

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

ΚΑΛΑΪΤΖΙΔΗΣ ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ
ΚΟΡΕΝΤΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
ΠΑΠΠΑΣ-ΠΕΤΡΙΔΗΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
Δρ. ΧΡΗΣΤΟΣ ΓΚΟΥΜΟΠΟΥΛΟΣ

Πάτρα 2010

Πρόλογος

Τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (Wireless Sensor Networks, WSN) αποτελούνται από μερικούς έως πολλούς, μικρού μεγέθους κόμβους με περιορισμένη ενεργειακή αυτονομία και υπολογιστικές δυνατότητες, κατανομημένους σε μια ορισμένη γεωγραφική περιοχή. Τέτοια δίκτυα χρησιμοποιούνται σε πληθώρα εφαρμογών, όπως ενδεικτικά είναι η παρακολούθηση του περιβάλλοντος, η γεωργία ακριβείας και διάφορες στρατιωτικές εφαρμογές. Συνήθως, μετά την τοποθέτησή τους τα ασύρματα δίκτυα απλά συλλέγουν δεδομένα λειτουργώντας αυτόνομα χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση, καθ' όλη τη διάρκεια της "ζωής" τους (η διάρκεια της ενεργειακής πηγής κόμβων). Έτσι, ο κάθε κόμβος συλλέγει δεδομένα από το περιβάλλον και τα στέλνει μέσω των γειτονικών του κόμβων (multihop routing) σε ένα κόμβο πύλη (sink ή gateway) ο οποίος έχει μεγάλο αποθηκευτικό χώρο και συνήθως αδιάλειπτη παροχή ενέργειας.

Σε ένα δίκτυο αισθητήρων είναι προφανής η ανάγκη για παρακολούθηση και επεξεργασία των δεδομένων που στέλνονται από τους αισθητήρες είτε σε πραγματικό χρόνο, είτε αν αυτά έχουν πρώτα αποθηκευτεί σε μια βάση δεδομένων. Με άλλα λόγια, για να υφίσταται χρησιμότητα του δικτύου αισθητήρων πρέπει, με κάποιο τρόπο, τα δεδομένα που συλλέγονται, να εμφανίζονται και να μπορούν να επεξεργαστούν από τον εκάστοτε χρήστη για να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα.

Ο σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι να μελετήσει τα δίκτυα αυτά από τη σκοπιά των εμπλεκόμενων τεχνολογιών (πρωτόκολλα επικοινωνίας, λειτουργικά συστήματα, αισθητήρες, κ.α.), τη δυνατότητα εφαρμογής τους σε πρακτικό επίπεδο και τα πιθανά προβλήματα που θα πρέπει να αντιμετωπιστούν στη πορεία αυτή.

Η διάρθρωση της πτυχιακής εργασίας, έχει ως εξής:

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων.

Κεφάλαιο 2: Εφαρμογές των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων.

Κεφάλαιο 3: Πρότυπα και διαθέσιμες πλατφόρμες των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων.

Κεφάλαιο 4: Αρχιτεκτονική και προδιαγραφές Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων.

Κεφάλαιο 5: Περιβάλλοντα λογισμικού για ανάπτυξη εφαρμογών.

Κεφάλαιο 6: Κατηγορίες Αισθητήρων.

Κεφάλαιο 7: Προβλήματα και ενδεικτικές λύσεις.

Πίνακας Περιεχομένων

<u>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</u>	- 2 -
<u>ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ</u>	- 3 -
<u>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ</u>	- 6 -
1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ.....	- 6 -
1.2 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	- 7 -
1.2.1 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΠΟΡΩΝ	- 7 -
1.2.2 ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ	- 8 -
1.3 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΚΑΙ AD-HOC ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ.	- 9 -
1.4 ΠΑΡΕΛΘΟΝ, ΠΑΡΟΝ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	- 10 -
1.5 ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΝΟΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	- 12 -
<u>2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ</u>	- 13 -
<u>3. ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΕΣ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ</u>	- 17 -
3.1 ΤΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΙΕΕΕ 802.15.4 ΚΑΙ ZIGBEE	- 17 -
3.1.1 ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΙΕΕΕ 802.15.4.....	- 18 -
3.1.2 ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ZIGBEE	- 19 -
3.2 ΠΛΑΤΦΟΡΜΕΣ ΣΤΙΣ ΟΠΟΙΕΣ ΒΑΣΙΖΟΝΤΑΙ ΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	- 20 -
3.2.1 Η ΜΟΝΑΔΑ SPEC.....	- 22 -
3.2.2 ΤΑ MICAZ, MICA2	- 23 -
3.2.3 ΤΕΛΟΣ ΚΑΙ ΤΜΟΤΕ SKY	- 23 -
3.2.4 ΤΟ IMOTE	- 24 -
3.2.5 Η ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ STARGATE	- 25 -
3.2.6 ΤΟ BTNODE.....	- 26 -
3.2.7 SUN SPOT.....	- 27 -
<u>4. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ</u> -	28 -
4.1 ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ OSI	- 28 -
4.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΝΟΣ WSN ΔΙΚΤΥΟΥ	- 30 -
4.3 PHYSICAL LAYER (ΦΥΣΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ)	- 31 -
4.3.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΣΤΑ WIRELESS PHLS	- 31 -
4.3.2 ΣΧΗΜΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ	- 31 -
4.3.3 WIRELESS MEDIA	- 32 -
4.3.4 OPTIMIZING ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ	- 32 -
4.4 DATA LINK (MAC) LAYER	- 33 -
4.4.1 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ MAC	- 33 -
4.4.2 ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	- 37 -

4.4.3 TIMELINESS	- 38 -
4.4.4 ΕΠΕΚΤΑΣΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΟΤΗΤΑ	- 38 -
4.5 NETWORK LAYER (ΕΠΙΠΕΔΟ ΔΙΚΤΥΟΥ) OR ROUTING LAYER (ΕΠΙΠΕΔΟ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ) ..	- 39 -
4.5.1 ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΠΟΛΛΩΝ ΜΟΝΟΠΑΤΙΩΝ.....	- 39 -
4.5.2 ΙΕΡΑΡΧΙΚΗ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ	- 39 -
4.5.3 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ.....	- 40 -
4.6 TRANSPORT LAYER (ΕΠΙΠΕΔΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ)	- 40 -
4.7 SESSION LAYER (ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΟΜΕΑ)	- 44 -
4.8 PRESENTATION LAYER (ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ).....	- 45 -
4.9 APPLICATION LAYER (ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ)	- 47 -

5. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ..... - 49 -

5.1 Το ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΙΝΥDB.....	- 49 -
5.1.1 ΓΕΝΙΚΑ	- 49 -
5.1.2 ΤΙΝΥ SQL ΚΑΙ QUERIES ΣΤΟ ΤΙΝΥDB	- 51 -
5.1.3 ΣΥΝΟΨΗ – ΙΔΙΑΙΤΕΡΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΤΙΝΥDB.....	- 52 -
5.2 Το ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ TASK	- 53 -
5.2.1 ΓΕΝΙΚΑ	- 53 -
5.2.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ TASK.....	- 54 -
5.2.3 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΤΩΝ ΜΟΤΕΣ.....	- 55 -
5.2.4 SENSOR NETWORK APPLIANCE (SNA)	- 56 -
5.2.5 FIELD ΚΑΙ CLIENT ΕΡΓΑΛΕΙΑ	- 57 -
5.3 Το ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΟΤΕVIEW	- 57 -
5.3.1 ΓΕΝΙΚΑ	- 57 -
5.3.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΜΟΤΕVIEW	- 58 -
5.3.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΜΟΤΕVIEW.....	- 60 -
5.4 Η ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΕΜSTAR (ΕΜ*)	- 61 -
5.4.1 ΓΕΝΙΚΑ	- 61 -
5.4.2 ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΠΟΥ ΠΡΟΣΦΕΡΕΙ ΤΟ ΕΜSTAR.....	- 62 -

6. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ..... - 64 -

6.1 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	- 64 -
6.1.1 ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΑ ΥΓΡΟΥ	- 64 -
6.1.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΔΙΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ	- 64 -
6.1.3 ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ	- 65 -
6.1.4 ΘΕΡΜΟΣΤΟΙΧΕΙΑ	- 66 -
6.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ	- 67 -
6.2.1 Το ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΠΟΤΕΝΣΙΟΜΕΤΡΟ	- 67 -
6.2.2 Ο ΓΡΑΜΜΙΚΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΣ ΔΙΑΦΟΡΙΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ (LINEAR VARIABLE DIFFERENTIAL TRANSFORMER – LVDT)	- 68 -
6.2.3 ΓΡΑΜΜΙΚΟΙ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΕΣ ΘΕΣΗΣ (LINEAR ENCODERS).....	- 70 -
6.3 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ	- 72 -
6.4 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΚΡΟΥΣΤΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ	- 72 -

6.5 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ HALL	- 73 -
6.6 ΔΙΑΦΟΡΑ ΑΛΛΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ	- 73 -
6.6.1 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΠΙΕΣΕΩΣ.....	- 74 -
6.6.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΣΤΑΘΜΗΣ ΥΓΡΟΥ.....	- 74 -
6.6.3 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΡΟΗΣ	- 74 -
<u>7. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ</u>	- 75 -
7.1 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΚΑΙ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ (COMMUNICATION PROTOCOLS AND ROUTING)	- 75 -
7.1.1 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ (COMMUNICATION PROTOCOLS)	- 76 -
7.1.2 ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΤΙΚΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ	- 76 -
7.1.3 ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ (ROUTING)	- 77 -
7.1.4 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΣΤΗ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ	- 82 -
7.2 Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	- 83 -
7.2.1 ΠΟΥ ΠΑΕΙ Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ;.....	- 84 -
7.2.2 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	- 87 -
7.2.3 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	- 89 -
7.2.4 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ.....	- 93 -
<u>ΕΠΙΛΟΓΟΣ</u>	- 99 -
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΑΝΑΦΟΡΕΣ</u>	- 100 -

1. Εισαγωγή στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

1.1 Γενικά εισαγωγικά

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (Wireless Sensor Network) είναι ένα ασύρματο δίκτυο που αποτελείται από χωρικά κατανομημένες αυτόνομες συσκευές που χρησιμοποιούν αισθητήρες για να μετρήσουν τις φυσικές ή περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως η θερμοκρασία, ο ήχος, η δόνηση, η πίεση, η κίνηση, ή οι ρύποι στις διαφορετικές θέσεις. Κάθε αισθητήρας έχει ικανότητα ασύρματης επικοινωνίας, δυνατότητες επεξεργασίας σήματος και δικτύωσης των στοιχείων. Η ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων αισθητήρων παρακινήθηκε αρχικά από τις στρατιωτικές εφαρμογές, όπως η επιτήρηση πεδίων μαχών. Εντούτοις, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων χρησιμοποιούνται τώρα σε πολλούς πολιτικούς τομείς, συμπεριλαμβανομένου του περιβάλλοντος και της παρακολούθησης βιότοπων, των εφαρμογών υγειονομικής περίθαλψης, της οικιακής αυτοματοποίησης και του ελέγχου της κυκλοφορίας.

Η ανάπτυξη των δικτύων αισθητήρων απαιτεί τεχνολογία από τρεις διαφορετικούς τομείς: Αυτούς των αισθητήρων, των επικοινωνιών και του υπολογισμού (συμπεριλαμβανομένου του υλικού, του λογισμικού και των διαφόρων αλγορίθμων). Κατά συνέπεια, η πρόοδος είτε συνδυαστικά είτε χωριστά σε κάθε μια από αυτές τις τεχνολογικές περιοχές, έχει οδηγήσει την έρευνα στα δίκτυα αισθητήρων.

Τα τελευταία χρόνια, οι εξελίξεις στην τεχνολογία των ασύρματων επικοινωνιών και της ηλεκτρονικής κατέστησαν δυνατή την ανάπτυξη χαμηλού κόστους, χαμηλής κατανάλωσης, πολλαπλών χρήσεων αισθητήρων που είναι μικροσκοπικοί σε μέγεθος, λειτουργούν χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση και επικοινωνούν μεταξύ τους σε μικρές αποστάσεις. Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων είναι ένα δίκτυο που αποτελείται από έναν μεγάλο αριθμό από τέτοιους κόμβους αισθητήρων καθένας από τους οποίους ενσωματώνει δυνατότητες αίσθησης του περιβάλλοντος, επεξεργασίας, αποθηκεύσεως και ασύρματης επικοινωνίας με άλλους κόμβους του δικτύου. Η θέση των κόμβων δεν χρειάζεται να είναι προσχεδιασμένη. Αυτό από την μια επιτρέπει τυχαία τοποθέτηση σε μια, για παράδειγμα, δυσπρόσιτη περιοχή, από την άλλη όμως, σημαίνει μεγαλύτερη δυσκολία στην υλοποίηση αποδοτικών πρωτοκόλλων και αλγορίθμων.

Στις μέρες μας, ένα τυπικό ασύρματο δίκτυο αισθητήρων χαρακτηρίζεται από τα εξής:

- Μεγάλο πλήθος ασύρματων κόμβων.
- Σχετικά μεγάλη πυκνότητα στη τοποθέτηση των κόμβων.
- Ανοχή σε πιθανές αποτυχίες λειτουργίας ορισμένων κόμβων.
- Συχνή αναπροσαρμογή της τοπολογίας του δικτύου.
- Περιορισμένη ενέργεια στους κόμβους.

Οι κόμβοι συνήθως είναι διάσπαρτοι σε μια συγκεκριμένη περιοχή με απόσταση μερικών δεκάδων μέτρων ο ένας από τον άλλον. Μπορούν να τοποθετηθούν στο έδαφος, τον αέρα, κάτω από το νερό, μέσα σε ζωντανούς οργανισμούς, σε οχήματα και στο εσωτερικό κτιρίων ή κατασκευών. Κάθε ένας από αυτούς τους κόμβους έχει τη δυνατότητα να συγκεντρώνει δεδομένα και να τα δρομολογεί πίσω σε έναν κεντρικό κόμβο (sink, gateway) χρησιμοποιώντας πολλαπλά άλματα μη-δομημένης (multihop ad-hoc or infrastructureless) αρχιτεκτονικής. Ο κεντρικός αυτός κόμβος μπορεί να συνδέεται απευθείας με κάποιο υπολογιστικό σύστημα ή να στέλνει τα δεδομένα που

έχει συγκεντρώσει μέσω δορυφόρου ή κάποιου άλλου τρόπου (υπάρχουσα τηλεφωνική υποδομή, δίκτυο οπτικών ινών κλπ) σε κάποιο απομακρυσμένο υπολογιστικό σύστημα.

Η διάρκεια ζωής ενός κόμβου εξαρτάται ουσιαστικά μόνο από την διάρκεια ζωής της ενεργειακής του πηγής (συνήθως μπαταρία) καθώς τις περισσότερες φορές είναι αυτή που εξαντλείται πολύ πριν παρουσιαστεί κάποια βλάβη λειτουργίας στα κυκλώματα του κόμβου. Για το θέμα αυτό υπάρχουν δύο προσεγγίσεις σήμερα.

Η πρώτη αφορά τον εξοπλισμό των αισθητήρων με μια επαναφορτιζόμενη ενεργειακή πηγή και η κυρίαρχη επιλογή είναι η χρήση μπαταριών υψηλής πυκνότητας. Άλλη εναλλακτική λύση για αυτή την προσέγγιση είναι η χρησιμοποίηση των κυψελών καυσίμου (fuel cells) οι οποίες αποτελούν καθαρές ενεργειακές πηγές ιδιαίτερα υψηλής πυκνότητας. Εντούτοις, ακόμη δεν υπάρχουν σε μορφή κατάλληλη για πρακτική χρήση στους κόμβους αισθητήρων.

Η δεύτερη προσέγγιση αφορά την συλλογή ενέργειας που είναι διαθέσιμη στο περιβάλλον. Παράλληλα με την χρήση ηλιακών κυψελών και φωτοβολταϊκών που ήδη χρησιμοποιούνται σε φορητές συσκευές, όπως, ηλεκτρονικοί υπολογιστές τσέπης (calculators) υπάρχει ένας αριθμός προτάσεων για την μετατροπή δονήσεων σε ηλεκτρική ενέργεια.

Τα δεδομένα που μπορεί να συγκεντρώνει ένας κόμβος αισθητήρων και κατά συνέπεια ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων περιορίζονται μόνο από τα κυκλώματα αισθητήρων (sensor boards) που περιέχουν και περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων μετρήσεις για την υγρασία, το φως, τον ήχο, την μαγνήτιση, την επιτάχυνση, την θερμοκρασία, την τάση της ενεργειακής τους πηγής ή διαφόρων ειδών ακτινοβολίες. Η λίστα με τους τύπους δεδομένων που μπορεί να συγκεντρώσει ένας αισθητήρας θα συνεχίσει να αυξάνει καθώς τεχνολογικές εξελίξεις επιτρέπουν την μέτρηση ακόμα και τοξικών ουσιών στο χώμα, το νερό ή τον αέρα, ίσως ακόμα και γεύσεων.

Οι εφαρμογές αλλά και οι βασικοί στόχοι των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι ποικίλοι και ανάλογα με την εκάστοτε χρήση τους. Περαιτέρω αναφορά και ανάλυση γίνεται παρακάτω.

1.2 Γενικά χαρακτηριστικά των ασύρματων δικτύων αισθητήρων

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχουν πολύ συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Όταν συγκρίνονται με κοινά χρησιμοποιούμενα ad-hoc δίκτυα, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων τυπικά διαφέρουν σε δύο οπτικές γωνίες: περιορισμοί πόρων και μοντέλα επικοινωνίας.

1.2.1 Περιορισμοί πόρων


Τα παραδοσιακά δίκτυα επικοινωνίας όπως τα Wireless Local Area Networks (WLANs) ή τα Mobile Ad-hoc Networks (MANETs), δεν χρειάζεται να τα βγάλουν πέρα με σοβαρούς περιορισμούς πόρων. Αντίθετα στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, η ισχύς, η μνήμη, η CPU και η συχνότητα είναι περιορισμένοι πόροι. Για τον σχεδιασμό των κόμβων ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων, χρειάζεται οι συσκευές να είναι χαμηλού κόστους, ελαφριές και μικρές σε μέγεθος. Αυτές οι συσκευές είναι σχεδιασμένες, ώστε να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλο αριθμό για την παρακολούθηση-έλεγχο του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με αυτά τα χαρακτηριστικά σχεδιάζονται λύσεις, ώστε να είναι αξιόπιστες και να επικοινωνούν σε πραγματικό χρόνο στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Για παράδειγμα, το Table 1 παρουσιάζει κάποια σχετικά

χαρακτηριστικά του mote MICA2, το οποίο είναι μια λύση για την Crossbow Technology.

Λόγω των περιορισμών των πηγών χρησιμοποιούνται μικρού μεγέθους προγράμματα, μικρή χωρητικότητα μνήμης για αποθήκευση, και χαμηλή ροή δεδομένων, συγκρινόμενα με τις τυπικές τεχνολογίες MANET.

Σαν συνέπεια, αυτοί οι περιορισμοί καταλήγουν να είναι υψηλής προτεραιότητας στο σχεδιασμό της δομής ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Για παράδειγμα, το σύστημα ελέγχου για ένα κόμβο, πρέπει να λαμβάνει υπ' όψιν τον περιορισμό των πηγών ενέργειας. Το TinyOS είναι ένα από τα πρώτα συστήματα ελέγχου, σχεδιασμένο για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, χαρακτηρίζεται από ένα μικρού μεγέθους κώδικα, ενώ υποστηρίζει επικοινωνίες, πολλές εφαρμογές, σύλληψη δεδομένων και δυνατότητες οδηγού hardware.

Table 1. Look and characteristics of the MICA2 mote

	Program Flash Mem.	128 kbytes
	Measur. Flash Mem.	512 kbytes
	Config. EPROM	4 kbytes
	Data Rate	38.4 kbits/s
	Radio Channel	916 MHz
	Battery	2 x AA
	Battery Voltage	2.7 – 3.3 V
	Size (mm)	58 x 32 x 7
	Weight (grams)	18 (without batteries)

1.2.2 Μοντέλα επικοινωνίας

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων καθοδηγούνται από διαφορετικά παραδείγματα επικοινωνίας, από αυτά των παραδοσιακών ασυρμάτων δικτύων. Αυτά τα νέα παραδείγματα, είναι αποτέλεσμα από τους σοβαρούς περιορισμούς που αναφέρθηκαν προηγουμένως και επίσης από το μεγάλο αριθμό κόμβων που χρειάζονται για τις περισσότερες εφαρμογές. Στις περισσότερες εφαρμογές, είναι σύνηθες να παρακολουθείται μια περιοχή σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον. Γι' αυτό δεν είναι υποχρεωτικό να γνωρίζουμε τη λογική ταυτότητα ενός κόμβου που παράγει δεδομένα, αλλά περισσότερη σημασία δίνεται στη γεωγραφική τοποθεσία από όπου τα δεδομένα προέρχονται. Σαν αποτέλεσμα, απαριθμούμε τρία παραδείγματα επικοινωνίας, τα οποία μπορούν να σχετιστούν με τα WSN:

1. Με κέντρο τα δεδομένα (Data-centric): Ενώ τα κλασσικά WLANs/MANETs είναι βασισμένα σε μια λογική διεύθυνση, για να αναγνωρίσουν κάθε φορητό σταθμό, τα WSN τυπικά λειτουργούν με ένα διαφορετικό τρόπο. Οι κόμβοι των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, δεν είναι διεθνώς αναγνωρισμένοι όπως τα MAC ή οι IP διευθύνσεις όπου τυπικά χρησιμοποιούνται στα παραδοσιακά δικτυακά. Στα δίκτυα με κέντρο τα δεδομένα, δίνεται έμφαση στα δεδομένα παρά στις συσκευές από όπου τα δεδομένα παράγονται. Δεδομένα από διαφορετικές πολλαπλές πηγές σχετιζόμενες με το ίδιο φυσικό φαινόμενο χρειάζεται να αθροιστούν και να σταλούν κατόπιν στο σταθμό ελέγχου.

2. Μεγάλη κλίμακα (Large-scale): Στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, οι κόμβοι είναι τοποθετημένοι σε μεγάλους αριθμούς. Κατά συνέπεια, τα πρωτόκολλα επικοινωνίας θα έπρεπε να είναι επαρκή για δίκτυα με μεγάλο αριθμό κόμβων και να παρουσιάζουν μικρή επικοινωνία.

3. Δρομολόγηση βασισμένη στη τοποθεσία (Location-based routing): Η ταυτότητα ενός κόμβου σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, θα έπρεπε να βασίζεται στη γεωγραφική θέση στην ελεγχόμενη περιοχή και όχι σε μια λογική διεύθυνση. Αυτού του είδους η ταυτότητα ταιριάζει καλύτερα στις ιδιότητες των data-centric και large-scale, των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Σε δρομολόγηση location-based, ένας κόμβος χρειάζεται μονάχα για να γνωρίζουμε τη θέση των γειτόνων, χωρίς να χρειάζεται να διατηρούμε ένα μεγάλο δρομολογητικό πίνακα βασισμένο σε λογικές διευθύνσεις.

1.3 Διαφορές ασύρματων δικτύων αισθητήρων και ad-hoc ασύρματων δικτύων.

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μοιράζονται ομοιότητες με τα ad-hoc ασύρματα δίκτυα. Η κυρίαρχη μέθοδος επικοινωνίας και στα δύο είναι δικτύωση multi-hop, αλλά πολλές σημαντικές διαφορές μπορούν να παρουσιαστούν μεταξύ των δύο. Τα ad-hoc δίκτυα τυπικά υποστηρίζουν δρομολόγηση μεταξύ οποιουδήποτε ζευγαριού κόμβων, εν αντιθέσει τα δίκτυα αισθητήρων έχουν πιο εξειδικευμένη επικοινωνία. Η περισσότερη κίνηση στα δίκτυα αισθητήρων μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε μια από 3 κατηγορίες:

1) Πολλά προς ένα: Πολλαπλοί κόμβοι αισθητήρων στέλνουν τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί από τους αισθητήρες σε έναν σταθμό βάσης ή σε ένα σημείο συγκέντρωσης στο δίκτυο.

2) Ένα προς πολλά: Ένας μόνο κόμβος (τυπικά μια βάση σταθμού) ρίχνει πολλαπλές πληροφορίες ή υπερχειλίζει μια ουρά ή ελέγχει πληροφορίες σε πολλούς κόμβους αισθητήρων.

3) Τοπική επικοινωνία: Γειτονικοί κόμβοι στέλνουν μηνύματα σε συγκεκριμένο τόπο για να ανακαλύψουν και να μπουν σε μια σειρά το ένα με το άλλο. Ένας κόμβος μπορεί να μεταδώσει μηνύματα, τα οποία πρόκειται να ληφθούν από όλους τους γειτονικούς κόμβους ή μοναδικά μηνύματα τα οποία προορίζονταν για ένα μοναδικό γείτονα.

Οι κόμβοι στα ad-hoc δίκτυα έχουν γενικά θεωρηθεί, ότι έχουν περιορισμένες πηγές ενέργειας. Από όλους τους περιορισμούς των πηγών, η ελαχιστοποίηση ενέργειας είναι αυτό που πιέζει περισσότερο. Ύστερα από την τοποθέτησή τους, πολλά δίκτυα αισθητήρων είναι σχεδιασμένα να μην παρακολουθούνται για μεγάλες χρονικές περιόδους, και η επαναφόρτιση της μπαταρίας ή η αντικατάσταση της μπορεί να είναι ανέφικτη ή αδύνατη.

Οι κόμβοι στα δίκτυα αισθητήρων συχνά παρουσιάζουν σχέσεις εμπιστοσύνης, πέρα από αυτούς που τυπικά βρίσκονται στα ad-hoc δίκτυα. Γειτονικοί κόμβοι σε δίκτυα αισθητήρων συχνά μαρτυρούν τα ίδια, ή συνυφασμένα περιβαλλοντικά γεγονότα. Αν ο κάθε κόμβος στέλνει ένα πακέτο στο σταθμό βάσης σε απάντηση, πολύτιμη ενέργεια σπαταλιέται. Για να καθαριστούν όλα αυτά τα καθυστερημένα μηνύματα, για να μειωθεί η κίνηση και να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας, τα ασύρματα δίκτυα απαιτούν επεξεργασία μέσα στο δίκτυο, συγκέντρωση και

ελαχιστοποίηση των διπλότυπων. Αυτό συχνά απαιτεί εμπιστοσύνη στις σχέσεις μεταξύ των κόμβων, τα οποία δεν συναντώνται συχνά στα ad-hoc δίκτυα.

1.4 Παρελθόν, παρόν και μέλλον των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχουν γίνει αποδεκτά με μεγάλο ενδιαφέρον από την ερευνητική κοινότητα και αποτελούν ένα πεδίο όπου οι εξελίξεις τρέχουν. Η πρώτη πειραματική πλατφόρμα ασύρματων δικτύων αισθητήρων σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια στο Berkeley το 1999. Έκτοτε, έχει ακολουθήσει ένα πλήθος από νέες προτάσεις για τους κόμβους αυτών των δικτύων:

- Cots Dust mote (1999)
- weC mote (1999)
- Rene mote (2000)
- Rene2 mote (2001)
- Dot mote (2001)
- Mica mote (2002)
- Mica2 mote (2003)
- Mica2Dot mote (2003)
- MicaZ mote (2004)
- Telos mote (2004)
- Tmote Sky mote (2005)
- Sun SPOT (2007)

Από τις πλατφόρμες αυτές, οι πρώτες ήταν πειραματικές υλοποιήσεις του Πανεπιστημίου Berkeley, ενώ από το Mica mote και έπειτα κατασκευάζονται από την εταιρία Crossbow. Η συγκεκριμένη εταιρία αποτελεί πλέον οδηγό στις εξελίξεις στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, ενώ έχουν αρχίσει να εμφανίζονται και άλλες εταιρίες στο χώρο, όπως η Moteiv, της οποίας προϊόν είναι το Tmote Sky mote και στο χώρο εισήρθε και η γνωστή εταιρία Sun με το Sun SPOT.

Τα motes λοιπόν είναι ουσιαστικά οι κόμβοι του ασύρματου δικτύου αισθητήρων και το μέγεθός τους είναι λίγο μεγαλύτερο από τις διαστάσεις 2 μπαταριών AA, από τις οποίες τροφοδοτούνται με ενέργεια. Το μέγεθος της συσκευής αν και είναι μικρό, δεν έχει τις μικροσκοπικές διαστάσεις που οραματιζόμαστε για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Από την άλλη όμως δεν ήταν αυτός ο σκοπός των συσκευών αυτών, αλλά να δοθούν στην επιστημονική κοινότητα συσκευές με τις οποίες θα μπορεί να κάνει έρευνα στο πεδίο των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων που θα έχουν τα απαραίτητα για αυτά τα δίκτυα χαρακτηριστικά ενώ παράλληλα θα έχουν ένα λογικό κόστος.

Κάθε τέτοιο mote συνοπτικά διαθέτει ένα επεξεργαστή, ένα πομποδέκτη, μία μικρή ποσότητα μνήμης, μετατροπείς αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, δυνατότητες διασύνδεσης με sensor board και μια μνήμη flash. Η μνήμη flash η οποία είναι διαθέσιμη, μπορεί να χρησιμεύσει ως χώρος αποθήκευσης δειγμάτων από τις μετρήσεις που κάνει το mote. Τα sensor board είναι μικροσκοπικές κάρτες επέκτασης που φέρουν διάφορους αισθητήρες που μπορεί να χρησιμοποιήσει το mote. Ανάμεσα στις παραμέτρους που μπορούμε να παρακολουθήσουμε με τους υπάρχοντες αισθητήρες ανήκουν τα παρακάτω:

- Θερμοκρασία
- Υγρασία
- Ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου
- Πίεση
- Θόρυβος (ήχος γενικά)
- Χημικές ουσίες

Η εταιρία Crossbow, παράλληλα με τα Mica mote, διαθέτει στην αγορά ένα πλήθος από sensor board τα οποία μπορούν να συνεργαστούν με τα mote της. Οι δυνατότητες που προσφέρουν ποικίλουν, ενώ τα πιο εξελιγμένα από αυτά διαθέτουν και GPS δυνατότητες.

Αυτό που δίνει ζωή σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων είναι το λειτουργικό σύστημα TinyOS το οποίο σχεδιάστηκε επίσης στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια στο Berkeley, και του οποίου ο κώδικας είναι open source. Η επιτυχία που γνωρίζουν τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων οφείλεται σε μεγάλο βαθμό και στο TinyOS. Είναι το σύστημα που επιτρέπει την λειτουργία των motes δίνοντας μεγάλη ευελιξία και ευκολία στην δημιουργία εφαρμογών για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, παρά τις περιορισμένες δυνατότητες τους.

Αυτό όμως που έχει μεγαλύτερη σημασία είναι όχι τόσο οι υπηρεσίες τις οποίες μας προσφέρει το TinyOS, οι οποίες εκ των πραγμάτων δεν μπορεί να είναι πολλές, αλλά το γεγονός ότι η φιλοσοφία και ο σχεδιασμός του είναι εναρμονισμένα με το πλαίσιο μέσα στο οποίο καλούνται να λειτουργήσουν τα motes. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία ενός περιβάλλοντος κομμένου και ραμμένου για χρήση σε τέτοια δίκτυα.

Η τελευταία έκδοση του TinyOS είναι η 2.0. Η έκδοση 2.0 ήταν μια μεγάλη βελτίωση σε σχέση με τις προηγούμενες και κυκλοφόρησε για την καλύτερη υποστήριξη των Mica2 mote, τα οποία κυκλοφόρησαν την ίδια περίπου εποχή. Η βασικότερη αλλαγή ήταν ότι ολόκληρο το σύστημα γράφτηκε στην γλώσσα nesC, τη γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται έκτοτε σε συνδυασμό με το TinyOS για το προγραμματισμό των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων.

Από την άλλη πλευρά για να δώσουμε μια εικόνα των μελλοντικών προοπτικών των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων πρέπει να αναφερθούμε στην πορεία του Διαδικτύου, το οποίο πήρε πάνω από 20 χρόνια για να γίνει αυτή η έκρηξη χρησιμοποίησής του σε πάρα πολλές εφαρμογές. Η πορεία αυτή μπορεί να χωριστεί σε 4 στάδια:

1. Ανάπτυξη της απαραίτητης τεχνολογίας (hardware, πρωτόκολλα δικτύου, λογισμικό).
2. Ανάπτυξη και λειτουργία των πρώτων πειραματικών δικτύων και των πρώτων εφαρμογών (ARPANET, e-mail).
3. Καθιέρωση κοινά αποδεκτών προτύπων (TCP/IP).
4. Εξάπλωση της χρήσης του Διαδικτύου παράλληλα με την αύξηση της εμπορικής του χρήσης (WWW).

Συμπερασματικά λοιπόν θα μπορούσαμε να πούμε ότι τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων βρίσκονται σε ένα ενδιάμεσο στάδιο ανάπτυξης. Η τεχνολογία έχει αρχίσει να ωριμάζει και να καθιερώνονται κοινά αποδεκτά πρότυπα, ενώ γίνονται και δοκιμές με μεγάλο πλήθος κόμβων. Παράλληλα και η βιομηχανία δείχνει μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων καθιστώντας έτσι την μείωση της

τιμής τους, όσο επίσης και την περαιτέρω καθιέρωσή τους σε μεγάλο εύρος εφαρμογών.

1.5 Στόχοι και απαιτήσεις ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων

Οι βασικοί στόχοι ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων εξαρτώνται γενικά από την εφαρμογή, αλλά οι ακόλουθοι στόχοι είναι κοινοί για πολλές κατηγορίες δικτύων:

∅ Μέτρηση της τιμής κάποιας παραμέτρου σε μια δεδομένη θέση. Ένας δεδομένος κόμβος αισθητήρων δηλαδή μπορεί να συνδεθεί με διαφορετικούς τύπους αισθητήρων, κάθε ένας από τους οποίους μπορεί να λειτουργεί με ένα διαφορετικό ρυθμό δειγματοληψίας των τιμών.

∅ Ανίχνευση της εμφάνισης ενός καθορισμένου γεγονότος, καθώς και ικανότητα πραγματοποίησης υπολογισμών πάνω στις παραμέτρους του γεγονότος που ανιχνεύθηκε.

∅ Ταξινόμηση ενός αντικειμένου π.χ. σε ένα στρατιωτικό δίκτυο αισθητήρων, παρακολούθηση ενός εχθρικού οχήματος καθώς κινείται μέσω της γεωγραφικής περιοχής που καλύπτεται από το δίκτυο.

Οι απαιτήσεις των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων περιλαμβάνουν τα εξής:

∅ Ικανότητα υλοποίησης και διαχείρισης δικτύων ασύρματων αισθητήρων, το μέγεθος των οποίων να φτάνει ακόμα και τους 10.000 κόμβους.

∅ Χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις. Δεδομένου ότι σε πολλές εφαρμογές οι κόμβοι αισθητήρων θα τοποθετηθούν σε μια απομακρυσμένη περιοχή, η ανατροφοδότηση ενός κόμβου μπορεί να μην είναι δυνατή. Σε αυτή την περίπτωση, η διάρκεια ζωής ενός κόμβου μπορεί να καθοριστεί από τη ζωή μπαταριών, γι' αυτό το λόγο απαιτείται η ελαχιστοποίηση των ενεργειακών δαπανών.

∅ Δυνατότητα αυτο-οργάνωσης των δικτύων. Το δίκτυο πρέπει να είναι σε θέση να μετατρέπεται περιοδικά έτσι ώστε να μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί, ακόμα και στις περιπτώσεις όπου κάποιοι κόμβοι αποτύχουν (π.χ. λόγω έλλειψης ενέργειας), είτε ενσωματωθούν καινούργιοι κόμβοι στο δίκτυο.

∅ Δυνατότητα άντλησης πληροφοριών. Κάποιος χρήστης μπορεί να θέλει τις πληροφορίες ενός κόμβου ή μιας ομάδας από κόμβους για συλλογή πληροφοριών για συγκεκριμένη περιοχή. Εξαιτίας της συγχώνευσης δεδομένων που πραγματοποιείται μπορεί να μην είναι δυνατόν να μεταδοθεί ένας μεγάλος όγκος πληροφοριών από το δίκτυο. Αντί αυτού, διάφοροι τοπικοί κόμβοι θα συλλέξουν δεδομένα από δεδομένες περιοχές και θα δημιουργήσουν περιληπτικά μηνύματα. Έτσι μια αίτηση για άντληση πληροφοριών από έναν κόμβο μπορεί να κατευθυνθεί στον πλησιέστερο τοπικό κόμβο που συλλέγει δεδομένα.

2. Εφαρμογές των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

Οι εφαρμογές για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι πολλές και ποικίλες. Χρησιμοποιούνται σε εμπορικές και βιομηχανικές εφαρμογές για να ελεγχθούν τα στοιχεία που θα ήταν δύσκολο ή θα απαιτούσε μεγάλο κόστος να ελεγχθούν από αισθητήρες συνδεδεμένους με καλώδιο.

Θα μπορούσαν να επεκταθούν σε περιοχές όπου επικρατούν αντίξοες συνθήκες, όπου θα παρέμεναν για πολλά έτη (ελέγχοντας μερικές περιβαλλοντικές μεταβλητές) χωρίς την ανάγκη επαναφόρτισης/αντικατάστασης της παροχής ηλεκτρικού ρεύματός τους.

Η έρευνα για τα δίκτυα αισθητήρων ήταν, όπως και για πολλές άλλες τεχνολογίες, αρχικά παρακινούμενη από στρατιωτικές εφαρμογές. Ενδεικτικές εφαρμογές είναι μεταξύ άλλων: η παρακολούθηση μιας περιοχής για εχθρικές κινήσεις, η πληροφόρηση για το πεδίο της μάχης και η κατάδειξη ενός πιθανού στόχου. Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων μπορεί, ακόμα, να ανιχνεύσει πιθανές απειλές, για παράδειγμα την παρουσία εχθρικού υποβρυχίου ή χημικές, βιολογικές και πυρηνικές επιθέσεις.

Εντούτοις, η διαθεσιμότητα χαμηλού κόστους αισθητήρων και επικοινωνιακών δικτύων έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη πολλών άλλων πιθανών εφαρμογών. Έτσι, σήμερα, τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να βρουν εφαρμογή σε ένα μεγάλο πλήθος δραστηριοτήτων. Για παράδειγμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρατήρηση του περιβάλλοντός μας, φαινομένων και ζωντανών οργανισμών σε αυτό, καθώς και την αλληλεπίδραση αυτών μεταξύ τους και με το περιβάλλον. Έτσι μπορεί να πραγματοποιηθεί παρατήρηση της σεισμικής δραστηριότητας κάποιου ωκεανού, των καιρικών και άλλων φυσικών φαινομένων και να συγκεντρωθούν νέα στοιχεία, σημαντικά για την περιβαλλοντική επιστήμη, όπως, κλιματολογικά μοντέλα και αρκετά δεδομένα για την προειδοποίηση, αντιμετώπιση ή αντίδραση σε μια φυσική καταστροφή (π.χ. επικείμενη πλημμύρα ή εκδήλωση ακραίων καιρικών φαινομένων). Για τους ίδιους λόγους τέτοια ασύρματα δίκτυα αισθητήρων χρησιμοποιούνται και στην γεωργία ακριβείας. Παράλληλα, η δυνατότητα των κόμβων να τοποθετούνται στην περιοχή ενδιαφέροντος ακόμη και σε απομακρυσμένη ρίψη, τους καθιστά ιδανικούς για την έρευνα και εξερεύνηση απομακρυσμένων, δυσπρόσιτων ή επικίνδυνων τοποθεσιών, όπως για παράδειγμα το εσωτερικό ενός ηφαιστείου ή μιας σπηλιάς μεγάλου βάθους, όπου δεν έχουν γίνει στοιχειώδεις μελέτες για αυτούς ακριβώς τους λόγους.

Παράλληλα, τέτοια δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές υγείας με την παρακολούθηση ασθενών και την βοήθεια ατόμων με κινητικά προβλήματα και σε οικιακές εφαρμογές, όπως η παρακολούθηση δωματίων για πιθανούς κινδύνους (διαρροές αερίου, φωτιά) και η χρήση τους ως αντικλεπτικό σύστημα, ενώ έχει γίνει μελέτη για την δημιουργία ενός “έξυπνου” παιδικού σταθμού που χρησιμοποιεί δίκτυα αισθητήρων για εκπαιδευτικούς σκοπούς.

Χρήση τέτοιων δικτύων γίνεται και στην βιομηχανία παρέχοντας βοήθεια, ενδεικτικά, στην κατασκευαστική αυτοματοποίηση, στην παρακολούθηση της χωρητικότητας μιας αποθήκης, στον ποιοτικό έλεγχο προϊόντων, στην αναγκαιότητα συντήρησης και αλλαγής εξοπλισμού ή στον έλεγχο και στην παρατήρηση οικοδομημάτων και κατασκευών.

Μερικά παραδείγματα των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων είναι τα ακόλουθα:

∅ Στρατιωτικά δίκτυα αισθητήρων για την ανίχνευση και την λήψη όσο το δυνατόν περισσότερων πληροφοριών για τις εχθρικές κινήσεις, τις εκρήξεις και άλλα φαινόμενα ενδιαφέροντος.

∅ Δίκτυα αισθητήρων για την ανίχνευση και τον χαρακτηρισμό των χημικών, βιολογικών, ραδιολογικών, πυρηνικών και εκρηκτικών επιθέσεων καθώς και υλικών.

∅ Δίκτυα αισθητήρων για την ανίχνευση και τον έλεγχο των περιβαλλοντικών αλλαγών στις πεδιάδες, τα δάση και τους ωκεανούς.

∅ Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων ρύθμισης κυκλοφορίας για τον έλεγχο της κυκλοφορίας οχημάτων στις εθνικές οδούς ή στα κορεσμένα μέρη μιας πόλης.

∅ Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων επιτήρησης για παροχή ασφαλείας σε εμπορικά πολυκαταστήματα, χώρους στάθμευσης και άλλων εγκαταστάσεων.

∅ Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων χώρων στάθμευσης για καθορισμό των σημείων που είναι κατειλημμένα και αυτών που είναι ελεύθερα.

Στην συνέχεια αναφέρουμε μερικές από τις δεκάδες προσπάθειες που γίνονται στην χρήση ασύρματων δικτύων αισθητήρων με σκοπό την παρακολούθηση συνθηκών του περιβάλλοντος μας.

- **Παρακολούθηση ενεργού ηφαιστείου στην νότια Αμερική - ScienceDaily (Sep. 29, 2004)** Ερευνητές εγκατέστησαν ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων στο ηφαίστειο Tungarahua ύψους 5.016 μέτρων. Το ηφαίστειο αυτό συγκαταλέγεται στα πιο επικίνδυνα ηφαίστεια του ισσημερινού. Μετά την εγκατάσταση του δικτύου ελήφθησαν παρατηρήσεις και δεδομένα για 54 περίπου ώρες. Ο βοηθός καθηγητή του τομέα επιστήμης υπολογιστών στο τμήμα μηχανικής και εφαρμοσμένης επιστήμης του πανεπιστημίου του Harvard Matthew D. Welsh, ανέφερε χαρακτηριστικά ότι το σύστημα που χρησιμοποιήθηκε για την ηφαιστειακή δραστηριότητα κατέγραψε έναν τεράστιο αριθμό δεδομένων. Επίσης, έκανε αναφορά στο γεγονός ότι το ενσύρματο δίκτυο που χρησιμοποιείτο μέχρι τώρα για την παρακολούθηση του Tungarahua και άλλων ηφαιστίων είναι αρκετά δαπανηρό ενώ οι πηγές ενέργειας που χρησιμοποιεί εξαντλούνται γρήγορα. Επιπλέον, απαιτείται η ανθρώπινη παρουσία ανά τακτά χρονικά διαστήματα για την συλλογή των δεδομένων σε ένα όχι και τόσο φιλικό για τον άνθρωπο περιβάλλον. Για την έρευνα αυτή χρησιμοποιήθηκαν πέντε (5) μικροσκοπικοί ασύρματοι αισθητήρες χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, εξοπλισμένοι με ειδικά μικρόφωνα για την παρακολούθηση υπό-ήχων (infrasonic – χαμηλής συχνότητας ακουστικά σήματα) οι οποίοι παράγονται κατά την διάρκεια των εκρήξεων. Κάθε τέτοιος αισθητήρας χρησιμοποιεί δύο μπαταρίες τύπου AA και είναι τοποθετημένος σε ειδική συσκευασία μεγέθους θήκης σαπουνιού, η οποία τον καθιστά αδιάβροχο. Οι αισθητήρες αυτοί μεταδίδουν αυτόματα δεδομένα σε έναν σταθμό βάσης, ο οποίος βρίσκεται πέντε μίλια μακριά από το βουνό. Οι ερευνητές σκοπεύουν να εγκαταστήσουν ένα δίκτυο από είκοσι (20) αισθητήρες στο Tungarahua. Το εγχείρημα αυτό πιστεύεται να επεκταθεί και σε άλλα ενεργά ηφαίστεια.

- **Δίκτυα αισθητήρων για εξερεύνηση του ηλιακού μας συστήματος δοκιμάζονται σε κήπους στην γη - ScienceDaily (July 7, 2000)** Τα δίκτυα αισθητήρων μπορεί να είναι το κλειδί για την NASA με σκοπό να δώσει μια δυναμική παρουσία στην εξερεύνηση του ηλιακού μας συστήματος. Αυτή την στιγμή ένα τέτοιο δίκτυο βρίσκεται υπό δοκιμή στο εργαστήριο Huntington Library, Art Collections and Botanical Gardens στο San Marino της πολιτείας της Καλιφόρνια. Ο στόχος αυτής της προσπάθειας είναι κάθε κόμβος να συλλέγει δεδομένα και να τα στέλνει σε κοντινούς πρωτεύοντες κόμβους. Οι κόμβοι αυτοί θα αναλάβουν να στείλουν τα δεδομένα σε

άλλους κοντινούς πρωτεύοντες κόμβους και ούτω κάθε εξής μέχρι τους επίγειους σταθμούς. Αυτού του τύπου η μεταφορά (muti-hop) θα εξασφαλίσει την μετάδοση πληροφορίας εξοικονομώντας ενέργεια. Επιπλέον, κάθε κόμβος θα μοιράζεται τα δεδομένα με άλλους κόμβους, ώστε κάθε ένας να γνωρίζει τι πληροφορία έχει συλλεχθεί από διάφορα σημεία του δικτύου. Στην παρούσα φάση οι αισθητήρες αυτοί παρακολουθούν, στα πλαίσια του ελέγχου στο εργαστήριο τις ακόλουθες παραμέτρους: θερμοκρασία, υγρασία, υγρασία εδάφους και επίπεδα φωτός. Το δίκτυο αναπτύχθηκε από το Jet Propulsion Laboratory, που βρίσκεται στην Pasadena της πολιτείας της Καλιφόρνια.

- **Μετεωρολογία και Υδρολογία στο εθνικό πάρκο Yosemite της πολιτείας της Καλιφόρνια.** Τα αποθέματα νερού στην πολιτεία της Καλιφόρνια εξαρτώνται άμεσα από τις βροχοπτώσεις που λαμβάνουν χώρα στις μεγάλες υψομέτρους περιοχές και μάλιστα ιδιαίτερα από το λιώσιμο των χιονών του ορεινού όγκου της Σιέρα Νεβάδα. Εξαιτίας των δραματικών αλλαγών του κλίματος από την ανθρώπινη παρέμβαση η παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών είναι πολύ σημαντική και για τον σκοπό αυτό, οι επιστήμονες θέλησαν να μελετήσουν την μεταβολή των παραγόντων που επιδρούν στην μείωση των αποθεμάτων νερού, ώστε να πραγματοποιηθεί αποτελεσματικότερη διαχείριση. Το εγχείρημα αυτό απαιτούσε την εγκατάσταση αισθητήρων σε μια πολύ μεγάλη περιοχή κατά μήκος της Σιέρα Νεβάδα, όπου σε αρκετά σημεία η πρόσβαση είναι εξαιρετικά δύσκολη. Για τον σκοπό αυτό αναπτύχθηκε ένα πρότυπο δίκτυο μετεωρολογικών και υδρολογικών αισθητήρων, στο Yosemite National Park καλύπτοντας ζώνες υψομέτρου που ποικίλουν από 1.200m έως 3.200m. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως το λιώσιμο των πάγων στην οροσειρά στο μέλλον θα είναι μη ομοιόμορφη ενώ θα είναι συνάρτηση του υψομέτρου.

- **Παρακολούθηση υγρασίας εδάφους με ασύρματο δίκτυο αισθητήρων.** Στις 25 Ιουνίου του 2004 στο Pinjar, βόρεια του Perth στην δυτική Αυστραλία, εγκαταστάθηκε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων από το πανεπιστήμιο της Δυτικής Αυστραλίας (University of Western Australia) και συγκεκριμένα από την σχολή Επιστήμης Υπολογιστών. Το δίκτυο ήταν βασισμένο στα motes τύπου MICA2 και στους MDA αισθητήρες. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες υγρασίας εδάφους τύπου ECHO-20, δύο σε κάθε MDA board. Ακόμα χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες βροχής τύπου ECHO-20 ECRN και μια πύλη (gateway) τύπου Superlite E IT GSM. Τα δεδομένα συγκεντρώθηκαν από το δίκτυο αισθητήρων, ο προγραμματισμός του οποίου έγινε σε TinyOS, και στάλθηκε σε μια βάση δεδομένων χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο SOAP (Single Object Application Protocol) και υπηρεσίες Παγκόσμιου Ιστού (Web Services). Τον Ιανουάριο και Φεβρουάριο του 2005 η ομάδα συναρμολόγησε 15 επιπλέον αισθητήρες για την μέτρηση της υγρασίας εδάφους σε περιπτώσεις πλημμύρας και ξηρασίας. Στο σύνδεσμο που ακολουθεί μπορεί κανείς να δει τα δεδομένα που συλλέχθηκαν <http://mobile.act.cmis.csiro.au/kevin/tinybridge/uwaPinjar.aspx>.

- **COMMONSense: Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων για την γεωργία σε άνοδρες περιοχές αναπτυσσόμενων χωρών.** Το COMMONSense Net (CSN) είναι ένα έργο σε εξέλιξη το οποίο εστιάζει στην σχεδίαση και ανάπτυξη ενός δικτύου αισθητήρων για τη διαχείριση της γεωργίας σε αναπτυσσόμενες χώρες με ιδιαίτερη έμφαση στους αγρότες των ημιάνυδρων περιοχών. Το 2004 πραγματοποιήθηκε μια έρευνα στον πληθυσμό μιας ομάδας χωριών στο νότιο Kanataka στην Ινδία. Για τον σκοπό αυτό επιλέχθηκαν αισθητήρες υγρασίας ECHO-20 οι οποίοι συνδέονται με μονάδες συλλογής δεδομένων MDA300. Επίσης επιλέχθηκαν οι μονάδες MTS400 για την επεξεργασία και την αποστολή των δεδομένων στο σταθμό βάσης. Βέβαια η επιστημονική ομάδα δοκιμάζει και άλλους αισθητήρες και πλατφόρμες ασύρματων

αισθητήρων όπως τους Tinynode της Shockfish. Ταυτόχρονα αναπτύχθηκε μια πλατφόρμα συλλογής δεδομένων από την ίδια την ομάδα (in-house) ειδικά για την συλλογή δεδομένων υγρασίας από το έδαφος η οποία λειτουργεί με μια μπαταρία λιθίου 3.5V. Ο σκοπός του συγκεκριμένου έργου είναι να βοηθήσει την ανάπτυξη της γεωργίας σε περιβάλλοντα τα οποία χαρακτηρίζονται από υψηλής μεταβλητότητας περιβαλλοντικές συνθήκες.

- **Πρόγραμμα γεωργίας ακριβείας Lofar Agro στην Ολλανδία από το πανεπιστήμιο Delft University of Technology.** Ο σκοπός του συγκεκριμένου έργου είναι η παρακολούθηση του μικροκλίματος σε αγροτικές καλλιέργειες. Ένας αριθμός από 150 μονάδες που ονομάζονται TNOdes και οι οποίοι είναι παρόμοιοι με τους Mica2 της Crossbow έχουν εγκατασταθεί σε αγροτική περιοχή. Οι μονάδες είναι εφοδιασμένες με αισθητήρες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, υγρασίας εδάφους, ηλιοφάνειας κ.λ.π. Επειδή κατά την διάρκεια της ανθοφορίας παρατηρήθηκε δραματική μείωση της εμβέλειας στις μονάδες επικοινωνίας των κόμβων, εγκαταστάθηκαν επιπλέον 30 μονάδες TNOdes για την ενίσχυση του δικτύου παίζοντας τον ρόλο αναμεταδότη. Οι κόμβοι TNOdes χρησιμοποιούν το λειτουργικό σύστημα TinyOS. Τα δεδομένα στέλνονται χρησιμοποιώντας το multi-hop πρωτόκολλο δρομολόγησης MintRoute το οποίο είναι διαθέσιμο με το TinyOS. Τα δεδομένα συγκεντρώνονται από έναν κόμβο πύλη στην άκρη του αγροτεμαχίου και στέλνονται μέσω σημάτων WiFi σε ένα από PC για καταχώρηση. Στην συνέχεια μέσω καλωδιακής σύνδεσης στέλνονται σε ειδικό Server και στην συνέχεια διανέμονται σε μερικούς ακόμα Servers μέσω XML format.

3. Πρότυπα και διαθέσιμες πλατφόρμες των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων στοχεύουν σε μια μεγάλη γκάμα εφαρμογών από εντοπισμό οχήματος μέχρι διαχείριση περιβάλλοντος. Η τεχνολογία hardware γι' αυτά τα δίκτυα (χαμηλό κόστος επεξεργαστών, πολύ μικρούς αισθητήρες) βρίσκονται στη διάθεση μας σήμερα με περισσότερες βελτιώσεις στο κόστος και φυσικά περισσότερες δυνατότητες.

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι παρόμοια με τα κινητά ad-hoc δίκτυα στο ότι και τα δύο εξελίσσουν επικοινωνίες multi-hop. Παρόλα αυτά η φύση των εφαρμογών και τα υλικά που χρειάζονται για δρομολόγηση, είναι σημαντικά διαφορετικά σε πολλά σημεία.

Ενώ οι κοινοί υπολογιστές χρησιμοποιούν για τη λειτουργία τους πολλά standard, το μόνο έγκυρο standard το οποίο έχει υιοθετηθεί για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αφορά το κομμάτι της ασύρματης επικοινωνίας (WirelessHART). Κάποια standard είναι τα εξής:

- ZigBee
- Wibree
- 61owpan

Υπάρχουν στην αγορά σήμερα, πολλοί κατασκευαστές αισθητήρων και πολλά δίκτυα. Είναι πολυέξοδο για τους κατασκευαστές, να φτιάξουν ειδικούς μεταβιβαστές για κάθε δίκτυο στην αγορά. Διαφορετικά στοιχεία από διαφορετικούς κατασκευαστές θα έπρεπε να είναι συμβατά. Γι' αυτό το 1993 το IEEE και το Διεθνές Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας ξεκίνησαν να εργάζονται σε ένα πρότυπο για Δίκτυα Έξυπνων Αισθητήρων. Έτσι το IEEE 1451, το πρότυπο για Δίκτυα Έξυπνων Αισθητήρων ήταν το αποτέλεσμα. Ο στόχος αυτού του προτύπου είναι να κάνει πιο εύκολο, για τους κατασκευαστές να αναπτύξουν έξυπνους αισθητήρες και να ενσωματώσουν αυτές τις συσκευές στα δίκτυα.

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται τα βασικά πρότυπα και κάποιες από τις υπάρχουσες πλατφόρμες ασύρματων δικτύων αισθητήρων που χρησιμοποιούνται σήμερα.

3.1 Τα πρότυπα IEEE 802.15.4 και ZigBee

Το πρότυπο 802.15.4 της IEEE παρουσιάστηκε το 2003 και περιγράφει το Physical και MAC layer ενός πρωτοκόλλου για ασύρματη επικοινωνία σε δίκτυα με μεγάλο αριθμό κόμβων, μεγάλους περιορισμούς στη κατανάλωση ενέργειας από τους κόμβους αυτούς, οι οποίοι τρέχουν εφαρμογές που δεν έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων.

Ο όρος ZigBee αναφέρεται σε ένα κλειστό πρότυπο το οποίο ανέπτυξε ένα consortium εταιριών (όπως η Philips και η Motorola) και το οποίο χρησιμοποιεί το IEEE 802.15.4 μαζί με κάποια πρωτόκολλα για δρομολόγηση, κρυπτογράφηση, συγχρονισμό του δικτύου, ενώ παρέχει ένα API για τις εφαρμογές που τρέχουν στους κόμβους του δικτύου.

Το πρότυπο ZigBee σχεδιάστηκε για να λειτουργεί συμπληρωματικά με τα άλλα πρότυπα για ασύρματη δικτύωση, για παράδειγμα το 802.11a, b ή g και το Bluetooth. Αυτό γιατί καθένα από αυτά καλύπτει διαφορετικό πεδίο εφαρμογών και αναγκών. Το

ZigBee προορίζεται για οικιακούς αυτοματισμούς, συστήματα ελέγχου κλιματισμού και εξαερισμού, ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, και γενικά για εφαρμογές όπου είναι πολύ βασικό να υπάρχει η ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με το ότι το κόστος των συσκευών σε ένα τέτοιο δίκτυο πρέπει να είναι αρκετά μικρό, καθιστά ακατάλληλο για τις εφαρμογές για τις οποίες προορίζεται το ZigBee, αφενός το Bluetooth (αφού δεν έχει σχεδιαστεί για μεγάλα δίκτυα και δεν εξασφαλίζει ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας) και αφετέρου το 802.11 (λόγω του μεγάλου κόστους και της μεγάλης κατανάλωσης ενέργειας).

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά των τριών προτύπων.

Χαρακτηριστικό	802.11	Bluetooth	ZigBee
Διάρκεια ζωής	Ώρες	Μέρες	Χρόνια
Πλήθος κόμβων	32	7	65536
Εμβέλεια	100 μέτρα	10 μέτρα	100 μέτρα
Bandwidth	>11Mbps	1 Mbps	250 Kbps
Κρυπτογράφηση	Διάφορες	64 ή 128 bit	128 bit

3.1.1 Το πρότυπο IEEE 802.15.4

Είναι ένα ανοικτό πρότυπο (σε αντίθεση με το ZigBee), βασικά είναι ένα απλό πρωτόκολλο για ασύρματα δίκτυα, που στοχεύει στην ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας με το ελάχιστο δυνατό κόστος υλοποίησης. Επιπλέον, επειδή σχεδιάστηκε για να λειτουργεί σε περιβάλλοντα με υψηλά επίπεδα θορύβου, έχει αρκετά μεγάλη ανοχή σε παρεμβολές και θόρυβο (καλύτερη από την αντίστοιχη του 802.11).

Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση σε φυσικό επίπεδο Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS).

Το πρότυπο καλύπτει τα επίπεδα Physical και MAC, καθώς και μέρος του Link Layer Control. Στο φυσικό επίπεδο υποστηρίζονται τρεις ζώνες συχνότητας, μια στα 868.3 MHz με ταχύτητα 20 Kbps, ανάμεσα στα 902 και 928 MHz με ταχύτητα 40 Kbps, και στα 2.4 GHz με ταχύτητα 250 Kbps. Υπάρχουν συνολικά διαθέσιμα 27 κανάλια. Το επίπεδο MAC του 802.15.4 είναι αρκετά απλούστερο σε σχέση με το αντίστοιχο επίπεδο του Bluetooth. Υποστηρίζονται τοπολογίες δικτύου αστέρα και peer-to-peer.

Οι κόμβοι ενός δικτύου 802.15.4 έχουν από μια μοναδική διεύθυνση 64-bit, η οποία ανατίθεται με τρόπο που ορίζεται από την IEEE (παρόμοια με τον τρόπο που κάθε κάρτα δικτύου Ethernet έχει μια MAC διεύθυνση). Αυτή η διεύθυνση είναι η extended διεύθυνση της συσκευής. Υπάρχει και μια πιο σύντομη 16-bit διεύθυνση, η οποία ανατίθεται από τον coordinator του δικτύου όταν η κάθε συσκευή ξεκινά τη λειτουργία της μέσα στο δίκτυο. Η extended διεύθυνση χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μεταξύ γειτονικών κόμβων, ενώ η πιο σύντομη διεύθυνση για την end-to-end επικοινωνία μέσα στο δίκτυο. Κάτι παρόμοιο με τις MAC (extended) και IP (σύντομες) διευθύνσεις του Internet. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να έχουμε συνολικά $2^{16} = 65536$ κόμβους σε ένα 802.15.4 δίκτυο, οι οποίοι είναι μάλλον υπεραρκετοί.

Στο συγκεκριμένο πρότυπο ορίζονται δυο τύποι συσκευών:

- 1.Κόμβοι πλήρους λειτουργίας.
- 2.Κόμβοι περιορισμένης λειτουργίας.

Η διάκριση μεταξύ τους γίνεται τόσο βάση της λειτουργίας τους, όσο και των δυνατοτήτων τους. Έτσι, οι κόμβοι πλήρους λειτουργίας έχουν περισσότερες επεξεργαστικές δυνατότητες και πιθανότατα περισσότερα αποθέματα ενέργειας, γιατί έχουν περισσότερα καθήκοντα από τους κόμβους περιορισμένης λειτουργίας. Οι κόμβοι πλήρους λειτουργίας μπορούν να λειτουργήσουν με peer-to-peer τρόπο μεταξύ τους, δηλαδή μπορούν να δρομολογήσουν κίνηση που λαμβάνουν από κάποιο γειτονικό τους κόμβο προς οποιονδήποτε άλλο κόμβο του δικτύου, επιλέγοντας κάποιο γειτονικό τους κόμβο για την περαιτέρω προώθηση της πληροφορίας. Υπάρχει ένας κόμβος που παίζει το ρόλο του κέντρου ελέγχου (coordinator) στο δίκτυο.

Από την άλλη πλευρά, οι κόμβοι περιορισμένης λειτουργίας, μπορούν να επικοινωνήσουν μόνο με μια συσκευή πλήρους λειτουργίας, όπως οι κόμβοι ενός δικτύου με τοπολογία αστέρα (με τον κόμβο πλήρους λειτουργίας στο ρόλο του κεντρικού κόμβου). Επομένως, σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων οι κόμβοι περιορισμένης λειτουργίας αναλαμβάνουν να κάνουν τις απαιτούμενες μετρήσεις και τις προωθούν στους κόμβους πλήρους λειτουργίας για περαιτέρω δρομολόγηση στο δίκτυο προς το κέντρο ελέγχου.

3.1.2 Το πρότυπο ZigBee

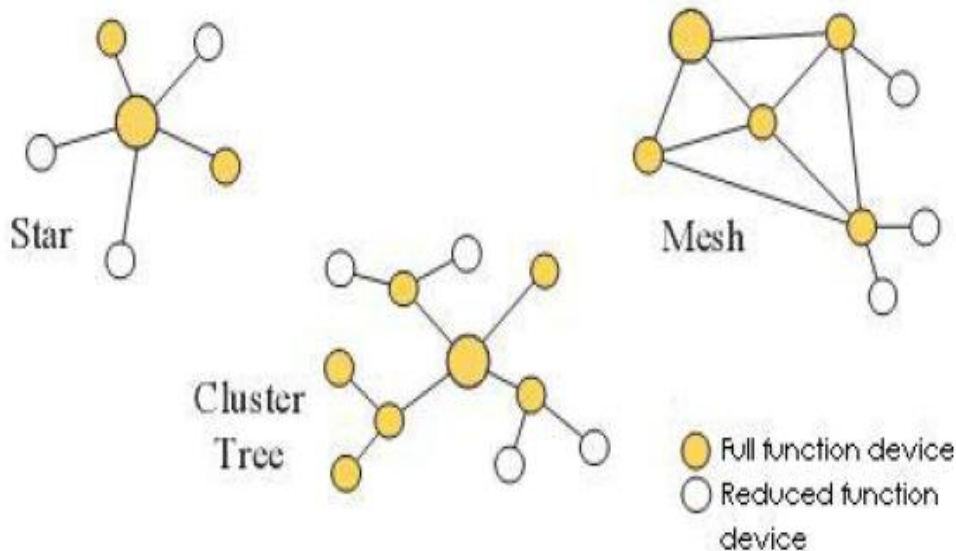
Αυτό το πρότυπο χρησιμοποιεί το IEEE 802.15.4 στα κατώτερα επίπεδα και υλοποιεί μέρος του επιπέδου Data Link, και τα επίπεδα μέχρι και το Interface για τις εφαρμογές που τρέχει ο κάθε κόμβος του δικτύου. Το ZigBee σχεδιάστηκε για να εκτελείται σε 8-bit μικροεπεξεργαστές με μικρό μέγεθος μνήμης. Έτσι, η στοίβα του πρωτοκόλλου καταλαμβάνει μόλις 32 KB για τις συσκευές πλήρους λειτουργίας, ενώ για τις συσκευές περιορισμένης λειτουργίας η απαιτούμενη μνήμη περιορίζεται στα 6 KB.

Το ZigBee παρέχει λειτουργίες εγκατάστασης ενός δικτύου, σύνδεσης και αποσύνδεσης από αυτό, ανάθεσης διευθύνσεων σε κόμβους που συνδέονται σε αυτό, δημιουργίας προγράμματος μεταδόσεων (transmission scheduling), δρομολόγησης, κρυπτογράφησης και άλλα.

Στα δίκτυα ZigBee μπορούμε να έχουμε επιπλέον τύπους τοπολογίας, σε σχέση με τις τοπολογίες που προσφέρει το 802.15.4, όπως η cluster tree και η mesh. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι δυνατοί τύποι τοπολογίας δικτύου σε ένα δίκτυο 802.15.4 και ο ρόλος των δύο τύπων κόμβων. Αναμένεται όμως λόγω των συνθηκών που επικρατούν στις εφαρμογές για τις οποίες έχει σχεδιασθεί για να χρησιμοποιηθεί το ZigBee, ότι η mesh τοπολογία είναι αυτή που θα χρησιμοποιηθεί περισσότερο. Αυτό διότι με τη mesh τοπολογία υπάρχουν πολλές πιθανές διαδρομές προς το κέντρο ελέγχου (control center) του δικτύου από τους διάφορους κόμβους (πλήρους λειτουργίας) του δικτύου. Το γεγονός αυτό καθιστά το δίκτυο περισσότερο ανθεκτικό σε μεμονωμένες αστοχίες (failures) κόμβων.

Σε αυτή τη τοπολογία ο coordinator και οι κόμβοι-δρομολογητές (οι κόμβοι πλήρους λειτουργίας) έχουν ανοιχτούς τους πομποδέκτες τους, ενώ οι υπόλοιποι κόμβοι (οι κόμβοι περιορισμένης λειτουργίας) τους ανοίγουν μόνο αν θέλουν να

μεταδώσουν ή να λάβουν μηνύματα. Αυτή η προσέγγιση προφανώς βοηθά τους κόμβους περιορισμένης λειτουργίας να καταναλώσουν ελάχιστη ενέργεια, αλλά οι κόμβοι πλήρους λειτουργίας χρειάζεται να έχουν (σχετικά) μεγάλα αποθέματα ενέργειας για να μπορέσουν να λειτουργούν για μεγάλα χρονικά διαστήματα (μπορεί ακόμα να είναι συνδεδεμένοι σε σταθερές πηγές ενέργειας).



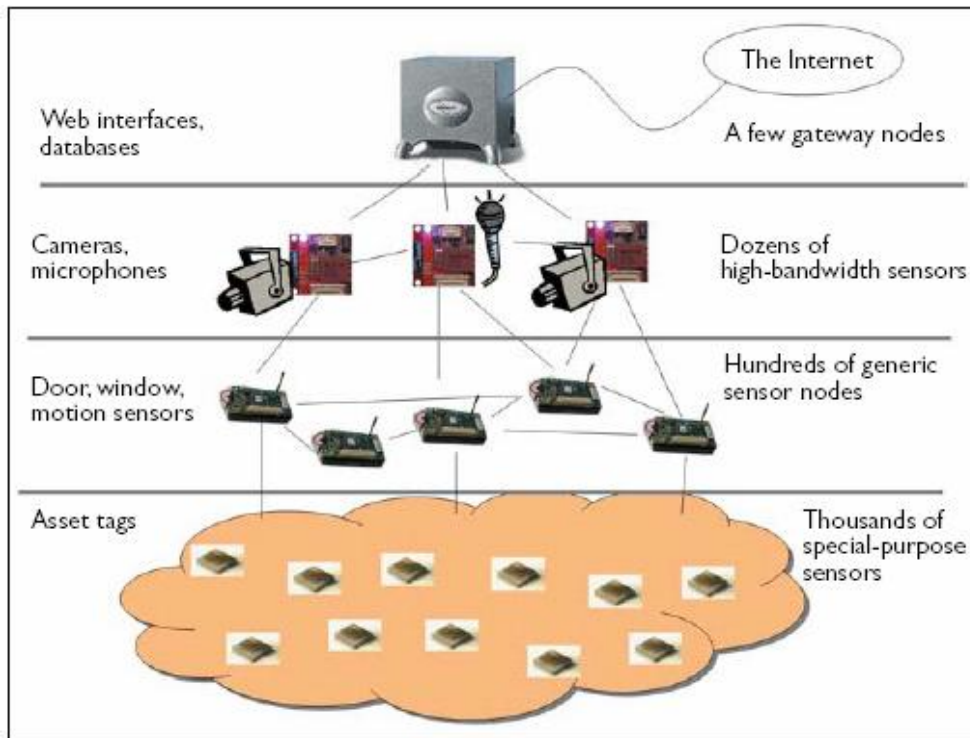
Σχήμα: Τοπολογίες δικτύου σε δίκτυα ZigBee.

3.2 Πλατφόρμες στις οποίες βασίζονται τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων

Η εμπειρία από την αρχική τους ανάπτυξη, έδειξε ότι τα συστήματα δικτύων αισθητήρων απαιτούν μια ιεράρχηση των κόμβων, που να ξεκινάει από χαμηλού επιπέδου αισθητήρες και να συνεχίζει σε υψηλού επιπέδου μονάδες με δυνατότητες συλλογής δεδομένων, ανάλυσης και αποθήκευσης.

Αυτή η βαθμωτή αρχιτεκτονική είναι κοινή σε όλα σχεδόν τα δίκτυα αισθητήρων και γίνεται εύκολα κατανοητή με ένα παράδειγμα. Ας θεωρήσουμε ένα δίκτυο αισθητήρων ενός προηγμένου συστήματος ασφαλείας, στο οποίο η πλειονότητα των αισθητήρων καλύπτει σπάσιμο τζαμιών, κλείσιμο επαφών και ανίχνευση κίνησης. Το πλήθος των αισθητήρων και των κατάλληλων θέσεων τους απαιτούν να τροφοδοτούνται από μπαταρία. Συμπληρώνονται από μερικούς περισσότερο εξελιγμένους αισθητήρες, όπως είναι οι κάμερες, οι ανιχνευτές ήχων και χημικών, τοποθετημένοι σε καίρια σημεία. Τα απλά και τα σύνθετα δεδομένα των αισθητήρων δρομολογούνται μαζί, μέσω ενός δικτύου, σε μια μονάδα παρακολούθησης και ελέγχου του κτιρίου, που παρέχει τη δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης. Οι αισθητήρες που είναι τοποθετημένοι σε παράθυρα και πόρτες για ανίχνευση εισβολής είναι παραδείγματα γενικευμένων μονάδων αισθητήρων (generic sensing devices). Η λειτουργία τους είναι απλή και συγκεκριμένη και απαιτεί την τροφοδοσία από μπαταρία μεγάλης διάρκειας. Επιπλέον, οι ρυθμοί επεξεργασίας και επικοινωνίας που διαθέτουν, είναι οι ελάχιστοι. Αντίθετα, οι αισθητήρες ήχου, εικόνας και χημικών είναι παραδείγματα μονάδων μεγάλου εύρους ζώνης, που απαιτούν επικοινωνία και μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ. Μπορεί σε κάποιες περιπτώσεις να απαιτούν τροφοδότηση από

μπαταρία αλλά συχνά χρειάζεται να συνδεθούν με το δίκτυο παροχής ηλεκτρικής τάσης, για να λειτουργήσουν σε μακρά διάρκεια.



Σχήμα: Ιεραρχική ανάπτυξη ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων

Επιπλέον των παραδοσιακών εφαρμογών ασφαλείας, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι σχεδιασμένα να παρακολουθούν κινητά αντικείμενα αξίας (mobile assets), μέσω μικροσκοπικών, χαμηλού κόστους συσκευών ασφαλείας (security tagsmini motes). Αυτοί οι κόμβοι αισθητήρων ειδικού σκοπού είναι συνώνυμοι μικροσκοπικών διατάξεων με απαίτηση ελάχιστης τροφοδοσίας. Θα μπορούσαν να ενεργοποιήσουν τον συναγερμό όταν ένα αντικείμενο απομακρυνθεί χωρίς εξουσιοδότηση. Επίσης πρέπει να είναι πλήρως ολοκληρωμένοι και σχετικά φτηνοί.

Στα συστήματα ασφαλείας, το δίκτυο αισθητήρων είναι πιθανό να έχει ένα ή περισσότερα τελικά σημεία, που περιλαμβάνουν μια βάση δεδομένων ή άλλο λογισμικό συλλογής δεδομένων, σχεδιασμένο να επεξεργάζεται και να αποθηκεύει ενδείξεις ανεξάρτητων αισθητήρων. Αυτές οι μονάδες πύλης (gateway nodes) παρέχουν μια διεπαφή (interface) σε πολλά υπάρχοντα είδη δικτύων.

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα τυπικά χαρακτηριστικά λειτουργίας των τεσσάρων κατηγοριών των μονάδων-κόμβων: πλατφόρμα-αισθητήρας ειδικού σκοπού (specialized sensing platform), πλατφόρμα-αισθητήρας γενικού σκοπού (generic sensing platform), πλατφόρμα-αισθητήρας μεγάλου εύρους ζώνης (high bandwidth sensing) και πύλη (gateway) - όλες κατασκευασμένες με τεχνολογία αιχμής.

Node Type	Sample "Name" and Size	Typical Application Sensors	Radio Bandwidth (Kbps)	MIPS Flash RAM	Typical Active Energy (mW)	Typical Sleep Energy (uW)	Typical Duty Cycle (%)
Specialized sensing platform	Spec mm ³	Specialized low-bandwidth sensor or advanced RF tag	<50Kbps	<5	1.8V*10–15mA	1.8V *1uA	0.1–0.5%
				<0.1Mb			
				<4Kb			
Generic sensing platform	Mote 1-10cm ³	General-purpose sensing and communications relay	<100Kbps	<10	3V*10–15mA	3V *10uA	1–2%
				<0.5Mb			
				<10Kb			
High-bandwidth sensing	Imote 1-10cm ³	High-bandwidth sensing (video, acoustic, and vibration)	~500Kbps	<50	3V*60mA	3V *100uA	5–10%
				<10Mb			
				<128Kb			
Gateway	Stargate >10cm ³	High-bandwidth sensing and communications aggregation Gateway node	>500Kbps–10 Mbps	<100	3V*200mA	3V *10mA	>50%
				<32Mb			
				<512Kb			

Σχήμα: Τυπικά χαρακτηριστικά λειτουργίας των 4 κατηγοριών ασύρματου δικτύου.

3.2.1 Η μονάδα Spec

Η μονάδα Spec είναι ενδεικτική της τάξης αισθητήρων ειδικού σκοπού. Είναι μια μονάδα μονού στοιχείου (single-chip node), σχεδιασμένη ιδιαίτερα για παραγωγή εξαιρετικά χαμηλού κόστους και λειτουργία χαμηλής ισχύος. Απαιτώντας μόνο 2.5mm*2.5mm πυριτίου, περιλαμβάνει μνήμη RAM και ικανότητες επεξεργασίας και επικοινωνίας. Προκειμένου να μειωθεί το μέγεθος και η πολυπλοκότητα, η μονάδα Spec κατασκευάστηκε έτσι ώστε να έχει διεπαφή μόνο με απλούς αισθητήρες και να επικοινωνεί σε μικρές αποστάσεις. Οι πρώτες εκδόχές της περιλάμβαναν μόνο πομπό, ενώ οι επόμενες έχουν πλήρη πομποδέκτη. Η μονάδα Spec είναι ιδανική για εφαρμογές παρακολούθησης 'κινητών αντικειμένων αξίας'. Εξοπλισμένη με μικρή μπαταρία είναι ικανή να λειτουργεί για πολλά χρόνια.

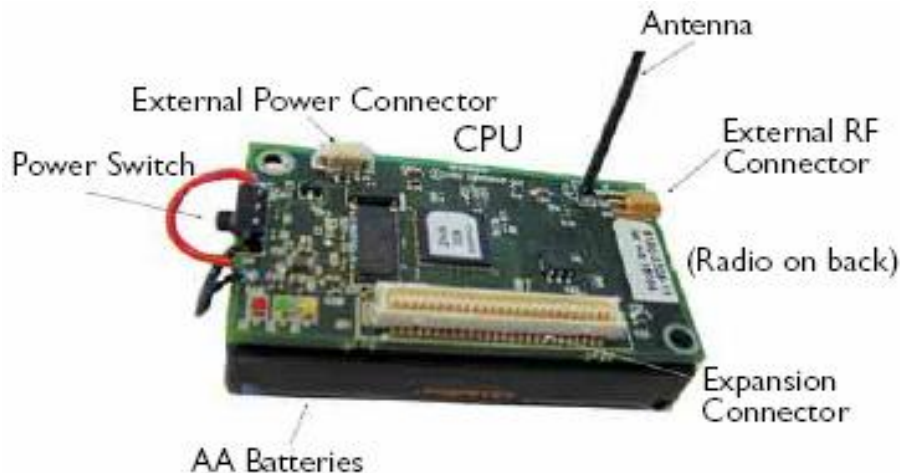


Σχήμα: Η μονάδα Spec

Τα motes του Πανεπιστημίου Berkeley της Καλιφόρνια αποτελούν παράδειγμα συσκευών γενικευμένης τάξης (generic sensor devices), που χρησιμοποιούνται σήμερα από περισσότερους από εκατό ερευνητικούς οργανισμούς. Κάποια από αυτά είναι το Mica2 και το Tmote Sky και το Sun SPOT.

3.2.2 Τα MicaZ, Mica2

Το Mica2 είναι ένα από τα πιο πρόσφατα ανεπτυγμένα εμπορικά διαθέσιμα μοντέλα, που ενσωματώνει εξαρτήματα για μέγιστη ευελιξία, με το MicaZ να αποτελεί την πιο σύγχρονη εξέλιξη του.



Σχήμα: Το Mica2

Περιλαμβάνει ένα μεγάλο σύνδεσμο διεπαφής παρέχοντας τη δυνατότητα προσάρτησης μιας σειράς από αισθητήρες. Διαθέτοντας μεγάλο πλήθος από I/O pins και δυνατότητες επέκτασης, το Mica2 είναι μια από τις καλύτερες επιλογές κόμβων-αισθητήρων σε περιπτώσεις όπου το μέγεθος και το κόστος δεν είναι σημαντικοί παράγοντες. Για παράδειγμα, συνδέεται εύκολα σε ανιχνευτές κίνησης και σε επαφές παραθύρων και θυρών, που είναι απαραίτητα για το σύστημα ασφάλειας σε κτίρια. Επιπλέον, το Mica2 είναι ικανό να δέχεται μηνύματα από μονάδες-κόμβους Spec, που είναι τοποθετημένοι σε αντικείμενα αξίας, όπως οι προσωπικοί και φορητοί υπολογιστές, για περιπτώσεις κλοπής. Η μνήμη και η επεξεργαστική ισχύς που είναι διαθέσιμη στο Mica2, είναι ικανές για τη διαχείριση πολλών δεδομένων που στέλνονται από τις μονάδες Spec. Παρόλο που το Mica2 μπορεί να συνδεθεί με ένα μεγάλο πλήθος αισθητήρων, δεν μπορεί να ανταποκριθεί στο μεγάλο εύρος δεδομένων που προέρχονται από σύνθετους αισθητήρες. Αποτυγχάνει στην επεξεργασία κινούμενης εικόνας και ήχου μεγάλου εύρους ζώνης.

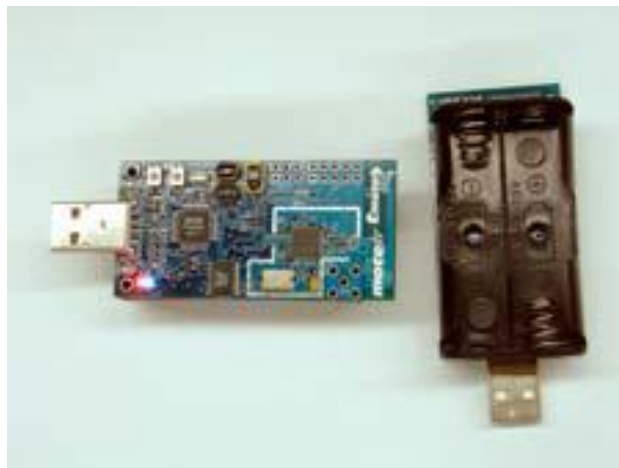
3.2.3 Telos και Tmote sky

Η πλατφόρμα Telos σχεδιάστηκε στο πανεπιστήμιο Berkeley, ως εναλλακτική πρόταση στα Mica motes. Πάνω σε αυτή τη πλατφόρμα βασίστηκε η εταιρία Moteview και ως αποτέλεσμα ήταν το Tmote Sky mote.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι:

- Χρήση καθιερωμένων προτύπων για τη διασύνδεση με υπολογιστή και την επικοινωνία μέσα στο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, δηλαδή χρησιμοποιώντας θύρα USB και πομποδέκτη IEEE 802.15.4.
- Επεξεργαστής 16 bit Texas Instruments MSP430 στα 8 Mhz.
- 10 KB SRAM μνήμη για χρήση από την εφαρμογή που εκτελείται στο mote.
- 48 KB flash μνήμη για αποθήκευση εφαρμογών.
- 1 MB serial μνήμη για αποθήκευση μετρήσεων.
- Ενσωματωμένη κεραία με εμβέλεια μετάδοσης μέχρι 50 μέτρα σε εσωτερικούς χώρους.
- Εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.
- Ενσωματωμένοι αισθητήρες για υγρασία, θερμοκρασία και φως, χωρίς την ανάγκη ξεχωριστού sensor board.

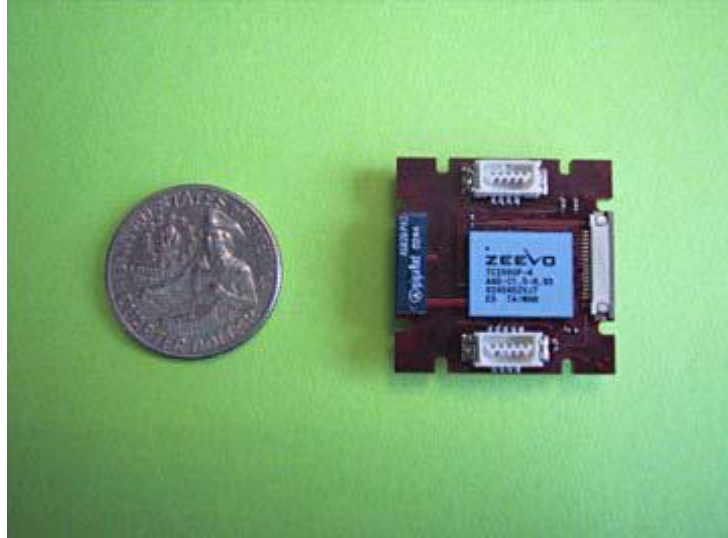
Για την διασύνδεση με το PC χρησιμοποιείται ειδικό λογισμικό που επιτρέπει στο PC να αναγνωρίζει μια θύρα USB, ως σειριακή θύρα. Εφόσον γίνει αυτό, είναι εύκολη η διασύνδεση με το TinyOS και επίσης όλα τα περιβάλλοντα που χρησιμοποιούν τη σειριακή θύρα ως interface με τα motes.



Σχήμα: Tmote sky

3.2.4 Το imote

Το iMote, που δημιούργησε η Intel Research τον Μάιο του 2003, έχει σχεδιαστεί ως πλατφόρμα αισθητήρων μεγάλου εύρους ζώνης και περιλαμβάνει πολύ μεγαλύτερη μνήμη RAM και ισχύ επεξεργασίας, όπως επίσης πομποδέκτη βασισμένο σε τεχνολογία Bluetooth, ικανό να επικοινωνεί σε ταχύτητες μεγαλύτερες από 500Kbps.



Σχήμα: Η πλατφόρμα της Intel iMote

3.2.5 Η πλατφόρμα Stargate

Η πλατφόρμα Stargate, που ανέπτυξε η Intel και πούλησε η Crossbow Technology, είναι αντιπροσωπευτική των συσκευών κατηγορίας πύλης (gatewayclass devices) και περιλαμβάνει επεξεργαστή Intel 400 MHz, μνήμη RAM μερικών megabytes και δυνατότητα αποθήκευσης μέχρι την τάξη των gigabytes. Είναι ικανή να συνδέεται ευθέως με συσκευές βασισμένες στο Mica2 και το iMote και να διαβιβάζει δεδομένα από χαμηλής ισχύος δίκτυα σε παραδοσιακά ασύρματα δίκτυα όπως είναι το 802.11 και το Ethernet. Επιπλέον, οι διατάξεις μνήμης και επεξεργασίας του, του επιτρέπουν να λειτουργεί ως Web front-end σε δίκτυα αισθητήρων, όπου οι χρήστες έχουν πρόσβαση στα δεδομένα του μέσω Web browser.

Το λειτουργικό σύστημα που τρέχει σε συγκεκριμένη πλατφόρμα πρέπει να είναι συμβατό με τις δυνατότητες του υλικού (hardware) της πλατφόρμας. Για συσκευές ειδικού και γενικού σκοπού, ένα ειδικό λειτουργικό σύστημα καλούμενο TinyOS, έχει σχεδιαστεί ώστε να τρέχει σε πλατφόρμες με περιορισμένη υπολογιστική ισχύ και μνήμη. Αντίθετα με πολλά ενσωματωμένα λειτουργικά συστήματα, αυτό παρέχει ισχυρή ενοποίηση ανάμεσα σε ασύρματη σύνδεση και λειτουργίες δικτύου. Παρόλα αυτά, καθώς αυξάνουν οι δυνατότητες των πλατφορμών, όπως για παράδειγμα συμβαίνει στην πλατφόρμα Stargate, απαιτείται όλο και περισσότερη συμμετοχή από το λειτουργικό σύστημα ώστε να υποστηριχτούν πιο σύνθετες εφαρμογές. Πολυεπεξεργασία (multiprocessing), μεταγωγή εκτέλεσης διεργασιών με βάση την προτεραιότητα (preemptive task switching) ή ακόμα υποστήριξη εικονικής μνήμης, είναι επιθυμητά στη διεκπεραίωση πολλαπλών λειτουργιών του συστήματος. Η μονάδα Stargate τρέχει μια ενσωματωμένη εκδοχή του λειτουργικού συστήματος Linux. Όχι μόνο προσφέρει ένα πλήθος δυνατοτήτων του συστήματος αλλά, επιπλέον, το Linux παρέχει μια πληθώρα οδηγών συσκευής (device drivers) για κάρτες Ethernet και κάρτες ασύρματης δικτύωσης 802.11 που είναι απαραίτητες για να επιτρέψουν στους κόμβους-πύλες να συνδεθούν σε ένα ευρύ φάσμα συστημάτων δικτύωσης.



Σχήμα: Η πλατφόρμα Stargate της Crossbow

3.2.6 Το BTnode

Το BTnode είναι μια αυτόνομη ασύρματη πλατφόρμα επικοινωνίας και υπολογισμών βασισμένη σε ένα ραδιοπομπό Bluetooth και έναν μικροελεγκτή. Χρησιμεύει ως μια πλατφόρμα επίδειξης για την έρευνα σε κινητά και ειδικά συνδεδεμένα δίκτυα (MANETs) και κατακευμαμένα δίκτυα αισθητήρων. Το BTnode έχει αναπτυχθεί από κοινού στο ΕΤΗ Ζυρίχης από την [εφαρμοσμένη μηχανική υπολογιστών και το εργαστήριο δικτύων \(TIK\)](#) και την [ερευνητική ομάδα για τα κατακευμαμένα συστήματα](#). Το χαμηλής ισχύος ασύρματο σύστημα εκπομπής είναι το ίδιο όπως χρησιμοποιείται και στα Berkley motes Mica2. Και τα δύο συστήματα εκπομπής μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα ή να κλείνουν ανεξάρτητα όταν δεν βρίσκονται σε χρήση, μειώνοντας αρκετά τη κατανάλωση ισχύος της συσκευής.



Σχήμα: BT Node

Τα χαρακτηριστικά του BT node:

- Microcontroller: Atmel ATmega 128L (8 MHz @ 8 MIPS)
- Memories: 64+180 Kbyte RAM, 128 Kbyte FLASH ROM, 4 Kbyte EEPROM
- Bluetooth subsystem: Zeevo ZV4002, supporting AFH/SFH
- Scatternets with max. 4 Piconets/7 Slaves, BT v1.2 compatible

- Low-power radio: Chipcon CC1000 operating in ISM band 433-915 MHz
- External Interfaces: ISP, UART, SPI, I2C, GPIO, ADC, Timer, 4 LEDs
- Standard C Programming, TinyOS compatible

Η πλατφόρμα ξεφεύγει από τη βασικότερη φιλοσοφία των WSN που αφορά την χαμηλότερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας από του κόμβους και στοχεύει στην προσαρμοστικότητα, την εύκαμπτη και γρήγορη εφαρμογή. Για τον λόγο αυτό εκτός από την συμβατότητα της με το TinyOS χρησιμοποιεί και το BTnut το οποίο είναι ένα πολύ ελαφρύ λειτουργικό σύστημα που χρησιμοποιεί την απλή γλώσσα C. Έχει γραφικό περιβάλλον και βιβλιοθήκες όπως και απλές εφαρμογές.

3.2.7 Sun SPOT

Sun SPOT (Sun Programmable Object Technology): Είναι ένας κόμβος Ασυρμάτων Δικτύων Αισθητήρων (μια συσκευή ηλεκτρονικής επικοινωνίας προορισμένη να είναι κομμάτι της τοπολογίας dust), κατασκευασμένη από τη Sun Microsystems. Η συσκευή είναι βασισμένη πάνω στο πρότυπο IEEE 802.15. Αντίθετα με άλλα διαθέσιμα συστήματα, το Sun SPOT βασίζεται πάνω στο Java 2 Micro Edition Virtual Machine (JVM).

Σε μέγεθος το Sun SPOT είναι ίσο με το μέγεθος της παλάμης του χεριού.



Σχήμα: Sun Spot

Διαθέτει επεξεργαστή, με στοιχεία:

180 MHz 32 bit ARM920T core- 512 K RAM-4M Flash

2,4 GHz IEEE 802.15.4 radio με αναβαθμισμένη κεραία

USB υποδοχές

Οι κόμβοι επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας το πρότυπο IEEE 802.15.4. Το SPOT υποστηρίζει το IEEE 802.15.4 του επιπέδου MAC στην κορυφή του οποίου μπορεί να «τοποθετηθεί», για παράδειγμα το Zigbee.

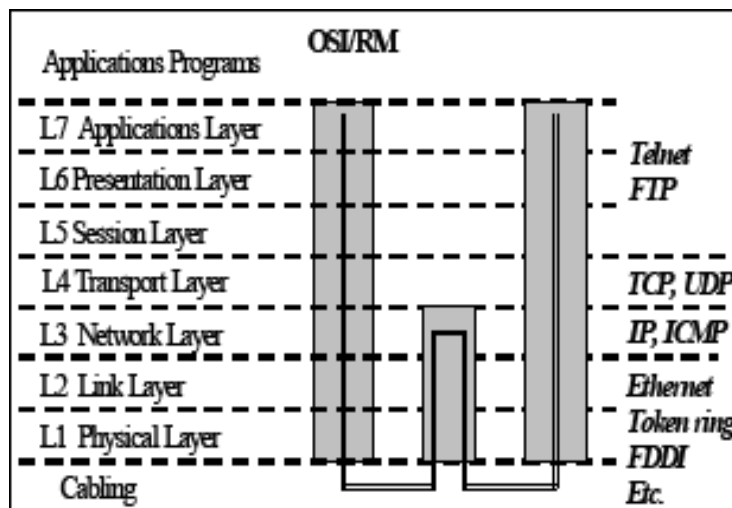
Οι συσκευές που χρησιμοποιούν drivers Java, είναι εξαιρετικά αξιοθαύμαστες, διότι το Java είναι γνωστό ότι μπορεί να είναι, ως προς το hardware, αυτόνομο. Το Sun SPOT χρησιμοποιεί ένα μικρό J2ME, το οποίο «τρέχει» απευθείας στον επεξεργαστή χωρίς να χρειάζεται OS. Για να δημιουργηθούν εφαρμογές SunSPOT, μπορούν να χρησιμοποιηθούν πρότυπα Java IDEs. Η διαχείριση τέτοιων εφαρμογών μπορούν να γίνουν μέσω του “SPOTWorld”.

Η πρώτη περιορισμένη παραγωγή των εφαρμογών SunSPOT, δόθηκαν στη κυκλοφορία στις 2 Απριλίου του 2007, και περιορίζονταν σε δύο αισθητήρες SunSPOT, σε μία βάση σταθμού SunSPOT, το software και ένα καλώδιο USB. Το software είναι συμβατό με Win XP, MAC OS X 10.4, και με τις πιο γνωστές εκδόσεις Linux.

4. Αρχιτεκτονική και προδιαγραφές Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

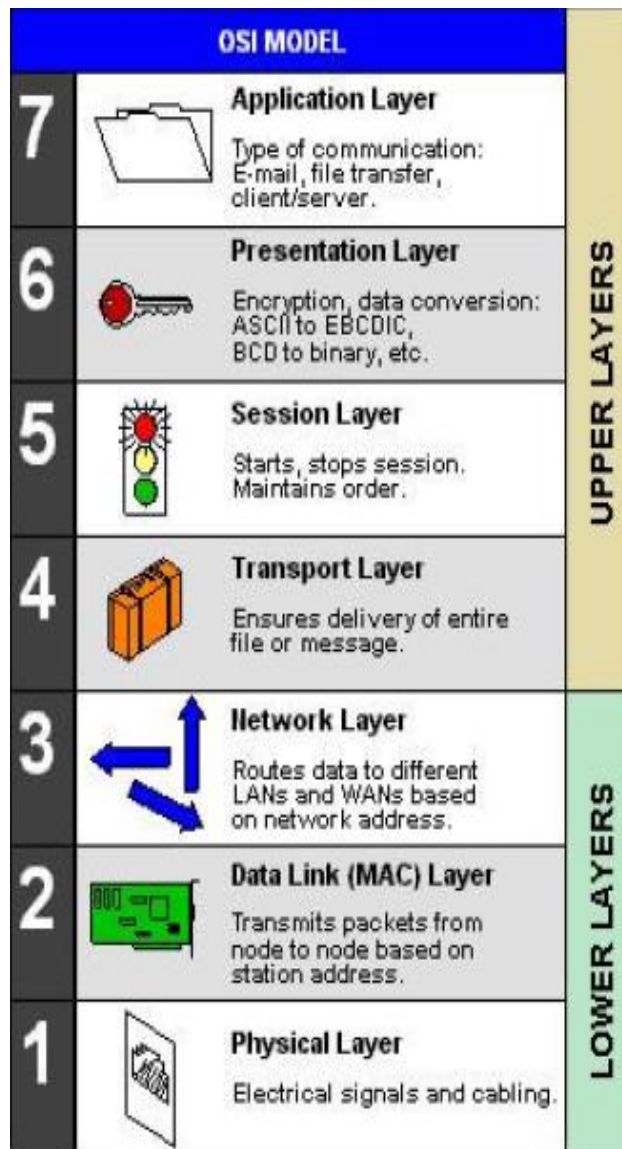
4.1 Μοντέλο Αναφοράς OSI

Ο Διεθνής Οργανισμός Προτύπων (ISO) μέσω της αρχιτεκτονικής OSI/RM συγκεκριμενοποιεί την σχέση μεταξύ μηνυμάτων που μεταδίδονται σε ένα δίκτυο επικοινωνίας και σε προγράμματα εφαρμογών, που εκτελούνται από χρήστες. Η εικόνα μας δείχνει τα 7 επίπεδα του OSI/RM. Κάθε επίπεδο είναι αυτόνομο, έτσι μπορεί να τροποποιηθεί χωρίς να επηρεάσει τα άλλα επίπεδα. Για παράδειγμα το επίπεδο Transport παρέχει εντοπισμό λαθών και διόρθωση. Το Routing και η διαχείριση ροής γίνονται στο επίπεδο Network. Το επίπεδο Physical αναπαριστά το πραγματικό hardware για επικοινωνία συνδέσεων. Το επίπεδο Applications αναπαριστά τα προγράμματα που τρέχουν οι χρήστες.

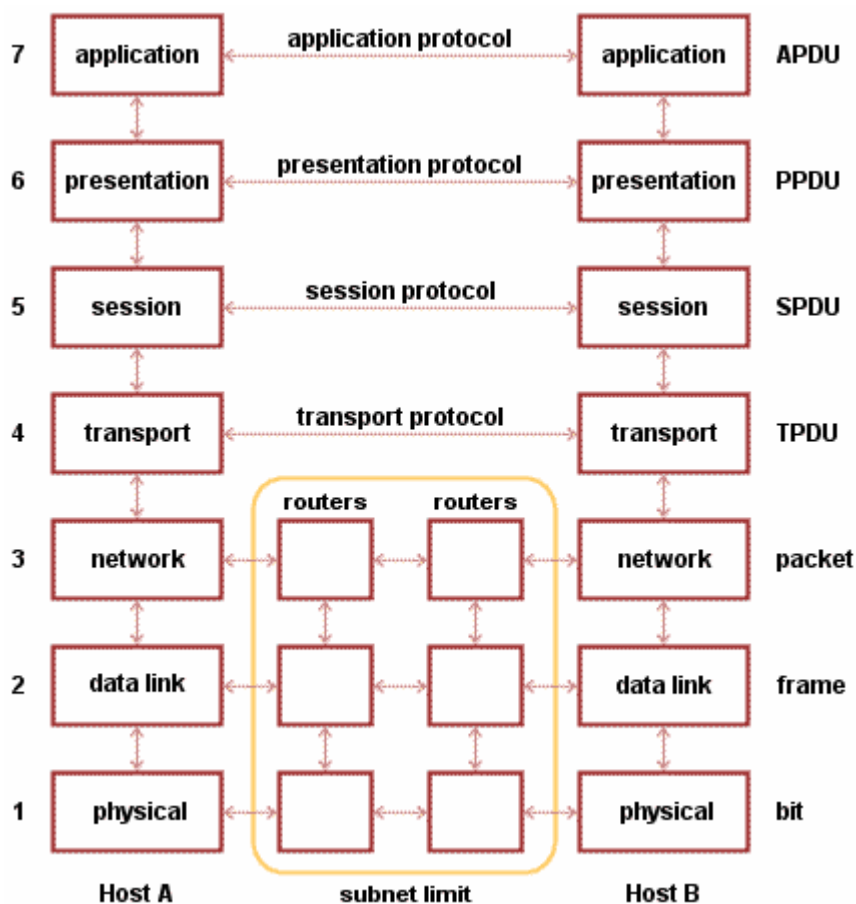


Σχήμα: 7 επίπεδα του μοντέλου OSI/RM

1. **Physical layer (Φυσικό επίπεδο):** Ηλεκτρικά σήματα και καλώδια.
2. **Data link (MAC) layer:** Μεταδίδονται πακέτα από κόμβο σε κόμβο, βασισμένα σε διευθύνσεις σταθμών.
3. **Network layer (Επίπεδο δικτύου):** Δρομολογεί τα δεδομένα σε διαφορετικά LAN και WAN, βασισμένα σε διευθύνσεις δικτύου.
4. **Transport layer (Επίπεδο μεταφοράς):** Σιγουρεύει την παράδοση ολόκληρου του φακέλου ή του μηνύματος.
5. **Session layer (Επίπεδο τομέα):** Τομέας αρχής-τέλους, διατηρεί την σειρά.
6. **Presentation layer (Επίπεδο παρουσίασης):** Κρυπτογραφεί τα δεδομένα, π.χ. από ASCII σε EBCDIC, από BCD σε δυαδικό κ.α.
7. **Application layer (Επίπεδο εφαρμογής):** Τύπος επικοινωνίας, e-mail, μεταφορά φακέλου, client/server.



Σχήμα: Μοντέλο OSI

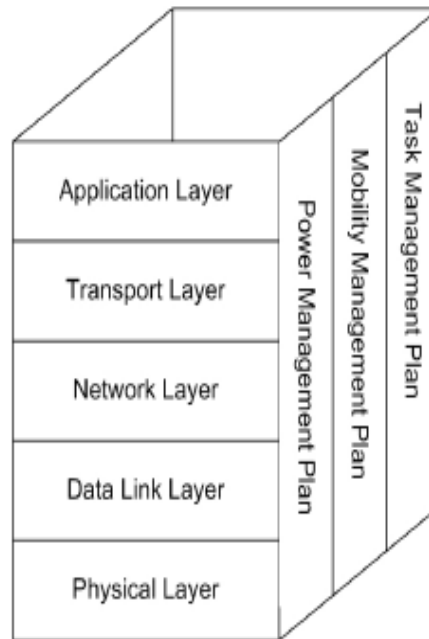


Σχήμα: Μεταφορά δεδομένων ανάμεσα στα επίπεδα.

4.2 Αρχιτεκτονική ενός WSN Δικτύου

Ένα γενικό σχήμα για την αρχιτεκτονική ενός WSN δικτύου από πλευράς πρωτοκόλλων επικοινωνίας, έχει προταθεί και περιέχει ένα συνδυασμό από πέντε επίπεδα πρωτοκόλλων και τρία management plans (παρακάτω σχήμα). Παρουσιάζεται ο σκοπός κάθε επιπέδου στην αλληλουχία των πρωτοκόλλων και οι προκλήσεις που πρέπει να ληφθούν υπόψη στο σχεδιασμό του.

Τα management plans αντιπροσωπεύουν τα επιπλέον χαρακτηριστικά που χρειάζονται για να αντιμετωπιστούν με τον καλύτερο τρόπο, η κατανάλωση ενέργειας, η φορητότητα των κόμβων και το μοίρασμα των πόρων.



4.3 Physical Layer (Φυσικό Επίπεδο)

Αυτή η ενότητα παρουσιάζει τα στοιχεία του φυσικού επιπέδου στα ασύρματα δίκτυα και την ορθότητα στα WSN.

4.3.1 Γενικές οπτικές στα Wireless PhLs

Στις ασύρματες επικοινωνίες, το φυσικό επίπεδο πρέπει να παρέχει τη κατάλληλη μοντελοποίηση σήματος, με σεβασμό στο εύρος της συχνότητας που επιτρέπεται για τις εφαρμογές στόχου. Από τη μεριά της λήψης, αυτό το επίπεδο πρέπει επίσης να ανακαλύπτει το σήμα και να αντιμετωπίζει προβλήματα, όπως χάσιμο μονοπατιού, καθυστέρηση εξάπλωσης κ.α.

Στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, το φυσικό επίπεδο πρέπει να αφιερώνει μια ειδική μεταχείριση στους έμφυτους περιορισμούς, συμπεριλαμβανομένου της χαμηλής κατανάλωσης. Μια σημαντική απαίτηση για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι η σωστή διαχείριση ενέργειας, η οποία είναι τυπικά σχετιζόμενη με το σχήμα διαμόρφωσης, με τη ροή δεδομένων, με τη μετάδοση ενέργειας, και το operational duty cycle.

4.3.2 Σχήμα διαμόρφωσης

Αφού τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε δυσμενή περιβάλλοντα ή σε αντίξοες καιρικές συνθήκες, τα σχήματα διαμόρφωσης πρέπει να είναι σχεδιασμένα, έτσι ώστε να αντέχουν στο θόρυβο, στις παρεμβολές, στα παράσιτα και σε μη εξουσιοδοτημένες ανιχνεύσεις. Το Frequency Hopping Spread Spectrum είναι σχήμα διαμόρφωσης, τυπικά χρησιμοποιούμενο σε ασύρματα δίκτυα, συμπεριλαμβανομένου και τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Όπως το FHSS έτσι και

το DSSS είναι τεχνικές ισχυρής τροποποίησης, παρόλα αυτά το DSSS είναι πιο αποδοτικό, στην περίπτωση πλάγιας συχνότητας μετάδοσης, π.χ. το μεταδιδόμενο σήμα παραμένει μέσα στην συχνότητα εκπομπής.

4.3.3 Wireless media

Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων, είναι ότι έχουν μικρού εύρους ασύρματες συνδέσεις. Αυτό είναι εξαιτίας του γεγονότος, ότι η δύναμη μετάδοσης αυξάνεται με την απόσταση στον παραλήπτη.

Δύο είδη ασύρματων media μπορεί να χρησιμοποιηθούν στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων: radio και οπτικά, όπου το πρώτο είναι το πιο κοινό, εξαιτίας των έμφυτων περιορισμών των οπτικών επικοινωνιών.

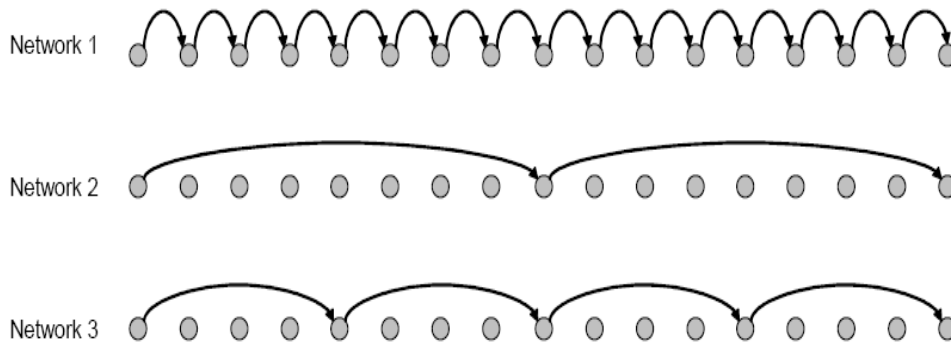
Σύγχρονες εμπορικές τεχνολογίες, χρησιμοποιούν το ISM (Industrial, Scientific, Medical) ραδιοσυχνότητες, καθορισμένες από τη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών.

4.3.4 Optimizing παραμέτρους φυσικού επιπέδου

Για να παρουσιάσουμε τη μεταφορά δεδομένων στο φυσικό επίπεδο, παίρνουμε σαν παράδειγμα το γραμμικό δίκτυο που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Σε αυτό το δίκτυο, ένας κόμβος πρέπει να στέλνει δεδομένα πίσω στο σταθμό βάσης. Το πρώτο που πρέπει να λάβουμε υπόψιν μας στο φυσικό επίπεδο είναι η απόσταση της διαδρομής που θα επιλεγεί.

Στην πρώτη περίπτωση, του σχήματος, η απόσταση μεταφοράς είναι πολύ μικρή, και μεταφράζεται σε χαμηλή κατανάλωση ενέργειας οπότε όσο μικρότερη είναι αυτή η απόσταση, τόσο λιγότερη ενέργεια χρειάζεται για τη μετάδοση του μηνύματος. Επειδή η ενέργεια που χρειάζεται για τη μετάδοση, πρέπει να είναι ίση με d^n όπου $n \geq 2$ και d είναι η απόσταση μεταξύ του μεταδότη και παραλήπτη, η συνολική ενέργεια για την μετάδοση των δεδομένων στο σταθμό βάσης θα είναι πολύ λιγότερη, χρησιμοποιώντας multi-hop μετάδοση, σε σχέση με την απευθείας μετάδοση. Σε αυτή τη περίπτωση ο βασικός παράγοντας για την κατανάλωση ενέργειας, είναι ο μεγάλος αριθμός των διαδρομών. Εφόσον επιλέξουμε αυτό τον τρόπο για την μετάδοση των δεδομένων, θα έχει ως αποτέλεσμα πολύ μεγάλη κατανάλωση ενέργειας.

Στη δεύτερη περίπτωση, η απόσταση της διαδρομής που ακολουθούν τα δεδομένα είναι πολύ μεγάλη. Με τόσες λίγες διαδρομές υπάρχει μικρή απορρόφηση ενέργειας στους κόμβους εξαιτίας του σταθερού κόστους ενέργειας. Παρόλα αυτά, υπάρχει μια μεγάλη απορρόφηση ενέργειας στους κόμβους για μετάδοση δεδομένων, σε μεγάλες αποστάσεις μεμονωμένων διαδρομών. Η επιλογή μεγάλων μονοπατιών, έχει ως συνέπεια η συνολική ενέργεια που χρησιμοποιείται, να ξεπερνάει κατά πολύ τη συνολική ενέργεια, σε σχέση με την επιλογή της μικρότερης διαδρομής. Γι' αυτό είναι ξεκάθαρο ότι μια ισορροπία πρέπει να διατηρηθεί, όπως φαίνεται στη τρίτη περίπτωση του σχήματος, έτσι η ολική ενέργεια που καταναλώνεται στο δίκτυο είναι η ελάχιστη.



4.4 Data Link (MAC) Layer

Το επίπεδο MAC βρίσκεται στο χαμηλότερο επίπεδο της στοίβας πρωτοκόλλων δικτύωσης. Το επίπεδο MAC ελέγχει την πρόσβαση στο μέσο, δηλαδή εάν μπορεί ένας κόμβος να χρησιμοποιήσει το μέσο για να μεταδώσει ή να λάβει πληροφορία. Στην περίπτωση των ασύρματων επικοινωνιών 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.

Το Data Link Layer είναι βασικά χωρισμένο σε 2 υποεπίπεδα: Logical Link Control (LLC) και Medium Access Control (MAC). Θα αναλύσουμε το υποεπίπεδο MAC, αφού έχει περισσότερο σημαντικά αποτελέσματα σε όρους κατανάλωσης ενέργειας και στα στοιχεία πραγματικού χρόνου. Αυτή η ενότητα αρχικά παρουσιάζει κάποιες τυπικές προσεγγίσεις MAC για ασύρματα δίκτυα.

4.4.1 Πρωτόκολλα MAC

Μια συχνή πρόκληση για το DLL είναι να προγραμματίσει τα διαθέσιμα δεδομένα για μετάδοση (σε ολόκληρο το δίκτυο), και να παρέχει ένα μηχανισμό σε κάθε κόμβο για να αποφασίσει πότε και πως θα προσπελάσει το μοιραζόμενο μέσο για να μεταδώσει τα δεδομένα. Αυτές οι λειτουργίες γίνονται βασικά από τα πρωτόκολλα MAC. Στη βιβλιογραφία, μια μεγάλη ποικιλία πρωτοκόλλων MAC έχουν προταθεί για τα παραδοσιακά ασύρματα δίκτυα όπως το IEEE802.11 και το Bluetooth.

Τα υπάρχοντα πρωτόκολλα MAC στα παραδοσιακά ασύρματα δίκτυα ταιριάζουν σε τρεις βασικές κατηγορίες: scheduling-based, collision-free και contention-based.

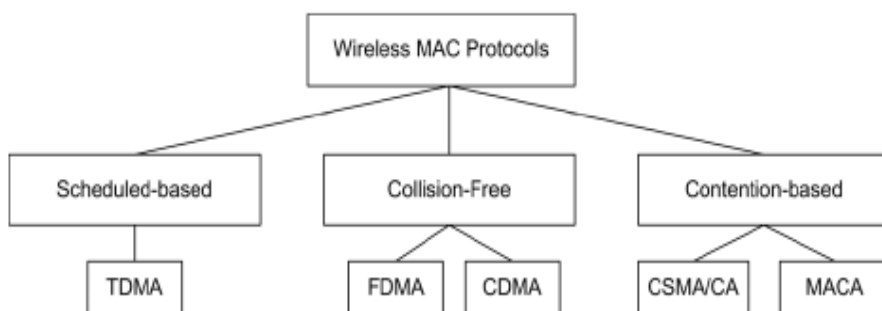


Fig.3. Wireless MAC Protocols Families

Αυτές οι τάξεις πρωτοκόλλων MAC διαφέρουν στο μηχανισμό για αποφυγή συγκρούσεων. Μια σύγκρουση συμβαίνει όταν δυο κόμβοι στέλνουν τα δεδομένα τους την ίδια στιγμή στο ίδιο μοιραζόμενο μέσο. Έτσι, ο στόχος των πρωτοκόλλων MAC, είναι να μετριάσουν, όσο το δυνατό περισσότερο, πιθανές συγκρούσεις. Η πιο σημαντική εκδοχή από αυτές τις κατηγορίες παρουσιάζονται παρακάτω.

Scheduling-based protocols

Αυτά τα πρωτόκολλα αποφεύγουν συγκρούσεις μέσω ενός αλγορίθμου centralized scheduling, ο οποίος καθορίζει το χρόνο όπου ο κόμβος μπορεί να ξεκινήσει τη μετάδοση του. Το TDMA (Time Division Multiple Access), είναι ένα πρωτόκολλο scheduling-based το οποίο κέρδισε το ενδιαφέρον στα ασύρματα δίκτυα. Βασίζεται, στο διαχωρισμό του μοιραζόμενου καναλιού σε N χρονικές στιγμές, επιτρέποντας μόνο ένα κόμβο να μεταδώσει σε κάθε χρονική στιγμή. Αυτή η centralized προσέγγιση απαιτεί ένα κεντρικό σταθμό, ο οποίος προγραμματίζει τη μέση πρόσβαση σε φορητούς κόμβους, και γι' αυτό οι φορητοί κόμβοι πρέπει να είναι μέσα στο καλυπτόμενο εύρος του σταθμού βάσης για να συνδεθούν με ολόκληρο το δίκτυο.

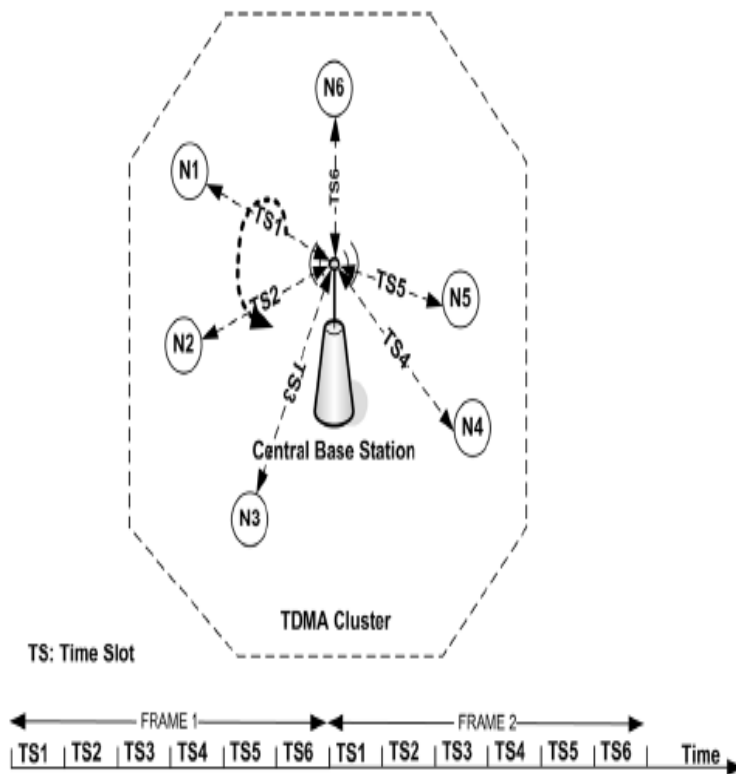


Fig. 4. Scheduling-Based MAC Protocol (TDMA)

Ένα πακέτο σταθμών βάσης με φορητούς κόμβους μέσα στο εύρος, συχνά καλείται cluster. Τα πρωτόκολλα TDMA προσφέρουν ένα εξαιρετικό τρόπο για αποφυγή συγκρούσεων στα ασύρματα δίκτυα, αλλά με κόστος στα:

- Ισχυροί περιορισμοί σε όρους φορητότητας σε φορητούς κόμβους, αφού οι διασκορπισμένοι κόμβοι πρέπει να επικοινωνούν με το σταθμό βάσης, για να στείλουν δεδομένα σε κάθε άλλο κόμβο.

- Οι απαιτήσεις συγχρονισμού χρόνου μεταξύ του σταθμού βάσης και των φορητών κόμβων.

Τα πλεονεκτήματα και οι περιορισμοί αυτών των πρωτοκόλλων, χάρη στις απαιτήσεις των ασύρματων δικτύων αισθητήρων θα αναφερθούν και αργότερα.

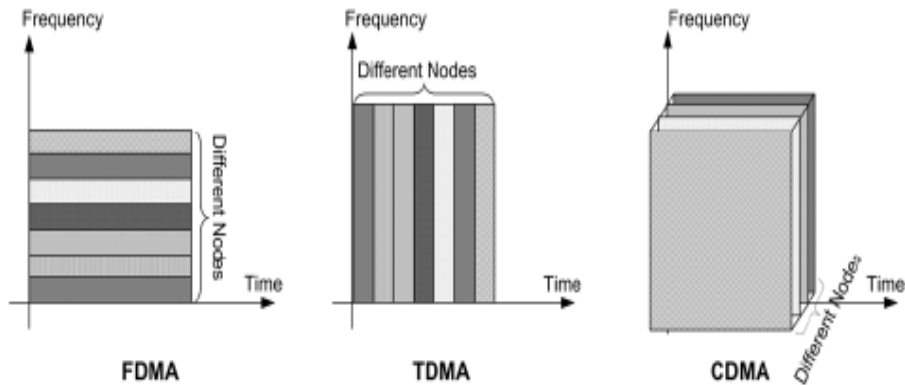


Fig. 6. Multiple Access Schemes

Collision-free protocols

Αυτά τα πρωτόκολλα αποφεύγουν τις συγκρούσεις, χρησιμοποιώντας διαφορετικά κανάλια σε κάθε κίνηση επικοινωνίας, μεταξύ δύο φορητών κόμβων, επιτρέποντας ταυτόχρονα μετάδοση δεδομένων χωρίς παρεμβολές ή συγκρούσεις. Υπάρχουν δύο βασικές προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται στις ασύρματες επικοινωνίες:

- Το FDMA (Frequency Division Multiple Access): βασίζεται στο διαχωρισμό ολόκληρου του φάσματος σε μοιρασμένες συχνότητες, έτσι ώστε κάθε ζευγάρι κόμβων επικοινωνίας, να καταλαμβάνει ένα κομμάτι του φάσματος. Έτσι, ταυτόχρονη μετάδοση σε διαφορετικά κανάλια είναι πιθανή, χωρίς προβλήματα συγκρούσεων.

- Το CDMA (Code Division Multiple Access): Τα πρωτόκολλα TDMA καταλαμβάνουν όλο το φάσμα σε ένα κόμβο για μια χρονική στιγμή όπως και τα πρωτόκολλα FDMA και τα πρωτόκολλα CDMA. Για την ακρίβεια το CDMA χρησιμοποιεί μοναδικούς κώδικες για να εξαπλώσει τα δεδομένα πριν τη μετάδοση. Κάθε κόμβος επιτρέπει την εξακρίβωση μιας μοναδικής επικοινωνίας, μεταξύ όλων των ταυτόχρονων μεταδόσεων στο μοιραζόμενο εύρος.

Contention-based protocols

Τα παραδείγματα αυτών των πρωτοκόλλων, έχουν να κάνουν με συγκρούσεις, ενώ προσπαθούν να ελαχιστοποιήσουν την ύπαρξη τους, παρά να τα αποφύγουν τελείως. Ένα μονό κανάλι μοιράζεται από όλους τους κόμβους και τοποθετούνται ανά ζήτηση. Κατά συνέπεια, αν δύο ή περισσότεροι κόμβοι προσπαθούν να επαναπροσδιορίσουν το μοιραζόμενο μέσο την ίδια στιγμή, συγκρούσεις συμβαίνουν. Σε αυτή τη περίπτωση, διανεμημένοι αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται για να

επαναπροσδιορίσουν το κανάλι μεταξύ συγκρουόμενων κόμβων, προκειμένου να μειώσουν την πιθανότητα ή ακόμη να αποφύγουν συγκρούσεις.

Βασικά, τα περισσότερα καταναμημένα πρωτόκολλα MAC, είναι contention-based και χρησιμοποιούν αισθητήρες μεταφερόμενους και/ ή μηχανισμούς για αποφυγή σύγκρουσης. Γι' αυτό είναι κοινά γνωστό σαν CSMA πρωτόκολλα, τα οποία περιέχουν ακροάσεις πριν τις μεταδόσεις. Ο σκοπός της ακρόασης είναι να σιγουρέψει ότι το κανάλι δεν χρησιμοποιείται πριν ξεκινήσει την μετάδοση. Σε αυτή την περίπτωση, ο κόμβος ξεκινά να μεταδίδει ξαφνικά ή με μια πιθανότητα. Αν το μέσο είναι απασχολημένο, ο κόμβος περιμένει τυχαίο χρόνο πριν ξεκινήσει να ελέγχει το μέσο ξανά, ή συνεχίζει να ακούει το μέσο μέχρι να αδειάσει ξανά, και τότε μεταδίδει αμέσως.

Στα multi-hop ασύρματα δίκτυα, χρησιμοποιούν πρωτόκολλα CSMA, που οδηγούν στα κρυμμένα και αποκαλυπτόμενα προβλήματα των κόμβων που παρουσιάζονται στην εικόνα 7. Στα κρυμμένα προβλήματα των κόμβων, οι κόμβοι S1 και S2 δεν μπορούν αμέσως να επικοινωνήσουν, εξαιτίας ανεπάρκειας της κάλυψης ραδιοσυχνοτήτων. Για παράδειγμα, αν το S1 ξεκινήσει την μετάδοση δεδομένων στον αμέσως επόμενο γείτονα R, το S2 δεν θα ανησυχεί για την μετάδοση και μπορεί να ξεκινήσει να στέλνει τα διαθέσιμα δεδομένα, έως ότου να διαπιστωθεί ότι το μέσο είναι διαθέσιμο. Σαν αποτέλεσμα, μια σύγκρουση θα συμβεί στον λήπτη, κόμβο R. Στο εκτιθέμενο τελικό πρόβλημα, ενώ το S1 μεταδίδει το R1, το S2 ακούει την μετάδοση και δεν μεταδίδει το R2, πιστεύοντας ότι η σύγκρουση θα συμβεί. Παρόλο αυτά, το R2 και το R1 δεν είναι στο εύρος και γι' αυτό ταυτόχρονες επιτυχείς μεταδόσεις θα ήταν πιθανές.

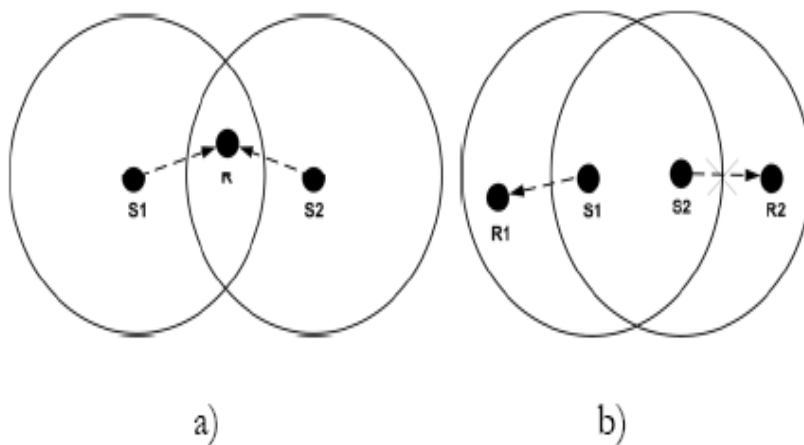


Fig. 7. a) *Hidden Node Problem* b) *Exposed Node Problem*

Λόγου χάρη, επιπλέον μηνύματα για μετάδοση ελέγχου, έχουν προταθεί να αντιγραφούν με τα κρυφά και εκτεθειμένα τερματικά προβλήματα, τα οποία μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:

- Out-of-band signaling: τα οποία χαρακτηρίζονται από την αποστολή ενός απασχολημένου τόνου, εκτός της συχνότητας επικοινωνίας, όταν ένας κόμβος ακούει

μια μετάδοση σε εξέλιξη, έτσι άλλοι κόμβοι δεν εισάγουν τις μεταδόσεις τους. Αυτός ο μηχανισμός καλείται Busy Tone Multiple Access (BTMA), το οποίο ελαχιστοποιεί τα κρυμμένα προβλήματα τερματικού, αλλά αυξάνει το τερματικό πρόβλημα έκθεσης.

- In-band handshaking, τα οποία χαρακτηρίζονται από την ανταλλαγή πακέτων ελέγχου in-band, σαν μηνύματα αρχής, πριν την μετάδοση δεδομένων που επηρεάζει. Αυτός ο μηχανισμός εισάγει την μετάδοση μεταξύ δύο κόμβων και όλων των άλλων κόμβων σε αυτό το εύρος επικοινωνιών «φοβούνται» την μετάδοση.

Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται στα in-band handshaking είναι το CSMA/CA (Collision Avoidance), το οποίο υποστηρίζεται από το πρότυπο IEEE802.11. Πριν την επηρεασμένη μετάδοση, ο αποστολέας μεταδίδει ένα μικρό πακέτο Request To Send (RTS), στον παραλήπτη. Ο τελευταίος απαντά, στέλνοντας πίσω ένα πακέτο Clear To Send (CTS), επιτρέποντας στον αποστολέα να αρχίσει να στέλνει τα δεδομένα, μετά τη λήψη του πακέτου CTS. Όλοι οι άλλοι γειτονικοί κόμβοι αφού ακούσουν τα πακέτα RTS/ CTS, πρέπει να πάνε σε μία προηγούμενη κατάσταση και να διαφοροποιήσουν την μετάδοση τους. Το κρυφό τερματικό πρόβλημα, δεν έχει ολοκληρωτικά εξαλειφθεί με τα CSMA/ CA, αφού συγκρούσεις μπορεί να συμβούν στα RTS πακέτα, αλλά έχει μετριαστεί σε μεγαλύτερη έκταση.

Πολλές άλλες επεκτάσεις των CSMA/CA έχουν προταθεί, για να βοηθήσουν το μηχανισμό RTS/CTS. Για παράδειγμα τα Multiple Access με Collision Avoidance, είχαν προταθεί στις βάσεις του CSMA/CA, στα οποία η διάρκεια του πεδίου προστίθεται και στα δύο πακέτα RTS και CTS, υποδεικνύοντας την ποσότητα των δεδομένων προς μετάδοση. Αυτή η επιπλέον πληροφορία επιτρέπει στους άλλους κόμβους, να γνωρίζουν το μέγεθος των δεδομένων που αποστέλλονται και έτσι υπολογίζουν την καθυστέρηση. Άλλες διαφοροποιήσεις MACA, όπως τα MACAW που περικλείουν την χρήση μιας γνώσης μετά από μια επιτυχημένη μετάδοση, MACA/PR, το οποίο παρέχει εγγυημένη υποστήριξη εύρους σε πραγματικού χρόνου κίνηση, και MACA-BI, που ελαχιστοποιεί το κομμάτι RTS από τα RTS/CTS. Τα πρωτόκολλα CSMA/CA, MACA, MACAW, έχουν αναβαθμιστεί στο πρότυπο IEEE802.11, στο Distributed Coordinator Function, που σχεδιάστηκε για δίκτυα ad-hoc.

4.4.2 Σχεδιαστικά στοιχεία

Ο σχεδιασμός για το επίπεδο data link στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, έχει γίνει θέμα για πολλές αντίθετες ερευνητικές μελέτες. Για την ακρίβεια, από όλα τα πρωτόκολλα επιπέδων, το data link επίπεδο είναι αυτό που παίζει τον πιο σημαντικό ρόλο, σε όρους εξασφάλισης της μετάδοσης του μηνύματος σε πραγματικό χρόνο, επάρκεια ενέργειας, επεκτασιμότητα, στοιχεία αξιοπιστίας και καθυστέρησης της μετάδοσης. Η πρόκληση για το σχεδιασμό δεν είναι μόνο να παρέχει λύσεις, οι οποίες στοχεύουν σε συγκεκριμένες ιδιότητες, αλλά επίσης έχουν να κάνουν με παραλλαγές των ιδιοτήτων. Με άλλα λόγια, ένα πρωτόκολλο MAC σχεδιασμένο έτσι ώστε να ελέγχει την κατανάλωση ενέργειας σε ένα κόμβο με τον βέλτιστο τρόπο, ώστε να αυξάνει την διάρκεια ζωής του, ίσως να είναι ανεπαρκής εάν δεν διευθύνει τα στοιχεία επεκτασιμότητας ή αν δεν λάβει υπ' όψιν τα στοιχεία χρόνου της εφαρμογής. Έτσι, για να είναι αποτελεσματικό ένα πρωτόκολλο MAC για WSN πρέπει να λαμβάνει υπ' όψιν όλα αυτά τα στοιχεία. Παρόλα αυτά η σημαντικότητα του κάθε στοιχείου, μπορεί να διαφέρει από μια εφαρμογή σε μια άλλη, εξαιτίας της ευρείας ποικιλίας των εφαρμογών και των διαφορετικών απαιτήσεων τους. Για παράδειγμα,

μια εφαρμογή ίσως είναι πιο ευαίσθητη σε ακρίβεια πραγματικού χρόνου (π.χ. ανίχνευση κίνησης, ανίχνευση φωτιάς), ενώ άλλες ίσως είναι πιο απαιτητικές, όσον αφορά τη διάρκεια ζωής του δικτύου και κατ' επέκταση την κατανάλωση ενέργειας (π.χ. παρακολούθηση περιβάλλοντος, οικιακός αυτοματισμός). Γι' αυτό το λόγο, δεν υπάρχουν καθόλου πρότυπες λύσεις για τα WSN, αλλά πολλές διαφορετικές υλοποιήσεις για πρωτόκολλα MAC, ενώ κάθε πρόταση προσεγγίζει διαφορετικές εφαρμογές.

4.4.3 Timeliness

Ένα ακόμη σημαντικό χαρακτηριστικό των πρωτοκόλλων MAC, είναι να παρέχει πραγματικού χρόνου εγγυήσεις για εφαρμογές που παίζει ρόλο ο χρόνος. Παρόλα αυτά επικοινωνίες πραγματικού χρόνου, δεν θεωρούνταν ως πρωταρχικός στόχος για εφαρμογές σε WSN, όπου υπάρχει αυξανόμενη ζήτηση για εφαρμογές ευαίσθητες στον χρόνο, οι οποίες απαιτούν δεσμευμένες επικοινωνιακές καθυστερήσεις. Για παράδειγμα, ανάμεσα στην ευρεία ποικιλία εφαρμογών που χρησιμοποιούνται από τα WSN, αρκετές εφαρμογές όπως παρακολούθηση για ιατρικά επείγοντα περιστατικά έχουν πιο περιορισμένες χρονικές δεσμεύσεις. Ένα από τα παραδείγματα που δίνουν κίνητρο σε πραγματικού χρόνου εφαρμογές σε ασύρματα δίκτυα, είναι εντοπισμός και παρακολούθηση γιατρών και ασθενών μέσα στο νοσοκομείο. Σε μια τέτοια εφαρμογή, κάθε ασθενής μπορεί να έχει μικρούς κόμβους WSN, όπου κάθε αισθητήρας έχει τα συγκεκριμένα δεδομένα αίσθησης. Το ιατρικό προσωπικό μπορεί να παρακολουθήσει όλα τα δεδομένα που παίρνονται, χρησιμοποιώντας φορητές συσκευές (PDA, Laptop, PCs) διαμέσου WSN. Είναι στοιχειώδες για την σωστή λειτουργία, τα κρίσιμα δεδομένα να διανεμηθούν σε περιορισμένο χρόνο (ειδικά σε περιπτώσεις άμεσης ανάγκης) προκειμένου να γίνει έγκαιρη διάγνωση του ασθενή.

Γι' αυτό, τα επίπεδα MAC των ασύρματων δικτύων αισθητήρων πρέπει να παρέχουν πραγματικού χρόνου εγγυήσεις για να εκπληρώσουν τις απαιτήσεις των εφαρμογών που παίζει σημαντικό ρόλο ο χρόνος.

4.4.4 Επεκτασιμότητα και προσαρμοστικότητα

Τα χαρακτηριστικά επεκτασιμότητας και προσαρμοστικότητας είναι τυπικά σχετιζόμενα με τη μεγάλη κλίμακα, πυκνότητα των κόμβων, αναξιοπιστία των κόμβων και δυναμικά εναλλασσόμενων χαρακτηριστικών τοπολογίας των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Ένα πρωτόκολλο MAC, πρέπει να είναι εύκολα επεκτάσιμο, για να μπορεί να ανταπεξέλθει με μεγάλο αριθμό κόμβων, με διαφορετική πυκνότητα στο ελεγχόμενο περιβάλλον. Επίσης, πρέπει να μπορεί να προσαρμοστεί σε δυναμικές αλλαγές τοπολογίας εξαιτίας μιας επικείμενης αποτυχίας των κόμβων ή φορητότητας αυτών. Επιπλέον, ένα σημαντικό στοιχείο στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, είναι ότι το σύστημα θα πρέπει να μπορεί να οργανώνεται από μόνο του. Τέλος, για να τα καταφέρει με την εγγενή αναξιοπιστία του κάθε κόμβου και τα μεγάλης κλίμακας χαρακτηριστικά των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, τα πρωτόκολλα MAC πρέπει να υιοθετούν αποκεντροποιημένους αλγόριθμους.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι τα πιο σημαντικά για το σχεδιασμό των πρωτοκόλλων MAC στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Παρόλα αυτά, υπάρχουν πολλά άλλα λιγότερο σημαντικά χαρακτηριστικά, τα οποία πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν, όπως συνδεσιμότητα, αμεροληψία, και χρησιμοποίηση καναλιού.

Αφού καθοριστούν τα προκαθορισμένα χαρακτηριστικά των πρωτοκόλλων MAC για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, μπορούμε να εκτιμήσουμε και να συγκρίνουμε

υπάρχουσες προσεγγίσεις, όσον αφορά το πώς θα ολοκληρώσουν κάθε ξεχωριστή απαίτηση και επίσης να εκτιμήσουμε σε ποιά έκταση αυτά τα πρωτόκολλα MAC πετυχαίνουν μια ισορροπία μεταξύ αυτών των στοιχείων.

4.5 Network Layer (Επίπεδο Δικτύου) or Routing Layer (Επίπεδο Δρομολόγησης)

Το επίπεδο Δικτύου, είναι σαν τον αστυνόμο του μοντέλου OSI. Κάθε πακέτο που έχει δημιουργήσει το επίπεδο Μεταφοράς, χρειάζεται να σταλθεί στην κατάλληλη μηχανή του δικτύου. Ευτυχώς κάθε μηχανή έχει μια μοναδική διεύθυνση και έτσι το επίπεδο Δικτύου προσθέτει την σωστή διεύθυνση σε κάθε πακέτο. Επίσης διαβάζει τις διευθύνσεις των εισερχόμενων πακέτων και αν προορίζονται για αυτή τη μηχανή, τότε του επιτρέπει όσα πακέτα έρχονται χωρίς να είναι ο σωστός προορισμός να αγνοούνται. Αυτό είναι η βασική αρχή του firewall στα δίκτυα, το οποίο προσπαθεί να εμποδίσει τους εισβολείς από το να εισέλθουν στο τοπικό δίκτυο.

Ενώ το επίπεδο Μεταφοράς έχει δημιουργήσει τις πληροφορίες στα πακέτα, το επίπεδο Δικτύου είναι που δρομολογεί καλύτερα τα πακέτα στον προορισμό τους. Μπορεί να είναι δεσμευτικό στην πορεία που θα ακολουθήσει το πακέτο κατά μήκος στο δίκτυο. Μερικές φορές τα πακέτα εμφανίζονται παραβιασμένα. Το επίπεδο Δικτύου, προσπαθεί να τα διορθώσει πριν τα στείλει στο επίπεδο Μεταφοράς. Δεν χρησιμοποιούν όλα τα δίκτυα το ίδιο μέγεθος πακέτων, ή ακόμη την ίδια μέθοδο για τη διεύθυνση. Αυτή είναι η δουλειά του επίπεδου Δικτύου, να μετατρέπει αυτά τα πακέτα στην κατάλληλη μορφή για τα επόμενα επίπεδα. Παρόλη τη διαθεσιμότητα πολλών πρωτοκόλλων δρομολόγησης για δίκτυα ad-hoc, ο σχεδιασμός των πρωτοκόλλων δρομολόγησης για τα WSN, είναι ακόμη σε πειραματικό επίπεδο.

4.5.1 Δρομολόγηση με τη χρήση πολλών μονοπατιών

Ο κύριος στόχος της χρήσης πολλών μονοπατιών για δρομολόγηση, είναι να πετυχαίνεται καλύτερη ισορροπία φόρτωσης και να παρέχει υψηλή ανοχή σε λάθη. Τα πολλαπλά μονοπάτια επιλέγονται μεταξύ πηγής και προορισμού. Όταν μια σύνδεση δεν λειτουργεί σε ένα μονοπάτι, εξαιτίας της άσχημης ποιότητας καναλιού ή της φορητότητας, ένα άλλο μονοπάτι από τα προεπιλεγμένα μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Έτσι, χωρίς να περιμένει να επιλεγεί ένα νέο δρομολογητικό μονοπάτι, η καθυστέρηση end-to-end, η σύνδεση, και η ανοχή σε λάθη μπορούν να γίνουν καλύτερα. Παρόλα αυτά με σταθερή σταθμική λειτουργία, η βελτιστοποίηση εξαρτάται στην διαθεσιμότητα των δρομολογητικών μονοπατιών που δεν έχουν επιλεχθεί, μεταξύ της πηγής και του προορισμού. Ένα άλλο μειονέκτημα της δρομολόγησης με πολλαπλά μονοπάτια, είναι η πολυπλοκότητα της.

4.5.2 Ιεραρχική δρομολόγηση

Στην ιεραρχική δρομολόγηση, ένα συγκεκριμένο ιεραρχικό σχήμα χρησιμοποιείται για να συγκεντρώσει τα nodes του δικτύου, σε ομάδες. Κάθε ομάδα έχει μια ή περισσότερες κεφαλές ομάδας. Οι κόμβοι σε κάθε ομάδα μπορούν να είναι ένα ή περισσότερα hop από την κεφαλή της ομάδας. Αφού η συνδεσιμότητα μεταξύ των ομάδων είναι απαραίτητη, κάποιοι κόμβοι μπορούν να επικοινωνήσουν με περισσότερες από μια ομάδες και να λειτουργήσουν σαν gateway. Όταν η πυκνότητα των κόμβων είναι υψηλή, τα ιεραρχημένα δρομολογητικά πρωτόκολλα τείνουν να έχουν καλύτερη λειτουργία, εξαιτίας λιγότερων στοιχείων που βρίσκονται από πάνω

τους, μικρότερο δρομολογητικό μονοπάτι, και γρηγορότερη προετοιμασία διαδικασίας του δρομολογητικού μονοπατιού.

4.5.3 Γεωγραφική δρομολόγηση

Συγκρίνοντας με τη δρομολόγηση βασισμένη σε σχήματα βάσης, τα σχήματα γεωγραφικής δρομολόγησης προωθούν πακέτα χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες θέσης των κόμβων στην εγγύτητα και στον κόμβο προορισμού. Έτσι η αλλαγή τοπολογίας έχει λιγότερη επιρροή στη γεωγραφική δρομολόγηση, σε σχέση με τα άλλα δρομολογητικά πρωτόκολλα. Αλγόριθμοι γεωγραφικής δρομολόγησης, είναι ένας τύπος, μονού μονοπατιού δρομολογητικών σχημάτων, στα οποία η απόφαση προώθησης του πακέτου, γίνεται με βάση τις πληροφορίες τοποθεσίας, του πρόσφατου προωθητικού κόμβου, τους γείτονες, και τον κόμβο προορισμού. Προκειμένου να εγγυηθεί η παράδοση, έχουν προταθεί γεωγραφικά δρομολογητικοί αλγόριθμοι ονομαζόμενοι planar-graph-based. Αυτοί οι αλγόριθμοι συνήθως έχουν πολύ υψηλότερη επικοινωνία σε σχέση με τους δρομολογητικούς αλγόριθμους μονού μονοπατιού.

Το επίπεδο Δικτύου έχει να κάνει με την επικοινωνία μεταξύ συσκευών, σε διαφορετικά τμήματα δικτύων συνδεδεμένα μεταξύ τους, δημιουργώντας ένα inter-network. Εξαιτίας του πιθανού μεγάλου μεγέθους των inter-networks, το επίπεδο Δικτύου χρησιμοποιεί δρομολογητικούς αλγόριθμους για να στείλει τα πακέτα στο δίκτυο προορισμό. Επίσης, σπάει τα προηγούμενα τμήματα από το επίπεδο Μεταφοράς, σε διαγράμματα. Τα κύρια σημεία του επιπέδου Δικτύου είναι:

- Addressing
- Switching (Circuit Switching, Message Switching, Packet Switching)
- Routing
- Connection Services
- Gateway Service

4.6 Transport Layer (Επίπεδο Μεταφοράς)

Μια από τις πιο αξιόπιστες μεθόδους ανταλλαγής δεδομένων ανάμεσα σε δυο κόμβους ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων είναι η μεταφορά δεδομένων με τη βοήθεια πολλών ενδιάμεσων κόμβων. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται διότι συχνά η απευθείας επικοινωνία δύο κόμβων είναι αδύνατη, αφού οι αισθητήρες διαθέτουν περιορισμένη ισχύ εκπομπής ενώ απαιτείται αρκετή ενέργεια για να μεταδοθεί η πληροφορία σε μεγάλη απόσταση.

Ο πιο λογικός τρόπος μεταφοράς της πληροφορίας μέσω πολλαπλών μονοπατιών είναι η μετάδοση δεδομένων από ένα κόμβο i του δικτύου, σε ένα κόμβο j κοντινό σε αυτό, μέχρι να φτάσουν τα δεδομένα στον τελικό προορισμό τους. Έτσι σχηματίζεται ένα μονοπάτι στο δίκτυο μέσω του οποίου μεταφέρονται τα δεδομένα χρησιμοποιώντας διαδοχικές μεταδόσεις. Επιπλέον μπορούν να επιλεγούν μονοπάτια που εξασφαλίζουν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας ή που παρακάμπτουν προβληματικές περιοχές του δικτύου. Ακόμη η μικρής ενέργειας μεταδόσεις βοηθούν στην ασφάλεια του δικτύου αφού είναι δυσκολότερο να ανιχνευθούν.

Μέχρι σήμερα, δεν έχει προταθεί κανένα συγκεκριμένο δρομολογητικό πρωτόκολλο, για τα WSN. Παρόλα αυτά ένας μεγάλος αριθμός πρωτοκόλλων μεταφοράς είναι διαθέσιμα για ad-hoc δίκτυα.

Διαφορετικά πρωτόκολλα μεταφοράς χρειάζονται για κίνηση μη πραγματικού και πραγματικού χρόνου.

Αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων

Πρωτόκολλα για αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων μπορούν να διαφοροποιηθούν σε δύο τύπους: TCP παραλλαγές και νέα πρωτόκολλα μεταφοράς. Οι παραλλαγές TCP καλυτερεύουν την λειτουργία των κλασικών TCP, παρεμποδίζοντας τα εξής προβλήματα:

- **Απώλειες πακέτων λόγω συμφόρησης:** Τα κλασικά TCP δεν διαφοροποιούν την συμφόρηση και τις απώλειες λόγω συμφόρησης. Σαν αποτέλεσμα, όταν συμβαίνουν τέτοιου είδους απώλειες, το δίκτυο γρήγορα τα αποσύρει εξαιτίας της μη αναγκαίας συμφόρησης. Επιπλέον, όταν ασύρματα δίκτυα επιστρέφουν στη κανονική λειτουργία, τα κλασικά TCP δεν μπορούν να επανακτηθούν γρήγορα. Ένας μηχανισμός τροφοδοσίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διαφοροποιήσει απώλειες διαφόρων πακέτων.

- **Άγνωστη Αποτυχία Σύνδεσης:** Αποτυχίες σύνδεσης μπορούν να συμβούν συχνά, στα κινητά ad-hoc δίκτυα, αφού όλοι οι κόμβοι είναι κινητοί. Όσον αφορά τα WSN, δεν είναι τόσο κριτικής σημασίας όσο στα κινητά ad-hoc δίκτυα, επειδή η υποδομή των WSN, αποφεύγει το στοιχείο single-point-of-failure. Παρόλα αυτά, στα ασύρματα δίκτυα, εξαιτίας της φορητότητας των κόμβων, μπορεί να συμβεί αποτυχία σύνδεσης. Για να γίνει καλύτερη η λειτουργία του TCP, μια πιθανή αποτυχία της σύνδεσης, χρειάζεται να εντοπιστεί.

- **Ασυμμετρία Δικτύου:** Ως ασυμμετρία δικτύου έχει καθοριστεί, ως η «μπροστά» κατάσταση όπου η κατεύθυνση ενός δικτύου είναι διαφορετική από την αντίθετη κατεύθυνση σε όρους εύρους, απώλειας ρυθμού, και καθυστέρησης. Αυτό επηρεάζει την μετάδοση των ACK. Έως ότου το TCP εξαρτάται από το ACK, η λειτουργία του μπορεί να υποβαθμιστεί από την ασυμμετρία του δικτύου. Παρόλο που τα σχέδια όπως τα ACK filtering, το ACK congestion control κ.α. βοηθούν να λυθεί το πρόβλημα ασυμμετρίας δικτύου, όπου είναι εφαρμόσιμα στα WSN, χρειάζεται έρευνα.

Παράδοση Πραγματικού Χρόνου: Για να ενισχύσουμε την end-to-end παράδοση, πραγματικού χρόνου, ένα πρωτόκολλο για έλεγχο ροής (Rate Control Protocol RCP) χρειάζεται για να δουλέψει με το UDP. Πολλά RCP έχουν προταθεί για ενσύρματα δίκτυα, αλλά δεν υπάρχουν σχήματα για ασύρματα WSN. Πρόσφατα μια υιοθετημένη προσέγγιση εντοπισμού ελέγχου ρυθμού, έχει προταθεί για κινητά δίκτυα ad-hoc. Παρόλα αυτά, για να ενισχύσουμε την παράδοση σε πραγματικό χρόνο για κίνηση πολυμέσων, η ακρίβεια της προσέγγισης εντοπισμού, είναι ακόμη ανεπαρκής. Επιπρόσθετα, όλες οι απώλειες πακέτων λόγω μη συμφόρησης, εξαιτίας διαφόρων προβλημάτων, κατευθύνονται στην ίδια κατεύθυνση, το οποίο μπορεί υποβαθμίσει την λειτουργία του σχήματος ελέγχου ρυθμού.

Η εργασία του επιπέδου Μεταφοράς είναι να σιγουρέψει την παράδοση διαφόρων στοιχείων μεταξύ υπηρεσιών σε διαφορετικές συσκευές. Επίσης, διασπά τα μηνύματα από το επίπεδο Τομέα σε προτάσεις. Υπάρχουν τέσσερα υποεπίπεδα στο επίπεδο Μεταφοράς:

- Addressing
- Address/Name Resolution
- Segment Development
- Connection Services

Addressing: Στο επίπεδο μεταφοράς έχει να κάνει με το να τοποθετεί ταμπέλες στα στοιχεία, να τα ταυτοποιήσει ως σύνδεση ή ως μεταφορά.

- **Connection Identifier:** Ο ταυτοποιητής σύνδεσης είναι επίσης γνωστό σαν σημείο υποδοχής. Τοποθετεί μια ταμπέλα σε κάθε στοιχείο μέσω συνομιλίας έτσι η συσκευή λήψης να γνωρίζει ποια διαδικασία, και από που έχει μεταδοθεί. Αυτό είναι για να μένει κάποιος ίχνος από τις συζητήσεις πολυσυζητήσεων.

- **Transaction Identifier:** Χρησιμοποιείται όταν τα σταλθέντα στοιχεία είναι απλές αιτήσεις ή απαντήσεις. Θεωρούνται γεγονότα μιας στιγμής, και χωρίς πολλαπλά μηνύματα συζητήσεων να εντοπίζονται, ακόμη και αν είναι μιας κατεύθυνσης.

Address/Name Resolution: Κάθε δίκτυο είναι ένας δυαδικός αριθμός, συνήθως 32 bits. Το να κρατάς αρχείο τέτοιων διευθύνσεων είναι σχεδόν απίθανο για ανθρώπους που περιμένουν να μεταδώσουν σε ένα δίκτυο. Γι' αυτό με κάποια πρωτόκολλα, κάθε διεύθυνση είναι σχετιζόμενη με ένα όνομα σε αναγνωρίσιμα γράμματα. Κάθε υπηρεσία στο δίκτυο μεταφράζει τις λέξεις διευθύνσεων σε αριθμητικές διευθύνσεις. Υπάρχουν δύο μέθοδοι για αυτό το υποεπίπεδο:

- **Service Request-Initiated Address/Name Resolution:** Με αυτή τη μέθοδο, μια συσκευή η οποία επιθυμεί να ζητήσει υπηρεσίες για αναμετάδοση ενός πακέτου, πρέπει να ζητήσει πληροφορίες για ένα όνομα, διεύθυνση ή υπηρεσία. Η συσκευή που απαντά στο όνομα, τη διεύθυνση ή τις υπηρεσίες που στέλνονται πίσω με τις απαιτούμενες πληροφορίες, που χρειάζονται για να ολοκληρωθεί μια αναμετάδοση.

- **Service Provider-Initiated Address/Name Resolution:** Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει ένα κεντρικό server διεύθυνσης, ο οποίος συλλέγει το όνομα, τις διευθύνσεις και τις πληροφορίες υπηρεσιών. Ο παροχέας υπηρεσιών αναμεταδίδει αυτές τις πληροφορίες περιοδικά, και οι συσκευές που ζητούν πληροφορίες αίτησης από τον server.

Segments Development: Το επίπεδο Μεταφοράς είναι εκεί όπου τα εισερχόμενα και τα αποπλέων μηνύματα διασπώνται ή ξαναενώνονται για να ταιριάξουν στο απαιτούμενο μέγεθος. Επιπλέον, συνδυάζει πολλαπλά μικρά μηνύματα σε μια πρόταση για να καλυτερέψει την αποτελεσματικότητα του δικτύου, όταν τα μηνύματα είναι μικρότερα από το ανώτατο επιτρεπόμενο μέγεθος. Ένας ταυτοποιητής σύνδεσης εξακριβώνει κάθε περιεχόμενο. Το CID καθιστά εφικτό στη συσκευή λήψης του επιπέδου Μεταφοράς, να παραδίδει κάθε μήνυμα στην κατάλληλη διαδικασία.

Connection Services: Το επίπεδο Μεταφοράς μπορεί επίσης να εκτελέσει υπηρεσίες σύνδεσης όπως:

- **Segment Sequencing:** Όταν μεγάλα μηνύματα διαιρούνται, το επίπεδο Μεταφοράς τα επανατοποθετεί σε σωστή σειρά όταν παραληφθούν, πριν τα συναρμολογήσει σε ένα μήνυμα.

- **Error Control:** Για να προλάβει λάθη από απώλεια ή διπλότυπες προτάσεις, το επίπεδο Μεταφοράς καθιστά εφικτές τις ακόλουθες στρατηγικές: 1) Μοναδικοί αριθμοί ακολουθίας τμήματος, 2) Εικονικά κυκλώματα, που επιτρέπουν μόνο ένα εικονικό κύκλωμα ανά σύνοδο, 3) Timeouts που αφαιρούνται από τα τμήματα δικτύων που έχουν δρομολογηθεί λάθος και έχουν παραμείνει στο δίκτυο μετά από έναν καθορισμένο χρόνο, 4) Διαφθορά που ανιχνεύεται επίσης από το end-to-end error control μέσω checksums.

- **End-to-End Flow Control:** Οι αναγνωρίσεις χρησιμοποιούνται για να διαχειριστούν τον έλεγχο ροής end-to-end. Υπάρχουν αρνητικές αναγνωρίσεις όπως 'go back n' ή 'selective repeat' αναγνωρίσεις.

- Go back n: αίτηση επαναμετάδοσης πακέτων, ξεκινώντας από το n.
- Selective Repeat: αίτηση συγκεκριμένων πακέτων να μεταδοθούν ξανά.

Η βασική λειτουργία του επιπέδου Μεταφοράς, είναι να αποδεχθεί τα δεδομένα από το επίπεδο Τομέα, να τα χωρίσει σε μικρότερες μονάδες αν χρειάζεται, να τα περάσει στο επίπεδο Δικτύου, και να σιγουρέψει ότι όλα τα κομμάτια θα φτάσουν σωστά στο άλλο τέλος. Επιπλέον, όλα αυτά πρέπει να γίνουν αποτελεσματικά, και κατά ένα τρόπο απομονώνει το επίπεδο Τομέα από ανεπανόρθωτες αλλαγές στην τεχνολογία hardware.

Υπό φυσιολογικές συνθήκες, το επίπεδο Μεταφοράς δημιουργεί μια σύνδεση δικτύου για κάθε μεταφορά σύνδεσης που απαιτείται από το επίπεδο Τομέα. Αν η σύνδεση μεταφοράς απαιτεί υψηλότερες εξόδους, παρόλα αυτά το επίπεδο μεταφοράς μπορεί να δημιουργήσει πολλαπλές συνδέσεις δικτύου, διασπώντας τα δεδομένα κατά μήκος της σύνδεσης δικτύου για να καλυτερέψει την έξοδο. Στο άλλο χέρι αν η δημιουργία ή η διατήρηση μιας σύνδεσης δικτύου είναι ακριβή, το επίπεδο μεταφοράς μπορεί να πολυπλέξει αρκετές συνδέσεις μεταφοράς στην ίδια σύνδεση δικτύου για να μειωθεί το κόστος. Σε όλες τις περιπτώσεις το επίπεδο Μεταφοράς απαιτείται για να γίνουν όλες οι διαφανείς πολυπλεξίες στο επίπεδο Τομέα.

Το επίπεδο Μεταφοράς επίσης καθορίζει ποιο τύπο υπηρεσίας να παρέχει στο επίπεδο Τομέα, και ολοκληρωτικά, οι χρήστες του δικτύου. Οι πιο δημοφιλής τύποι συνδέσεων μεταφοράς είναι ένα error-free point-to-point κανάλι το οποίο παραδίδει μηνύματα στην σειρά με την οποία αυτά έχουν σταλθεί. Παρόλα αυτά, άλλα πιθανά είδη μεταφοράς, υπηρεσιών και απομονωμένων μηνυμάτων μεταφοράς χωρίς καμία εγγύηση για τη σειρά της παράδοσης, και μετάδοσης των μηνυμάτων σε πολλαπλούς προορισμούς. Ο τύπος υπηρεσίας καθορίζεται όταν η σύνδεση εγκαθίσταται.

Το επίπεδο Μεταφοράς είναι ένα πραγματικό επίπεδο source-to-destination ή end-to-end. Με άλλα λόγια, ένα πρόγραμμα στη μηχανή-πηγή τρέχει μια συνομιλία με ένα παρόμοιο πρόγραμμα με τη μηχανή-προορισμό, χρησιμοποιώντας τα μηνύματα επικεφαλής και τα μηνύματα ελέγχου.

Πολλοί hosts είναι πολυπρογραμματισμένοι, κάτι που υποδηλώνει ότι οι πολλαπλές συνδέσεις θα εισάγονται και θα αφήνουν τους hosts. Έτσι χρειάζεται να υπάρχει κάποιος τρόπος για να παρουσιαστεί ποιο μήνυμα ανήκει σε ποιά σύνδεση. Ο επικεφαλής μεταφοράς, είναι ένα μέρος όπου αυτή η πληροφορία μπορεί να τοποθετηθεί.

Επιπλέον, για να πολυπλέξεις αρκετά μηνύματα που κυλούν σε κάποιο κανάλι, το επίπεδο μεταφοράς πρέπει να φροντίσει την εγκατάσταση και τη διαγραφή των συνδέσεων κατά μήκος του δικτύου. Αυτό απαιτεί κάποιο είδος μηχανισμού ονομασίας, έτσι ώστε η διαδικασία σε μια μηχανή να έχει ένα τρόπο περιγραφής με την οποία επιθυμεί να συνδιαλέγεται. Επίσης, πρέπει να υπάρχει ένας μηχανισμός για να κανονίζει τη ροή των πληροφοριών, έτσι ώστε ένας γρήγορος host, να μην μπορεί να τρέξει πιο γρήγορα από έναν πιο αργό. Ο έλεγχος ροής μεταξύ των host, είναι διαφορετικός από τον έλεγχο ροής μεταξύ των ηλεκτρικών διακοπών, παρόλα αυτά παρόμοιες αρχές υπάρχουν και στα δύο.

Αυτό το επίπεδο είναι υπεύθυνο για αξιόπιστες μεταδόσεις δεδομένων και συγκεκριμένων υπηρεσιών μεταξύ των host. Η κύρια ευθύνη αυτού του επιπέδου είναι η κυριότητα των δεδομένων, τα δεδομένα που μεταδίδονται μεταξύ των host είναι αξιόπιστα και ακριβή στο χρόνο τους. Τα ανώτερα επίπεδα δεδομένων, χωρίζονται σε γραφήματα δεδομένων μεγέθους δικτύου, αν χρειάζεται κα τότε τίθεται σε εφαρμογή χρησιμοποιώντας τον κατάλληλο έλεγχο μετάδοσης. Το επίπεδο Μεταφοράς δημιουργεί μια ή περισσότερες συνδέσεις δικτύου, και αυτό εξαρτάται από τις καταστάσεις. Αυτό το επίπεδο επίσης καθορίζει τι είδους σύνδεση θα δημιουργηθεί. Δύο κύρια πρωτόκολλα μεταφοράς είναι το TCP (Transport Control Protocol), και το UDP (User Datagram Protocol).

4.7 Session Layer (Επίπεδο Τομέα)

Σε αυτό το επίπεδο διαμοιράζονται πληροφορίες με το επίπεδο Παρουσίασης και το επίπεδο Μεταφοράς. Αυτός ο τομέας είναι σαν μουσικό σχήμα που στήνει τη σκηνή για την παράσταση. Ένα επίπεδο έχει μια αρχή, ένα μέσο και ένα τέλος. Ο διαχειριστής του επιπέδου διαβεβαιώνει ότι δουλεύει κανονικά και στο προβλεπόμενο χρονικό περιθώριο. Στον κόσμο του διαδικτύου, μια εφαρμογή ξεκινά όταν μια εφαρμογή θέλει να δημιουργήσει σύνδεση σε έναν κινούμενο server, σε αυτό το σημείο ο τομέας Επιπέδου ανοίγει ένα προσωρινό κανάλι μεταξύ των δύο.

Μπορούν να υπάρξουν περισσότερα από δυο επίπεδα που να λειτουργούν ταυτόχρονα. Έτσι χρειάζονται κάποια διαχείριση, για παράδειγμα μπορεί να δουλεύεις σε ένα αρχείο word και να θέλεις να αποθηκεύσεις την εργασία σου, και την ίδια στιγμή μπορεί να έχεις ανοιχτό τον browser και να σερφάρεις στο διαδίκτυο. Κάθε εφαρμογή χρειάζεται τις απαιτούμενες εντολές και τα δεδομένα που χρησιμοποιεί για να πάει στο κατάλληλο σημείο.

Ένα άλλο σημείο όπου το επίπεδο τομέα μπορεί να υπερνικήσει, είναι να μεταφέρει μεγάλα αρχεία διαμέσου σε μη αξιόπιστα ή time limited δίκτυα. Το επίπεδο τομέα μπορεί να θέσει μια χρονική στάμπα στα δεδομένα, έτσι ώστε να γνωρίζει από πού να ξεκινήσει ξανά τη μεταφορά.

Συντονίζει διάλογους/επίπεδα/συνδέσεις μεταξύ συσκευών στο δίκτυο. Αυτό το επίπεδο διευθύνει τις επικοινωνίες μεταξύ συνδεδεμένων τομέων. Το επίπεδο επικοινωνίας αποτελείται από απαιτήσεις υπηρεσιών και απαντήσεις υπηρεσίας που προκύπτουν μεταξύ εφαρμογών που είναι τοποθετημένα σε διαφορετικές συσκευές δικτύου. Αυτές οι απαιτήσεις και οι απαντήσεις συντονίζονται από πρωτόκολλα που έχουν τεθεί σε εφαρμογή από το επίπεδο Τομέα. Κάποια παραδείγματα του επιπέδου Τομέα που έχουν τεθεί σε εφαρμογή περιλαμβάνουν πληροφορίες πρωτοκόλλου Ζώνης (ZIP), το πρωτόκολλο Apple Talk το οποίο οργανώνει τις δεσμεύσεις διαδικασίας ονόματος, και τον έλεγχο πρωτοκόλλων Τομέα (SCP, Session Control Protocol).

Βασικά το επίπεδο τομέα καθορίζει το πώς θα ξεκινήσει, θα ελεγχθεί και θα τελειώσει η συνομιλία. Αυτό περιλαμβάνει τον έλεγχο, τη διαχείριση πολλαπλών bi-directional μηνυμάτων, έτσι ώστε η εφαρμογή να μπορεί να δηλωθεί μόνο εάν κάποιες από τις σειρές των μηνυμάτων έχουν ολοκληρωθεί. Αυτό επιτρέπει στο επίπεδο παρουσίασης να έχει μια άποψη των εισερχόμενων δεδομένων. Το επίπεδο παρουσίασης μπορεί να παρουσιαστεί με δεδομένα εάν όλες οι ροές συμβαίνουν σε κάποιες περιπτώσεις. Το επίπεδο τομέα δημιουργεί δρόμους των οποίων οι ροές είναι μέρη του ίδιου τομέα και οι οποίες πρέπει να ολοκληρωθούν πριν θεωρηθούν ολοκληρωμένες.

Τα ίχνη των συνδέσεων του session layer επίσης ονομάζονται sessions. Αυτό το επίπεδο πρέπει να κρατά ίχνη των πολλαπλών πακέτων που απαιτούνται από μια συγκεκριμένη εφαρμογή FTP, ή πολλαπλές συνδέσεις telnet από ένα μοναδικό τερματικό client.

Με το TCP/IP αυτή η λειτουργία διαχειρίζεται από software εφαρμογών, θέτοντας τη διεύθυνση μιας σύνδεσης σε μια κατευθυνόμενη μηχανή και χρησιμοποιώντας ένα διαφορετικό local port number για κάθε σύνδεση.

Το Session layer διαχειρίζεται διάλογους μεταξύ δύο υπολογιστών, στην προκειμένη περίπτωση μεταξύ δύο κόμβων, με το να εγκαθιστά, διαχειρίζεται και να τερματίζει επικοινωνίες. Οι διάλογοι μπορούν να πάρουν τις μορφές:

1. **Simplex dialogs:** Είναι υπεύθυνοι για μετάδοση δεδομένων μιας διαδρομής.
2. **Half duplex dialogs:** Διαχειρίζονται μεταφορές δεδομένων διπλών διαδρομών, στα οποία τα δεδομένα διαρρέουν σε μια διαδρομή τη φορά. Όταν μια συσκευή ολοκληρώσει μια μετάδοση, αυτή η συσκευή πρέπει να κλείσει το μέσο προς την άλλη διαδρομή, έτσι ώστε αυτή η δεύτερη συσκευή έχει σειρά να μεταδώσει.
3. **CB radio operators:** Όταν έναν operator τελειώσει τη μετάδοση, πρέπει να απελευθερώσει το δικό του transmit key, έτσι ώστε ο άλλος operator να μπορεί να στείλει μια απάντηση.
4. **Full duplex dialogs:** Αυτός ο τρίτος τύπος διαλόγων, επιτρέπει ταυτόχρονη μετάδοση δεδομένων δυο διαδρομών, παρέχοντας κάθε συσκευή με ένα ξεχωριστό κανάλι επικοινωνίας.

Το επίπεδο τομέα επίσης μαρκάρει το data stream με σημεία αναφοράς και παρακολουθεί τις αποδείξεις αυτών των σημείων. Σε περίπτωση αποτυχίας, ο αποστολέας μπορεί να επαναμεταδώσει, ξεκινώντας με τα δεδομένα που απεστάλησαν μετά το τελευταίο checkpoint, παρά να στείλει ολόκληρο το μήνυμα.

4.8 Presentation Layer (Επίπεδο Παρουσίασης)

Αυτό το επίπεδο μοιράζεται πληροφορίες με το επίπεδο Εφαρμογής και με το επίπεδο Τομέα. Το επίπεδο παρουσίασης είναι ένα όνομα που μπορεί να μπερδέψει, επειδή αυτό το επίπεδο δεν σχετίζεται με την παρουσίαση πληροφοριών σε ένα πρόσωπο, αλλά παρουσιάζει πληροφορίες στις διάφορες ηλεκτρονικές συσκευές. Για παράδειγμα θα στείλει πληροφορίες βίντεο με το σωστό τύπο στην κάρτα γραφικών. Έτσι ο κύριος στόχος αυτού του επιπέδου είναι να τροποποιήσει τις πληροφορίες στη σωστή μορφή και στις δυο κατευθύνσεις.

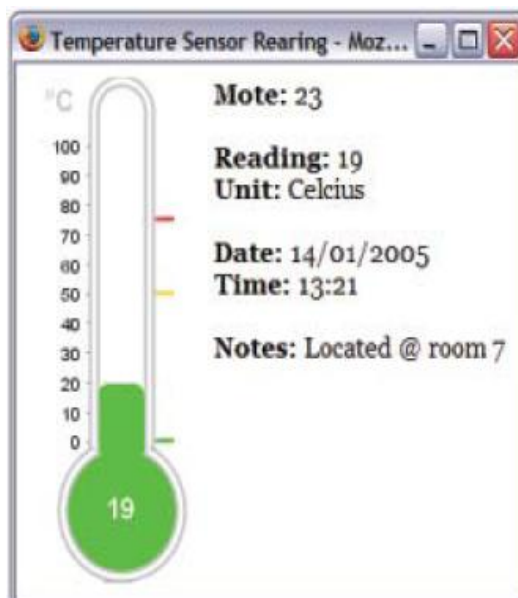
Ένας άλλος στόχος αυτού του επιπέδου είναι να κρατάει μυστικά. Ο τεχνικός όρος είναι απόκρυψη. Το επίπεδο παρουσίασης μπορεί να κωδικοποιεί/ αποκωδικοποιεί πληροφορίες εάν χρειαστεί.

Κάποιες φορές είναι χρήσιμο απλά να στέλνεται την ελάχιστη ποσότητα πληροφοριών στο δίκτυο. Έτσι το επίπεδο παρουσίασης θα εξετάσει τις πληροφορίες που χρειάζεται για να στείλει τις πληροφορίες διαμέσου του δικτύου, για να ερευνήσει εάν μπορεί να τις μειώσει, σε κάποιο σημείο. Ο τεχνικός όρος είναι συμπίεση δεδομένων. Υπάρχουν πολλοί τρόποι για να γίνει αυτό.

Το επίπεδο παρουσίασης ουσιαστικά είναι το interface με τον τελικό χρήστη και είναι το επίπεδο τους συστήματος με το οποίο θα χρειαστεί να αλληλεπιδράσουν οι τελικοί χρήστες ως επί το πλείστον έπειτα από την έναρξη λειτουργίας του. Το επίπεδο αυτό 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.

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του επιπέδου αυτού είναι η χρήση portlets, για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων από το δίκτυο. Τα portlets προσφέρουν στον τελικό χρήστη τη δυνατότητα να δημιουργήσει ο ίδιος το interface με το οποίο θα χειριστεί το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων του. Για παράδειγμα ο χρήστης μπορεί να ενδιαφέρεται κάθε φορά που χρησιμοποιεί το σύστημα να βλέπει τις μετρήσεις θερμοκρασίας από κάποιους συγκεκριμένους κόμβους (nodes). Μπορεί να ρυθμίσει το σύστημα ώστε να παρουσιάζεται κατευθείαν αυτή η πληροφορία στην οθόνη του ή στο οποιοδήποτε τερματικό του. Τα portlets χρησιμοποιούνται παράλληλα με ένα standard interface μέσω του οποίου είναι διαθέσιμες οι βασικές διαχειριστικές λειτουργίες του συστήματος.

Ένα παράδειγμα για τη μέτρηση θερμοκρασίας, με τη χρήση portlets:



Μέσω του επιπέδου παρουσίασης, ο χρήστης έχει πρόσβαση σε υπηρεσίες όπως:

- Αποστολή queries στο δίκτυο.
- Διαχείριση των δικτύων.
- Προσθήκες στο σύστημα, π.χ. νέοι τύποι αισθητήρων.

Να επιλέξει μετρήσεις που βρίσκονται στη βάση δεδομένων με διάφορα κριτήρια όπως ID mote, χρόνο αναφοράς, τύπο αισθητήρα, όπως επίσης και να επιλέξει τη μορφή που θα του παρουσιαστούν τα αποτελέσματα.

Το επίπεδο παρουσίασης, τελικώς καθορίζεται από το περιεχόμενο του περιβάλλοντος σε σχέση με τα δεδομένα που παρέχονται. Αυτό εγγυάται ότι το σύστημα δεν θα υπερφορτωθεί με πληροφορίες που δεν σχετίζονται, με τα απαιτούμενα δεδομένα. Για παράδειγμα σε έναν έλεγχο που θα γίνει σε νοσοκομείο δεν θα υπάρχει μπλέξιμο ανάμεσα στις καρτέλες ασθενών και προσωπικού.

Έτσι συμπεραίνουμε ότι σε αυτό το επίπεδο τα στοιχεία φιλτράρονται, με βάση τις μεταβλητές που έχουμε θέσει εμείς, και μόνο σχετικά στοιχεία παρουσιάζονται και στέλνονται στον χρήστη.

4.9 Application Layer (Επίπεδο Εφαρμογής)

Βασικά το επίπεδο εφαρμογής είναι το έβδομο επίπεδο του μοντέλου OSI. Εκτελεί απευθείας υπηρεσίες εφαρμογών για την ολοκλήρωση των διαδικασιών, επίσης παραλαμβάνει στοιχεία από το επίπεδο παρουσίασης. Οι κοινές εφαρμογές του application layer παρέχουν σημασιολογικές μετατροπές μεταξύ σχετιζόμενων διαδικασιών.

Η λειτουργία αυτού του επιπέδου είναι τέτοια σαν ένα παράθυρο μεταξύ της ανταποκρινόμενης εφαρμογής, έτσι ώστε να ανταλλάξουν πληροφορίες στο ανοιχτό περιβάλλον. Τα προγράμματα τα οποία χρησιμοποιούν το Application layer είναι γνωστές σαν Application Processes. Ένα πρόγραμμα μπορεί να συνεργαστεί απευθείας με το επίπεδο παρουσίασης, που στην προκειμένη περίπτωση, πρέπει να συμπεριλάβει μοντέλα πρωτοκόλλων για να μονογράψει επικοινωνίες με peer application processes, εγκαθιστά το κατάλληλο περιεχόμενο παρουσίασης και να μεταφέρει αρχεία ή μηνύματα. Εναλλακτικά, οι διαδικασίες των χρηστών μπορεί να περιλάβει διαθέσιμα μοντέλα τα οποία συχνά απαιτούν υπηρεσίες σχετιζόμενες με τις διαδικασίες. Τέτοιου είδους μοντέλα αναφέρονται ως Application Specific Elements, και καθορίζονται σαν ένα ολοκληρωμένο πακέτο λειτουργιών, το οποίο μαζί παρέχει μια ή περισσότερες εφαρμογές σχετιζόμενες με τις δυνατότητες της επικοινωνίας. Αυτές οι δυνατότητες καθορίζονται από ένα πρωτόκολλο σε ένα παρόμοιο τρόπο με αυτό που χρησιμοποιείται για να καθορίσει μια υπηρεσία που παρέχεται από το προηγούμενο επίπεδο. Το πρωτόκολλο μπορεί να καθορίσει την απευθείας χρήση των υπηρεσιών του επιπέδου παρουσίασης.

Αυτό είναι το τελευταίο επίπεδο των μοντέλων OSI. Το επίπεδο Εφαρμογής ασχολείται μόνο με την παρουσίαση των πληροφοριών στους ανθρώπους, σε αντίθεση με το προηγούμενο επίπεδο (επίπεδο Παρουσίασης). Το επίπεδο Παρουσίασης λαμβάνει τις πληροφορίες από το επίπεδο Παρουσίασης, που βρίσκεται ακριβώς από κάτω. Αυτό είναι το επίπεδο όπου αυτοί που επικοινωνούν ταυτοποιούνται, η ποιότητα των υπηρεσιών ταυτοποιείται, πέφτει μεγάλη σημασία στην αυθεντικοποίηση των χρηστών και την ιδιωτικότητα, όπως επίσης και κάθε αλλαγή στα δεδομένα ταυτοποιείται. Επίσης από αυτό το επίπεδο, όλες οι εφαρμογές είναι που προορίζονται να διατρέξουν στο δίκτυο, για παράδειγμα απαιτούμενες υπηρεσίες που έχει θέσει ο χρήστης του δικτύου. Παρέχει ένα μέσο για τον χρήστη να έχει πρόσβαση σε πληροφορίες στο δίκτυο μέσω μιας εφαρμογής. Αυτό το επίπεδο είναι το κεντρικό interface για τον χρήστη για να αλληλεπιδράσει με την εφαρμογή και κατ' επέκταση με το δίκτυο.

Το επίπεδο εφαρμογής είναι το επίπεδο που βρίσκεται πιο κοντά στο χρήστη, κάτι το οποίο σημαίνει ότι και τα δύο, και το application layer αλλά και ο χρήστης αλληλεπιδρούν απευθείας με την εφαρμογή του software. Αυτό το επίπεδο αλληλεπιδρά με το software των εφαρμογών θέτοντας σε εφαρμογή ένα στοιχείο επικοινωνίας. Οι λειτουργίες αυτού του επιπέδου τυπικά περικλείουν επικοινωνιακούς συνεργάτες, καθορίζουν διαθέσιμες πηγές, και συγχρονίζουν την επικοινωνία. Όταν ταυτοποιούνται οι επικοινωνιακοί συνεργάτες, το επίπεδο application καθορίζει την ταυτότητα και τη διαθεσιμότητα των επικοινωνιακών συνεργατών για μια εφαρμογή με δεδομένα να μεταδώσουν. Όταν καθορίζεται η επάρκεια των πηγών, το επίπεδο εφαρμογής πρέπει να αποφασίσει για το εάν είναι επαρκής οι πηγές του δικτύου για την απαιτούμενη ύπαρξη της επικοινωνίας. Στο συγχρονισμό της επικοινωνίας, όλες οι επικοινωνίες μεταξύ των εφαρμογών απαιτούν συνεργασία, η οποία διαχειρίζεται από το application layer.

Αυτό το επίπεδο υποστηρίζει εφαρμογές και διαδικασίες end-user. Οι επικοινωνιακοί συνεργάτες ταυτοποιούνται, η ποιότητα των υπηρεσιών ταυτοποιείται, η αυθεντικότητα του χρήστη και η μυστικότητα έχουν σημασία, και κάθε εξαναγκασμός στα δεδομένα syntax ταυτοποιούνται. Τα πάντα σε αυτό το επίπεδο είναι συγκεκριμένες εφαρμογές. Αυτό το επίπεδο παρέχει υπηρεσίες εφαρμογής για μεταφορά φακέλων και άλλων υπηρεσιών software δικτύου.

Τα πρωτόκολλα αυτού του επιπέδου διαχωρίζονται σε Common Application Elements (CASE), και Specific Application Specific Elements (SASE). Τα στοιχεία του CASE απαιτούνται συχνά από τα στοιχεία του χρήστη, και του SASE περιλαμβάνονται μόνο σε μια διαδικασία εφαρμογής όταν μια συγκεκριμένη υπηρεσία απαιτείται. Υπάρχουν τεσσάρων ειδών CASE που καθορίζονται:

1. Association Control (ACSE)
2. Reliable Transfer (RTSE)
3. Remote Operations (ROSE)
4. Recovery (CCR)

Το ACSE επιτρέπει στο χρήστη να εγκαταστήσει ή να τερματίσει μια σχέση μεταξύ των διαδικασιών. Το RTSE επιτρέπει αξιόπιστη μεταφορά των πληροφοριών μεταξύ των peer. Το ROSE επιτρέπει στο χρήστη να εισάγει διεργασίες σε ένα φορητό site. Τέλος το CCR επιτρέπει στο χρήστη να επανέλθει από μια αποτυχία κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης μια εφαρμογής.

5. Περιβάλλοντα λογισμικού για ανάπτυξη εφαρμογών

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι λύσεις σε λογισμικό που υπάρχουν αυτή τη στιγμή, για διαχείριση και ανάπτυξη εφαρμογών σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων. Αυτές οι εφαρμογές βοηθούν το χρήστη ή το διαχειριστή του δικτύου με πολλούς τρόπους. Κάποιοι εκ των οποίων είναι οι εξής:

- Απλοποίηση της διαδικασίας και προσφορά εργαλείων για τη γρήγορη και εύκολη εγκατάσταση και την έναρξη της λειτουργίας ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων.
- Παροχή έτοιμων διαδικασιών για την ανάπτυξη μιας καινούργιας εφαρμογής στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.
- Παροχή εργαλείων για την παρακολούθηση της κατάστασης και της σωστής λειτουργίας των συσκευών μέσα σε ένα τέτοιο δίκτυο.
- Αποθήκευση των δεδομένων από το δίκτυο και δυνατότητα διασύνδεσης με ευρέως χρησιμοποιούμενα εργαλεία ανάλυσης δεδομένων.
- Δυνατότητα εκτίμησης της διάρκειας του χρόνου λειτουργίας που απομένει στο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων.

Η τεχνολογία των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι ακόμη σχετικά νέα και ως εκ τούτου, δεν υπάρχει μεγάλος αριθμός από έτοιμες λύσεις στον τομέα αυτό ακόμη. Επίσης, τα περιβάλλοντα που υπάρχουν αυτή τη στιγμή ακόμη δεν έχουν φτάσει σε ένα αρκετά ικανοποιητικό βαθμό ωριμότητας, παρότι έχουν γίνει κάποια βήματα στη σωστή κατεύθυνση, καθώς η χρήση και η διαχείριση τους είναι αρκετά πολύπλοκες και απαιτούν αρκετές εξειδικευμένες γνώσεις πάνω στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.

Οι λύσεις που υπάρχουν αυτή τη στιγμή, είναι οι εξής:

1. TinyDB (University of California, Berkeley)
2. TASK (University of California, Berkeley and Intel)
3. Moteview (Crossbow)
4. EmStar (University of California, Los Angeles)

Λεπτομέρειες για κάθε ένα από τα παραπάνω περιβάλλοντα δίνονται στις επόμενες ενότητες.

5.1 Το περιβάλλον TinyDB

5.1.1 Γενικά

Το TinyDB είναι το περιβάλλον, μέσω του οποίου, δύναται να συγκεντρωθούν οι πληροφορίες από ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, μέσω του οποίου ο χρήστης βλέπει το δίκτυο αυτό με τρόπο τέτοιο που θυμίζει βάση δεδομένων. Το TinyDB παρέχει ένα SQL-like interface ώστε ο χρήστης να μπορεί να πάρει από το δίκτυο, τον τύπο αισθητήρα (θερμοκρασία, φως, κτλ) μαζί με άλλα στοιχεία όπως π.χ. η περίοδος δειγματοληψίας.

Βασικός στόχος του, είναι να επιτρέψει στους χρήστες να εκμεταλλεύονται τις δυνατότητες που προσφέρει ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, χωρίς να χρειαστεί να γράψουν οι ίδιοι κώδικα για τα motes του δικτύου και να αναπτύξουν μια καινούργια εφαρμογή. Αυτό μειώνει σε μεγάλο βαθμό τον χρόνο που απαιτείται και το φόρτο

εργασίας στην περίπτωση που χρειάζεται να αναπτυχθεί μια εφαρμογή για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων από την αρχή.

Το TinyDB βασίζεται πάνω στο TinyOS άρα απαιτείται η εγκατάσταση του για να καθιστά δυνατό στο χρήστη να χρησιμοποιεί το TinyDB. Παράλληλα ο χρήστης χρειάζεται να έχει εγκατεστημένο το περιβάλλον JDK της Java στο σύστημά του. Επομένως με την εγκατάσταση του TinyOS, ο χρήστης μπορεί κατευθείαν να χρησιμοποιήσει το TinyDB, το οποίο μπορεί να χωριστεί σε δύο υποσυστήματα:

1. Το λογισμικό που βρίσκεται στον υπολογιστή του χρήστη.
2. Το λογισμικό που τρέχουν οι κόμβοι του ασύρματου δικτύου αισθητήρων.

Στην πρώτη κατηγορία λογισμικού ανήκει το γραφικό περιβάλλον που παρέχει το TinyDB και το λογισμικό που είναι υπεύθυνο για την αποστολή των μηνυμάτων στο δίκτυο και τη συλλογή των απαντήσεων που έρχονται από αυτό. Το TinyDB από μόνο του δεν εμπεριέχει κάποια βάση δεδομένων για την αποθήκευση των μετρήσεων, οπότε χρειάζεται μια σχεσιακή βάση δεδομένων μαζί του, έτσι ώστε να μην χάνονται τα δεδομένα από το δίκτυο.

Στη δεύτερη κατηγορία ανήκει το λογισμικό που είναι αποθηκευμένο στη flash μνήμη των motes μέσα στο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων και εκτελείται από αυτά. Σε γενικές γραμμές, ο χρήστης δεν χρειάζεται να πειράξει τον κώδικα για το επίπεδο αυτό, εκτός και αν θέλει να επεκτείνει το σύστημα. Τα βασικά μέρη του λογισμικού είναι τα εξής:

1. Διαχειριστής καταλόγου χαρακτηριστικών: τα χαρακτηριστικά του κάθε mote αποτυπώνονται στα components που αντιπροσωπεύουν το hardware που φέρει το mote (δηλαδή τύποι αισθητήρων), και στις εντολές για τη διαχείριση τους (των software components). Μπορούμε να δούμε το σύνολο αυτών των χαρακτηριστικών και των εντολών σαν το σχεδιάγραμμα μιας βάσης δεδομένων. Ο διαχειριστής του καταλόγου αυτού προσφέρει ένα interface στο υπόλοιπο λογισμικό του mote, έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιήσει τα component αυτά.

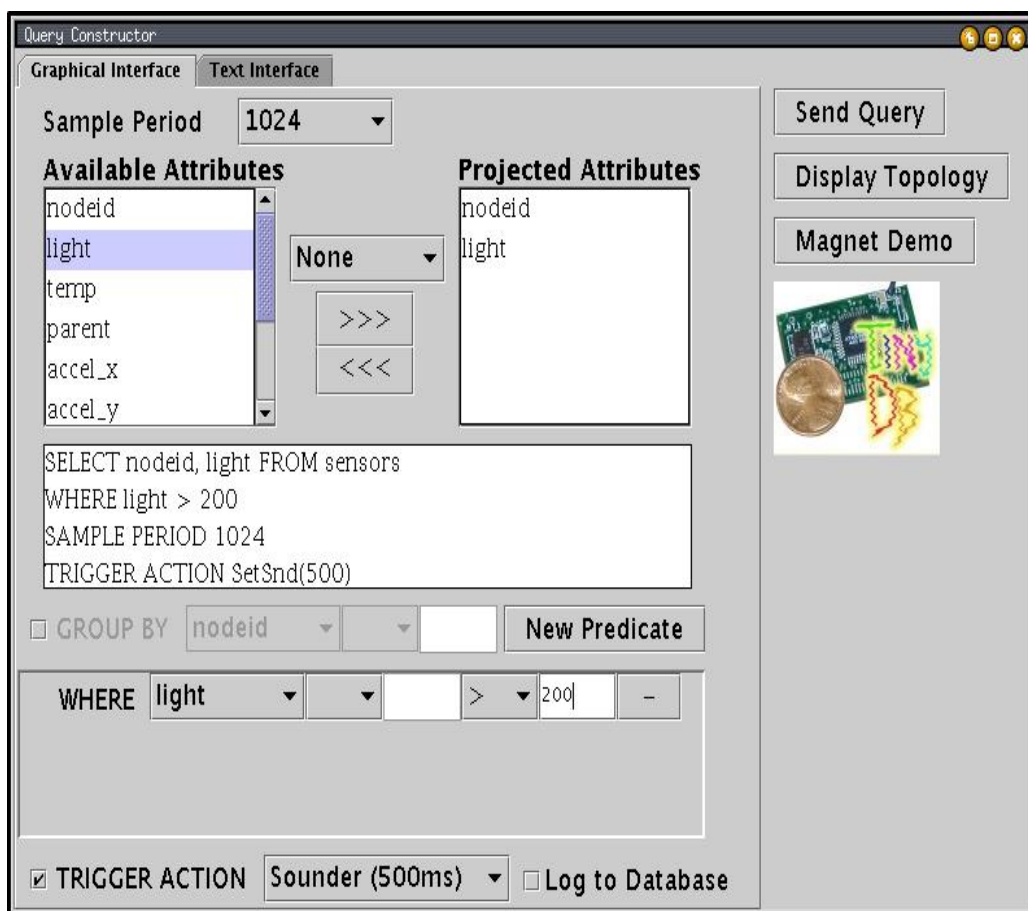
2. Διαχειριστής Query: αυτός ο διαχειριστής φροντίζει για τον χειρισμό των νέων query που φτάνουν από το δίκτυο, για την εκτέλεση τους και την αποστολή των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις που κάνει. Κάθε διαφορετικό query, φέρει ένα μοναδικό ID και βάση αυτού μπαίνει σε μια ουρά προς εκτέλεση. Ο διαχειριστής καλεί έπειτα μια συνάρτηση για να υπολογίσει πότε θα είναι η επόμενη φορά που θα χρειαστεί να πάρει δείγματα από κάποιον αισθητήρα, με βάση τη συχνότητα δειγματοληψίας κάθε query. Αν εκτελείται μόνο ένα query αυτό θα γίνει στη συχνότητα δειγματοληψίας του query αυτού. Αν υπάρχουν παραπάνω από ένα query, αυτό θα γίνει στο μέγιστο κοινό διαιρέτη των περιόδων δειγματοληψίας των διαφόρων query.

3. Διαχειριστής μνήμης: αυτός ο διαχειριστής είναι ένας απλός διαχειριστής μνήμης, ο οποίος κατανέμει byte από ένα frame μνήμης σταθερού μεγέθους και επιστρέφει δείκτες προς περιοχές μνήμης του frame αυτού.

4. Διαχειριστής δρομολόγησης: Αυτός ο διαχειριστής βασίζεται σε ένα multihop αλγόριθμο δρομολόγησης, που πάνω από αυτόν προσφέρει ένα interface με μια σειρά από εντολές, όπως αποστολή query μηνύματος, αποστολή μηνύματος μετρήσεων, κτλ.

5.1.2 Tiny SQL και queries στο TinyDB

Το TinyDB παρέχει μια γλώσσα για τον ορισμό των queries που τρέχουν στο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, η οποία μοιάζει με τη γλώσσα SQL, η οποία χρησιμοποιείται στις σχεσιακές βάσεις δεδομένων. Η γλώσσα αυτή ονομάζεται TinySQL. Ο χρήστης μπορεί να υποβάλλει queries στο δίκτυο μέσω του γραφικού περιβάλλοντος εκφρασμένα στην TinySQL. Τα queries στην TinySQL αποτελούνται από ένα σύνολο από attributes προς επιλογή (π.χ. ID κόμβου, θερμοκρασία, φως κ.α.), ένα σύνολο από συνθήκες για την επιλογή των κόμβων που θα απαντήσουν στα queries και προαιρετικά κανόνες για data aggregation. Να σημειώσουμε ότι μπορούν να τρέχουν πολλαπλά queries σε κάθε κόμβο του δικτύου. Το γραφικό περιβάλλον του TinyDB μέσω του οποίου μπορούμε να στείλουμε queries στο δίκτυο φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα: Το γραφικό περιβάλλον του TinyDB

Τα queries με τη σειρά τους μεταδίδονται σε ολόκληρο το δίκτυο, μέσω ενός flooding αλγορίθμου, και κάθε mote εξετάζει αν ένα query που θα λάβει προορίζεται για αυτό και ανάλογα αρχίζει να το εκτελεί ή το αγνοεί. Μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, τα motes αρχίζουν να στέλνουν απαντήσεις στα queries του χρήστη πίσω στο κέντρο ελέγχου. Η δρομολόγηση των πακέτων με τις απαντήσεις αυτές γίνεται μέσω ενός multihop αλγορίθμου δρομολόγησης, ο οποίος δημιουργεί ένα δέντρο δρομολόγησης.

Οι απαντήσεις στα queries που στέλνει ο χρήστης μέσω του graphical interface του TinyDB στην ουσία αποθηκεύονται σε ένα μοναδικό πίνακα, ο οποίος λέγεται Sensors. Αυτός ο πίνακας περιέχει μια στήλη για κάθε attribute που μπορεί να υπάρχει στο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, δηλαδή node ID, τύποι αισθητήρων κτλ. ή χαρακτηριστικά για την εσωτερική κατάσταση των motes, π.χ. timestamp, πατέρας στο δέντρο δρομολόγησης κ.α. Στον server όλα αυτά τα πιθανά χαρακτηριστικά καθορίζονται σε ένα αρχείο XML.

5.1.3 Σύνοψη – Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του TinyDB

Multihop δρομολόγηση μέσα στο δίκτυο: τα μηνύματα μέσα σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων που χρησιμοποιεί το TinyDB δρομολογούνται μέσω ενός multihop αλγορίθμου, ο οποίος κατασκευάζει ένα δέντρο δρομολόγησης με ρίζα το κέντρο ελέγχου του δικτύου, αφού αυτός είναι ο μοναδικός προορισμός για όλα τα μηνύματα που έρχονται από το δίκτυο. Για τα μηνύματα που στέλνει το κέντρο ελέγχου προς το δίκτυο, χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος flooding για τη διάδοσή τους μέσα στο δίκτυο.

Δυνατότητα χρησιμοποίησης Triggers: ένα ενδιαφέρον χαρακτηριστικό που περιλαμβάνεται στο TinyDB και στην TinySQL είναι τα triggers, δηλαδή queries τα οποία εκτελούν κάποια εντολή όταν συμβεί κάποιο ορισμένο από το χρήστη γεγονός. Παράδειγμα τέτοιου γεγονότος είναι το εξής: “όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος ξεπεράσει τους 30 βαθμούς”. Όταν συμβεί αυτό το γεγονός, υπάρχουν δύο δυνατότητες (προς το παρόν) που παρέχει το TinyDB: να αναβοσβήνουν τα LED του Mica mote ή να τεθεί σε λειτουργία το μεγαφωνάκι τους.

Event-based queries: ένα άλλο ενδιαφέρον χαρακτηριστικό του TinyDB είναι η δυνατότητα υποβολής event-based queries. Η λογική εδώ είναι ότι περιγράφοντας κάποιο συγκεκριμένο γεγονός (event) με ένα component στο λογισμικό των motes, μπορούμε να καθορίσουμε πότε θα αρχίσει να εκτελείται κάποιο query.

Καταγραφή αποτελεσμάτων στη flash μνήμη: εκτός από τη δυνατότητα μετάδοσης των μετρήσεων μέσω ασύρματου δικτύου, τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις μπορούν να αποθηκευτούν στη flash μνήμη του mote. Έτσι, ο διαχειριστής του δικτύου μπορεί να επιλέξει να αποθηκεύονται με αυτόν τον τρόπο οι μετρήσεις, και όταν εξαντληθούν οι μπαταρίες του mote να συλλέξει τα mote από το χώρο που βρίσκονται και να ανακτήσει τις μετρήσεις από τη flash. Πρέπει να σημειωθεί όμως ότι η απαιτούμενη ενέργεια για αποθήκευση ενός bit στη flash μνήμη είναι λίγο μεγαλύτερη από αυτή που απαιτείται για τη μετάδοσή του μέσω ασύρματου δικτύου.

Χρονικός συγχρονισμός και περίοδος δειγματοληψίας: τα mote που βρίσκονται μέσα στο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων είναι χρονικά συγχρονισμένα με έναν απλό μηχανισμό και επιπλέον εκμεταλλεύονται τον συγχρονισμό αυτό για την εξοικονόμηση ενέργειας. Αυτό επιτυγχάνεται με το να έχουν ανοιχτούς τους πομποδέκτες τους και να κάνουν μετρήσεις ταυτόχρονα όλοι οι κόμβοι του δικτύου για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα σε κάθε περίοδο δειγματοληψίας. Το διάστημα αυτό είναι 4 δευτερόλεπτα (για queries με περίοδο μεγαλύτερη των 4 δευτερολέπτων) και καθορίζεται από το TinyDB (ο χρήστης μπορεί να το αλλάξει πριν προγραμματίσει τα motes αλλάζοντας την αντίστοιχη σταθερά). Αν π.χ. η περίοδος δειγματοληψίας είναι 30 δευτερόλεπτα, τα motes θα “ξυπνήσουν” ταυτόχρονα για 4 δευτερόλεπτα, θα κάνουν την αντίστοιχη μέτρηση και θα μεταδώσουν έπειτα τα αντίστοιχα αποτελέσματα από τις μετρήσεις τους. Το υπόλοιπο χρονικό διάστημα θα κλείσουν τους πομποδέκτες και τους αισθητήρες εξοικονομώντας έτσι ενέργεια.

Προσφερόμενο Java API: Το TinyDB προσφέρει ένα Java API για τους προγραμματιστές που θέλουν να δημιουργήσουν τη δική τους εφαρμογή, μέσω της οποίας να στέλνουν TinySQL queries και να επεξεργάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα από το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων. Το γραφικό περιβάλλον το οποίο παρέχεται με τη διανομή του TinyDB χρησιμοποιεί το συγκεκριμένο API.

5.2 Το περιβάλλον TASK

5.2.1 Γενικά

Αυτό το σύστημα (Tiny Application Sensor Kit) είναι μια προσπάθεια δημιουργίας ενός περιβάλλοντος για τη διαχείριση ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων. Το TASK είναι αποτέλεσμα της συνεργασίας μεταξύ της Intel και των πανεπιστημίων Berkeley στην Καλιφόρνια και του MIT. Το TASK βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στο TinyDB, παρέχοντας επιπρόσθετα κάποια εργαλεία για να κάνει πιο εύκολη τη δουλειά του διαχειριστή ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων.

Αν και η ανάπτυξη του TASK είναι ακόμα σε ενδιάμεσο στάδιο, ήδη προσφέρει αυξημένη λειτουργικότητα στον τελικό χρήστη. Το γεγονός αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην ωριμότητα του TinyDB, το οποίο είναι εξειδικευμένο λογισμικό για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και το οποίο έχει δοκιμαστεί σχεδόν από όλες τις ερευνητικές ομάδες που ασχολούνται με το συγκεκριμένο αντικείμενο.

Η ανάπτυξη ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων, έστω και με τη χρήση κάποιων έτοιμων εφαρμογών, δεν είναι μια εύκολη υπόθεση. Τα εργαλεία που υπήρχαν μέχρι πρόσφατα, απαιτούσαν εξειδικευμένους προγραμματιστές για την εγκατάσταση του λογισμικού και των συσκευών του δικτύου, καθώς και τη ρύθμιση της επικοινωνίας μεταξύ λογισμικού και του φυσικού δικτύου. Επίσης, ακόμη και μετά την επιτυχή έναρξη της λειτουργίας του συστήματος, λόγω της φύσης των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων εμφανίζονται προβλήματα τα οποία επιβάλλουν την επίβλεψη του δικτύου.

Οι πιο σημαντικοί στόχοι που έθεσαν οι σχεδιαστές του TASK, από την άποψη του τελικού χρήστη, είναι οι εξής:

- Ευκολία στην εγκατάσταση του λογισμικού.
- Προσφορά ενός πλήθους από εργαλεία για την εγκατάσταση και την έναρξη της λειτουργίας του συστήματος.
- Παροχή ενός πλήθους από εργαλεία για την παρακολούθηση της κατάστασης και της σωστής λειτουργίας του δικτύου.
- Μετάφραση των μετρήσεων από το δίκτυο σε μονάδες οι οποίες είναι εύκολα κατανοητές από το τελικό χρήστη (π.χ. βαθμοί Κελσίου για τις μετρήσεις θερμοκρασίας).
- Λειτουργία του δικτύου κάτω από αντίξοες συνθήκες.
- Αποθήκευση των δεδομένων από το δίκτυο και δυνατότητα διασύνδεσης με ευρέως χρησιμοποιούμενα εργαλεία ανάλυσης δεδομένων (π.χ. Excel) ή interface (π.χ. ODBC ή JDBC).
- Δυνατότητα εκτίμησης της διάρκειας του χρόνου λειτουργίας που απομένει στο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (για κάθε κόμβο και συνολικά για το δίκτυο).

Εκτός από τον τελικό χρήστη, υπάρχουν και οι προγραμματιστές, οι οποίοι αναλαμβάνουν να κάνουν ορισμένες αλλαγές ή προσθήκες στο σύστημα,

προκειμένου να το παραμετροποιήσουν για κάποια συγκεκριμένη εφαρμογή. Από αυτή την οπτική γωνία δημιουργούνται οι εξής ανάγκες:

1. Χρήση ενός συγκεκριμένου application interface για την προσθήκη ή αλλαγή εργαλείων οπτικοποίησης του δικτύου χωρίς να χρειάζεται να αλλάξει το ήδη υπάρχον λογισμικό του συστήματος.
2. Δυνατότητα προσθήκης νέων χαρακτηριστικών στο λογισμικό που τρέχουν οι συσκευές στο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (π.χ. νέοι τύποι αισθητήρων).
3. Κατ' επέκταση, δυνατότητα αλλαγής των υπηρεσιών του δικτύου (π.χ. δρομολόγηση ή παροχή στοιχείων για τη λειτουργία του δικτύου (Health Monitoring)).

5.2.2 Αρχιτεκτονική και χαρακτηριστικά του TASK

Το TASK έχει υλοποιηθεί σαν ένα σύνολο από επίπεδα που επικοινωνούν μεταξύ τους με κάποιο συγκεκριμένο interface. Υπάρχει το επίπεδο στο οποίο βρίσκεται ο TASK server με τον οποίο επικοινωνεί το επίπεδο του client και των GUI εφαρμογών για να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα που έρχονται από το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων. Ο TASK server επικοινωνεί με το επίπεδο του ασύρματου δικτύου αισθητήρων μέσω ενός απλού και σχετικά περιορισμένου interface, το οποίο επιτρέπει τη χρήση διαφόρων μηχανισμών συλλογής δεδομένων από το δίκτυο. Το επίπεδο αυτό έχει υλοποιηθεί με τρόπο που να επιτρέπει την εύκολη αλλαγή στη χρησιμοποιούμενη λογική του δικτύου, π.χ. αλγόριθμους δρομολόγησης, χρήση αλγορίθμων για περιορισμό κατανάλωσης ενέργειας, κτλ.

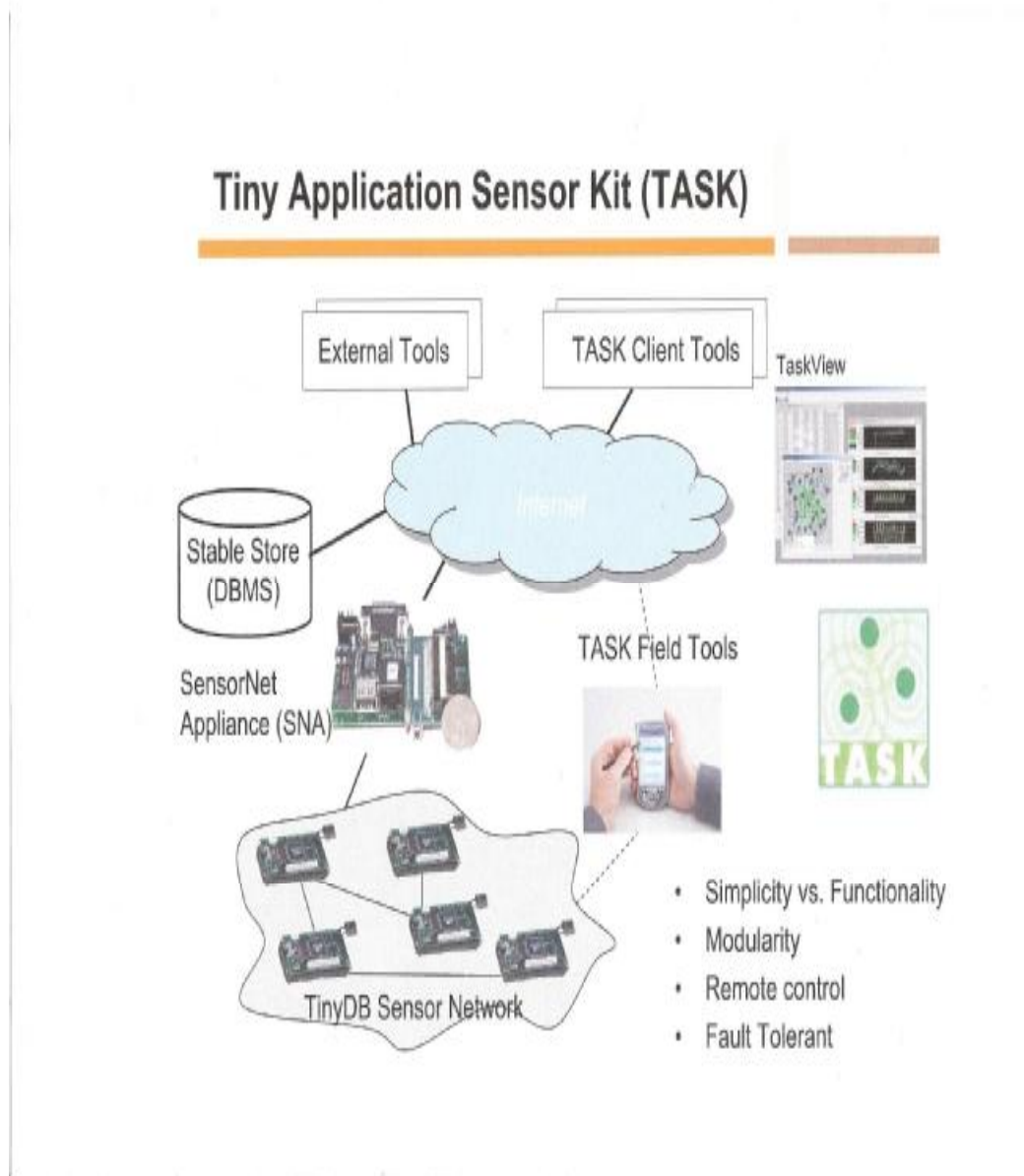
Εφόσον ήδη υπάρχει ένας αριθμός από διαθέσιμα εργαλεία για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, οι σχεδιαστές του TASK πήραν την απόφαση να εκμεταλλευτούν το λογισμικό αυτό. Η σχεδίαση του συστήματος σε επίπεδα, ουσιαστικά εξυπηρετεί το μοντέλο αυτό και η συνολική προσπάθεια επικεντρώθηκε στο να ενοποιηθούν οι εφαρμογές που αντιστοιχούν σε καθένα από τα επίπεδα αυτά και στην βελτίωση επιμέρους χαρακτηριστικών τους.

Γνώμονας στην υλοποίηση της αρχιτεκτονικής του συστήματος ήταν η δυνατότητα παροχής remote management ευκολιών στον τελικό χρήστη καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Οι κόμβοι τέτοιων δικτύων είναι γενικά δύσκολο να ελεγχθούν για δυσλειτουργίες ένας προς έναν. Ακόμα, επειδή τα δίκτυα αυτά αναπτύσσονται σε αντίξοες συνθήκες (παρεμβολές, συνθήκες περιβάλλοντος, κτλ.), πρέπει το σύστημα να επιδεικνύει αντοχή σε καταστάσεις που έχουμε αστοχία υλικού ή λογισμικού.

Γενικά, ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων στο οποίο τρέχει το σύστημα TASK αποτελείται από τα εξής τμήματα:

1. Ένα σύνολο από κόμβους (motes).
2. Ένα sensor network appliance, το οποίο τρέχει τον TASK Server, μια σχεσιακή βάση δεδομένων (συγκεκριμένα την Postgres) και λειτουργεί ως gateway μεταξύ του δικτύου και του υπόλοιπου κόσμου.
3. Ένα σύνολο από εργαλεία (field tools) τα οποία χρησιμεύουν στην παρακολούθηση των συνθηκών μέσα στο δίκτυο αισθητήρων και τα οποία τρέχουν σε PDA.

4. Ένα σύνολο από εργαλεία client για την οπτικοποίηση της κατάστασης μέσα στο δίκτυο (π.χ. δέντρο δρομολόγησης μέσα στο δίκτυο) τα οποία επικοινωνούν με το sensor network appliance για να πάρουν την αντίστοιχη πληροφορία.



Σχήμα: Φιλοσοφία του συστήματος "TASK".

5.2.3 Λογισμικό των motes

Οι τύποι των motes που υποστηρίζονται από το TASK είναι mica2 και mica2dot. Τα motes αυτά τρέχουν το TinyDB με μερικές προσθήκες και βελτιώσεις. Οι σχεδιαστές του TASK, τροποποίησαν το TinyDB στους εξής τομείς:

- Εξοικονόμηση ενέργειας - κύκλος λειτουργίας.
- Χρονικός συγχρονισμός (time synchronization).
- Μηχανισμός query sharing.
- Προσθήκη watchdog μετρητή για την ανίχνευση σφαλμάτων λογισμικού.
- Καταγραφή μετρήσεων στη μνήμη flash των motes.

Όσον αφορά στη διαχείριση ενέργειας, το TinyDB δεν χρησιμοποιούσε κάποια ιδιαίτερη λογική για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στους κόμβους του ασύρματου δικτύου αισθητήρων, πριν ενσωματωθεί στο TASK. Αντίθετα οι κόμβοι ήταν συνεχώς σε πλήρη λειτουργία, περιορίζοντας κατά πολύ τη διάρκεια ζωής του δικτύου. Οι δυο λύσεις που δοκιμάστηκαν ήταν:

1. Η συγχρονισμένη παύση λειτουργίας και αφύπνιση για ένα μικρό χρονικό διάστημα (μέσω του χρονικού συγχρονισμού) όλων των κόμβων (δηλαδή όλοι οι κόμβοι αφυπνίζονται ταυτόχρονα για το ίδιο χρονικό διάστημα).

2. Ο κάθε κόμβος παίρνει δείγματα περιοδικά με τον τρόπο που αναλύεται στην ενότητα για τα χαρακτηριστικά του TinyDB.

Ο χρονικός συγχρονισμός του δικτύου επιτυγχάνεται με έναν απλό μηχανισμό. Το TinyDB βάζει timestamp αρχικά σε κάθε πακέτο που φεύγει από το κέντρο ελέγχου προς το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων. Όταν κάποιος κόμβος λάβει ένα πακέτο από τον πατέρα του στο δέντρο δρομολόγησης, ελέγχει το timestamp του πακέτου και ρυθμίζει ανάλογα το δικό του ρολόι. Αν μεταδώσει το πακέτο στο υπόλοιπο δίκτυο, βάζει το δικό του timestamp. Με αυτό τον τρόπο σταδιακά συγχρονίζεται χρονικά ολόκληρο το δίκτυο. Αν κάποιος κόμβος δεν λάβει πακέτο από τον πατέρα δρομολόγησης, για κάποια ορισμένη χρονική περίοδο, θα ανοίξει τον πομποδέκτη του για να λάβει κάποιο πακέτο και να συγχρονιστεί μαζί του.

Το TinyDB χρησιμοποιεί ένα μηχανισμό watchdog, για να εξασφαλιστεί η σωστή λειτουργία των motes και η ανοχή τους σε σφάλματα λογισμικού. Αν για k περιόδους δειγματοληψίας ο κάθε κόμβος δεν λάβει κάποιο μήνυμα από τους γείτονες του, γίνεται ένα software reset στον κόμβο. Αυτή η μέθοδος προφυλάσσει από σφάλματα στη radio stack του TinyOS. Όταν ξεκινήσει ξανά κανονικά τη λειτουργία του ο κόμβος, θα πάρει τα query που τρέχουν στο δίκτυο μέσω του μηχανισμού query sharing.

Αυτός ο μηχανισμός χρησιμεύει για τη διάδοση των query μέσα στο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων και επιτρέπει σε κόμβους που έχουν κάνει software reset, να επανακτήσουν τα query που κινούνται στο δίκτυο. Έτσι, όταν ένας κόμβος του δικτύου ακούσει κάποιο γειτονικό κόμβο να στέλνει ένα μήνυμα ως απάντηση σε κάποιο query, θα ελέγξει το query ID που περιέχεται σε αυτό το μήνυμα. Αν αυτό το ID δεν αντιστοιχεί σε κάποιο query από αυτά που έχει στη λίστα του, θα στείλει μήνυμα στο γειτονικό κόμβο για να του αποσταλεί το query που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο ID. Στον μηχανισμό αυτό προστίθενται και κάποιοι περιορισμοί για το πότε και το πώς θα αποσταλούν τα αντίστοιχα μηνύματα για να μην υπάρξει υπερβολική κίνηση στο δίκτυο.

5.2.4 Sensor Network Appliance (SNA)

Το SNA είναι ουσιαστικά ένα gateway ανάμεσα στο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων και των εφαρμογών-εργαλείων που χρησιμοποιεί ο τελικός χρήστης. Το SNA τρέχει τον TASK Server, μια σχεσιακή βάση δεδομένων (RDBMS) και έναν web server. Ιδανικά, το SNA είναι ένα Stargate board που αναφέρεται εκτενέστερα στο προηγούμενο κεφάλαιο (3.2.5), αλλά μπορεί να είναι οποιοδήποτε laptop ή PC διαθέτει ένα mote συνδεδεμένο σε αυτό και σύνδεση με τον υπόλοιπο κόσμο μέσω Internet (αν και η λύση του Stargate ενδέχεται να είναι προτιμότερη).

Ο TASK Server λειτουργεί ως interface για να υποβάλλουν οι clients queries και εντολές στο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, να λαμβάνουν πληροφορίες για την κατάσταση του δικτύου και μετρήσεις ως απάντηση στα queries αυτά. Ο TASK Server είναι υλοποιημένος στη γλώσσα προγραμματισμού Java. Όταν κάποιος client στείλει ένα query, ο TASK Server το αποθηκεύει στη βάση δεδομένων και το προωθεί στο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων. Όταν έρχονται απαντήσεις από το δίκτυο, ο server τις αποθηκεύει στη βάση δεδομένων και ειδοποιεί τους client, οι οποίοι είναι τυχόν συνδεδεμένοι. Μπορούν να εκτελούνται ταυτόχρονα πολλά queries στο δίκτυο. Οι μετρήσεις, επίσης, μπορούν να αποστέλλονται σε κάποια άλλη βάση δεδομένων (π.χ. σε ένα PC με μεγάλο αποθηκευτικό χώρο σε σχέση με τη μνήμη του SNA).

5.2.5 Field και Client εργαλεία

Το field tool είναι μια εφαρμογή η οποία τρέχει σε κάποιο PDA και χρησιμεύει για το debugging και την επίβλεψη ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Η ιδιαιτερότητα της εφαρμογής αυτής είναι ότι ο χρήστης χρησιμοποιεί την εφαρμογή αυτή μέσα στο πεδίο που βρίσκεται το δίκτυο, οπότε μπορεί να εντοπίσει τυχόν προβλήματα επί τόπου και σε ποιο σημείο αυτά βρίσκονται.

Η εφαρμογή αυτή μας δίνει τη δυνατότητα να κάνουμε “ring” σε μεμονωμένα motes, με άλλα λόγια να διαπιστώσουμε αν ένα mote βρίσκεται σε λειτουργία και ποια queries εκτελεί, ενώ μπορούμε να κάνουμε reset και σε οποιαδήποτε συσκευή. Όταν ο διαχειριστής του δικτύου χρησιμοποιεί το εργαλείο αυτό με ένα PDA, στέλνει περιοδικά σήματα στα motes που βρίσκονται γύρω του για να απαντήσουν, οπότε ο χρήστης δημιουργεί μια λίστα με τα motes που λειτουργούν κανονικά μέσα στο δίκτυο.

Υπάρχουν επίσης και δύο client εφαρμογές, μία Web-based εφαρμογή και μία εφαρμογή που ονομάζεται TASKView. Η πρώτη εφαρμογή επιτρέπει την εκτέλεση κάποιων βασικών διαχειριστικών ενεργειών μέσω του TASK Server, δηλαδή συνδέεται στον Web Server που βρίσκεται στο SNA και μέσω αυτού επικοινωνεί με τον TASK Server. Το TASKView προσφέρει περισσότερες λειτουργίες σε ένα δικό του γραφικό περιβάλλον, όπως αναπαράσταση της τοπολογίας του δικτύου, εξαγωγή γραφικών παραστάσεων από τις μετρήσεις του δικτύου, κ.α.

5.3 Το σύστημα Moteview

5.3.1 Γενικά

Αυτό το σύστημα αποτελεί μια προσπάθεια της εταιρίας Crossbow, δηλαδή της εταιρίας που κατασκευάζει τα Mica mote, για τη δημιουργία μιας εφαρμογής που λειτουργεί ως Interface μεταξύ του τελικού χρήστη και ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Το Moteview προσφέρει στους τελικούς του χρήστες αρκετές δυνατότητες και εργαλεία για να απλοποιήσει τη διαδικασία εγκατάστασης και επίβλεψης ενός δικτύου.

Το Moteview υποστηρίζει τις πλατφόρμες της Crossbow, από το Mica2 και έπειτα. Δεν υποστηρίζεται η πρώτη γενιά των Mica mote. Όλα τα sensor board της Crossbow υποστηρίζονται από το σύστημα, ακόμα και τα πιο σύνθετα MTS400 και MTS420. Όσον αφορά στα programming board και γενικότερα στη διασύνδεση με το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, υποστηρίζονται τα programming board MIB510 και MIB600 της Crossbow και το Stargate board.

Σχετικά με τις εφαρμογές που τρέχουν στους κόμβους του ασύρματου δικτύου αισθητήρων και με τις οποίες είναι συμβατό το Moteview. Συγκεκριμένα είναι οι Surge Reliable, Surge Reliable dot και οι εφαρμογές Xmesh.

Surge Reliable και Surge Reliable dot: Αυτές οι δυο εφαρμογές σχεδιάστηκαν για να συνεργάζονται με την εφαρμογή Surgeview. Υπάρχουν δυο διαθέσιμες εκδόσεις του Surge Reliable, εκ των οποίων η μια δεν χρησιμοποιεί καθόλου power manager και χρονικό συγχρονισμό. Η εφαρμογή Surgeview προσφέρει αρκετές δυνατότητες αλλά δεν προσφέρει ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον, όπως αυτό του Moteview.

Xmesh εφαρμογή: Οι εφαρμογές αυτές χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο Xmesh της Crossbow μέσα στο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων. Υπάρχει μια διαφορετική εκδοσή διαθέσιμη για όλους τους συνδυασμούς mote και sensor board της Crossbow που υποστηρίζει το Moteview. Το Xmesh έχει κάποια χαρακτηριστικά, τα οποία είναι:

- Multihop δρομολόγηση μηνυμάτων από τους κόμβους του δικτύου προς το κέντρο ελέγχου.
- Επιλογή επόμενου hop σε κάθε κόμβο με βάση την ποιότητα των συνδέσεων με τους γειτονικούς κόμβους.
- Χρονικός συγχρονισμός όλων των κόμβων του δικτύου, με ακρίβεια ενός millisecond.
- Low power listening, δηλαδή οι κόμβοι ανοίγουν τους δέκτες τους 8-φορές το δευτερόλεπτο για να ακούσουν αν μεταδίδονται μηνύματα στο δίκτυο από τους γειτονικούς τους κόμβους.
- Πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

Η Crossbow ισχυρίζεται πως στα δίκτυα που τρέχουν τις Xmesh εφαρμογές της, το τελικό ποσοστό παραλαβής από το κέντρο ελέγχου των μηνυμάτων που στέλνονται από τους κόμβους του δικτύου ξεπερνά το 90%, χωρίς τη χρήση end-to-end επιβεβαιώσεων, δηλαδή λογικής παρόμοιας με του TCP/IP.

Η περίοδος δειγματοληψίας ορίζεται by default να είναι 3 λεπτά. Ο χρήστης μπορεί να αλλάξει αυτή την περίοδο δειγματοληψίας στο χρονικό διάστημα που επιθυμεί.

Οι εφαρμογές αυτές περιέχονται στη διανομή του Moteview ως εκτελέσιμα αρχεία. Ο χρήστης μπορεί να προγραμματίσει τα mote του δικτύου του, μέσω της εφαρμογής Moteconfig με τα αρχεία αυτά. Αυτό σημαίνει με λίγα λόγια ότι δεν χρειάζεται να υπάρχει εγκατεστημένο το TinyOS στο σύστημα του χρήστη για να προγραμματίσει τα Mote, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα συστήματα τα οποία περιγράφουμε στο κεφάλαιο αυτό. Αυτό μπορεί να ιδωθεί ως πλεονέκτημα, αφού ο χρήστης αποφεύγει όλη τη διαδικασία εγκατάστασης του TinyOS αφενός, και αφετέρου την πολυπλοκότητα του προγραμματισμού των motes του δικτύου μέσω της γραμμής εντολών, αφού το Moteconfig παρέχει ένα εύχρηστο γραφικό Interface.

Τέλος, πρέπει να αναφέρουμε ότι το Moteview διατίθεται δωρεάν από το site της Crossbow αποκλειστικά για τα λειτουργικά συστήματα Windows XP και Windows 2000. Δεν υποστηρίζεται καθόλου το λειτουργικό σύστημα Linux, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες πλατφόρμες που παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο.

5.3.2 Αρχιτεκτονική του Moteview

Σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων στο οποίο χρησιμοποιείται για τη διαχείριση του το Moteview, διακρίνουμε τα εξής τρία αρχιτεκτονικά επίπεδα:

1. Επίπεδο mote: Στο συγκεκριμένο επίπεδο βρίσκονται οι κόμβοι του ασύρματου δικτύου αισθητήρων, οι οποίοι τρέχουν το λογισμικό το οποίο είναι συμβατό με το Moteview.

2. Επίπεδο εξυπηρετητή: Σε αυτό το επίπεδο βρίσκεται το λογισμικό που λειτουργεί ως gateway για το δίκτυο και το λογισμικό για την αποθήκευση των μετρήσεων από το δίκτυο (βάση δεδομένων).

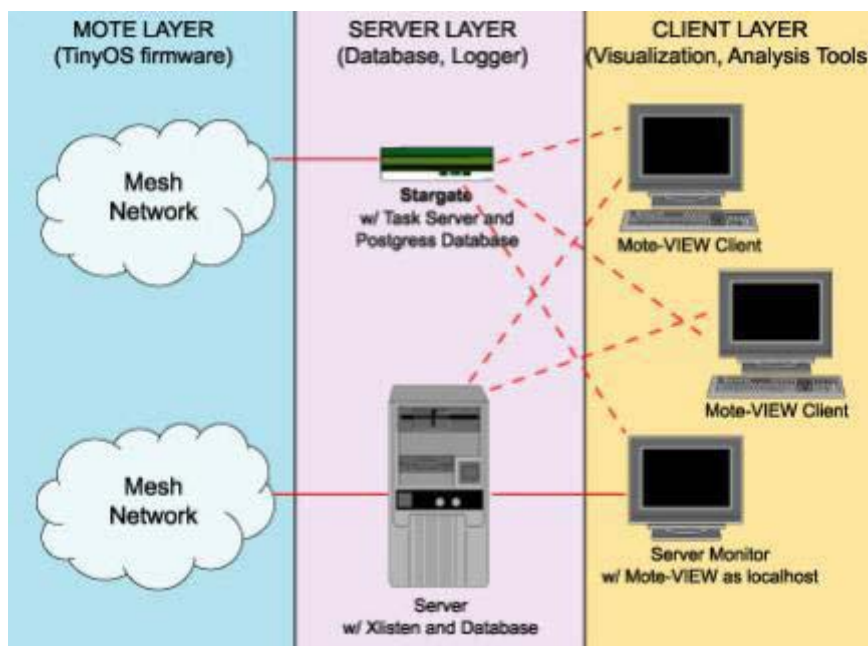
3. Επίπεδο client: Εδώ ανήκει ο client του Moteview, ο οποίος συνδέεται στη βάση δεδομένων του επιπέδου εξυπηρετητή για να παρέχει τις υπηρεσίες του στο χρήστη.

Η διανομή του Moteview αποτελείται από τα εξής μέρη:

- Το εκτελέσιμο αρχείο για το Moteview (επίπεδο client).
- Τη σχεσιακή βάση δεδομένων Postgres, στην οποία αποθηκεύονται οι πληροφορίες από το δίκτυο (επίπεδο server). Η Postgres εγκαθίσταται μαζί με τον client του Moteview.
- Τα εκτελέσιμα αρχεία για τις εφαρμογές Xlisten, Xserve (επίπεδο server) και τις εφαρμογές Xmesh, που είναι συμβατές με το Moteview (επίπεδο mote).

Το XListen είναι μια εφαρμογή που τρέχει στο Stargate ή στο PC που χρησιμεύει σαν gateway, μεταξύ του ασύρματου δικτύου αισθητήρων και του υπολοίπου συστήματος. Έτσι το Xlisten παρακολουθεί για πακέτα από το δίκτυο σε ένα συγκεκριμένο format και όταν λάβει ένα τέτοιο πακέτο μεταφράζει την πληροφορία από τους αισθητήρες, η οποία περιέχει μια αναλογική ή ψηφιακή μέτρηση, σε μονάδες κατανοητές από τον τελικό χρήστη. Από το Xlisten η πληροφορία μπορεί να προωθηθεί στο Moteview ή στη βάση δεδομένων του συστήματος (την Postgres).

Σύμφωνα με τα όσα αναφέραμε παραπάνω, υπάρχουν διαφορετικοί πιθανοί τρόποι λειτουργίας του Moteview. Στο σχήμα φαίνονται οι διαφορετικές δυνατότητες που έχουμε στο στήσιμο ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων.



Σχήμα: Γενική άποψη της αρχιτεκτονικής του Moteview.

5.3.3 Χαρακτηριστικά και δυνατότητες του Moteview

Το Moteview έχει ένα πλήθος από χρήσιμα χαρακτηριστικά και δίνει αρκετές δυνατότητες στο χρήστη, όσον αφορά τη διαχείριση και την επίβλεψη ενός ασυρμάτου δικτύου αισθητήρων. Τα πιο βασικά είναι τα εξής:

- Οπτικοποίηση μετρήσεων από το δίκτυο.
- Εξαγωγή μετρήσεων από το δίκτυο σε χρήσιμα format.
- Παρακολούθηση κατάστασης κόμβων (health monitoring).
- Πρόβλεψη χρόνου λειτουργίας που απομένει στο δίκτυο.

Όσον αφορά την οπτικοποίηση των μετρήσεων από το δίκτυο (οι οποίες γίνονται μέσω των XMesh εφαρμογών που τρέχουν στα mote), έχουμε τις παρακάτω δυνατότητες:

- Μετρήσεις σε μορφή απλού κειμένου σε πίνακα.
- Μετρήσεις σε μορφή γραφικής παράστασης σε σχέση με το χρόνο.
- Συνολική εικόνα του δικτύου, με τους κόμβους να απεικονίζονται ως κόμβοι ενός δέντρου, του οποίου οι ακμές είναι οι διαδρομές που επιλέγει ο αλγόριθμος δρομολόγησης, με τις τελευταίες μετρήσεις του κάθε κόμβου να απεικονίζονται.

Το Moteview μας δίνει τη δυνατότητα να επιλέγουμε μέσω του γραφικού του περιβάλλοντος πλήθος κόμβων και να απεικονίζουμε τις μετρήσεις από τους κόμβους αυτούς ταυτόχρονα. Παρέχει μια λίστα με όλους τους κόμβους που βρίσκονται στο δίκτυο, στους οποίους μπορούμε να δώσουμε ένα όνομα και να τους εντάξουμε σε κάποιο γκρουπ. Παράλληλα οι μετρήσεις που παίρνουμε από το δίκτυο μπορούν να αποθηκευτούν και σε μορφή XML ή CSV (comma separated text).

Αυτό μας δίνει τη δυνατότητα να επεξεργαστούμε τις μετρήσεις και με άλλες εφαρμογές, εκτός του Moteview (όπως π.χ. το Excel).

Id	voltage	temp	light	accel_x	accel_y	mag_x	mag_y	mic	Time
0	3.28 V	24.11 C	632	-2.34 g	1.82 g	111.82	111.82	(null)	10/25/2004 11:58:23
23	2.56 V	21.49 C	963	-2.35 g	1.54 g	104.26	104.26	(null)	10/25/2004 11:58:25
25	2.3 V	23.7 C	830	-2.37 g	-2.37 g	101.15	101.28	(null)	10/25/2004 11:50:37
26	2.62 V	25.02 C	830	-2.36 g	-2.36 g	105.47	105.61	(null)	10/25/2004 11:59:35
33	3.28 V	22.06 C	654	0.17 g	0.36 g	24.44 m	24.31 m	(null)	10/25/2004 11:58:51
37	3.3 V	20.76 C	704	0.15 g	-0.83 g	41.19 m	24.31 m	(null)	10/25/2004 11:58:56
43	3.28 V	21.65 C	856	-2.34 g	-2.35 g	111.55	111.28	(null)	10/25/2004 11:58:42
45	3.3 V	20.51 C	25	-2.21 g	-2.31 g	111.28	111.28	(null)	10/25/2004 11:57:17

Σχήμα: Το γραφικό περιβάλλον του Moteview.

Η λίστα με τους κόμβους του δικτύου παράλληλα μας πληροφορεί για την κατάσταση του κάθε κόμβου. Ανάλογα με το πόσος χρόνος έχει περάσει από τότε που ήρθε το τελευταίο μήνυμα από τον κάθε κόμβο του δικτύου, χρωματίζεται ο συγκεκριμένος κόμβος στη λίστα που βρίσκεται στο γραφικό περιβάλλον του Moteview. Έτσι με πράσινο χρώμα απεικονίζονται οι κόμβοι από τους οποίους ήρθε κάποιο μήνυμα μέσα στα προηγούμενα 20 λεπτά, με κίτρινο στα τελευταία 40 λεπτά, πορτοκαλί μέσα στην τελευταία ώρα και με κόκκινο οι κόμβοι που έχουν να επικοινωνήσουν με το κέντρο ελέγχου πάνω από μια μέρα.

Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του, είναι ότι δίνει μια πρόβλεψη για το χρόνο λειτουργίας που απομένει σε κάθε κόμβο του δικτύου. Η πρόβλεψη αυτή παρακολουθεί την κατανάλωση ενέργειας σε κάθε κόμβο του δικτύου (κάθε κόμβος στέλνει περιοδικά σχετικά μηνύματα με την πληροφορία αυτή).

Σαν τελικό σχόλιο πάνω στο Moteview, θα συμπληρώναμε ότι οι δυνατότητες που προσφέρει είναι αρκετές, αλλά υστερούν συνολικά σε σχέση με τις δυνατότητες που προσφέρουν οι υπόλοιπες πλατφόρμες. Έτσι π.χ., δεν υπάρχει η δυνατότητα για query στο δίκτυο όπως στο TinyDB, και γενικά διαθέτει περιορισμένη ευελιξία και επεκτασιμότητα. Παρόλα αυτά είναι μια ολοκληρωμένη πρόταση, η οποία δεν έχει ως προαπαιτούμενο την εγκατάσταση του TinOS και διαθέτει το πιο φιλικό περιβάλλον από τις υπόλοιπες προτάσεις που παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο. Επίσης, ένα μέρος του λογισμικού, δηλαδή του λογισμικού που τρέχουν τα mote και το XListen, είναι διαθέσιμο δωρεάν και μπορεί οποιοσδήποτε να το κατεβάσει και να το χρησιμοποιήσει για να γράψει τη δική του εφαρμογή.

5.4 Η πλατφόρμα EmStar (Em*)

5.4.1 Γενικά

Η πλατφόρμα EmStar ακολουθεί μια διαφορετική φιλοσοφία, σε σχέση με τα υπόλοιπα συστήματα για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Απευθύνεται σε πλατφόρμες που μπορούν να τρέξουν το λειτουργικό σύστημα Linux, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες προτάσεις που ο τελικός σκοπός τους είναι να υποστηρίξουν δίκτυα που τρέχουν το TinyOS. Ένας από τους βασικούς λόγους για αυτή τη διαφοροποίηση είναι ότι οι σχεδιαστές του EmStar είχαν ως στόχο τη δημιουργία ενός συστήματος για ετερογενή (heterogeneous) ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.

Λέγοντας ετερογενή ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, στο EmStar εννοούμε δίκτυα τα οποία αποτελούνται όχι από κόμβους με διαφορετικές δυνατότητες αίσθησης του περιβάλλοντος (διαφορετικούς αισθητήρες δηλαδή), αλλά δίκτυα που αποτελούνται από κόμβους που ανήκουν σε διαφορετικές κλάσεις, από άποψη επεξεργαστικών δυνατοτήτων. Το EmStar κάνει διάκριση σε δυο τέτοιες τάξεις:

1. Τα Mica motes που μπορούν να τρέξουν το TinyOS.
2. Τους Microservers, οι οποίοι τυπικά είναι PDAs (όπως το iPAQ ή το Zaurus) ή πλατφόρμες όπως το Stargate της Crossbow.

Το EmStar απευθύνεται στη δεύτερη κατηγορία κόμβων, δηλαδή τους microservers. Αυτό σημαίνει ότι σχεδιάστηκε για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων στα οποία υπάρχουν και οι δυο τύποι κόμβων, για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες που προκύπτουν για εργαλεία σε τέτοιου είδους εφαρμογές που να εκμεταλλεύονται τις δυνατότητες των microserver.

Παράδειγμα μιας τέτοιας εφαρμογής είναι το Extensible Sensing System (ESS) στο James Reserve στην Καλιφόρνια. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιούνται 50 motes για τη συλλογή δεδομένων από το περιβάλλον και κάποιοι ρομποτικοί κόμβοι που έχουν δυνατότητα κίνησης (και βασίζονται στη πλατφόρμα Stargate) για τη συλλογή των δεδομένων από τα motes.

5.4.2 Εργαλεία και υπηρεσίες που προσφέρει το EmStar

Το EmStar προσφέρει ένα πλήθος από εργαλεία και υπηρεσίες με σκοπό να διευκολύνει το προγραμματιστή στην ανάπτυξη ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Τα εργαλεία αυτά αφορούν την εξομοίωση (simulation), προσομοίωση (emulation) και οπτικοποίηση (visualization) τέτοιων δικτύων, ενώ οι υπηρεσίες που προσφέρει το EmStar έχουν σχέση με την επικοινωνία (σε φυσικό επίπεδο) στο δίκτυο, στη χρήση διάφορων αισθητήρων και στο χρονικό συγχρονισμό (time synchronization) των microservers.

Εξομοίωση με το EmSim: Το EmSim προσφέρει ένα περιβάλλον για εξομοίωση με μερικά πολύ χρήσιμα χαρακτηριστικά. Ένα από αυτά είναι το γεγονός ότι ο κώδικας που γράφουμε για τον εξομοιωτή είναι ο ίδιος που θα χρησιμοποιήσουμε και στην πραγματική εφαρμογή, όπως και στον TOSSIM, τον εξομοιωτή που υπάρχει για το περιβάλλον TinyOS/NesC. Μια διαφορά μεταξύ του TOSSIM και του EmSim είναι ότι ο κάθε εικονικός κόμβος στον EmSim αποτελεί μια ξεχωριστή διαδικασία του συστήματος, στην οποία προφανώς έχουμε πολύ μεγαλύτερο έλεγχο και επίσης μπορούμε με αυτό τον τρόπο να ελέγξουμε καλύτερα την επικοινωνία μεταξύ των εικονικών κόμβων. Υπάρχει όμως το μειονέκτημα ότι λόγω των ξεχωριστών διεργασιών είναι δύσκολη η εξομοίωση μεγάλων δικτύων.

Ο κώδικας που προορίζεται για το EmStar μπορεί να είναι γραμμένος σε οποιαδήποτε γλώσσα προγραμματισμού και μπορεί να χρησιμοποιήσει τις βιβλιοθήκες του EmStar (οι οποίες είναι γραμμένες σε C). Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί κώδικας γραμμένος σε Nesc. Υπάρχει διαθέσιμη μια βιβλιοθήκη (Em-TOS) η οποία χρησιμεύει ακριβώς για αυτή την περίπτωση, αν και η NesC δεν είναι η καλύτερη επιλογή για τις εφαρμογές που προορίζονται για το περιβάλλον του EmStar.

Οπτικοποίηση με το EmView: Το EmView είναι μια εφαρμογή που παρέχει μια γραφική αναπαράσταση ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων (πραγματικού ή σε εξομοίωση) του οποίου οι κόμβοι χρησιμοποιούν το EmStar. Σε κάθε κόμβο τρέχει ένας proxy server (ο οποίος έχει το πρωτότυπο όνομα EmProxy) και οποίος χειρίζεται την επικοινωνία μέσω μηνυμάτων UDP με τον κόμβο στον οποίο τρέχει το EmView.

Ασύρματη Επικοινωνία: Εφόσον το EmStar προορίζεται να τρέξει σε πλατφόρμες όπως το Stargate, προσφέρει interface για ασύρματη επικοινωνία μέσω δικτύου IEEE802.11b και μέσω Mica mote. Συγκεκριμένα, όσον αφορά στην επικοινωνία με τα Mica motes, στο EmStar υπάρχει κάτι αντίστοιχο με το SerialForwarder που υπάρχει στο TinyOS και το οποίο είναι μια εφαρμογή για επικοινωνία μέσω USB ή RS-232 θύρας από και προς ένα Mica mote, το οποίο είναι συνδεδεμένο στο microserver. Το HostMote αντίστοιχα είναι μια εφαρμογή που χρησιμεύει ως gateway μεταξύ του mote και των client εφαρμογών που θέλουν να επικοινωνήσουν μαζί του.

Επίσης, προσφέρονται υπηρεσίες καταγραφής γειτονικών κόμβων σε λίστα (δηλαδή ποιοι κόμβοι βρίσκονται μέσα στην εμβέλεια μετάδοσης του κόμβου) και εκτίμησης ποιότητας της επικοινωνίας με καθέναν από τους κόμβους αυτούς (η πληροφορία αυτή χρησιμεύει στους αλγόριθμους δρομολόγησης για την επιλογή του επόμενου βήματος για μετάδοση προς κάποιο κόμβο ο οποίος δεν είναι γειτονικός).

Χρονικός συγχρονισμός: Ο χρονικός συγχρονισμός σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων που τρέχει το EmStar επιτυγχάνεται μέσω μιας υλοποίησης του αλγόριθμου RBS. Συνοπτικά, με το συγκεκριμένο αλγόριθμο οι κόμβοι του δικτύου έχουν σχετικό χρονικό συγχρονισμό μεταξύ τους, και όχι απόλυτο, δεν υπάρχει δηλαδή κάποιος κεντρικός κόμβος βάση του οποίου συγχρονίζονται όλοι οι κόμβοι του δικτύου. Αντιθέτως, σε κάθε κόμβο γίνεται μια εκτίμηση για το πώς θα μετατραπεί ένα timestamp προερχόμενο από κάποιο γειτονικό κόμβο στη σχετική τιμή για τον συγκεκριμένο κόμβο.

6. Κατηγορίες Αισθητήρων

6.1 Αισθητήρια θερμοκρασίας

Δεν υπάρχει ίσως άλλη κατηγορία αισθητηρίων που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία, για την οποία να υπάρχει τόση ποικιλία οργάνων σε σχετικά χαμηλές τιμές, όσο αυτή των αισθητηρίων θερμοκρασίας. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας είναι επιθυμητός σε πολλές εφαρμογές και γι' αυτό θα προσπαθήσουμε να δώσουμε μια εικόνα του φάσματος των οργάνων που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της.

6.1.1 Θερμόμετρα υγρού

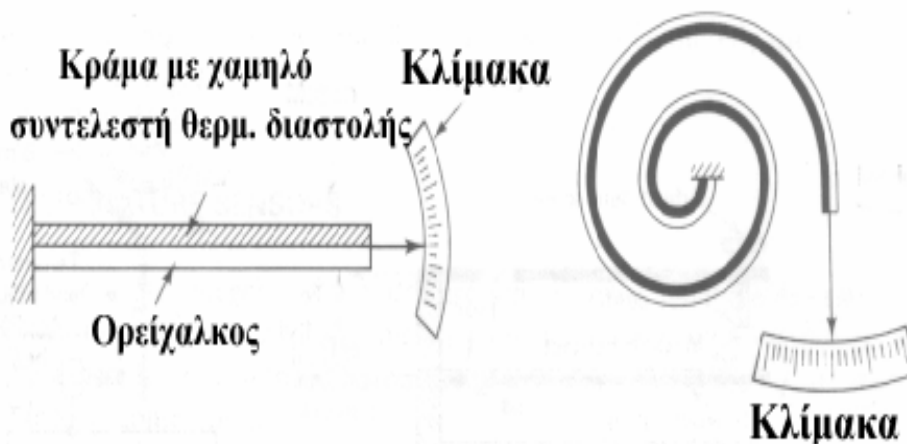
Είναι τα αρχαιότερα θερμόμετρα που όμως και σήμερα χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές λόγω κυρίως του χαμηλού κόστους τους. Δεν κρίνεται σκόπιμο να αναλυθεί η λειτουργία τους μιας και αυτή είναι απλή αλλά και αρκετά γνωστή.

Το πρόβλημα με τα θερμόμετρα υγρού είναι ότι δεν μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν σαν αισθητήρια σε ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου ούτε να δώσουν τη μέτρηση σε Η/Υ, παρά το ότι έχουν γίνει προσπάθειες και υπάρχουν κάποιοι τύποι κατάλληλοι γι' αυτό το σκοπό.

6.1.2 Αισθητήρια θερμοκρασίας διμεταλλικού τύπου

Η δεύτερη αυτή κατηγορία αισθητηρίων θερμοκρασίας, στηρίζουν την λειτουργία τους στο φυσικό φαινόμενο της διαστολής των μετάλλων. Πιο συγκεκριμένα στην ιδιότητα ενός διμεταλλικού ελάσματος - έλασμα αποτελούμενο από δύο συγκολλημένα μεταξύ τους ελάσματα - να κάμπτεται με την αύξηση της θερμοκρασίας

Τα ελάσματα πρέπει να είναι από υλικά με διαφορετικούς συντελεστές θερμικής διαστολής και η κάμψη οφείλεται ακριβώς σ' αυτή την ανισοτροπία του διμεταλλικού ελάσματος όσον αφορά την διαστολή του.



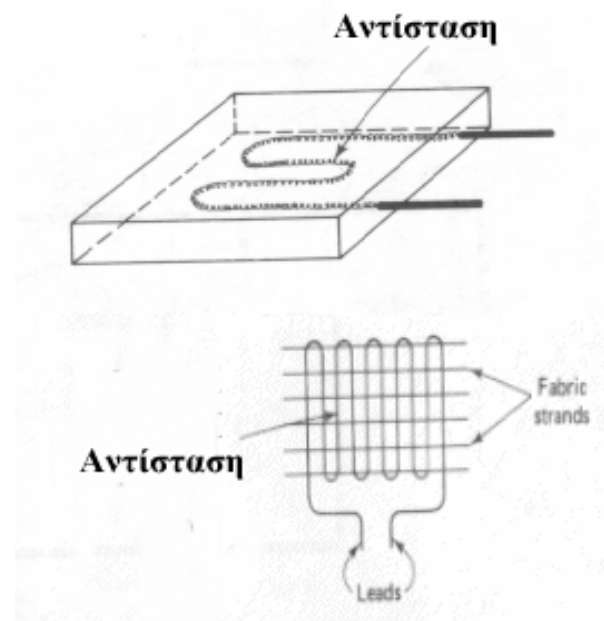
Όταν το ένα άκρο του ελάσματος είναι σταθερά τοποθετημένο, τότε το άλλο μετακινείται, και η θέση του είναι ένδειξη της θερμοκρασίας. Είναι δυνατόν να χρησιμοποιήσουμε κάποιο αισθητήριο θέσης στη συνέχεια και να πάρουμε ένα ηλεκτρικό σήμα ανάλογο (υπό συνθήκες) της θερμοκρασίας. Τέτοια αισθητήρια κυκλοφορούν ευρέως λόγω κυρίως του μικρού τους κόστους και της απλότητας τους.

Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές στη βασική χρήση του διμεταλλικού ελάσματος. Στην πιο ενδιαφέρουσα απ' αυτές, το διμεταλλικό έλασμα χρησιμοποιείται σαν επαφή που ανοίγει ή κλείνει κάποιο ηλεκτρικό κύκλωμα. Η συσκευή τότε είναι ο γνωστός μας από την πλατιά χρήση του θερμοστάτης. Θερμοστάτες χρησιμοποιούνται σε οικιακές συσκευές (σίδηρο, τοστιέρα), για τον έλεγχο της κεντρικής θέρμανσης, αλλά και σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές όταν είναι επιθυμητός έλεγχος θερμοκρασίας δύο θέσεων (ON-OFF).

6.1.3 Θερμόμετρα ηλεκτρικής αντίστασης

Η κατηγορία αυτή των αισθητηρίων θερμότητας βασίζεται στο φαινόμενο της μεταβολής της ηλεκτρικής αντίστασης των μετάλλων και των ημιαγωγών όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία.

Το απλούστερο από τα παραπάνω αισθητήρια αποτελείται από ένα λεπτό σύρμα από χαλκό ή νικέλιο ή πλατίνα που αφού πάρει κατάλληλο σχήμα – συνήθως μαιάνδρου – κλείνεται σε ένα προστατευτικό περίβλημα. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται μερικοί τύποι τέτοιων αισθητηρίων διαγραμματικά καθώς και στην εμπορική τους μορφή.



Το παραπάνω αισθητήριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για την μέτρηση της θερμοκρασίας ενός υγρού ή αερίου – οπότε απλώς εμβαπτίζεται στο ρευστό – είτε για την μέτρηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας των στερεών – οπότε το αισθητήριο έχει τη μορφή λεπτού φιλμ και επικολλάται στην επιφάνεια της οποίας επιθυμούμε να μετρήσουμε την θερμοκρασία .

Η μέτρηση συνεπώς της θερμοκρασίας ανάγεται και πάλι σε μέτρηση μικρών μεταβολών ηλεκτρικής αντίστασης – όπως και στη περίπτωση της παραμόρφωσης. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η ίδια : Γέφυρα και ενισχυτική διάταξη.

Μια άλλη κατηγορία θερμομέτρων αντίστασης είναι τα θερμίστορς (thermistors). Αυτά σε αντίθεση με τα προηγούμενα που χρησιμοποιούν μεταλλικό στοιχείο αντίστασης, διαθέτουν ημιαγωγό τέτοιο στοιχείο. Το πλεονέκτημα τους είναι η μεγάλη ευαισθησία σε μεταβολές της θερμοκρασίας. Σε αντίθεση με τους μεταλλικούς αγωγούς, παρουσιάζουν μείωση της αντίστασης με την αύξηση της θερμοκρασίας. Συνηθισμένα θερμίστορς έχουν αντίσταση της τάξης των 100 Ω σε υψηλές θερμοκρασίες και εκατοντάδες megaohms σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Τα θερμίστορς χρησιμοποιούνται σε όλο και περισσότερες εφαρμογές καθώς το κόστος τους πέφτει και η αξιοπιστία τους ανεβαίνει.

6.1.4 Θερμοστοιχεία

Ένα άλλο αισθητήριο θερμοκρασίας είναι το θερμοστοιχείο του οποίου η αρχή λειτουργίας είναι γνωστή από παλιά και είναι το θερμοηλεκτρικό φαινόμενο. Όταν δύο συρματίδια από διαφορετικά υλικά ενώνονται σε δύο διαφορετικά σημεία (επαφές) έτσι που να σχηματίζεται βρόχος μεταξύ των επαφών αυτές δεν έχουν διαφορετική θερμοκρασία, αναπτύσσεται τάση μεταξύ τους που είναι ευθέως ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας τους.

Οι αναπτυσσόμενες τάσεις είναι της τάξης των μιλιβόλτς (mV) και συνεπώς απαιτούνται ευαίσθητα ηλεκτρονικά για τη σωστή μέτρηση τους. Ακόμη για να είναι δυνατή η μέτρηση της θερμοκρασίας πρέπει να υπάρχει μια άλλη θερμοκρασία αναφοράς – αφού το θερμοστοιχείο μόνο διαφορές θερμοκρασίας αντιλαμβάνεται. Η θερμοκρασία αυτή – που συνήθως είναι το 0° – προσομοιώνεται ηλεκτρονικά. Αυτό σημαίνει ότι το ηλεκτρονικό κύκλωμα του αισθητηρίου παράγει την τάση που θα παρήγαγε η κρύα επαφή. Έτσι το όργανο διαθέτει μόνο μια επαφή που χρησιμοποιείται απ' ευθείας για την μέτρηση της θερμοκρασίας όπως σχηματικά φαίνεται στο σχήμα.

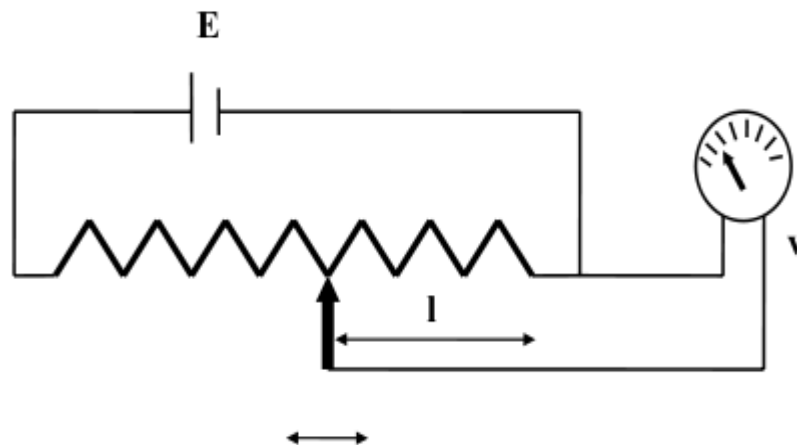
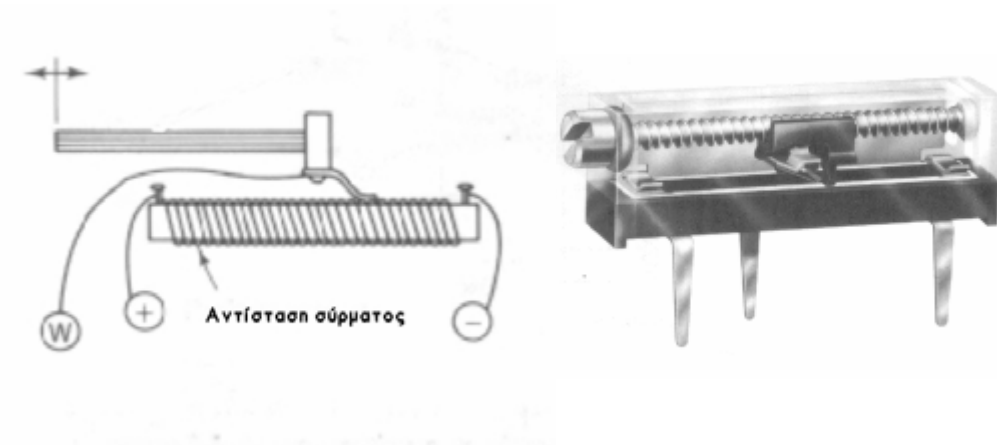


Το θερμοστοιχείο χρησιμοποιείται πλατιά στη βιομηχανία λόγω του χαμηλού του κόστους και της αξιοπιστίας του.

6.2 Αισθητήρια γραμμικής θέσης και ταχύτητας

6.2.1 Το γραμμικό ποτενσιόμετρο

Είναι ίσως το απλούστερο αισθητήριο θέσης. Αποτελείται από μια αντίσταση κατά μήκος της οποίας κινείται μια επαφή – η μεσαία λήψη όπως ονομάζεται.

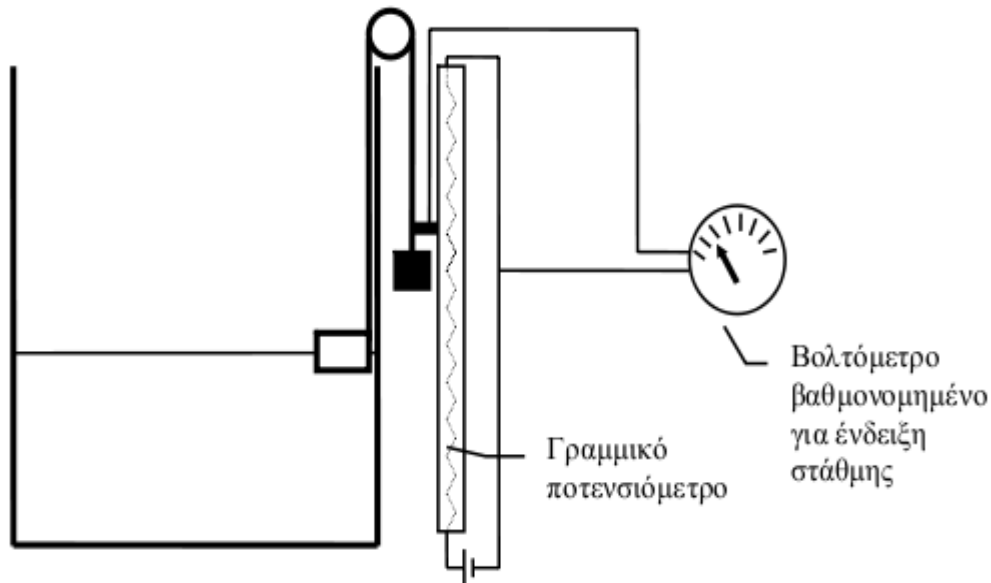


Η αντίσταση που είναι συνήθως 10 KΩ τροφοδοτείται με συνεχή τάση. Η τάση τότε στη μεσαία λήψη είναι ανάλογη της απόστασής l από το άκρο της αντίστασης που έχει μηδενική τάση.

$$V = E \cdot l / L = K \cdot l$$

όπου L το συνολικό μήκος της αντίστασης. Είναι φανερό λοιπόν ότι το όργανο μετρά την μετατόπιση l με την βοήθεια του πλάτους της τάσης V . Η μέτρηση δε όπως φαίνεται είναι γραμμική. Πρόκειται δηλαδή για ένα αναλογικό όργανο μέτρησης της μετατόπισης.

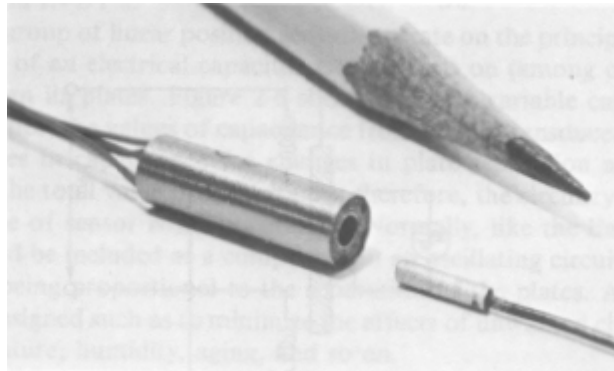
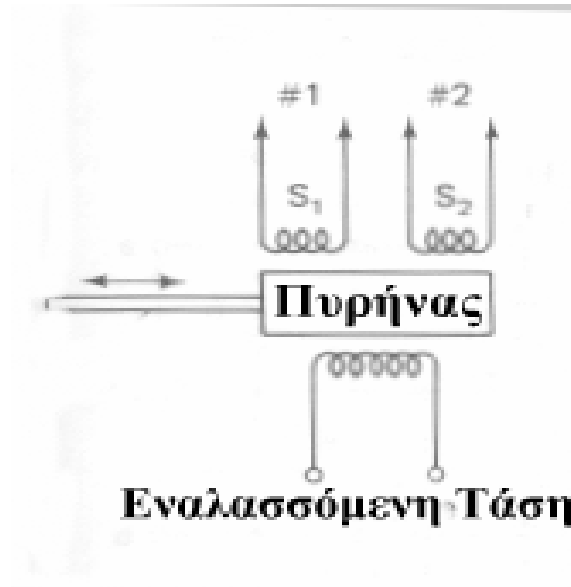
Συνήθως η αντίσταση είναι προσαρμοσμένη σε μια ακίνητη επιφάνεια η δε επαφή σε ένα κινούμενο στέλεχος. Τότε η τάση στη μεσαία λήψη (κινούμενη επαφή) του ποτενσιόμετρου είναι ανάλογη της μετατόπισης του στελέχους. Το στοιχείο αντίστασης μπορεί να είναι είτε κυλινδρικό είτε επίπεδο (τύπου φιλμ). Η διακριτική ικανότητα (resolution) του οργάνου εξαρτάται από την πυκνότητα των τυλιγμάτων της αντίστασης. Στα ποτενσιόμετρα τύπου φιλμ, αυτή είναι σχεδόν άπειρη. Μπορεί κανείς να βρει στο εμπόριο γραμμικά ποτενσιόμετρα μήκους από μερικά εκατοστά μέχρι και μερικά μέτρα.



Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται πως μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα γραμμικό ποτενσιόμετρο για την μέτρηση της στάθμης υγρού σε δοχείο. Η μεσαία λήψη παρακολουθεί τη στάθμη με τη βοήθεια του πλωτήρα και του αντίβαρου. Την τάση της μεσαίας λήψης παρακολουθούμε με τη βοήθεια βολτομέτρου, το οποίο έχουμε βαθμονομήσει κατάλληλα.

6.2.2 Ο Γραμμικός Μεταβλητός Διαφορικός Μετασχηματιστής (Linear Variable Differential Transformer – LVDT)

Το ποτενσιόμετρο έχει περιορισμένο χρόνο ζωής και απαιτεί για την κίνησή του κάποια δύναμη λόγω της τριβής της κινούμενης επαφής με την αντίσταση. Τα μειονεκτήματα αυτά δεν υπάρχουν στο Γραμμικό Μεταβλητό Διαφορικό Μετασχηματιστή. Αυτός αποτελείται βασικά από ένα σωλήνα στον οποίο υπάρχουν τρία ομοαξονικά τυλίγματα.



Το κεντρικό απ' αυτά είναι το πρωτεύον τα δε δύο άλλα τα δευτερεύοντα (ακριβώς ίδια). Μέσα στον σωλήνα κινείται ελεύθερα ένας μαγνητικός πυρήνας. Το πρωτεύον τροφοδοτείται με εναλλασσόμενη υψίσυχη τάση και τα δευτερεύοντα συνδέονται εν σειρά και με αντίθετη πολικότητα. Όταν ο μαγνητικός πυρήνας βρίσκεται στο κέντρο, λόγω συμμετρίας οι τάσεις που επάγονται στα δευτερεύοντα πηνία είναι ίσες και αφού συνδέονται αντίθετα, η έξοδος είναι μηδέν. Η μετακίνηση του πυρήνα δημιουργεί ένα σήμα (εναλλασσόμενη τάση) στην έξοδο που το πλάτος του είναι ανάλογο της μετατόπισης, η δε φάση του δείχνει την κατεύθυνση της κίνησης.

Είναι δυνατόν τώρα να παρεμβάλλουμε κατάλληλες ανορθωτικές διατάξεις στην έξοδο του αισθητηρίου ούτως ώστε να μετατρέψουμε την εναλλασσόμενη τάση σε συνεχή, αν αυτό είναι επιθυμητό στην εφαρμογή μας.

Ο Γραμμικός Μεταβλητός Διαφορικός Μετασχηματιστής είναι όργανο μεγάλης ακρίβειας αλλά μικρού εύρους μέτρησης (μερικά εκατοστά).

Χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που χρειαζόμαστε να μετρήσουμε με μεγάλη ακρίβεια μικρές μετατοπίσεις.

6.2.3 Γραμμικοί κωδικοποιητές θέσης (Linear Encoders)

Πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία των αισθητηρίων οδήγησαν στην κατασκευή ψηφιακών οργάνων ανάγνωσης γραμμικής θέσης που ονομάζονται κωδικοποιητές θέσης.

Πάνω σε μια μακρόστενη μεταλλική πλάκα έχουν ανοιχτεί σε ίσες αποστάσεις οι οπές. Κατά μήκος της πλάκας έχει τη δυνατότητα να ολισθαίνει ο παλμοδότης - στη προκειμένη περίπτωση μια λεπτή κατασκευή σε μορφή Π που 'αγκαλιάζει' τη πλάκα. Από την μια μεριά του Π υπάρχει φωτεινή πηγή που εκπέμπει λεπτή δέσμη φωτός και από την άλλη φωτοδίοδος ή φωτοτρανζίστορ - ηλεκτρονικές μονάδες που 'άγουν' ηλεκτρικά όταν πέσει πάνω τους φως. Η φωτοευαίσθητη μονάδα συνδέεται κατάλληλα σε κύκλωμα στην έξοδο του οποίου παίρνουμε είτε ψηλή τάση (όταν το Π βρίσκεται μπροστά από οπή) είτε χαμηλή (στην αντίθετη περίπτωση). Καθώς λοιπόν το Π κινείται κατά μήκος της πλάκας, η έξοδος του ηλεκτρονικού κυκλώματος θα εναλλάσσεται από μια χαμηλή τάση σε μια ψηλή. Η εναλλαγή αυτή ονομάζεται παλμός - τάσης εν προκειμένω.

Ας υποθέσουμε ότι ο παλμοδότης ξεκινά από την αρχή της πλάκας και κινείται. Για κάθε οπή που συναντά και περνά θα υπάρχει στην έξοδο ένας παλμός. Ο αριθμός λοιπόν των παλμών αντιπροσωπεύει τον αριθμό των οπών που έχει συναντήσει ο παλμοδότης κατά τη κίνησή του. Όμως η απόσταση μεταξύ των οπών είναι συγκεκριμένη, άρα η απόσταση που έχει διανύσει ο παλμοδότης είναι:

Απόσταση = Αριθμός παλμών * απόσταση μεταξύ οπών

Άρα για τη μέτρηση της απόστασης που διανύθηκε, αρκεί να μετρηθεί ο αριθμός των παλμών που έδωσε ο παλμοδότης. Υπάρχουν απαριθμητές με τη βοήθεια των οποίων είμαστε σε θέση να μετράμε αριθμό παλμών.

Η διαδικασία λοιπόν της μέτρησης έχει ως εξής: Ο παλμοδότης έρχεται σε κάποια θέση της πλάκας και ο απαριθμητής μηδενίζεται. Από κει και πέρα η ένδειξη του απαριθμητή αντιπροσωπεύει μετατόπιση από την θέση μηδενισμού.

Είναι λοιπόν φανερό ότι η μέτρηση δεν είναι απόλυτη, μετράμε μετατόπιση από τη θέση μηδενισμού του απαριθμητή. Αυτό δεν είναι και τόσο σοβαρό πρόβλημα για κάποιες εφαρμογές (μέτρηση θέσης φορείου εργαλειομηχανής) αλλά για άλλες είναι. Ο κωδικοποιητής για το λόγο αυτό ονομάζεται κωδικοποιητής αυξητικού τύπου (Incremental encoder).

Η διακριτική ικανότητα του οργάνου είναι η απόσταση μεταξύ δύο οπών. Στο διάστημα αυτό ο απαριθμητής δίνει ένα παλμό, που είναι και το ελάχιστο που μπορεί να αναγνώσει ο απαριθμητής παλμών. Υπάρχουν σήμερα κωδικοποιητές θέσης που έχουν διακριτική ικανότητα της τάξης του 1/10 του χιλιοστού.

Έτσι όπως περιγράφηκε, το όργανο δεν είναι σε θέση να διακρίνει αν η κίνηση είναι προς τα δεξιά ή προς τα αριστερά. Αν δηλαδή ο παλμοδότης κινηθεί 12 οπές προς τα δεξιά και μετά επιστρέψει 5 οπές, ο απαριθμητής θα έχει καταγράψει 17 παλμούς που θα μπορούσε να σημαίνει ότι κινήθηκε 17 οπές δεξιά. Για το σκοπό αυτό οι περισσότεροι κωδικοποιητές δίνουν δύο παλμοσειρές που προέρχονται από δύο ζεύγη φωτεινής πηγής φωτοτρανζίστορ μετατοπισμένα μεταξύ τους κατά 1/4 της απόστασης των οπών. Μπορεί τότε να αποδειχθεί ότι όταν η κίνηση είναι προς τα δεξιά η μια παλμοσειρά προηγείται της άλλης κατά T/4, όπου T η περίοδος του παλμού - ενώ το αντίθετο συμβαίνει όταν η κίνηση είναι προς τα αριστερά. Η πληροφορία αυτή για τη διαφορά φάσης των δύο παλμοσειρών αξιοποιείται στη συνέχεια από κατάλληλο ηλεκτρονικό κύκλωμα το οποίο και πληροφορεί των

απαριθμητή παλμών αν πρέπει να προσθέτει (κίνηση προς τα δεξιά) ή να αφαιρεί παλμούς (κίνηση προς τα αριστερά). Έτσι ανεξάρτητα της φοράς της κίνησης γνωρίζουμε τότε την πραγματική θέση.

Ο γραμμικός κωδικοποιητής απολύτου τύπου είναι αρκετά διαφορετικός. Κατ' αρχήν η πλάκα είναι χαραγμένη κατά αρκετά πιο πολύπλοκο τρόπο. Υπάρχουν στην προκειμένη περίπτωση τρεις διαφορετικές γραμμές οπών, κάθε μία με το δικό της "μάτι" - δηλαδή την συσκευή για την δημιουργία των παλμών όπως και προηγουμένως.

Σε κάθε θέση της πλάκας κάθε 'μάτι' δίνει την πληροφορία 0 ή 1 (σκοτεινή περιοχή ή φωτεινή περιοχή). Άρα για κάθε θέση της πλάκας σχετικά με το κινητό στέλεχος έχουμε ένα τριψήφιο δυαδικό αριθμό και μόνο ένα. Έτσι μπορούμε να φτιάξουμε τον παρακάτω πίνακα που αντιστοιχίζει την ένδειξη του αισθητηρίου με την απόσταση από την αρχή της πλάκας:

Ένδειξη αισθητηρίου				
Απόσταση από αρχή	1η γραμμή	2η γραμμή	3η γραμμή	Δεκαδική μορφή
0 - 1 cm	0	0	0	0
1 - 2 cm	0	0	1	1
2 - 3 cm	0	1	0	2
3 - 4 cm	0	1	1	3
....				
.....				
7 - 8 cm	1	1	1	7

Στην θέση του κινητού στελέχους στο παραπάνω σχήμα, η ένδειξη θα είναι 0 - 1 - 0 που πράγματι αντιστοιχεί σε μετακίνηση 2 - 3 cm από την αρχή της κλίμακας. Η μετατόπιση λοιπόν από την αρχή της πλάκας αντιστοιχίζεται σε ένα και μόνο ένα δυαδικό αριθμό. Συνεπώς πρόκειται για απόλυτη μέτρηση. Ο δυαδικός αυτός αριθμός στη συνέχεια συνήθως διαβάζεται από Η/Υ.

Είμαστε σε θέση να καταλάβουμε ότι η διακριτική ικανότητα του παραπάνω αισθητηρίου είναι 1 cm. Αν θέλαμε να την κάνουμε καλύτερη - ας πούμε 0,5 cm - απλά πρέπει να προσθέσουμε άλλη μια γραμμή στην κλίμακα.

Γενικότερα η διακριτική ικανότητα του οργάνου είναι:

$$\text{Διακριτική ικανότητα} = \text{Μήκος μέτρησης} / 2n$$

όπου n : Αριθμός των 'ματιών' που χρησιμοποιούνται.

Εύκολα φαίνεται ότι για να πετύχει κανείς μεγάλη διακριτική ικανότητα και μεγάλο μήκος μέτρησης πρέπει να αυξήσει πολύ τον αριθμό των 'ματιών', πράγμα που κάνει πολύπλοκο και ακριβό το όργανο.

6.3 Αισθητήρας μέτρησης μάζας αέρα

Ο αισθητήρας μάζας αέρα (MAF) πληροφορεί την ECU για την μάζα του εισερχόμενου αέρα. Ο αισθητήρας αυτός μετατρέπει την μάζα του εισερχόμενου αέρα σε ένα σήμα τάσης. Το σήμα αυτό στους περισσότερους MAF είναι αναλογικό, αλλά υπάρχουν και κάποιες σχεδιάσεις που παράγουν ψηφιακό σήμα. Βρίσκεται στον αγωγό εισαγωγής αέρα μετά το φίλτρο και μετά την πεταλούδα. Κατασκευαστικά υπάρχουν δυο τύποι αισθητήρων MAF, ο θερμού νήματος και λεπτού φίλμ. Η αρχή λειτουργίας τους είναι παρόμοια.

Το αισθητήριο (θερμό νήμα ή λεπτό φίλμ), βρίσκεται εκτεθειμένο στη ροή του αέρα εισαγωγής. Έχει επικάλυψη από πλατίνα και είναι μια αντίσταση τύπου PTC, δηλ. όσο αυξάνει και η θερμοκρασία αυξάνει και η τιμή της αντίστασης. Η αντίσταση αυτή είναι συνδεδεμένη σε γέφυρα με άλλες τρεις αντιστάσεις. Από αυτές η μια είναι ένα θερμίστορ NTC εκτεθειμένο στον εισερχόμενο αέρα, με τιμή που καθορίζεται από την θερμοκρασία του. Οι άλλες δυο έχουν σταθερή τιμή. Με το άνοιγμα του διακόπτη, το αισθητήριο έχει μικρή τιμή αντίστασης, οπότε ο άλλος κλάδος της γέφυρας έχει μικρότερη αντίσταση από τον αριστερό. Αυτό προκαλεί μεγάλη διαφορά δυναμικού και η γέφυρα έχει μεγάλη ένταση ρεύματος. Το ρεύμα αυτό θερμαίνει γρήγορα το αισθητήριο πλατίνας σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία (100°C ο θερμού νήματος και 75°C ο λεπτού φίλμ) πάνω από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα και η αντίσταση του αισθητηρίου αυξάνεται. Στην στιγμιαία κατάσταση αυτή, υπάρχει ισορροπία στην γέφυρα των αντιστάσεων.

Όταν αρχίσει η ροή αέρα στον κινητήρα, ο εισερχόμενος αέρας ψύχει το αισθητήριο ανάλογα με την ταχύτητα και την θερμοκρασία του. Αυτό προκαλεί μείωση της τιμής της αντίστασής του, η οποία δημιουργεί πτώση τάσης στην γέφυρα. Αυτή είναι ανάλογη με το ρυθμό ψύξης του αισθητηρίου προσπαθώντας να κρατήσει την θερμοκρασία στην αρχική τιμή της. Αυτή την πτώση τάσης είναι που “διαβάζει” η ECU και κυμαίνεται από 0,5-4,5V, ανάλογα με την μάζα του εισερχόμενου αέρα.

Για την αποφυγή επικόλλησης σωματιδίων στο αισθητήριο, σε κάποιους τύπους θερμού νήματος, αφού κλείσει ο διακόπτης του κινητήρα, το αισθητήριο θερμαίνεται στους 1000°C για 1 δευτερόλεπτο, ώστε να καούν τυχόν ρύποι. Μέσα στον αισθητήρα είναι συνήθως ενσωματωμένος και ένας ξεχωριστός αισθητήρας θερμοκρασίας αέρα (θερμίστορ NTC) που πληροφορεί με ξεχωριστούς ακροδέκτες την ECU για την θερμοκρασία του αέρα εισαγωγής.

6.4 Αισθητήρας κρουστικής καύσης

Ο αισθητήρας κρουστικής καύσης (knock sensor) πληροφορεί την ECU για την ύπαρξη κρουστικής καύσης (πειράκια). Είναι στερεωμένος με κοχλία στο σώμα του κινητήρα, συμμετρικά ανάμεσα στους κυλίνδρους.

Ο αισθητήρας κρουστικής καύσης στις τετρακύλινδρες μηχανές: Στις τετρακύλινδρες μηχανές συνήθως υπάρχει ένας αισθητήρας ανάμεσα στους κυλίνδρους 2 και 3, ενώ στις εξακύλινδρες υπάρχουν 2 αισθητήρες τοποθετημένοι συμμετρικά. Περιέχει ένα πιεζοηλεκτρικό στοιχείο το οποίο σε περίπτωση δόνησης παράγει ένα σήμα τάσης (παλμό). Το πλάτος του παλμού αυξάνεται με την ισχύ της δόνησης. Όταν υπάρχει κρουστική καύση, αυτή παράγει δονήσεις οι οποίες μεταφέρονται μέσω του σώματος του κινητήρα στον αισθητήρα. Οι δονήσεις αυτές έχουν συχνότητα περίπου 7 KHz. Όταν η ECU λαμβάνει σήμα 7 KHz από τον αισθητήρα και το μέγεθος της τάσης του σήματος είναι πάνω από ένα όριο, τότε αναγνωρίζει κρουστική καύση. Στην περίπτωση αυτή μειώνεται η γωνία αβάνς κατά

ένα βήμα. Αν οι κτύποι συνεχιστούν, τότε η μείωση του αβάνς συνεχίζεται έως το σταμάτημα των κτύπων. Ταυτόχρονα με την μείωση του αβάνς, γίνεται και κάποιος εμπλουτισμός του μίγματος για να αποφευχθεί υπερθέρμανση των καυσαερίων που θα μπορούσε να καταστρέψει τον καταλύτη. Στην συνέχεια το αβάνς αρχίζει να αυξάνεται έτσι ώστε να λειτουργεί στο όριο κτυπήματος ο κινητήρας για να αποκτήσει πάλι μέγιστη απόδοση.

Τύποι Αισθητήρων Κρουστικής Καύσης:

Υπάρχουν δυο τύποι αισθητήρων κρουστικής καύσης, οι ευρείας ζώνης και οι στενής ζώνης:

I Ο πρώτος τύπος παράγει ένα σήμα τάσης από μια ευρεία περιοχή συχνοτήτων δονήσεων.

I Ο δεύτερος τύπος παράγει αξιοσημείωτη τάση μόνο στην περιοχή των 7 KHz, επομένως η ECU χρησιμοποιεί λιγότερο περίπλοκα φίλτρα σήματος. Το σήμα του αισθητήρα φιλτράρεται και ενισχύεται πριν την είσοδο στον μικροϋπολογιστή. Ο αγωγός του αισθητήρα προς την ECU είναι θωρακισμένος για την αποφυγή παρεμβολών.

Σε περίπτωση βλάβης του αισθητήρα η ECU ενεργοποιεί το πρόγραμμα έκτακτης ανάγκης το οποίο μειώνει το αβάνς (10ο-12ο) και εμπλουτίζει το μίγμα και μειώνει τις επιδόσεις του κινητήρα έως ότου επιδιορθωθεί η βλάβη.

6.5 Αισθητήρας hall

Οι αισθητήρες φαινόμενου Hall χρησιμοποιούνται στους διανομείς πολλών συστημάτων ανάφλεξης για να ενεργοποιήσουν το πρωτεύον κύκλωμα (έναυση σπινθήρα) και για να μετρήσουν τις στροφές/λεπτό του κινητήρα.

Αλλά χρησιμοποιούνται επίσης σε πολλά συστήματα ανάφλεξης χωρίς διανομέα (DIS) για να καθορίσουν τη θέση του στροφαλοφόρου και του εκκεντροφόρου άξονα. Αυτό συμβαίνει επειδή ο εγκέφαλος του κινητήρα πρέπει να ξέρει που ο αριθμός ένα κύλινδρος είναι μόλις η μηχανή αρχίσει να στροφάρει. Μόλις ο πολύ σημαντικός "συγχρονισμένος παλμός" ανιχνεύεται, η ακολουθία ανάφλεξης μπορεί να αρχίσει να δίνει τάση στους σπινθηριστές στη σωστή ακολουθία. Αυτό επιτρέπει επίσης το χρόνο έγχυσης να αντιστοιχηθεί με το χρόνο που θα δοθεί ο σπινθήρας στις μηχανές με διαδοχική έγχυση καυσίμων. Οι αισθητήρες Hall αναφέρονται μερικές φορές ως "διακόπτες" λόγω του on-off "ψηφιακού" σήματος τάσης που παράγουν. Αντίθετα από τους μαγνητικούς αισθητήρες που παράγουν ένα σήμα εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) που ποικίλλει στην τάση με την ταχύτητα, οι αισθητήρες Hall παράγουν ένα σταθερό σήμα τάσης που μπορεί να αλλάξει απότομα από τη μέγιστη τάση σε σχεδόν μηδέν και πάλι πίσω ανεξάρτητα από τις στροφές της μηχανής. Αυτό παράγει σήμα κυματομορφής σχεδόν τετραγωνικής που μπορεί να χρησιμοποιηθεί εύκολα από τον υπολογιστή για λόγους συγχρονισμού.

6.6 Διάφορα άλλα αισθητήρια

Τα αισθητήρια που περιγράψαμε αναλυτικά στις προηγούμενες παραγράφους δεν είναι φυσικά τα μόνα που υπάρχουν. Αντίθετα σήμερα υπάρχουν αισθητήρια για μέτρηση κάθε σχεδόν φυσικού μεγέθους. Στη συνέχεια και για λόγους πληρότητας

του κεφαλαίου θα αναφερθούμε σε μερικές ακόμη κατηγορίες αισθητήριων χωρίς αυτό να σημαίνει και πάλι ότι έχουμε αναφερθεί σε όλα που υπάρχουν.

6.6.1 Αισθητήρια πίεσεως

Επειδή η πίεση ορίζεται σαν η εξασκούμενη σε μια επιφάνεια δύναμη δια της επιφάνειας αυτής, καταλαβαίνει κανείς ότι είναι δυνατόν να μετρηθεί η πίεση αν μετρηθεί η δύναμη που εξασκεί αυτή πάνω σε μια γνωστή επιφάνεια. Έτσι τα περισσότερα αισθητήρια πίεσης χρησιμοποιούν κατά βάση κάποιο αισθητήριο δύναμης.

6.6.2 Αισθητήρια στάθμης υγρού

Σε πάρα πολλές εφαρμογές στην βιομηχανία είναι επιθυμητό να παρακολουθούμε την στάθμη σε δοχεία υγρών. Για το σκοπό αυτό υπάρχουν διαφόρων ειδών αισθητήρια στάθμης. Τα περισσότερα απ' αυτά χρησιμοποιούν κάποιο πλωτήρα σε συνδυασμό με ένα αισθητήριο γραμμικής ή γωνιακής θέσης. Ακόμη υπάρχει η δυνατότητα μέτρησης της στάθμης, μετρώντας την πίεση στον πυθμένα του δοχείου - η τελευταία πάντως μέτρηση δεν έχει καλή ακρίβεια.

6.6.3 Αισθητήρια ροής

Το απλούστερο από τα αισθητήρια της κατηγορίας αυτής είναι το κοινό όργανο μέτρησης της κατανάλωσης νερού που χρησιμοποιείται στα σπίτια μας. Μετράει ποσότητα υγρού και όχι ροή (ποσότητα ανά μονάδα χρόνου) και χρησιμοποιεί για τον σκοπό αυτό περιστρεφόμενο δίσκο που εγκλωβίζει στο περίβλημα του οργάνου ποσότητα υγρού και την οδηγεί στην έξοδο. Έτσι οι περιστροφές του δίσκου αντιστοιχούν σε καθορισμένη ποσότητα υγρού.

Μια άλλη ομάδα αισθητηρίων ροής χρησιμοποιούν στην ουσία ένα σωλήνα Ventouri για την μέτρηση. Όπως είναι γνωστό όταν ο σωλήνας ροής στενεύει η πίεση πέφτει και η πτώση πίεσης είναι ανάλογη (υπό συνθήκες) της παροχής.

Μια τρίτη ομάδα τέτοιων αισθητηρίων χρησιμοποιεί ένα μικροσκοπικό στρόβιλο. Όταν η ροή περάσει μέσα από το αισθητήριο, ο στρόβιλος περιστρέφεται με ταχύτητα που (υπό συνθήκες) είναι ανάλογη της παροχής. Στη συνέχεια βέβαια απαιτείται αισθητήριο ταχύτητας.

Τα αισθητήρια ροής που περιγράψαμε έχουν το κοινό χαρακτηριστικό ότι πρέπει να παρεμβληθούν εν σειρά στο κύκλωμα του οποίου μετριέται η παροχή. Πρόσφατα αναπτύχθηκαν αισθητήρια τα οποία δεν απαιτούν κάτι τέτοιο. Αυτά χρησιμοποιούν ένα πομπό και ένα δέκτη υπερήχων και η λειτουργία τους βασίζεται στο ότι η ταχύτητα διάδοσης του υπερήχου σε ένα υγρό εξαρτάται εκτός των άλλων και από την ταχύτητα του υγρού.

7. Προβλήματα και ενδεικτικές λύσεις

7.1 Πρωτόκολλα Επικοινωνίας και Δρομολόγηση (Communication Protocols and Routing)

Τα θέματα των πρωτοκόλλων επικοινωνίας και δρομολόγησης είναι αρκετά πολύπλοκα και απαιτούν αρκετή μελέτη.

Headers (Επικεφαλίδες)

Κάθε μήνυμα γενικά έχει μια επικεφαλίδα που ταυτοποιεί τον κόμβο πηγή, τον κόμβο προορισμού, το μήκος του πεδίου δεδομένων και άλλες πληροφορίες. Αυτό χρησιμοποιείται από τους κόμβους για να προωθηθεί σωστά το μήνυμα. Στα πακέτα δρομολόγησης δικτύων, κάθε μήνυμα διασπάται σε πακέτα προκαθορισμένου μήκους. Τα πακέτα μεταδίδονται ξεχωριστά στο δίκτυο και τότε επανασυνδέονται στον προορισμό. Το προκαθορισμένο μήκος των πακέτων γίνεται για πιο εύκολη δρομολόγηση και ικανοποίηση του QoS. Γενικά επικοινωνίες φωνής χρησιμοποιούν κυκλικούς διακόπτες, ενώ μεταδόσεις δεδομένων χρησιμοποιούν δρομολόγηση πακέτων.

Preamble 8 bytes	Destination Address 6 bytes	Source Address 6 bytes	Length of Data field 2 bytes	Protocol header, Data, padding 0-1500 bytes
---------------------	-----------------------------------	------------------------------	------------------------------------	---

Ethernet Message Header

Επιπλέον στις πληροφορίες των περιεχομένων των μηνυμάτων, σε κάποια πρωτόκολλα, οι κόμβοι μεταδίδουν ειδικές φράσεις για να αναφέρουν και να ταυτοποιήσουν συνθήκες εσφαλμένες. Αυτό μπορεί να επιτρέψει την επαναδιάταξη του δικτύου από προβλήματα. Άλλες ειδικές φράσεις μπορεί να περιλαμβάνουν πακέτα εξερεύνησης δρομολόγησης ή ferrets που περνούν μέσω του δικτύου, για παράδειγμα για να ταυτοποιήσουν κοντινότερα μονοπάτια, αποτυχημένες συνδέσεις, ή πληροφορίες κόστους μετάδοσης. Σε κάποια schemes, το ferret επιστρέφει στην πηγή και αναφέρει το καλύτερο μονοπάτι για μετάδοση του μηνύματος.

Όταν ένας κόμβος επιθυμεί να μεταδώσει ένα μήνυμα, τα πρωτόκολλα handshaking με τον κόμβο προορισμού χρησιμοποιούνται για να καλυτερέψουν την αποδοτικότητα. Η πηγή και ο προορισμός μπορεί να μεταδώσουν εναλλακτικά ως εξής: αίτηση για μετάδοση, ετοιμότητα για αποδοχή, αποστολή μηνύματος. Το handshaking χρησιμοποιείται για να εγγυηθεί το QoS και για να αναμεταδοθεί το μήνυμα, το οποίο δεν παραδόθηκε σωστά.

Switching

Τα περισσότερα δίκτυα υπολογιστών χρησιμοποιούν μια store-and-forwarding τεχνική για να ελέγξουν τη ροή της πληροφορίας. Τότε κάθε φορά που ένα πακέτο φτάνει στον κόμβο (node), είναι ολοκληρωτικά αποθηκευμένο στην τοπική μνήμη και μεταδίδεται ολόκληρο. Περισσότερο εξειδικευμένες τεχνικές είναι τα wormhole, τα οποία διαχωρίζουν το μήνυμα σε μικρότερα κομμάτια, γνωστά σαν μονάδες ελέγχου ροής ή flits. Το flit που είναι επικεφαλής καθορίζει τη διαδρομή. Καθώς ο επικεφαλής δρομολογείται, τα flit που παραμένουν, το ακολουθούν στη διαδρομή. Αυτή η τεχνική

συνήθως πετυχαίνει την χαμηλότερη καθυστέρηση του μηνύματος. Ένα άλλο δημοφιλές switching scheme είναι το virtual-cut-through. Εδώ όταν ο επικεφαλής φτάνει σε ένα κόμβο, δρομολογείται χωρίς να περιμένει για το υπόλοιπο πακέτο. Τα πακέτα αποθηκεύονται (buffered) είτε σε λογισμικά buffer στη μνήμη ή σε hardware buffer, και διαφέρουν ελάχιστα από τα buffers που χρησιμοποιούνται συμπεριλαμβανομένου edge buffers, κεντρικά buffer κ.α.

7.1.1 Πρωτόκολλα επικοινωνίας (Communication protocols)

Multiple Access Protocols

Όταν πολλαπλοί κόμβοι επιθυμούν να μεταδώσουν ταυτόχρονα, τα πρωτόκολλα χρειάζονται για να αποφευχθούν συγκρούσεις και απώλεια δεδομένων. Στο scheme ALOHA, που χρησιμοποιήθηκε πρώτα το 1970, ένας κόμβος απλά μεταδίδει ένα μήνυμα όταν επιθυμεί. Αν παραλάβει μια επιβεβαίωση, όλα βαίνουν καλά, αλλιώς ο κόμβος περιμένει ένα τυχαίο χρονικό διάστημα και επαναμεταδίδει το μήνυμα.

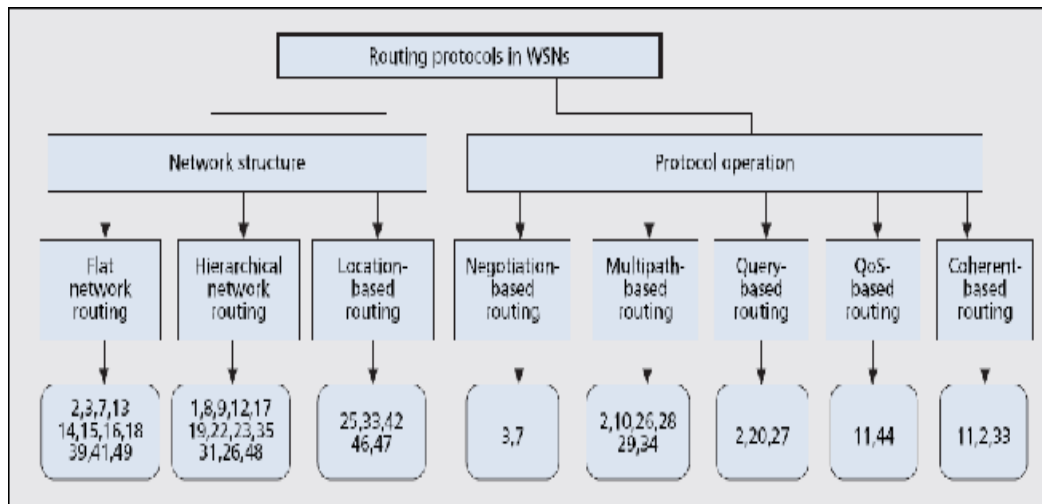
Στο Frequency Division Multiple Access (FDMA), διαφορετικοί κόμβοι έχουν διαφορετικές συχνότητες μεταφοράς. Εφόσον οι πηγές συχνότητας είναι διαχωρισμένες, μειώνεται η διαθέσιμη εμβέλεια για τον κάθε κόμβο. Το FDMA επίσης απαιτεί επιπλέον hardware και τεχνογνωσία σε κάθε κόμβο. Στο Code Division Multiple Access (CDMA), ένας μοναδικός κόμβος χρησιμοποιείται από κάθε κόμβο για να κρυπτογραφήσει το μήνυμα. Αυτό αυξάνει την πολυπλοκότητα του μεταδότη και του παραλήπτη. Στο Time Division Multiple Access (TDMA), η σύνδεση RF χωρίζεται σε ένα άξονα χρόνου, όπου δίνεται σε κάθε κόμβο ένας προκαθορισμένος χρόνος που μπορεί να χρησιμοποιήσει για επικοινωνία. Αυτό μειώνει το ρυθμό σάρωσης, αλλά ένα μεγάλο πλεονέκτημα του TDMA είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε software. Όλοι οι κόμβοι χρειάζονται συγχρονισμένα ρολόγια ακρίβειας για το TDMA.

7.1.2 Δρομολογητικά πρωτόκολλα

Γενικά, η δρομολόγηση στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μπορεί να διαιρεθεί σε flat-based δρομολόγηση, hierarchical-based δρομολόγηση και location-based δρομολόγηση ανάλογα με τη δομή των δικτύων. Στη flat-based δρομολόγηση, όλοι οι κόμβοι έχουν τυπικά ίσους ρόλους ή λειτουργίες. Στην δρομολόγηση hierarchical-based, οι κόμβοι παίζουν διαφορετικούς ρόλους στο δίκτυο. Στη δρομολόγηση location-based, οι θέσεις των sensor nodes είναι εξειδικευμένες να δρομολογούν δεδομένα στο δίκτυο. Ένα δρομολογητικό πρωτόκολλο θεωρείται υιοθετημένο, εάν οι παράμετροι του συστήματος μπορούν να ελεγχθούν, προκειμένου να υιοθετηθεί από τις συνθήκες του δικτύου και τα διαθέσιμα ενεργειακά αποθέματα. Επιπλέον, αυτά τα πρωτόκολλα μπορούν να διαιρεθούν σε multipath-based, query-based, negotiation-based, QoS-based ή coherent-based δρομολογητικές τεχνικές, και αυτό θα εξαρτάται από τη λειτουργία του πρωτοκόλλου. Επιπρόσθετα, τα δρομολογητικά πρωτόκολλα μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες proactive, reactive και hybrid, εξαρτώμενο φυσικά και από το πως η πηγή βρίσκει τον δρόμο για τον προορισμό. Στα proactive πρωτόκολλα, όλες οι διαδρομές υπολογίζονται πριν να χρειαστούν πραγματικά, ενώ στα πρωτόκολλα reactive, οι διαδρομές υπολογίζονται μετά από αίτηση. Τα πρωτόκολλα hybrid χρησιμοποιούν ένα συνδυασμό των δυο προηγούμενων ιδεών. Όταν οι sensor nodes είναι στατικοί, είναι προτιμητέο να υπάρχουν table-driven δρομολογητικά πρωτόκολλα, από τα πρωτόκολλα reactive.

Μια σημαντική ποσότητα ενέργειας χρησιμοποιείται για την εξερεύνηση της διαδρομής και την ενεργοποίηση των πρωτοκόλλων reactive.

Μια άλλη τάξη των πρωτοκόλλων δρομολόγησης ονομάζεται cooperative. Σε αυτή τη δρομολόγηση, οι κόμβοι στέλνουν δεδομένα σε ένα κεντρικό κόμβο, όπου τα δεδομένα μπορούν να αθροιστούν και μπορεί να γίνουν θέμα για περισσότερη επεξεργασία, για παράδειγμα να μειωθεί το κόστος δρομολόγησης σε όρους ενεργειακής χρήσης. Πολλά άλλα πρωτόκολλα εξαρτώνται από πληροφορίες χρόνου και θέσης.



Negotiation-Based Routing Protocols

Αυτά τα πρωτόκολλα χρησιμοποιούν περιγραφείς υψηλού επιπέδου, προκειμένου να μειώσουν καθυστερημένες μεταδόσεις δεδομένων. Οι αποφάσεις επικοινωνιών είναι επίσης βασισμένες στις πηγές που είναι διαθέσιμες σε αυτές.

Η οικογένεια πρωτοκόλλων SPIN είναι παράδειγμα δρομολογητικών πρωτοκόλλων negotiation-based. Το κίνητρο είναι ότι η χρήση του flooding για να διασπείρει τα δεδομένα, θα παράγει implosion και επικάλυψη μεταξύ των σταλθέντων δεδομένων, έτσι οι κόμβοι θα παραλάβουν διπλά αντίγραφα των ίδιων δεδομένων. Αυτή η λειτουργία καταναλώνει περισσότερη ενέργεια και συνεχίζει τη λειτουργία στέλνοντας τα ίδια δεδομένα από διαφορετικούς αισθητήρες. Τα πρωτόκολλα SPIN έχουν σχεδιαστεί να διασπείρουν τα δεδομένα από ένα αισθητήρα σε όλους τους άλλους, υποθέτοντας ότι αυτοί οι αισθητήρες θα είναι πιθανοί BS.

Για παράδειγμα, η κύρια ιδέα των πρωτοκόλλων negotiation-based στα WSN, είναι να δημιουργούν αντίγραφα πληροφοριών και να προλαμβάνουν καθυστερημένα δεδομένα από το να σταλούν στον επόμενο αισθητήρα ή το BS διεξάγοντας μια σειρά διαπραγματεύσεων μηνυμάτων, πριν ξεκινήσει η μετάδοση των πραγματικών δεδομένων.

7.1.3 Δρομολόγηση (Routing)

Ένα κατανεμημένο δίκτυο έχει πολλαπλούς κόμβους και εξυπηρετεί πολλά μηνύματα, και κάθε κόμβος είναι μια μοιρασμένη πηγή, έτσι πολλές αποφάσεις πρέπει να παρθούν. Μπορεί να υπάρχουν πολλαπλά μονοπάτια από την πηγή στον προορισμό. Γι' αυτό το λόγο η δρομολόγηση είναι ένα σημαντικό θέμα. Τα αποτελέσματα της κύριας λειτουργίας που επηρεάζεται από τα δρομολογητικά

schemes, είναι η σύνδεση και η μέση καθυστέρηση των πακέτων. Τα δρομολογητικά schemes πρέπει επίσης να αποφεύγουν και το deadlock αλλά και το livelock.

Οι δρομολογητικές μέθοδοι μπορούν να τροποποιηθούν, να υιοθετηθούν, να επικεντρωθούν, να διανεμηθούν κ.α. Ίσως το πιο απλό δρομολογητικό scheme είναι το token ring. Εδώ μια απλή τοπολογία και ένα τροποποιημένο πρωτόκολλο, έχει ως αποτέλεσμα αρκετά καλή αξιοπιστία και προϋπολογισμένο QoS. Ένα token περνάει συνεχόμενα γύρω από την τοπολογία ring. Όταν ένας κόμβος επιθυμεί να μεταδώσει, «φωτογραφίζει» το token και επισυνάπτει το μήνυμα. Καθώς το token περνάει, ο προορισμός διαβάζει την επικεφαλίδα, και «φωτογραφίζει» το μήνυμα. Σε μερικά schemes, επισυνάπτεται ένα σήμα μηνύματος που παραλαμβάνεται από το token, το οποίο τότε παραλαμβάνεται από τον αρχικό κόμβο πηγής. Τότε το token ελευθερώνεται και μπορεί να αποδεχθεί επιπλέον μηνύματα. Το token ring είναι ένα ολοκληρωτικά αποκεντρωμένο scheme, που αποτελεσματικά χρησιμοποιεί το TDMA. Παρόλα αυτά, αυτό το scheme είναι αρκετά αξιόπιστο, και μπορεί κάποιος να δει ότι οδηγεί σε μείωση της χωρητικότητας του δικτύου. Το token πρέπει να περάσει τουλάχιστον μια φορά γύρω από το ring για κάθε μήνυμα. Γι' αυτό το λόγο υπάρχουν αρκετές τροποποιήσεις αυτού του scheme, συμπεριλαμβανομένου της περίπτωσης να χρησιμοποιούνται αρκετά token.

Fixed Routing Schemes

Συχνά χρησιμοποιούν Routing Tables τα οποία υπαγορεύουν στον επόμενο κόμβο να δρομολογήσει σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία που δίνεται από το μήνυμα και από τον κόμβο προορισμού. Τα Routing Tables μπορούν να είναι πολύ μεγάλα για μεγάλα δίκτυα, και δεν μπορούν να συμπεριλάβουν αποτελέσματα πραγματικού χρόνου, όπως για παράδειγμα αποτυχημένες συνδέσεις, κόμβους με backed up σειρές, ή κατάμεστες συνδέσεις.

Adaptive Routing Schemes

Εξαρτώνται από το status του δικτύου, και μπορούν να συμπεριλάβουν αρκετά μέτρα λειτουργίας, συμπεριλαμβανομένου κόστος μετάδοσης σε μια σύνδεση, συγκρούσεις σε μια σύνδεση, αξιοπιστία ενός μονοπατιού και χρόνος μετάδοσης. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και για αποτυχείς συνδέσεων ή κόμβων.

Geographic Routing

Η γεωγραφική δρομολόγηση στηρίζεται σε προσεγγίσεις για δρομολόγηση πακέτων βασισμένα σε κόμβους τοπικών πληροφοριών στη τοπολογία του δικτύου.

Για τα MANETS προτείνεται το Greedy Perimeter Stateless Routing (GPRS). Αυτό το πρωτόκολλο αρχίζει με ένα «άπληστο» προωθητικό τρόπο, και αναλαμβάνει τις πληροφορίες τοποθεσίας των sensor node, που μπορούν να αποκτηθούν από υποστηριζόμενα συστήματα. Το GPRS καλύπτεται από την τοπική μέγιστη τοποθεσία, χρησιμοποιώντας περιμετρική δρομολόγηση και τον κανόνα right-hand. Προτείνεται επίσης, ο αλγόριθμος Compass Routing και αλγόριθμοι FACE-1, οι οποίοι εγγυώνται ότι τα πακέτα θα φτάσουν στον προορισμό ακόμη και αν το τοπικό ελάχιστο φαινόμενο οδηγεί σε greedy forwarding.

Data-centric Routing

Υπόσχεται να συνδυάσει τις εφαρμογές που χρειάζονται για να προσπελαστούν τα δεδομένα με μια φυσική ροή για τη λειτουργία του δικτύου. Ένας κόμβος με δεδομένα ή νέα στοιχεία από μετρήσεις, δημοσιεύει αυτές τις τιμές, οι ενδιαφερόμενοι κόμβοι μπορούν να πάρουν μέρος σε τέτοιου είδους γεγονότα, αυτή η ιδιότητα ονομάζεται publish subscribe. Σαν παράδειγμα, ένας κόμβος μπορεί να πάρει μέρος σε γεγονότα όπως, να του παρέχουν όλα τα γεγονότα που ξεπέρασαν τη θερμοκρασία των 50 βαθμών Κελσίου.

Flat Routing

Η πρώτη κατηγορία των δρομολογητικών πρωτοκόλλων είναι τα multihop flat routing protocols. Στα δίκτυα flat, κάθε κόμβος τυπικά παίζει τον ίδιο ρόλο και οι sensor nodes συνεργάζονται για να βγάλουν σε πέρας την εργασία. Εξαιτίας του μεγάλου αριθμού τέτοιων κόμβων, δεν είναι εφικτό να συνδέσεις έναν παγκόσμιο ταυτοποιητή σε κάθε κόμβο. Αυτή η σκέψη έχει οδηγήσει στη δρομολόγηση data-centric, όπου το BS στέλνει σειρές σε συγκεκριμένες περιοχές και περιμένει για δεδομένα από τους αισθητήρες, που είναι τοποθετημένοι στις επιλεγμένες περιοχές. Έως ότου ζητηθούν τα δεδομένα διαμέσου των σειρών, η ονομασία attribute-based είναι αναγκαία για να συγκεκριμενοποιήσει τις ιδιότητες των δεδομένων. Πρόσφατες έρευνες στη δρομολόγηση data-centric, έχουν δείξει ότι εξοικονομούν ενέργεια διαμέσου διαπραγματεύσεων δεδομένων και ελάττωσης των αρνούμενων δεδομένων. Αυτά τα δύο πρωτόκολλα έδωσαν κίνητρο για το σχεδιασμό πολλών άλλων πρωτοκόλλων που ακολουθούν παρόμοια τακτική.

Rumor Routing

Είναι μια ποικιλία άμεσης διάδοσης και βασικά προορίζεται για εφαρμογές όπου η γεωγραφική δρομολόγηση δεν είναι εφικτή. Γενικά, η άμεση διάδοση χρησιμοποιεί «πλημμύρα» για να εισάγει την ουρά, σε ολόκληρο το δίκτυο όταν δεν υπάρχει γεωγραφικό κριτήριο για να διαδοθούν τα στοιχεία. Παρόλα αυτά σε κάποιες περιπτώσεις υπάρχει μια μικρή ποσότητα δεδομένων που έχουν ζητηθεί από τους κόμβους.

Μια εναλλακτική προσέγγιση είναι να πλημμυρίσει τα γεγονότα αν ο αριθμός των γεγονότων είναι μικρός και ο αριθμός των σειρών μεγάλος. Η ιδέα κλειδί είναι να δρομολογηθούν οι σειρές στους κόμβους οι οποίοι έχουν παρατηρήσει ένα συγκεκριμένο γεγονός, παρά να πλημμυρίσουν ολόκληρο το δίκτυο για να επανακτήσουν πληροφορίες για τα γεγονότα που παίρνουν μέρος. Προκειμένου να πλημμυρίσουν γεγονότα, το δίκτυο ο αλγόριθμος της δρομολόγησης rumor ενεργοποιεί πακέτα long-lived, τα οποία ονομάζονται agents. Όταν ένας κόμβος εντοπίσει ένα γεγονός, προσθέτει το γεγονός στο τοπικό table, και ενεργοποιεί έναν agent. Οι agents ταξιδεύουν στο δίκτυο προκειμένου να μεταδώσουν πληροφορίες για τοπικά γεγονότα, σε απομακρυσμένους κόμβους.

Όταν ένας κόμβος εντοπίσει μια σειρά για ένα γεγονός, οι κόμβοι που γνωρίζουν τη διαδρομή μπορεί να απαντήσουν στη σειρά, ερευνώντας το table του γεγονότος. Γι' αυτό δεν είναι αναγκαίο να πλημμυρίσει ολόκληρο το δίκτυο, κάτι το οποίο μειώνει το κόστος επικοινωνίας. Από την άλλη πλευρά, η δρομολόγηση rumor διατηρεί μόνο ένα μονοπάτι μεταξύ πηγής και προορισμού όπως έχει προταθεί στην άμεση μετάδοση,

όπου τα δεδομένα μπορούν να δρομολογηθούν διαμέσου πολλαπλών μονοπατιών σε χαμηλούς ρυθμούς.

Gradient-Based Routing

Η ιδέα κλειδί είναι να απομνημονευτεί ο αριθμός των hop, όταν η ενδιαφερόμενη πληροφορία διαχέεται στο δίκτυο. Έτσι κάθε κόμβος μπορεί να υπολογίσει μια παράμετρο, που ονομάζεται το ύψος του κόμβου, και είναι ο ελάχιστος αριθμός hop για να φθάσουν στο BS. Η διαφορά ανάμεσα στο ύψος ενός κόμβου και σε αυτό ενός γείτονά του θεωρείται η κλίση σε αυτή τη σύνδεση. Ένα πακέτο προωθείται σε μια σύνδεση με τη μεγαλύτερη κλίση. Αυτή η δρομολόγηση χρησιμοποιεί κάποιες τεχνικές όπως άθροισμα δεδομένων και εξάπλωση κίνησης, προκειμένου να διαχωρίσει ομαλά την κίνηση στο δίκτυο. Όταν πολλαπλά μονοπάτια περνούν ενδιάμεσα, από ένα κόμβο, ο οποίος αντιδρά σαν κόμβος αναμετάδοσης, αυτός ο κόμβος αναμετάδοσης μπορεί να περιλαμβάνει δεδομένα σύμφωνα με μια συγκεκριμένη λειτουργία. Εδώ έχουν συζητηθεί τρεις τεχνικές:

- Ένα στοχαστικό scheme, όπου ένας κόμβος παίρνει μια κλίση τυχαία, όταν υπάρχουν δυο ή περισσότερα επόμενα hop, τα οποία έχουν παρόμοια κλίση.
- Ένα scheme βασισμένο στην ενέργεια, όπου ο κόμβος αυξάνει το ύψος του, όταν η ενέργεια του πέφτει από ένα συγκεκριμένο επίπεδο, έτσι ώστε άλλοι αισθητήρες αποθαρρύνονται να στείλουν δεδομένα σε αυτό τον κόμβο.
- Ένα stream-based scheme, όπου νέα μονοπάτια δεν δρομολογούνται διαμέσου κόμβων άλλων μονοπατιών.

Η κύρια προοπτική αυτών των scheme είναι να διατηρήσουν ισορροπημένη διάδοση της κυκλοφορίας στο δίκτυο, και ως επακόλουθο να αυξήσουν τη διάρκεια ζωής του δικτύου.

Energy-Aware Routing

Ο κύριος στόχος αυτού του πρωτοκόλλου δρομολόγησης είναι να αυξήσει τη διάρκεια ζωής του δικτύου. Παρόλο που αυτό το πρωτόκολλο είναι παρόμοιο με την άμεση μετάδοση, διαφέρει στην αίσθηση που διατηρεί ένα πακέτο μονοπατιών, αντί να διατηρεί ή να εξαναγκάζει ένα μονοπάτι σε υψηλότερα επίπεδα.

Αυτά τα μονοπάτια διατηρούνται και επιλέγονται μέσα από μια σχετική πιθανότητα. Οι τιμές αυτής της πιθανότητας εξαρτώνται στο πόσο χαμηλή είναι η κατανάλωση ενέργειας σε κάθε μονοπάτι. Με το να επιλέγεις μονοπάτια σε διαφορετικές στιγμές, η ενέργεια του κάθε μονού μονοπατιού δεν θα εξαντληθεί γρήγορα. Αυτό μπορεί να πετύχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του δικτύου, καθώς η ενέργεια σπαταλείται πιο ήπια ανάμεσα στους κόμβους.

Η δυνατότητα επιβίωσης του δικτύου είναι το κύριο στοιχείο αυτού του πρωτοκόλλου. Το πρωτόκολλο υποθέτει ότι κάθε κόμβος είναι διευθετημένος διαμέσου class-based addressing, που περιλαμβάνει τις τοποθεσίες και τους τύπους των κόμβων. Το πρωτόκολλο καταφέρνει μια σύνδεση διαμέσου τοπικού flooding, το οποίο χρησιμοποιείται για να ανακαλύψει όλες τις διαδρομές μεταξύ πηγής-προορισμού και τα κόστη τους και γι' αυτό το λόγο δημιουργούνται τα routing υψηλού κόστους που αποκλείονται, και ένα προωθητικό table δημιουργείται επιλέγοντας

γειτονικούς κόμβους με τρόπο έτσι ώστε να είναι συμβατό με το κόστος τους. Τότε τα προωθητικά tables χρησιμοποιούνται για να στείλουν δεδομένα στον προορισμό με πιθανότητα αντιστρόφως ανάλογη με το κόστος του κόμβου. Το τοπικό flooding δημιουργείται από τον κόμβο προορισμού για να διατηρηθεί το μονοπάτι ζωντανό.

Hierarchical Routing

Αρχικά προτάθηκε σε ενσύρματα δίκτυα. Είναι γνωστές τεχνικές με ειδικά πλεονεκτήματα, που σχετίζονται με τη βαθμιδοποίηση και την αποτελεσματική επικοινωνία. Έτσι, το πακέτο του hierarchical routing, χρησιμοποιείται για να εκτελεί δρομολογήσεις επαρκείς από άποψης ενέργειας στα WSN. Στην ιεραρχημένη αρχιτεκτονική, οι κόμβοι υψηλότερου επιπέδου ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εκτελέσουν το sensing με ακρίβεια στο στόχο. Η δημιουργία συστάδων και ο ορισμός ειδικών εργασιών στους επικεφαλής των συστάδων μπορεί να συνεισφέρει αρκετά σε ολόκληρη τη βαθμιδοποίηση του συστήματος, τη διάρκεια ζωής του και την επάρκεια ενέργειας.

Η ιεραρχική δρομολόγηση είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για τα χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας μέσα σε κάθε συστάδα, δημιουργώντας σύμπτυξη δεδομένων και διάδοση, προκειμένου να μειωθεί ο αριθμός των μεταδιδόμενων στο BS. Βασικά είναι μια δρομολόγηση two-layer, όπου ένα επίπεδο χρησιμοποιείται για να γίνει η επιλογή των επικεφαλών των συστάδων και το άλλο για δρομολόγηση. Παρόλα αυτά οι περισσότερες τεχνικές σε αυτή τη κατηγορία δεν είναι σχετικές με τη δρομολόγηση, αλλά έχουν σχέση με το ποιος και πότε να στείλει ή να τελέσει τη διαδικασία με τα δεδομένα, εντοπισμό καναλιού και ούτω καθ' εξής, το οποίο μπορεί να είναι ορθογώνιο για τη λειτουργία της δρομολόγησης.

Virtual Grid Architecture Routing

Εξαιτίας της στασιμότητας των κόμβων και της μικρής φορητότητας σε πολλές εφαρμογές στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, μια λογική προσέγγιση είναι να διατάξεις τους κόμβους σε μια καθορισμένη τοπολογία. Μια προσέγγιση GPS, χρησιμοποιείται για να δημιουργηθούν ομάδες που είναι καθορισμένες, ίσες, συνεχόμενες και να μην υπερβαίνουν τα συμμετρικά σχήματα. Σε τετραγωνισμένες ομάδες που χρησιμοποιούνταν για να διατηρήσουν μια καθορισμένη ζωτική τοπολογία. Μέσα σε κάθε ζώνη, ένας κόμβος επιλέγεται για να λειτουργήσει σαν CH. Η άθροιση στοιχείων εκτελείται σε δυο επίπεδα: τοπικό και έπειτα παγκόσμιο.

The Greedy Other Adaptive Face Routing

Σε ένα γεωμετρικό ad-hoc αλγόριθμο δρομολόγησης, συνδυάζοντας δρομολόγηση greedy και face έχουν προταθεί. Ο αλγόριθμος greedy του GOAFR, πάντα επιλέγει τον πιο κοντινό γείτονα σε ένα κόμβο, για να είναι ο επόμενος για δρομολόγηση. Παρόλα αυτά μπορεί εύκολα να κολλήσει, γιατί δεν μπορεί κανένας κόμβος να είναι πιο κοντά στον άλλο, από τον ίδιο κόμβο. Ο αλγόριθμος του Face Routing (FR) είναι ο πρώτος που εγγυάται την επιτυχία, εάν η πηγή και ο προορισμός είναι συνδεδεμένοι. Παρόλα αυτά, η χειρότερη περίπτωση κόστους του FR, είναι σχετικό με το μέγεθος του δικτύου, πάντα μιλώντας σε αριθμούς κόμβων. Ο πρώτος αλγόριθμος ο οποίος μπορεί να συναγωνιστεί με την καλύτερη διαδρομή, στην χειρότερη περίπτωση είναι το Adaptive Face Routing (AFR). Επιπλέον, το AFR φαίνεται να είναι ασύμπτωτα η χειρότερη περίπτωση, αλλά δεν είναι επαρκές για την περίπτωση.

Query-Based Routing

Σε αυτού του είδους τη δρομολόγηση, οι κόμβοι προορισμού δημιουργούν μια ουρά για δεδομένα από ένα κόμβο διαμέσου του δικτύου, και ένας κόμβος με αυτά τα δεδομένα στέλνει τα δεδομένα που ταιριάζουν με την ουρά πίσω στο κόμβο που δημιούργησε την ουρά. Όλοι οι κόμβοι έχουν tables, που αποτελούνται από τις ουρές μετρήσεων που λαμβάνονται, και στέλνουν δεδομένα που ταιριάζουν όταν τα παραλαμβάνουν.

QoS-Based Routing

Σε αυτού του είδους δρομολογητικά πρωτόκολλα, το δίκτυο έχει να σταθμιστεί ανάμεσα στην κατανάλωση ενέργειας και τη ποιότητα των δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα το δίκτυο πρέπει να ικανοποιήσει συγκεκριμένα μέτρα QoS σε δρομολογητικές αποφάσεις όταν μεταδίδουν δεδομένα στο BS.

Η δρομολόγηση Sequential Assignment Routing, είναι ένα από τα πρώτα δρομολογητικά πρωτόκολλα για τα WSN, που εισάγουν έννοια του QoS στις δρομολογητικές αποφάσεις. Μια δρομολογητική απόφαση στο SAR εξαρτάται από τρεις παράγοντες: πηγές ενέργειας, QoS σε κάθε μονοπάτι, και το επίπεδο προτεραιότητας κάθε πακέτου. Για να αποφευχθεί αποτυχία μονής δρομολόγησης, μια προσέγγιση πολλαπλών μονοπατιών και ένα scheme τοποθετημένης αποκατάστασης μονοπατιών, χρησιμοποιούνται. Για να δημιουργηθούν πολλαπλά μονοπάτια από ένα κόμβο πηγής, ένα δρομολογημένο tree από το κόμβο πηγής στους κόμβους προορισμού δημιουργείται. Τα μονοπάτια του tree δημιουργούνται, ενώ αποφεύγονται κόμβοι με χαμηλή ενέργεια ή εγγυήσεις QoS. Στο τέλος αυτής της διαδικασίας κάθε sensor node θα γίνει κομμάτι ενός tree με πολλά μονοπάτια.

Ένα άλλο δρομολογητικό πρωτόκολλο QoS για WSN, το οποίο παρέχει εγγυήσεις real-time end-to-end, απαιτεί κάθε κόμβο να διατηρεί πληροφορίες για τους γείτονες του και να χρησιμοποιεί γεωγραφική προώθηση για να βρει τα μονοπάτια. Επιπλέον το SPEED προσπαθεί να εξασφαλίσει μια σταθερή ταχύτητα για κάθε πακέτο στο δίκτυο, έτσι κάθε εφαρμογή μπορεί να υπολογίσει την καθυστέρηση end-to-end των πακέτων, διαχωρίζοντας την απόσταση στο BS από τη ταχύτητα των πακέτων πριν πάρουν μια εισαγωγική απόφαση. Επιπλέον το SPEED μπορεί να παρέχει αποφυγή συμφόρησης, όταν το δίκτυο είναι μπλοκαρισμένο. Το δρομολογητικό μοντέλο SPEED, ονομάζεται Stateless Geographic Nondeterministic Forwarding, και λειτουργεί με τέσσερα άλλα μοντέλα στο επίπεδο δικτύου. Ο υπολογισμός των καθυστερήσεων σε κάθε κόμβο βασικά γίνεται, υπολογίζοντας το χρόνο που έχει περάσει πριν παραληφθεί ένα ACK, από ένα γείτονα σαν απάντηση από ένα μεταδιδόμενο πακέτο δεδομένων.

7.1.4 Μελλοντικές προοπτικές στη δρομολόγηση

Οι μελλοντικές βλέψεις στα WSN, είναι να εμφωλεφθούν αρκετές διανεμημένες συσκευές για να παρακολουθούν και να αντιδρούν με τα φυσικά φαινόμενα, και να εκμεταλλευτούν προσωρινές του χώρου δυνατότητες αυτών των συσκευών αίσθησης. Αυτοί οι κόμβοι συνεργάζονται μεταξύ τους για να δημιουργήσουν ένα δίκτυο που λειτουργεί για εφαρμογές υψηλότερων επιπέδων.

Παρόλο που εκτενείς προσπάθειες έχουν διεξαχθεί μέχρι τώρα στο πρόβλημα δρομολόγησης στα WSN, υπάρχουν ακόμη κάποιες προκλήσεις οι οποίες απαιτούν

αποτελεσματικές λύσεις για τα δρομολογητικά προβλήματα. Πρώτα υπάρχει στενό δέσιμο μεταξύ των sensor node και του φυσικού κόσμου. Οι αισθητήρες είναι εμφωλευμένοι σε σημεία ή συστήματα που δεν παρακολουθούνται. Αυτό είναι διαφορετικό από το παραδοσιακό Internet, τα PDA, και τις φορητές εφαρμογές οι οποίες προσεγγίζουν αρχικά και απευθείας με τους ανθρώπινους χρήστες. Δεύτερον, Οι αισθητήρες χαρακτηρίζονται από ένα μικρό αποτύπωμα, και έτσι τέτοιοι κόμβοι παρουσιάζουν ενεργειακές δεσμεύσεις, έως ότου είναι εξοπλισμένοι με μικρά τερματικά ενεργειακών πηγών. Αυτό είναι επίσης διαφορετικό από τις παραδοσιακές, αλλά ανανεώσιμες πηγές. Τρίτον οι επικοινωνίες είναι ο πρωταρχικός καταναλωτής ενέργειας σε αυτό το περιβάλλον. Παρόλο που η απόδοση τέτοιων πρωτοκόλλων υπόσχεται σε όρους ενεργειακής επάρκειας, επιπλέον έρευνα χρειάζεται για να διευθετηθούν τα στοιχεία όπως το QoS.

Ένα άλλο ενδιαφέρον στοιχείο για τα δρομολογητικά πρωτόκολλα είναι η φορητότητα των κόμβων. Τα περισσότερα υποθέτουν ότι οι sensor nodes και το BS είναι στατικά. Παρόλο αυτά μπορεί να υπάρχουν περιπτώσεις όπως περιβάλλοντα μάχης, όπου το BS και πιθανόν οι αισθητήρες χρειάζεται να είναι φορητοί. Σε τέτοιες περιπτώσεις συνεχής αναβάθμιση της τοποθεσίας του κόμβου εντολής και των sensor nodes και της συγκέντρωσης αυτής της πληροφορίας διαμέσου του δικτύου μπορεί να τραβήξει μεγάλη ποσότητα ενέργειας από τους κόμβους.

7.2 Η ενέργεια στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων

Η ενέργεια είναι ένα μείζον θέμα για τους κόμβους των WSN, και καθορίζει τη ζωή τους. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων υπάρχουν για να χρησιμοποιηθούν σε ένα μεγάλο αριθμό και σε διάφορα περιβάλλοντα, συμπεριλαμβανομένου τηλεκατευθυνόμενων και εχθρικών περιοχών, με κλειδιά τις ad-hoc επικοινωνίες. Για αυτό το λόγο, αλγόριθμοι και πρωτόκολλα χρειάζεται να ακολουθήσουν τα ακόλουθα στοιχεία:

- Μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής
- Robustness και fault ανέχεια
- Self-configuration

Ένας πρωταρχικός στόχος για το σχεδιασμό ενός πρωτοκόλλου MAC για WSN, είναι να ελαχιστοποιηθεί η κατανάλωση ενέργειας και έτσι θα επιτραπεί η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του δικτύου. Για να σχεδιαστεί ένα εφικτό πρωτόκολλο MAC, πρέπει να καθορίσουμε τους παράγοντες που καταναλώνεται η ενέργεια, αυτοί είναι οι εξής:

- Συγκρούσεις: Όταν συμβαίνει μια σύγκρουση, το πακέτο που συγκρούεται πρέπει να αφαιρείται, και μετά να ξαναστέλνεται, το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα να σπαταλάται ενέργεια. Έτσι το να αποφεύγονται συγκρούσεις, είναι ένα σημαντικό στοιχείο για εξοικονόμηση ενέργειας και να αυξάνεται η διάρκεια ζωής του δικτύου.

- Overhearing: Συμβαίνει όταν ένας κόμβος παραλαμβάνει ένα πακέτο, που προορίζεται σε άλλους κόμβους. Κατά συνέπεια, σε περίπτωση υπερφόρτωσης τα περιττά πακέτα overhearing, οδηγούν στην αύξηση κατανάλωσης ενέργειας χωρίς λόγο, και ειδικότερα σε υψηλής πυκνότητας δίκτυα.

- Idle Listening: Συμβαίνει κατά τη διάρκεια που το κανάλι ετοιμάζεται να δεχθεί πιθανά δεδομένα σε πρωτόκολλα MAC contention-based. Ακόμη και όταν ένας

κόμβος, δεν μεταδίδει ούτε δέχεται, η καταναλισκόμενη ενέργεια είναι σημαντική. Το κόστος της ενέργειας που καταναλώνεται στο δίαυλο, εξαρτάται από το hardware και από τους κόμβους που λειτουργούν. Ενώ η ενέργεια μετάδοσης είναι διαχωρισμένη για μεγάλου εύρους ραδιομεταδόσεις, αυτό δεν είναι γενικά η υπόθεση για μικρού εύρους ραδιομεταδόσεις που τυπικά λειτουργούν στα WSN. Πρόσφατες εξελίξεις στο σχεδιασμό των ραδιομεταδόσεων, έχουν σαν αποτέλεσμα μια σημαντική μείωση κατανάλωσης ενέργειας κατά τη διάρκεια του ελέγχου του διαύλου.

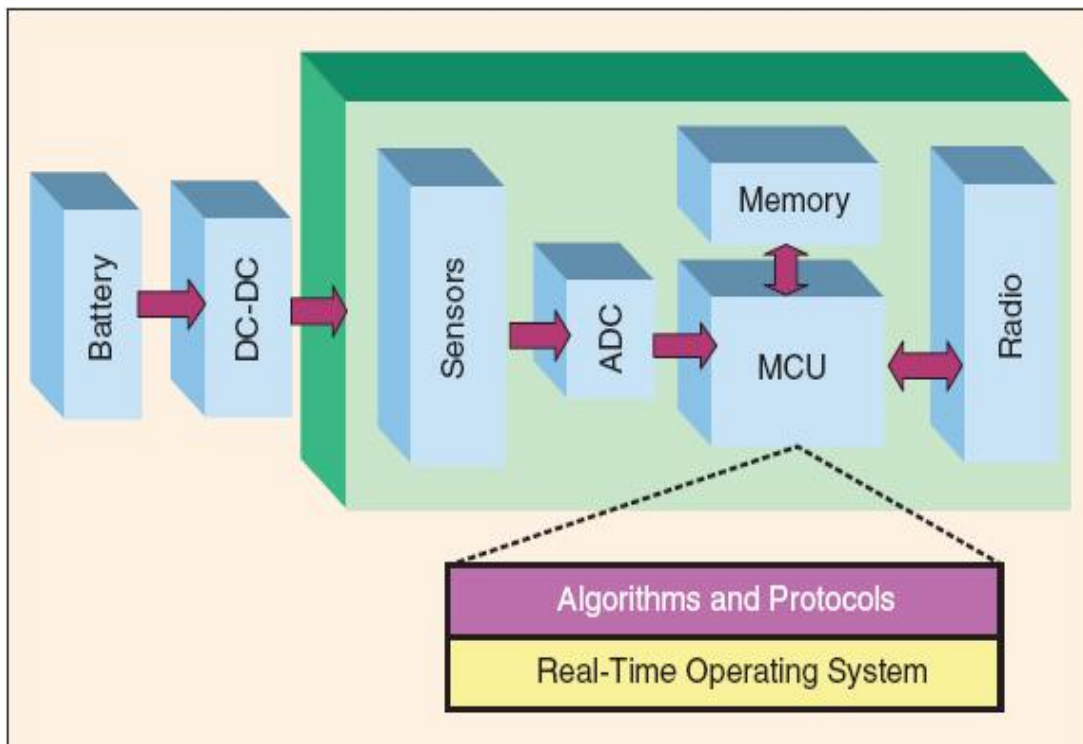
- **Control packet overhead:** Έχει σαν αποτέλεσμα στην σπατάλη ενέργειας, αφού η μετάδοση, η υποδοχή και ο έλεγχος αυτών των πακέτων καταναλώνουν ενέργεια. Είναι σημαντικό ότι ο αριθμός των πακέτων για έλεγχο, θα έπρεπε να μειωθεί, για να εξοικονομηθεί ενέργεια.

- **Over emitting:** Μπορεί να γίνει μια πιθανή πηγή για σπατάλη ενέργειας, όταν ο αποστολέας μεταδίδει ένα πακέτο σ ένα κόμβο, ο οποίος δεν είναι διαθέσιμος άλλο πια.

7.2.1 Που πάει η ενέργεια;

Το πρώτο βήμα στο σχεδιασμό συστημάτων αισθητήρων energy-aware περιλαμβάνει την ανάλυση των χαρακτηριστικών κατασπατάλησης ενέργειας ενός ασυρμάτου node. Η συστηματική ανάλυση ενέργειας ενός sensor node είναι εξαιρετικά σημαντικό για να χαρακτηριστεί η ενέργεια σε ένα σύστημα, το οποίο τότε μπορεί να είναι ο στόχος της βελτιστοποίησης. Αναλύουμε δύο δημοφιλής sensor nodes όσον αφορά την οπτική γωνία της κατανάλωσης ενέργειας.

Το αρχιτεκτονικό σύστημα ενός κανονικοποιημένου ασύρματου sensor node φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Ο κόμβος αποτελείται από τέσσερα υποσυστήματα: 1) ένα υποσύστημα υπολογισμού που αποτελείται από ένα μικροεπεξεργαστή ή ένα microcontroller, 2) ένα υποσύστημα επικοινωνίας που αποτελείται από μία μικρής εμβέλειας ραδιοσυχνότητα για ασύρματες επικοινωνίες, 3) ένα υποσύστημα αίσθησης που συνδέει τον κόμβο με το φυσικό κόσμο και περιλαμβάνεται από ένα σύνολο αισθητήρων και παρακινητές, 4) ένα υποσύστημα παροχέα ενέργειας, ο οποίος φιλοξενεί την μπαταρία και τον converter dc-dc, και ενδυναμώνει τον υπόλοιπο κόμβο. Ο sensor node που φαίνεται στο προηγούμενο σχήμα είναι αντιπροσωπευτικός των αρχιτεκτονικών που συχνά χρησιμοποιούνται.

Ανάλυση Ενέργειας των Sensor Nodes

Στο παρακάτω πίνακα φαίνονται τα χαρακτηριστικά κατανάλωσης ενέργειας, του κόμβου Rockwell WINS, ο οποίος αντιπροσωπεύει ένα high-end sensor node και είναι εξοπλισμένος με ένα πολύ ισχυρό επεξεργαστή από την Intel (StrongARM SA-1100), μια φόρμα ραδιοσυχνότητας από την Conexant Systems, και αρκετούς αισθητήρες περιλαμβανομένων ακουστικούς και σεισμικούς.

Table 1. Power Analysis of Rockwell's Wins Nodes.			
MCU Mode	Sensor Mode	Radio Mode	Power (mW)
Active	On	Tx (Power: 36.3 mW)	1080.5
		Tx (Power: 19.1 mW)	986.0
		Tx (Power: 13.8 mW)	942.6
		Tx (Power: 3.47 mW)	815.5
		Tx (Power: 2.51 mW)	807.5
		Tx (Power: 0.96 mW)	787.5
		Tx (Power: 0.30 mW)	773.9
		Tx (Power: 0.12 mW)	771.1
Active	On	Rx	751.6
Active	On	Idle	727.5
Active	On	Sleep	416.3
Active	On	Removed	383.3
Sleep	On	Removed	64.0
Active	Removed	Removed	360.0

Όπως φαίνεται και από τον πίνακα, τα χαρακτηριστικά των ενεργειακών προσδοκιών των δύο κόμβων διαφέρουν σημαντικά. Υπάρχουν αρκετές επιρροές που μπορούμε να δούμε στους δύο αυτούς πίνακες.

Χρησιμοποιώντας χαμηλής κατανάλωσης στοιχεία και να εκτελούνται μη αχρειαστές λειτουργίες, για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού κόμβων, μπορεί να έχει μια σημαντική επιρροή, σε κάποια στοιχεία σημασίας. Η κατανάλωση ενέργειας του κόμβου εξαρτάται στενά από τα λειτουργικά modes των στοιχείων.

Εξαιτίας των εξαιρετικά μικρών αποστάσεων μετάδοσης, η ενέργεια που καταναλώνεται ενώ λαμβάνονται τα δεδομένα, μπορεί συχνά να είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια που καταναλώνεται ενώ μεταδίδονται πακέτα όπως φαίνεται και στο δεύτερο πίνακα. Γι' αυτό τα συμβατικά πρωτόκολλα δικτύου, τα οποία συνήθως υποθέτουν πως η ενέργεια που παραλαμβάνεται είναι αμελητέα, δεν είναι πλέον αποτελεσματικά για δίκτυα αισθητήρων.

Η ενέργεια που καταναλώνεται από τον κόμβο με τη ραδιοσυχνότητα στον κόμβο Idle, είναι σχετικά η ίδια με τη ραδιοσυχνότητα στον κόμβο υποδοχής. Έτσι, η λειτουργία της ραδιοσυχνότητας στον κόμβο Idle δεν παρέχει κανένα πλεονέκτημα σε όρους ενέργειας. Προηγούμενα πρωτόκολλα δικτύων που έχουν προταθεί, συνήθως αγνοούν αυτό τον παράγοντα, οδηγώντας σε ψεύτικα αποθέματα ενεργειακής κατανάλωσης. Γι' αυτό, η ραδιοσυχνότητα θα πρέπει να διακοπεί ολοκληρωτικά, οποτεδήποτε για να εξοικονομήσει ενέργεια.

Table 2. Power Analysis of Medusa II Nodes.					
MCU Mode	Sensor Mode	Radio Mode	Mod. Scheme	Data Rate	Power (mW)
Active	On	Tx(Power: 0.7368 mW)	OOK	2.4 kb/s	24.58
		Tx(Power: 0.0979 mW)	OOK	2.4 kb/s	19.24
		Tx(Power: 0.7368 mW)	OOK	19.2 kb/s	25.37
		Tx(Power: 0.0979 mW)	OOK	19.2 kb/s	20.05
		Tx(Power: 0.7368 mW)	ASK	2.4 kb/s	26.55
		Tx(Power: 0.0979 mW)	ASK	2.4 kb/s	21.26
		Tx(Power: 0.7368 mW)	ASK	19.2 kb/s	27.46
		Tx(Power: 0.0979 mW)	ASK	19.2 kb/s	22.06
Active	On	Rx	Any	Any	22.20
Active	On	Idle	Any	Any	22.06
Active	On	Off	Any	Any	9.72
Idle	On	Off	Any	Any	5.92
Sleep	Off	Off	Any	Any	0.02

Στοιχεία Μπαταρίας

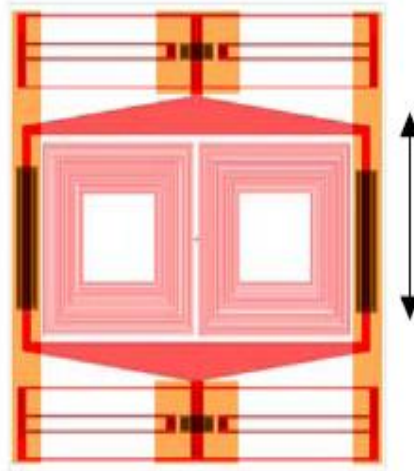
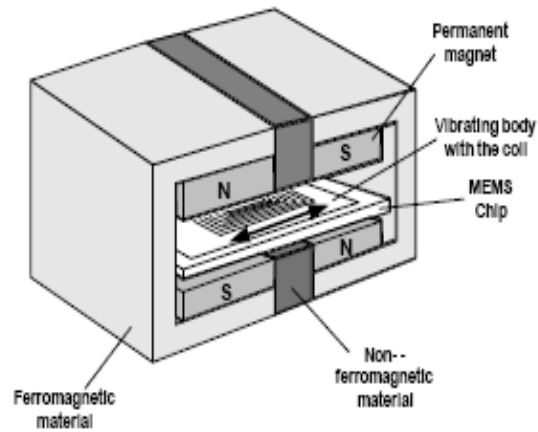
Τα αποθέματα της μπαταρίας δίνουν ενέργεια σε ολόκληρο το sensor node και γι' αυτό το λόγο παίζουν σημαντικό ρόλο στη διάρκεια ζωής του. Οι μπαταρίες είναι περίπλοκες συσκευές των οποίων η λειτουργία εξαρτάται από πολλούς παράγοντες συμπεριλαμβανομένου τις διαστάσεις της μπαταρίας, τον τύπο των ηλεκτροδίων που χρησιμοποιούνται, και του διαδιδόμενου ρυθμού των ενεργών στοιχείων στον ηλεκτρολύτη. Επιπλέον, μπορεί να υπάρχουν αρκετές μη ιδανικές ιδιότητες που μπορεί να εμφανιστούν κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της μπαταρίας, το οποίο επηρεάζει αντίθετα τη διάρκεια ζωής του συστήματος.

Αποτέλεσμα ρυθμού χωρητικότητας

Ο πιο σημαντικός παράγοντας, που επηρεάζει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας είναι ο ρυθμός αποφόρτισης ή η ποσότητα της σχετικής ενέργειας που καταναλώνεται, από την μπαταρία. Κάθε μπαταρία έχει ένα ρυθμό σχετικής χωρητικότητας, προκαθορισμένο από τον κατασκευαστή. Εάν τραβηχτεί μεγαλύτερη σχετική ενέργεια από τις προκαθορισμένες τιμές, οδηγεί σε μια σημαντική μείωση της διάρκειας ζωής τη μπαταρίας. Αυτό συμβαίνει επειδή, αν μια υψηλά σχετική ποσότητα τραβηχτεί από την μπαταρία, ο ρυθμός με τον οποίο τα ενεργά στοιχεία μπερδεύονται στον ηλεκτρολύτη αυξάνεται και η τάση πέφτει. Αν ο υψηλός ρυθμός αποφόρτισης διατηρείται για μεγάλο χρονικό διάστημα, τα ηλεκτρόδια εξαντλούνται από ενεργά στοιχεία, έχοντας ως αποτέλεσμα το τέλος της μπαταρίας ακόμη και αν ενεργά στοιχεία υπάρχουν στους ηλεκτρολύτες. Για παράδειγμα, για να αποφευχθεί ο ξεπεσμός της μπαταρίας, η ποσότητα ενέργειας που τραβιέται από την μπαταρία πρέπει να παρακολουθείται στενά. Δυστυχώς εξαρτάται από τον τύπο της μπαταρίας (lithium, ion, NiMH, NiCd, alkaline), η ελάχιστη απαιτούμενη κατανάλωση των sensor nodes συχνά ξεπερνά το ρυθμό της σχετικής χωρητικότητας, και οδηγεί σε μη βέλτιστη διάρκεια ζωής της μπαταρίας.

7.2.2 Διαχείριση ενέργειας

Με την έλευση των ad-hoc δικτύων, γεωγραφικά κατανεμημένων αισθητήρων, σε τηλεκατευθυνόμενα περιβάλλοντα, υπάρχει μια εστίαση στην αύξηση της διάρκειας ζωής των κόμβων αισθητήρων μέσω της ενεργειακής παραγωγής, διατήρησης ενέργειας, και της διαχείρισης ενέργειας. Πρόσφατες έρευνες έχουν ξεκινήσει στο σχεδιασμό μικρών MEMS (μικροηλεκτρονικά συστήματα). Ο παράγοντας ο οποίος μας περιορίζει τώρα είναι στην κατασκευή μικροεπαγωγών. Μια άλλη πίεση είναι στον σχεδιασμό MEMS για παραγωγή ενέργειας, χρησιμοποιώντας τεχνολογίες συμπεριλαμβανομένου ηλιακή, δόνησης (ηλεκτρομαγνητική και ηλεκτροστατική), θερμική κ.α.



MEMS fabrication layout of power generator dual vibrating coil showing folded beam suspension.

Οι συσκευές RF-ID είναι μικροηλεκτρικά κυκλώματα, που έχουν μια δεξαμενή L-C που αποθηκεύουν ενέργεια από λήψη σημάτων ανάκρισης, και μετά χρησιμοποιούν την ενέργεια για να μεταδώσουν μία απάντηση. Τα παθητικά tag δεν έχουν εγκατεστημένη κάποια πηγή ενέργειας και ελάχιστο χώρο αποθήκευσης δεδομένων, ενώ τα ενεργά tag έχουν μπαταρία και πάνω από 1 MB χώρου αποθήκευσης. Τα RF-ID δουλεύουν σε χαμηλή συχνότητα εύρους 100 kHz- 1,5MHz ή σε υψηλή συχνότητα εύρους 900 MHz- 2,4GHz, η οποία έχει ένα εύρος λειτουργίας πάνω από 30 μέτρα. Τα RF-ID tag είναι αρκετά ακριβά και χρησιμοποιούνται στην κατασκευή και πώληση ελέγχου ευρετηρίου, στον έλεγχο κοντέινερ πλοίων κ.α. Τα RF-ID tag είναι εγκατεστημένα σε υδάτινα σημεία σε κάποιες πόλεις, επιτρέποντας σε μηχανήματα καταμέτρησης να οδηγείται απλά και τηλεκατευθυνόμενα να διαβάζει τα πρόσφατα στοιχεία. Χρησιμοποιούνται επίσης σε αυτοκίνητα για αυτόματη επιλογή εργαλείων.

Εν τω μεταξύ, οι τεχνικές λογισμικού διαχείρισης ενέργειας, μπορούν να μειώσουν την ενέργεια η οποία καταναλώνεται από τους κόμβους των αισθητήρων RF. Το TDMA είναι ειδικά πολύ χρήσιμο για διατήρηση ενέργειας, αφού κάθε κόμβος μπορεί να σταματήσει τη λειτουργία του ή να «κοιμηθεί» μεταξύ των χρονικών εγκοπών που του έχουν ανατεθεί, «ξυπνώντας» ακριβώς τη στιγμή για να λάβει και να μεταδώσει μηνύματα.

Η απαιτούμενη ενέργεια, για τη μετάδοση, αυξάνεται όπως το τετράγωνο της απόστασης μεταξύ πηγής και προορισμού. Γι' αυτό πολλαπλά μεταδιδόμενα hop μετάδοσης, μικρών μηνυμάτων, απαιτούν λιγότερη ενέργεια από ένα μακρύ hop. Για την ακρίβεια, αν η απόσταση μεταξύ πηγής και προορισμού είναι R , η ενέργεια που απαιτείται για μετάδοση μονού hop είναι κοντά στο R^2 . Αν οι κόμβοι μεταξύ πηγής και προορισμού έχουν πλεονέκτημα στην μετάδοση n μικρών hop, η ενέργεια που απαιτείται από κάθε κόμβο είναι κοντά στο R^2/n^2 .

Ένα πρόσφατο θέμα έρευνας είναι ο ενεργής έλεγχος ενέργειας, όπου κάθε κόμβος συνεργάζεται με όλους τους άλλους κόμβους, στην επιλογή του κάθε ξεχωριστού επιπέδου μετάδοσης ενέργειας. Αυτό είναι αποκεντρωμένη τροφοδοσία ελέγχου προβλήματος. Η κυκλοφοριακή συμφόρηση αυξάνεται, αν ο κάθε κόμβος χρησιμοποιεί πολύ μεγάλη ενέργεια, αλλά ο κάθε κόμβος πρέπει να επιλέξει ένα αρκετά μεγάλο εύρος συχνότητας για να μείνει το δίκτυο συνδεδεμένο. Για n κόμβους τυχαία κατανομημένους στον δίσκο, το δίκτυο είναι ασύμπτωτα συνδεδεμένο με πιθανότητα ένα, αν η μετάδοση εύρους r , όλων των κόμβων να επιλεγεί χρησιμοποιώντας $r \propto \sqrt{\log n} + \gamma(n)/\pi^*n$, όπου $\gamma(n)$ είναι μια εφαρμογή που τείνει στο άπειρο όσο το n μεγαλώνει.

7.2.3 Πρωτόκολλα εξοικονόμησης ενέργειας

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τις περιορισμένες δυνατότητες παροχής ενέργειας και ανεξάρτητα από την ενεργειακή αποδοτικότητα των πρωτοκόλλων, η ενέργεια των συσκευών αισθητήρων θα εξαντληθεί. Η αποσύνδεση ορισμένων συσκευών αισθητήρων, είτε λόγω εξάντλησης των ενεργειακών αποθεμάτων είτε λόγω βλάβης, προκαλεί αλλαγές τοπολογίας στο δίκτυο των αισθητήρων. Τέτοιες αλλαγές τοπολογίας μπορούν να μειώσουν την γενική αποδοτικότητα του δικτύου και ακόμη και την αναμενόμενη αποτελεσματικότητα του στο να συγκεντρώνει δεδομένα, ειδικά σε περιπτώσεις όπου η συνεκτικότητα του δικτύου δεν μπορεί να διατηρηθεί.

Ένα πιθανό σενάριο για να αντιμετωπιστεί μια τέτοια κατάσταση είναι να προστεθούν επιπλέον συσκευές αισθητήρων οι οποίες θα αντικαταστήσουν τους κόμβους που δυσλειτουργούν, ενώ το δίκτυο είναι σε λειτουργία, προκειμένου να επεκταθεί η διάρκεια ζωής του δικτύου αισθητήρων. Σε αυτή τη περίπτωση αναμένεται ότι οι νέες συσκευές θα έχουν διαθέσιμα πιο υψηλά επίπεδα συνολικής ενέργειας από τις συσκευές που αναπτύχθηκαν αρχικά στην περιοχή.

Ένα άλλο σενάριο παρουσιάστηκε στο οποίο συσκευές αισθητήρων με διαφορετικές ικανότητες χρησιμοποιούνται για να διαμορφώσουν ένα δίκτυο αισθητήρων. Η έννοια είναι πολύ απλή: ένα δίκτυο που αποτελείται από μικρό αριθμό υψηλών επιδόσεων κόμβων με βελτιωμένες ικανότητες επικοινωνίας αναπτύσσεται σε συνδυασμό με ένα δίκτυο κοινών αισθητήρων. Μια ιεραρχική δομή διαμορφώνεται και τα σωματίδια αισθητήρων προωθούν τα δεδομένα στους κόμβους υψηλών επιδόσεων που μπορούν να τα μεταδώσουν σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Θεωρητικά αυτό επιτρέπει να ακολουθηθούν γρηγορότερες διαδρομές μέσω του δικτύου και οδηγεί στη βελτίωση της απόδοσης του δικτύου. Μια εναλλακτική λύση είναι να μην εισαχθούν κόμβοι υψηλών επιδόσεων στο δίκτυο αλλά αντί αυτών να χρησιμοποιηθούν κόμβοι αισθητήρων που έχουν περισσότερους ενεργειακούς πόρους διαθέσιμους ή και κόμβοι αισθητήρων που τροφοδοτούνται από ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, για παράδειγμα είναι συνδεδεμένοι με δίκτυο ηλεκτροδότησης. Πολλά ερωτήματα γεννούνται από αυτή την προσέγγιση. Για να επιζήσει περισσότερο το δίκτυο, θα βοηθούσε η μετατόπιση του φορτίου της αποστολής των πακέτων σε ισχυρούς κόμβους από τους κόμβους με χαμηλά ενεργειακά αποθέματα.

Η κύρια ιδέα αυτών των πρωτοκόλλων, είναι ότι οι κόμβοι περνούν από εναλλασσόμενες περιόδους νάρκης και αντίθετα εγρήγορσης, ενώ η καινοτομία που εισάγεται είναι ότι κάθε πρωτόκολλο καθορίζει έναν διαφορετικό τρόπο με τον οποίο αποφασίζεται πότε και πως κάθε κόμβος θα ναρκωθεί και πότε θα λειτουργήσει κανονικά. Δεδομένου ότι η εναλλαγή των αισθητήρων μεταξύ αυτών των καταστάσεων αναστατώνει αναπόφευκτα τη λειτουργία δικτύου, αφού αλλάζουν βασικές παράμετροι όπως η κάλυψη και η συνεκτικότητα, τα πρωτόκολλα μας ελέγχουν τις τοπικές συνθήκες του δικτύου και ρυθμίζουν δυναμικά τα προγράμματα νάρκης- εγρήγορσης των κόμβων, σύμφωνα με μια δεδομένη στρατηγική. Ας μελετήσουμε δυο στρατηγικές προσαρμογής:

- Προσαρμογή με κριτήριο την τρέχουσα πυκνότητα κόμβων στο δίκτυο, η οποία έχει ως στόχο να αντιμετωπίσει τις βλάβες, την ανακατανομή των αισθητήρων, την εξάντληση των ενεργειακών αποθεμάτων ορισμένων αισθητήρων.
- Προσαρμογή με κριτήριο τη διαθέσιμη ενέργεια, όπου και στοχεύουμε στην εξισορρόπηση των ενεργειακών αποθεμάτων μεταξύ των συσκευών και την παράταση της διάρκειας ζωής του συστήματος.

Αυτά τα πρωτόκολλα δεν χρησιμοποιούν μηνύματα ελέγχου για να συγχρονίσουν τους αισθητήρες, αλλά αντίθετα λειτουργούν με ένα σύνολο απλών κανόνων που είναι βασισμένοι μόνο στις τοπικά μετρούμενες συνθήκες.

Το μοντέλο

Τα δίκτυα αισθητήρων αποτελούνται από έναν αρκετά μεγάλο αριθμό εξαιρετικά μικρών ομοιογενών αισθητήρων. Κάθε αισθητήρας είναι μια πλήρως αυτόνομη συσκευή υπολογισμού και επικοινωνίας, που χαρακτηρίζεται κυρίως από τη διαθέσιμη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος και το ενεργειακό κόστος του υπολογισμού και της διαβίβασης δεδομένων. Τέτοιοι αισθητήρες δεν κινούνται. Έστω n ο αριθμός αισθητήρων που υπάρχουν σε μια περιοχή A . Υπάρχει ένα μοναδικό σημείο στην περιοχή του δικτύου S , που αντιπροσωπεύει ένα κέντρο ελέγχου όπου πρέπει να μεταδοθούν τα δεδομένα. Οι αισθητήρες είναι εξοπλισμένοι με ένα σύνολο οργάνων μέτρησης διαφόρων συνθηκών για το φως, την πίεση, τη θερμοκρασία και άλλα. Κάθε αισθητήρας έχει ένα πομπό μετάδοσης ραδιοκυμάτων που χαρακτηρίζεται από την εμβέλεια του R . Κάθε αισθητήρας είναι εξοπλισμένος με μια παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, η οποία προσφέρει ένα μηχανισμό που παρέχει μετρήσεις των υπόλοιπων αποθεμάτων ενέργειας του.

Έστω ότι $E(i)$ τα διαθέσιμα αποθέματα ενέργειας του αισθητήρα i σε μια δεδομένη χρονική στιγμή. Οποιαδήποτε στιγμή, κάθε αισθητήρας μπορεί να είναι σε μια από τέσσερις διαφορετικές καταστάσεις κατανάλωσης ενέργειας:

1. Μετάδοση ενός μηνύματος
2. Λήψη ενός μηνύματος
3. Αντίληψη των γεγονότων
4. Νάρκωση

Κατά τη διάρκεια της κατάστασης νάρκης, ο αισθητήρας παύει οποιαδήποτε επικοινωνία με το περιβάλλον, κατά συνέπεια είναι ανίκανος να λάβει οποιοδήποτε μήνυμα ή να αισθανθεί ένα γεγονός. Από αυτή την άποψη, υποθέτουμε ότι η

κατανάλωση ενέργειας ενός αισθητήρα σε κατάσταση νάρκης είναι αμελητέα. Για την περίπτωση μετάδοσης ενός μηνύματος, υποθέτουμε ότι το κύκλωμα του πομπού καταναλώνει ένα ποσό ενέργειας ανάλογο προς το μέγεθος του μηνύματος. Για να μεταδώσει ένα μήνυμα μήκους K bit, ο πομπός χρησιμοποιεί ενέργεια $E_T(k) = e_{trans} * k$ Watt, και για να λάβει ένα μήνυμα k bit, το κύκλωμα λήψης χρησιμοποιεί ενέργεια $E_R(k) = e_{recu} * k$ Watt, όπου e_{trans} και e_{recu} είναι σταθερές που εξαρτώνται από το ραδιοκύκλωμα και την ακτίνα μετάδοσης των αισθητήρων.

Έτσι καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν τρία διαφορετικά αίτια κατανάλωσης ενέργειας:

- a) E_T ενέργεια που καταναλώνεται για τη μετάδοση μηνυμάτων
- b) E_R , ενέργεια που καταναλώνεται για τη λήψη μηνυμάτων
- c) E_{idle} , ενέργεια που καταναλώνεται σε κατάσταση αδράνειας

Για την κατάσταση αδράνειας, υποθέτουμε ότι καταναλώνεται ενέργεια για τη λειτουργία των κυκλωμάτων η οποία είναι σταθερή στη μονάδα του χρόνου και ίση με E_{elec} . Πρέπει να σημειώσουμε ότι στις προσομοιώσεις μας μετράμε ρητά τις ανωτέρω ενεργειακές δαπάνες, ενώ οι ακριβείς τιμές των e_{trans} , e_{recu} , και E_{idle} επιλέχθηκαν ώστε να ταιριάζουν όσο είναι δυνατόν με τις προδιαγραφές της πλατφόρμας mica. Τελειώνοντας, ας υποθέσουμε ότι μια συγκεκριμένη, υψηλού επιπέδου εφαρμογή εκτελείται από τους αισθητήρες που απαρτίζουν το δίκτυο. Τα γεγονότα για τα οποία ενδιαφέρεται η εφαρμογή, πραγματοποιούνται σε όλη την περιοχή του δικτύου, ενώ κάθε γεγονός συλλαμβάνεται από έναν μόνο αισθητήρα, το οποίο δημιουργεί τα μηνύματα προκειμένου να διαδοθεί η πληροφορία στο κέντρο ελέγχου. Η εφαρμογή χαρακτηρίζεται από την ποσότητα I , που εκφράζει το ολικό ποσοστό παραγωγής μηνυμάτων ανά χρονικό διάστημα.

Πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται για την εξοικονόμηση ενέργειας

Στην συγκεκριμένη κατηγορία ανήκουν τα εξής πρωτόκολλα SWP (Sleep- Awake Protocol), DA-SWP (Density Adaptive Sleep-Awake Protocol), EA-SWP (Energy Adaptive Sleep- Awake Protocol).

Sleep-Awake Protocol (SWP)

Σύμφωνα με αυτό το πρωτόκολλο, κάθε αισθητήρας εναλλάσσει περιοδικά την κατάσταση λειτουργίας σε περιόδους νάρκης ή και εγρήγορσης. Κατά τη διάρκεια μιας περιόδου νάρκης, τα σωματίδια παύουν οποιαδήποτε επικοινωνία με το περιβάλλον, κατά τη συνέπεια η κατανάλωση ενέργειας θεωρείται ότι είναι η ελάχιστη και σχεδόν αμελητέα, ενώ όταν ένα σωματίδιο είναι σε εγρήγορση, καταναλώνει το κανονικό ποσό ενέργειας. Έστω ότι τα χρονικά διαστήματα νάρκης/εγρήγορσης εναλλάσσονται στοχαστικά ανεξάρτητα σε κάθε αισθητήρα και έχουν διάρκειες T_s , T_w , αντίστοιχα, αυτό μπορεί να επιτευχθεί εύκολα εάν κατά τη διάρκεια της φάσης αρχικοποίησης του δικτύου, κάθε αισθητήρας διατηρεί ένα χρονόμετρο, το οποίο θέτει σε μια τυχαία χρονική στιγμή που επιλέγεται από το χρονικό πλαίσιο T των περιόδων νάρκης/εγρήγορσης.

Αυτή η μέθοδος ορίζει μια καθολική τιμή γ που εκφράζει την αναλογία μεταξύ των διαρκειών των περιόδων της νάρκης και της εγρήγορσης, η αναλογία αυτή στο στάδιο της αρχικοποίησης καθορίζει το χρονοδιάγραμμα παραμονής των αισθητήρων σε κάθε κατάσταση, δηλαδή καθορίζει τις τιμές T_s , T_w . Έστω ότι $\gamma = T_s / T_w$, αναλογία

αυτή ποσοτικοποιεί την εξοικονόμηση ενέργειας, που συμβολίζουμε με e_n , η οποία πετυχαίνει το πρωτόκολλο στους αισθητήρες, δηλαδή έχουμε:

$$e_n = T_s / (T_s + T_w) = 1 - 1 / (1 + \gamma)$$

Όταν η τιμή e_n τείνει στο 0, οι αισθητήρες βρίσκονται συνέχεια σε κατάσταση εγρήγορσης και δεν εξοικονομούν καθόλου ενέργεια, ενώ όταν τείνει στο 1, έχουμε μόνιμη κατάσταση νάρκης και μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας.

Κάθε αισθητήρας μετρά το χρονικό διάστημα που βρίσκεται σε μια κατάσταση, ώστε η διάρκεια μιας περιόδου να μην ξεπεράσει το καθορισμένο χρονοπρόγραμμα. Η λήξη μιας περιόδου σηματοδοτεί την εναλλαγή από την τρέχουσα κατάσταση στην επόμενη. Η διάρκεια του χρονικού πλαισίου T ορίζεται ως το άθροισμα της χρονικής διάρκειας στην κατάσταση νάρκης και της χρονικής διάρκειας στην κατάσταση εγρήγορσης, δηλαδή $T = T_s + T_w$, το χρονοπρόγραμμα καθορίζεται από διαδοχικά χρονικά πλαίσια T . Αφού το χρονόμετρο κάθε αισθητήρα αρχικοποιείται σε μια τυχαία στιγμή του χρονικού πλαισίου, τα χρονοπρογράμματα των αισθητήρων θα είναι διαφορετικά. Επομένως, εξασφαλίζεται ότι οι μεταβάσεις περιόδων νάρκης και εγρήγορσης δεν εμφανίζονται ταυτόχρονα, αλλά μάλλον κατά τυχαίο τρόπο.

Τα πρωτόκολλα διάδοσης πληροφορίας για τέτοια ενεργειακά περιορισμένα συστήματα πρέπει τουλάχιστον να εγγυηθούν ότι το κέντρο ελέγχου λαμβάνει τελικά τα μηνύματα που αναφέρουν ένα κρίσιμο γεγονός. Η επιτυχία τέτοιων πρωτοκόλλων εξαρτάται από την πυκνότητα και την κατανομή των συσκευών αισθητήρων στην περιοχή κάλυψης του δικτύου A , της διάρκειας των χρονικών περιόδων νάρκης και εγρήγορσης και φυσικά της ακτίνας ραδιοεπικοινωνίας R . Αυτές οι παράμετροι, επηρεάζουν την ύπαρξη διαδρόμων προς το κέντρο ελέγχου και συνεπώς και την ικανότητα διάδοσης δεδομένων διαμέσου του δικτύου.

Density Adaptive Sleep Protocol (DA-SWP)

Υποθέτουμε ότι οι αισθητήρες κατανέμονται τυχαία και ομοιόμορφα στο χώρο του δικτύου, η πυκνότητα των αισθητήρων μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$\mu(R) = (n\pi R^2) / A$$

όπου n είναι ο συνολικός αριθμός αισθητήρων που αναπτύσσεται στην περιοχή A και R η ακτίνα μετάδοσης. Βασικά το $\mu(R)$ δίνει τον αριθμό αισθητήρων εντός ακτίνας μετάδοσης κάθε αισθητήρα στην περιοχή A . Όντως, δεδομένου ότι το SWP αναγκάζει κάθε αισθητήρα να εναλλάσσει την κατάσταση του μεταξύ των περιόδων νάρκης και εγρήγορσης, το $\mu(R)$ είναι στην πραγματικότητα ένα άνω όριο στον αριθμό αισθητήρων που είναι σε εγρήγορση. Έτσι θεωρούμε ότι το $\mu(R)$ είναι ο αριθμός ενεργών αισθητήρων στην περιοχή A . Άρα δεδομένου ότι το μήκος κάθε περιόδου νάρκης και εγρήγορσης ρυθμίζεται από τον παράγοντα εξοικονόμησης ενέργειας e_n , αναμένουμε ότι θα ισχύει $\mu(R) / \mu(R) e_n$.

Προφανώς εάν οι παράμετροι που έχουν επιπτώσεις στην απόδοση των πρωτοκόλλων διάδοσης είναι γνωστές εκ των προτέρων, ο παράγοντας εξοικονόμησης μετάδοσης e_n μπορεί να ρυθμιστεί από το χειριστή του δικτύου ώστε να μεγιστοποιηθεί η ενεργειακή αποδοτικότητα και να διατηρηθεί το δίκτυο λειτουργικό για όσο το δυνατό περισσότερο. Για παράδειγμα, στα αραιά δίκτυα η τιμή e_n πρέπει να είναι έτσι ώστε αρκετοί αισθητήρες να συμμετέχουν στη διάδοση των μηνυμάτων. Αφ' ετέρου στα πυκνά δίκτυα ένας μεγαλύτερος αριθμός αισθητήρων

μπορεί να τεθεί σε κατάσταση νάρκης κάθε στιγμή προκειμένου να εξοικονομηθεί περισσότερη ενέργεια. Με άλλα λόγια, το en μπορεί να ρυθμίσει το μέσο αριθμό ενεργών αισθητήρων στο δίκτυο ώστε να επιτευχθεί ένα επιθυμητό $\mu(R)$.

Στα πραγματικά δίκτυα είναι αρκετά δύσκολο να υπολογιστεί η πυκνότητα των κόμβων με ακρίβεια, ειδικά αν εξετάζουμε τις περιπτώσεις όπου τα σωματίδια αναπτύσσονται τυχαία στον τομέα ενδιαφέροντος. Επιπρόσθετα η πυκνότητα των δικτύων αλλάζει συνεχώς, με την πάροδο του χρόνου η τοπολογία του δικτύου εξελίσσεται, αφού λόγω των περιορισμένων αποθεμάτων της μπαταρίας, η ενέργεια των συσκευών θα εξαντληθεί. Είναι επίσης δυνατό αισθητήρες να σταματήσουν να λειτουργούν λόγω βλαβών είτε εξαιτίας της καταστροφής τους από τους εξωτερικούς παράγοντες ή εξαιτίας της αποτυχίας του χαμηλού κόστους εξοπλισμού. Λόγω αυτών των γεγονότων, αναμένεται ότι το $\mu(R)$ θα μειωθεί με την πάροδο του χρόνου. Έτσι η επίδραση της αρχικής τιμής του en, που σκοπό έχει να οδηγήσει σε ένα δίκτυο με συγκεκριμένο $\mu(R)$, θα είναι να φτάσουμε σε μια διαφορετική πυκνότητα μικρότερη από την επιθυμητή. Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι το δίκτυο θα λειτουργήσει σε επίπεδα μειωμένης απόδοσης.

Δύναται να ανακαταλείνουμε πρόσθετους αισθητήρες ενώ το δίκτυο είναι σε λειτουργία, προκειμένου να αντικαταστήσουμε τους αισθητήρες που δυσλειτουργούν ή λόγω αλλαγής των απαιτήσεων της εφαρμογής. Κατ' αυτό τον τρόπο ο διαχειριστής του δικτύου μπορεί να επαναφέρει το $\mu(R)$ στα επιθυμητά επίπεδα.

Energy Adaptive Sleep-Awake Protocol (EA-SWP)

Το προσαρμοστικό πρωτόκολλο με βάση την πυκνότητα μόνο έμμεσα λαμβάνει υπ' όψιν την ενέργεια με τον έλεγχο του ενεργού αριθμού γειτόνων. Καθώς η λειτουργία του δικτύου εξελίσσεται, μερικοί κόμβοι θα εξαντλήσουν την ενέργεια τους και θα αποσυνδεθούν, γεγονός που έχει επιπτώσεις στον αριθμό των ενεργών γειτόνων. Σε αντίθεση με αυτήν την προσέγγιση, το προσαρμοστικό πρωτόκολλο με βάση την ενέργεια, προσπαθεί να διανείμει ομοιόμορφα την κατανάλωση ενέργειας μεταξύ των αισθητήρων με την αύξηση του χρονικού διαστήματος νάρκωσης των εξαντλημένων μορίων.

Η εξισορρόπηση της κατανάλωσης ενέργειας μεταξύ των συσκευών αισθητήρων στο δίκτυο, αποτρέπει την πρόωρη μείωση των ενεργειακών αποθεμάτων από ορισμένους αισθητήρες και αυξάνει έτσι τη διάρκεια ζωής του συστήματος παρεμποδίζοντας την πρόωρη αποσύνδεση τμημάτων του δικτύου. Προκειμένου να ανιχνευθεί ότι ένας αισθητήρας καταναλώνει την ενέργεια του γρηγορότερα από άλλα, χρειάζεται μια εκτίμηση της μέσης ενέργειας των κοντινών αισθητήρων. Ουσιαστικά αυτό επιτυγχάνεται με την παροχή μιας εκτίμησης των ενεργειακών επιπέδων κάθε κόμβου στους γειτονικούς του κάθε φορά που αποστέλλει ένα μήνυμα. Συγκεκριμένα, προκειμένου να ανιχνευθεί η ενέργεια των γειτονικών αισθητήρων, το EA-SWP χρησιμοποιεί ένα υποπρωτόκολλο μέτρησης της μέσης ενέργειας (Penergy).

7.2.4 Βελτιστοποίηση του επιπέδου ενέργειας των κόμβων

Αρχικά θα πρέπει να επικεντρωθούμε στην αντίληψη της διαχείρισης ενέργειας μέσα στο δίκτυο. Είναι αναγκαίο να αναπτύξουμε σχεδιαστικές μεθοδολογίες hardware / software, και συστήματα αρχιτεκτονικής τα οποία καθιστούν εφικτό το σχεδιασμό συστημάτων για μικρή κατανάλωση ενέργειας, σε ξεχωριστούς κόμβους στο δίκτυο.

Προγραμματισμός αντίληψης ενέργειας

Τα πλεονεκτήματα του κύκλου εργασιών χαμηλής ενέργειας και του σχεδιασμού συστήματος, έχουν σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη αρκετών μικροεπεξεργαστών και microcontrollers υψηλά χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας. Επιπλέον το να χρησιμοποιείς hardware χαμηλής ενέργειας κατά το σχεδιασμό των sensor node και να λειτουργείς τις διάφορες πηγές των συστημάτων με τρόπο τέτοιο ώστε να αντιλαμβάνεται η κατανάλωση ενέργειας, διαμέσου της χρήσης δυναμικής διαχείρισης της ενέργειας, μπορεί να ελαττώσει την κατανάλωση της ενέργειας επιπλέον, και να αυξήσει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Ένα συχνά χρησιμοποιούμενο scheme, βασίζεται στο κλείσιμο των στοιχείων που δεν δουλεύουν με τη μέγιστη απόδοση, στα οποία ο sensor node κλείνει ή τίθεται σε μία από πολλές καταστάσεις χαμηλής κατανάλωσης, εάν δεν συμβαίνουν σοβαρά γεγονότα. Τέτοιου είδους καθοδηγούμενα γεγονότα διαχείρισης ενέργειας είναι εξαιρετικά κρίσιμα στη μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής του κόμβου. Το στοιχείο κλειδί αυτής της λειτουργίας, είναι να αποφασιστεί η κατάσταση μετάδοσης, αφού διαφορετικές καταστάσεις χαρακτηρίζονται από διαφορετικές ποσότητες κατανάλωσης ενέργειας και οι μεταδόσεις έχουν μη αμελητέα ενέργεια και χρόνο.

Ενώ οι τεχνικές διακοπής της λειτουργίας, εξοικονομούν ενέργεια με το να διακόπτουν τη λειτουργία των στοιχείων που δεν δουλεύουν στο μέγιστο, επιπλέον εξοικονόμηση ενέργειας είναι πιθανή σε ενεργές καταστάσεις μέσω της χρήσης δυναμικής βαθμιδοποίησης της τάσης. Τα περισσότερα συστήματα βασισμένα σε microprocessors έχουν ένα υπολογιστικό σύστημα που διαφοροποιεί τη τάση.

Software ενήμερα με την ενέργεια (Energy-Aware Software)

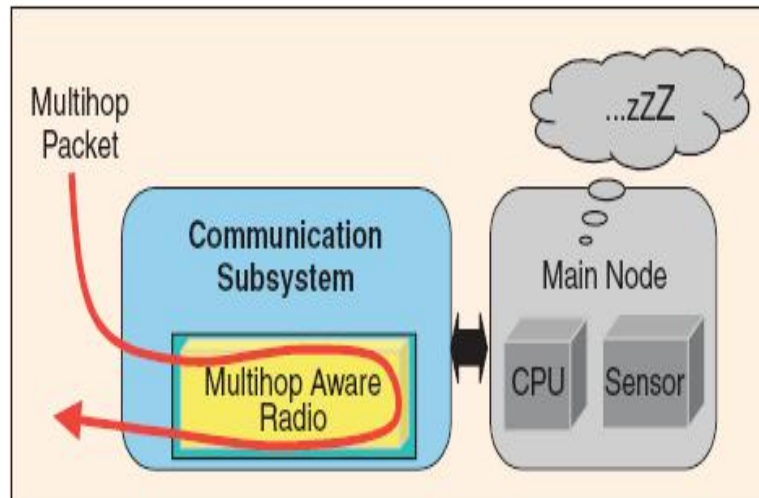
Παρόλο την υψηλή αποτελεσματικότητα ενέργειας των εφαρμογών συγκεκριμένης πλατφόρμας hardware, τα πλεονεκτήματα της ελαστικότητας από τους microprocessor και των συστημάτων DSP, έχει ως αποτέλεσμα στην αύξηση της χρήσης των προγραμματισμένων λύσεων κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού του συστήματος. Η διάρκεια ζωής του sensor network, μπορεί να αυξηθεί σημαντικά αν το software του συστήματος, συμπεριλαμβανομένου του συστήματος διαχείρισης (OS), και τα πρωτόκολλα δικτύου, έχουν σχεδιαστεί όλα να έχουν αντίληψη της ενέργειας.

Το OS είναι ιδανικά ισορροπημένο να θέσει σε εφαρμογή τη λειτουργία διακοπής λειτουργίας και τη διαχείριση ενέργειας DVS, αφού έχει γνώση της λειτουργίας και της αξιοπιστίας όλων των εφαρμογών και μπορεί να ελέγξει απευθείας τις πηγές του hardware.

Ασύρματες επικοινωνίες ενήμερες με την ενέργεια (Energy-Aware Wireless Communication)

Η διαχείριση ενέργειας των ξεχωριστών sensor nodes ελαττώνουν την κατανάλωση ενέργειας για την επικοινωνία μεταξύ των κόμβων, για να διεξαχθεί με εφικτό τρόπο ενέργειας επίσης. Η ασύρματη μετάδοση της ποσότητας δεδομένων, για ένα μεγάλο τμήμα της κατανάλωσης συνολικής ενέργειας, οι αποφάσεις διαχείρισης ενέργειας που παίρνουν υπ' όψιν το αποτέλεσμα της επικοινωνίας internode χρειάζονται σημαντικά υψηλότερα αποθέματα ενέργειας. Επιπλέον η διαχείριση ενέργειας κατά τη διάρκεια της επικοινωνίας καθιστά εφικτή τη διάχυση της ενέργειας από τον έναν sensor node σε μια ομάδα sensor nodes, και γι' αυτό αυξάνεται η διάρκεια ζωής ολόκληρης της περιοχής του δικτύου. Για να επιτευχθεί επικοινωνία power - aware,

είναι αναγκαίο να ταυτοποιηθούν και να εκμεταλλευτούν τα διάφορα tradeoff knobs της διαχείρισης ενέργειας που υπάρχουν στο υποσύστημα της επικοινωνίας.



Στρατηγικές Σταθεροποίησης Ενέργειας

Υποθέτουμε ότι κάθε κόμβος αισθητήρα, γενικεύει μια ισάριθμη ποσότητα κίνησης στο ρυθμό αύξησης (λ), το οποίο είναι σχετιζόμενο με το σταθμό βάσης κατά μήκος της μικρότερης διαδρομής. Η κίνηση μπορεί να είναι περιοδική ή συχνή. Ωστόσο οι καλύτερες σειρές ακολουθούν μια ευθεία γραμμή, οι αναλύσεις των τεσσάρων στρατηγικών, οι οποίες προτείνονται σε αυτό τον τομέα, μπορούν να περιοριστούν σε μια μονοδιάστατη αλυσίδα N κόμβων. Οι στρατηγικές συγκρίνονται με το απλό σχέδιο, το οποίο έχει ίσες αποστάσεις κόμβων (d), ίσες πιθανότητες σε link υποδοχής PL και την πιο κοντινή δρομολόγηση. Για να συγκρίνουμε την ολική κατανάλωση ενέργειας, είναι φρόνιμο να υπολογίσουμε τις απαιτήσεις ενέργειας, για την προώθηση ενός πακέτου από κάθε κόμβο στο σταθμό βάσης. Για την απλή στρατηγική, η ολική κατανάλωση ενέργειας είναι:

$$E_{tot} = (1+2+\dots+N) d a_{\Theta} \sigma^{2Z} / -\ln PL = N(N+1)/2 * d a_{\Theta} \sigma^{2Z} / -\ln PL$$

Για τη διάρκεια ζωής, η κατανάλωση ενέργειας, για τον κόμβο που είναι σημαντικός, πρέπει να είναι καθοριστική. Για την απλή στρατηγική, ο σημαντικός κόμβος είναι ο N και εμείς παίρνουμε $E_{max} = EN = N d a_{\Theta} \sigma^{2Z} / -\ln PL$

Εξοικονόμηση ενέργειας εξαιτίας Συνολικών Δεδομένων

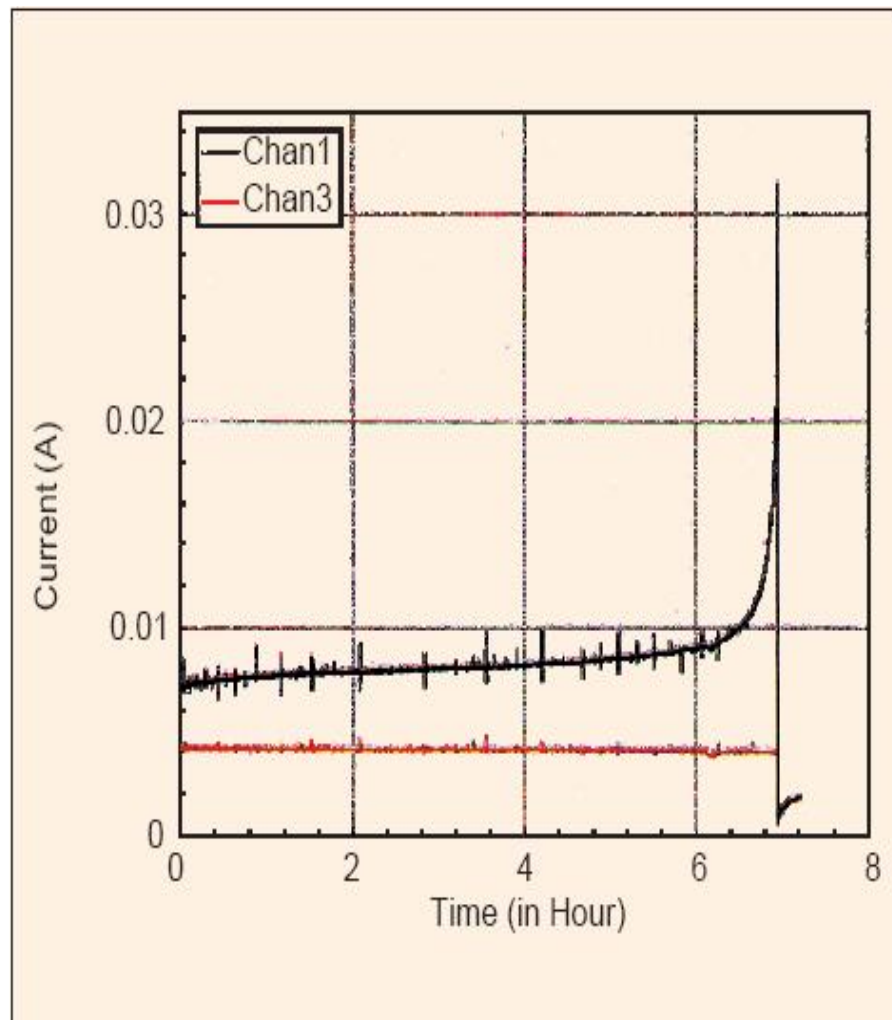
Εδώ παρουσιάζονται κάποιοι αναλυτικοί δεσμοί, στα κόστη ενέργειας και εξοικονόμησης, τα οποία μπορούν να ληφθούν από το σύνολο των δεδομένων, βασισμένα στις αποστάσεις μεταξύ της πηγής και της «δεξαμενής», και των αποστάσεων μεταξύ των πηγών. Η κατάληξη αυτού του τομέα είναι ότι τα μεγαλύτερα οφέλη εξαιτίας των συνολικών δεδομένων, κερδίζονται όταν οι πηγές είναι όλες κοντά μεταξύ τους και μακριά από την «δεξαμενή».

Έστω ότι d_i είναι η απόσταση του κοντινότερου μονοπατιού από την πηγή S_i στην «δεξαμενή». Για παράδειγμα, το συνολικό νούμερο μεταδόσεων, το οποίο απαιτείται για το καλύτερο AC πρωτόκολλο, σε αυτή την περίπτωση είναι:

$$N_A = d_1 + d_2 + \dots + d_k = \text{sum}(d_i)$$

Μετατροπέας DC-DC (DC-DC Converter)

Ο μετατροπέας dc- dc είναι υπεύθυνος για να παρέχει σταθερή ποσότητα ισχύς στον υπόλοιπο sensor node, καθώς χρησιμοποιεί ολόκληρη τη χωρητικότητα της μπαταρίας. Ο κύριος παράγοντας που συνδέεται με τον μετατροπέα παίζει μεγάλο ρόλο στο καθορισμό της διάρκειας ζωής της μπαταρίας. Ένας όχι τόσο αποδοτικός παράγοντας οδηγεί σε σημαντική απώλεια ενέργειας του μετατροπέα, μειώνοντας τη ποσότητα της διαθέσιμης ενέργειας στα υπόλοιπα στοιχεία του sensor node. Επίσης το επίπεδο της ισχύς κατά μήκος των τερματικών της μπαταρίας μειώνεται καθώς αποφορτίζετε. Γι' αυτό το λόγο ο μετατροπέας τραβάει αυξανόμενες ποσότητες από την μπαταρία για να διατηρήσει μια σταθερή ποσότητα ισχύς στο sensor node. Σαν αποτέλεσμα, η ποσότητα που παίρνεται από την μπαταρία γίνεται προοδευτικά υψηλότερη από τη ποσότητα που πραγματικά τροφοδοτείται στον υπόλοιπο sensor node. Αυτό οδηγεί στην εξάντληση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας. Η παρακάτω εικόνα δείχνει την διαφορά της ποσότητας που παίρνεται από την μπαταρία και της ποσότητας που παραδίδεται στο sensor node από μια μπαταρία lithium-ion.



Πόσο καλά μπορεί το πρωτόκολλο DC να λειτουργήσει;

1) Έστω ότι το νούμερο των μεταδόσεων, που απαιτείται για το πρωτόκολλο DC είναι ND. Τότε $ND \leq NA$

Απόδειξη 1:

Με το να συναθροίσουμε τα δεδομένα καλά, μπορεί μόνο να μειώσει τον ελάχιστο αριθμό κορυφών, συγκρινόμενο με την κατάσταση όταν οι πηγές στέλνουν πληροφορίες στην «δεξαμενή», μέσω σύντομων μονοπατιών.

2) Αν οι κομβικές πηγές S_1, S_2, \dots, S_k έχουν μία διάμετρο $X \geq 1$. Ο συνολικός αριθμός μεταδόσεων, που απαιτούνται για το καλύτερο πρωτόκολλο DC, ικανοποιεί τους ακόλουθους δεσμούς:

$$ND \leq (k-1) X + \min (d_i) \quad (2)$$

$$ND \geq \min (d_i) + (k-1) \quad (3)$$

Απόδειξη 2:

(2) Μπορεί να εξασφαλιστεί από μια κατασκευή, το δέντρο συνάθροισης δεδομένων, το οποίο αποτελείται από $(k-1)$ πηγές, οι οποίες στέλνουν τα πακέτα του, στην πηγή που απομένει, η οποία είναι κοντά στην «δεξαμενή». Αυτό το δέντρο δεν έχει παραπάνω από $(k-1) X + \min (d_i)$ κορυφές.

(3) Αυτό μπορεί να εξασφαλιστεί από το να θεωρήσουμε το μικρότερο πιθανό Steiner δέντρο, το οποίο θα συνέβαινε από τη διάμετρο. Σε αυτή την περίπτωση, το κοντινότερο μονοπάτι από τον κόμβο της πηγής σε $\min (d_i)$, πρέπει να είναι μέρος από το μικρότερο δέντρο Steiner, και εκεί είναι ακριβώς μία κορυφή από κάθε από τον άλλο κόμβο πηγής σε αυτό τον κόμβο.

3) Αν η διάμετρος $X < \min (d_i)$, τότε $ND < NA$. Με άλλα λόγια, το καλύτερο πρωτόκολλο με κέντρο τα δεδομένα θα λειτουργήσει καλύτερα από τα AC πρωτόκολλα.

Απόδειξη:

$$ND < (k-1) X + \min (d_i) < (k) \min (d_i)$$

$$ND < \sum (d_i) = NA$$

Τοπολογία σχετιζόμενη με τη διατήρηση ενέργειας.

Τα δίκτυα αισθητήρων μπορεί να είναι εγκατεστημένα σε περιοχές δύσκολα να τις φτάσουν, και να είναι αναγκαστικό να τρέχουν χωρίς παρακολούθηση, για μεγάλο χρονικό ορίζοντα. Ίσως είναι δύσκολο να αντικατασταθούν οι μπαταρίες, από ενεργειακά εξαντλημένους κόμβους ή ακόμη να προστεθούν κάποιοι νέοι. Μια ζωτική λύση σε τέτοιου είδους δίκτυα είναι αρχικά να αναπτυχθούν περισσότεροι αισθητήρες από αυτούς που χρειάζονται, και να χρησιμοποιηθούν οι επιπλέον κόμβοι, στο να επεκταθεί η διάρκεια ζωής του δικτύου. Τα SPAN και GAF προσαρμοζόμενα αποφασίζουν ποιοι κόμβοι απαιτούνται για να είναι ενεργό, για να διατηρηθεί ένα αποδεκτό επίπεδο αξιοπιστίας δρομολόγησης, ενώ θα επιτρέπει στους εναπομείναντες κόμβους να κλείσουν τις εκπομπές τους και να «κοιμηθούν».

1. GAF: Το GAF τοποθετεί κόμβους σε πραγματικά "grid squares", σε σχέση με τη γεωγραφική τοποθεσία και την αναμενόμενο εύρος εκπομπής. Οποιοδήποτε ζευγάρι κόμβων σε γειτονικά δικτυωμένα τετράγωνα, είναι ικανά να επικοινωνούν. Οι

κόμβοι είναι σε ένα από τα 3 σημεία: «κοιμισμένα», ανακάλυψης, και ενεργά. Οι ενεργοί κόμβοι παίρνουν μέρος σε δρομολόγηση, ενώ οι κόμβοι ανακάλυψης διερευνούν το δίκτυο, για να καθορίσουν αν η παρουσία τους χρειάζεται. Οι «κοιμισμένοι» κόμβοι δεν εκπέμπουν. Τα ανακαλυπτόμενα μηνύματα χρησιμοποιούνται για να ανταλλάξουν πληροφορίες μεταξύ κόμβων, στη ίδια γειτονιά. Το GAF προσπαθεί να φτάσει μία βαθμίδα, στην οποία το κάθε γειτονικό τετράγωνο έχει μόνο ένα ενεργό κόμβο.

2. SPAN: Στο SPAN, οι κόμβοι αποφασίζουν πότε να «κοιμηθούν» ή να πάρουν μέρος σε μια συγκέντρωση «διοργανωτών», οι οποίοι προσπαθούν να διατηρήσουν τη δρομολόγηση στο δίκτυο. Οι διοργανωτές είναι ενεργοί συνεχόμενα, ενώ οι εναπομείναντες κόμβοι κρατούν στάση για εξοικονόμηση ενέργειας και περιοδικά στέλνουν και λαμβάνουν μηνύματα «HELLO», για να καθορίσουν αν πρέπει να γίνουν διοργανωτές. Σε ένα μήνυμα «HELLO», ο κόμβος ανακοινώνει τη κατάσταση του (διοργανωτής ή όχι), τους διοργανωτές του, και τους γείτονες του.

Επίλογος

Τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων είναι ένας καινούργιος αλλά παράλληλα ραγδαία αναπτυσσόμενος τομέας. Επιπλέον, είναι ένας ξεχωριστός κλάδος των ασύρματων δικτύων και επικοινωνιών. Αυτό συμβαίνει λόγω της φύσης των συγκεκριμένων δικτύων. Η τεχνολογία που αναπτύσσεται για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων λαμβάνει υπόψη τις ανάγκες, τις απαιτήσεις, τους περιορισμούς, αλλά και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αυτών των δικτύων. Όπως διαπιστώσαμε τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων χρησιμοποιούν πολλές διαφορετικές τεχνολογίες για την υλοποίησή τους, όπως οι αισθητήρες, το λογισμικό, η διαχείριση ενέργειας κ.α.

Κάνοντας μια απλή αναδρομή στην πορεία των ασύρματων δικτύων από την εμφάνισή τους μέχρι και σήμερα βλέπουμε ότι, όπως και σε κάθε άλλο τεχνολογικό 'προϊόν', η εξέλιξη και η τεχνολογία βρίσκεται πλέον σε ένα στάδιο ωρίμανσης. Σίγουρα, οι μελλοντικές εξελίξεις θα συμβάλλουν καθοριστικά στην περαιτέρω διάδοση και χρησιμοποίηση σε ολοένα και περισσότερες εφαρμογές. Σήμερα, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων εφαρμόζονται σε πολλούς και ποικίλους τομείς της ζωής μας. Από την παρακολούθηση ενός ιδιωτικού χώρου, την μέτρηση της θερμοκρασίας, μέχρι και σε στρατιωτικές εφαρμογές.

Βιβλιογραφία - Αναφορές

- [1] "Wireless Sensor Networks: a survey", I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci. Computer Networks 38 (2002) 393-422.
- [2] "Survey on Sensor Networks", P. Rentala, R. Musunuri, S. Gandham, U. Saxena. Survey Paper submitted as per the requirements of Mobile Computing (CS 6392) Course, University of Texas at Dallas.
- [3] "Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring", A. Mainwaring, J. Polastre, R. Szewczyk, D. Culler, J. Anderson. WSNA '02, Sept 28, 2002, Atlanta, Georgia, USA.
- [4] "An Overview of Wireless Sensor Network and Applications", V. Pajaravivarma, Y. Yang, T. Yang, Central Connecticut State University, 2003 IEEE.
- [5] "The Platforms enabling Wireless Sensor Networks", J. Hill, M. Horton, R. Kling, L. Krishnamurthy. COMMUNICATIONS OF THE ACM, June 2004/Vol.47, No.6.
- [6] "A Survey on Wireless Mesh Networks", I. Akyildiz, Georgia Institute of Technology, 2005.
- [7] "Lower Protocol Layers for Wireless Sensor Networks", A. Koubaa, M. Alves, E. Tovar, Polytechnic Institute of Porto, 2005.
- [8] "Wireless Sensor Networks", F. Lewis, University of Texas at Arlington, 2004.
- [9] Μεταπτυχιακή Εργασία, 'Σχεδιασμός και Ανάπτυξη ενός Γενικού Περιβάλλοντος για Υλοποίηση Εφαρμογών σε Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων', Γεώργιος Μυλωνάς, Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, 2005.
- [10] Διπλωματική Εργασία, 'Μελέτη Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων', Στέφανος Κοκκορίκος, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2008.
- [11] Διπλωματική Εργασία, 'Σχεδιασμός Προσομοίωσης και Αξιολόγηση Πρωτοκόλλων Επικοινωνίας για Ασύρματα Δίκτυα Μικροαισθητήρων', Αθανάσιος Κίναλης, Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, 2005.
- [12] Διπλωματική εργασία, 'Δίκτυα έξυπνης σκόνης', Γ. Μυλωνάς, Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, 2003.
- [13] Διπλωματική εργασία, 'Δίκτυα έξυπνης σκόνης', Α. Αντωνίου, Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, 2003.

[14] Πτυχιακή εργασία, 'Σχεδιασμός και ανάπτυξη ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων για την παρακολούθηση περιβαλλοντικών συνθηκών', Ν. Γιαννόπουλος, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο (Ε.Α.Π.), 2008.

[15] Ηλεκτρονική εγκυκλοπείδεια <http://en.wikipedia.org>.

[16] Το επίσημο site της εταιρίας CrossBow, <http://www.xbow.com>.

[17] Το επίσημο site της εταιρίας Moteiv, www.moteiv.com.

[18] Το επίσημο site για το TinyOS, <http://www.tinyos.net>.