

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Πίνακας Περιεχομένων.....	1
Πρόλογος	3
Εισαγωγή.....	4
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων	6
1.1 Αισθητήρες.....	6
1.2 Ορισμός ενός Wireless Sensor Network	11
1.3 Εφαρμογές δικτύων αισθητήρων	13
1.3.1 Στρατιωτικές εφαρμογές	14
1.3.2 Περιβαλλοντολογικές εφαρμογές.....	16
1.3.3 Έλεγχος οικοσυστήματος.	16
1.3.4 Έλεγχος κλίματος σε μεγάλα κτηριακά συγκροτήματα.	16
1.3.5 Πρόληψη καταστροφών και παροχή βοήθειας	17
1.3.6 Ιατρική φροντίδα.....	19
1.3.7 Οικιακές εφαρμογές.....	20
1.3.8 Επιστημονικές εξερευνήσεις	21
1.3.9 Αλληλεπίδραση με το περιβάλλον.....	21
1.3.10 Επίβλεψη	22
1.3.11 Underwater sensor networks.....	23
1.4 Προβλήματα και Περιορισμοί των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων	25

Κεφάλαιο 2: Μοντελοποίηση Δεδομένων και Γλώσσες Επερωτήσεων.....	28
2.1 Αρχιτεκτονική επεξεργαστών επερωτημάτων.....	28
2.2 Γλώσσα Επερωτήσεων	29
2.2.1 Επερωτήματα βασισμένα σε γεγονότα (Event-Based Queries).....	31
2.2.2 Επερωτήματα βασισμένα σε χρόνο ζωής (Lifetime-Based Queries)	32
2.2.3 Διασπορά Επερωτήσεων και Συλλογή Αποτελεσμάτων.....	33
2.3 Συναρτήσεις συνάθροισης.....	33
2.3.1 Χαρακτηριστικά συναρτήσεων συνάθροισης.....	34
2.3.2 Συνάθροιση μέσα στο δίκτυο.....	36
Κεφάλαιο 3: Οι αλγόριθμοι ECReduced, STG και STS	39
3.1 Ο αλγόριθμος ECReduced	43
3.2 Ο αλγόριθμος SegmentToGateway (STG)	44
3.3 Ο αλγόριθμος SegmentToSegment (STS)	46
Βιβλιογραφία	50

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο τομέας των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων παρουσιάζει τα τελευταία χρόνια πολύ μεγάλη ζήτηση σε ερευνητικό επίπεδο. Η εισαγωγή νέων τεχνολογιών και η ανάπτυξη των ήδη υπάρχουσών έδωσε πρόσφορο έδαφος για μεγάλες αλλαγές και βελτιώσεις σε αυτό τον τομέα. Στα δίκτυα αισθητήρων μία από τις απαιτήσεις είναι η μακροβιότητα του δικτύου, το οποίο επιτυγχάνεται με την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας σε κάθε κόμβο αισθητήρα. Πολλοί ερευνητές επικεντρώνονται στον σχεδιασμό αλγορίθμων δρομολόγησης που θα καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια και επομένως, θα παρατείνουν τη διάρκεια ζωής του δικτύου.

Η διπλωματική αυτή εργασία ασχολείται με την παράλληλη επεξεργασία πολλαπλών συναθροιστικών επερωτήσεων σε ένα δίκτυο αισθητήρων. Ο στόχος λοιπόν είναι, τόσο να βρεθούν οι αποδοτικές διαδρομές που ελαχιστοποιούν το κόστος επικοινωνίας στην εκτέλεση πολλών συναθροιστικών επερωτήσεων, με την κατάλληλη επεξεργασία και την σωστή δρομολόγηση των μετρήσεων των κόμβων, όσο και να μειωθεί ο αριθμός των αστοχιών σύνδεσης μεταξύ των κόμβων. Επίσης, εξετάζεται η αρχιτεκτονική που τα δίκτυα αυτά επεξεργάζονται τα δεδομένα τους και παρουσιάζονται αλγόριθμοι για την εξαγωγή πληροφοριών από ένα δίκτυο αισθητήρων.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τον όρο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων εννοούμε ένα πλήθος υπολογιστικών κόμβων, οι οποίοι διαθέτουν μικρό φυσικό μέγεθος, δυνατότητες ασύρματης επικοινωνίας και φέρουν αισθητήρες που τους επιτρέπουν να παρατηρούν διάφορα φυσικά μεγέθη. Το πλήθος των κόμβων, οι υπολογιστικές τους δυνατότητες, το μέγεθός τους, το είδος των αισθητήρων τους κτλ., είναι όλοι τους παράγοντες που μεταβάλλονται και μπορούν να διαφέρουν ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία προορίζονται. Έτσι, μια εφαρμογή ασύρματων αισθητήρων μπορεί να χρησιμοποιήσει από μερικές δεκάδες έως και χιλιάδες τέτοιους κόμβους που το μέγεθός τους μπορεί να ποικίλει από μικροσκοπικό έως ενός μικρού υπολογιστικού συστήματος.

Ένας τυπικός τρόπος της εξαγωγής πληροφοριών από ένα δίκτυο αισθητήρων ξεκινάει με τη διάδοση των επερωτήσεων (queries) από έναν κόμβο βάσης (gateway) προς τους κόμβους αισθητήρων, ζητώντας τους να ελέγξουν περιοδικά το περιβάλλον, και να επιστρέψουν τα συνολικά αποτελέσματα σε τακτά διαστήματα, συχνά αποκαλούμενα ως εποχές. Στην εργασία αυτή επικεντρωνόμαστε στην εκτέλεση πολλαπλών επερωτημάτων συνάθροισης. Το δίκτυο αισθητήρων εκτελεί τη συνάθροιση καθοδηγώντας τα στοιχεία από τους αισθητήρες πηγής μέσω των ενδιάμεσων κόμβων προς την gateway. Στην περίπτωση αυτή είναι χρήσιμο για τους κόμβους που βρίσκονται στην ίδια ομάδα (απαντάνε στο ίδιο υποσύνολο επερωτήσεων), να οργανωθούν ανάλογα στην τοπολογία του δικτύου, δηλαδή να χωριστούν σε ομάδες. Το πλεονέκτημα της προσέγγισης αυτής είναι ότι οι κόμβοι με παιδιά της ίδιας ομάδας μπορούν να συναθροίσουν τις τιμές των παιδιών τους σε μία τελική τιμή [26]. Μια γενική αντίληψη, ότι οι κόμβοι αισθητήρων είναι στατικοί και παραμένουν σταθερά στη θέση τους, κυριαρχούσε για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ωστόσο, ορισμένες εφαρμογές, όπως παρακολούθηση των οικοτόπων, της άγριας πανίδας, περιπτώσεις διάσωσης, ιατρική περίθαλψη και περιπτώσεις αντιμετώπισης καταστροφών, έχουν επιτρέψει την κινητικότητα σε WSN. Η κίνηση όμως των

κόμβων προκαλεί προβλήματα στην δομή των δέντρων, αφού παρατηρούνται πολλές αστοχίες σύνδεσης μεταξύ των κόμβων. Το κόστος διάδοσης των επερωτήσεων στο δίκτυο υποτίθεται ότι έχει ένα δευτεροβάθμιο ρόλο για τις μακροπρόθεσμες επερωτήσεις, δεδομένου ότι η διάδοση επερωτήσεων πραγματοποιείται μία φορά, ενώ η διάδοση αποτελέσματος εμφανίζεται επανειλημμένα στους περιοδικούς κύκλους (εποχές) και οι αστοχίες σύνδεσης είναι ένα συχνό φαινόμενο.

Στην εργασία αυτή αρχικά ορίζουμε τι είναι αισθητήρας, τι είναι ένα δίκτυο αισθητήρων, παρουσιάζουμε εφαρμογές τους και αναλύουμε τα προβλήματα και τους περιορισμούς τους. Στην συνέχεια, αναλύουμε τις γλώσσες επερωτήσεων και επικεντρωνόμαστε κυρίως στις συναρτήσεις συνάθροισης. Τέλος, Στο 3ο κεφάλαιο παρουσιάζουμε τρεις αλγόριθμους που χρησιμοποιούν τεχνικές συνάθροισης μέσα στο δίκτυο, με σκοπό την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας. Οι αλγόριθμοι αυτοί (ECReduced, STG και STS) δεν λαμβάνουν υπόψιν τους την κίνηση των κόμβων, αλλά μόνο την τοποθεσία τους και τον αριθμό των hops.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

1.1 Αισθητήρες

Είναι σημαντικό να αποσαφηνίσουμε τη διαφορά ενός αισθητήρα και ενός κόμβου του δικτύου που έχει ενσωματωμένο κάποιο αισθητήρα. Ο αισθητήρας από μόνος του είναι η συσκευή εκείνη που αναλαμβάνει τη μετατροπή των σημάτων του φυσικού κόσμου σε ηλεκτρικά σήματα. Οι αισθητήρες αποτελούν ένα πολύ σημαντικό κομμάτι στην επιστήμη των ηλεκτρονικών, εφόσον συνδέουν οποιοδήποτε κύκλωμα ελέγχου με το εξωτερικό περιβάλλον. Τα πεδία εφαρμογής βρίσκονται όπου απαιτείται η αλληλεπίδραση ενός κυκλώματος ελέγχου ή ενός αυτοματισμού με το εξωτερικό περιβάλλον. Οι συχνότερες εφαρμογές είναι σε βιομηχανικούς αυτοματισμούς, σε συστήματα ελέγχου αυτοκινήτων, πλοίων, αεροπλάνων, σε αυτοματισμούς οικιακών συσκευών κλπ. Παραδοσιακά οι αισθητήρες αποτελούν αρκετά ογκώδεις συσκευές με συνηθέστερους τους αισθητήρες θερμοκρασίας, πίεσης, ροής και τους ανιχνευτές ακτινοβολίας.

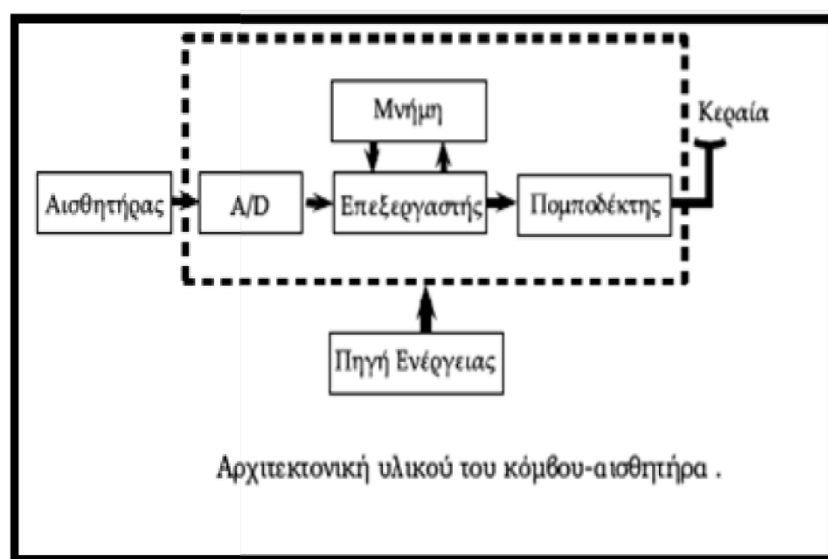
Τις τελευταίες δεκαετίες, λόγω της ανάπτυξης της τεχνολογίας της μικρομηχανικής, η ανάπτυξη τόσο των αισθητήρων, όσο και των εφαρμογών τους έχει γνωρίσει ραγδαία αύξηση (με προοπτικές ακόμα μεγαλύτερης ανάπτυξης). Η μικρομηχανική αποτελεί την επέκταση της μικροηλεκτρονικής στον χώρο των αισθητήρων, εκμεταλλευόμενη τις τεράστιες τεχνολογικές δυνατότητες που η μικροηλεκτρονική προσφέρει. Με την ανάπτυξη των μικρομηχανικών τεχνικών, αφενός βελτιστοποιήθηκαν τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων και αφετέρου μειώθηκε δραματικά το κόστος και το μέγεθός τους. Έτσι, κατέστη εφικτή η ανάπτυξη νέων πρωτότυπων μικρομηχανικών δομών, σχεδιασμένων για ειδικές εφαρμογές όπως αυτές των δικτύων αισθητήρων που μελετάμε στην παρούσα εργασία.

Ένας αισθητήρας έχει την δυνατότητα να μετρήσει κάποιο χαρακτηριστικό του χώρου που τον περιβάλλει όπως:

- Θερμοκρασία
- Υγρασία
- Χημική σύσταση
- Κίνηση και δονήσεις
- Ήχος
- Συνθήκες φωτός

Στα πλαίσια των δικτύων αισθητήρων, ο όρος αισθητήρας συνήθως χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει μια λειτουργική μονάδα του δικτύου που εκτός από τη λειτουργία της αίσθησης συμπεριλαμβάνει όλο εκείνο το υλικό και λογισμικό που την καθιστούν αυτόνομο κόμβο του δικτύου.

Μια γενική εικόνα της αρχιτεκτονικής του υλικού ενός κόμβου παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 1).



Εικόνα 1: Απεικόνιση της αρχιτεκτονικής υλικού του κόμβου – αισθητήρα

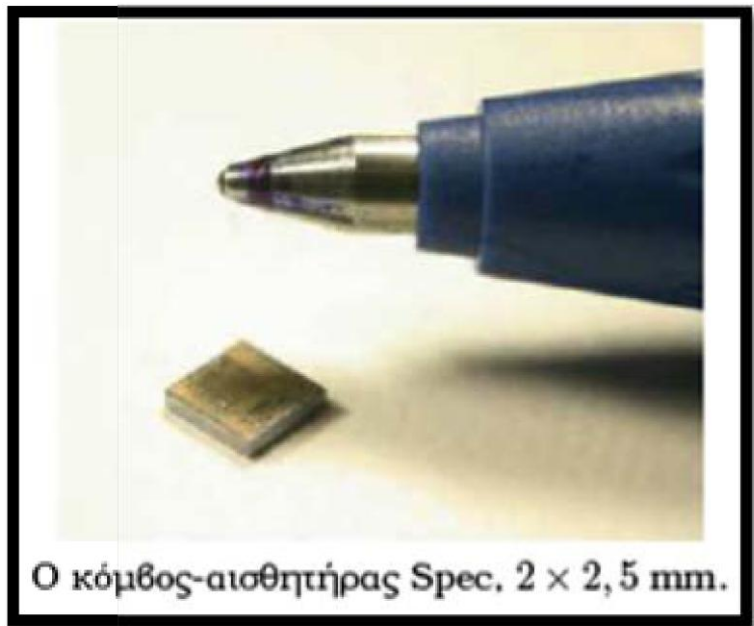
Παρατηρούμε ότι τα βασικότερα τμήματα του υλικού ενός κόμβου-αισθητήρα είναι το σύστημα μετάδοσης, οι αισθητήρες, η μονάδα επεξεργασίας και η μνήμη. Το σύστημα μετάδοσης είναι το πλέον σημαντικό σύστημα ενός κόμβου, μιας και αποτελεί το τμήμα με την μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας, επηρεάζοντας έτσι την απόδοση του κόμβου, αλλά και τη συνολική απόδοση του δικτύου. Θέματα που απασχολούν την έρευνα στον τομέα του συστήματος μετάδοσης σχετίζονται με την ακτίνα εκπομπής, τον τύπο διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται καθώς και τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων.

Οι αισθητήρες αποτελούν τη διεπαφή εκείνη που αναλαμβάνει τη μετατροπή των σημάτων του φυσικού κόσμου σε μορφή για τις ηλεκτρονικές συσκευές. Κατά την επιλογή ενός αισθητήρα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι απαιτήσεις της εφαρμογής για την οποία έχει αναπτυχθεί το δίκτυο, ο ρυθμός δειγματοληψίας του αισθητήρα και οι απαιτήσεις σε ενέργεια. Ένας κόμβος μπορεί να περιλαμβάνει περισσότερους του ενός αισθητήρες.

Ο μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό (Analog/Digital A/D) αναλαμβάνει τη μετατροπή των αναλογικών σημάτων του αισθητήρα σε ψηφιακά, ώστε να αξιοποιηθούν στη συνέχεια από τη μονάδα επεξεργασίας.

Η μονάδα επεξεργασίας διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην λειτουργία και τη συμπεριφορά ενός κόμβου-αισθητήρα και του δίνει τη δυνατότητα εκτέλεσης πολύπλοκων λειτουργιών.

Στους σύγχρονους μικροελεγκτές ενσωματώνονται μνήμες τύπου flash και RAM, A/D μετατροπείς και ψηφιακά I/O σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα χαμηλού κόστους. Η επιλογή του μικροελεγκτή στηρίζεται επιπλέον σε παράγοντες, όπως η κατανάλωση ενέργειας, οι απαιτήσεις σε τάση λειτουργίας, το κόστος, η υποστήριξη περιφερειακών, ο χρόνος αφύπνισης και η ταχύτητά του.



Ο κόμβος-αισθητήρας Spec. 2 × 2,5 mm.

Εικόνα 2: Απεικόνιση κόμβου – αισθητήρα



Κόμβος αισθητήρα Mica2dot σε σχέση με νόμισμα δύο Ευρώ

Εικόνα 3: Απεικόνιση κόμβου αισθητήρα Mica2dot

Τα λειτουργικά συστήματα για τους ασύρματους κόμβους-αισθητήρες είναι λιγότερα σύνθετα από τα γενικής χρήσης λειτουργικά συστήματα και λόγω των μικρότερων απαιτήσεων των εφαρμογών, αλλά και των περιορισμένων διαθέσιμων πόρων που εισάγει το υλικό των δικτύων αισθητήρων.

Διάφορα λειτουργικά συστήματα έχουν αναπτυχθεί για τον σκοπό αυτό αναφέροντας ενδεικτικά τα παρακάτω:

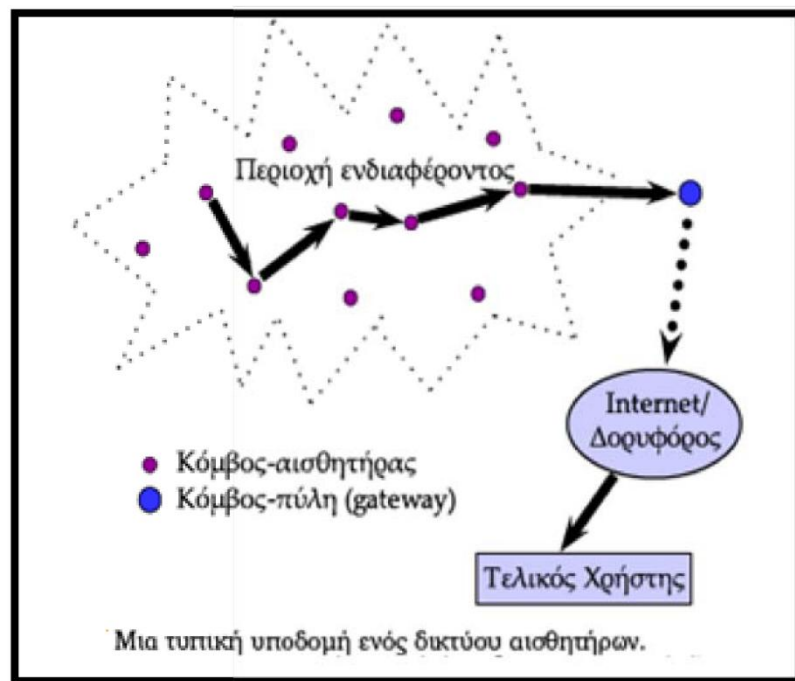
- TinyOS [\[1\]](#)
- Contiki [\[2\]](#)
- MANTIS [\[3\]](#)
- Btnut [\[4\]](#)
- nanoRK [\[5\]](#)

Το TinyOS αποτελεί το γνωστότερο λειτουργικό σύστημα ειδικά σχεδιασμένο για ασύρματα ενσωματωμένα συστήματα. Έχει ένα προγραμματιστικό μοντέλο προσαρμοσμένο για εφαρμογές «οδηγούμενες από συμβάντα» (eventdriven), ενώ ο πυρήνας του απαιτεί από κοινού μόνο 400 bytes κώδικα και μνήμης δεδομένων.

Όλη η οργανωτική δομή του TinyOS, οι βιβλιοθήκες και οι εφαρμογές είναι γραμμένες στη γλώσσα προγραμματισμού NesC. Η γλώσσα NesC, η οποία αναπτύχθηκε από ερευνητές του Πανεπιστημίου του Berkeley, αντιπροσωπεύει ένα νέο πολλά υποσχόμενο πεδίο για τους σχεδιαστές εφαρμογών δικτύων αισθητήρων. Είναι κατάλληλα σχεδιασμένη για ενσωματωμένα συστήματα δικτύων και υποστηρίζει ένα προγραμματιστικό μοντέλο που ενσωματώνει αντιδραστικότητα με το περιβάλλον και δυνατότητες ελέγχου της επικοινωνίας.

1.2 Ορισμός ενός Wireless Sensor Network

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (Wireless Sensor Network [6]) , όπως βλέπουμε στην Εικόνα 4, είναι ένα ασύρματο δίκτυο που αποτελείται από αυτόνομες συσκευές, καταναμημένες στο χώρο, οι οποίες χρησιμοποιούν αισθητήρες με σκοπό τη συλλογική απεικόνιση και επεξεργασία φυσικών ή περιβαλλοντολογικών μεγεθών, όπως η θερμοκρασία, ο ήχος, η δόνηση, η πίεση ή η κίνηση σε διάφορες τοποθεσίες.



Εικόνα 4:Απεικόνιση μιας τυπικής υποδομής ενός δικτύου αισθητήρων

Η ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων αισθητήρων παρακινήθηκε αρχικά από στρατιωτικές εφαρμογές, όπως την παρακολούθηση των πεδίων βολής. Πλέον χρησιμοποιούνται από το ευρύτερο κοινό σε μία πληθώρα εφαρμογών, που περιλαμβάνει παρακολούθηση περιβάλλοντος και κατοικίας, ιατρικές εφαρμογές, οικιακούς και βιομηχανικούς αυτοματισμούς και έλεγχο κυκλοφορίας.

Ένα τυπικό δίκτυο αισθητήρων αποτελείται πολλές φορές από χιλιάδες τέτοιους κόμβους, κατανεμημένους στο χώρο που παρακολουθούν κάποιο φαινόμενο, είτε τυχαία, είτε σύμφωνα με κάποια προκαθορισμένη κατανομή. Παρόλα αυτά, η συνήθως δυναμική φύση των δικτύων αυτών (όσον αφορά στην υποδομή), προϋποθέτει ότι τα πρωτόκολλα και οι αλγόριθμοι των δικτύων αισθητήρων πρέπει να διαθέτουν αυτό - οργανωτικές δυνατότητες βασιζόμενες στην συνεργατική λειτουργία των επιμέρους κόμβων.

Το κόστος των κόμβων είναι κυμαινόμενο, ανάλογα με το μέγεθος του δικτύου και την πολυπλοκότητα των μεμονωμένων κόμβων. Οι περιορισμοί μεγέθους και κόστους έχουν σαν αποτέλεσμα αντίστοιχους περιορισμούς στην ενέργεια, τη μνήμη και την υπολογιστική ισχύ.

1.3 Εφαρμογές δικτύων αισθητήρων

Η τεχνολογία των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλές εφαρμογές του πραγματικού κόσμου λόγω των παρακάτω χαρακτηριστικών:

- **Ανάπτυξη οπουδήποτε και οποτεδήποτε**

Τα ασύρματα δίκτυα περιέχουν κόμβους που δεν χρειάζονται ανθρώπινη παρακολούθηση για τη σωστή λειτουργία τους. Η τοποθέτηση των κόμβων μπορεί να γίνει και στις πιο επικίνδυνες περιοχές, ενώ η αποστολή τους μπορεί να επιτευχθεί σε οποιοδήποτε χρόνο.

- **Μεγαλύτερη αντοχή στα σφάλματα**

Αυτό επιτυγχάνεται με την πυκνή ανάπτυξη του δικτύου WSN. Αν ένα μικρό ποσοστό κόμβων σταματήσει να λειτουργεί, τότε το δίκτυο μπορεί ακόμα να παράγει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

- **Βελτιωμένη ακρίβεια**

Ένας μικρός αριθμός μικροσκοπικών κόμβων μπορεί να έχει μεγαλύτερη ακρίβεια από έναν μεγαλύτερο κόμβο.

- **Μικρότερο κόστος**

Λόγω του μικρότερου μεγέθους και της χαμηλότερης τιμής, ένα δίκτυο WSN είναι πιο οικονομικό από τα ενσύρματα δίκτυα αισθητήρων. Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την τιμή του δικτύου είναι η ευκολία ανάπτυξής τους.

1.3.1 Στρατιωτικές εφαρμογές

Τα δίκτυα αισθητήρων έχουν γίνει αναπόσπαστο κομμάτι των στρατιωτικών επιχειρήσεων στα συστήματα διαταγών, ελέγχου, επικοινωνιών, υπολογισμών, πληροφοριών, επίβλεψης, αναγνώρισης και στόχευσης. Στο πεδίο της μάχης, δημιουργείται μια τάση οι στόχοι να γίνονται μικρότεροι σε μέγεθος, λιγότερο αναγνωρίσιμοι, με μεγαλύτερη ταχύτητα και να κινούνται συνήθως σε πολύ εχθρικό περιβάλλον. Για να μπορέσουμε να γνωρίζουμε την θέση και τη δύναμη των εχθρικών δυνάμεων, μπορούμε να τοποθετήσουμε πυκνές παρατάξεις αισθητήρων κοντά στον υποτιθέμενο στόχο.

Λόγω των ικανοτήτων τους να είναι μη ελεγχόμενα από ανθρώπους, της εύκολης ανάπτυξης, της αυτό-οργάνωσης και της αντοχής σε σφάλματα, τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να παρέχουν άφθονα και διασταυρωμένα δεδομένα.

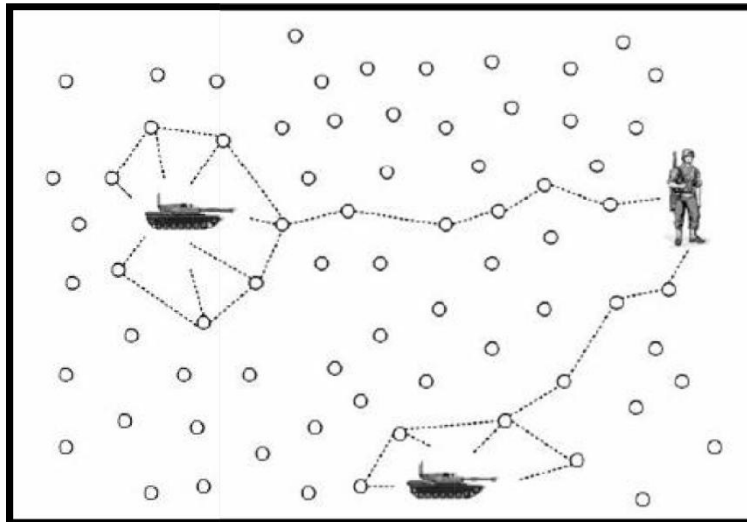
Επίσης, οι αισθητήρες μπορούν να διασπαρθούν με αεροπορικά μέσα, με πυραύλους και τορπίλες ώστε να ξεπεράσουν κάποια εμπόδια και να οδηγηθούν στο ακριβές σημείο ανίχνευσης για την πιο αποτελεσματική εκπλήρωση της αποστολής τους.

Η καταστροφή ορισμένων από τους αισθητήρες δεν επηρεάζει τη στρατιωτική επιχείρηση σε τέτοιο βαθμό, λόγω της πυκνής ανάπτυξης και της δυνατότητας αυτό-οργάνωσης. Ορισμένες χαρακτηριστικές εφαρμογές των δικτύων αισθητήρων είναι οι παρακάτω:

- Παρακολούθηση εξοπλισμού και πυρομαχικών.
- Παρακολούθηση του πεδίου της μάχης.
- Αναγνώριση των εχθρικών δυνάμεων και του εδάφους.
- Κατάδειξη στόχων [7].
- Εκτίμηση ζημιών.
- Ανίχνευση και αναγνώριση μολυσμένης περιοχής

Σενάριο

- Αισθητήρες ρίχνονται στην περιοχή
- Στρατιώτες κινούνται εντός κατοικημένης περιοχής χωρίς τη γνώση της όπως φαίνεται στην Εικόνα 5
- Οι αισθητήρες συνεργάζονται
- Σε ανίχνευση στόχων, δεδομένα μεταφέρονται στους στρατιώτες με ακριβή πληροφορία της τοποθεσίας



Εικόνα 5: Απεικόνιση αισθητήρων στρατιωτικών εφαρμογών

1.3.2 Περιβαλλοντολογικές εφαρμογές.

Με τη διασπορά χιλιάδων μικροσκοπικών αισθητήρων σε μια γεωγραφική περιοχή, μπορούμε να παρακολουθούμε ή να ελέγχουμε το περιβάλλον. Έτσι μπορούμε να ανιχνεύουμε πλημμύρες, να επιβλέπουμε τον αέρα και την παροχή νερού, να ελέγχουμε τοπικά το κλίμα, να επιβλέπουμε τις καλλιέργειες για πιθανό κίνδυνο καταστροφών, να ανιχνεύουμε πυρκαγιές, να εξερευνούμε για αποθέματα μεταλλευμάτων κ.ά.

1.3.3 Έλεγχος οικοσυστήματος.

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των δικτύων αισθητήρων (αυτό-οργάνωση, έλλειψη ελέγχου από τον άνθρωπο, πυκνή ανάπτυξη) επιτρέπουν την χρησιμοποίησή τους στον έλεγχο των οικοσυστημάτων [8], γιατί παρέχουν πληροφορίες σε πολλές περιβαλλοντολογικές καταστάσεις. Έτσι, εξασφαλίζεται η μακροχρόνια αναγνώριση, καταγραφή και ανάλυση των ενδιαφερόμενων γεγονότων. Η μακροχρόνια συλλογή δεδομένων μπορεί να βοηθήσει τους επιστήμονες να αναγνωρίσουν, να εντοπίσουν και να ανιχνεύσουν φαινόμενα σε περιοχές ενδιαφέροντος.

1.3.4 Έλεγχος κλίματος σε μεγάλα κτηριακά συγκροτήματα.

Η συνεχής δημιουργία όλο και μεγαλύτερων κτηρίων και εγκαταστάσεων (όπως εμπορικών κέντρων, ουρανοξυστών κ.ά.), έχει δημιουργήσει την ανάγκη για καλύτερο έλεγχο του κλίματος στο εσωτερικό τους [9]. Έτσι, μία περιήγηση σε ένα μεγάλο εμπορικό κέντρο μας δείχνει ότι η θερμοκρασία δεν είναι παντού ιδανική, π.χ. αλλού είναι χαμηλή και αλλού υψηλή, αλλού έχει υψηλότερη υγρασία και αλλού όχι.

Για αυτούς και για άλλους λόγους υγιεινής πρέπει να εξασφαλίσουμε ένα ευχάριστο χώρο. Η δημιουργία τόσο ενσύρματων όσο και ασύρματων δικτύων σε αυτούς τους χώρους είναι ένας τρόπος ανίχνευσης και αντιμετώπισης των προβλημάτων που αναφέραμε. Συνήθως προτιμάται η ανάπτυξη WSN που είναι πιο εύκαμπτα από τα ενσύρματα.

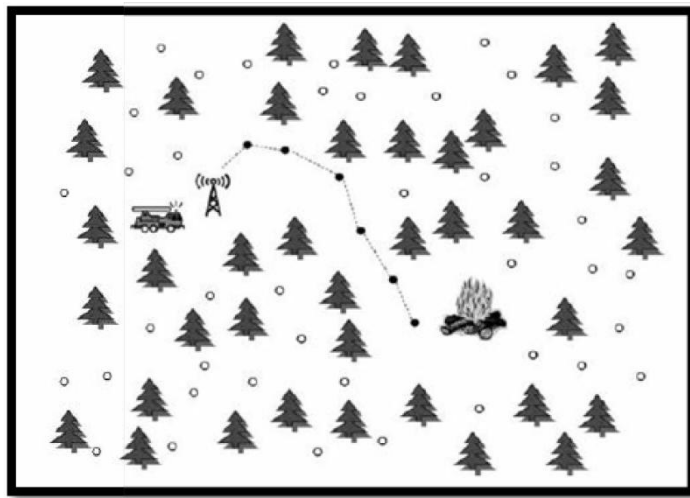
1.3.5 Πρόληψη καταστροφών και παροχή βοήθειας

Τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να είναι αποτελεσματικά σε επείγουσες καταστάσεις και περιοχές καταστροφής. Η ακριβής ανίχνευση μιας περιοχής που εκτελείται από τα δίκτυα αισθητήρων μπορεί να είναι κρίσιμη σε επιχειρήσεις διάσωσης, όπως ανεύρεση θυμάτων, εκτίμηση κινδύνου και αναγνώριση ή εντοπισμός παγιδευμένου προσωπικού.

Για παράδειγμα, τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να αναπτυχθούν σε μεγάλα κτίρια κατά την κατασκευή των κτιρίων, να ριχτούν στην περιοχή διάσωσης, ή να χρησιμοποιηθούν ήδη τοποθετημένοι αισθητήρες σε μια περιοχή καταστροφής.

Είναι επίσης χρήσιμο να αναπτυχθούν δίκτυα αισθητήρων για αποστολές ανίχνευσης μακράς διάρκειας, όπως ανίχνευση και παρακολούθηση αστοχίας υλικού, ώστε να παρθούν κατάλληλα μέτρα για την αποφυγή ατυχημάτων. Παρόλα τα σημαντικά μέτρα που λαμβάνονται για την ανίχνευση φωτιάς, οι φωτιές σε ακαλλιέργητες και δασικές περιοχές δημιουργούν μεγάλες καταστροφές κάθε χρόνο, τόσο σε άψυχο όσο και έμψυχο υλικό.

Επειδή οι καιρικές συνθήκες κατά τη διάρκεια μιας φωτιάς είναι προβλέψιμες, μπορούμε εύκολα να προβλέψουμε την ύπαρξη μιας πυρκαγιάς όπως φαίνεται στην Εικόνα 6 κατά την περίοδο επικινδυνότητας για φωτιά.



Εικόνα 6: Απεικόνιση αισθητήρων σε δασική περιοχή

Λόγω της τυχαίας και της πυκνής ανάπτυξής τους, τα δίκτυα αισθητήρων είναι μια καλή επιλογή για την ανίχνευση και αναφορά για φωτιά. Διασκορπίζοντας μαζικά δίκτυα αισθητήρων σε επικίνδυνες περιοχές μπορεί να γίνει πιο αποδοτική η ειδοποίηση για φωτιά και η προέλευσή της. Επίσης, χρησιμοποιούνται και εντοπισμό άλλων φυσικών καταστροφών όπως οι πλημμύρες. Για παράδειγμα αναφέρουμε το σύστημα “ALERT” [\[10\]](#) που αναπτύχθηκε από τις ΗΠΑ για την υπηρεσία του σκοπού αυτού.

1.3.6 Ιατρική φροντίδα

Τα δίκτυα αισθητήρων είναι χρήσιμα στην παροχή άμεσης και αποτελεσματικής ιατρικής βοήθειας και θα οδηγήσουν σε ένα πιο υγιές περιβάλλον για τον άνθρωπο. Ορισμένες από τις χρήσεις σε αυτό το πεδίο περιλαμβάνουν την απομακρυσμένη ανίχνευση ιών. Πολλές περιοχές, βασανιζόμενες από ασθένειες, είναι φτωχές σε αξιόπιστες τηλεπικοινωνίες. Η ανάπτυξη μεγάλου αριθμού ασύρματων αισθητήρων σε τέτοιες περιοχές, μπορεί να βοηθήσει στη συλλογή και μετάδοση σημαντικών πληροφοριών, όπως μια ασθένεια και τα χαρακτηριστικά του μολυσμένου πληθυσμού, η αναγνώριση χαρακτηριστικών της περιοχής, ο έλεγχος περιβαλλοντολογικών συνθηκών όπως η υγρασία και το ύψος της βροχής που επιτρέπουν την εξάπλωση ιών και νοσογόνων οργανισμών. Τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη ξεσπάσματος πολλών μεταδοτικών ασθενειών.

Επίσης, χρησιμοποιούνται για την ολοκληρωμένη παρακολούθηση ασθενών. Η χρήση συσκευών αισθητήρων για την ανίχνευση πιθανών μολυσμένων ατόμων μπορεί να είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για την αποφυγή εξάπλωσης μεταδοτικών ασθενειών. Επιπλέον, οι γηραιότεροι πολίτες μπορούν να φέρουν ασύρματους αισθητήρες [\[11\]\[12\]](#), οι οποίοι παρακολουθούν συνεχώς τους χτύπους της καρδιάς, την πίεση κ.ά. Σε αντικανονικές καταστάσεις, ένας προειδοποιητικός ήχος υπενθυμίζει τον ασθενή να ειδοποιήσει τον γιατρό του ή μία αυτόματη υπενθύμιση στέλνεται στο κέντρο υγείας. Σημαντικό για τους αισθητήρες αυτούς είναι ότι είναι ασύρματοι και έτσι προσφέρουν ελευθερία κίνησης στους ασθενείς. Επιπλέον επιτυγχάνουν την παρακολούθηση των ασθενών στο οικείο περιβάλλον τους και όχι στα νοσοκομεία βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα ζωής τους.

Επιπλέον, τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της εύρυθμης λειτουργίας ενός νοσοκομείου ή ενός κέντρου υγείας. Έτσι, αισθητήρες τοποθετούνται σε καίρια σημεία των κτιρίων, ώστε να ελέγχουν την παροχή ρεύματος, την παροχή οξυγόνου, την θερμοκρασία δωματίων κ.ά. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθούν και για την παρακολούθηση ηλικιωμένων.

1.3.7 Οικιακές εφαρμογές

Τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο στη δημιουργία ενός πιο βολικού και έξυπνου χώρου διαμονής για τον άνθρωπο. Ορισμένες χρήσιμες εφαρμογές δίνονται παρακάτω:

- **Καταμέτρηση αγαθών από απόσταση**

Τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην καταμέτρηση εξ' αποστάσεως των αγαθών γενικής χρήσης (όπως το νερό, ο ηλεκτρισμός κ.ά.) και στη συνέχεια να μεταδώσουν τα αποτελέσματα μέσω ασύρματων συνδέσεων. Ένα απλό παράδειγμα αυτής της χρήσης είναι η τοποθέτηση ασύρματων αισθητήρων στα παρκόμετρα που θα ειδοποιούν τους χρήστες τους για την λήξη του χρόνου παρκαρίσματος.

- **Έξυπνος χώρος**

Με τις σύγχρονες τεχνολογικές ανακαλύψεις, γίνεται δυνατή η ενσωμάτωση διάφορων ασύρματων αισθητήρων σε έπιπλα και οικιακές συσκευές, οι οποίοι συνεργάζονται μεταξύ τους και δημιουργούν ένα αυτόνομο δίκτυο. Για παράδειγμα, ένα έξυπνο ψυγείο μπορεί δημιουργήσει ένα μενού ανάλογα με τα υπάρχοντα αγαθά και να μεταδώσει τις σχετικές παραμέτρους ψησίματος σε ένα έξυπνο φούρνο, ο οποίος θα επιλέξει την κατάλληλη θερμοκρασία και τον χρόνο ψησίματος.

- **Adaptive House [13]**

Το σπίτι μαθαίνει τις συμπεριφορές των ενοίκων και προσαρμόζει τις πηγές ενέργειας. Λόγου χάρη, ανάβει το καλοριφέρ, όταν εκτιμάει ότι έρχεται σπίτι ο ένοικος, ελέγχει το φωτισμό ανάλογα με το στάδιο της ημέρας και την τοποθεσία του ενοίκου κ.α.

1.3.8 Επιστημονικές εξερευνήσεις

Η αποτελεσματική ανάπτυξη και λειτουργία των αυτορρυθμιζόμενων δικτύων αισθητήρων ανοίγει νέους ορίζοντες στην εξερεύνηση σε υψηλότερα αλλά και χαμηλότερα περιβάλλοντα, όπως το διάστημα και οι αβαθείς ωκεανοί. Έτσι, η εξερεύνηση των ωκεανών μπορεί να γίνει εύκολη με διασπορά αισθητήρων σε μεγάλα βάθη, οι οποίοι θα συλλέγουν πληροφορίες και θα τις μεταδίδουν στον απομακρυσμένο σταθμό βάσης.

1.3.9 Αλληλεπίδραση με το περιβάλλον

Αναπτύσσοντας φθηνές και μικροσκοπικές συσκευές αισθητήρων, ελεγκτών κίνησης σε παιχνίδια και άλλα παιδικά αντικείμενα μπορούμε να δημιουργήσουμε έξυπνα νηπιαγωγεία για να προάγουμε την παιδική ανάπτυξη. Αυτά τα συστήματα παρέχουν ένα περιβάλλον με αλληλεπίδραση ατόμου-φυσικού κόσμου και όχι των κλασικών μορφών αλληλεπίδρασης ατόμου-ατόμου ή ατόμου-υπολογιστή. Αυτό γιατί επιτρέπει προσωπική αντίληψη για κάθε παιδί, προσαρμογή στη δυναμική για τις δραστηριότητες των παιδιών και μόνιμη και διακριτική συλλογή πληροφοριών για τις ενέργειες των παιδιών.

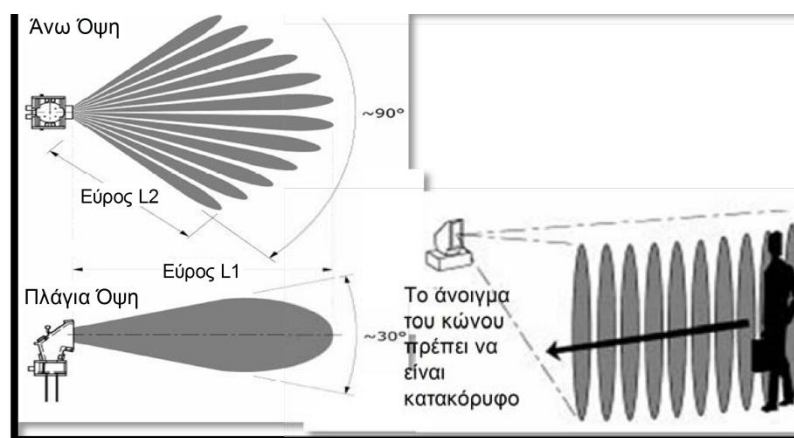
Επίσης, τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία αλληλεπιδρώντων μουσείων. Τα παιδιά μπορούν να συμμετέχουν ενεργά στα πειράματα και να λαμβάνουν απαντήσεις με το άγγιγμα ενός αντικειμένου που είναι εφοδιασμένο με αισθητήρες. Τέλος, μία ακόμα εφαρμογή των δικτύων αισθητήρων είναι η χρήση τους ως πλατφόρμες ψηφοφορίας.

1.3.10 Επίβλεψη

Η άμεση και από απόσταση επίβλεψη αποτελεί έναν σημαντικό τομέα όπου έχουν εφαρμογή τα συστήματα αισθητήρων. Για παράδειγμα, ένας μεγάλος αριθμός ακουστικών αισθητήρων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ανιχνευθούν και να ανακαλυφθούν στόχοι και εισβολείς σ' έναν ορισμένο χώρο ασφαλείας. Τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να αναπτυχθούν σε μεγάλα κτίρια, κατοικημένες περιοχές, αεροδρόμια, σιδηροδρομικούς σταθμούς κ.α. για να ανιχνεύουν εισβολείς και να αναφέρουν στο κέντρο ελέγχου άμεσα, ώστε η ανακάλυψή τους να γίνει γρήγορα.

Παρόμοια, η ανάπτυξη αισθητήρων καπνού σε στρατηγικά επιλεγμένες θέσεις των σπιτιών, γραφείων ή εργοστασίων είναι σημαντική στην πρόληψη κατά των πυρκαγιών και στην ανίχνευση της εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς. Για τη διευκόλυνση των επιχειρήσεων Αναζήτησης και Διάσωσης προσώπων σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε το σύστημα "CenWits" (Connection-less sensor-based tracking system using witness) [14]. Ο στόχος του συστήματος αυτού είναι να μπορεί να προσφέρει τη πλέον πρόσφατη πληροφορία για το που εθεάθη το αγνοούμενο πρόσωπο.

PIR: Διαφορικός αισθητήρας. Ανιχνεύει στόχους καθώς διασχίζουν τις ακτίνες που παράγει όπως περιγράφεται στην παρακάτω Εικόνα 7.



Εικόνα 7: Απεικόνιση διαφορικού αισθητήρα (PIR)

1.3.11 Underwater sensor networks

Τα υποβρύχια δίκτυα αισθητήρων [15] είναι μια νέα εφαρμογή των δικτύων αισθητήρων τα οποία χρήζουν ιδιαίτερης μελέτης. Συνήθως χρησιμοποιούνται για στρατιωτικές και επιστημονικές εφαρμογές.

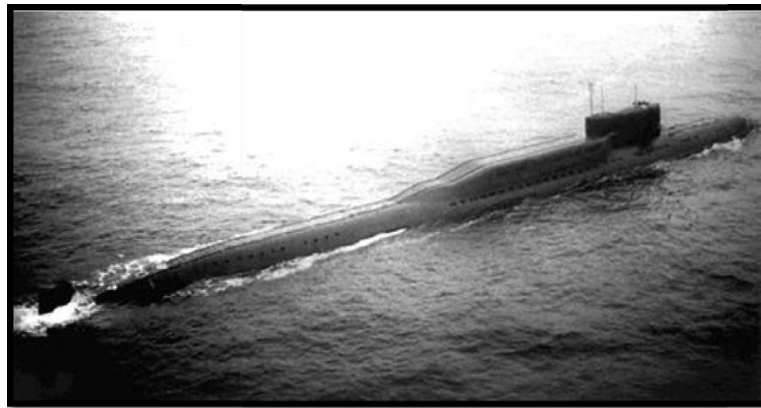
Αποτελούνται από μεταβλητό αριθμό αισθητήρων και οχημάτων που αναπτύσσονται για να εκτελέσουν αποστολές ανίχνευσης κίνησης σε μια δεδομένη περιοχή του βυθού. Ο master node είναι υπεύθυνος για τη συλλογή των δεδομένων, τη μεταφορά τους στο κέντρο ελέγχου στην ακτή και για τον έλεγχο των υπολοίπων κόμβων.

Η κίνηση του δικτύου αποτελείται από ασύγχρονη μεταφορά δεδομένων, απομακρυσμένη εποπτεία του δικτύου και έλεγχο ωκεανογραφικών αισθητήρων. Το κύριο κίνητρο για τη δημιουργία υποβρύχιων δικτύων αισθητήρων είναι η σχετικά εύκολη ανάπτυξή τους λόγω της έλλειψης καλωδίων και της μη παρέμβασης πλοίων στην επίτευξη των στόχων.

Υπάρχουν πολλές εφαρμογές των υποβρύχιων συστημάτων, όπως η ανάπτυξη κατάλληλων συστημάτων επιτήρησης, η ανίχνευση υποβρύχιων στόχων και η προώθηση κρίσιμων πληροφοριών. Οι περιβαλλοντολογικές εφαρμογές περιλαμβάνουν ανίχνευση φυσικών ενδείξεων (όπως περιεκτικότητα σε αλάτι, πίεση και θερμοκρασία) και χημικών-βιολογικών ενδείξεων (όπως επίπεδα βακτηρίων, επίπεδα μόλυνσης και επικίνδυνοι βιολογικοί ή χημικοί παράγοντες σε πηγάδια και δεξαμενές). Τα υποβρύχια δίκτυα βρίσκουν επίσης εφαρμογή και στη συλλογή ωκεανογραφικών δεδομένων, στην εκμετάλλευση υπογείων κοιτασμάτων και στην παρεμπόδιση καταστροφών από σεισμική δραστηριότητα ή την εμφάνιση τσουνάμι.

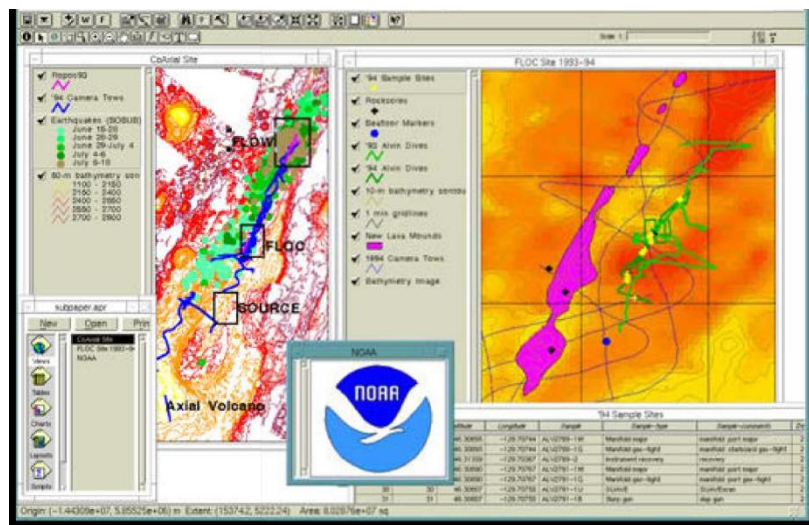
Σε σύγκριση με τα ραδιοφωνικά κύματα, ο ήχος έχει καλύτερα χαρακτηριστικά διάδοσης στο νερό. Έτσι, η χρήση του ήχου είναι πιο βολική για την υποβρύχια επικοινωνία. Γι' αυτό οι υποβρύχιοι αισθητήρες χρησιμοποιούν ακουστικά μόντεμ για την επικοινωνία τους. Μειονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας είναι η μεγάλη χρονική καθυστέρηση, η μικρή ταχύτητα μετάδοσης και ο μεγάλος θόρυβος λόγω της υποβρύχιας επικοινωνίας.

Η πρώτη γνωστή εφαρμογή δικτύων αισθητήρων υπήρξε το SOSUS (Sound Surveillance System, Σύστημα Ηχητικής Παρακολούθησης). Το παραπάνω δίκτυο χρησιμοποιήθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1950, κατά τη διάρκεια του ψυχρού πολέμου, για την ανίχνευση και τον εντοπισμό Σοβιετικών υποβρυχίων, όπως αυτό στην Εικόνα 8, με τη βοήθεια ειδικών ακουστικών αισθητήρων (υδρόφωνα).



Εικόνα 8: Σοβιετικό υποβρύχιο

Το SOSUS παραμένει ακόμη σε λειτουργία, για ειρηνικούς σκοπούς και χρησιμοποιείται κυρίως για την παρακολούθηση διάφορων φαινομένων, όπως περιγράφονται στην Εικόνα 9 που ακολουθεί, όπως σεισμικές δραστηριότητες, παρακολούθηση φαλαινών κλπ.



Εικόνα 9: Απεικόνιση οθόνης προγράμματος SOSUS

1.4 Προβλήματα και Περιορισμοί των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

Τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων παρουσιάζουν ένα εντελώς διαφορετικό σύνολο από περιορισμούς σε σύγκριση με τους περιορισμούς που παρουσιάζονται στα παραδοσιακά δίκτυα. Το πιο σημαντικό από αυτά είναι η ενέργεια. Αυτά τα δίκτυα αποτελούνται από συσκευές που πρέπει να είναι ενεργές αρκετή ώρα με μικρές μπαταρίες.

Πηγές Κατανάλωσης Ενέργειας:

- **Άνοιγμα/κλείσιμο ασυρμάτου**
Η ενέργεια εξαρτάται από το μοντέλο του ασυρμάτου
- **Μετάδοση δεδομένων**
Εξαρτάται ανά bit από ισχύς μετάδοσης (πχ, τι εμβέλεια θέλουμε να έχει το μήνυμα), μοντέλο ασυρμάτου
- **Λήψη δεδομένων**
Αναμονή για δεδομένα (χωρίς κάτι να λαμβάνεται εκείνη την ώρα)

Η ενέργεια στις τρεις παραπάνω περιπτώσεις εξαρτάται και από το χρόνο. Επίσης, αντιμετωπίζουν κάποια προβλήματα λόγω των περιορισμών που υπάρχουν στους αισθητήρες, όπως για παράδειγμα, οι περιορισμένοι πόροι, οι χαμηλές υπολογιστικές δυνατότητες και η μικρή μνήμη. Ευτυχώς, οι δυνατότητες των αισθητήρων έχουν αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια και επιπλέον έχουν δημιουργηθεί αλγόριθμοι με μικρές απαιτήσεις μνήμης και μικρή πληροφορία/αισθητήρα.

Αντίθετα με τους υπόλοιπους υπολογιστές, οι αισθητήρες συχνά πρέπει να τοποθετηθούν σε δύσκολες περιοχές, όπου οι τεχνικοί που θα τους εφαρμόσουν έχουν μειωμένη ορατότητα.

Ακόμα κάτι που γίνεται δύσκολα στους κόμβους αισθητήρων είναι να καθοριστεί για πιο λόγω χάθηκε ένα πακέτο. Οι πιθανοί λόγοι είναι λόγω υπερχειλίσης της ουράς, λόγω έλλειψης ενέργειας, ή λόγω έλλειψης ασφάλειας. Για παράδειγμα, κάποιος εξωγενής παράγοντας μετακίνησε τον αισθητήρα, όπως κάποιο πουλί. Ακόμα κάποιος πιθανός λόγος για το χάσιμο πακέτων είναι η συμφόρηση στο δίκτυο, επομένως κάποια πακέτα να μην μπορούν να μεταφερθούν και ειδικότερα, αυτά που βρίσκονται πιο μακριά από τον κόμβο gateway.

Τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων πρέπει να αντιμετωπίσουν και το πρόβλημα για το coverage. Δηλαδή, πόσο καλά μια περιοχή παρακολουθείται από τους κόμβους αισθητήρες. Επίσης πρέπει να αντιμετωπίσουν και το χαμηλό ασύρματο επικοινωνιακό bandwidth λόγω της ασύρματης επικοινωνίας τους. Λόγω αυτών και άλλων περιορισμών και προβλημάτων που έχουν να αντιμετωπίσουν τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων υπάρχει ανάγκη για καινοτόμα συστήματα, πρωτόκολλα και αλγορίθμους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:

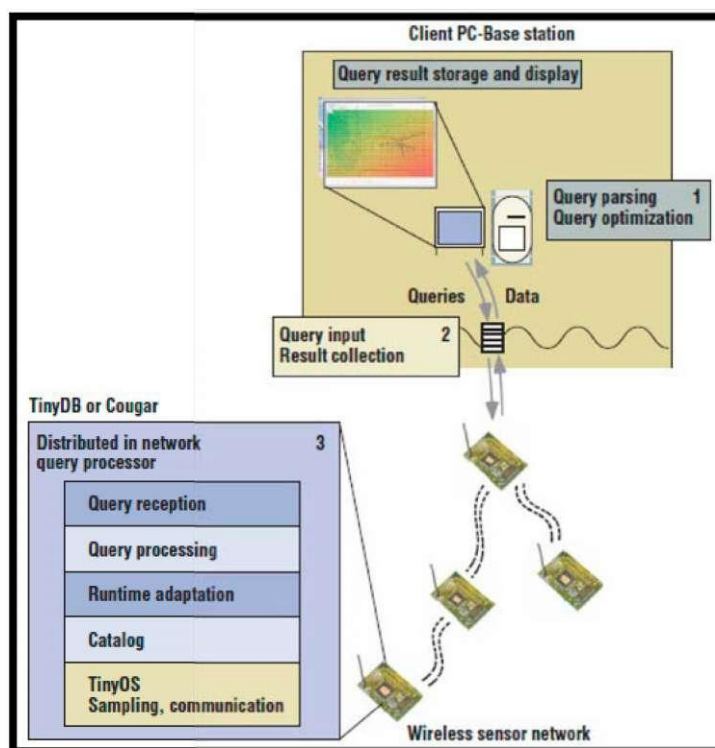
ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΓΛΩΣΣΕΣ

ΕΠΕΡΩΤΗΣΕΩΝ

Όπως αναφέρθηκε, παρόλους τους περιορισμούς που έχουν τα δίκτυα αυτά, έχουν να υπολογίσουν και να επεξεργαστούν δεκάδες δεδομένα και να τα στείλουν σε συγκεκριμένες στιγμές. Για την επίτευξη αυτού, θα πρέπει να σχεδιαστεί και υλοποιηθεί μια αρχιτεκτονική πάνω στην οποία να μπορεί να βασιστεί μια τέτοια συλλογή δεδομένων.

2.1 Αρχιτεκτονική επεξεργαστών ερωτημάτων

Η αρχιτεκτονική επεξεργαστών ερωτημάτων αποτελείται από δύο βασικά μέρη όπως παρουσιάζεται παρακάτω στην Εικόνα 10.



Εικόνα 10: Αρχιτεκτονική Server-side software και Sensor-side software

- Λογισμικό σε επίπεδο υπηρέτη (Server-side software) το οποίο εκτελείται στον υπολογιστή του χρήστη (σταθμός βάσης). Στην απλούστερή του μορφή το λογισμικό αυτό κάνει γραμματική ανάλυση στο ερωτήμα, το διανέμει στο δίκτυο και συλλέγει τα αποτελέσματα όπως επιστρέφουν από το δίκτυο.
- Λογισμικό σε επίπεδο αισθητήρα (Sensor-side software) το οποίο εκτελείται στους αισθητήρες. Αυτό το λογισμικό αποτελείται από συνιστώσες λογισμικού οι οποίες είναι υλοποιημένες σε μια πλατφόρμα λειτουργικού που ονομάζεται TinyOS και είναι εγκατεστημένο σε κάθε κόμβο του δικτύου. Ένας από τους κόμβους (που ονομάζεται και gateway) επικοινωνεί με τον σταθμό - βάση.

2.2 Γλώσσα Επερωτήσεων

Αφού έχουμε μοντελοποιήσει ως ένα βαθμό την αρχιτεκτονική ενός συστήματος επεξεργασίας ερωτημάτων δικτύων αισθητήρων, ήρθε η ώρα να μοντελοποιήσουμε τον τρόπο με τον οποίο αργότερα ο χρήστης θα δημιουργήσει τα ερωτήματα ώστε να συλλέξει μετρήσεις και αποτελέσματα. Γενικά στη σύνταξη ενός ερωτήματος για δίκτυα αισθητήρων ακολουθείται η κλασική δηλωτική μορφή ερωτημάτων (declarative queries) σε απλή μορφή και με ορισμένες επεκτάσεις όπως φαίνεται παρακάτω:

```
SELECT {attributes, aggregates}  
FROM {Sensordata S}  
WHERE {predicate}  
GROUP BY {attributes}  
HAVING {predicate}  
DURATION time interval  
EVERY time span e
```

Το παραπάνω πρότυπο ερωτήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο παρακάτω παράδειγμα που αφορά την μέτρηση συγκέντρωσης ενός αερίου:

```
SELECT AVG(R.concentration)  
FROM ChemicalSensor R  
WHERE R.loc IN region  
HAVING AVG(R.concentration) > T  
DURATION (now, now + 3600)  
EVERY 10
```

Παρατηρούμε ότι η ειδοποιός διαφορά της παραπάνω σύνταξης με την σύνταξη της SQL είναι η υποστήριξη χρονικής διάρκειας και επανάληψης ενός ερωτήματος. Αυτό επιτυγχάνεται με τις προτάσεις *DURATION* και *EVERY* όπου ορίζουμε τον χρόνο ζωής του ερωτήματος και τον ρυθμό εκτέλεσης του ερωτήματος αντίστοιχα.

Μια έλλειψη που έχει ο τρόπος αυτός εκτέλεσης ερωτημάτων είναι η έλλειψη υποστήριξη πυροδότησης γεγονότων (trigger events). Αντί τη στιγμή που συμβεί κάτι να δημιουργήσει μια ειδοποίηση, ελέγχει ανά τακτά χρονικά διαστήματα τις μετρήσεις. Η γλώσσα αυτή λόγω του τρόπου με τον οποίο γεννά ερωτήματα στους κόμβους του δικτύου ονομάστηκε *Acquisitional Query Language*. Παρακάτω εξηγούμε τον τρόπο που υλοποιούμε ειδοποιήσεις με βάση γεγονότα που συμβαίνουν στο δίκτυο αισθητήρων [\[25\]](#).

2.2.1 Επερωτήματα βασισμένα σε γεγονότα (Event-Based Queries)

Τα γεγονότα σε μια βάση δεδομένων παράγονται με δύο τρόπους, είτε από ένα άλλο επερώτημα είτε από το λειτουργικό σύστημα μέσω μιας τρίτης εφαρμογής η οποία είναι εγκατεστημένη στον κόμβο. Για παράδειγμα το παρακάτω επερώτημα:

```
ON EVENT bird-detect(loc):  
SELECT AVG(light), AVG(temp), event.loc  
FROM sensors AS s  
WHERE dist(s.loc, event.loc) < 10m  
SAMPLE INTERVAL 2 s FOR 30 s
```

χρησιμοποιείται για να αναφέρει τη μέση θερμοκρασία και φωτεινότητα τη στιγμή που ορισμένοι αισθητήρες εντόπισαν ένα πτηνό. Άρα κάθε φορά που εντοπίζεται ένα πτηνό, το επερώτημα αυτό ξεκινά από τον κόμβο στον οποίο ενεργοποιήθηκε το συμβάν και μετρήσεις από τους γειτονικούς κόμβους λαμβάνουν χώρα κάθε 2 δευτερόλεπτα και για συνολικό χρονικό διάστημα 30 δευτερολέπτων. Η δυνατότητα παραγωγής και επεξεργασίας γεγονότων παίζει καθοριστικό ρόλο στη εξοικονόμηση ενέργειας στα δίκτυα αισθητήρων καθώς επιτρέπει στο δίκτυο να είναι σε αδράνεια για αρκετό χρονικό διάστημα έως ότου συμβεί το επιθυμητό γεγονός, αντί να ελέγχει συνεχώς αν υπάρχουν δεδομένα να λάβει.

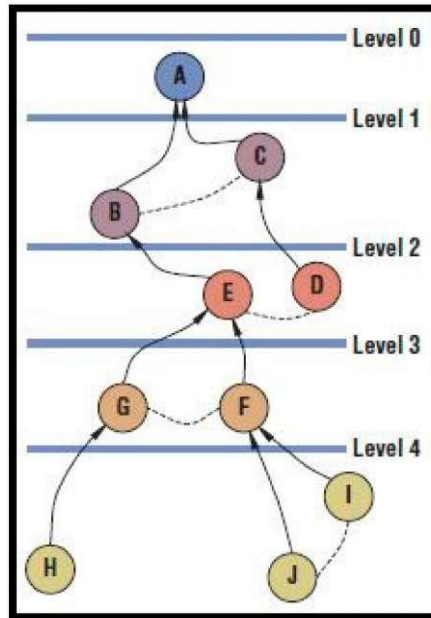
2.2.2 Επερωτήματα βασισμένα σε χρόνο ζωής (Lifetime-Based Queries)

Στην περίπτωση των επερωτημάτων αυτών, αντί να έχουμε την πρόταση SAMPLE INTERVAL, έχουμε την πρόταση LIFETIME <x> όπου x είναι η διάρκεια σε χρόνο (Μέρες, εβδομάδες, μήνες). Ο τρόπος αυτός είναι πολύ χρήσιμος σε περιβάλλοντα που δεν μας ενδιαφέρει τόσο οι μικροαλλαγές που συμβαίνουν στο περιβάλλον αλλά το βάθος χρόνου για το οποίο συλλέγουμε μετρήσεις. Έτσι έχουμε:

```
SELECT nodeid, accel  
FROM sensors  
LIFETIME 30 days
```

Σε αυτό το επερωτήμα συλλέγουμε δείγματα για τουλάχιστον 30 μέρες σε ρυθμό τέτοιο ώστε να ικανοποιείται ο περιορισμός των ημερών ζωής του επερωτήματος. Για να υπολογίσει το ρυθμό αυτό η βάση δεδομένων υπολογίζει το κόστος σε ενέργεια για την μετάδοση και τη συλλογή των μετρήσεων με βάση το ενεργειακό της απόθεμα. Αυτό θα πρέπει να γίνει για κάθε κόμβο ξεχωριστά εκτός αν θεωρήσουμε ότι τα κόστη είναι ίδια. Συνήθως ο ρυθμός αυτός υπολογίζεται μέσω μιας φόρμουλας βασισμένης στο κόστος (cost-based formula).

2.2.3 Διασπορά Επερωτήσεων και Συλλογή Αποτελεσμάτων



Εικόνα 11: Τοπολογία ενός δικτύου σε δένδρο δρομολόγησης.

Τα συμπαγή τόξα, στην Εικόνα 11, δείχνουν προς τον γονέα ενώ οι διακεκομμένες γραμμές υποδηλώνουν ότι οι κόμβοι έχουν επαφή ο ένας με τον άλλο αλλά δεν μπορούν να δρομολογήσουν μεταξύ τους.

2.3 Συναρτήσεις συνάθροισης

Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, οι επερωτήσεις περιλαμβάνουν στη σύνταξή τους συναρτήσεις συνάθροισης. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι συναρτήσεις, οι οποίες χρησιμοποιούν (συγκεντρώνουν) δεδομένα από πολλές εγγραφές και επιστρέφουν μία τιμή. Συναθροίζουν δηλαδή πολλές τιμές σε μία τελική τιμή. Παραδείγματα συναθροιστικών συναρτήσεων είναι οι COUNT, MIN και MAX. Στο σημείο αυτό υπεισέρχεται η έννοια της συνάθροισης μέσα στο δίκτυο.

Για την επεξεργασία των ερωτήσεων, υπάρχουν δύο μεθοδολογίες: η συγκεντρωτική (centralized) και η κατακεκομημένη (distributed). Στην πρώτη περίπτωση, η επεξεργασία πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, οι κόμβοι στέλνουν τα δεδομένα μέσα από το δίκτυο προς το σταθμό βάσης. Στο δεύτερο στάδιο, ο σταθμός βάσης αναλαμβάνει την επεξεργασία των δεδομένων που έχουν ληφθεί. Η σύγχρονη τάση, όμως, απαιτεί τη χρήση της κατακεκομημένης επεξεργασίας. Σκοπός της είναι η μεταφορά μέρους του υπολογιστικού φόρτου από το σταθμό βάσης προς τους κόμβους του δικτύου, οι οποίοι αναλαμβάνουν τη μερική επεξεργασία των δεδομένων.

2.3.1 Χαρακτηριστικά συναρτήσεων συνάθροισης

Οι συναρτήσεις συνάθροισης διακρίνονται βάσει των παρακάτω χαρακτηριστικών [26]:

- **Ευαισθησία σε διπλοεγγραφές**

Το χαρακτηριστικό αυτό καθορίζει αν μία συνάρτηση συνάθροισης θα επιστρέψει το ίδιο αποτέλεσμα όταν ένα σύνολο δεδομένων περιέχει τουλάχιστον δύο ίδιες τιμές. Παραδείγματα τέτοιων συναρτήσεων αποτελούν οι MEDIAN, AVERAGE και COUNT. Αντίθετα, οι συναρτήσεις MIN, MAX και COUNT DISTINCT δεν ανήκουν στην κατηγορία αυτή. Για παράδειγμα, αν η συνάρτηση AVERAGE λάβει την τιμή 5 δύο φορές, το αποτέλεσμά της θα συγκλίνει ακόμα περισσότερο προς την τιμή 5. Αντίθετα, η συνάρτηση MAX δεν επηρεάζεται, αφού θα επιστρέψει πάλι την τιμή 5.

- **Ανεκτικότητα στις απώλειες**

Οι ενδεικτικές (exemplary) συναρτήσεις επιστρέφουν πάντα μία αντιπροσωπευτική τιμή που περιέχεται στο σύνολο δεδομένων, ενώ οι περιληπτικές(summary) εκτελούν διάφορους υπολογισμούς σε ολόκληρο το σύνολο δεδομένων και επιστρέφουν την τελική τιμή. Οι περιληπτικές τιμές (όπως τα αποτελέσματα και AVERAGE των COUNT) είναι πιο εύκολο να υπολογιστούν, ακόμα και σε ένα δίκτυο με απώλεια πληροφορίας, όταν δεν λαμβάνονται όλα τα πακέτα. Από την άλλη πλευρά, οι ενδεικτικές συναθροίσεις μπορεί να επιστρέψουν ανακριβείς τιμές, ακόμα και στην περίπτωση που χαθούν λίγα μόνο πακέτα, γι' αυτό είναι απαραίτητο κάθε τιμή να λαμβάνει μέρος στη συναθροίση. Παραδείγματα ενδεικτικών συναθροίσεων αποτελούν οι συναρτήσεις MIN, MAX και MEDIAN.

- **Μονοτονία**

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν συναθροίσεις που επιτρέπουν όσο το δυνατόν πιο νωρίς τον έλεγχο της τιμής ενός πεδίου. Για παράδειγμα, έστω ότι ο χρήστης ζητάει να μάθει τη μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας στο δίκτυο. Οι κόμβοι φύλλα μεταδίδουν την πληροφορία τους, οι γειτονικοί κόμβοι ακούνε τους κόμβους φύλλα, αλλά μεταδίδουν τις δικές τους τιμές μόνο στην περίπτωση που είναι μεγαλύτερες από την τρέχουσα μέγιστη τιμή. Με αυτό τον τρόπο, μειώνεται σημαντικά ο αριθμός μηνυμάτων που αποστέλλεται στο σταθμό βάσης, ενώ δεν επηρεάζεται το αποτέλεσμα. Άλλο παράδειγμα είναι ο υπολογισμός της τιμής MIN από μία σειρά εγγραφών ταξινομημένη σε αύξουσα σειρά. Τότε, λαμβάνεται η τιμή μόνο από την πρώτη εγγραφή με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντική η χρήση υπολογιστικού φόρτου.

Πληροφορία εγγραφής μερικής κατάστασης

Το ποσό της πληροφορίας μερικής κατάστασης που απαιτείται, διαφέρει ανάμεσα στις συναρτήσεις συνάθροισης. Συναρτήσεις όπως οι SUM και COUNT, χρειάζονται εγγραφές μερικής κατάστασης, οι οποίες έχουν ίδιο μέγεθος με την τελική συνάθροιση. Η συνάρτηση AVERAGE χρειάζεται μία εγγραφή μερικής κατάστασης, που θα περιέχει δύο τιμές, της SUM και της COUNT μαζί. Άλλες συναρτήσεις όπως η MEDIAN, χρειάζονται να μεταδοθεί στο σταθμό βάσης ολόκληρο το σύνολο δεδομένων

2.3.2 Συνάθροιση μέσα στο δίκτυο

Μία επερώτηση που ζητάει συγκεντρωτικά δεδομένα, εισάγεται στο δίκτυο αισθητήρων στον κεντρικό κόμβο του δικτύου, το κόμβο gateway. Στη συνέχεια ο κόμβος gateway προωθεί την επερώτηση στους άλλους κόμβους του δικτύου. Το απλούστερο αλλά λιγότερο βέλτιστο σχέδιο είναι εκείνο που στηρίζεται στη μέθοδο συγκεντρωτικής επεξεργασίας. Σύμφωνα με το σχέδιο αυτό, κάθε κόμβος, αφού υπολογίσει τα δεδομένα βάσει της επερώτησης που έλαβε, τα αναφέρει στον κόμβο gateway ώστε να πραγματοποιηθεί η επεξεργασία τους. Όταν ο gateway λάβει όλα τα πακέτα πληροφοριών απ' όλους τους κόμβους, συναθροίζει όλα τα δεδομένα σε μία τελική τιμή και την αναφέρει στο χρήστη. Η μέθοδος αυτή, η οποία είναι γνωστή ως άμεση μεταφορά (direct delivery), έχει αρκετά μειονεκτήματα. Ένα από αυτά είναι το γεγονός ότι πρέπει να μεταφερθεί μεγάλος αριθμός πακέτων στον gateway. Αφού κάθε κόμβος στέλνει τις δικές του πληροφορίες, υπάρχει τουλάχιστον ένα πακέτο δεδομένων για κάθε κόμβο.

Επίσης, κάποιιοι κόμβοι δεν έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνήσουν άμεσα με τον gateway, με αποτέλεσμα τα πακέτα τους να πρέπει να μεταδοθούν από άλλους (γειτονικούς) κόμβους μέχρι να φτάσουν στον τελικό προορισμό. Μειονέκτημα αποτελεί επίσης το μέγεθος του κάθε πακέτου, το οποίο είναι αρκετά μικρό αφού περιέχει τα δεδομένα ενός μόνο κόμβου. Με αυτό τον τρόπο, αυξάνεται ο αριθμός μικρών πακέτων που μεταδίδονται προς το σταθμό βάση και μειώνεται η διάρκεια ζωής του δικτύου. Προκειμένου να διατηρηθεί η ενέργεια και το εύρος ζώνης σε χαμηλά επίπεδα, κρίνεται χρήσιμο η επεξεργασία των δεδομένων να υλοποιηθεί μέσα στο ίδιο το δίκτυο. Κάνουμε δηλαδή χρήση της κατανεμημένης επεξεργασίας επερωτήσεων.

Η συνάθροιση μέσα στο δίκτυο αποτελεί μηχανισμό που έχει στόχο τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και χρήσης εύρους ζώνης που απαιτούνται για την εκτέλεση της επερωτήσης του χρήστη, δίνοντας στους ενδιαμέσους κόμβους τη δυνατότητα να συναθροίζουν τα δεδομένων των αισθητήρων. Η τεχνική αυτή παρέχει διάφορα πλεονεκτήματα σε σχέση με τη μέθοδο direct delivery:

- Μειώνεται ο αριθμός των πακέτων που πρέπει να σταλούν μέσα από το δίκτυο. Όσο τα πακέτα δεδομένων αναπαράγονται από τους κόμβους, μπορεί να συνδυαστούν μαζί με άλλα πακέτα, περιέχοντας τις αντίστοιχες τιμές συνάθροισης. Άλλωστε, ο χρήστης δεν ενδιαφέρεται για μεμονωμένες τιμές, οπότε δεν υπάρχει απώλεια στην τιμή του αποτελέσματος που λαμβάνει.
- Μειώνεται κατά πολύ η πιθανότητα σύγκρουσης των πακέτων. Αφού γίνεται αποστολή λιγότερων πακέτων, είναι λιγότερο πιθανό για έναν αισθητήρα να χρειαστεί να στείλει πάλι κάποιο μήνυμα το οποίο μπορεί να χάθηκε σε σύγκρουση πακέτων.

- Μειώνεται το μέγεθος της περίσσειας πληροφορίας (πλεονασμός) που λαμβάνει ο gateway. Στην περίπτωση που μεταδίδονται μεμονωμένα δεδομένα από κάθε κόμβο, αυξάνεται η πιθανότητα οι ενδιάμεσοι κόμβοι να λάβουν το ίδιο μήνυμα από γειτονικούς κόμβους και ο σταθμός βάσης να λάβει τελικά πολλαπλές αντιγραφές του ίδιο μηνύματος και να χρειάζεται να διαγράψει την περίσσεια πληροφορία.
- Αυξάνεται η ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Οι αισθητήρες, οι οποίοι αποσυνδέονται προσωρινά από το δίκτυο, δεν έχουν τη δυνατότητα να λάβουν και να επεξεργαστούν μία επερώτηση. Στην περίπτωση αυτή, ο κόμβος γονέας παρατηρεί ότι το παιδί του δεν επέστρεψε κάποια τιμή και μπορεί να την υπολογίσει βασιζόμενος σε προηγούμενα δεδομένα. Αυτό είναι πάρα πολύ χρήσιμο σε περιβάλλοντα στα οποία οι τιμές για κάποια μεγέθη δύσκολα αλλάζουν σημαντικά σε μικρά χρονικά διαστήματα (π.χ. η θερμοκρασία σε ένα δωμάτιο).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:

ΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ *ECREDUCED*, *STG* ΚΑΙ *STS*

Ένας τυπικός τρόπος της εξαγωγής πληροφοριών από ένα δίκτυο αισθητήρων είναι να διαδώσει τις συναθροιστικές επερωτήσεις από τον κόμβο gateway στους κόμβους αισθητήρες, ζητώντας τους να ελέγξουν περιοδικά το περιβάλλον, και να επιστρέψουν τα αποτελέσματα τους σε τακτά χρονικά διαστήματα. Ένα παράδειγμα τέτοιων συναθροιστικών επερωτήσεων είναι

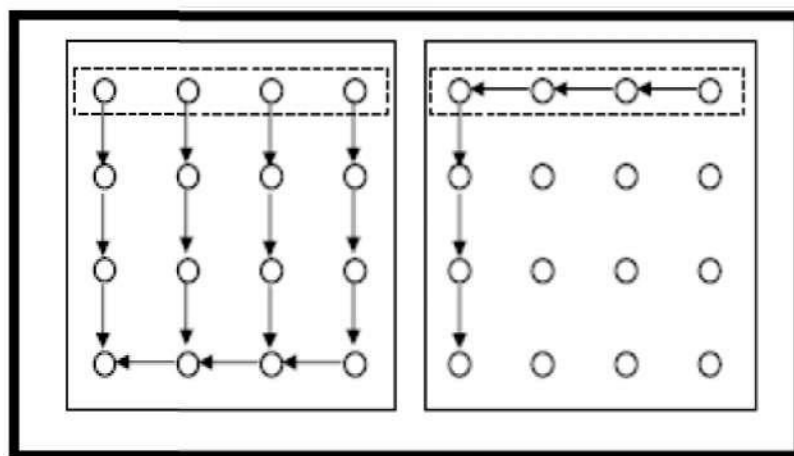
```
"select avg(temperature) from Sensors where loc in Region every 10 min".
```

Δεδομένου ότι οι κόμβοι λειτουργούν με μπαταρίες, η ενεργειακή συντήρηση είναι σημαντική γιατί προσκρούει άμεσα στη διάρκεια ζωής του δικτύου. Οι πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει ότι η ραδιοεπικοινωνία είναι σημαντικά ακριβότερη από τον υπολογισμό ή την μέτρηση στις περισσότερες υπάρχουσες πλατφόρμες κόμβων αισθητήρων. Ως εκ τούτου, κύρια επιδίωξη στο σχεδιασμό των αλγορίθμων επεξεργασίας επερώτησης, είναι να ελαχιστοποιηθεί το κόστος επικοινωνίας της αποστολής των αποτελεσμάτων από τους κόμβους-αισθητήρες στον κόμβο gateway. Το κόστος διάδοσης επερώτησης στο δίκτυο υποτίθεται ότι έχει έναν δευτεροβάθμιο ρόλο για μακροπρόθεσμες επερωτήσεις, δεδομένου ότι η διάδοση εμφανίζεται μια φορά, ενώ η διάδοση αποτελέσματος εμφανίζεται επανειλημμένα σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Το κόστος επικοινωνίας της διάδοσης αποτελέσματος εξουσιάζει έτσι το κόστος επικοινωνίας της διάδοσης επερώτησης. Αφότου κατασκευάζεται ένα δέντρο, οι κόμβοι αισθητήρων προωθούν προς τα εμπρός τις μετρήσεις τους κατά μήκος των πορειών του δέντρου. Η πιο πρόσφατη έρευνα έχει εστιάσει στη βελτιστοποίηση πολλών συναθροιστικών επερωτήσεων (optimizing multiple aggregate queries). Ο στόχος είναι να βρεθούν οι αποδοτικές διαδρομές που ελαχιστοποιούν το κόστος επικοινωνίας στην εκτέλεση πολλών συναθροιστικών επερωτήσεων, με τη μελέτη της αλληλεπίδρασης μεταξύ της επεξεργασίας και της δρομολόγησης των τιμών της επερώτησης.

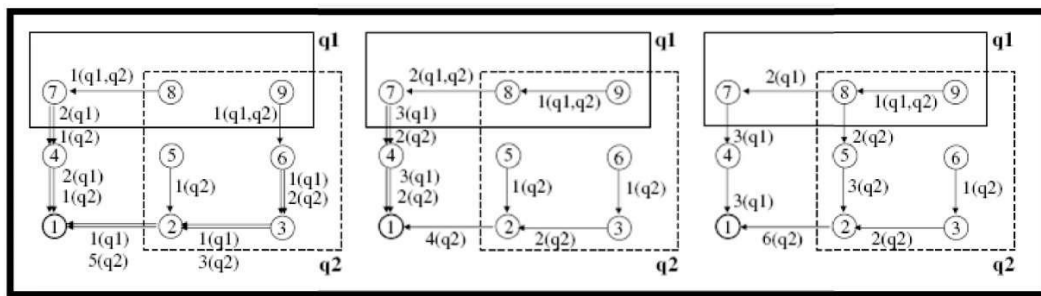
Μερικά παραδείγματα

Τα πλεονεκτήματα από την σωστή επιλογή ενός σχεδίου δρομολόγησης και επεξεργασίας για την εκτέλεση των συναθροιστικών επερωτήσεων παρουσιάζονται στα ακόλουθα παραδείγματα.



Εικόνα 12: Απεικόνιση τυχαίας συναθροιστικής επερώτησης

Η Εικόνα 12 παρουσιάζει ένα παράδειγμα μιας ενιαίας συναθροιστικής επερώτησης, η οποία ζητά το άθροισμα(sum) όλων των αναγνώσεων στη διακεκομμένη ορθογώνια περιοχή. Προσέξτε ότι ένας συνολικός αριθμός 15 μηνυμάτων στέλνονται στο αριστερό δέντρο, ενώ μόνο 6 μηνύματα διαβιβάζονται κατά μήκος του προσεκτικά επιλεγμένου δεξιού δέντρου. Το δεξιό δέντρο δρομολόγησης είναι καλύτερο από άποψη συνολικού κόστους επικοινωνίας. Επίσης, το όφελος του δεύτερου σχεδίου είναι ότι αθροίζει όλες τις αναγνώσεις μιας επερώτησης νωρίς και αποφεύγει να στέλνει μετρήσεις μέσα από δυσχερή μονοπάτια.



Εικόνα 13: Απεικόνιση επερωτήσεων αρίθμησης

Η Εικόνα 13 δείχνει τα οφέλη για την δημιουργία ενός κατάλληλου σχεδίου εκτέλεσης στην περίπτωση πολλών επερωτήσεων αρίθμησης. Για την ευκολία στις γραφικές παραστάσεις περιλαμβάνονται επίσης IDs κόμβων και τα μηνύματα που διαβιβάζονται μέσω των συνδέσεων δικτύων. Τα μηνύματα έχουν το σχήμα $u(q_1, \dots, q_n)$, που δείχνει ότι την τιμή u που συμβάλλει στις ερωτήσεις q_1, \dots, q_n . Τα τεμνόμενα ορθογώνια διαιρούν φυσικά το δίκτυο σε μικρότερα τμήματα. Ένα τμήμα $S(\text{segment})$ είναι ένα σύνολο κόμβων, που καλύπτονται από το ίδιο σύνολο επερωτήσεων. Το αριστερό σχέδιο δεν εκμεταλλεύεται τις κοινές τιμές των τμημάτων και επομένως αποτυγχάνει να αθροίσει μαζί τις αναγνώσεις (των κόμβων

8 και 9). Το δεύτερο σχέδιο παρουσιάζει μικρότερο κόστος επικοινωνίας, επειδή εκμεταλλεύεται τις κοινές τιμές των τμημάτων, ωστόσο δεν αθροίζει τις τιμές που καλύπτουν ίδια επερώτηση και τις διαβιβάζει χωριστά μέχρι τον κόμβο gateway.

Αυτή η συμπεριφορά είναι παρόμοια με το δεύτερο αλγόριθμο που θα παρουσιάσουμε στην συνέχεια αποκαλούμενο SegmentToGateway(STG). Το δεξιό σχέδιο έχει μια βέλτιστη συμπεριφορά επειδή εκμεταλλεύεται τις κοινές τιμές τμημάτων και αποφεύγει να στέλνει τιμές που καλύπτουν ίδια επερώτηση μέσα από μακροχρόνια μονοπάτια. Ο κόμβος 8 στέλνει τις τιμές σε δύο γονείς(5 και 7) και συγχωνεύονται με άλλες δύο της ίδιας επερώτησης .Με αυτόν τον τρόπο λοιπόν, μόνο δύο ξεχωριστά αποτελέσματα στέλνονται στον κόμβο gateway. Αυτός ο τρόπος δρομολόγησης τιμών περιγράφεται από τον αλγόριθμο SegmentToSegment (STS).

Και οι τρεις αλγόριθμοι αποτελούνται από δύο φάσεις:

- (i) μια φάση διαμόρφωσης δικτύων και
- (ii) μια διάδοση αποτελέσματος

Ο ρόλος της πρώτης φάσης είναι να δημιουργηθούν οι διαδρομές για να προετοιμάσει το έδαφος για τη δεύτερη φάση, δηλ. την αποστολή των αποτελεσμάτων στον κόμβο gateway σε περιοδικά διαστήματα.

3.1 Ο αλγόριθμος ECRduced

Φάση διαμόρφωσης δικτύου [\[27\]](#)

Οι συναθροιστικές επερωτήσεις διαδίδονται στο δίκτυο και κάθε κόμβος επιλέγει ως γονέα του (parent node) το γείτονα στην κοντινότερη πορεία προς στον κόμβο gateway.

Εάν υπάρχουν περισσότεροι από ένας υποψήφιοι γονείς, ο κόμβος επιλέγει το γονέα του με έναν από τους ακόλουθους τρόπους:

- (i) τυχαία
- (ii) ο πρώτος κόμβος από τον οποίο έλαβε μια επερώτηση
- (iii) ο κόμβος με τον οποίο διατηρεί με συνέπεια την καλύτερη επικοινωνία.

Φάση διάδοσης αποτελέσματος [\[27\]](#)

Οι διαδρομές των αποτελεσμάτων επερώτησης προκαθορίζονται στη φάση διαμόρφωσης δικτύου. Κάθε κόμβος στέλνει τις μετρήσεις του στον κόμβο parent. Αν ένα ζευγάρι εισαγωγής (value, CV) αναφέρεται σε q επερωτήσεις, διασπάται σε q διαφορετικά ζευγάρια όπου το καθένα αντιστοιχεί σε μια επερώτηση. Ζευγάρια εισαγωγής που αντιστοιχούν στην ίδια επερώτηση συγχωνεύονται, μετατρέπονται σε ζευγάρια εξαγωγής και στέλνονται στον κόμβο parent.

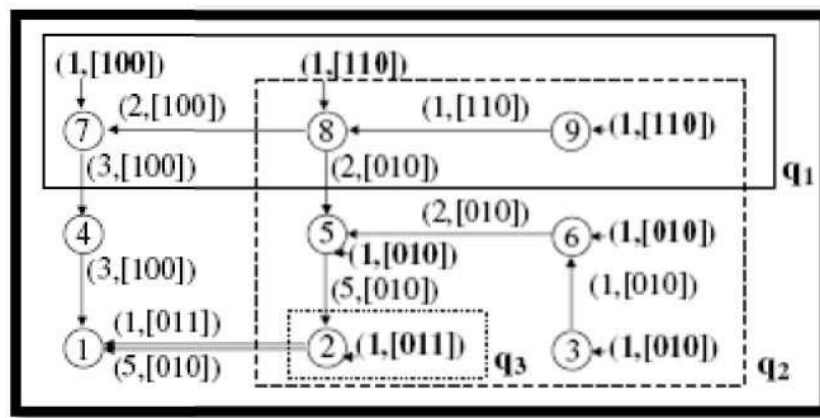
3.2 Ο αλγόριθμος SegmentToGateway (STG) [27]

Ο αλγόριθμος STG εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι τα τεμνόμενα ορθογώνια επερώτησης διαιρούν φυσικά το δίκτυο σε μικρότερα τμήματα. Ορισμοί σημαντικών εννοιών για την κατανόηση της STG δίνονται παρακάτω:

- Ένα τμήμα S (segment) είναι ένα σύνολο κόμβων που καλύπτονται από το ίδιο σύνολο επερωτήσεων. Παραδείγματος χάριν, οι επερωτήσεις στην εικόνα διαμορφώνουν πέντε τμήματα $\{s1, s4\}$, $\{s2\}$, $\{s3, s5, s6\}$, $\{s7\}$ και $\{s8, s9\}$. Ένα τμήμα S (ή ένας κόμβος n στο S) αντιπροσωπεύεται από ένα bit-vector που ονομάζεται SGVector και δείχνει ποιες επερωτήσεις καλύπτουν τους κόμβους του S (π.χ., $SGVector(\{s3,s5,s6\})=[010]$).
- Ο STG εκτελεί τη συνάθροιση των μετρήσεων των αισθητήρων με την δημιουργία ενός δέντρου ανά τμήμα, αντί της δημιουργίας ενός δέντρου ανά επερώτηση, ή ενός δέντρου για όλες τις επερωτήσεις. Τα δέντρα των τμημάτων έχουν ως ρίζα τον κόμβο SGLLeader, δηλ. τον κόμβο με το μικρότερο hopCount (κοντινότερη πορεία προς στον κόμβο gateway). SGDDistance είναι ο αριθμός των hops από τον SGLLeader στον κόμβο gateway. distToSGLLeader είναι ο αριθμός των hops από έναν κόμβο στον SGLLeader του. Για παράδειγμα, $SGDistance(s6)=2$ και $distToSGLLeader(s6)=1$.

Φάση διαμόρφωσης δικτύου

Αυτή η φάση είναι παρόμοια με την αντίστοιχη του αλγορίθμου ECReduced, εκτός από το ότι σε αυτήν την περίπτωση κάθε κόμβος προσδιορίζει όχι μόνο έναν γείτονα γονέα αλλά και ένα SGParent (δηλ., ένας γείτονας σε μια πορεία στο SGLLeader- Εικόνα 14).



Εικόνα 14: Απεικόνιση επερωτήσεων αρίθμησης

Επάνω στη λήψη ενός μηνύματος αναγνωριστικών σημάτων, ένας κόμβος ενημερώνει τον τοπικό κατάλογο γειτόνων και, εάν είναι απαραίτητο, της αξίας hopCount (όπως σε ECReduced). Το επόμενο βήμα εξαρτάται από εάν το αναγνωριστικό σήμα στέλνεται από έναν κόμβο στο ίδιο ή σε ένα διαφορετικό τμήμα. Στην πρώτη περίπτωση, ο κόμβος συγκρίνει τα στοιχεία που έχει για τον SGLLeader με αυτά στο αναγνωριστικό σήμα. Εάν το αναγνωριστικό σήμα ξέρει για ένα SGLLeader πιο κοντά στην gateway (με μικρότερο SGDDistance), η μεταβλητή SGDDistance ενημερώνεται και ο κόμβος που έστειλε το αναγνωριστικό μήνυμα επιλέγεται για να είναι ο SGParent. Στην δεύτερη περίπτωση όπου ένας κόμβος λαμβάνει ένα αναγνωριστικό σήμα από ένα κόμβο σε ένα διαφορετικό τμήμα,

συνειδητοποιεί ότι είναι στα σύνορα του τμήματος και έτσι είναι υποψήφιος κόμβος για να γίνει SGLLeader. Εκλέγεται για να είναι SGLLeader εάν το hopCount του είναι μικρότερο από το SGDDistance. Το μήνυμα αναγνωριστικών σημάτων ενημερώνεται αναλόγως και ξαναστέλνεται

Φάση διάδοσης αποτελέσματος

Στο τέλος της φάσης διαμόρφωσης του δικτύου, κάθε κόμβος ξέρει τον γονέα του και τον SGPparent του. Στη φάση διάδοσης αποτελέσματος, κάθε κόμβος συγχωνεύει τα ζευγάρια εισαγωγής (value, CV) με ίδιο CV αθροίζοντας τις τιμές. Ένα ζευγάρι εξαγωγής \wedge , CV) στέλνεται στον SGPparent εάν και μόνο εάν το CV είναι ίσο με το SGVector του τρέχοντος κόμβου. Τα υπόλοιπα ζευγάρια εξαγωγής (value, CV) διαβιβάζονται στον κόμβο parent. Οι γείτονες κόμβοι του κόμβου gateway στέλνουν όλα τα μηνύματά τους χωρίς εξαίρεση άμεσα στην gateway. Έτσι λοιπόν ο αλγόριθμος STG αθροίζει τις τιμές όλων των κόμβων μέσα σε κάθε τμήμα χωριστά ακολουθώντας ένα μίνι-δέντρο που καταλήγει στον SGLLeader. Οι υπόλοιπες τιμές (των οποίων τα CVs δεν είναι ίσα με το SGVector) διαβιβάζονται στους κόμβους parent (αντί του SGPparent) και φθάνουν στον κόμβο gateway μέσω της κοντινότερης πορείας.

3.3 Ο αλγόριθμος SegmentToSegment (STS)

Αν και ο STG λειτουργεί καλά από άποψη να συγχωνεύσει τις αναγνώσεις του ίδιου τμήματος, αποτυγχάνει συχνά στο να συγχωνεύσει μετρήσεις που ανήκουν στην ίδια επερώτηση που προέρχονται από τα διαφορετικά τμήματα. Στη χειρότερη περίπτωση, αυτές οι μετρήσεις διαδίδονται από τους κόμβους SGLLeader στον κόμβο gateway από μακριά ανεπιθύμητα μονοπάτια. Ο STS εξετάζει την αδυναμία του STG με την αποστολή των μηνυμάτων προς τους γείτονες που είναι πιθανό να τα συγχωνεύσουν με άλλα. [\[27\]](#)

Φάση διαμόρφωσης δικτύου

Η φάση διαμόρφωσης του STS είναι παρόμοια με την αντίστοιχη φάση του STG εκτός από το ότι κάθε κόμβος επιλέγει ως SGPparent έναν κόμβο στην κοντινότερη (αντί σε οποιοσδήποτε) πορεία προς στον SGLleader (Στην Εικόνα ***βλέπουμε την διαφορά ανάμεσα στον αλγόριθμο STS και στον STG)Ο αριθμός των hops από τον κόμβο προς τον SGLleader του, αποθηκεύεται στην μεταβλητή distToSGLleader.Όταν ένας κόμβος SGLleader μεταδίδει ένα μήνυμα θέτει την μεταβλητή distToSGLleader ίση με μηδέν. Μόλις ληφθεί ένα αναγνωριστικό μήνυμα ο κόμβος συγκρίνει την τιμή της τοπικής μεταβλητής distToSGLleader με την αντίστοιχη του μηνύματος αυξημένη κατά ένα. Εάν η τιμή της τοπικής μεταβλητής είναι μεγαλύτερη, τότε ο κόμβος αποστολέας επιλέγεται ως SGPparent και η τοπική μεταβλητή distToSGLleader αλλάζει.

Φάση διάδοσης αποτελέσματος

Αρχικά, κάθε κόμβος μετατρέπει τα ζευγάρια εισαγωγής (value, CV) σε ζευγάρια εξαγωγής ακριβώς όπως στον ECRduced και στον STG. Έπειτα έχουμε δύο νέα βήματα:

1. Οι κόμβοι επιλέγουν έναν κατάλληλο γείτονα για να διαβιβάσουν κάθε ζευγάρι εξαγωγής, και
2. Διαχωρισμός μηνυμάτων , ο οποίος χωρίζει το ζευγάρι εξαγωγής πριν το διαβιβάξει . Αναλυτικά το πρώτο βήμα : Ο βασικός στόχος του πρώτου βήματος είναι να διαβιβαστούν τα ζευγάρια εξαγωγής (value, CV) προς τους κόμβους που πιθανός να τα συγχωνεύσουν με άλλα. Το πρώτο (value, CV) ζευγάρι που εξετάζεται είναι αυτό που συμβάλλει στις περισσότερες ερωτήσεις (με το μέγιστο αριθμό 1 bit στο CV). Η διαδικασία ταιριάσματος με τον καλύτερο κόμβο γειτόνων είναι:

Βήμα

1.1:

Για να εξασφαλίσουν οι κόμβοι ότι τα μηνύματα δεν διαβιβάζονται μακριά από τον κόμβο gateway, μόνο οι γείτονες πιο κοντά στον κόμβο gateway από τον τρέχοντα κόμβο θεωρούνται κατάλληλοι , δηλ. Lexicographically (hopCount, SGDistance, distToSGLeader, xCoord, yCoord). Έτσι λοιπόν , ο κόμβος s3 επιλέγει τον s2(Εικόνα) για να στείλει μήνυμα . Σαν εξαίρεση, ένας κόμβος εξετάζει επίσης τους γείτονες στο ίδιο τμήμα που δεν είναι πιο στενοί στην gateway, εάν (i) αυτοί είναι πιο κοντά στον SGLeader τους και (ii) όλες οι ερωτήσεις που καλύπτουν αυτούς τους κόμβους συμπεριλαμβάνονται επίσης στο CV των μηνυμάτων. Για παράδειγμα, ο s3 εξετάζει και τον s6 για να διαβιβάσει την μέτρηση του (1, [010]) επειδή $\text{distToSGLeader}(s6) < \text{distToSGLeader}(s3)$ και το $\text{SGVector}(s6) = [010]$ είναι κοινό με το CV [010].

Βήμα

1.2:

Μεταξύ των γειτόνων που επιλέγονται στο βήμα 1.1, εξετάστε μόνο εκείνους που ταιριάζουν καλύτερα με το CV δηλ. όποιοι καλύπτονται από το μέγιστο αριθμό κοινών ερωτήσεων με CV. Εάν αυτός ο αριθμός είναι 0 ή ο κόμβος είναι δίπλα στην gateway, στέλνει το μήνυμα στον κόμβο parent. Ο κόμβος s3 έχει δύο υποψήφιους γείτονες για να στείλει (1,[010]), τον κόμβο s2 και τον κόμβο s6, (από το βήμα 1.1). Τα SGVectors [011] και [010] των s2 και s6 έχουν μια κοινή επερώτηση με το CV ([010]). Μεταξύ των γειτόνων με ίσο αριθμό κοινών ερωτήσεων, οι κόμβοι επιλέγουν αυτόν με τον ελάχιστο αριθμό ερωτήσεων (s6).

Βήμα

1.3:

Μεταξύ των γειτόνων που επιλέγονται στο βήμα 1.2, οι κόμβοι επιλέγουν αυτόν με μικρότερο lexicographically (SGDistance, distToSGLeader, xCoord, yCoord). Για παράδειγμα, ο s8 έχει δύο υποψήφιους γείτονες τον s5 και τον s7 για να στείλει το ζευγάρι εξαγωγής (2, [110]). Και οι δύο έχουν SGDistance ίσο με 2 και distToSGLeader ίσο με 0 (και οι δύο κόμβοι είναι ηγέτες τμήματος), έτσι το s7 επιλέγεται επειδή έχει μικρότερη συντεταγμένη X.

Διαχωρισμός μηνυμάτων. Η λογική πίσω από αυτό το βήμα είναι ότι συχνά η διάσπαση των ζευγαριών αποδίδει καλύτερα. Για παράδειγμα, έστω p να είναι το ζευγάρι που εξετάζεται να σταλεί στο προηγούμενο βήμα. Το ζευγάρι p μπορεί να χωριστεί σε δύο ζευγάρια p_1 και p_2 , βασισμένα στο SGVector του επιλεγμένου γείτονα. Υποθέστε ότι ο κόμβος s_8 επιλέγει τον s_7 για να διαβιβάσει το $p = (2, [110])$ στο προηγούμενο βήμα. Προσέξτε ότι το CV του p καλύπτει περισσότερες επερωτήσεις (q_1 και q_2) από το SGVector του επιλεγμένου γείτονα ($SGVector_c(s_7) = [100]$, που δείχνει ότι ο s_7 καλύπτεται μόνο από την q_1 επερώτηση). Σε αυτήν την περίπτωση, το p μπορεί να χωριστεί σε δύο ζευγάρια, ένα που συμβάλλει στις κοινές επερωτήσεις $p_1 = (2, [100])$, και άλλο που συμβάλλει στην επερώτηση που απομένει $p_2 = (2, [010])$. Το ζευγάρι p_1 στέλνεται στον επιλεγμένο γείτονα και το p_2 επανεισάγεται στον κατάλογο ζευγαριών εξαγωγής. Κατά τη διάρκεια της εισαγωγής, τα ζευγάρια με ίσο CVs συγχωνεύονται. Εάν ο κατάλογος CV με τα ζευγάρια για αποστολή δεν είναι κενός, τα βήματα 1 και 2 επαναλαμβάνονται.

Με τη βοήθεια της προσεκτικής δρομολόγησης μηνυμάτων, της συγχώνευσης και του διαχωρισμού, ο STS εξασφαλίζει ότι όλες οι μετρήσεις κοινών επερωτήσεων συγχωνεύονται μαζί προτού να αφήσουν την περιοχή επερώτησης, προσφέροντας κατά συνέπεια μεγαλύτερα οφέλη σε σχέση με τα STG και ECRduced.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. <http://www.tinyos.net/>
- [2]. <http://www.sics.se/contiki/>
- [3]. <http://mantisos.org/>
- [4]. <http://www.btnode.ethz.ch/>
- [5]. <http://www.nanork.org/>
- [6]. [http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless sensor network](http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_sensor_network)
- [7]. G. Simon, M. Maroti, A. Ledeczi, G. Balogh, B. Kusy, A. Nadas, G. Pap, J. Sallai, and K. Frampton. Sensor network-based countersniper system. In Second International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (Sensys), 2004.
- [8]. P. Zhang, C.M. Sadler, S.A. Lyon, and M. Martonosi. Hardware design experiences in zebranet. In SenSys04, 2004.
- [9]. C. D. Kidd, R. Orr, G. D. Abowd, C. G. Atkeson, I. A. Essa, B. MacIntyre, E. D. Mynatt, T. Starner, and W. Newstetter. The aware home: A living laboratory for ubiquitous computing research. In CoBuild, pages 191-198, 1999.
- [10]. <http://www.alertsystems.org>
- [11]. B.G. Celler et al. An instrumentation system for the remote monitoring of changes in functional health status of the elderly. In International Conference IEEE-EMBS, 1994.
- [12]. G. Coyle et al. Home telecare for the elderly. Telemedicine and Telecare, 1:183-184, 1995.
- [13]. [http://www.cs.colorado.edu/~mozer/index.php?dir=/Research/Projects/Adaptive%20ho use/](http://www.cs.colorado.edu/~mozer/index.php?dir=/Research/Projects/Adaptive%20ho%20use/)

- [14]. J.H. Huang, S. Amjad, and S. Mishra. Cenwits: A sensor-based loosely coupled search and rescue system using witnesses. In Third International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (Sensys), 2005.
- [15]. Vasilescu, K. Kotay, D. Rus, M. Dunbabin, and P. Corke. Data collection, storage, retrieval with an underwater sensor network. In Third International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (Sensys), 2005.
- [16]. <http://courses.ced.tuc.gr>
HMMY (ΠΛΗ) 516 Επεξεργασία και Διαχείριση Δεδομένων σε Δίκτυα Αισθητήρων
- [17]. Holger Karl, Andreas Willig. "Protocols and Architectures For Wireless Sensor Networks" Ed. John Wiley & Sons Inc., pp. 1-88, 2005
- [18]. Parallax inc, "Boe-Bot Robot", [Online]. Available:
<http://www.parallax.com/tabid/411/Default.aspx>
- [19]. Karthik Dantu, Mohammad Rahimi, Hardik Shah, Sandeep Babel, Amit Dhariwal and Gaurav Sukhatme "Robomote: Enabling Mobility In Sensor Networks.", 2004.
- [20]. Nuzhet Atay, Burchan Bayazit. "Mobile Wireless Sensor Network Connectivity Repair with K-Redundancy", September 2007
- [21]. Sarah Bergbreiter, Jameson Lee, Dr. Kris Pister, "Cotsbots" [Online]. Available: <http://www-bsac.eecs.berkeley.edu/projects/cotsbots/>
- [22]. Luis E. Navarro - Serment, Robert Grabowski, Christiaan J.J. Paredis, and Pradeep K. Khosla. "Millibots: The Development of a Framework and Algorithms for a Distributed Heterogeneous Robot Team", December 2002.
- [23]. http://mechatronics.ece.usu.edu/mas-net/index_files/Pub_MASmote_A_Mobility_Node_for_MASnet.pdf

- [24]. Christopher M. Cianci, Xavier Raemy, Jim Pugh, and Alcherio Martinoli. Communication in a Swarm of Miniature. "Robots: The e-Puck as an Educational Tool for Swarm Robotics", 2007.
- [25]. Samuel Madden , Michael J. Franklin , Joseph M. Hellerstein , Wei Hong, The design of an acquisitional query processor for sensor networks, Proceedings of the 2003 ACM SIGMOD international conference on Management of data, June 2003
- [26]. S. R. Madden, M. J. Franklin, J. M. Hellerstein, and W. Hong, TAG: A tiny aggregation service for ad-hoc sensor networks, in Proceedings of the Symposium on Operating Systems Design and Implementation, OSDI, December 2002
- [27]. Niki Trigoni, A. G. (2008). Interplay of Processing and Routing in Aggregate Query Optimization for Sensor Networks. In Distributed Computing and Networking (pp. 401-415).