καμία τηλεφωνική γραμμή, έτσι δεν μπορούμε να έχουμε μια σταθερή σύνδεση στο διαδίκτυο και θα χρησιμοποιήσουμε ένα κινητό σύστημα GPRS προκειμένου να εγκατασταθεί μια σύνδεση μέσω του Ιστού.

6.1 Απαιτούμενη τεχνολογία αισθητήρων και εξέλιξη

Προκειμένου να μεγιστοποιηθούν η ποσότητα, η ποικιλομορφία, και η ακρίβεια των πληροφοριών που εξάγεται από μια επέκταση δικτύων αισθητήρων γεωργίας ακρίβειας, ποικίλες αξιόπιστες, υψηλής απόδοσης, μικροσκοπικές, και οικονομικά αποδοτικές τεχνολογίες αισθητήρων απαιτούνται. Εκτός από τις προσεγγίσεις τηλεπισκόπησης, απαιτούνται αισθητήρες που διασυνδέουν άμεσα με το ολόκληρο διάστημα ανάπτυξης. Παραδείγματος χάριν, οι αισθητήρες απαιτούνται στη στάθμη νερού, στο χώμα στη ρίζα, στο χώμα στην επιφάνεια, σε επίπεδο επιχείρησης, που ενσωματώνεται στις θεριστικές μηχανές. Αν και μερικές από τις μετρήσεις μπορούν να γίνουν με τους εμπορικούς αισθητήρες (COTS) και τα συστήματα μέτρησης (π.χ., θερμοκρασία, ελαφριά ένταση, GPS, κ.λπ.), η ανάγκη για μετρήσεις είναι τόσο ευρεία που κάποια ανάπτυξη της τεχνολογίας αισθητήρων απαιτείται προκειμένου να πραγματοποιηθεί επιτυχώς μια βιώσιμη επέκταση των δικτύων αισθητήρων. Παραδείγματος χάριν, οι αισθητήρες για να ανιχνεύσουν ακριβώς την ιοντική συγκέντρωση στο υπόγειο νερό και το χώμα (π.χ., ο κύκλος αζώτου) απαιτούνται καθώς επίσης και αισθητήρες ικανοί για ένα κοκτέιλ των πτητικών οργανικών ενώσεων. Αν και υπάρχουν συχνά κορυφαίες τεχνικές μέτρησης που μπορούν να μεταφραστούν στον τομέα, του επιπέδου αξιοπιστίας, ευαισθησίας, πολυπλοκότητας, και κόστους αισθητήρων πρέπει να εξεταστεί κατά καθορισμό της πιο κατάλληλης τεχνικής επέκτασης, ή εάν δεν πρέπει να επεκταθεί καθόλου. Οι ιδιαίτερες προκλήσεις υπάρχουν στην ανάπτυξη και την επέκταση των χημικών αισθητήρων, είτε κάτω από την επιφάνεια είτε επάνω από την. Αν και η κλίμακα των γεωργικών συστημάτων μπορεί να αντέξει οικονομικά τις πλατφόρμες μεγαλύτερων και υψηλούς-δύναμης αισθητήρων, υπάρχει ένα ουσιαστικό κίνητρο για να μειώσει το

μέγεθος, το κόστος, και τη δύναμη τέτοιων πλατφόρμων αισθητήρων εφ' όσον δεν συμβιβάζονται η αξιοπιστία και η απόδοση. Συνεπώς υπάρχει ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη μικρογραφία και των δύο, ιδιαίτερα για τους χημικούς αισθητήρες (π.χ., αισθητήρες νιτρικών αλάτων για το υπόγειο νερό) καθώς επίσης και γενίκευσε τους χημικούς αισθητήρες (π.χ., αέριο και υγρή χρωματογραφία, μαζική φασματομετρία, κ.λπ.). Το έργο ανάπτυξης επάνω στους ηλεκτροχημικούς ιοντικούς αισθητήρες (π.χ., νιτρικό άλας) προχωρεί γρήγορα και πρέπει να μεταφραστεί στα επεκταμένα δίκτυα αισθητήρων στο εγγύς μέλλον. Ομοίως, εντυπωσιακή πρόοδος σημειώνεται επίσης επάνω στα συστήματα υγρής χρωματογραφίας και επίσης προβλέπεται η βραχυπρόθεσμη επέκτασή τους. Εντούτοις, η ακριβής διάκριση των σύνθετων οργανικών ενώσεων, με τα επίπεδα ευαισθησίας που απαιτούνται, πρέπει να πραγματοποιηθεί μια και είναι ένας ενεργός τομέας της έρευνας.

6.2 Μετρικές που αφορούν το έδαφος

Στόχοι που ελέγχονται και τοπολογίες αισθητήρων.

ID-S01 Θερμοκρασία εδάφους σε διαφορετικό βάθος

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε θερμοηλεκτρικά ζεύγη μικροϋπολογιστών για να μετρήσουμε τη θερμοκρασία στο διαφορετικό βάθος. Οι θερμικές αντιστάσεις, τα θερμοηλεκτρικά ζεύγη, το καλώδιο θερμοηλεκτρικών ζευγών, και ο υπολογισμός του μέσου όρου των θερμοηλεκτρικών ζευγών είναι τυποποιημένοι αισθητήρες θερμοκρασίας του εδάφους, που είναι διαθέσιμοι.

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτόν τον τύπο αισθητήρων μπορούν να βρεθούν στα [11],[12].

ID-S02 Υγρασία

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε έναν αισθητήρα υγρασίας για να μετρήσουμε την υγρασία στο χώμα έτσι ώστε να μην χρειάζεται να ποτίζουμε τις εγκαταστάσεις όλη την ώρα. Επίσης θα καταλαβαίναμε εύκολα πότε υπάρχει αρκετή υγρασία στις ρίζες των εγκαταστάσεων έτσι ώστε το φυτό να μπορεί να αναπτυχθεί κανονικά. Ο αισθητήρας υγρασίας του εδάφους, παραδείγματος χάριν, είναι ένα καλώδιο 30-ποδιών που πηγαίνει στο έδαφος. Στην πρώτη δοκιμή μας, μπορεί τα ζώα να το μασήσουν, μπορεί να πρέπει να επιστρέψουμε και να σκληρύνουμε τα καλώδια.

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτόν τον τύπο αισθητήρων μπορούν να βρεθούν στο [13]

ID-S03 Πίεση νερού

Οι πιθανοί αισθητήρες της πίεσης του νερού στο έδαφος καθορίζουν την ενεργειακή θέση του νερού στο χώμα. Η ενεργειακή κατάσταση περιγράφει τη δύναμη που κρατά το νερό στο χώμα.

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτόν τον τύπο αισθητήρων μπορούν να βρεθούν στο [14],[15].

ID-S04 PH

Οι αισθητήρες του PH μετράνε την οξύτητα ή την αλκαλικότητα ενός διαλύματος. Όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου, τόσο μικρότερο το pH όταν το pH είναι επάνω από 7, το διάλυμα είναι αλκαλικό, και όταν είναι κάτω από 7, η λύση είναι όξινη.

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτόν τον τύπο αισθητήρων μπορούν να βρεθούν στο [16].

ID-S05 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα

Μεταξύ των πολλών προηγμένων αισθητήρων που χρησιμοποιήθηκαν πρόσφατα στη γεωργία, είναι συσκευές μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους και παρέχουν τον απλούστερο και πιο φτηνό χάρτη των εδαφολογικών διαφορών πέρα από τον τομέα. Ο αισθητήρας μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μετρά το ποσό άλατος (όπως το νάτριο και το ασβέστιο) στο χώμα καθώς επίσης και άλλες εδαφολογικές ιδιότητες.

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτόν τον τύπο αισθητήρων μπορούν να βρεθούν στο [17].

6.3 Μετρικές που αφορούν τον αέρα

Στόχοι που ελέγχονται και τοπολογίες αισθητήρων. Ο έλεγχος των παρακάτω είναι υποχρεωτικός.

ID-A01 Θερμοκρασία

Τα θερμοηλεκτρικά ζεύγη είναι μεταξύ των ευκολότερων αισθητήρων θερμοκρασίας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να αποκτηθούν και χρησιμοποιούνται ευρέως στην επιστήμη και τη βιομηχανία. Είναι βασισμένοι στην επίδραση Seebeck που εμφανίζεται στους ηλεκτρικούς αγωγούς που δοκιμάζουν μια κλίση θερμοκρασίας κατά μήκος του μήκους τους. Είναι "απλοί", τραχύς, δεν χρειάζονται καμία μπαταρία,

και μπορούν να μετρούν μεγάλης ευρύτητας θερμοκρασίες . Έχουν βέβαια και τις ιδιορρυθμίες τους, επίσης, όπως όλοι οι άλλοι αισθητήρες .

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτόν τον τύπο αισθητήρων μπορούν να βρεθούν στο [18].

ID-A02 Σχετική Υγρασία

Οι αισθητήρες σχετικής υγρασίας διαμορφώνονται με τα ενσωματωμένα στοιχεία κυκλώματος για να παρέχουν τη βελτίωση σημάτων on-chip. Οι βασισμένοι στην απορρόφηση αισθητήρες υγρασίας παρέχουν και της θερμοκρασίας και %RH (σχετική υγρασία) αποτελέσματα. Η επεξεργασία σήματος on-chip εξασφαλίζει γραμμική παραγωγή τάσης εναντίον %RH. των προσφορών τακτοποίησης λείζερ αισθητήρων με ακρίβεια +5 %RH και επιτυγχάνει την ακρίβεια 2%RH με τη βαθμολόγηση. Οι συσκευασίες είναι χημικά ανθεκτικές και λειτουργούν σε θερμοκρασίες 40 °C μέχρι 85 °C (-40 °F σε 185 °F) για να προσαρμοστούν στα σκληρά περιβάλλοντα.

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτόν τον τύπο αισθητήρων μπορούν να βρεθούν στο [19],[20].

ID-A03 Ταχύτητα ανέμου

Χρειαζόμαστε τους αισθητήρες που μετρούν την ταχύτητα αέρα. Το ανεμόμετρο είναι ένας οικονομικός αισθητήρας κατάλληλος για ένα ευρύ φάσμα των εφαρμογών μέτρησης αέρα. Παρέχει άριστη αντίσταση διάβρωσης, είναι ελαφρύς, και έχει ελάχιστα μέρη για εύκολη συντήρηση.

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτόν τον τύπο αισθητήρων μπορούν να βρεθούν στο [21].

ID-A04 Κατεύθυνση ανέμου

Χρειαζόμαστε έναν αισθητήρα που να υπολογίζει την κατεύθυνση του ανέμου.

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτόν τον τύπο αισθητήρων μπορούν να βρεθούν στο [22].

ID-A05 Ένταση φωτεινότητας

Οι αισθητήρες φωτεινότητας βρίσκουν εφαρμογή σε έναν πλήθος ενδιαφερουσών εφαρμογών. Παραδείγματος χάριν, ένας αισθητήρας φωτεινότητας σε μια φωτογραφική μηχανή μετρά την ποσότητα φωτός στο οποίο η ταινία θα εκτεθεί. Μόλις είναι γνωστή η ποσότητα φωτός, το κατάλληλο άνοιγμα φακών μπορεί να υπολογιστεί για να σιγουρευτεί ότι η εικόνα λαμβάνεται με το κατάλληλο ποσό έκθεσης στο φως.

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτόν τον τύπο αισθητήρων μπορούν να βρεθούν στο [23].

ID-A06 Φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία

Απορρόφηση της ακτινοβολίας του φωτός στα 680nm. Αυτός ο αισθητήρας φωτός σχεδιάζεται για να μετρήσει τη φωτοσυνθετικά ενεργό ακτινοβολία. Μετρά αποτελεσματικά την ακτινοβολία μεταξύ 400 και 700 nm. Ο αισθητήρας έχει ένα αποτέλεσμα ανάλογο προς τον αριθμό φωτονίων ανεξάρτητα από τα ενεργειακά επίπεδά τους (πυκνότητα ροής φωτονίων). Δεδομένου ότι το ενεργειακό επίπεδο κάθε φωτονίου εξαρτάται από το μήκος κύματός του, η φασματική απάντηση ενός αισθητήρα της ενεργού ακτινοβολίας που χρησιμοποιεί τη φωτοβολταϊκή επίδραση πρέπει να είναι υψηλότερη στο μακριά κόκκινο μέρος του φάσματος (περίπου 700 nm) απ' ό,τι στα μπλε μήκη κύματος (περίπου 400 nm). Η ευαισθησία της είναι λίγο χαμηλή για την μπλε ακτινοβολία.

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτόν τον τύπο αισθητήρων μπορούν να βρεθούν στο [24].

ID-A07 Βροχόπτωση

Ο αισθητήρας βροχόπτωσης είναι μια έξυπνη συσκευή που τοποθετείται πάνω από έναν πόλο. Ένας μικροσκοπικός κάδος συλλέγει τις σταγόνες βροχής, που πέφτουν μέσω μιας οπής καρφίτσας στο κατώτατο σημείο του κάδου προς μια συσκευή. Κάθε πτώση τοποθετεί αιχμή στον κάδο. "Έτσι η βροχόπτωση μετράται ουσιαστικά από τις κλίσεις".

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτόν τον τύπο αισθητήρων μπορούν να βρεθούν στο [25].

ID-A08 Ατμοσφαιρική πίεση

Αυτός ο αισθητήρας μετρά τη βαρομετρική πίεση για τον έλεγχο των καιρικών αλλαγών ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μετρήσει το ύψος όταν χρησιμοποιείται στον τομέα αυτό.

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτόν τον τύπο αισθητήρων μπορούν να βρεθούν στο [26].

6.4 Μετρικές που αφορούν το φυτό

Στόχοι που ελέγχονται και τοπολογίες αισθητήρων.

ID-P01 Θερμοκρασία Φύλλων

Θερμοηλεκτρικά ζεύγη μικροϋπολογιστών ή υπέρυθροι αισθητήρες που μετρούν την θερμότητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα φύλλα του φυτού. Η μέτρηση της θερμοκρασίας επιφάνειας είναι ένα κρίσιμο συστατικό της μεταφοράς ενέργειας. Η ακριβής μέτρηση της θερμοκρασίας τόσο στα φύλλα όσο και στον αέρα είναι ουσιαστική για τον προσδιορισμό του ποσοστού εφίδρωσης και της αγωγιμότητας στα ενιαία φύλλα και στους θόλους φυτών.

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτόν τον τύπο αισθητήρων μπορούν να βρεθούν στα [27],[28].

ID-P02 Πάχος των φύλλων

Ένας αισθητήρας, που ελέγχει συνεχώς το πάχος φύλλων στον τομέα με μια ακρίβεια $\pm 1\mu\text{m}$, αναπτύχθηκε για μία περίοδο των έξι εποχών που ευδοκιμούν οι αμπελώνες. Η καταλληλότητα τριών διαφορετικών ηλεκτρικών συστατικών ερευνήθηκε ως ο μετατροπέας των γραμμικών αλλαγών στο πάχος φύλλων σε ένα μετρήσιμο ηλεκτρικό σήμα. Ένας μετρητής πίεσης βασισμένος σε ένα μικροσκοπικό τυπωμένο κύκλωμα μιας γέφυρας που στερεώθηκε ολοκληρωτικά σε μια λεπίδα χάλυβα την άνοιξη βρέθηκε να είναι αρκετά ακριβής, ικανός να αντισταθεί σε όλα τα περιβαλλοντικά καιρικά φαινόμενα και τις αγροτεχνικές πρακτικές, χωρίς διακοπή των κανονικών λειτουργιών φύλλων.

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτόν τον τύπο αισθητήρων μπορούν να βρεθούν στο [29]

ID-P03 Νιτρικό οξείδιο των φύλλων

Αισθητήρες για τη χρήση σε πολλά πειραματικά περιβάλλοντα, π.χ. καλλιέργεια κυττάρων, *in vivo*.

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτόν τον τύπο αισθητήρων μπορούν να βρεθούν στο [30]

ID-P04 Παραγωγή CO₂ των φύλλων

Με τη μέτρηση της παραγωγής του CO₂ φύλλων εξετάζουμε τον αντίκτυπο της ξηρασίας στην αφομοίωση άνθρακα και τον αντίκτυπό της στη δομική ακεραιότητα. Με αυτόν τον τύπο αισθητήρων μπορούμε να εξετάσουμε την επίδραση της ξηρασίας στις φυσιολογικές παραμέτρους της φωτοσύνθεσης, της αγωγιμότητας, της δυνατότητας ύδατος φυτών, της βιομάζας ρίζας και βλαστών, της συγκεκριμένης περιοχής φύλλων, και της δύναμης μίσχων.

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτόν τον τύπο αισθητήρων μπορούν να βρεθούν στο [31]

ID-P05 Παραγωγή O₂ των φύλλων

Τα φυτά αντιμετωπίζονται ως ουσιαστικές μηχανές για μακροπρόθεσμες αποστολές δεδομένου ότι είναι μηχανές της ανταλλαγής αερίου (απορρόφηση του CO₂, παραγωγή O₂) και της εξάχνωσης του νερού (εφίδρωση φύλλων). Μια καλύτερη κατανόηση της φυσικής φωτοσύνθεσης και της παραγωγικότητας O₂ είναι θεμελιώδης.

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτόν τον τύπο αισθητήρων μπορούν να βρεθούν στο [32]

ID-P06 Συγκέντρωση Οξυγόνου στους κορμούς

Οι οπτικοί αισθητήρες συγκέντρωσης οξυγόνου ινών είναι φασματομέτρα, συνδεδεμένοι χημικοί αισθητήρες για την πλήρη φασματική ανάλυση της διαλυμένης και αεριώδους πίεσης οξυγόνου. Όλοι οι έλεγχοι είναι διαθέσιμοι με ένα προαιρετικό κάλυμμα σιλικόνης που αποκλείει το περιβαλλοντικό φως, προσφέρει την πρόσθετη χημική αντίσταση και εξαλείφει τα αποτελέσματα διαθλαστικών δεικτών. Με το κάλυμμα αυτό, η απάντηση ελέγχων επιβραδύνει από < 1 το δευτερόλεπτο σε 30-50 δευτερόλεπτα στα υγρά και 20-30 δευτερόλεπτα στα αέρια.

Μειονέκτημα: αυτοί οι τύποι αισθητήρων είναι πολύ ακριβοί (τιμή άνω των \$499)

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτόν τον τύπο αισθητήρων μπορούν να βρεθούν στο[33]

ID-P07 Ροή ξυλημάτων στη ρίζα

Η τεχνολογία αισθητήρων ροής σφρίγους για τη μέτρηση της ροής σφρίγους, και έτσι τη κατανάλωση ύδατος των φυτών. Αυτοί οι αισθητήρες ενεργειακής ισορροπίας μετρούν το ποσό θερμότητας που περνά από το σφρίγος και που μετατρέπεται σε πραγματικό χρόνο ροή σφρίγους σε γραμμάρια ή χιλιόγραμμα ανά ώρα. Οι αισθητήρες είναι μη-παρεισφρητικοί και μη επιβλαβείς δεδομένου ότι οι εγκαταστάσεις έχουν θερμοκρασία επάνω από 1 °C με 5 °C . Η ανάγκη για αυτήν την νέα τεχνολογία είναι μεγάλη επειδή είναι ένας προσιτός και πρακτικός τρόπος να μετρηθεί η χρήση ύδατος από τα φυτά , γεωργικής, οικονομικής και οικολογικής σπουδαιότητας.

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτόν τον τύπο αισθητήρων μπορούν να βρεθούν στο [34].

ID-P08 Ροή ξυλημάτων στο βλαστό

Η ροή σφρίγους ξυλημάτων σημαίνει τα γραμμάρια του H₂O ανά τετραγωνικό μέτρο του ξυλήματος ανά δευτερόλεπτο το λιγότερο, το ακραίο μέρος του ξυλήματος προέρχεται από τις συνεχείς μετρήσεις των ιδιοτήτων διασκεδασμού θερμότητας στο ξύλημα των κορμών δέντρων περίπου στο ύψος 1,6 έως 1,8 μ επάνω από το έδαφος.

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτόν τον τύπο αισθητήρων μπορούν να βρεθούν στο [35].

ID-P09 Ανάπτυξη της διαμέτρου του κορμού του φυτού

Για να μετρήσουμε την παραπάνω μετρική χρησιμοποιούμε έναν LVDT (Linear Variable Differential Transformer)

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτόν τον τύπο αισθητήρων μπορούν να βρεθούν στο [36].

ID-P10 Αλλαγές χρώματος σταφυλιών

Σε διάφορες ποικιλίες, τα σταφύλια παρουσιάζουν μια αύξηση της γαλακτόζης κατά τη διάρκεια της περιόδου αλλαγής χρώματος ενώ αυτή η δραστηριότητα εμφανίζεται προηγούμενη, στην αρχή της διαδικασίας χρώματος αλλαγής για άλλες ποικιλίες του

μπορντό. Αυτά τα αποτελέσματα συσχετίζονται επίσης με τα ελεύθερα γαλακτικά όξινα επίπεδα στα σταφύλια. Μπορούμε να προσέξουμε τις αλλαγές στο χρώμα των σταφυλιών με τη χρήση βίντεο.

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτόν τον τύπο αισθητήρων μπορούν να βρεθούν στο [37].

ID-P11 Βιντεοσκόπηση του αμπελώνα

Ο έλεγχος παραγωγής είναι μια από τη δημοφιλέστερη μέθοδο της γεωργίας ακριβείας. Οι αισθητήρες ελέγχου παραγωγής έχουν επιτρέψει στους αγρότες να υπολογίσουν την έμφυτη μεταβλητότητα που υπάρχει στους τομείς τους. Έχει δώσει μια αίσθηση της πραγματοποίησης στους αγρότες ποιοι παράγοντες (όπως τα ζιζάνια, τα έντομα, τα παράσιτα, οι ασθένειες, η εδαφολογική συμπίεση, κ.λπ....) μπορεί να προκαλέσουν σημαντική ζημία στη συγκομιδή τους.

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτόν τον τύπο αισθητήρων μπορούν να βρεθούν στο [38]

ID-P12 Παθογόνοι Μύκητες

Θα χρειαστούμε βιοαισθητήρες για περονόσπορο, βοτρυτή και άλλους παθογόνους μύκητες με σκοπό να προστατέψουμε τη σοδειά μας.

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτόν τον τύπο αισθητήρων μπορούν να βρεθούν στο [39]

ID-P13 Έλεγχος Φωτοσύνθεσης

Το όργανο ελέγχου φωτοσύνθεσης σχεδιάζεται ειδικά για το μακροπρόθεσμο έλεγχο της ανταλλαγής CO₂ σε διάφορα φύλλα ταυτόχρονα.

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτόν τον τύπο αισθητήρων μπορούν να βρεθούν στο [40]

6.5 Καταγραφή δεδομένων και ιστορικά αρχεία

Στο σύστημά μας χρησιμοποιούμε μια βάση δεδομένων που είναι ένα σύνολο στοιχείων, που αποτελούνται από τουλάχιστον ένα αρχείο ή από μια ομάδα ενσωματωμένων αρχείων, που αποθηκεύονται συνήθως σε μια τοποθεσία και που τίθενται στην διάθεση διάφορων χρηστών συγχρόνως για τις διάφορες εφαρμογές. Πρόκειται να χρησιμοποιήσουμε αυτήν την βάση δεδομένων προκειμένου να αποθηκευτούν τα χρήσιμα στοιχεία που προέρχονται από τους αισθητήρες που είναι τοποθετημένοι στον αμπελώνα.

6.6 Στατιστική ανάλυση και αναφορές

Αυτό που είναι μεγάλης σπουδαιότητας είναι η ανάγκη των αναφορών. Το σύστημα θα είναι σε θέση να στέλνει εκθέσεις με τις τιμές των μετρικών κάθε μισή ώρα. Επίσης θα παραγάγει τα συγκεκριμένα εργαλεία στατιστικής ανάλυσης σχετικά με το ελάχιστο, το μέγιστο και τη μέση αξία της μετρικής που μετριέται κατά τη διάρκεια μιας ημέρας ή ακόμα και μιας εβδομάδας και ενός μήνα. Ένα άλλο χαρακτηριστικό του συστήματος είναι η ικανότητα να στέλνονται alerts στους τελικούς χρήστες όταν είναι η τιμή μιας μετρικής είναι πάνω από ή κάτω από μια συγκεκριμένη τιμή, παραδείγματος χάριν όταν είναι η θερμοκρασία πέφτει κάτω από το μηδέν και υπάρχει κίνδυνος του πάγου στον αμπελώνα που θα μπορούσε να καταστρέψει τα φυτά. Έτσι το σύστημα θα μπορούσε να στείλει alerts μέσω μηνυμάτων ηλεκτρονικού ταχυδρομείου ή ακόμα και με την αποστολή sms σε έναν συγκεκριμένο αριθμό κινητού τηλεφώνου.

6.7 Εξ' αποστάσεως πρόσβαση μέσω Διαδικτύου

Για πολλές εφαρμογές, τα δίκτυα αισθητήρων δεν μπορούν να λειτουργήσουν μεμονωμένα πρέπει να υπάρξει ένας τρόπος για μια οντότητα ελέγχου να αποκτήσει πρόσβαση στα στοιχεία που παράγονται από το δίκτυο αισθητήρων. Με τη σύνδεση του δικτύου αισθητήρων με μια υπάρχουσα υποδομή δικτύων όπως το Διαδίκτυο, ένα τοπικό δίκτυο, ή ένα ιδιωτικό ενδοδίκτυο, που κερδίζει την εξ' αποστάσεως πρόσβαση στο δίκτυο αισθητήρων. Στον αισθητήρα γεωργίας το κέντρο ελέγχου του δικτύου αισθητήρων συνδέεται με το Διαδίκτυο κάθε ώρα 1/2 και μεταδίδει ραδιοφωνικά όλα τα μετρημένα στοιχεία που κερδίζονται από τον αμπελώνα.

6.8 Απαιτήσεις τελικών χρηστών

Υπολογίζουμε ότι ο αριθμός χρηστών στο σύστημά μας θα είναι το πολύ-πολύ 5 άνθρωποι που θα μπορούν να έχουν πρόσβαση στη βάση δεδομένων μέσω του Ιστού. Για αυτόν το λόγο πρόκειται να χρησιμοποιήσουμε ένα PC με έναν 2GH επεξεργαστή και ένα 512MB DRAM. Οι τελικοί χρήστες θα είναι σε θέση να συνδέθουν με αυτόν τον υπολογιστή μέσω του Διαδικτύου και να θέσουν τις ερωτήσεις σχετικές με τις μετρικές που μετριοούνται στον αμπελώνα προκειμένου να αποκτηθούν οι πληροφορίες που χρειάζονται

Κεφάλαιο 7

Ανακεφαλαίωση και Μελλοντικές Επεκτάσεις

Στην αρχή του κειμένου αυτού εξετάσαμε την αρχιτεκτονική επικοινωνίας των δικτύων αισθητήρων και παρουσιάσαμε αναλυτικά το κάθε επίπεδο ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Επίσης έγινε αναφορά στο πρωτόκολλο επικοινωνίας μικροαισθητήρων MAC. Είδαμε επιπλέον τα πρωτόκολλα επικοινωνίας, μεταξύ κόμβων δικτύων μικροαισθητήρων Directed Diffusion, Flooding, CKN και τις πτυχές σχεδιασμού κάθε πρωτοκόλλου.

Κατόπιν δώσαμε διάφορα παραδείγματα εφαρμογών των ασύρματων δικτύων αισθητήρων τις οποίες αναλύσαμε εκτενώς. Οι ασύρματοι αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα μεγάλο πλήθος εφαρμογών τέτοιες είναι : η ανακούφιση καταστροφών, έλεγχος του περιβάλλοντος και χαρτογράφηση της βιοποικιλότητας, έξυπνα κτίρια, δυνατότητα διαχείρισης, επιτήρηση μηχανών και προληπτική

συντήρηση , ιατρική και φροντίδα υγείας , λογιστικά , τηλεμαντική , γεωργία ακριβείας. Επίσης παρουσιάσαμε την εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας στην αλυσίδα του κρασιού.

Στη συνέχεια αναφερθήκαμε στο hardware των κόμβων αισθητήρων. Παρουσιάσαμε αναλυτικά τις σχεδιαστικές προδιαγραφές και τα χαρακτηριστικά διαφόρων πλατφόρμων υλικού της τεχνολογίας ασύρματων αισθητήρων , τέτοιες όπως : Mica2Dot, Mica2, Micaz, Telos, XYZ, DSYS25. Έπειτα παρουσιάσαμε συνολικά την αρχιτεκτονική του περιβάλλοντος JWebDust και παρουσιάσαμε αναλυτικά της προδιαγραφές λειτουργίας για κάθε επίπεδο του συστήματος. Τέλος παρουσιάσαμε τις απαιτήσεις του χρήστη για μια εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας στην αλυσίδα του κρασιού. Στο τελευταίο κεφάλαιο δίνουμε έναν πλήρη κατάλογο των αισθητήρων καθώς και των άλλων τεχνολογιών που χρειάζονται για την εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας σε έναν αμπελώνα.

Στο μέλλον σχεδιάζουμε να εφαρμόσουμε γεωργία ακριβείας σε έναν αμπελώνα έκτασης 6.000 τ.μ. Σε αυτόν τον αμπελώνα θα τοποθετήσουμε ασύρματους αισθητήρες που θα μετρούν μετρικές όπως η θερμοκρασία , η υγρασία του εδάφους , η βροχόπτωση , το PH , η φωτεινότητα και η ηλεκτρική αγωγιμότητα. Οι αισθητήρες θα τοποθετηθούν κάθε 5-6 φυτά, θα επικοινωνούν μεταξύ τους ασύρματα και θα μετρούν τις προηγούμενες μετρικές. Οι αισθητήρες θα στέλνουν στη συνέχεια τα δεδομένα που θα συλλέγουν από τον αμπελώνα σε ένα κέντρο ελέγχου το οποίο μπορεί να είναι ένας laptop συνδεδεμένος στο Internet. Τα δεδομένα που συλλέγονται θα αποθηκεύονται σε μια σχεσιακή βάση δεδομένων. Οι τελικοί χρήστες συστήματος θα έχουν πρόσβαση σε αυτά τα δεδομένα, στα αποτελέσματα δηλαδή των μετρήσεων από τον αμπελώνα μέσω Internet.

Βιβλιογραφία

- [1] Holger Karl , Andreas Willig : Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks , January 2006
- [2] Chalermek Intanagonwiwat, Ramesh Govindan, Deborah Estin : Directed Diffusion : A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks
- [3] Feng Zhao, Leonidas J. Guibas : Wireless Sensor Networks : An information Processing Approach
- [4] Good Food, Food Safety and Quality Monitoring with Microsystems : Deliverable D11 – WP7 ‘User Needs Report’
- [5] Good Food, Food Safety and Quality Monitoring with Microsystems : Deliverable D12 – WP7 ‘System Requirements and Design’
- [6] Dimitrios Lymperopoulos and Andreas Savvides : XYZ : A Motion –Enabled, Power Aware Sensor Platform for Distributed Sensor Network Applications , Embedded Networks and Applications Lab (ENALAB) Yale University

- [7] Koen Langendoen. Aline Baggio, Otto Visser : Murphy Loves Potatoes Experiences from a Pilot Sensor Network Deployment in Precision Agriculture, Delft University of Technology
- [8] Gregory J. Millman : Virtual vineyard, Sensor Telemetry
- [9] Aline Baggio : Wireless sensor networks in Precision Agriculture Delft University of Technology
- [10] Deepak Ganesan : TinyDiffusion Application Programmer's Interface (API) 0.1
- [11] <http://www.campbellsci.com/soil-temperature>
- [12] http://www.rtdcompany.com/items/index.cfm?CAT_ID=32
- [13] http://www.sensorsportal.com/HTML/SENSORS/HumiditySens_Manufacturers.htm
- [14] <http://www.soilmoisture.com/>
- [15] <http://www.sowacs.com/>
- [16] <http://www.campbellsci.com/ph-orp>
- [17] <http://www.extsoilcrop.colostate.edu/Newsletters/2002/Sensors/SoilEC.htm>
- [18] <http://www.kp-as.com/en/default.asp>
- [19] <http://content.honeywell.com/sensing/prodinfo/humiditymoisture/>
- [20] <http://www.novalynx.com/225-050-500.html>
- [21] http://www.allweatherinc.com/meteorological/toc_wind.html
- [22] http://www.allweatherinc.com/meteorological/toc_wind.html
- [23] http://www.thomasnet.com/webresults.html?WT.mc_t=INR&WT.mc_n=kwlink&cov=NA&which=prod&navsec=search&what=sensors%20measuring%20light%20intensity
- [24] http://www.sdec-france.com/produits.php?lg=an&numprod=046&nom_du_produit=JYP%201000%20photosynthetically%20active%20radiation
- [25] <http://www.aanderaa.no/render.asp?ID=143&segment=46&session=>
- [26] http://www.sciencescope.co.uk/atmospheric_pressure.htm
- [27] <http://www.calex.co.uk/>
- [28] http://www.apogee-inst.com/irt_spec.htm
- [29] http://www.actahort.org/books/562/562_5.htm
- [30] <http://www.wpi-europe.com/products/biosensing/nitricoxide.htm>
- [31] <http://www.directindustry.com/>
- [32] <http://www.directindustry.com/>
- [33] <http://www.oceanoptics.com/Products/foxyprobes.asp>
- [34] <http://www.dynamax.com/sap-flow.htm>

- [35] <http://www.advmnc.com/greenspan/sapflow.html>
- [36] <http://www.rs-components.it/cgi-bin/bv/browse/Browse.jsp?catoid=-167216731&cacheID=itie>
- [37] <http://www.sony-videomonitoring.de/svm/index.php>
- [38] <http://www.sony-videomonitoring.de/svm/index.php>
- [39] http://www.microbialrosettastone.com/TIGER_FactSheet_v3.pdf
- [40] http://www.agrisupportonline.com/store/Phytech/technical_data/pm-48mb.htm
- [41] I.F. Akyildiz, W. Su*, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci : Wireless sensor Networks : a survey, Broadband and Wireless Networking Laboratory, School of Electrical and Computer Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA December 2001
- [42] Ioannis Chatzigiannakis, Georgios Mylonas, and Sotiris Nikolettseas : JWebDust : A Java-based Generic Application Environment for Wireless Sensor Networks
- [43] T. Antoniou, A. Boukerche, I. Chatzigiannakis, G. Mylonas, and S. Nikolettseas : A new energy efficient and fault tolerant protocol for data propagation in smart dust networks using varying transmission range, 37th Annual Simulation Symposium (ANSS 2004)
- [44] Ioannis Chatzigiannakis, Athanasios Kinalis, Sotiris Nikolettseas : Fault-tolerant and Efficient Data Propagation in Wireless Sensor Networks using Local, Additional Network Information
- [45] Wendi Rabiner Heinzelman, Anatha Chandrakasan, and Hari Balakrishnan : Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks Massachusetts Institute of Technology
- [46] Chamlermek Intanagowiwat , Ramesh Govindan , Deborah Estin, John Heidemann , and Fabio Silva : Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking
- [47] http://ru1.cti.gr/wsn/Application_Development
- [48] The Wireless Winery : <http://www.wifiplanet.com/columns/article.php/3412061>