



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΗΠΕΙΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: «Τεχνικές Επεξεργασίας Σημάτων σε Δίκτυα Αισθητήρων»

ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ: Κουσιορή Μαρίνα
Α.Μ.: 9186



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Γ.Τάσης

ΑΡΤΑ 2014

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1-Εισαγωγή	4
1.1 Εισαγωγή.....	4
1.2 Εφαρμογές.....	7
1.2.1 Συλλογή Περιβαλλοντικών Δεδομένων	8
1.2.2 Παρακολούθηση Ασφαλείας.....	10
1.2.3 Εφαρμογές Παρακολούθησης Αντικειμένων	12
1.3 Μετρικές Αξιολόγησης των Συστημάτων Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων	13
1.3.1 Διάρκεια Ζωής Δικτύου	13
1.3.2 Κάλυψη	14
1.3.3 Κόστος και Ευκολία Ανάπτυξης	15
1.3.4 Χρόνος Απόκρισης.....	15
1.3.5 Χρονική Ακρίβεια	16
1.3.6 Ασφάλεια.....	16
1.3.7 Αποτελεσματικός Ρυθμός Λήψης Δειγμάτων	17
1.4 Ανεξάρτητες Μετρικές Αξιολόγησης των Κόμβων	18
1.4.1 Ισχύς.....	18
1.4.2 Ευελιξία.....	18
1.4.3 Επικοινωνία.....	18
1.4.4 Υπολογισμοί.....	19
1.4.5 Συγχρονισμός	19
1.4.6 Μέγεθος και Κόστος	20
1.4.7 Δυνατότητες του Υλικού.....	20
Κεφάλαιο 2 – Αρχιτεκτονική και Πρωτόκολλα.....	23
2.1 Εισαγωγή.....	23
2.2 Αρχιτεκτονική Επικοινωνίας Ενός Ασύρματου Δικτύου Αισθητήρων.....	24
2.3 Αρχιτεκτονική της Στοιβάς Πρωτοκόλλων στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων.....	25
2.4 Πρωτόκολλα.....	26
2.4.1 Ταξινόμηση των Πρωτοκόλλων Δρομολόγησης στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων	26
2.4.2 Πρωτόκολλα Δρομολόγησης για τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων	27
2.5 Συμπεράσματα	32
Κεφάλαιο 3 – Επεξεργασία Σήματος	32
3.1 Εισαγωγή.....	32
3.2 Χαρακτηριστικά της Μετάδοσης στους Αισθητήρες.....	34
3.3 Αναγνώριση της σκηνής ή του αντικειμένου	34
3.4 Κλασσικές Μέθοδοι επεξεργασίας Σήματος.....	35
3.4.1 Μέθοδος της Συσχέτισης.....	35
3.4.2 Εντοπισμός πηγής στο Χώρο και στο Χρόνο.....	36
3.4.3 Συνεργατική επεξεργασία σήματος.....	40
3.4.4 Κατανεμημένη εκτίμηση σήματος, ανίχνευση και ταξινόμηση.....	43
3.4.5 Ανίχνευση του φάσματος με τη χρήση δικτύων αισθητήρων	44
3.4.5.1 Εκτίμηση του φάσματος με τη χρήση γενικευμένων προβολών.....	46
3.4.5.2 Κατανεμημένοι Αλγόριθμοι για τον υπολογισμό της γενικευμένης προβολής.....	47
3.4.5.3 Πολυαισθητηριακή σύντηξη δεδομένων.....	51
3.4.5.4 Μοντέλο σύντηξης δεδομένων.....	51
3.4.5.5 Κάλυψη με βάση το μοντέλο σύντηξης	53
3.4.5.6 Πλήρης κάλυψη με χρήση του βέλτιστου εύρους σύντηξης.....	54
Βιβλιογραφία.....	55

Πίνακας Εικόνων

<i>Εικόνα : Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων</i>	5
<i>Εικόνα : Κόμβος Αισθητήρα</i>	7
<i>Εικόνα : Εφαρμογή περιβαλλοντικής παρακολούθησης</i>	9
<i>Εικόνα : Σύστημα ανίχνευσης φωτιάς</i>	12
<i>Εικόνα : Αρχιτεκτονική επικοινωνίας</i>	24
<i>Εικόνα : Στοιβα πρωτοκόλλων</i>	25
<i>Εικόνα : Σύστημα Αισθητήρων</i>	33
<i>Εικόνα : Διαχωρισμός του χώρου</i>	38
<i>Εικόνα : Συνεργατική επεξεργασία σήματος</i>	40
<i>Εικόνα : Σύστημα ανίχνευσης ήχου</i>	45
<i>Εικόνα : Απεικόνιση του αλγορίθμου ring</i>	49
<i>Εικόνα : Απεικόνιση του αλγορίθμου star</i>	50

Κεφάλαιο 1-Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

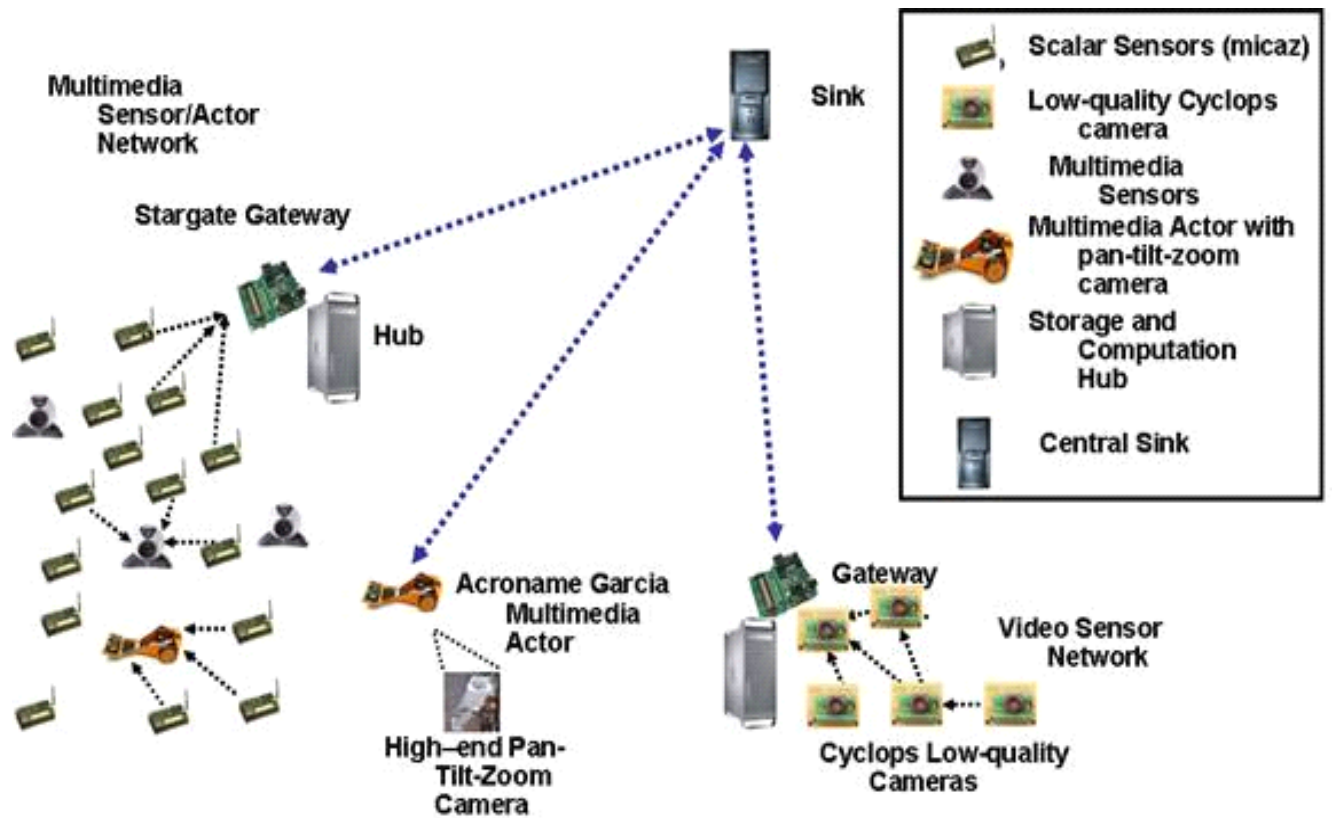
Ο τομέας των ασύρματων δικτύων αισθητήρων ανήκει στην κατηγορία αυτών που συνεχώς βελτιώνονται και αναπτύσσονται καθώς καταφέρνει να συνδυάσει σε μία συσκευή τις ιδιότητες της ανίχνευσης, του υπολογισμού αλλά και της επικοινωνίας. Διαμέσου διαφόρων πρωτοκόλλων καταφέρνουν να επικοινωνούν μεταξύ τους με αρκετά αποτελεσματικό τρόπο ο οποίος μάλιστα πολλές φορές μεταφέρεται διαμέσου του διαδικτύου στον φυσικό κόσμο.

Το πραγματικό συγκριτικό πλεονέκτημα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων βρίσκεται στην ικανότητα τους τόσο να αυτό – οργανώνονται όσο και να συνεργάζονται ώστε να δημιουργήσουν ένα δίκτυο. Η χρήση των δικτύων αυτών ποικίλει, καθώς οι εφαρμογές που έχουν σχηματιστεί γύρω από αυτά είναι πολλές και πολλές φορές αφορούν σε παρακολούθηση πραγματικού χρόνου σε δυσπρόσιτα περιβάλλοντα, στρατιωτικές εφαρμογές, εφαρμογές στην υγεία και έξυπνα κτίρια [1].

Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά ενσύρματα συστήματα, το κόστος ανάπτυξης για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι μηδαμινό καθώς πλέον η εγκατάσταση καλωδίων χιλιάδων μέτρων έχει αντικατασταθεί από συσκευές πολύ μικρότερου μεγέθους όπως φαίνονται στην παρακάτω εικόνα. Ένα τέτοιο δίκτυο μπορεί πολύ εύκολα να επεκταθεί με την πρόσθεση απλά και μόνο κάποιων επιπλέον συσκευών χωρίς αυτό να επιφέρει καμία αύξηση στην πολυπλοκότητα του δικτύου.

Ακόμη, τα δίκτυα αυτά έχουν τη δυνατότητα διαμέσου μηχανισμών να προσαρμόζονται γρήγορα σε δυναμικά περιβάλλοντα. Οι μηχανισμοί αυτοί μπορούν να ανταποκριθούν σε αλλαγές όπως η τοπολογία του δικτύου ή οι αλλαγές ανάμεσα σε διαφορετικές λειτουργίες.

Επιπλέον, και σε αντίθεση πάλι με τα παραδοσιακά δίκτυα, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων δεν χρειάζεται να επικοινωνούν άμεσα με την κοντινότερη πηγή τροφοδοσίας ή το σταθμό βάσης παρά μόνον με τους γειτονικούς τους σταθμούς. Στα δίκτυα αυτά δεν απαιτείται προσχεδιασμένη δομή καθώς κάθε κόμβος αισθητήρα εντάσσεται μόνος του στο δίκτυο και αποτελεί μέρος αυτού. Τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται σε peer to peer δίκτυα μεταφέρουν αποτελεσματικά τα δεδομένα ανάμεσα σε χιλιάδες κατανεμημένες συσκευές με έναν multi – hop τρόπο. Επιπροσθέτως, υποστηρίζουν αυτόματα την είσοδο νέων κόμβων και την επέκταση του δικτύου με σκοπό να καλύψουν μεγαλύτερες γεωγραφικά περιοχές. Και δεν είναι μόνο αυτό, ένα τέτοιο σύστημα μπορεί αυτόματα να επαναπροσδιοριστεί κατά την αποτυχία και την απώλεια κόμβων [1].



Εικόνα : Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων

Αντίθετα με τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας όπου υπάρχει πτώση στην ποιότητα της υπηρεσίας όταν σε αυτά εισέλθουν πολλά κινητά τηλέφωνα, στα δίκτυα αισθητήρων η συνδεσιμότητα ενισχύεται όταν εισέλθουν πολλοί καινούριοι κόμβοι. Η πυκνότητα των κόμβων φέρνει τα δίκτυα αυτά στο σημείο να μπορούν να καλύψουν περιοχές απείρου μεγέθους.

Η επιστημονική έρευνα των ημερών στρέφεται ως προς την ανάπτυξη αλγορίθμων τέτοιων όπου θα συντελούν στη συγκέντρωση δεδομένων, στη δρομολόγηση και στην επεξεργασία του σήματος ενώ ταυτόχρονα θα προσφέρουν χαμηλή κατανάλωση. Ο νόμος του Moore υποστηρίζει ότι οι συσκευές τείνουν προς το να γίνουν μικρότερες σε μέγεθος και όχι μόνο να ενισχύονται στο υπάρχον μέγεθός τους. Η μείωση του μεγέθους θεωρείται απαραίτητη για να παράγονται με τον τρόπο αυτό συσκευές όσο δυνατότερο χαμηλότερου κόστους για ένα πολύ μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών [2].

Το δυσκολότερο σημείο σε ότι αφορά το παραπάνω είναι ο περιορισμός που τίθεται σε ότι αφορά την κατανάλωση ισχύος. Καθώς ελαχιστοποιείται το φυσικό μέγεθος ελαχιστοποιούνται και τα ενεργειακά αποθέματα. Αποτέλεσμα του περιορισμού αυτού σε ότι αφορά την ενέργεια είναι να τίθενται νέα θέματα που αφορούν στις αρχιτεκτονικές των δικτύων αυτών. Πολλές συσκευές, όπως τα κινητά τηλέφωνα, μειώνουν την κατανάλωση ισχύος που έχουν με χρήση εξειδικευμένου επικοινωνιακού υλικού που παρέχει χαμηλή κατανάλωση ισχύος υλοποιώντας όλα εκείνα τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που είναι απαραίτητα για την κατανάλωση αυτή.

Παρόλο τους περιορισμούς που παρουσιάζουν σε ενέργεια, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχουν τα μοναδικά χαρακτηριστικά της ευελιξίας αλλά και της πληθώρας των εφαρμογών. Το μεγάλο εύρος εφαρμογών βέβαια καθιστά ιδιαίτερα δύσκολο το να αναπτυχθεί ένα και μόνο πρωτόκολλο το οποίο θα καλύπτει όλες τις εφαρμογές.

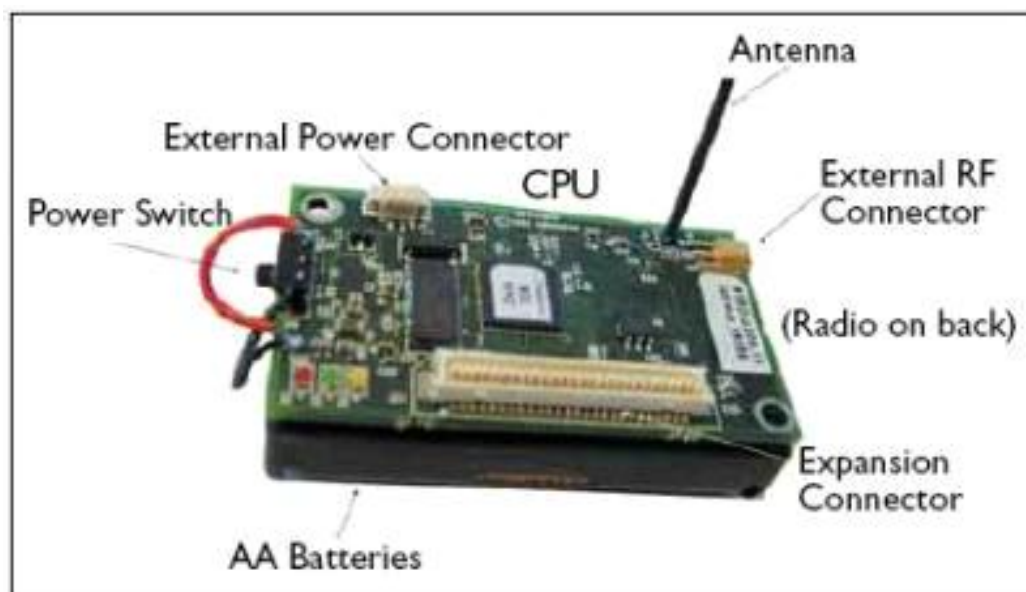
Η βασική αρχή των ασύρματων δικτύων αισθητήρων βασίζεται σε μία πολύ απλή εξίσωση : Ανίχνευση + CPU + Radio = Χιλιάδες διαθέσιμες εφαρμογές. Από τη στιγμή που θα γίνουν κατανοητές από όλους οι δυνατότητες των αισθητήρων θα «ξεπηδήσουν» άπειρες νέες εφαρμογές. Βέβαια, ο συνδυασμός όλων αυτών, δηλαδή των CPUs των Radios αλλά και των αισθητήρων σε ένα δίκτυο απαιτεί πλήρη κατανόηση τόσο των δυνατοτήτων όσο και των περιορισμών σε κάθε ένα από τα στοιχεία που λαμβάνουν χώρα στο δίκτυο αλλά επίσης και πλήρη κατανόηση των μοντέρνων τεχνολογιών δικτύωσης αλλά και της θεωρίας των κατανεμημένων συστημάτων [2].

Κάθε κόμβος θα πρέπει να είναι σχεδιασμένος με τρόπο τέτοιο ώστε να προσφέρει όλες εκείνες τις δυνατότητες που απαιτούνται για να σχεδιαστεί το δίκτυο κατά την ανάπτυξη του ενώ ταυτόχρονα να αντιμετωπίζει όλους εκείνους τους περιορισμούς που αφορούν στο μέγεθος, το κόστος και την κατανάλωση ισχύος.

Ο κόμβος αισθητήρα αποτελείται από πέντε βασικές ενότητες : αισθητήρες, επεξεργαστής, πομποδέκτης ραδιοσυχνοτήτων, μνήμη και τροφοδοσία. Οι αισθητήρες είναι ηλεκτρονικές συσκευές που κάνουν περιβαλλοντικές μετρήσεις όπως η θερμοκρασία, η υγρασία ή ο ήχος, ή ανιχνεύουν την παρουσία κάποιων αντικειμένων ή γεγονότων. Οι ανιχνευόμενες τιμές στέλνονται στον επεξεργαστή ο οποίος με τη σειρά του ενεργοποιεί το λειτουργικό σύστημα του αισθητήρα και διαχειρίζεται τις διαδικασίες οι οποίες πρέπει να εκτελεστούν με βάση την εργασία που καθορίστηκε [3].

Ο πομποδέκτης ραδιοσυχνοτήτων επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ των κόμβων αισθητήρων, έτσι ώστε να μπορούν να λάβουν ενημερώσεις από το συλλέκτη δεδομένων αλλά και για να του στείλουν τα δεδομένα [3].

Το βασικότερο στοιχείο σε έναν κόμβο αισθητήρα, είναι η μονάδα τροφοδοσίας που συνήθως αποτελείται από ένα ζευγάρι μπαταρίες τύπου AA το μέγεθος των οποίων καθορίζει και το μέγεθος του ίδιου του αισθητήρα [3].



Εικόνα : Κόμβος Αισθητήρα

1.2 Εφαρμογές

Το πεδίο δραστηριότητας των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι ιδιαίτερα ευρύ με πολλές εφαρμογές να δημιουργούνται αλλά και να παρουσιάζονται καθημερινά. Οι κυριότεροι τομείς στους οποίους απευθύνονται είναι η συλλογή περιβαλλοντικών δεδομένων, η ασφάλεια και η παρακολούθηση αντικειμένων.

1.2.1 Συλλογή Περιβαλλοντικών Δεδομένων

Η εφαρμογή που αφορά στη συλλογή περιβαλλοντικών δεδομένων βοηθά τους επιστήμονες να συλλέξουν δεδομένα από σημεία του ορίζοντα για κάποια συγκεκριμένη χρονική περίοδο έτσι ώστε να εντοπίσουν τάσεις και αλληλεξαρτήσεις. Σκοπός τους είναι η συλλογή δεδομένων από εκατοντάδες σημεία, διάχυτα σε μια περιοχή και η περαιτέρω ανάλυσή τους. Ιδιαίτερα ενδιαφέρον για τους επιστήμονες είναι η διατήρηση και η συλλογή δεδομένων για μήνες ή χρόνια ούτως ώστε να είναι εύκολο να ανιχνευθούν περιβαλλοντικές και καιρικές τάσεις. Για να έχουν νόημα οι συλλογές αυτές θα πρέπει να γίνονται σε τακτικές χρονικές περιόδους και οι κόμβοι να παραμένουν σε ήδη γνωστές τοποθεσίες [4].

Σε επίπεδο δικτύου, η εφαρμογή συλλογής περιβαλλοντικών δεδομένων χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη ενός τεράστιου αριθμού αισθητήρων που καταγράφουν συνεχώς δεδομένα και τα μεταδίδουν στους σταθμούς βάσεις ώστε να αποθηκευτούν με τη χρήση παραδοσιακών μεθόδων. Τα δίκτυα αυτά συνήθως υποστηρίζουν πολύ αργούς ρυθμούς δεδομένων και μακρά διάρκεια ζωής. Σε ένα κλασικό δίκτυο αισθητήρων, οι κόμβοι κατανέμονται σε ίσες αποστάσεις στο εξωτερικό περιβάλλον ενώ η απόσταση ανάμεσα στους γειτονικούς είναι η ελάχιστη δυνατή. Μετά την εφαρμογή τους οι κόμβοι διαμορφώνουν την τοπολογία του δικτύου και αξιολογούν τις βέλτιστες στρατηγικές δρομολόγησης. Η δρομολόγηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί με σκοπό τη μεταγωγή των δεδομένων από τον αρχικό κόμβο σε ένα κεντρικό σημείο όπου γίνεται η συλλογή τους.

Στις εφαρμογές περιβαλλοντικής παρακολούθησης (εικόνα), δεν είναι απαραίτητο να σχηματίσουν μόνοι τους οι κόμβοι τη βέλτιστη δρομολόγηση, ενώ αντίθετα είναι εφικτό να υπολογιστεί η βέλτιστη διαδρομή εκτός δικτύου και έπειτα να μεταφερθεί η πληροφορία αυτή στους κόμβους. Αυτό είναι εφικτό λόγω του ότι η φυσική τοπολογία του δικτύου είναι σταθερή. Η μεταβλητή φύση της RF επικοινωνίας ενδεχόμενα να δημιουργήσει προβλήματα στην επικοινωνία των δύο κόμβων παρόλο που η τοπολογία του δικτύου είναι σταθερή [4].

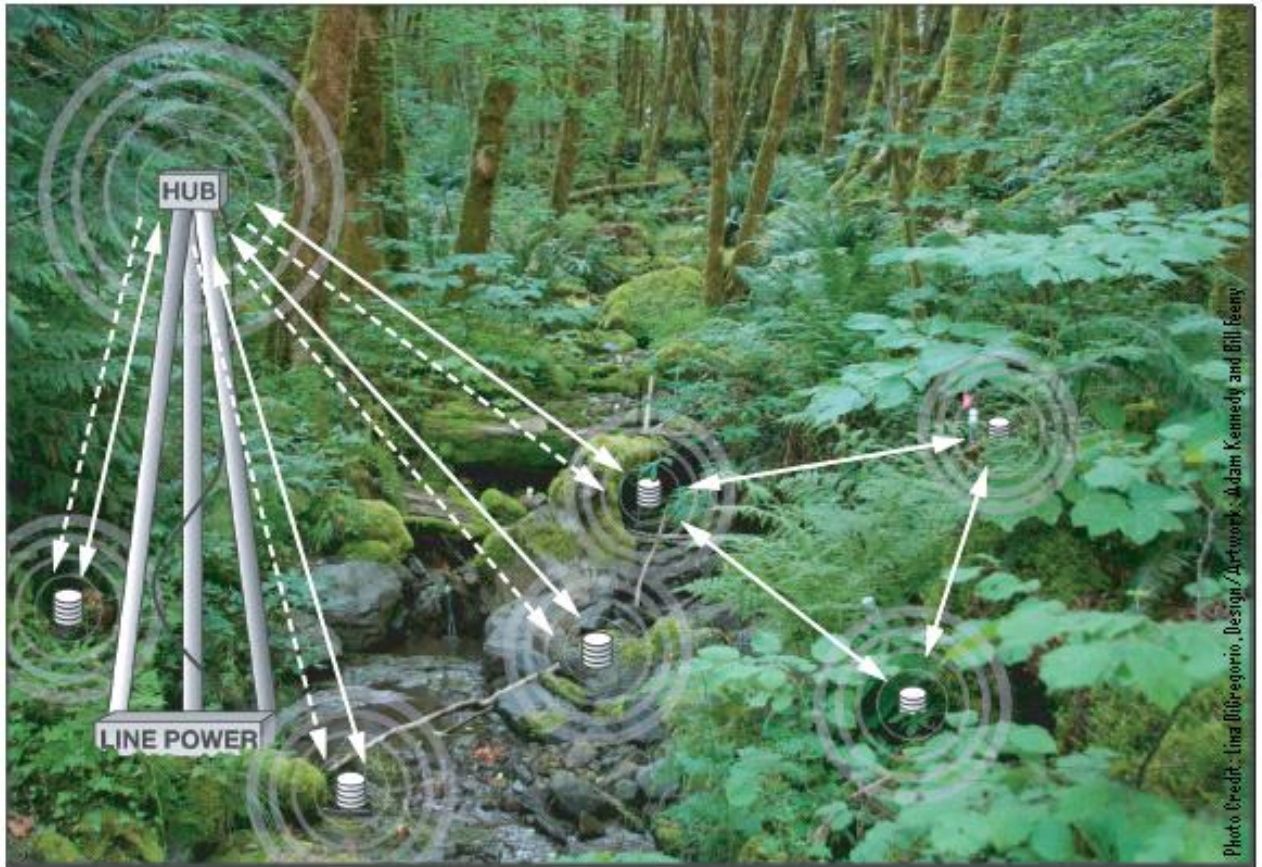
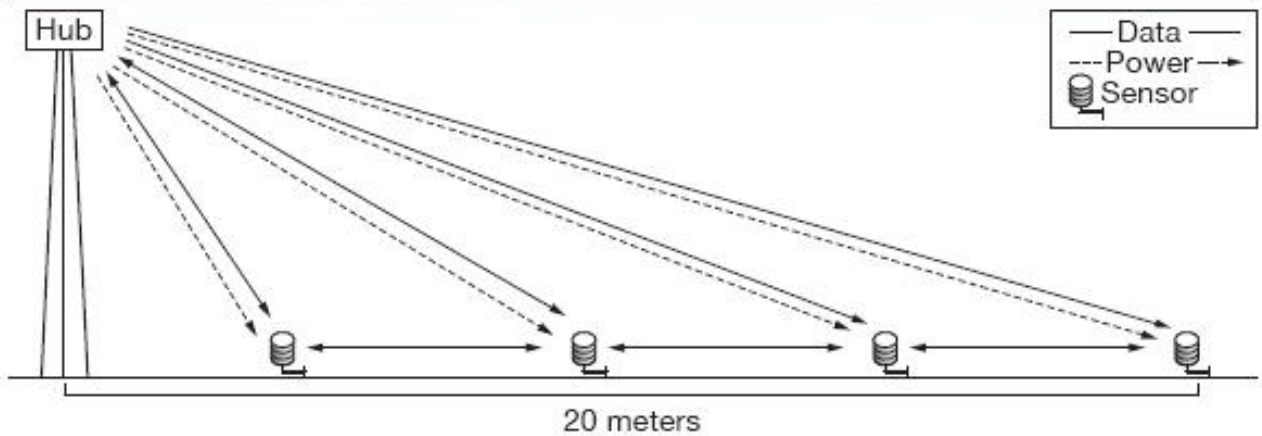


Photo Credit: Luca Pellegrino, Design/Network: Adam Kennedy and Bill Feery



Εικόνα : Εφαρμογή περιβαλλοντικής παρακολούθησης

Οι εφαρμογές περιβαλλοντικής παρακολούθησης βασίζονται σε στρατηγικές δρομολόγησης δέντρου όπου το κάθε δέντρο καταλήγει σε κόμβους υψηλών δυνατοτήτων οι οποίοι συλλέγουν τα δεδομένα. Τα δεδομένα ταξιδεύουν από τον ένα κόμβο στον άλλο ώσπου τελικά να φτάσουν στον κόμβο – συλλέκτη. Από τη στιγμή που θα αρχίσει να λειτουργεί το δίκτυο, κάθε κόμβος δίνει

εντολή στους αισθητήρες του να λάβουν περιοδικές μετρήσεις και μεταδίδει τα δεδομένα διαμέσου του δέντρου στο σταθμό βάσης. Οι περισσότερες μετρήσεις γίνονται σε διαστήματα κάποιων λεπτών καθώς οι παράμετροι που μετρούνται συνήθως όπως η θερμοκρασία ή η υγρασία δεν αλλάζουν με γρήγορους ρυθμούς ώστε να απαιτούν περισσότερες μετρήσεις σε μικρότερο χρονικό διάστημα [4].

Επιπλέον, οι εφαρμογές περιβαλλοντικής παρακολούθησης δεν έχουν αυστηρούς περιορισμούς σε ότι αφορά την καθυστέρηση. Τα δεδομένα μπορούν να ταξιδεύουν στο δίκτυο για κάποια χρονική περίοδο χωρίς να επηρεάζεται σημαντικά η απόδοση της εφαρμογής. Σε γενικές γραμμές, τα δεδομένα συλλέγονται για μελλοντική επεξεργασία και όχι για λειτουργίες πραγματικού χρόνου.

Για να παραταθεί στο έπακρο η διάρκεια ζωής του δικτύου, κάθε επικοινωνία πρέπει να είναι τέλεια προγραμματισμένη και οι αισθητήρες να παραμένουν ανενεργοί για μεγάλα διαστήματα. Εάν δε γίνει αυτό τότε θα υπάρχει πρόβλημα στην επικοινωνία. Είναι αναμενόμενο ότι κάποιοι από τους κόμβους θα χαθούν όσο περνά η διάρκεια ζωής του δικτύου και ότι περιοδικά το δίκτυο θα πρέπει να επαναπροσδιοριστεί για να διαχειριστεί τις απώλειες αυτές.

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των απαιτήσεων που αφορούν στην περιβαλλοντική παρακολούθηση είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής, ο ακριβής συγχρονισμός, οι χαμηλοί ρυθμοί δεδομένων και οι σχετικά σταθερές τοπολογίες. Επιπλέον, δεν είναι απαραίτητο τα δεδομένα να μεταδίδονται στο σημείο συλλογής τους στον πραγματικά χρόνο. Η μετάδοσή τους μέσα στο δίκτυο μπορεί να καθυστερήσει με σκοπό να μεγιστοποιήσει την ευφυΐα του δικτύου [4].

1.2.2 Παρακολούθηση Ασφαλείας

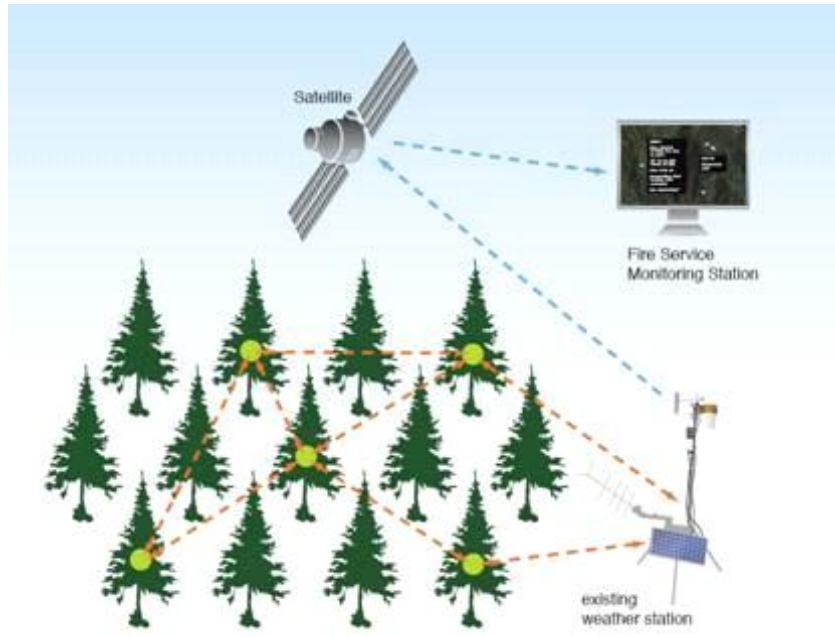
Η δεύτερη κατηγορία των εφαρμογών των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι αυτή της παρακολούθησης ασφαλείας. Τα δίκτυα που αφορούν στην κατηγορία αυτή αποτελούνται από κόμβους που τοποθετούνται σε σταθερά σημεία και κάνουν συνεχή ανίχνευση του χώρου ώστε να εντοπίσουν κάποιο ασυνήθιστο γεγονός εάν αυτό συμβεί. Σημαντική διαφορά ανάμεσα στα δίκτυα αυτά και στα δίκτυα περιβαλλοντικής παρακολούθησης είναι ότι τα δίκτυα που αφορούν στην ασφάλεια ουσιαστικά δεν συλλέγουν δεδομένα. Το γεγονός αυτό έχει σημαντικές επιρροές στη βέλτιστη αρχιτεκτονική του δικτύου. Κάθε κόμβος πρέπει να παρακολουθεί σε πολύ συχνά χρονικά διαστήματα την κατάσταση των αισθητήρων του αλλά να μεταδίδει τα δεδομένα μόνο όταν παρατηρήσει κάποια αλλαγή ή παραβίαση της ασφάλειας [5].

Η άμεση και αξιόπιστη μετάδοση των μηνυμάτων που αφορούν σε παραβίαση ασφαλείας είναι η πρωταρχική απαίτηση του συστήματος. Επιπλέον, ιδιαίτερα σημαντικό είναι να διασφαλιστεί ότι ο κάθε κόμβος είναι ακόμη παρών και λειτουργεί αποτελεσματικά. Εάν κάποιος κόμβος απενεργοποιηθεί ή αποτύχει θεωρείται παραβίαση ασφαλείας και έτσι πρέπει να αναφερθεί η απώλεια αυτή άμεσα. Επιπλέον, το δίκτυο πρέπει να διαμορφωθεί με τρόπο τέτοιο ώστε ο κόμβοι να είναι υπεύθυνοι ως προς το να ενημερώνουν ο ένας τον άλλον για την τρέχουσα κατάστασή τους.

Σε αντίθεση με τα δίκτυα περιβαλλοντικής παρακολούθησης, σε ένα δίκτυο ασφαλείας η βέλτιστη τοπολογία είναι μία γραμμική τοπολογία η οποία διαμορφώνει έναν κύκλο Hamilton στον δίκτυο. Η κατανάλωση ισχύος για κάθε κόμβο είναι εκθετική και ίση με τον αριθμό των παιδιών που έχει ο κάθε κόμβος ενώ ο έλεγχος για τη λειτουργία των κόμβων πρέπει να γίνεται τουλάχιστον μία φορά κάθε ώρα [5].

Η μέγιστη κατανάλωση στα δίκτυα ασφαλείας εντοπίζεται στους αυστηρούς περιορισμούς που τίθενται σε ότι αφορά την καθυστέρηση που σχετίζεται πάντα με την ενεργοποίηση του συναγερμού όταν εντοπισθεί κάποια παραβίαση. Από τη στιγμή που αυτή θα γίνει αντιληπτή, πρέπει να ανακοινωθεί άμεσα στο σταθμό βάσης και η καθυστέρηση σε ότι αφορά τη μεταφορά αυτών των δεδομένων είναι σημαντική για τις επιδόσεις του δικτύου. Οι χρήστες απαιτούν η ενεργοποίηση του συναγερμού να γίνεται δευτερόλεπτα αφού ανιχνευθεί η παραβίαση γεγονός που σημαίνει ότι το δίκτυο πρέπει να είναι σε θέση να μεταδίδει άμεσα της πληροφορίες των γειτονικών κόμβων έτσι ώστε να μην υπάρχει καμία καθυστέρηση [5].

Σε ένα σύστημα ανίχνευσης φωτιάς, ο συναγερμός δεν ενεργοποιείται σχεδόν ποτέ και αν ενεργοποιηθεί ένα πολύ μεγάλο ποσοστό ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μετάδοση των δεδομένων. Η μείωση της καθυστέρησης κατά τη μετάδοση οδηγεί σε υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας καθώς οι κόμβοι που κάνουν τη δρομολόγηση πρέπει να ελέγχουν το κανάλι αρκετά συχνότερα.



Εικόνα : Σύστημα ανίχνευσης φωτιάς

1.2.3 Εφαρμογές Παρακολούθησης Αντικειμένων

Ένα τρίτο πεδίο στο οποίο συναντώνται εφαρμογές των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι αυτό της παρακολούθησης και του εντοπισμού ενός συγκεκριμένου αντικειμένου σε μία περιοχή. Είναι πολλές οι περιπτώσεις εκείνες κατά τις οποίες είναι επιθυμητός ο εντοπισμός αντικειμένων αξίας ή ανθρώπων.

Τα τρέχοντα συστήματα ελέγχου αποθήκευσης προσπαθούν να κάνουν εντοπισμό των αντικειμένων κάνοντας χρήση του τελευταίου σημείου από το οποίο πέρασε το αντικείμενο το οποίο βέβαια δεν είναι αρκετό για να εντοπιστεί το τρέχων σημείο του αντικειμένου [5].

Με τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, τα αντικείμενα μπορούν να εντοπιστούν απλά και μόνο εάν προσαρμοστεί πάνω σε αυτά ένας μικρός κόμβος αισθητήρα ο οποίος θα εντοπίζεται καθώς το αντικείμενο θα κινείται μέσα σε ένα χώρο στον οποίο θα έχουν τοποθετηθεί αισθητήρες σε γνωστές θέσεις. Αντί για περιβαλλοντικές μετρήσεις οι κόμβοι αυτοί τοποθετούνται για να ανιχνεύσουν RF μηνύματα από τους κόμβους που έχουν τοποθετηθεί πάνω στα αντικείμενα. Σε συνδυασμό με αυτούς μπορεί να δημιουργηθεί μία βάση δεδομένων η οποία θα καταγράφει την τοποθεσία των

αντικειμένων σε σχέση πάντα με τις ήδη γνωστές θέσεις των κόμβων. Με τον τρόπο αυτό είναι πάντα εφικτό να γνωρίζει κανείς την τρέχουσα θέση ενός αντικειμένου και όχι μόνο την προηγούμενη.

Σε αντίθεση με τα δίκτυα ασφαλείας, τα δίκτυα εντοπισμού θέσης έχουν συνεχείς αλλαγές σε τοπολογίες καθώς οι κόμβοι μετακινούνται στο δίκτυο και ενώ η συνδεσιμότητα μεταξύ των σταθερών κόμβων παραμένει σταθερή η συνδεσιμότητα μεταξύ των κινητών κόμβων αλλάζει συνεχώς. Επιπλέον, οι κόμβοι που είναι τοποθετημένοι πάνω στα αντικείμενα αλλάζουν συνεχώς καθώς τα αντικείμενα μπαίνουν και βγαίνουν στο σύστημα [5].

1.3 Μετρικές Αξιολόγησης των Συστημάτων Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

Η ανάπτυξη και η εγκατάσταση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων συνοδεύεται πάντα από υψηλές απαιτήσεις κυρίως λόγω της ανάπτυξης της τεχνολογίας. Οι βασικές μετρικές αξιολόγησής τους είναι η διάρκεια ζωής, η κάλυψη, το κόστος, η ευκολία στην ανάπτυξη, ο χρόνος αντίδρασης, η ακρίβεια, η ασφάλεια και ο ρυθμός δεδομένων. Πολλές φορές, ίσως χρειαστεί να μειωθεί η επίδοση κάποιας μετρικής για να αυξηθεί κάποιας άλλης.

1.3.1 Διάρκεια Ζωής Δικτύου

Ιδιαίτερα σημαντική για κάθε ανάπτυξη δικτύου αισθητήρων είναι η αναμενόμενη διάρκεια ζωής του. Ο σκοπός τόσο των εφαρμογών περιβαλλοντικής παρακολούθησης όσο και των εφαρμογών ασφαλείας είναι να υπάρχουν οι κόμβοι στο υπό παρακολούθηση πεδίο ελεύθεροι για μήνες ή χρόνια [6].

Ο κυριότερος περιορισμός για τη διάρκεια ζωής του δικτύου είναι η τροφοδοσία σε ότι αφορά την ενέργεια. Κάθε κόμβος πρέπει να είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε να διαχειρίζεται την ενέργειά του με τρόπο τέτοιο που θα παρατείνει τη διάρκεια ζωής του δικτύου. Σε πολλές εφαρμογές, δεν είναι τόσο σημαντική η μέση διάρκεια ζωής των κόμβων αλλά η ελάχιστη. Στην περίπτωση των δικτύων ασφαλείας, κάθε κόμβος πρέπει να έχει διάρκεια χρόνων και η απώλεια ακόμη και ενός επιφέρει αδυναμία στο συνολικό δίκτυο.

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι η ευκολία στην εγκατάσταση το οποίο όμως συχνά αναιρείται λόγω των απαιτήσεων ενέργειας των κόμβων. Στις περισσότερες των περιπτώσεων οι κόμβοι πρέπει να αυτοτροφοδοτούνται και να έχουν τόση ενέργεια αποθηκευμένη ώστε να διαρκέσουν για χρόνια ή να είναι σε θέση να επανατροφοδοτούνται από το περιβάλλον. Και οι δύο παραπάνω περιπτώσεις απαιτούν η μέση κατανάλωση ενέργειας των κόμβων να είναι όσο πιο χαμηλή γίνεται.

Ο πιο σημαντικός παράγοντας που καθορίζει τη διάρκεια ζωής είναι η κατανάλωση ισχύος του ράδιο. Σε έναν ασύρματο αισθητήρα το ράδιο καταναλώνει το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας. Η κατανάλωση αυτή μπορεί να περιοριστεί εάν περιοριστεί η ισχύς εκπομπής ή εάν μικρύνει ο κύκλος ζωής του ράδιο και στις δύο περιπτώσεις όμως συμπεριλαμβάνονται αρνητικές επιρροές για τις άλλες μετρικές.

1.3.2 Κάλυψη

Η κάλυψη, είναι και αυτή ένα από τα πολύ σημαντικά χαρακτηριστικά για ένα ασύρματο δίκτυο καθώς είναι πάντα ένα μεγάλο πλεονέκτημα για το δίκτυο να έχει τη δυνατότητα να καλύπτει τη μέγιστη δυνατή περιοχή. Σημαντικό είναι να έχει κανείς υπόψιν του ότι η κάλυψη του δικτύου δεν είναι ποτέ ίση με το εύρος της ασύρματης επικοινωνίας. Οι multi-hop τεχνικές επικοινωνίας μπορούν να επεκτείνουν την κάλυψη του δικτύου πέραν της κάλυψης της ράδιο-τεχνολογίας. Θεωρητικά, υπάρχει η δυνατότητα της κάλυψης επ' άοριστον, στην πραγματικότητα όμως για δεδομένο ρυθμό μετάδοσης, τα multi-hop πρωτόκολλα αυξάνουν την κατανάλωση ισχύος των κόμβων γεγονός το οποίο μικραίνει τη διάρκεια ζωής του δικτύου. Επιπλέον, απαιτείται η ελάχιστη πυκνότητα κόμβων, η οποία μπορεί να αυξήσει το κόστος εγκατάστασης [1].

Η κλιμάκωση είναι και αυτή ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό των δικτύων αισθητήρων. Ο χρήστης μπορεί να εγκαταστήσει αρχικά ένα πολύ μικρό δοκιμαστικό δίκτυο το οποίο έχει τη δυνατότητα να αυξάνει συνεχόμενα λαμβάνοντας πολλές και διαφορετικές πληροφορίες. Βέβαια, η αύξηση του αριθμού των κόμβων στο σύστημα θα επηρεάσει είτε τη διάρκεια ζωής του δικτύου είτε το ρυθμό δεδομένων.

1.3.3 Κόστος και Ευκολία Ανάπτυξης

Ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι η ευκολία στην ανάπτυξή τους. Για να είναι επιτυχείς μια ανάπτυξη δικτύου θα πρέπει ο κόμβος να έχει τη δυνατότητα να αυτό-προσδιορίζεται. Ιδεατά όλο το σύστημα θα έπρεπε να έχει τη δυνατότητα ώστε να αυτό-προσδιορίζεται σε οποιαδήποτε φυσική θέση και αν βρίσκονται οι κόμβοι.

Τα πραγματικά συστήματα πρέπει να θέσουν περιορισμούς στις τοποθετήσεις των κόμβων καθώς δεν είναι δυνατόν να ανευρεθούν κόμβοι με άπειρο εύρος. Το δίκτυο πρέπει να είναι σε θέση να παρέχει feedback όταν οι περιορισμοί αυτοί παραβιάζονται και δίνονται ενδείξεις πιθανών προβλημάτων. Αυτό απαιτεί ότι ο κάθε κόμβος πρέπει να είναι σε θέση να κάνει αναζήτηση τόσο της σύνδεσης αλλά και της ποιότητάς της [2].

Κατά τη διάρκεια ζωής ενός δικτύου, οι κόμβοι μπορεί να επανατοποθετηθούν ή να μπουκν ανάμεσα τους μεγάλα αντικείμενα τα οποία εμποδίζουν την επικοινωνία. Στην περίπτωση αυτή το δίκτυο θα πρέπει να επαναπροσδιοριστεί με βάση τα νέα δεδομένα και τις νέες απαιτήσεις. Η αρχική τοποθέτηση και ρύθμιση των κόμβων είναι μόνο το πρώτο βήμα στη διάρκεια ζωής του δικτύου.

Οι εφαρμογές ασφάλειας απαιτούν ένα δίκτυο που θα είναι εύρωστο. Πέραν των εκτενών δοκιμών τόσο σε υλικό όσο και σε λογισμικό πριν την εγκατάσταση το σύστημα πρέπει να είναι έτοιμο φτιαγμένο ώστε να αυτό-συντηρείται και όταν κριθεί απαραίτητο να παράγει ερωτήματα ώστε να δεχθεί εξωτερική βοήθεια.

1.3.4 Χρόνος Απόκρισης

Ειδικά στις εφαρμογές που αφορούν σε ασφάλεια αλλά και στην απόκριση των συναγερμών ο χρόνος απόκρισης του συστήματος είναι μία ιδιαίτερα σημαντική μετρική αξιολόγησης. Ένας συναγερμός πρέπει να ενεργοποιείται τη στιγμή που θα ανιχνευθεί η οποιαδήποτε ανωμαλία στη λειτουργία του δικτύου. Παρόλο που οι κόμβοι εκτελούν λειτουργία χαμηλής ισχύος πρέπει να είναι σε θέση να στέλνουν μηνύματα υψηλής προτεραιότητας σε όλο το δίκτυο στο συντομότερο δυνατό χρόνο. Καθώς τα γεγονότα που απαιτούν την ενεργοποίηση του συναγερμού δεν είναι συχνά, μπορούν να συμβούν οποιαδήποτε στιγμή και χωρίς καμία προειδοποίηση.

Ο χρόνος απόκρισης είναι ιδιαίτερα σημαντικός και για τις εφαρμογές περιβαλλοντικής παρακολούθησης που αφορούν σε μηχανές και εξοπλισμό. Πολλοί από τους χρήστες οραματίζονται ότι τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων θα είναι πολύ χρήσιμα εργαλεία για το βιομηχανικό έλεγχο [7].

Η ιδιότητα του χαμηλού χρόνου απόκρισης συχνά συγκρούεται με αυτή της αύξησης της διάρκειας ζωής του δικτύου η οποία μπορεί να επιτευχθεί μόνο εάν οι κόμβοι κάνουν χρήση του ράδιο για μικρές χρονικές περιόδους. Εάν ένας κόμβος ενεργοποιείται κάθε λεπτό με σκοπό να μεταδώσει τα δεδομένα που έχει λάβει είναι αδύνατον να ανταποκριθεί σε εφαρμογές που απαιτούν γρήγορο χρόνο αντίδρασης.

Ο χρόνος απόκρισης μπορεί να βελτιωθεί εάν συμπεριληφθούν στο δίκτυο οι κόμβοι που είναι συνέχεια ενεργοί. Αυτοί μπορούν να ακούσουν τα μηνύματα συναγερμού και να τα προωθήσουν όποτε είναι απαραίτητο.

1.3.5 Χρονική Ακρίβεια

Στις εφαρμογές περιβαλλοντικής παρακολούθησης αλλά και στις εφαρμογές εντοπισμού οι λαμβανόμενες μετρήσεις πρέπει να αντιπαραβάλλονται έτσι ώστε να καθορίζουν τη φύση του υπό μέτρηση φαινομένου. Η ακρίβεια του μηχανισμού συσχέτισης θα εξαρτηθεί από το ρυθμό μετάδοσης του φαινομένου που μετράται. Στην περίπτωση της μέσης θερμοκρασίας ενός κτιρίου τα δείγματα πρέπει να συσχετίζονται κάθε δευτερόλεπτο. Σε περίπτωση όμως σεισμού ο χρόνος αντίδρασης θα πρέπει να είναι της τάξεως των millisecond [7].

Για να επιτευχθεί η χρονική ακρίβεια, το δίκτυο πρέπει να είναι σε θέση ώστε να διατηρεί ένα ενιαίο χρονολογικό σύστημα για επιτυγχάνει συγχρονισμό και επικοινωνία ανάμεσα στους κόμβους.

1.3.6 Ασφάλεια

Η μέτρηση της θερμοκρασίας αλλά και του φωτισμού σε ένα κτίριο φαίνονται να είναι πραγματικά ακίνδυνες, πολλές φορές όμως η διαφύλαξη των πληροφοριών αυτών είναι πολύ σημαντική και κυρίως γιατί σε πολλές περιπτώσεις μπορούν να εξαχθούν από τα δίκτυα αυτά πληροφορίες που αφορούν το σχεδιασμό του κτιρίου που κάνει χρήση του δικτύου. Εάν οι πληροφορίες αυτές

διαρρεύσουν σε λάθος χέρια μπορεί να αποτελέσουν κίνητρο για τη δημιουργία μιας στρατηγικής που θα αφορά σε φυσική επίθεση του κτιρίου.

Σε ότι αφορά τις εφαρμογές ασφαλείας, η διαφύλαξη των δεδομένων είναι καίριας σημασίας όχι μόνο γιατί πρέπει να διασφαλίζεται η ιδιωτικότητα αλλά γιατί θα πρέπει να διασφαλίζεται και η αυθεντικοποίηση των δεδομένων επικοινωνίας. Σε καμία περίπτωση δεν θα έπρεπε να είναι εύκολο να εισχωρεί στο δίκτυο ένα ψεύτικο μήνυμα συναγερμού ή να αναπαράγεται ένα τρέχον [6].

Η χρήση της κρυπτογράφησης και της αυθεντικοποίησης με σκοπό την προστασία του δικτύου «κοστίζει» τόσο σε ενέργεια όσο και σε bandwidth καθώς πρέπει να γίνουν έξτρα υπολογισμοί για να κρυπτογραφηθούν και να αποκρυπτογραφηθούν τα δεδομένα αλλά και να προστεθούν bit αυθεντικοποίησης σε κάθε πακέτο.

1.3.7 Αποτελεσματικός Ρυθμός Λήψης Δειγμάτων

Σε ένα δίκτυο συλλογής δεδομένων, ο ρυθμός λήψης δειγμάτων αποτελεί ιδιαίτερα καθοριστικό παράγοντα αξιολόγησης. Ως αποτελεσματικός ρυθμός λήψης ορίζεται ο ρυθμός με τον οποίο λαμβάνονται τα δεδομένα από κάθε αισθητήρα και επικοινωνούν προς το σημείο συγκέντρωσής τους.

Οι εφαρμογές περιβαλλοντικής παρακολούθησης συχνά απαιτούν λήψη 1-2 δεδομένων κάθε λεπτό. Σε αυτό όμως θα πρέπει να συμπεριληφθεί και η επιρροή της multi-hop επικοινωνίας στην επιτυχία της διάδοσης του μηνύματος σε γειτονικούς κόμβους. Στο δέντρο της συλλογής των δεδομένων ο κάθε κόμβος θα πρέπει να ελέγχει τα δεδομένα που λαμβάνει από όλα τα παιδιά του. Εάν ο κάθε κόμβος στέλνει ένα μήνυμα και ο κόμβος φτάσει τον αριθμό των 30 μηνυμάτων για παράδειγμα θα αναγκαστεί να μεταδώσει πληροφορία 30 φορές μεγαλύτερη. Επιπλέον, θα πρέπει να έχει και τη δυνατότητα να συγκεντρώσει και τα 30 μηνύματα σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Η αύξηση αυτή στην πολυπλοκότητα έχει ιδιαίτερα σημαντικές επιπτώσεις στην επίδοση του δικτύου.

Ένας μηχανισμός ο οποίος θα μπορούσε να αυξήσει τον αποτελεσματικό ρυθμό δεδομένων είναι αυτός της περαιτέρω επεξεργασίας εντός του δικτύου. Για παράδειγμα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν τεχνικές οι οποίες θα επιτύγχαναν χωρική και χρονική συμπίεση με σκοπό να μειώσουν το εύρος ζώνης επικοινωνίας διατηρώντας σταθερό το ρυθμό λήψης δεδομένων. Επιπλέον, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί τεχνική αποθήκευσης έτσι ώστε τα δεδομένα να

συλλέγονται μέσα στο δίκτυο σε υψηλούς ρυθμούς λήψης δεδομένων και για μικρές χρονικές περιόδους [5].

1.4 Ανεξάρτητες Μετρικές Αξιολόγησης των Κόμβων

1.4.1 Ισχύς

Η μεγάλη διάρκεια ζωής των ασύρματων δικτύων αισθητήρων απαιτεί ιδιαίτερα χαμηλή κατανάλωση ισχύος από τους κόμβους. Σε αντίθεση με τα κινητά τηλέφωνα, η μέση ισχύς μετράται σε μw ενώ η λειτουργία έξτρα χαμηλής κατανάλωσης μπορεί να επιτευχθεί μόνο εάν συνδυαστούν τόσο υλικό έξτρα χαμηλής κατανάλωσης όσο και χαμηλός κύκλος ζωής της εφαρμογής.

Κατά τη διάρκεια της ενεργής λειτουργίας το ράδιο των κόμβων καταναλώνει σημαντικά ποσά ενέργειας και για το λόγο αυτό πρέπει να αναπτυχθούν αλγόριθμοι και πρωτόκολλα που θα μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας όπου είναι δυνατό. Αυτό συνήθως μπορεί να επιτευχθεί με χρήση τοπικών υπολογισμών οι οποίοι θα μειώνουν τις ροές των δεδομένων που παράγονται από συγκεκριμένα πρωτόκολλα.

1.4.2 Ευελιξία

Το μεγάλο εύρος εφαρμογών των ασύρματων δικτύων αισθητήρων υποδεικνύει ότι η αρχιτεκτονική των κόμβων πρέπει να είναι ευέλικτη και ευπροσάρμοστη. Κάθε εφαρμογή απαιτεί σχετικά διαφορετική διάρκεια ζωής, ρυθμό δεδομένων, χρόνο απόκρισης αλλά και επεξεργασία των δεδομένων εντός του δικτύου.

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων πρέπει τόσο ευέλικτο όσο να υποστηρίζει πολλές και διαφορετικές συμπεριφορές. Επιπλέον, για λόγους κόστους κάθε συσκευή θα πρέπει να είναι εφοδιασμένη μονάχα με το υλικό και το λογισμικό που απαιτείται για τη συγκεκριμένη εφαρμογή [5].

1.4.3 Επικοινωνία

Εάν οι κόμβοι τοποθετηθούν μακριά ο ένας από τον άλλο ίσως να μην είναι δυνατό να σχηματιστεί ένα δίκτυο συνδεδεμένο ή αρκετά αξιόπιστο. Εάν το εύρος της επικοινωνίας απαιτεί μεγαλύτερη πυκνότητα ενδεχόμενα να χρειαστεί η εγκατάσταση επιπλέον κόμβων έτσι ώστε τα επίπεδα πυκνότητας να φτάσουν στο επιθυμητό επίπεδο. Το εύρος της επικοινωνίας έχει επίσης σημαντική επιρροή και στην απόδοση των κόμβων. Υψηλότεροι ρυθμοί επικοινωνίας σημαίνουν και υψηλότερους ρυθμούς λήψης δειγμάτων και ταυτόχρονα χαμηλότερη κατανάλωση. Καθώς αυξάνεται ο ρυθμός των bit η μετάδοση χρειάζεται λιγότερο χρόνο και άρα απαιτεί λιγότερη ενέργεια.

Βέβαια, μία αύξηση στον ρυθμό των bit θα μπορούσε συχνά να συνοδεύεται από αύξηση στην κατανάλωση ισχύος στο ράδιο.

1.4.4 Υπολογισμοί

Οι διαδικασίες στους περισσότερους υπολογισμούς για έναν ασύρματο κόμβο είναι η ενδοδικτυακή επεξεργασία των δεδομένων και η διαχείριση των ασύρματων πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Καθώς τα δεδομένα ταξιδεύουν πάνω από το δίκτυο, η CPU πρέπει να ελέγχει ταυτόχρονα το ράδιο αλλά και την κωδικοποίηση των εισερχόμενων δεδομένων.

Οι αναλογικοί αισθητήρες μπορούν να λαμβάνουν χιλιάδες δείγματα το δευτερόλεπτο ενώ οι βασικές λειτουργίες επεξεργασίας που έχουν είναι ανάλυση του φάσματος, η αναγνώριση του κατωφλίου και η ψηφιακή επεξεργασία. Πολλές φορές ίσως χρειαστεί να γίνουν μετασχηματισμοί Fourier στα εισερχόμενα δεδομένα για να αναγνωριστεί ένα γεγονός [5].

Πέραν του εντοπισμού και της επεξεργασίας των δεδομένων πολλές φορές είναι χρήσιμη η αντιπαραβολή τους με τα δεδομένα που λαμβάνονται από γειτονικούς αισθητήρες πριν αυτά να μεταδοθούν στο δίκτυο.

1.4.5 Συγχρονισμός

Για να υποστηριχτούν και να σχετιστούν τα μηνύματα που λαμβάνονται από διάφορους αισθητήρες σε χαμηλής ισχύος κύκλους λειτουργίας οι κόμβοι πρέπει να διατηρούν άψογο συγχρονισμό με τα λοιπά μέρη του δικτύου. Πρέπει να ενεργοποιούνται και να απενεργοποιούνται ταυτόχρονα έτσι ώστε να μπορούν περιοδικά να επικοινωνούν. Τυχόν λάθη στο μηχανισμό συγχρονισμού θα δημιουργήσουν σοβαρές ασάφειες κυρίως με την πάροδο του χρόνου [1].

Στα κατανεμημένα συστήματα, τα ρολόγια έχουν μικρή διαφορά μεταξύ τους λόγω ανακριβειών στους μηχανισμούς του χρόνου η οποία εξαρτάται κυρίως από τη φύση της μέτρησης καθώς οι παλμογράφοι λειτουργούν σε σχετικά διαφορετικές συχνότητες όταν πρόκειται για μέτρηση υγρασίας, θερμοκρασίας, φωτός κλπ.

1.4.6 Μέγεθος και Κόστος

Το φυσικό μέγεθος και το κόστος του κάθε κόμβου αισθητήρα ξεχωριστά έχει και αυτό σημαντικές επιρροές στην ευκολία και στο κόστος εγκατάστασης του δικτύου. Το συνολικό κόστος αλλά και η αρχική τοποθέτηση είναι δύο πολύ σημαντικοί παράγοντες που θα οδηγήσουν κάποιον στο να κάνει ή να μην κάνει χρήση ασύρματων δικτύων αισθητήρων.

Στα δίκτυα συλλογής δεδομένων, οι ερευνητές συχνά λειτουργούν με ένα συγκεκριμένο budget. Αρχικός τους σκοπός είναι να συλλέξουν δεδομένα από όλες τις δυνατές τοποθεσίες χωρίς όμως να ξεπεράσουν τον προϋπολογισμό τους.

Μία μείωση στο κόστος ανά κόμβο δίνει τη δυνατότητα αγοράς όλο και περισσότερων κόμβων, την ανάπτυξη ενός δικτύου με περισσότερη πυκνότητα και φυσικά τη συλλογή όλο και περισσότερων δεδομένων [1].

Το φυσικό μέγεθος επηρεάζει ακόμη και την ευκολία στην ανάπτυξη του δικτύου καθώς οι μικρότεροι κόμβοι μπορούν να τοποθετηθούν σε περισσότερες περιοχές και να χρησιμοποιηθούν σε περισσότερα σενάρια.

1.4.7 Δυνατότητες του Υλικού

Μετά τα βασικά χαρακτηριστικά των ασύρματων κόμβων έρχονται να αναλυθούν τα βασικά χαρακτηριστικά του υλικού που χρησιμοποιείται. Αυτό συντελεί στο να γίνουν κατανοητές έννοιες όπως ο ρυθμός δεδομένων ή η κατανάλωση ισχύος.

❖ Ενέργεια

Επειδή η κατανάλωση ενέργειας του συστήματος μετράται σε milliamps, οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται σε αυτά μετριοούνται και αυτές σε milliamp ανά ώρα. Θεωρητικά μία μπαταρία

των 1000 mAh θα μπορούσε να υποστηρίξει έναν επεξεργαστή κατανάλωσης 10mA για 100 ώρες. Στην πράξη βέβαια αυτό δεν ισχύει πάντα λόγω της χημείας της μπαταρίας και των επιπέδων της τάσης και του ρεύματος που εξάγονται κάθε φορά από αυτήν. Επιπλέον, όσο οι μπαταρίες αποφορτίζονται, πέφτουν και τα επίπεδα της τάσης τους. Εάν το σύστημα δεν έχει ανοχή σε μία τάση στην πτώση τότε ίσως να μην είναι δυνατόν να καταφέρει να χρησιμοποιήσει τη συνολική ισχύ της μπαταρίας. Για παράδειγμα, η μία μπαταρία αλκαλική 1,5V δεν θεωρείται άδεια από τον κατασκευαστή της μέχρι να φτάσει τα 0.8V [4].

❖ *Ράδιο*

Το ράδιο είναι το πιο σημαντικό στοιχείο σε έναν κόμβο αισθητήρα καθώς είναι η πρωταρχική πηγή κατανάλωσης ενέργειας σε όλες τις πιθανές εφαρμογές. Οι χαμηλής κατανάλωσης πομποδέκτες καταναλώνουν ισχύ από 15 ως 300 milliwatts κατά την αποστολή και τη λήψη. Μία παρατήρηση που έχει γίνει στο υλικό έδειξε ότι το ποσοστό της κατανάλωσης είναι ίδιο τόσο κατά την αποστολή όσο και κατά τη λήψη. Η ενέργεια καταναλώνεται απλά και μόνο όταν το ράδιο είναι ενεργό είτε αυτό στέλνει είτε λαμβάνει. Η ισχύς που μεταδίδεται εκτός κεραίας αποτελεί μόνο ένα μικρό μέρος της συνολικής κατανάλωσης του πομποδέκτη καθώς το μεγαλύτερο μέρος καταναλώνεται στις εσωτερικές λειτουργίες. Άρα, το συνολικό κόστος επικοινωνίας του ράδιο οφείλεται κυρίως στην κατανάλωση ισχύος του δέκτη [6].

❖ *Εύρος Επικοινωνίας*

Το εύρος επικοινωνίας ενός ασύρματου συστήματος επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες κυριότερος των οποίων είναι η ισχύς εκπομπής. Όσο περισσότερη ισχύς δοθεί σε ένα σήμα, τόσο μακρύτερα θα ταξιδέψει αυτό. Η σχέση ανάμεσα στην ισχύ και στην απόσταση που διανύεται είναι πολυωνυμική με ένα εκθέτη ανάμεσα στο 3 και στο 4. Έτσι λοιπόν για να διπλασιαστεί η απόσταση μετάδοσης θα πρέπει να υπάρχει από 8 έως 16 φορές μεγαλύτερη κατανάλωση ισχύος.

Άλλοι παράγοντες, είναι η ευαισθησία στο δέκτη, το κέρδος και η ευφυΐα της κεραίας αλλά και ο μηχανισμός κωδικοποίησης του καναλιού. Γενικότερα, στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν υψηλού κέρδους κατευθυντικές κεραίες καθώς οι τοπολογίες που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως αδόμετες. Έτσι λοιπόν προτιμώνται οι πανκατευθυντικές κεραίες που επιτρέπουν στους κόμβους να μεταδίδουν αποτελεσματικά προς όλες τις κατευθύνσεις.

Τόσο η ισχύς μετάδοσης όσο και η ευαισθησία στο δέκτη μετριοούνται σε dBm. Συνήθως η ευαισθησία στο δέκτη είναι ανάμεσα στα -85 έως και -110 dBm. Η αύξηση στο εύρος μετάδοσης μπορεί να επιτευχθεί εάν αυξηθεί η ευαισθησία στο δέκτη ή η ισχύς εκπομπής. Η εκπομπή στα 0dBm με ευαισθησία στο δέκτη στα -85dBm δίνει μετάδοση στον ελεύθερο χώρο της τάξεως των 25-50 μέτρων ενώ με ευαισθησία στο δέκτη στα -110dBm δίνει μετάδοση από 100 έως 200 μέτρα. Η χρήση ενός ράδιο με ευαισθησία στα -110dBm αντί των -85dBm εισάγει μία μείωση στην ισχύ εκπομπής κατά έναν παράγοντα 30 και επιτυγχάνει το ίδιο εύρος επικοινωνίας [7].

❖ Διαμόρφωση

Τα περισσότερα ράδιο επικοινωνούν την πληροφορία διαμορφώνοντας το RF σήμα. Οι πιο γνωστοί μηχανισμοί διαμόρφωσης είναι αυτοί της διαμόρφωσης κατά πλάτος και της διαμόρφωσης κατά συχνότητα. Η διαμόρφωση κατά πλάτος είναι ευκολότερο να κωδικοποιηθεί και να αποκωδικοποιηθεί έχει όμως μεγαλύτερη ευαισθησία στο θόρυβο. Λόγω του ότι τα δεδομένα κωδικοποιούνται κατά τη μετάδοση προστίθεται εξωτερικός θόρυβος στο σήμα. Αντίθετα, η διαμόρφωση κατά συχνότητα, είναι πιο ανθεκτική στο θόρυβο καθώς όλα τα δεδομένα μεταδίδονται στα ίδια επίπεδα ισχύος [7].

❖ Επεξεργαστής

Οι σύγχρονοι μικροελεγκτές συνδυάζουν flash αποθήκευση, RAM, ADC, και ψηφιακό I/O σε ένα μόνο κύκλωμα με κόστος πάρα πολύ χαμηλό. Το γεγονός αυτό δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν σε καταναμημένα συστήματα όπως τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Κατά την επιλογή του μικροελεγκτή, σημαντικά κριτήρια είναι η κατανάλωση ισχύος, το κόστος, οι απαιτήσεις σε τάση, η υποστήριξη των περιφερειακών αλλά και ο αριθμός των εξωτερικών εξαρτημάτων που απαιτείται [5].

❖ Αισθητήρες

Την τελευταία δεκαετία έχει παρατηρηθεί μία έκρηξη στην τεχνολογία των αισθητήρων. Μέχρι στιγμής υπάρχουν χιλιάδες τύποι αισθητήρων οι οποίοι μπορούν να τοποθετηθούν επάνω σε πλατφόρμες και να εκτελέσουν λειτουργίες ανίχνευσης. Επιπλέον, οι τεχνολογικές εξελίξεις στον

τομέα των μικρο – ηλεκτρονικών και της νανοτεχνολογίας υπόσχονται να δημιουργήσουν πολλούς ακόμα νέους αισθητήρες [5].

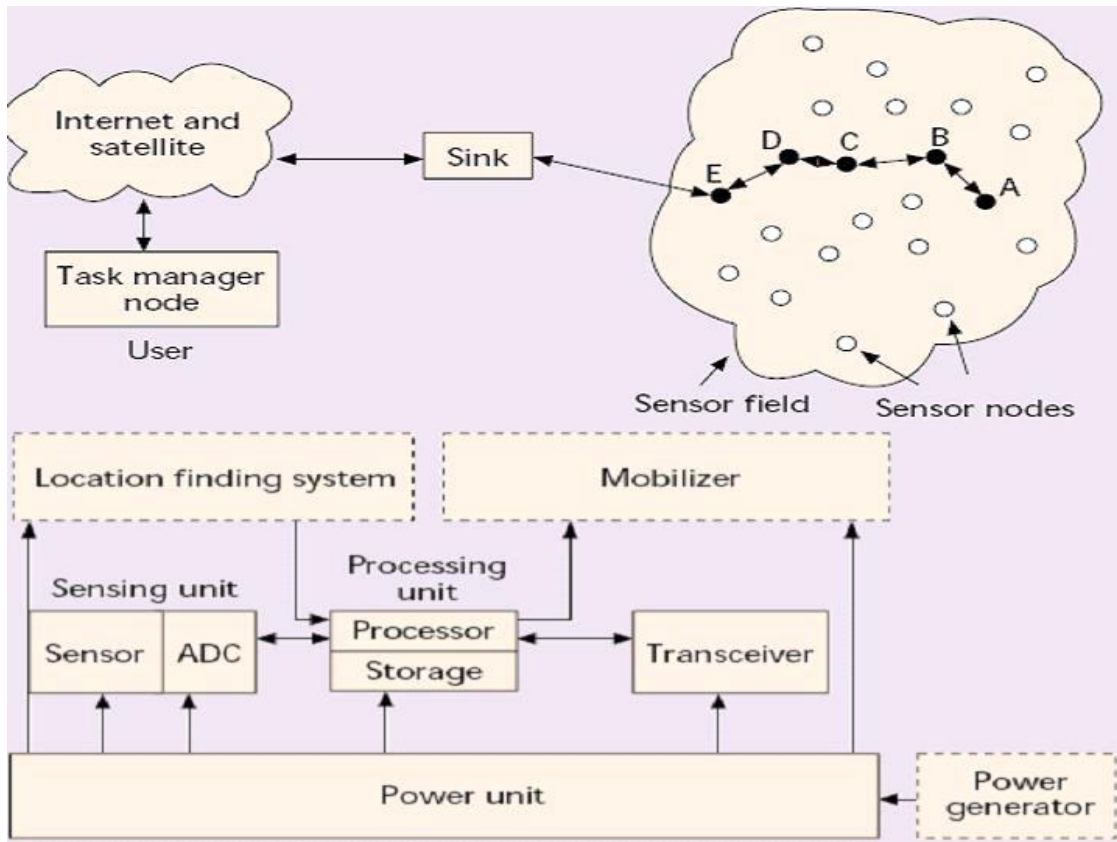
Κεφάλαιο 2 – Αρχιτεκτονική και Πρωτόκολλα

2.1 Εισαγωγή

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων είναι ένα δίκτυο που αποτελείται από εκατοντάδες ή χιλιάδες κόμβους αισθητήρων οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε μία περιοχή και έχουν την ικανότητα της ανίχνευσης, της ασύρματης επικοινωνίας και των υπολογισμών. Πολλά είναι εκείνα τα πρωτόκολλα διαχείρισης ενέργειας, δρομολόγησης αλλά και διάδοσης των δεδομένων τα οποία και έχουν σχεδιαστεί για αυτά τα δίκτυα λαμβάνοντας πάντα υπόψιν και την αρχιτεκτονική του δικτύου αλλά και την εφαρμογή για την οποία πρόκειται αυτό να χρησιμοποιηθεί. Τα πρωτόκολλα αυτά, διαφέρουν από τα συμβατικά πρωτόκολλα καθώς πρέπει να υποστηρίξουν πολλές ιδιαιτερότητες και περιορισμούς όπως η μνήμη, το μικρό μέγεθος, η κατανάλωση ενέργειας, η καθυστέρηση, η κλιμάκωση και η ανοχή σε σφάλματα.

Πολλές είναι εκείνες εφαρμογές που έχουν αναπτυχθεί πάνω στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και είναι από στρατιωτικές μέχρι καθημερινής χρήσης. Η βασική ιδέα πίσω από τη δημιουργία τους είναι η πυκνή τοποθέτηση κόμβων σε ένα περιβάλλον ανεξέλεγκτο ή μία μεγάλη γεωγραφική περιοχή και η εξαγωγή συμπερασμάτων για αυτά με βάση τη συλλογή των δεδομένων που γίνεται από τους κόμβους.

2.2 Αρχιτεκτονική Επικοινωνίας Ενός Ασύρματου Δικτύου Αισθητήρων



Εικόνα : Αρχιτεκτονική επικοινωνίας

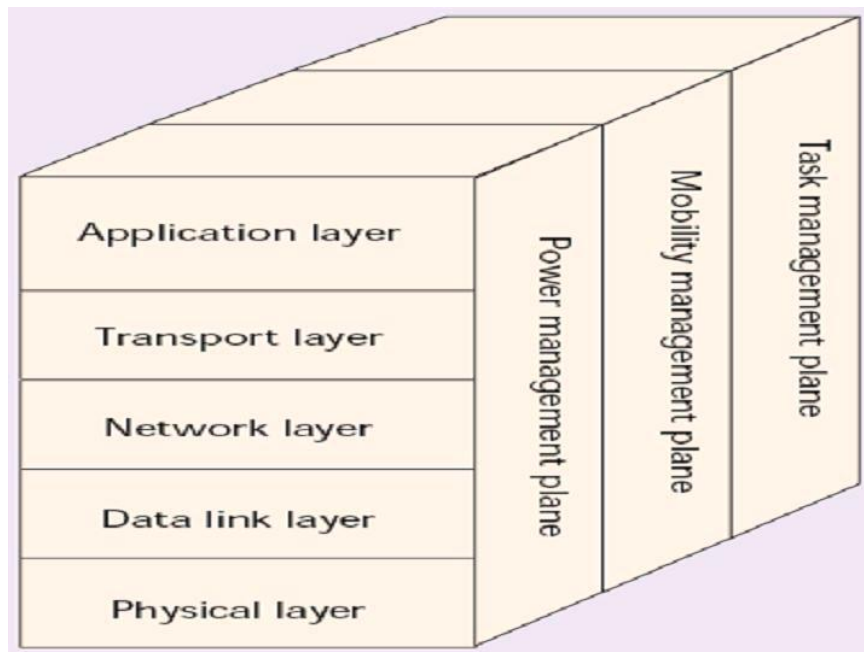
Όπως ειπώθηκε και παραπάνω και όπως φαίνεται και στην εικόνα, ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από έναν μεγάλο αριθμό κόμβων τοποθετημένο σε μία περιοχή πολύ μακριά από τον χρήστη. Στο πάνω μέρος της εικόνας παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική επικοινωνίας για ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων η οποία αποτελείται από :

Τους κόμβους αισθητήρων που σχηματίζουν το δίκτυο : Κύριος στόχος τους είναι να πάρουν μετρήσεις σχετικές με ένα φαινόμενο δημιουργώντας ένα δίκτυο, να μεταδώσουν την πληροφορία πάνω από ένα ασύρματο μέσο, να συλλέξουν τα δεδομένα σε έναν κόμβο και να τα μεταδώσουν στον τελικό χρήστη [3].

Τον κόμβο – συλλέκτη δεδομένων : Επικοινωνεί με το χρήστη μέσω του διαδικτύου ενώ βρίσκεται τοποθετημένος κοντά στην υπό μελέτη περιοχή. Τα δεδομένα συλλέγονται από τους αισθητήρες και μεταφέρονται προς τον κόμβο – συλλέκτη διαμέσου μιας multi-hop δρομολόγησης [3].

Τον χρήστη : Είναι αυτό που ενδιαφέρεται για τη συλλογή και την επεξεργασία της πληροφορίας σε ότι αφορά το προς μελέτη φαινόμενο [3].

2.3 Αρχιτεκτονική της Στοιβάς Πρωτοκόλλων στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων



Εικόνα : Στοιβά πρωτοκόλλων

Η αρχιτεκτονική της στοιβάς πρωτοκόλλων που χρησιμοποιείται από τους κόμβους στο δίκτυο αλλά και από τον κόμβο συλλέκτη παρουσιάζεται στην εικόνα. Η στοιβά αυτή αποτελείται από το φυσικό επίπεδο, το επίπεδο ζεύξης δεδομένων, το επίπεδο δικτύου, το επίπεδο μεταφοράς, το επίπεδο εφαρμογών, το επίπεδο διαχείρισης ενέργειας, το επίπεδο διαχείρισης κινητικότητας και το επίπεδο διαχείρισης εργασιών [8].

Το φυσικό επίπεδο κατευθύνει τις ανάγκες της εύρωστης διαμόρφωσης και των τεχνικών αποστολής και λήψης ενώ το επίπεδο δικτύου αναλαμβάνει τη δρομολόγηση των δεδομένων που παραλαμβάνει από το επίπεδο μεταφοράς. Το επίπεδο διαχείρισης ενέργειας καθορίζει το πώς διαχειρίζεται ο κάθε κόμβος την ενέργεια του και την κατανέμει όπως αρμόζει ανάμεσα στην τρεις λειτουργίες, δηλαδή την ανίχνευση, τον υπολογισμό και την ασύρματη επικοινωνία. Για παράδειγμα, προς αποφυγή λήψης διπλών μηνυμάτων, ένας κόμβος θα μπορούσε να

απενεργοποιήσει το δέκτη του αμέσως μετά την παραλαβή ενός μηνύματος από τους γειτονικούς σε αυτόν κόμβους [9].

Το επίπεδο διαχείρισης κινητικότητας ανιχνεύει και καταγράφει την κινητικότητα των αισθητήρων ως μία αρχή ελέγχου του δικτύου. Έτσι, καταγράφεται πάντα μία διαδρομή από τους κόμβους μέχρι τον τελικό χρήστη και οι κόμβοι μπορούν να γνωρίζουν ανά πάσα στιγμή ποιοι είναι οι γειτονικοί τους.

Τέλος, το επίπεδο διαχείρισης εργασιών προγραμματίζει τις ανιχνεύσεις και καθορίζει τις εργασίες για μία συγκεκριμένη περιοχή. Αποτέλεσμα αυτού είναι η σωστή διαχείριση των κόμβων χωρίς να χρειάζεται αυτοί να επιτελούν λειτουργίες ανίχνευσης συνέχεια [10].

2.4 Πρωτόκολλα

Ανάμεσα στα βασικά κριτήρια τα οποία πρέπει να ελεγχθούν για το σχηματισμό ενός πρωτοκόλλου που θα αφορά στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι η ενέργεια, η ευρωστία σε δυναμικά περιβάλλοντα, και η κλιμάκωση σε έναν πολύ μεγάλο αριθμό κόμβων αισθητήρων. Κάποιες από τις λύσεις που προτείνονται σε ότι αφορά την ενέργεια είναι η μείωση του ενεργού κύκλου ζωής, η μείωση των αποστολών δεδομένων πάνω από το ασύρματο δίκτυο αλλά και η μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής του δικτύου. Από την άλλη, η κλιμάκωση μπορεί να ενισχυθεί οργανώνοντας το δίκτυο με ιεραρχικό τρόπο και χρησιμοποιώντας αλγορίθμους με συγκεκριμένες «συναλλαγές» ανάμεσα στους κόμβους. Τέλος η ευρωστία μπορεί να βελτιωθεί με αυτό – οργάνωση, αυτό – ίαση και αυτό – διαμόρφωση των δικτύων.

2.4.1 Ταξινόμηση των Πρωτοκόλλων Δρομολόγησης στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

Οι τρόποι με τους οποίους μπορούν να ταξινομηθούν τα πρωτόκολλα που αφορούν στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι πολλοί. Αν λάβουμε υπόψιν τη δομή του δικτύου τότε αυτά μπορεί να είναι επίπεδα, ιεραρχικά ή να βασίζονται στην τοποθεσία ή να βασίζονται σε ερωτήματα, διαπραγματεύσεις, πολυόδευση, ποιότητα στην υπηρεσία ή συνοχή.

Στην επίπεδη δρομολόγηση, όλοι οι κόμβοι έχουν τις ίδιες αρμοδιότητες ή τις ίδιες λειτουργίες. Όταν το πρωτόκολλο έχει ιεραρχική δομή, οι κόμβοι διαδραματίζουν διαφορετικούς ρόλους και σκοπεύουν σε τεχνικές δρομολόγησης όπου θα υπάρχει συνάθροιση των δεδομένων ενώ στη δρομολόγηση που βασίζεται στη θέση οι κόμβοι δρομολογούν τα δεδομένα από συγκεκριμένες περιοχές και όχι μέσα σε όλο το δίκτυο.

2.4.2 Πρωτόκολλα Δρομολόγησης για τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

Flooding

Πρόκειται για έναν παλιό μηχανισμό δρομολόγησης ο οποίος όμως μπορεί να χρησιμοποιείται στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Με βάση το μηχανισμό αυτό, ο κόμβος στέλνει τα δεδομένα που έχει λάβει στους γειτονικούς του με ευρεία εκπομπή εκτός εάν έχει συμπληρωθεί ο μέγιστος αριθμός των hop ή το πακέτο έχει φτάσει στον προορισμό του. Τα μειονεκτήματα του μηχανισμού αυτού παρουσιάζονται παρακάτω :

Κατάρρευση : Πρόκειται για την περίπτωση όπου στέλνονται στον ίδιο κόμβο διπλά πακέτα ή δεδομένα. Εάν για παράδειγμα ο κόμβος Α έχει Γ γειτονικούς κόμβους οι οποίοι ταυτόχρονα είναι γειτονικοί και του Β, ο κόμβος Β θα λάβει Γ αντίγραφα του μηνύματος που στάλθηκε από τον Α [11].

Υπερ κάλυψη: Εάν δύο κόμβοι καλύπτουν μία υπερκαλυμμένη περιοχή τότε και οι δύο θα ανιχνεύσουν τα ίδια δεδομένα. Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι οι γειτονικοί κόμβοι θα λάβουν διπλά πακέτα ή μηνύματα [11].

Gossiping

Το πρωτόκολλο Gossiping είναι μία εναλλακτική του Flooding στην οποία οι κόμβοι προωθούν τα εισερχόμενα σε αυτούς πακέτα σε κόμβους που έχουν επιλεγεί τυχαία. Κάθε φορά που ένας κόμβος λαμβάνει ένα μήνυμα προωθεί τα δεδομένα είτε πίσω στον κόμβο από τον οποίο τα έλαβε είτε τυχαία σε ένα άλλο κόμβο που θα επιλεγεί. Η τεχνική αυτή έχει ως σκοπό την εξοικονόμηση της ενέργειας διαμέσου όμως της τυχαιότητας.

Παρόλο που η τεχνική Gossiping αντιμετωπίζει το πρόβλημα της κατάρρευσης δεν μπορεί να αντιμετωπίσει το πρόβλημα της υπερκάλυψης ενώ από την άλλη διαχέει την πληροφορία με πολύ αργούς ρυθμούς γεγονός που σημαίνει ότι καταναλώνει χαμηλή ενέργεια αλλά αργεί πού στη μετάδοση των δεδομένων προς όλους τους κόμβους [12].

SPIN (Sensor Protocols for Information via Negotiation)

Ο σχεδιασμός των πρωτοκόλλων αυτών έχει ως στόχο να αποφύγει όλα τα προβλήματα που δημιουργούν τα flooding πρωτόκολλα κάνοντας χρήστη μηχανισμών που βασίζονται σε διαπραγματεύσεις και διαχείριση ενέργειας. Το SPIN είναι σχεδιασμένο πάνω σε δύο βασικές ιδέες [12].

- Να λειτουργεί αποτελεσματικά και να εξοικονομεί ενέργεια στέλνοντας meta-data
- Να γνωρίζουν οι κόμβοι τις αλλαγές που έχουν υποστεί σε ότι αφορά την υπολειπόμενη ενέργειά τους και να υιοθετούν τις αλλαγές αυτές με σκοπό να διευρύνουν τη διάρκεια ζωής του δικτύου.

Το SPIN έχει 3 διαφορετικούς τύπους μηνυμάτων, τα ADV, τα REQ και τα DATA

ADV: Όταν ένας κόμβος έχει δεδομένα προς προώθηση, προωθεί το μήνυμα αυτό σε όλους τους κόμβους με broadcast.

REQ: Ένας κόμβος που ενδιαφέρεται στέλνει αυτό το μήνυμα με σκοπό να αποκτήσει τα δεδομένα

DATA: Το μήνυμα αυτό περιέχει τα πραγματικά δεδομένα του αισθητήρα

Το SPIN βασίζεται σε δρομολόγηση με βάση τα δεδομένα όπου ο κάθε κόμβος στέλνει με broadcast ADV μηνύματα και περιμένει για REQ απαντήσεις από τους ενδιαφερόμενους κόμβους. Παρόλο που το πρωτόκολλο αυτό έχει πολλά πλεονεκτήματα όπως το ότι επιλύει προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα flooding πρωτόκολλα έχει και αυτό τα μειονεκτήματά του που είναι η απουσία της κλιμάκωσης, η εξάντληση της ενέργειας εάν ένας κόμβος ενδιαφέρεται για πολλά μηνύματα και η αδυναμία μεταφοράς των δεδομένων εάν οι κόμβοι που ενδιαφέρονται βρίσκονται πολύ μακριά από την πηγή [12].

Κατευθυνόμενη Σύντηξη

Πρόκειται για ένα ακόμη πρωτόκολλο συνάθροισης και διάδοσης. Έχει ως επίκεντρο τα δεδομένα και αποτελείται από διάφορα στοιχεία. Πρώτο στη σειρά είναι αυτό της ονοματοδοσίας, καθώς οι

περιγραφές των εργασιών που στέλνονται από τον κόμβο συλλέκτη έχουν όνομα το οποίο είναι σχετικό με την εργασία που ανατίθεται. Δεύτερο, τα ενδιαφέροντα και οι κλίσεις. Το όνομα της κάθε εργασίας περιέχει ένα ενδιαφέρον το οποίο χαρακτηρίζεται από ένα πεδίο με χρονοσφραγίδα. Κάθε κόμβος αποθηκεύει το ενδιαφέρον στη μνήμη ενδιαφερόντων που έχει. Καθώς τα μηνύματα ενδιαφέροντος ταξιδεύουν στο δίκτυο, τίθενται οι κλίσεις από την πηγή προς τον κόμβο συλλέκτη. Τρίτη στη σειρά είναι η διάδοση των δεδομένων όταν η πηγή έχει δεδομένα που ανταποκρίνονται στα πακέτα ενδιαφερόντων. Τότε αυτή τα διαχέει προς το δίκτυο με βάση το μονοπάτι ενδιαφερόντων που σχηματίστηκε. Έπειτα και στην τέταρτη θέση, έρχεται η λήψη των δεδομένων όταν εκδηλωθεί κάποιο ενδιαφέρον [12].

Η κατευθυνόμενη σύντηξη βοηθά στη διαχείριση της ενέργειας των αισθητήρων επιλέγοντας βέλτιστα μονοπάτια και κάνοντας επεξεργασία εντός του δικτύου από τη στιγμή που ο κάθε κόμβος έχει τη δυνατότητα να συγκεντρώνει και να αποθηκεύει τα δεδομένα. Από την άλλη έχει περιορισμούς όπως το ότι απαιτεί άψογο συγχρονισμό.

✚ *LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)*

Το Leach είναι ένα πρωτόκολλο που βασίζεται στην αυτό – οργάνωση και στα clusters και χρησιμοποιεί τυχαιοποιημένη αλλαγή των cluster heads για να κατανέμει ισάξια την ενέργεια ανάμεσα στους κόμβους στο δίκτυο. Βασίζεται σε δύο βασικές προϋποθέσεις [13]:

- Ο σταθμός βάσης είναι σταθερός και πολύ μακριά από τους αισθητήρες
- Όλοι οι κόμβοι μέσα στο δίκτυο είναι ομογενείς και έχουν περιορισμούς στην ενέργεια

Η βασική ιδέα του LEACH είναι ο σχεδιασμός των clusters ο οποίος εξαρτάται από την ισχύ του λαμβανόμενου μηνύματος και η χρήση τοπικών cluster heads ως δρομολογητές που θα δρομολογήσουν τα δεδομένα στο σταθμό βάσης.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι [13]:

- Ο συγχρονισμός και ο έλεγχος για την εγκατάσταση και τη λειτουργία του cluster
- Η τυχαιοποιημένη αλλαγή των cluster heads

- Η συμπίεση για να μειωθεί ο όγκος επικοινωνίας.

Στο LEACH η λειτουργία χωρίζεται σε περιόδους σταθερού χρόνου όπου η κάθε περίοδος ξεκινά με μία φάση εγκατάστασης που ακολουθείται από μία φάση σταθερής κατάστασης. Ο αλγόριθμος του LEACH λειτουργεί ως εξής [13]:

Στάδιο διαφήμισης : Στο στάδιο αυτό οι κόμβοι προτείνουν τους εαυτούς τους να είναι cluster heads για την συγκεκριμένη περίοδο με ένα μήνυμα του στέλνουν. Με την ολοκλήρωση του σταδίου αυτού, οι κόμβοι που δεν είναι cluster heads καθορίζουν το cluster στο οποίο θα ανήκουν για τη συγκεκριμένη περίοδο. Σε κάθε περίοδο ο κάθε κόμβος επιλέγει έναν τυχαίο αριθμό A ο οποίος πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα στο 0 και 1. Εάν ο A είναι μικρότερος από ένα κατώφλι K που έχει τεθεί τότε ο κόμβος γίνεται cluster head για την τρέχουσα χρονική περίοδο.

Στάδιο καθορισμού του cluster : Αφού κάθε κόμβος που δεν έχει γίνει cluster head αποφασίσει σε ποιο cluster ανήκει ενημερώνει τον cluster head ότι θα είναι μέρος του cluster.

Στάδιο δημιουργία προγράμματος : Ο cluster head λαμβάνει όλα τα μηνύματα από τους κόμβους που θέλουν να συμπεριληφθούν στο cluster και βάσει του αριθμού δημιουργεί ένα TDMA πρόγραμμα για τον κάθε κόμβο σχετικά με το πότε αυτός μπορεί να μεταδώσει. Το μήνυμα αυτό μεταφέρεται σε όλους τους κόμβους στο cluster.

Στάδιο μετάδοσης δεδομένων : Μετά τη δημιουργία του cluster αλλά και του TDMA προγράμματος, οι κόμβοι αρχίζουν να μεταδίδουν τα δεδομένα προς τον cluster head. Όταν τελειώσει η συλλογή τους από τον cluster head, αυτός θα καλέσει μία συνάρτηση επεξεργασία σήματος για να συμπίεσει τα δεδομένα σε ένα μόνο σήμα.

Παρόλο που το LEACH έχει δείξει κάποια σημαντικά χαρακτηριστικά για τα δίκτυα αισθητήρων όπως η αρχιτεκτονική σε clusters, ο συγχρονισμός, η τυχαία επιλογή cluster head και η συμπίεση των δεδομένων δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές με περιορισμό στο χρόνο καθώς παρουσιάζει σημαντική καθυστέρηση, ο αριθμός των cluster δεν είναι σταθερός σε κάθε γύρο και δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγάλα δίκτυα [13].

✚ PEGASIS (*Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems*)

Ο Pegasus είναι ένας ιδιαίτερα έξυπνος για τη διαχείριση της ενέργειας αλγόριθμος. Βασίζεται στο LEACH και τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι [14]:

- Ο σταθμός βάσης είναι σταθερός και μακριά από τους αισθητήρες
- Οι κόμβοι είναι ομογενείς και έχουν περιορισμούς στην ενέργεια
- Δεν υποστηρίζεται καμία κινητικότητα

Στον Pegasus ο κάθε κόμβος μπορεί να πάρει τη θέση αρχηγού σε μία αλυσίδα που σχηματίζεται με χρήση greedy αλγορίθμων που εφαρμόζονται στους κόμβους αισθητήρα.

Το πρωτόκολλο υποθέτει ότι οι κόμβοι έχουν συνολική γνώση του δικτύου, είναι στατικοί και έχουν πληροφορία σχετική με τη θέση των άλλων κόμβων. Αυτό που υλοποιεί είναι μία συγκέντρωση των δεδομένων στην αλυσίδα εκτός από τους κόμβους που βρίσκονται στο τέλος της. Παρουσιάζει τα ίδια προβλήματα με το LEACH και επιπλέον δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε δίκτυα στα οποία η γνώση για το συνολικό δίκτυο δεν είναι εύκολο να αποκτηθεί [14].

GEAR (Geographical and Energy Aware Routing)

Το Gear είναι ένα πρωτόκολλο που κάνει χρήση αναδρομικής διάδοσης των δεδομένων. Σύμφωνα με αυτό το πρωτόκολλο το πακέτο μεταδίδεται στο δίκτυο με μία αναδρομική συνάρτηση που δίνει πληροφορίες για τη γεωγραφική θέση των κόμβων. Όπως τα υπόλοιπα πρωτόκολλα έτσι και το Gear δημιουργήθηκε με βάσει τις παρακάτω προϋποθέσεις [12]:

- Οι κόμβοι αισθητήρων είναι σταθεροί
- Υπάρχει ένα σύστημα που διευκολύνει τον κάθε κόμβο να ξέρει την τρέχουσα θέση του
- Οι κόμβοι έχουν περιορισμένη ενέργεια και περιέχουν πληροφορία για τη φυσική θέση των άλλων κόμβων
- Η σύνδεση μεταξύ των κόμβων είναι αμφίδρομη

Το GEAR έχει δύο στάδια :

Στο πρώτο στάδιο προωθούνται τα πακέτα διαμέσου της στοχευμένης περιοχής και στη δεύτερη προωθούνται τα πακέτα μέσα στη στοχευμένη περιοχή. Κατά τη διάρκεια της πρώτης φάσης τα πακέτα δρομολογούνται σε μία περιοχή κάνοντας χρήση γειτονικών κόμβων. Στη δεύτερη βάση και πάλι μέσα σε μία περιοχή γίνεται χρήση της αναδρομής για να ληφθεί γεωγραφική

πληροφόρηση και να μεταδοθούν τα πακέτα. Από την παραπάνω ανάλυση συμπεραίνεται ότι το Gear μειώνει την κατανάλωση της ενέργειας αλλά δεν υποστηρίζει κλιμάκωση αλλά και σύντηξη των δεδομένων [12].

2.5 Συμπεράσματα

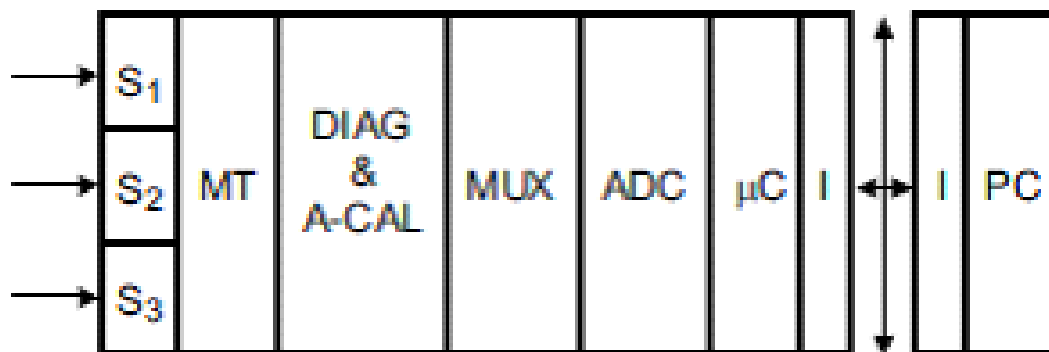
Η παραπάνω ανάλυση των πρωτοκόλλων οδήγησε στο συμπέρασμα ότι για να είναι αυτά αποτελεσματικά πρέπει να διέπονται από κάποια βασικά χαρακτηριστικά όπως τα παρακάτω :

- Συγκέντρωση Δεδομένων : Η μείωση του μεγέθους των δεδομένων με τη χρήση υπολογισμών διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην υποστήριξη της ευφυΐας του δικτύου και μειώνει το μέγεθος του overhead ενώ παράλληλα εξοικονομεί ενέργεια
- Αρχιτεκτονική Δυναμικού Clustering : Η αρχιτεκτονική αυτή θα βοηθήσει τα clusters να διαχειριστούν καλύτερα την ενέργειά τους και άρα να μεγαλώσουν τη διάρκεια ζωής του δικτύου.
- Κατώφλι σε ότι αφορά τη διάδοση και τη μετάδοση των δεδομένων : Το κατώφλι αυτό θα βοηθήσει στην εξοικονόμηση της ενέργειας καθώς θα μειωθούν οι άσκοπες μεταδόσεις και θα παρατείνει τη ζωή του δικτύου.
- Τυχαιοποιημένη επιλογή μονοπατιού : Η πολυόδευση μπορεί να υποστηρίξει ανοχή σε σφάλματα και να διαχειριστεί αποτελεσματικά το overhead.
- Κινητικότητα : Τα περισσότερα πρωτόκολλα υποθέτουν ότι οι κόμβοι είναι στατικοί. Είναι εμφανής η ανάγκη δημιουργίας πρωτοκόλλων που θα υποστηρίζουν κινητικότητα και αλλαγές στην τοπολογία του δικτύου.
- Ποιότητα στην υπηρεσία
- Συγχρονισμός

Κεφάλαιο 3 – Επεξεργασία Σήματος

3.1 Εισαγωγή

Ένα έξυπνο δίκτυο αισθητήρων είναι ένα αυτόνομο ψηφιακό σύστημα εφοδιασμένο με όλες τις συναρτήσεις που αφορούν σε επεξεργασία, διάγνωση, αυτό – προσαρμογή που έχει τη δυνατότητα να επικοινωνεί με το τεχνικό του περιβάλλον. Με άλλα λόγια, πρόκειται για ένα ενσωματωμένο σύστημα με ψηφιακά ρολόγια που δίνει την δυνατότητα ψηφιακής επεξεργασίας του σήματος όπως φαίνεται στην εικόνα [15]



Εικόνα : Σύστημα Αισθητήρων

Ο κάθε αισθητήρας S_i αναπαριστά ένα φίλτρο τύπου και εύρους της προς μέτρηση ποσότητας, το οποίο επηρεάζει άμεσα ή έμμεσα τον αισθητήρα. Ο αισθητήρας καταγράφει συστηματικά την προς μέτρηση ποσότητα και παράγει πληροφορίες σχετικά με αυτήν. Το σήμα εξόδου από τον αισθητήρα είναι συνήθως ένα αναλογικό σήμα χαμηλής ενέργειας μεταμορφωμένο από τον ίδιο τον αισθητήρα σε ηλεκτρική ποσότητα.

Ο αισθητήρας είναι αυτός ο οποίος παρέχει στο δίκτυο την πληροφορία και έτσι μπορεί άμεσα να επηρεάσει τη συνολική ποιότητα της μέτρησης. Τα σήματά του διαχειρίζονται από τον μεταδότη ο οποίος έχει και την ευθύνη της συνολικής μετάδοσης των δεδομένων σε ένα σήμα. Ο αισθητήρας μαζί με τον μεταδότη σχηματίζουν τον πομποδέκτη ο οποίος αποτελεί μία συνάρτηση του ρολογιού του αισθητήρα σε συνδυασμό με το εισερχόμενο στη μονάδα επεξεργασίας σήμα [15].

Η επεξεργασία του σήματος στον αισθητήρα πραγματοποιείται σε ψηφιακή μορφή καθώς ο μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι ενός δικτύου αισθητήρων. Ο πολυπλέκτης που ελέγχεται από τον μικρο – υπολογιστή μεταλλάσσει τα σήματα στην είσοδο του ADC. Με τον τρόπο αυτό ο μικρο – υπολογιστής λαμβάνει όλη την ψηφιακή πληροφορία για την

μέτρηση που τον ενδιαφέρει. Η ψηφιακή επικοινωνία ανάμεσα στο σύστημα και στις άλλες συσκευές γίνεται διαμέσου μιας διεπαφής.

Η πρωταρχική επεξεργασία της πληροφορίας είναι ένα βασικό χαρακτηριστικό των δικτύων αισθητήρων. Αναπαριστά την αρχική μετατροπή του σήματος που αποκτάται από τον αισθητήρα και έχει ως σκοπό την απόκτηση της «καθαρής» πληροφορίας σε ότι αφορά το προς μέτρηση φαινόμενο. Ανάμεσα στις αρμοδιότητες της επεξεργασίας αυτής είναι η διαπλάτυνση του σήματος, η μετατροπή από αναλογικό σε ψηφιακό, η μείωση των μετρούμενων δεδομένων, η δυναμική διόρθωση λάθους, οι έμμεσες μετρήσεις και οι υπολογισμοί [15].

3.2 Χαρακτηριστικά της Μετάδοσης στους Αισθητήρες

Οι αισθητήρες ή μεταδότες χαρακτηρίζονται από μετεωρολογικές ιδιότητες που περιγράφουν τα στατικά αλλά και τα δυναμικά χαρακτηριστικά τους. Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά τους είναι αυτό της στατικής μετάδοσης που εκφράζει τη σχέση ανάμεσα στην ποσότητα εισόδου x και την ποσότητα εξόδου y σε μία σταθερή κατάσταση που χαρακτηρίζεται από την εξίσωση $y=f(x)$ [15].

Σχεδόν όλοι οι αισθητήρες έχουν μη γραμμικά χαρακτηριστικά μεταφοράς και οι μέθοδοι για να ανιχνευθούν αυτά ποικίλουν. Ο σημαντικότερος στόχος όλων αυτών όμως είναι να επιτευχθεί μεγάλη σταθερότητα στο χρόνο.

3.3 Αναγνώριση της σκηνής ή του αντικειμένου

Κάποιες φορές χρειάζεται αναγνώριση της κατάστασης της σκηνής ή του αντικειμένου που σημαίνει αξιολόγηση των φυσικών ποσοτήτων που χαρακτηρίζουν την προς αναγνώριση κατάσταση. Ο πίνακας του αισθητήρα είναι κατάλληλος για λειτουργίες αναγνώρισης. Μία προσέγγιση της επεξεργασίας σήματος από τον πίνακα του αισθητήρα είναι η αύξηση της επιλεκτικότητας του κόμβου με έξυπνες μεθόδους. Στην περίπτωση αυτή, ιδεατή θα ήταν η χρήση ενός και μόνο αισθητήρα για κάθε μία από τις προς μέτρηση ποσότητες.

Βέβαια, όπως ειπώθηκε και παραπάνω, δεν υπάρχει αισθητήρας που να παρουσιάζει ευαισθησία σε μία και μόνο ποσότητα καθώς το σήμα που λαμβάνει επηρεάζεται από περισσότερες. Το γεγονός αυτό κάνει τους αισθητήρες να αναγνωρίζουν περισσότερες τις μίας ποσότητες και να χρησιμοποιούν τη μέθοδο της κατάταξης. Η μη γραμμικότητα στη μετάδοση των αισθητήρων θα

μπορούσε και να μην αποτελεί σημαντικό πρόβλημα για τα δίκτυα αυτά. Η αρχή της κατάταξης ουσιαστικά συγκρίνει τα πραγματικά πρότυπα με μία ομάδα προτύπων αναφοράς και έτσι τα κατατάσσει. Τα πρότυπα είναι εικονικά διανύσματα σήματος που κατασκευάζονται από το σήμα του αισθητήρα που εξάγεται από τον πίνακά του. Ο αριθμός των προτύπων αυτών εξαρτάται από την ικανότητα του μεταδότη να παράγει διάφορα επίπεδα εξόδου σημάτων [15].

Επόμενος προβληματισμός σε ότι αφορά τα δίκτυα αισθητήρων είναι η αναγνώριση των πραγματικών προτύπων από αυτά που φαίνονται να αναπαριστούν υποψήφιους στόχους. Η αναγνώριση αυτή ονομάζεται αναγνώριση προτύπων (Pattern Recognition – PARC) ή ταξινόμηση. Οι αλγόριθμοι που έχουν αναπτυχθεί σε ότι αφορά την αναγνώριση προτύπων αφορούν κυρίως στους χημικούς και έχουν ως στόχο την αναγνώριση των διαφόρων συστατικών σε ένα μείγμα.

Ένα πολύ καλό παράδειγμα για την ανίχνευση και την επεξεργασία του σήματος πολλών διαστάσεων είναι αυτό της αίσθησης των ανθρώπινων μυρωδιών. Ένας μεγάλος αριθμός μυρωδιών μπορεί να αναγνωριστεί από τους δέκτες που βρίσκονται στην άκρη των νεύρων μέσα στη μύτη. Οι επιστήμονες κατασκεύασαν μία «ηλεκτρονική μύτη» στην οποία ο πίνακας των αισθητήρων αποτελείται από X αισθητήρες και το σύστημα έχει την ικανότητα να κάνει διαχωρισμό ανάμεσα σε Y αέρια [15].

3.4 Κλασσικές Μέθοδοι επεξεργασίας Σήματος

3.4.1 Μέθοδος της Συσχέτισης

Η μέθοδος της συσχέτισης είναι μία από τις πιο γνωστές μεθόδους επεξεργασίας σήματος από πίνακες αισθητήρων. Γενικότερα ένας πίνακας αισθητήρα αποτελείται από K στοιχεία αισθητήρων και μπορούν να κάνουν ανίχνευση N καταστάσεων όπου ισχύει πάντα $N > K$. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην αναγνώριση και στην αντιστοίχιση τους διαμέσου της συσχετιζόμενης συνιστώσας. Η συσχετιζόμενη συνιστώσα αξιολογείται σε κάθε κύκλο. Εάν αυτή πάρει τιμή κοντά στο 1 τότε η μέτρηση καταγράφεται, διαφορετικά ή το φαινόμενο ή το αντικείμενο βρίσκεται σε μία άγνωστη κατάσταση. Εάν περισσότερα του ενός πρότυπα είναι σχεδόν όμοια τότε οι τιμές της συσχετιζόμενης συνιστώσας πλησιάζουν και αυτές το 1 και στην περίπτωση αυτή επιλέγεται η συνιστώσα που έχει την κοντινότερη τιμή στη μονάδα [16]. Η μέθοδος αυτή εμπεριέχει τις διαδικασίες ενίσχυσης, προετοιμασίας και αξιολόγησης του αλγορίθμου της μεθόδους.

Διαδικασία Ενίσχυσης : Στη διαδικασία της ενίσχυσης παράγονται τα πρότυπα αναφοράς και δίνεται συγκεκριμένη έννοια στο κάθε πρότυπο. Τα πρότυπα είναι προεπεξεργασμένα διανύσματα που προέρχονται από τους αισθητήρες που είναι μέρη του πίνακα. Κάθε στοιχείο e_{ij} στο διάνυσμα μπορεί να αντιπροσωπεύει για παράδειγμα μία μέση αριθμητική τιμή ή μία έξοδο τιμών από τους αισθητήρες για μία συγκεκριμένη ποσότητα που καταγράφεται από τη συνάρτηση

$$e_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m e_{ijk}$$

Για $i = 1, \dots, K$ και $j = 1, \dots, N$ όπου e_{jk} είναι η έξοδος του νιοστού αισθητήρα στην j – ιοστή κατάσταση της k -οστής μέτρησης. Το αποτέλεσμα όλων αυτών είναι η λήψη $N \times K$ τιμών διαιρούμενων με τον παράγοντα j σε N διανύσματα E_j με K στοιχεία το καθένα [16].

Διαδικασία Αξιολόγησης : Στη διαδικασία αξιολόγησης κάθε πραγματικό πρότυπο $A(t)$ συγκρίνεται με ένα πρότυπο αναφοράς R_j για $j = 1, \dots, N$. Εάν τα πρότυπα αυτά δεν είναι πανομοιότυπα, τότε το πραγματικό πρότυπο χαρακτηρίζεται ως μη αναγνωρισμένο, προσδίδεται σε αυτό μία νέα ονομασία και καταχωρείται ως νέο πρότυπο αναφοράς.

Η συνιστώσα συσχέτισης στις περιπτώσεις αυτές υπολογίζεται από τον τύπο [16] :

$$\rho_j = \frac{\sum_{i=1}^K [(a_i) (r_{ji})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^K (a_i)^2 \sum_{i=1}^K (r_{ji})^2}}$$

για $j = 1, \dots, N$.

Πρακτικά, κάθε μέτρηση επηρεάζεται από κάποια άγνωστα λάθη και έτσι η τιμή του ρ δεν είναι πάντοτε 1 αλλά βρίσκεται κοντά στο 1.

3.4.2 Εντοπισμός πηγής στο Χώρο και στο Χρόνο

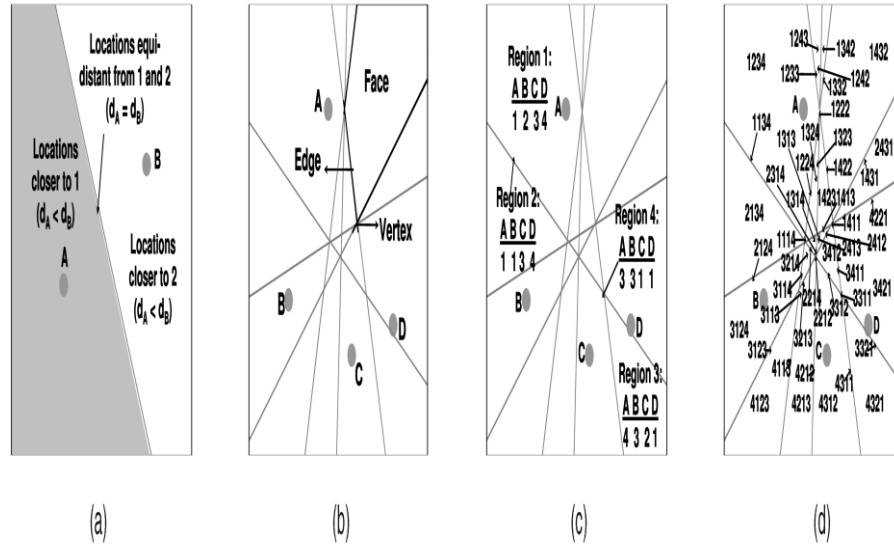
Εντοπισμός είναι ο μηχανισμός με τον οποίο καθορίζονται οι χωρικές σχέσεις ανάμεσα στους κόμβους. Ειδικότερα, ο όρος αυτός αναφέρεται στην εκτίμηση της θέσης του στόχου σε σχέση πάντα με τους κόμβους διαμέσου της μέτρησης ακουστικών, σεισμικών, υπέρυθρων ή θερμικών σημάτων. Διάφορες πολύ γνωστές τεχνικές συμπεριλαμβάνουν το χρόνο άφιξης, την κατεύθυνση άφιξης και την λαμβανόμενη ισχύ του σήματος.

Κάνοντας χρήση στάνταρ μεθόδων όπως η τριγωνοποίηση και η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων γίνεται ιδιαίτερα εύκολος ο εντοπισμός του στόχου. Ιδιαίτερα ενδιαφέροντα είναι και άλλα θέματα όπως ο ελάχιστος αριθμός των κόμβων απαιτείται για να επιτευχθεί η αναμενόμενη ακρίβεια σε σχέση με την τοποθεσία του στόχου και την τοποθέτηση των κόμβων [17].

Ο ακριβής εντοπισμός είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι για πολλές εφαρμογές ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Με την πάροδο των χρόνων πολλοί ερευνητές έχουν προτείνει πολλά και διαφορετικά σενάρια ώστε να αντιμετωπίσουν το εν λόγω πρόβλημα. Σε πολλές από αυτές τις τεχνικές υπάρχει ένα trade off ανάμεσα στην ακρίβεια στον εντοπισμό και στην πολυπλοκότητα της εφαρμογής ενώ κάποιες απαιτούν εκτενείς μελέτες πριν την εγκατάσταση που εξαρτώνται από το χώρο στον οποίο θα τοποθετηθεί το δίκτυο. Άλλες πάλι χρειάζονται εξειδικευμένο υλικό. Στην αντίπερα όχθη, οι πολύ απλές εφαρμογές έχουν ιδιαίτερα χαμηλή ακρίβεια.

- Ακολουθίες εντοπισμού

Για να επεξηγηθεί ο όρος του εντοπισμού θεωρείται ότι ο δυσδιάστατος χώρος αποτελείται από έναν n αριθμό κόμβων. Ανάμεσα σε δύο κόμβους σχηματίζεται μία διαχωριστική γραμμή κάθετη προς τη γραμμή που ενώνει τις τοποθεσίες τους. Αυτή η διαχωριστική γραμμή χωρίζει το χώρο σε τρεις διαφορετικές περιοχές που καθορίζονται από το πόσο κοντά βρίσκονται στους κόμβους αναφοράς. Ομοίως, εάν αυτές οι κάθετες διαχωριστικές γραμμές σχηματιστούν για όλους τους κόμβους αναφοράς θα χωρίσουν το χώρο σε πολλές περιοχές τριών διαφορετικών τύπων όπως φαίνεται στην εικόνα 8 [17].



Εικόνα : Διαχωρισμός του χώρου

Για κάθε περιοχή που έχει διαχωριστεί από τις κάθετες γραμμές δημιουργείται μία ακολουθία των κόμβων αναφοράς που βασίζεται στις αποστάσεις μεταξύ τους και ονομάζεται ακολουθία εντοπισμού. Αν υποθέσουμε ότι δύο διαφορετικές περιοχές έχουν την ίδια ακολουθία εντοπισμού σημαίνει ότι οι αποστάσεις των κόμβων αναφοράς είναι ίδιες και για τις δυο περιοχές.

- Εντοπισμός με βάση τις ακολουθίες εντοπισμού

Η διαδικασία εντοπισμού των άγνωστων κόμβων με χρήση των ακολουθιών εντοπισμού γίνεται ως εξής [17] :

- Εντοπίζονται όλες οι εφικτές ακολουθίες θέσης στη χώρο και καταχωρούνται στον πίνακα ακολουθιών εντοπισμού.
- Καθορίζεται η ακολουθία εντοπισμού της τοποθεσίας του άγνωστου κόμβου με βάση το RSSI που λαμβάνεται από τα πακέτα που ανταλλάσσονται ανάμεσα στον άγνωστο κόμβο και στους κόμβους αναφοράς.
- Αναζητείται στον πίνακα ακολουθιών θέσης η «πλησιέστερη» ακολουθία θέσης με αυτή του αγνώστου κόμβου.

Ο αλγόριθμος δημιουργίας του πίνακα ακολουθιών εντοπισμού είναι ο παρακάτω :

Algorithm 1: CONSTRUCTLOCATIONSEQUENCETABLE.

Input:

- 1) Location coordinates of reference nodes
 $\{(ax_i, ay_i) | i = 0 \rightarrow n - 1\}$.
- 2) Boundaries of the localization space B .

Output: Location Sequence Table.

```

0    $L = \{l_i | i = 0 \rightarrow (\frac{n(n-1)}{2} - 1)\} \leftarrow$ 
    BISECTORLINES( $\{(ax_i, ay_i) | i = 0 \rightarrow n - 1\}, B$ )
1    $(FL, EL, VL) \leftarrow$  CONSTRUCTARRANGEMENT( $L$ )
    ▷Get vertex sequences.
2   for  $i \leftarrow 0$  to  $(|VL| - 1)$ 
3       Centroid $[i] \leftarrow VL[i]$ 
4       Sequence $[i] \leftarrow$  GETSEQUENCE(Centroid $[i]$ )
5   end for
    ▷Get edge sequences.
6   for  $i \leftarrow |VL|$  to  $(|VL| + |EL| - 1)$ 
7       Centroid $[i] \leftarrow$  GETEDGECENTROID( $EL[i]$ )
8       Sequence $[i] \leftarrow$  GETSEQUENCE(Centroid $[i]$ )
9   end for
    ▷Get face sequences.
10  for  $i \leftarrow (|VL| + |EL|)$  to  $(|VL| + |EL| + |FL| - 1)$ 
11  Centroid $[i] \leftarrow$  GETFACECENTROID( $FL[i]$ )
12  Sequence $[i] \leftarrow$  GETSEQUENCE(Centroid $[i]$ )
13  end for
    ▷Return the location sequence table
14  return {Sequence, Centroid}

```

- Ακολουθία θέσης του αγνώστου κόμβου

Ο άγνωστος κόμβος καθορίζει την ακολουθία θέσης του με βάση της μετρήσεις του RSSI των RF πακέτων που ανταλλάσσονται με τους κόμβους αναφοράς. Το RSSI που λαμβάνεται συχνά περιλαμβάνει κάποια τυχαία λάθη λόγω των ιδιοτήτων των RF καναλιών. Η απουσία των λαθών αυτών αναπαριστά τις αποστάσεις ανάμεσα στους άγνωστους κόμβους και τους κόμβους αναφοράς [17].

- Καθορισμός της θέσης

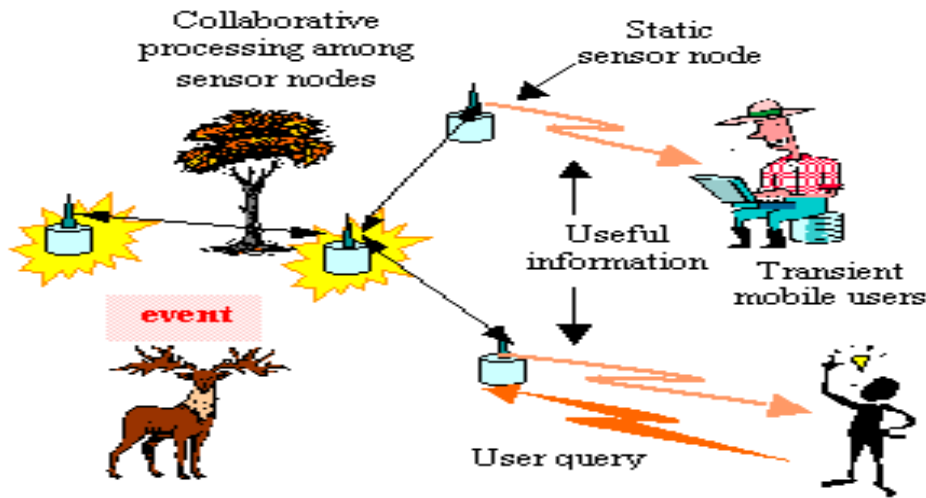
Ο εντοπισμός του αγνώστου κόμβου γίνεται με βάση τα παρακάτω βήματα :

Υπολογίζονται οι αποστάσεις μεταξύ της ακολουθίας θέσης του αγνώστου κόμβου και όλων των ακολουθιών θέσης που βρίσκονται στον πίνακα ακολουθών με βάση κάποιες μετρικές

Επιλέγεται η ακολουθία θέσης που είναι η πλησιέστερη στην ακολουθία του αγνώστου κόμβου

3.4.3 Συνεργατική επεξεργασία σήματος

Για να αποκτηθεί εκτενής πληροφορία για ένα γεγονός σε ένα θορυβώδες περιβάλλον απαιτείται ένα αρκετά πυκνό δίκτυο. Οι προκλήσεις σε ένα τόσο πυκνό δίκτυο αφορούν κυρίως τις συνεργατικές δραστηριότητες των αισθητήρων σε ότι αφορά την ευφυή διαχείριση των πηγών. Οι αισθητήρες λαμβάνουν χωρικά δείγματα για τα υπό μελέτη φαινόμενα τα οποία συγκεντρώνονται, με βάση πάντα την αρχιτεκτονική του δικτύου στους κόμβους, ή στον κόμβο συλλέκτη με τρόπο τέτοιο ώστε να ληφθούν τα μέγιστα δυνατά οφέλη. Ένα άλλο πολύ ενδιαφέρον θέμα σε ότι αφορά τα δίκτυα αισθητήρων είναι τα δυναμικά ερωτήματα που στέλνονται στους κόμβους και αφορούν τη δρομολόγηση των δεδομένων υπό τους περιορισμούς της ισχύος και του εύρους ζώνης [18].



Εικόνα : Συνεργατική επεξεργασία σήματος

3.4.3.1 Ο εντοπισμός ως πρόβλημα για την συνεργατική επεξεργασία σήματος

Ο εντοπισμός είναι μία ιδιαίτερα σημαντική ιδιότητα για πολλές εφαρμογές αισθητήρων καθώς είναι ιδιαίτερα χρήσιμος στην κατάδειξη των προβλημάτων της συνεργατικής επεξεργασίας

σήματος που είναι η δυναμικός καθορισμός και ο σχηματισμός των γκρουπ αισθητήρων που βασίζονται σε κατανεμημένες αρμοδιότητας και διαθεσιμότητα των πηγών [18].

Κάθε δίκτυο αισθητήρων αποτελεί ένα tuple $S_n = (V, E, P_V, P_E)$ όπου τα V και E καθορίζουν το δέντρο του γράφου και την συνδεσιμότητα του δικτύου αφού $E \subseteq V \times V$. Το P_V είναι ένας αριθμός συναρτήσεων που χαρακτηρίζει ιδιότητες του κάθε κόμβου V όπως η υπολογιστική του δυνατότητα, η τοποθεσία, η διατήρηση της ενέργειας, ο τύπος εξόδου από τον αισθητήρα και πολλά άλλα. Πιθανές εισοδοι στον αισθητήρα είναι η θερμοκρασία, το φως, τα ακουστικά, σεισμικά ή μαγνητικά κύματα ενώ πιθανές εξοδοι, πληροφορίες που αφορούν στο πλάτος του σήματος, το εύρος του στόχου κ.α. Ομοίως, το P_E χαρακτηρίζει της ιδιότητες του κάθε link όπως η χωρητικότητα και η ποιότητα.

Στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων κάποια από την πληροφορία που αφορά στην αντικειμενική συνάρτηση ή/και τους περιορισμούς είναι διαθέσιμη μόνο κατά το χρόνο εκτέλεσης. Επιπλέον υπάρχει η ανάγκη ύπαρξης αλγορίθμων που θα δίνουν πληροφορία για οποιαδήποτε χρονική στιγμή καθώς οι περιορισμοί αλλά και η διαθεσιμότητα των πηγών αλλάζουν δυναμικά.

Το παρακάτω σενάριο έχει ως στόχο να αναδείξει όλα τα προβλήματα της συνεργατικής επεξεργασίας σήματος.

Ένας στόχος X μετακινείται από τα αριστερά προς τα δεξιά ενώ ξεκινούν μία σειρά από δραστηριότητες μέσα στο δίκτυο [18].

- Ο κόμβος A ανιχνεύει τον κόμβο X και ξεκινάει ο εντοπισμός
- Ένα ερώτημα Q εισάγεται στο δίκτυο και προωθείται προς όλες τις περιοχές ενδιαφέροντος, στην περίπτωση αυτή στην περιοχή γύρω από τον κόμβο A .
- Ο κόμβος A εκτιμά τη θέση του στόχου με τη βοήθεια των γειτονικών κόμβος.
- Ο κόμβος A μεταδίδει δεδομένα στον κόμβο B .
- Ο κόμβος D συγκεντρώνει τα δεδομένα και τα στέλνει πίσω στον κόμβο που ξεκίνησε το ερώτημα.

Θεωρείται ότι ένας άλλος κόμβος Y μπαίνει στην περιοχή περίπου την ίδια στιγμή. Το δίκτυο θα πρέπει να εκτελέσει πολλές εργασίες ταυτόχρονα και να τις διαχειριστεί όπως αρμόζει για να καταφέρει να εντοπίσει και τους δύο στόχους ταυτόχρονα. Όταν οι δύο στόχοι θα μετακινηθούν ο

ένας κοντά στον άλλο, εμφανίζεται το πρόβλημα της συσχέτισης της μέτρησης με ίχνος του στόχου, δηλαδή το ποιος στόχος έχει κάνει ποια μέτρηση.

Το σενάριο αυτό παρουσιάζει έναν αριθμό προβλημάτων για τα συνεργατικά δίκτυα αισθητήρων που αφορούν στην επικοινωνία, την αποθήκευση, την αναπαράσταση και την ανεύρεση της πληροφορίας.

3.4.3.2 IDSQ (Information Driven Sensor Query): Μία προσέγγιση της Συνεργατικής προσέγγισης στον εντοπισμό του στόχου

Εντοπισμός ανεξάρτητων στόχων

Το βασικό στοιχείο για τον εντοπισμό ενός κινούμενου στόχου σε ένα πεδίο αισθητήρων είναι να καθορίσει στοιχεία για το στόχο όπως η ταχύτητα και η θέση του με βάση τις μετρήσεις των αισθητήρων μέχρι το χρόνο t . Πολλές είναι οι προσεγγίσεις εκείνες, συμπεριλαμβανομένων και των φίλτρων Kalman, που θεωρούν ότι το περιβάλλον είναι Gaussian και εφαρμόζουν τεχνικές Bayesian για τον εντοπισμό των στόχων.

Αλγόριθμοι όπως ο Covariance Intersection έχουν προταθεί με σκοπό να συνδυάσουν τα δεδομένα από τους αισθητήρες με συσχετισμένη πληροφορία.

Για τον εντοπισμό πολλών στόχων έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι όπως η Multiple Hypothesis Tracking και η Joint Probabilistic Data Association που απευθύνονται σε προβλήματα όπως η συσχέτιση των δεδομένων και ο συνδυασμός των δεδομένων που λαμβάνονται από τους κόμβους – στόχους [18].

Προσεγγίσεις που βασίζονται στην πληροφορία

Η κύρια ιδέα πίσω από τις προσεγγίσεις που βασίζονται στην πληροφορία είναι να στηριχθούν οι συνεργατικές αποφάσεις των αισθητήρων στο περιεχόμενο της πληροφορίας καθώς και στους περιορισμούς στην κατανάλωση ενέργειας, την καθυστέρηση και σε άλλα κόστη. Η χρήση των δεδομένων της πληροφορίας που έχει ληφθεί γίνεται από τους αισθητήρες με σκοπό να βοηθήσει στις μελλοντικές χρήσεις και να αυξήσει την ακρίβεια [18].

Συνδυαστικά προβλήματα εντοπισμού

Πολλές από τις εφαρμογές των δικτύων αισθητήρων δεν επικεντρώνονται στη θέση των αντικειμένων αλλά σε άλλες ιδιότητες όπως ο αριθμός των στόχων, οι περιοχές που επηρεάζουν ή τα όριά τους. Η πληροφορία που εξάγεται σε αυτήν την περίπτωση είναι διακριτή και λίγο αφηρημένη και απαντά σε ερωτήματα υψηλότερου επιπέδου για την γενικότερη κατάσταση του δικτύου ή για τις στρατηγικές αποφάσεις που πρέπει να ληφθούν. Ένας τρόπος για να εκτιμηθούν όλες οι ιδιότητες του δικτύου είναι να εντοπιστούν και να αναγνωριστούν όλα τα αντικείμενα και οι ιδιότητές τους και να συνδυαστεί αυτή η πληροφορία για να καλύψει γενικά ερωτήματα για το δίκτυο [18].

3.4.4 Κατανεμημένη εκτίμηση σήματος, ανίχνευση και ταξινόμηση

Οι κατανεμημένες μέθοδοι έχουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους συγκεντρωτικούς αλγορίθμους καθώς μειώνουν το εύρος ζώνης επικοινωνίας και τον υπολογιστικό φόρτο και αυξάνουν την ευρωστία. Για να φτάσουν όμως τα δίκτυα αισθητήρων στο επίπεδο στις βέλτιστης απόδοσης απαιτείται να αναπτυχθούν τεχνικές σύντηξης πολυαισθητήρων [19].

Οι μέθοδοι της κατανεμημένης ανίχνευσης έχουν μελετηθεί εκτενώς τα τελευταία χρόνια. Με βάση αυτές λαμβάνεται μία απόφαση από τον κάθε αισθητήρα που στηρίζεται στη σύγκριση του σήματος που λαμβάνεται με ένα κατώφλι που έχει τεθεί η οποία επικοινωνεί σε όλο το δίκτυο έτσι ώστε να ληφθεί μία συνολική απόφαση. Τα προβλήματα που εντοπίζονται σε αυτήν την περιοχή αφορούν τους κανόνες της βέλτιστης σύντηξης της επικοινωνίας σε άγνωστα περιβάλλοντα και τις μη ακολουθιακές μεθόδους λήψης αποφάσεων. Οι μέθοδοι αυτοί εμπεριέχουν κριτήρια Bayesian και Neyman – Pearson, θεωρία Dempster – Shafer και άλλες παραμετρικές και μη παραμετρικές προσεγγίσεις [19].

Ο στόχος αφού εντοπιστεί κατηγοριοποιείται με βάση τις μετρήσεις που έχουν ληφθεί από τον αισθητήρα. Εάν η ταξινόμηση του στόχου είναι στα επιθυμητά επίπεδα τότε ξεκινά και ο εντοπισμός του. Είναι λοιπόν προφανές ότι οι κατανεμημένες μέθοδοι για την ανίχνευση και την εκτίμηση άπτονται των πολυαισθητηριακών δικτύων όπου ο κανόνας απόφασης βασίζεται σε πολυαισθητηριακά δεδομένα.

3.4.5 Ανίχνευση του φάσματος με τη χρήση δικτύων αισθητήρων

Η εκτίμηση του φάσματος γίνεται με βάση την κατανομή στη συχνότητα της ισχύος μιας τυχαίας διεργασίας. Ερωτήματα όπως το εάν η μεγαλύτερη ισχύς του σήματος βρίσκεται στις υψηλότερες ή χαμηλότερες συχνότητες ή εάν υπάρχουν ακμές συντονισμού στο φάσμα απαντώνται βάσει των αποτελεσμάτων που διεξάγονται από τη φασματική ανάλυση.

Η ανάλυση του φάσματος βρίσκει ευρύ πεδίο εφαρμογής και εκτενή χρήση σε πολλές περιοχές των φυσικών επιστημών. Πολλά είναι τα παραδείγματα της ωκεανογραφίας, της γεωφυσικής, της αστρονομίας και της υδρολογίας που κάνουν χρήση της φασματικής ανάλυσης.

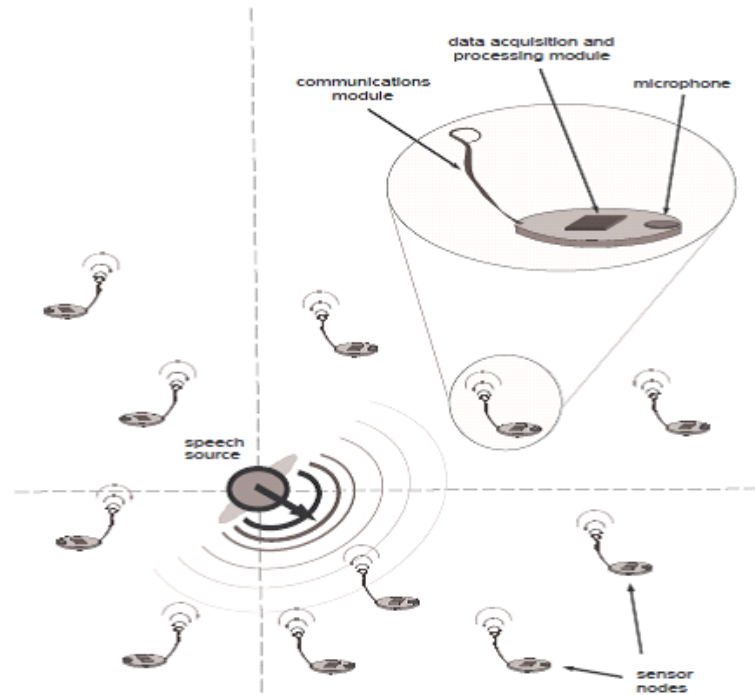
Αν $x(n)$ είναι μία τυχαία μη μηδενική Gaussian διαδικασία η πλήρης στατιστική περιγραφή της παρέχεται από τη συνάρτηση της αυτοσυσχέτισης $R_x(k) = E\{x(n)x(n+k)\}$ ή ισοδύναμα από φασματική πυκνότητα ισχύος όπου [19]

$$P_x(e^{j\omega}) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} R_x(k) e^{-j\omega k}.$$

Η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης δίνει μία χρονική περιγραφή των στατιστικών μιας τυχαίας διεργασίας ενώ η φασματική πυκνότητα ισχύος μια συχνοτική για τις ίδιες πάντα στατιστικές μετρήσεις. Ένα σημαντικό θέμα είναι η εκτίμηση της ισχύος του φάσματος όταν αυτό έχει πεπερασμένου μεγέθους καταγραφή δεδομένων. Η αντιξοότητα αυτή εντοπίζεται στο γεγονός ότι η φασματική ισχύς είναι μία πιθανολογική ποσότητα και οι πιθανολογικές ποσότητες δεν μπορούν να παραχθούν από καταγραφές δειγμάτων πεπερασμένου μεγέθους.

Το παρακάτω σενάριο παρουσιάζει ένα σύστημα στο οποίο μία πηγή ήχου παρακολουθείται από έναν αριθμό κόμβων σε γνωστά σημεία μέσα σε ένα δωμάτιο. Λόγω του αντήχησης, του θορύβου αλλά και άλλων παραγόντων το σήμα που φτάνει σε κάθε κόμβο είναι διαφορετικό.

Οι κόμβοι είναι εξοπλισμένοι με μικρόφωνα, συσκευές δειγματοληψίας, υλικό για την επεξεργασία του σήματος και μέσα επικοινωνίας και μπορούν να επεξεργαστούν τα δεδομένα που λαμβάνουν και να διαμοιράσουν τα αποτελέσματά τους σε όλους τους κόμβους στο δίκτυο.



Εικόνα : Σύστημα ανίχνευσης ήχου [19]

Όπως ειπώθηκε και παραπάνω εάν $x(n)$ είναι μία διακριτή έκφραση του σήματος που παράγεται από την πηγή, η συχνότητα δειγματοληψίας f_s σχετίζεται με το $x(n)$ αυθαίρετα και εξαρτάται από την επιθυμητή ανάλυση της συχνότητας στη διαδικασία εκτίμησης του φάσματος.

Με $v_i(n)$ αναπαρίσταται το σήμα που παράγεται σε κάθε κόμβο αισθητήρα το οποίο υποτίθεται ότι σχετίζεται με την αρχική πηγή του σήματος. Το φίλτρο $H_i(z)$ μοντελοποιεί τις επιρροές από την αντήχηση του δωματίου, τη συχνότητα απόκρισης του ραδιοφώνου και όποια άλλη παράμετρο επιθυμεί ο χρήστης να μοντελοποιήσει.

Η συχνότητα δειγματοληψίας που σχετίζεται με το $v_i(n)$ είναι f_s/N_i όπου N_i είναι ένας σταθερός φυσικός αριθμός. Οι συνιστώσες αυτοσυσχέτισης δίνονται από τον τύπο [19]

$$R_{x_i}(k) = (h_i(k) \star h_i(-k)) \star R_x(k)$$

Ο οποίος στο πεδίο της συχνότητας γίνεται

$$R_{x_i}(k) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} P_x(e^{j\omega}) G_i(e^{j\omega}) e^{jk\omega} d\omega.$$

Εάν αγνοήσουμε όλες τις ατέλειες στη μέτρηση και υποθέσουμε ότι οι συνιστώσες αυτοσυσχέτισης είναι ακριβής τότε όλες οι μετρούμενες ποσότητες είναι μη μηδενικές και μάλιστα περιλαμβάνουν σημαντική πληροφορία. Όταν στις μετρήσεις συμπεριληφθεί ο θόρυβος οι συνιστώσες αυτοσυσχέτισης υπολογίζονται με βάση τις πεπερασμένες καταγραφές δεδομένων και μπορεί να μην έχουν περιεχόμενο. Έτσι το πρόβλημα είτε δε θα έχει καμία λύση είτε θα έχει άπειρες [19].

3.4.5.1 Εκτίμηση του φάσματος με τη χρήση γενικευμένων προβολών

Ένας έξυπνος τρόπος για να γίνει η εκτίμηση του φάσματος είναι η χρήση των γενικευμένων προβολών. Μία γενικευμένη προβολή είναι ουσιαστικά μία μέθοδος κανονικοποίησης στην οποία μία γενικευμένη απόσταση διαδραματίζει το ρόλο της συνάρτησης σταθεροποίησης.

Ένα συγκριτικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι η λύση $P^* \in Q$ μπορεί να εφαρμοστεί για μία σειρά προβολών. Οι ενδιάμεσες προβολές μπορούν να υπολογιστούν τοπικά για κάθε αισθητήρα και μάλιστα σε μία υψηλά κατανεμημένη δομή δικτύου.

Η γενικευμένη απόσταση είναι μία πραγματικής τιμής μη αρνητική συνάρτηση δύο διανυσμάτων των μεταβλητών $D(X,Y)$ που καθορίζεται με έναν τρόπο τέτοιο ώστε η τιμή της να αναπαριστά την απόσταση μεταξύ X και Y με μία πιο γενικευμένη έννοια. Με τη χρήση της κατάλληλης

γενικευμένης αντίστασης μετατρέπει το αρχικό πρόβλημα εκτίμησης του φάσματος του ασύρματου δικτύου αισθητήρων [20]

$$D_1(P_1, P_2) = \int_{-\pi}^{\pi} (P_1 - P_2)^2 d\omega,$$

$$D_2(P_1, P_2) = \int_{-\pi}^{\pi} \left(P_1 \ln \frac{P_1}{P_2} + P_2 - P_1 \right) d\omega,$$

$$D_3(P_1, P_2) = \int_{-\pi}^{\pi} \left(\frac{P_1}{P_2} - \ln \frac{P_1}{P_2} - 1 \right) d\omega,$$

Στο παρακάτω ελαχιστοποιημένο πρόβλημα

$$P^* = \arg \min_{P \in \mathcal{Q}} D(P, P_0),$$

Όταν υπάρχει ένα και μοναδικό P^* τότε ονομάζεται γενικευμένη προβολή του P_0 στο \mathcal{Q} . Γενικότερα, η προβολή ενός δεδομένου σημείου σε μία καμπύλη καθορίζεται από δύο ιδιότητες. Αρχικά ανήκει στο σετ στο οποίο εκτελείται η λειτουργία προβολής και δεύτερον αποδίδει την ελάχιστη τιμή στην απόσταση μεταξύ ενός συγκεκριμένου σημείου και ενός οποιουδήποτε σημείου στο σετ.

Εάν χρησιμοποιείται η Ευκλείδεια απόσταση $\|X - Y\|$ τότε η προβολή ονομάζεται μετρική προβολή. Σε κάποιες περιπτώσεις, όπως στο πρόβλημα εκτίμησης του φάσματος, έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμοι οι τρόποι υπολογισμού της απόστασης ανάμεσα σε δύο διανύσματα. Ο κύριος λόγος είναι ότι η λύση της συνάρτησης θα εξαρτάται πάντα από την επιλογή της μετρικής της απόστασης που θα χρησιμοποιηθεί στην προβολή.

3.4.5.2 Καταναμημένοι Αλγόριθμοι για τον υπολογισμό της γενικευμένης προβολής

- Ο αλγόριθμος Ring [19]

Πρόκειται για έναν ιδιαίτερα απλό αλγόριθμο ο οποίος ξεκινά με μία τυχαία πρόβλεψη P_0 για $P_X(e^{j\omega})$ και έπειτα υπολογίζει μία σειρά από συνεχόμενες προβολές πάνω στα σετ, $Q_{i,k}$. Τότε λαμβάνει υπόψιν του την τελευταία προβολή και την στέλνει πίσω στο αρχικό σετ των περιορισμών. Στην συνέχεια παράγει μία ακολουθία από λύσεις οι οποίες τελικά συγκλίνουν στη λύση $P^* \in T_{i,k} Q_{i,k}$. Τα βήματα του αλγορίθμου παρουσιάζονται παρακάτω :

The Ring Algorithm

Input: A distance function $D_j(P_1, P_2)$, an initial power spectrum $P_0(e^{j\omega})$, the squared sensor frequency responses $G_i(e^{j\omega})$, and the autocorrelation estimates $R_{v_i}(k)$ for $0, 1, \dots, L-1$ and $i = 1, 2, \dots, N$.

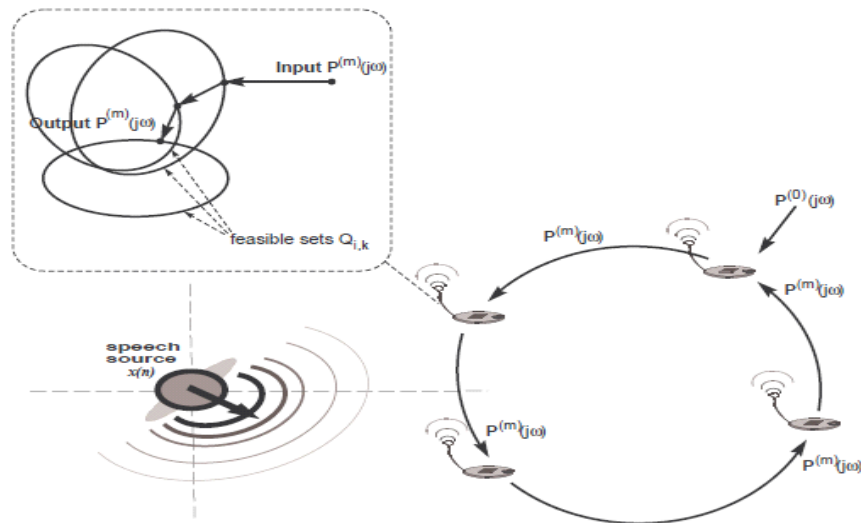
Output: A power spectrum $P^*(e^{j\omega})$.

Procedure:

1. Let $m = 0$, $i = 1$ and $P^{(m)} = P_0$.
2. Send $P^{(m)}$ to the i th sensor node.

At the i th sensor:

 - (i) Let $k = 0$ and define $\tilde{P}_k = P^{(m)}$.
 - (ii) Calculate $\tilde{P}_k = P_{[\tilde{P}_{k-1} \leftrightarrow \mathcal{Q}_{i,k}; D_j]}$ for $k = 1, 2, \dots, L-1$.
 - (iii) If $D(\tilde{P}_{L-1}, \tilde{P}_0) > \epsilon$ then let $\tilde{P}_0 = \tilde{P}_{L-1}$ and go back to item (ii). Otherwise $i = i + 1$ and go to Step 3.
3. If $(i \bmod N) = 1$ then set $m = m + 1$ and reset i to 1. Otherwise, set $P^{(m)} = \tilde{P}_{L-1}$ and go back to Step 2.
4. Define $P^{(m)} = \tilde{P}_{L-1}$. If $D(P^{(m)}, P^{(m-1)}) > \epsilon$, go back to Step 2. Otherwise output $P^* = P^{(m)}$ and stop.



Εικόνα :

Απεικόνιση του αλγορίθμου ring

- Ο αλγόριθμος star [19]

Ο ring αλγόριθμος είναι αποκεντρωμένος παρόλα αυτά όμως δεν καταλήγει σε μία λύση εάν τα $Q_{i,k}$ δεν έχουν καμία τομή ή εάν κάποιος από τους αισθητήρες στο δίκτυο παρουσιάζει κάποιο πρόβλημα. Ο αλγόριθμος star είναι ένας άλλος κατακεντρωμένος αλγόριθμος ο οποίος κάνει χρήση των δεδομένων του κάθε αισθητήρα ξεχωριστά. Συνδυάζει ακολουθία προβολών πάνω στα $Q_{i,k}$ και παράγει μία ακολουθία λύσεων $P(m)$. Η ακολουθία τελικά συγκλίνει στη λύση $P^* \in \bigcap_{i,k} Q_{i,k}$ εάν αυτή υπάρχει. Ο star αλγόριθμος είναι πλήρως παραλληλίστιμος και έτσι πολύ πιο γρήγορος.

Τα βήματα του φαίνονται παρακάτω και μία απεικόνισή του στην παρακάτω εικόνα

The Star Algorithm

Input: A distance function $D_j(P_1, P_2)$, an initial power spectrum $P_0(e^{j\omega})$, the squared sensor frequency responses $G_i(e^{j\omega})$, and the autocorrelation estimates $R_{v_i}(k)$.

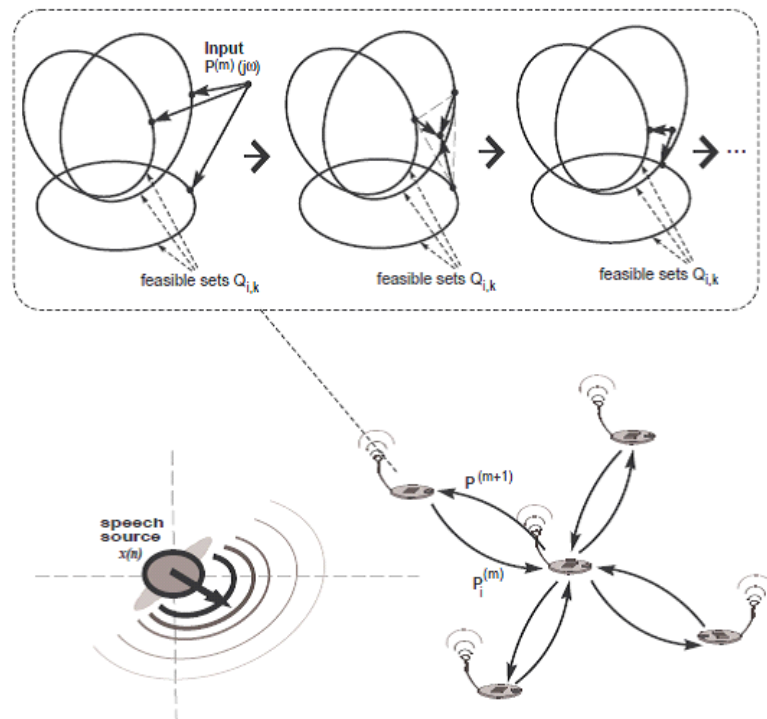
Output: A power spectrum $P^*(e^{j\omega})$.

Procedure:

1. Let $m = 0$ and $P^{(0)} = P_0$.
2. Send $P^{(m)}$ to all sensor nodes.

At the i th sensor:

- (i) Let $n = 0$ and define $\tilde{P}^{(n)} = P^{(m)}$.
 - (ii) Calculate $\tilde{P}_k = P_{[P^{(n)}, Q_{i,k}; D_j]}$ for all k .
 - (iii) Calculate $\tilde{P}^{(n+1)} = \arg \min_P \sum_k D(P, \tilde{P}_k)$.
 - (iv) If $D(\tilde{P}^{(n+1)}, \tilde{P}^{(n)}) > \epsilon$ go to item (ii) and repeat. Otherwise, define $P_i^{(m+1)} = \tilde{P}^{(n+1)}$ and send it to the central unit.
2. Receive $P_i^{(m+1)}$ from all sensor and calculate $P^{(m+1)} = \arg \min_P \sum_i D(P, P_i^{(m+1)})$.
 3. If $D(P^{(m+1)}, P^{(m)}) > \epsilon$, go to step 2 and repeat. Otherwise stop and output $P^* = P^{(m+1)}$.



Εικόνα : Απεικόνιση του αλγορίθμου star

3.4.5.3 Πολυαισθητηριακή σύντηξη δεδομένων

Οι αισθητήρες πραγματοποιούν τις μετρήσεις τους ανιχνεύοντας τα σήματα ενέργειας που εξάγονται από το στόχο. Η ενέργεια των περισσότερων σημάτων εξασθενεί καθώς μεγαλώνει η απόσταση από την πηγή. Εάν ένας αισθητήρας i βρίσκεται d_i μέτρα από την στόχο και εκπέμπει ένα σήμα ενέργειας S τότε το εξασθενημένο σήμα ενέργειας s_i στη θέση του αισθητήρα i δίνεται από $s_i = S \cdot w(d_i)$ όπου $w(\cdot)$ είναι μία συνάρτηση που ικανοποιείται για $w(0) = 1$, $w(\infty) = 0$, και $w(x) = \theta(x^{-k})$ [20].

Ο εκθέτης των απωλειών του σήματος έχει ένα εύρος από 2 έως 5 ανάλογα με τον περιβάλλοντα χώρο, τις ατμοσφαιρικές συνθήκες κ.α..

Οι μετρήσεις των αισθητήρων συχνά προσβάλλονται από αθροιστικούς τυχαίους θορύβους από το υλικό του αισθητήρα ή το περιβάλλον. Ανάλογα με το εάν ο στόχος είναι παρών (H_1) ή απών (H_0) η μέτρηση του αισθητήρα i , καταγεγραμμένη ως y_i δίνεται από

$$H_0 : y_i = n_i,$$

$$H_1 : y_i = s_i + n_i,$$

Όπου n_i είναι η ενέργεια του θορύβου που δέχτηκε ο αισθητήρας. Ο θόρυβος σε κάθε κόμβο συχνά ακολουθεί μία κανονική κατανομή $\sim N(\mu, \sigma^2)$, όπου μ και σ^2 είναι η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση του n_i . Οι θόρυβοι θεωρούνται ότι βρίσκονται στο χώρο και είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους σε ότι αφορά τους αισθητήρες άρα είναι Gaussian θόρυβοι.

Όταν παρουσιαστεί ένας στόχος η μέτρηση του αισθητήρα ακολουθεί την κανονική κατανομή. Λόγω της ανεξαρτησίας των θορύβων οι μετρήσεις των αισθητήρων είναι ανεξάρτητες αλλά όχι ομοιόμορφα κατανεμημένες καθώς οι αισθητήρες λαμβάνουν σήματα διαφορετικής ισχύος από τον στόχο.

3.4.5.4 Μοντέλο σύντηξης δεδομένων

Η σύντηξη των δεδομένων μπορεί να βελτιώσει αισθητά τα συστήματα ανίχνευσης αντιμετωπίζοντας από κοινού τις θορυβώδεις μετρήσεις πολλαπλών αισθητήρων. Υπάρχουν δύο βασικά σχήματα σύντηξης δεδομένων τα οποία είναι η σύντηξη αποφάσεων και η σύντηξη τιμών [20].

Στην σύντηξη αποφάσεων κάθε κόμβος παίρνει μία απόφαση βασισμένος στις μετρήσεις του την οποία και προωθεί προς τον cluster head ο οποίος παίρνει την απόφαση για όλο το σύστημα με βάση τις αποφάσεις που συλλέγει από όλους τους κόμβους. Από την άλλη στη σύντηξη τιμών, κάθε αισθητήρας στέλνει τις μετρήσεις του στον cluster head ο οποίος πλέον λαμβάνει την απόφαση σύντηξης με βάση τις μετρήσεις που λαμβάνει.

Βέβαια, καθώς οι μετρήσεις ενός αισθητήρα περιέχουν τόσο ενέργεια σήματος όσο και θόρυβο το SNR που λαμβάνεται από τον αισθητήρα i είναι άγνωστο καλή λύση είναι να υιοθετηθούν σταθερές ίσως βαρών για όλους τους αισθητήρες. Από τη στιγμή που όλες οι μετρήσεις των αισθητήρων αντιμετωπίζονται ισάξια, οι αισθητήρες που βρίσκονται μακριά από τον στόχο εξαιρούνται από τη σύντηξη των δεδομένων καθώς οι μετρήσεις τους έχουν πολύ χαμηλό SNR.

Το μοντέλο σύντηξης δεδομένων που ακολουθείται είναι το εξής [20]:

Για κάθε φυσικό σημείο p , οι αισθητήρες σε μία απόσταση r μέτρα από το p σχηματίζουν ένα cluster και συγκεντρώνουν τις μετρήσεις τους με σκοπό να ανιχνεύσουν εάν ένας στόχος είναι παρών στο p . Ο χώρος R αποτελεί το εύρος σύντηξης και η συνάρτηση $F(p)$ καταδεικνύει το γκρουπ των αισθητήρων μέσα στο εύρος σύντηξης του p . Ο αριθμός των αισθητήρων στην $F(p)$ αναπαρίσταται με $N(p)$ ενώ εκλέγεται ένας cluster head ώστε να λάβει την απόφαση ανίχνευσης συγκρίνοντας το σύνολο των μετρήσεων που έχει λάβει από τους αισθητήρες στο $F(p)$ σε σχέση με ένα κατώφλι T . Το εύρος σύντηξης R είναι και αυτό μία πολύ σημαντική παράμετρος σχεδιασμού καθώς το SNR που λαμβάνεται από τον κόμβο φθίνει σε σχέση πάντα με την απόσταση από το στόχο.

Το μοντέλο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τον παρακάτω τρόπο. Η ανίχνευση μπορεί να γίνεται περιοδικά ή να ενεργοποιείται από συγκεκριμένα ερωτήματα. Κατά τη διαδικασία αυτή, κάθε κόμβος παίρνει μία μέτρηση και σχηματίζεται ένα cluster κόμβων ανάμεσα στην υπό σύντηξη περιοχή. Ο σχηματισμός του cluster μπορεί να ξεκινήσει και από τον κόμβο που έχει λάβει τη μεγαλύτερη μέτρηση.

Ένα τέτοιο σχήμα μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλούς αλγόριθμους που αφορούν σε δυναμικά clustering με το εύρος ζώνης σύντηξης R να αποτελεί την input στο αλγόριθμο παράμετρο. Η τοπολογία επικοινωνίας αποτελεί ένα multi hop δέντρο με ρίζα τον cluster head και οι στατιστικές Y είναι μία συγκέντρωση των μετρήσεων από τους κόμβους που μπορεί να υπολογιστεί εύκολα διασχίζοντας το δέντρο.

3.4.5.5 Κάλυψη με βάση το μοντέλο σύντηξης

Η κάλυψη ενός ομοιόμορφα κατανεμημένου δικτύου που κάνει σύντηξη δεδομένων δίνεται από τον τύπο [20]

$$c = \mathbb{P} \left(\frac{\sum_{i \in \mathbf{F}(p)} s_i}{\sqrt{N(p)}} \geq \sigma (Q^{-1}(\alpha) - Q^{-1}(\beta)) \right),$$

Όπου p είναι ένα τυχαίο σημείο στο δίκτυο.

Όταν δεν υπάρχει κανένας προς μελέτη στόχος όλοι οι κόμβοι μετρούν θορύβους και έτσι

$$Y|H_0 = \sum_{i \in \mathbf{F}(p)} n_i \sim \mathcal{N}(\mu N(p), \sigma^2 N(p)).$$

Ο ρυθμός του λάθος συναγεμού είναι

$$\mathbb{P}(Y \geq T|H_0) = Q \left(\frac{T - \mu N(p)}{\sigma \sqrt{N(p)}} \right), \text{ όπου } T \text{ είναι το κατώφλι ανίχνευσης.}$$

Καθώς η PD είναι μία μη ελαττωμένη συνάρτηση της PF μεγιστοποιείται όταν η PF τίθεται στο ανώτερο όριο της α . Το σχήμα αυτό αναφέρεται ως ανιχνευτής του ρυθμού του λάθος συναγεμού.

Στην αντίθετη περίπτωση, όταν δηλαδή παρίσταται στόχος προς ανίχνευση,

$$Y|H_1 = \sum_{i \in \mathbf{F}(p)} s_i + n_i \sim \mathcal{N}(\mu N(p) + \sum_{i \in \mathbf{F}(p)} s_i, \sigma^2 N(p)).$$

Και η πιθανότητα ανίχνευσης δίνεται από

$$P_D(p) = \mathbb{P}(Y \geq T|H_1) = Q \left(\frac{T - \mu N(p) - \sum_{i \in \mathbf{F}(p)} s_i}{\sigma \sqrt{N(p)}} \right)$$

Εάν αντικατασταθεί το T με το βέλτιστο T τότε λύνοντας ως προς $P_D(p) \geq \beta$ δημιουργείται η απαραίτητη και επαρκής κατάσταση όπου το p καλύπτεται

$$\frac{\sum_{i \in \mathbf{F}(p)} s_i}{\sqrt{N(p)}} \geq \sigma (Q^{-1}(\alpha) - Q^{-1}(\beta)).$$

Καθώς το τυχαίο δίκτυο είναι στατικό, η περιοχή κάλυψης ισούται με την πιθανότητα ένα τυχαίο σημείο να καλύπτεται από το δίκτυο και η $N(\rho)$ είναι μια τυχαία μεταβλητή στην κατανομή Poisson.

Για παράδειγμα, η πιθανότητα ανίχνευσης είναι περίπου 40% όταν τοποθετούνται 4 MICA2 κόμβοι σε μία περιοχή $10 * 12 \text{ m}^2$. Υποθέτουμε ότι το $R = 20\text{m}$ και ότι η πυκνότητα του δικτύου $N(\rho)$ είναι περίπου 50 [20].

3.4.5.6 Πλήρης κάλυψη με χρήση του βέλτιστου εύρους σύντηξης

Πολλές από τις εφαρμογές των ασύρματων δικτύων αισθητήρων απαιτούν υψηλά επίπεδα κάλυψης της υπό παρακολούθησης περιοχής και άρα κάθε στόχος μέσα στην περιοχή μπορεί να ανιχνευθεί με πιθανότητα τουλάχιστον β όταν ο ρυθμός λάθος συναγερμού είναι α . Τα υψηλά επίπεδα κάλυψης απαιτούν και περισσότερους αισθητήρες και άρα η πυκνότητα του δικτύου είναι μία πολύ σημαντική μετρική για το κόστος [20].

Η σύντηξη των δεδομένων επιτρέπει στο μέγιστο αριθμό αισθητήρων να συμμετάσχουν στην ανίχνευση και είναι μία πολύ αποτελεσματική μέθοδος για τη βελτίωση της του εύρους περιοχής ανίχνευσης και τη μείωση της πυκνότητας ταυτόχρονα. Έχει το μοναδικό πλεονέκτημα να αυξάνει το κέρδος απόδοσης όταν το SNR είναι χαμηλό και άρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές όπου χρειάζονται υψηλά επίπεδα κάλυψης. Βέβαια, μία μεγαλύτερου εύρους σύντηξη απαιτεί και περισσότερους αισθητήρες που να συγκεντρώνουν τα δεδομένα τους και οδηγεί σε ένα overhead στην επικοινωνία.

Βιβλιογραφία

- [1] Jason Lester Hill, System Architecture for Wireless Sensor Networks, University of California, 2000
- [2] Yarvis, M.D., et al., Real-World Experiences with an Interactive Ad Hoc Sensor Network. 2002: International Conference on Parallel Processing Workshops
- [3] Δήμου Μ, Κοσσυβάκης Θ, Προσομοίωση Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων και Μετρήσεις σε Πραγματικό Χρόνο, 2011
- [4] Mainwaring, A., et al., Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring, in ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA'02). 2002
- [5] Mark A. Perillo, Wendi B. Heinzelman, Wireless Sensor Network Protocols
- [6] D. Steere, A. Baptista, D. McNamee, C. Pu, and J. Walpole. Research challenges in environmental observation and forecasting systems. In Proceedings of the Sixth Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom), 2000

- [7]I.F. Akyildiz, W. Su*, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, Wireless sensor networks: a survey, Computer Networks 38 (2002) 393–422
- [8] J.M. Kahn, R.H. Katz, K.S.J. Pister, Next century challenges: mobile networking for smart dust, Proceedings of the ACM MobiCom'99, Washington, USA, 1999, pp. 271–278.
- [9]G.J. Pottie, W.J. Kaiser, Wireless integrated network sensors, Communications of the ACM 43 (5) (2000) 551–558.
- [10] E. Shih, S. Cho, N. Ickes, R. Min, A. Sinha, A. Wang, A. Chandrakasan , Physical layer driven protocol and algorithm design for energy-efficient wireless sensor networks, Proceedings of ACM MobiCom'01, Rome, Italy, July 2001, pp. 272–286.
- [11]W. R. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan, "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks," in proc. ACM MobiCom '99, Seattle, WA, 1999.
- [12] Yazeed Al-Obaisat, Robin Braun, On Wireless Sensor Networks: Architectures, Protocols, Applications, and Management
- [13] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Micro-Sensor Networks, in Proc. of the 33rd Annual Hawaii International Conf. on System Sciences, pp. 3005- 3014, 2000.
- [14] S. Lindsey, C. S. Raghavendra, PEGASIS: Power- Efficient Gathering in Sensor Information Systems, IEEE Aerospace Conference, Montana, 2002.
- [15]Milan Miseje, Jan Sturcel, SIGNAL PROCESSING IN SMART SENSOR SYSTEMS, Journal of ELECTRICAL ENGINEERING, VOL. 54, NO. 5-6, 2003, 154-159
- [16] Mahesh Vemula, MONTE CARLO METHODS FOR SIGNAL PROCESSING IN WIRELESS SENSOR NETWORKS, August 2007

[17] Kiran Yedavalli, Bhaskar Krishnamachari, Sequence-Based Localization in Wireless Sensor Networks, IEEE TRANSACTIONS ON MOBILE COMPUTING, VOL. 7, NO. 1, JANUARY 2008

[18] Feng Zhao, Jie Liu, Juan Liu, Leonidas Guibas, and James Reich, Collaborative Signal and Information Processing: An Information Directed Approach, PROCEEDINGS OF THE IEEE, 2003

[19] Omid S. Jahromi, Parham Aarabi, Distributed Signal Processing In Sensor Networks, EMBEDDED SYSTEMS HANDBOOK, CRC PRESS

[20] Guoliang Xing, Rui Tan, Benyuan Liu, Jianping Wang, Xiaohua Jia, Chih-Wei Yi, Data Fusion Improves the Coverage of Wireless Sensor Networks