



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Συγκριτική Ανάλυση των Πρωτοκόλλων Ενεργειακά Αποδοτικής
Δρομολόγησης σε Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων**

Ιωάννου Παναγιώτης

Εισηγήτρια: Αναστασία Ν. Βελώνη - Λέκτορας Εφαρμογών

**ΑΘΗΝΑ
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2018**

Συγκριτική Ανάλυση των Πρωτοκόλλων Ενεργειακά Αποδοτικής Δρομολόγησης σε Ασύρματα
Δίκτυα Αισθητήρων

Συγκριτική Ανάλυση των Πρωτοκόλλων Ενεργειακά Αποδοτικής Δρομολόγησης σε Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Συγκριτική Ανάλυση των Πρωτοκόλλων Ενεργειακά Αποδοτικής
Δρομολόγησης σε Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων**

**Ιωάννου Παναγιώτης
Α.Μ. ais0106**

Εισηγητής:

Βελώνη Αναστασία, Καθηγήτρια

Εξεταστική Επιτροπή:

Ημερομηνία εξέτασης

Συγκριτική Ανάλυση των Πρωτοκόλλων Ενεργειακά Αποδοτικής Δρομολόγησης σε Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος ΙΩΑΝΝΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ....., του ΙΩΑΝΝΗ....., με αριθμό μητρώου ais0106..... φοιτητής του Τμήματος Μηχανικών Η/Υ Συστημάτων Τ.Ε. του Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ. πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε., ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασης της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση της Π.Ε. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε. πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού δμήνου από την ημερομηνία ανάθεσης της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18, παρ. 5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού.»

Συγκριτική Ανάλυση των Πρωτοκόλλων Ενεργειακά Αποδοτικής Δρομολόγησης σε Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ολοκληρώθηκε μετά από επίμονες προσπάθειες, σε ένα ενδιαφέρον γνωστικό αντικείμενο, όπως αυτό των Πρωτοκόλλων Ενεργειακά Αποδοτικής Δρομολόγησης σε Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων. Την προσπάθειά μου αυτή υποστήριξε η **επιβλέπων καθηγήτρια μου Α. Βελώνη**, την οποία θα ήθελα να ευχαριστήσω.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Έλληνα Ιωάννη για τις πολύτιμες συμβουλές του.

Συγκριτική Ανάλυση των Πρωτοκόλλων Ενεργειακά Αποδοτικής Δρομολόγησης σε Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με τα Πρωτοκόλλα Ενεργειακά Αποδοτικής Δρομολόγησης σε Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων. Σε αυτό το πεδίο έχουν αναπτυχθεί και εφαρμοστεί πολλά πρωτόκολλα, κάθε ένα από τα οποία έχει ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα με άμεσο αντίκτυπο στην κατανάλωση ενέργειας. Μετά το πέρας της ανάλυσης των πρωτοκόλλων θα προσπαθήσουμε μέσα από μια σύγκριση να καταλήξουμε στα πιο ενεργειακά αποδοτικά πρωτόκολλα δρομολόγησης.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with Energy Efficient Routing Protocol on Wireless Sensor Networks. Many protocols have been developed and implemented in this field, each of which has certain advantages and disadvantages with a direct impact on energy consumption. After the analysis of the protocols we will try through a comparison to come up with the most energy-efficient routing protocols.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	17
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	17
1.1 Περιγραφή ενός ασύρματου δικτύου	17
1.2 Λόγοι ανάπτυξης της χρήσης ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων.....	18
1.3 Εφαρμογές ασύρματων δικτύων αισθητήρων	18
1.4 Χαρακτηριστικά ενός WSN	26
1.5 Βασικά Προβλήματα και Προκλήσεις.....	27
1.6 Βασικές Τεχνολογίες.....	29
1.7 Πολυαλματική μετάδοση	30
1.8 Εξέλιξη συστημάτων Διαδικτυωμένων Αισθητήρων.....	31
1.9 Εξέλιξη στις ενεργειακές απαιτήσεις των ασύρματων αισθητήρων.....	33
1.10 Σύγκριση ενεργειακών πηγών	33
1.11 Αρχιτεκτονική Ασύρματων Δικτύων	35
1.12 Πλατφόρμες Υλικού-Λογισμικού για κόμβους Αισθητήρων	39
1.13 Πρότυπα και προδιαγραφές.....	39
1.14 Hardware	40
1.15 Software.....	40
1.16 Λειτουργικά συστήματα	41
1.17 Εξέλιξη στις ενεργειακές απαιτήσεις των ασύρματων αισθητήρων.....	43
1.18 Κατανάλωση ενέργειας	44
1.19 Προγραμματισμός Δικτύων Αισθητήρων	45
1.20 Προσομοίωση της ΑΔΑ	46
1.21 Κατανεμημένα δίκτυα αισθητήρων	46
1.22 Ενοποίηση δεδομένων και Sensor Web.....	47
1.23 Εσωτερικό δίκτυο επεξεργασίας	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	48
Wireless AD Hoc Network	48

Συγκριτική Ανάλυση των Πρωτοκόλλων Ενεργειακά Αποδοτικής Δρομολόγησης σε Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

2.1 Εισαγωγή	48
2.2 Ιστορικό του packet radio	48
2.3 Πρόωρη εργασία στο MANET	49
2.4 Ad hoc δίκτυο	49
2.5 Εφαρμογές	50
2.5.1 Κινητά ad hoc δίκτυα (MANETs)	50
2.5.2 Οδικά δίκτυα ad hoc (VANET).....	50
2.5.3 Διαδικτυακά δίκτυα έξυπνων τηλεφώνων (SPAN)	51
2.5.4 Ασύρματα mesh networks.....	51
2.5.5 Στρατιωτική τακτική MANETs	52
2.5.6 Δίκτυα ad hoc του UAV της Πολεμικής Αεροπορίας	52
2.5.7 Ναυτικά δίκτυα ad hoc	53
2.5.8 Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.....	53
2.5.9 Ad hoc οικιακό έξυπνο φωτισμό	53
2.5.10 Ad hoc δίκτυα φωτισμού δρόμου	54
2.5.11 Ad hoc δικτύων ρομπότ	54
2.5.12 Δίκτυο ad hoc για τη διάσωση καταστροφών.....	54
2.5.13 Νοσοκομείο ad hoc δικτύου	55
2.6 Προκλήσεις	55
2.7 Πλεονεκτήματα.....	55
2.8 Μειονεκτήματα.....	55
2.9 Ραδιόφωνα για ad hoc.....	55
2.10 Πρωτόκολλο «Στοιίβα».....	56
2.11 Δρομολόγηση.....	57
2.12 Προληπτική δρομολόγηση	57
2.13 Διαδρομή διάνυσμα απόστασης	58
2.14 Ανενεργή δρομολόγηση	58
2.15 Χρόνος υψηλής καθυστέρησης κατά την εύρεση διαδρομής.	58
2.16 Flooding - Πλημμύρα	58
2.17 Υβριδική δρομολόγηση	59
2.18 Position-based routing.....	59

Συγκριτική Ανάλυση των Πρωτοκόλλων Ενεργειακά Αποδοτικής Δρομολόγησης σε Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

2.19 Τεχνικές απαιτήσεις για την εφαρμογή	59
2.20 Έλεγχος μέσου πρόσβασης.....	60
2.21 Προσομοίωση των ασύρματων ad hoc δικτύων	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	61
Εισαγωγή στις κατηγορίες Πρωτοκόλλων	61
Εισαγωγή	61
3.1 Επιλογή Πρωτοκόλλου στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων	61
3.2 Εξοικονόμηση Ενέργειας με την Επιλογή της Βέλτιστης Δρομολόγησης στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων	64
3.3 Ελαχιστοποίηση των Επιβαρύνσεων στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων	65
3.4 Παράγοντες που Επηρεάζουν τον Σχεδιασμό Πρωτοκόλλων Εξοικονόμησης Ενέργειας	65
3.5 Τεχνικές Δρομολόγησης στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων.....	67
3.6 Πρωτόκολλα Βασισμένα στην Δομή του Δικτύου (Network Structure).....	67
3.7 Πρωτόκολλα Βασισμένα στο Μοντέλο Επικοινωνίας (Communication Model).....	68
3.8 Πρωτόκολλα Βασισμένα στην Τοπολογία (Topology Based)	69
3.9 Πρωτόκολλα Βασισμένα στην Αξιόπιστη Δρομολόγηση (Reliable Routing).....	69
3.10 Σύγκριση μεταξύ των κατηγοριών δρομολόγησης.....	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	71
Πρωτόκολλα Βασισμένα στην Δομή του Δικτύου	71
Εισαγωγή	71
4.1 Επίπεδα Πρωτόκολλα Δρομολόγησης (Flat Protocols)	71
4.2 Προληπτικά (Pro-active) ή (Table-Driven) Πρωτόκολλα Δρομολόγησης	71
Proactive Πρωτόκολλα Δρομολόγησης	71
4.3 Εισαγωγικά	72
4.4 Διανύσματα Αποστάσεων	73
4.5 Κατάσταση Ζεύξεων	73
4.6 Proactive Πρωτόκολλα	74
4.7 LSR - Link State Routing Πρωτόκολλο	75
4.8 HSR - Hierarchical State Routing Πρωτόκολλο	81
4.9 OLSR - Πρωτόκολλο δρομολόγησης βελτιστοποιημένης σύνδεσης σύνδεσης για δίκτυα ad hoc για κινητά.....	82

Συγκριτική Ανάλυση των Πρωτοκόλλων Ενεργειακά Αποδοτικής Δρομολόγησης σε Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

4.10 DSDV - Πρωτόκολλο Δρομολόγησης με πρόβλεψη μη δημιουργίας φαινομένων βρόγχου	87
4.11 WRP - Ασύρματο Πρωτόκολλο Δρομολόγησης	90
4.12 TBRPF - Πρωτόκολλο βασιζόμενο στην Τοπολογία Διάδοσης Αντίστροφου Μονοπατιού	91
4.13 Αντιδραστικά (Re-active) ή On-Demand Πρωτόκολλα Δρομολόγησης	92
4.14 Πρωτόκολλο Δρομολόγησης AODV	93
4.15 TORA - Πρωτόκολλο Προσωρινής Διάταξης (Temporary Ordered Routing Algorithm)	94
4.16 DSR - Dynamic Source Routing πρωτόκολλο δρομολόγησης	97
4.17 ABR - Associativity Based Routing	101
4.18 Gossiping - Πρωτόκολλο κουτσομπολιό	104
4.19 Flooding - Πρωτόκολλο Πλημμύρας	105
4.20 RR - Το πρωτόκολλο Φήμης	106
4.21 ETORA - Το πρωτόκολλο Ενεργειακής Επίγνωσης Προσωρινής Διάταξης	106
4.22 Σύγκριση μεταξύ Προληπτικών (Pro-active) και Αντιδραστικών πρωτοκόλλων (Re-active)	107
4.23 Υβριδικά πρωτόκολλα δρομολόγησης	108
4.24 ZRP - Το πρωτόκολλο Ζώνης	108
4.25 Πρωτόκολλο LAR	109
4.26 Σύγκριση των επίπεδων πρωτοκόλλων δρομολόγησης	112
4.27 Ιεραρχικά Πρωτόκολλα Δρομολόγησης	112
4.28 LEACH - Το πρωτόκολλο Χαμηλής Ενέργειας Προσαρμοσμένων Συστάδων	113
4.29 LEACH-C - Το πρωτόκολλο Χαμηλής Ενέργειας Κεντρικοποιημένων Συστάδων	113
4.30 PEGASIS - Το πρωτόκολλο Ενεργειακής Απόδοσης Συλλογής	114
4.31 TEEN - Το πρωτόκολλο Ευαίσθητου Ορίου Δικτύου Αισθητήρων	114
4.32 APTEEN - Το πρωτόκολλο Προσαρμοσμένου Ευαίσθητου Ορίου δικτύου Αισθητήρων	115
4.33 TTDD - Το πρωτόκολλο Διπλής Διάδοσης Δεδομένων	115
4.34 BCDCP - Το πρωτόκολλο Ελεγχόμενης Δυναμικής Συσταδοποίησης Σταθμού Βάσης	116
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	117
Πρωτόκολλα Βασισμένα στο Μοντέλο Επικοινωνίας	117
Εισαγωγή	117
5.1 Πρωτόκολλα Βασισμένα στα Ερωτήματα (Query-Based)	117

Συγκριτική Ανάλυση των Πρωτοκόλλων Ενεργειακά Αποδοτικής Δρομολόγησης σε Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

5.2 DD - Το πρωτόκολλο Κατευθυνόμενης Διάχυσης	117
5.3 Το πρωτόκολλο COUGAR.....	118
5.4 ACQUIRE - Το πρωτόκολλο Ενεργούς Προώθησης Ερωτημάτων.....	118
5.5 Coherent and Non- Coherent - Συνεκτικά και μη-Συνεκτικά πρωτόκολλα / SWE - Το πρωτόκολλο του ενός Νικητή / MWE - Το πρωτόκολλο Πολλών Νικητών	119
5.6 Πρωτόκολλα Βασισμένα στην Διαπραγμάτευση (Negotiation-Based).....	121
5.7 SPIN-PP - Το πρωτόκολλο Επικοινωνίας από άκρο σε άκρο	123
5.8 SPIN-EC - Το πρωτόκολλο SPIN για Εξοικονόμηση Ενέργειας.....	123
5.9 SPIN-BC - Το πρωτόκολλο SPIN για Δίκτυα Εκπομπής	124
5.10 SPIN-RL - Το πρωτόκολλο SPIN για Αξιοπιστία.....	125
Κεφάλαιο 6.....	126
Πρωτόκολλα Βασισμένα στην Τοπολογία του Δικτύου (Topology Based)	126
6.1 Πρωτόκολλα Βασισμένα στην Θέση (Location-Based).....	126
6.2 DREAM - Το πρωτόκολλο Απόστασης Δρομολόγησης για Κινητούς Κόμβους	126
6.3 GEAR - Το πρωτόκολλο Επίγνωσης της Θέσης και της Ενέργειας	128
6.4 GEM - Το πρωτόκολλο Γραφικής Ενσωμάτωσης Δρομολόγησης.....	129
6.5 Το πρωτόκολλο Ενεργειακής Απόδοσης Τοποθεσίας (SELAR)	130
6.6 Το πρωτόκολλο Άπληστου Κατανεμημένου Κέντρου (GDSTR)	130
6.7 MERR - Το πρωτόκολλο Ελάχιστης Ενέργειας Τοποθεσίας.....	132
6.8 OGF - Το πρωτόκολλο Γεωγραφικής Αντιδραστικής Προώθησης.....	132
6.9 PAGER-M - Το πρωτόκολλο Μερικής Τμηματοποίησης για Αποφυγή Γεωγραφικής Δρομολόγησης.....	133
6.10 HGR - Το πρωτόκολλο Υβριδικής Γεωγραφικής Δρομολόγησης	133
6.11 Σύγκριση των πρωτοκόλλων βασισμένα στην θέση	133
6.12 Πρωτόκολλα Βασισμένα σε Κινητούς Πράκτορες (Mobile Agent-based Protocols).....	134
6.13 MIP - Το πρωτόκολλο Πολλαπλών Πρακτόρων που βασίζεται στο Σχεδιασμό Διαδρομής	135
Κεφάλαιο 7.....	135
Αξιόπιστα Πρωτόκολλα Δρομολόγησης (Reliable Routing).....	135
7.1 Πρωτόκολλα Βασισμένα σε Πολλαπλές Διαδρομές (Multipath Based).....	136
7.2 ROAM - Πρωτόκολλο Δρομολόγησης Αντιδραστικών Άκυκλων Πολλαπλών Διαδρομών..	136
7.3 LMR - Το Πρωτόκολλο Ετικέτας Πολλαπλής Δρομολόγησης	136

Συγκριτική Ανάλυση των Πρωτοκόλλων Ενεργειακά Αποδοτικής Δρομολόγησης σε Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

7.4 GRAB - Το πρωτόκολλο Μετάδοσης Κλήσης	137
7.5 HMRP - Το πρωτόκολλο Ιεραρχικής Πολλαπλής Διαδρομής.....	137
7.6 CBMPR - Το Πρωτόκολλο Βασισμένο σε Πολλαπλή Δρομολόγηση	138
7.7 DGR - Το πρωτόκολλο Κατευθυνόμενης Γεωγραφικής Δρομολόγησης.....	139
7.8 DCF - Το πρωτόκολλο Κατευθυνόμενης Ελεγχόμενης Σύντηξης.....	139
7.9 RPL - Το Πρωτόκολλο Δρομολόγησης για Δίκτυα με Χαμηλή Ισχύ και Απώλειες.....	140
7.10 QoSBased - Πρωτόκολλα Βασισμένα στην Ποιότητα Υπηρεσίας.....	142
7.11 Το πρωτόκολλο SPEED	143
7.12 MMSPEED - Το πρωτόκολλο Πολλαπλής Διαδρομής Multi-SPEED	143
7.13 MGR - Το Πρωτόκολλο Κινητών Πολυμέσων Γεωγραφικής Δρομολόγησης.....	144
7.14 Σύγκριση Πρωτοκόλλων Βασισμένα σε Πολλαπλές Διαδρομές με Πρωτόκολλα Βασισμένα στην Ποιότητα Υπηρεσίας	144
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8	146
Συμπεράσματα Διατριβής	146

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1 Πολυαλματική μετάδοση.....	30
Εικόνα 1.2 Μοντέλο LWIM III	31
Εικόνα 1.3 Μοντέλο AWAIRS I.....	32
Εικόνα 1.4 Μοντέλο MOTE 2000	32
Εικόνα 1.5 Μοντέλο WINS NG 2.0	33
Εικόνα 1.6 Εξέλιξη στις ενεργειακές απαιτήσεις των ασύρματων αισθητήρων.....	33
Εικόνα 1.7 Σύγκριση ενεργειακών πηγών	34
Εικόνα 1.8 Λύση επεξεργασίας δεδομένων στη πηγή / μετάδοση προς ένα κεντρικό σημείο ..	35
Εικόνα 1.9 Κόμβος WSN	36
Εικόνα 1.10 Πολυεπιπεδη Αρχιτεκτονική.....	37
Εικόνα 1.11 Χαρακτηριστικά	38
Εικόνα 1.12 Πλατφόρμες Υλικού-Λογισμικού για κόμβους Αισθητήρων	39
Εικόνα 1.13 TinyOS	42
Εικόνα 1.14 Εξέλιξη στις ενεργειακές απαιτήσεις των ασύρματων αισθητήρων.....	43
Εικόνα 1.15 Κατανάλωση ενέργειας	45
Εικόνα 4.1	85
Εικόνα 4.2	86
Εικόνα 4.3 Πίνακας Δρομολόγησης.....	89
Εικόνα 4.5 Route Creation of TORA.....	97
Εικόνα 4.6 Dynamic Source Routing.....	101
Εικόνα 4.7 Associaty-Based Routing.....	104
Εικόνα 4.8 γραφική απεικόνιση ZRP	109
Εικόνα 4.9 γραφική απεικόνιση των περιοχών LAR.....	110
Εικόνα 5.1 Κόμβοι Negotiation-Based Protocol	122
Εικόνα 5.2 SPINPP.....	123
Εικόνα 5.3 SPIN-EC.....	124

Συγκριτική Ανάλυση των Πρωτοκόλλων Ενεργειακά Αποδοτικής Δρομολόγησης σε Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύσουμε το αντικείμενο της πτυχιακής εργασίας και θα γίνει μια ιστορική αναδρομή όσον αφορά την ανάπτυξη και χρήση των πρωτοκόλλων ενεργειακά αποδοτικής δρομολόγησης σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων .

1.1 Περιγραφή ενός ασύρματου δικτύου

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (ΑΔΑ / Wireless Sensor Network - WSN) αποτελείται από διασκορπισμένους αυτόνομους αισθητήρες για την παρακολούθηση φυσικών ή περιβαλλοντολογικών συνθηκών, όπως η θερμοκρασία, ο ήχος, η ατμοσφαιρική πίεση κτλ. και μέσω συνεργασίας να μεταφέρει τα δεδομένα μέσω του δικτύου σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Τα πιο μοντέρνα δίκτυα είναι ικανά και να δίνουν αλλά και να δέχονται πληροφορίες πράγμα που τους επιτρέπει να ελέγχουν την δραστηριότητα των αισθητήρων. Το κίνητρο για την ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων με αισθητήρες ήταν οι στρατιωτικές εφαρμογές όπως η παρακολούθηση των πεδίων μάχης. Σήμερα τέτοια δίκτυα χρησιμοποιούνται σε πολλές καταναλωτικές και βιομηχανικές εφαρμογές, η παρακολούθηση και ο έλεγχος της βιομηχανικής παραγωγής, την παρακολούθηση των μηχανημάτων υγείας και πολλά άλλα.

Το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από κόμβους - από μερικές σε αρκετές εκατοντάδες η ακόμα και χιλιάδες, όπου κάθε κόμβος συνδέεται σε έναν (η κάποιες φορές σε αρκετούς) αισθητήρες. Κάθε τέτοιος κόμβος του δικτύου αισθητήρων έχει χαρακτηριστικά μερικά κομμάτια: ένα ραδιοπομποδέκτη με μια εσωτερική κεραία ή μια σύνδεση με μια εξωτερική κεραία, ένα μικροελεγκτή, ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα για τη διασύνδεση με τους αισθητήρες και μια πηγή ενέργειας, συνήθως μια μπαταρία η μια ενσωματωμένη μορφή συγκομιδής ενέργειας. Ένας αισθητήριος κόμβος μπορεί να ποικίλει σε μέγεθος από εκείνο ενός κουτιού παπουτσιών μέχρι το μέγεθος ενός κόκκου σκόνης, αν και λειτουργικοί «κόκκοι» πραγματικά μικροσκοπικών διαστάσεων δεν έχουν ακόμα

δημιουργηθεί. Το κόστος των αισθητήριων κόμβων ποικίλει, ξεκινώντας από μερικά και φτάνοντας σε εκατοντάδες δολάρια, αναλόγως την πολυπλοκότητα των μεμονωμένων αισθητήριων κόμβων. Οι περιορισμοί σε μέγεθος και κόστος έχουν ως αποτέλεσμα αντίστοιχους περιορισμούς σε πόρους όπως ενέργεια, μνήμη, υπολογιστική ταχύτητα και στο εύρος ζώνης των επικοινωνιών. Η τοπολογία των αισθητήρων μπορεί να διαφέρει από ένα δίκτυο τοπολογίας αστέρος σε ένα αναπτυγμένο ασύρματο δίκτυο πλέγματος multi-hop. Η πολλαπλασιαστική τεχνική μεταξύ των λυκίσκων του δικτύου μπορεί να είναι η δρομολόγηση ή ο καταγιγισμός διακίνησης.

1.2 Λόγοι ανάπτυξης της χρήσης ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων

Η χρήση των δικτυωμένων αισθητήρων χρονολογείται από το 1970. Αρχικές μορφές της είναι η σύνδεση μέσω καλωδίου και οι Κεντρικοποιημένες λύσεις. Σήμερα, οι τεχνολογικές εξελίξεις στους χώρους του VLSI, των MEMS και των ασύρματων δικτύων επιτρέπουν την ανάπτυξη εφαρμογών διάχυτου υπολογισμού και πανταχόθεν διαθέσιμες επικοινωνίες.

Τα δίκτυα αισθητήρων αντιπροσωπεύουν μια σημαντική εξέλιξη έναντι των παραδοσιακών αισθητήρων, οι οποίοι εγκαθίστανται με τους ακόλουθους δύο τρόπους:

- Εγκατάσταση αισθητήρων μακριά από το πραγματικό φαινόμενο. Με αυτήν την προσέγγιση απαιτούνται μεγάλοι αισθητήρες που χρησιμοποιούν πολύπλοκες τεχνικές για να διακρίνουν τους στόχους από τον θόρυβο του περιβάλλοντος.
- Εγκατάσταση αισθητήρων που επιτελούν μόνο αισθητήρια εργασία. Η θέση και η επικοινωνιακή τοπολογία σχεδιάζονται προσεκτικά. Οι κόμβοι εκπέμπουν μια σειρά μετρήσεων του υπό παρακολούθηση φαινομένου στους κεντρικούς κόμβους όπου εκτελούνται οι υπολογισμοί και συγχωνεύονται τα δεδομένα.

1.3 Εφαρμογές ασύρματων δικτύων αισθητήρων

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε μια ποικιλία δραστηριοτήτων ή υπηρεσιών της καθημερινής ζωής. Για παράδειγμα, μια εφαρμογή των ασύρματων δικτύων αισθητήρων μπορεί να είναι η εποπτεία

συστημάτων. Παρακάτω ακολουθούν μερικές κατηγορίες στις οποίες έχουμε εφαρμογή ασύρματων δικτύων.

- Παρακολούθηση περιοχής

Η παρακολούθηση περιοχής είναι μια κοινή εφαρμογή των αισθητηριακών δικτύων. Στην παρακολούθηση περιοχής, το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων έχει αναπτυχθεί σε μια περιοχή όπου κάποιο φαινόμενο πρέπει να παρακολουθηθεί. Ένα παράδειγμα από τον στρατό είναι η χρήση των αισθητήρων ώστε να ανιχνευθεί η εχθρική εισβολή. Ένα πολιτικό παράδειγμα είναι η γεω-περίφραξη του φυσικού αερίου ή στους αγωγούς πετρελαίου.

- Περιβαλλοντική / γεωσκόπηση

Ο όρος Περιβαλλοντικά δίκτυα αισθητήρων έχει εξελιχθεί για να καλύψει πολλές εφαρμογές των ασύρματων δικτύων αισθητήρων για την έρευνα της γεωλογίας. Αυτό περιλαμβάνει την παρακολούθηση με αισθητήρες ηφαιστειών, ωκεανών, παγετώνων, δασών κτλ. Ορισμένοι από τους κύριους τομείς αναφέρονται παρακάτω.

- Παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα

Ο βαθμός ρύπανσης του αέρα πρέπει να μετράτε συχνά προκειμένου να προστατευθεί ο άνθρωπος και το περιβάλλον από κάθε είδους ζημιά που οφείλεται στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Σε επικίνδυνο περιβάλλον, η παρακολούθηση των επιβλαβών αερίων σε πραγματικό χρόνο είναι μια ανησυχητική διαδικασία γιατί ο καιρός μπορεί να αλλάξει με σοβαρές επιπτώσεις με άμεσο τρόπο. Ευτυχώς, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχουν ξεκινήσει να παράγουν συγκεκριμένες λύσεις για τους ανθρώπους.

- Εσωτερικός έλεγχος

Για την παρακολούθηση των επίπεδων του φυσικού αερίου σε ευάλωτες περιοχές απαιτείτε η χρήση εξειδικευμένου, σύγχρονου εξοπλισμού, ικανού να ικανοποιήσει τους βιομηχανικούς κανονισμούς. Οι ασύρματες εσωτερικές λύσεις παρακολούθησης διευκολύνουν την συνεχή ενημέρωση μεγάλων περιοχών καθώς και την εξασφάλιση της ακριβούς συγκέντρωσης αερίου.

- Εξωτερικός έλεγχος

Ο εξωτερικός έλεγχος της ποιότητας του αέρα χρειάζεται την χρήση ακριβών ασύρματων αισθητήρων, ανθεκτικά στην βροχή και στον άνεμο, καθώς και

μεθόδους εξοικονόμησης ενέργειας για να βεβαιωθεί η επάρκεια ενέργειας στο μηχάνημα που θα έχει πιθανόν δύσκολη πρόσβαση.

- Παρακολούθηση της ρύπανσης του αέρα

Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχουν αναπτυχθεί σε διάφορες πόλεις (Στοκχόλμη, Λονδίνο και Μπρισμπείν) για την παρακολούθηση της συγκέντρωσης των επικίνδυνων αερίων για τους πολίτες. Αυτά μπορούν να επωφεληθούν από τις ασύρματες ζεύξεις ad-hoc και όχι από τις ενσύρματες εγκαταστάσεις που επίσης τα κάνουν πιο ευκίνητα για δοκιμαστικές μετρήσεις σε διάφορες περιοχές. Υπάρχουν διάφορες αρχιτεκτονικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τέτοιες εφαρμογές, καθώς και διάφορα είδη ανάλυσης δεδομένων και εξόρυξης δεδομένων που μπορούν να διεξαχθούν.

- Ανίχνευση δασικών πυρκαγιών

Ένα δίκτυο αισθητήριων κόμβων μπορεί να εγκατασταθεί σε ένα δάσος για να ανιχνεύει πότε έχει εκδηλωθεί πυρκαγιά. Οι κόμβοι μπορούν να είναι εξοπλισμένοι με αισθητήρες για τη μέτρηση της θερμοκρασίας, την υγρασία και τα αέρια που παράγονται από φωτιά στα δέντρα ή τη βλάστηση. Η έγκαιρη ανίχνευση είναι ζωτικής σημασίας για την επιτυχή δράση των πυροσβεστών, χάρη στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, η πυροσβεστική θα είναι σε θέση να γνωρίζει πότε μια πυρκαγιά ξεκίνησε και πώς εξαπλώνεται.

- Ανίχνευση κατολισθήσεων

Ένα σύστημα ανίχνευσης κατολίσθησης κάνει χρήση ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων για να ανιχνεύσει τις μικρές κινήσεις του εδάφους και αλλαγές στις διάφορες παραμέτρους που μπορεί να συμβούν πριν ή κατά τη διάρκεια μιας κατολίσθησης. Μέσα από τα δεδομένα που συλλέγονται μπορεί να είναι δυνατόν να γνωρίζουμε την εμφάνιση των κατολισθήσεων πολύ πριν αυτό συμβεί στην πραγματικότητα.

- Παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων

Η παρακολούθηση της ποιότητας του νερού περιλαμβάνει την ανάλυση των ιδιοτήτων του νερού σε φράγματα, ποτάμια, λίμνες και ωκεανούς, καθώς και τα υπόγεια αποθέματα νερού. Η χρήση πολλών ασύρματων αισθητήρων που διανέμονται επιτρέπει τη δημιουργία μιας πιο ακριβούς εικόνας της κατάστασης των υδάτων, και επιτρέπει τη μόνιμη εγκατάσταση σταθμών παρακολούθησης σε

περιοχές με δύσκολη πρόσβαση, χωρίς την ανάγκη του εγχειριδίου ανάκτησης δεδομένων.

- Πρόληψη φυσικών καταστροφών

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να ενεργήσουν αποτελεσματικά για να αποτραπούν οι συνέπειες των φυσικών καταστροφών, όπως οι πλημμύρες. Ασύρματοι κόμβοι έχουν αναπτυχθεί με επιτυχία σε ποτάμια όπου οι μεταβολές της στάθμης του νερού θα πρέπει να παρακολουθείτε σε πραγματικό χρόνο.

- Βιομηχανική παρακολούθηση

Παρακολούθηση μηχανημάτων υγείας Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχουν αναπτυχθεί για την βασική συντήρηση των μηχανημάτων (Condition-based maintenance - CBM), δεδομένου ότι προσφέρουν σημαντική εξοικονόμηση κόστους και επιτρέπουν νέες λειτουργίες. Σε ενσύρματα συστήματα, η εγκατάσταση των αισθητήρων συχνά περιορίζεται από το κόστος της καλωδίωσης. Προηγουμένως απρόσιτες περιοχές, περιστρεφόμενα μηχανήματα, επικίνδυνες ή ζώνες περιορισμένης πρόσβασης και τα κινητά περιουσιακά στοιχεία μπορούν πλέον να επιτευχθούν με ασύρματους αισθητήρες.

- Καταγραφή δεδομένων

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων χρησιμοποιούνται επίσης για τη συλλογή δεδομένων για την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών πληροφοριών, αυτό μπορεί να είναι τόσο απλό όσο η παρακολούθηση της θερμοκρασίας σε ένα ψυγείο η περίπλοκο όσο η παρακολούθηση του επιπέδου του νερού σε δεξαμενές υπερχειλίσης σε πυρηνικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Οι στατιστικές πληροφορίες μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για να δείξουν πώς τα συστήματα λειτουργούσαν. Το πλεονέκτημα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων έναντι των συμβατικών καταγραφών είναι η "ζωντανή" τροφή δεδομένων που έχουν σαν δυνατότητα.

- Βιομηχανική λογική και έλεγχος των αιτήσεων

Σε πρόσφατη έρευνα ένας τεράστιος αριθμός πρωτοκόλλων επικοινωνίας ασύρματων δικτύων αισθητήρων έχουν αναπτυχθεί. Ενώ η προηγούμενη έρευνα εστιάζεται κυρίως στην ενημέρωση για την ενέργεια, πιο πρόσφατες έρευνες έχουν αρχίσει να εξετάζουν ένα ευρύτερο φάσμα θεμάτων, όπως η αξιοπιστία των ασύρματων συνδέσεων, τις δυνατότητες σε πραγματικό χρόνο, ή την ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας. Τα νέα αυτά στοιχεία θεωρούνται καταλυτικά για

μελλοντικές εφαρμογές σε βιομηχανικές και εφαρμογές ελέγχου σχετικών ασύρματων εννοιών και μερική αντικατάσταση ή την ενίσχυση συμβατικών ενσύρματων δικτύων με τεχνικές WSN.

- Παρακολούθηση νερού/αποβλήτων υδάτων

Η παρακολούθηση της ποιότητας και του επιπέδου του νερού περιλαμβάνει πολλές δραστηριότητες, όπως τον έλεγχο της ποιότητας των υπόγειων ή επιφανειακών υδάτων και την εξασφάλιση υποδομών ύδρευσης της χώρας, προς όφελος ανθρώπων και ζώων. Η περιοχή της παρακολούθησης της ποιότητας του νερού χρησιμοποιεί ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και πολλοί κατασκευαστές έχουν ξεκινήσει νέες και προηγμένες εφαρμογές για το σκοπό αυτό.

Παρατήρηση της ποιότητας των υδάτων : Η όλη διαδικασία περιλαμβάνει την εξέταση των ιδιοτήτων του νερού σε φράγματα, ποτάμια, ωκεανούς, λίμνες και στους υπόγειους υδάτινους πόρους. Ασύρματοι αισθητήρες που διαχέονται στο νερό επιτρέπουν στους χρήστες να κάνουν έναν ακριβή χάρτη της κατάστασης των υδάτων καθώς και τη μόνιμη κατανομή των σταθμών παρατήρησης σε περιοχές με δύσκολη πρόσβαση χωρίς χειρωνακτική ανάκτηση των δεδομένων.

Διαχείριση του δικτύου διανομής των υδάτων : Οι κατασκευαστές των αισθητήρων του δικτύου διανομής νερού επικεντρώνονται στην παρατήρηση των δομών διαχείρισης των υδάτων, όπως βαλβίδες και σωληνώσεις, αλλά και να τους επιτρέπεται η απομακρυσμένη πρόσβαση σε μετρητές νερού.

Πρόληψη των φυσικών καταστροφών : Οι συνέπειες των φυσικών κινδύνων, όπως οι πλημμύρες μπορεί να προληφθούν αποτελεσματικά με τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Οι ασύρματοι κόμβοι κατανέμονται σε ποτάμια, έτσι ώστε οι αλλαγές της στάθμης του νερού μπορεί να ελέγχεται αποτελεσματικά.

- Γεωργία

Η χρήση ασύρματων δικτύων αισθητήρων στο πλαίσιο του γεωργικού κλάδου είναι όλο και περισσότερο κοινή. Η χρήση ενός ασύρματου δικτύου απελευθερώνει τον αγρότη από τη διατήρηση της καλωδίωσης σε ένα δύσκολο περιβάλλον. Συστήματα νερού, τροφοδοσίας, βαρύτητας, μπορούν να παρακολουθούνται χρησιμοποιώντας πομπούς πίεσης για να παρακολουθούν τα επίπεδα δεξαμενή νερού, αντλίες μπορούν να ελέγχονται με τη χρήση ασύρματων I / O συσκευών και η χρήση του νερού μπορεί να μετρηθεί και να μεταδίδεται ασύρματα σε ένα κεντρικό σημείο ελέγχου για τιμολόγηση. Ο Αυτοματισμός

άρδευσης επιτρέπει την πιο αποτελεσματική χρήση του νερού και μειώνει τα απόβλητα.

- Ακριβής γεωργία

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων επιτρέπουν στους χρήστες να κάνουν ακριβή παρακολούθηση της καλλιέργειας κατά το χρόνο της ανάπτυξής της. Ως εκ τούτου, οι αγρότες μπορούν να γνωρίζουν άμεσα την κατάσταση του αντικειμένου σε όλα τα στάδια του, κάτι το οποίο θα διευκολύνει τη διαδικασία λήψης απόφασης σχετικά με το χρόνο της συγκομιδής.

- Διαχείριση της άρδευσης

Όταν παραδίδονται τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, οι αγρότες είναι σε θέση να επιτύχουν έξυπνη άρδευση. Τα στοιχεία που αφορούν τα πεδία, όπως η θερμοκρασία και το επίπεδο υγρασίας του εδάφους παραδίδονται στους αγρότες μέσω των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Όταν κάθε φυτό ενώνεται με ένα προσωπικό σύστημα άρδευσης, οι αγρότες μπορούν να παρέχουν το ακριβές ποσό του νερού που χρειάζεται κάθε φυτό και ως εκ τούτου, να επιτύχουν τη μείωση του κόστους και την βελτίωση της ποιότητας του τελικού προϊόντος. Τα δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διαχείριση των διαφόρων ενεργοποιητών στα συστήματα χρησιμοποιώντας όχι ενσύρματη υποδομή.

- Θερμοκήπια

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, επίσης, να χρησιμοποιηθούν για να ελέγχουν τα επίπεδα θερμοκρασίας και υγρασίας στο εσωτερικό εμπορικών θερμοκηπίων. Όταν η θερμοκρασία και η υγρασία πέφτει κάτω από συγκεκριμένα επίπεδα, ο διαχειριστής του θερμοκηπίου πρέπει να ειδοποιείτε μέσω e-mail ή στο κινητό τηλέφωνο με μήνυμα κειμένου, ή τα συστήματα υποδοχής μπορεί να πυροδοτήσουν τα συστήματα υδρονέφωσης, να ανοίξουν τους αεραγωγούς, ενεργοποίηση των περσίδων, ή να ελέγξουν μια ευρεία ποικιλία αντιδράσεων του συστήματος. Πρόσφατες έρευνες σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων στη βιομηχανία γεωργίας δίνουν έμφαση στη χρήση της σε θερμοκήπια, ιδιαίτερα για τις μεγάλες εκμεταλλεύσεις με συγκεκριμένες καλλιέργειες. Τέτοια μικροκλίματα έχουν ανάγκη την διατήρηση ακριβούς κατάστασης καιρικών συνθήκων ανά πάσα στιγμή. Επιπλέον, με τη χρήση πολλαπλών κατανεμημένων αισθητήρων θα ελέγχετε καλύτερα η παραπάνω διαδικασία, σε ανοικτή επιφάνεια, καθώς και στο έδαφος.

- Παθητικός εντοπισμός και παρακολούθηση

Η εφαρμογή των WSN στο παθητικό εντοπισμό και την παρακολούθηση των μη συνεργάσιμων στόχων (δηλαδή, άτομα που δεν φορούν οποιοδήποτε ταμπέλα) έχει προταθεί από τη διάχυτη αξιοποίηση χαμηλού κόστους φύσης της εν λόγω τεχνολογίας και τις ιδιότητες των ασύρματων ζεύξεων που είναι εγκατεστημένα σε ένα δίκτυο υποδομής WSN.

- Παρακολούθηση έξυπνου σπιτιού

Παρακολούθηση των δραστηριοτήτων που εκτελούνται σε ένα έξυπνο σπίτι επιτυγχάνονται με τη χρήση ασύρματων αισθητήρων, ενσωματωμένων σε αντικείμενα καθημερινής χρήσης, σχηματίζοντας ένα WSN. Όταν η κατάσταση αλλάζει σε αντικείμενα που βασίζονται στην ανθρώπινη χειραγώγηση συλλαμβάνεται από το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων που επιτρέπουν τη δραστηριότητα σε Υπηρεσίες υποστήριξης.

- Σεισμογραφικές εφαρμογές

Τα υφιστάμενα σεισμικά δίκτυα δεν είναι επαρκώς χωρικά πυκνά ώστε να επιτρέψουν την παρακολούθηση παραμορφώσεων εδάφους και τη διαμόρφωση χαρτών εξέλιξης του σεισμικού φαινομένου.

Στα στάδια της έρευνας έχουμε την

- Κατανόηση της απόκρισης των κτιρίων και του υποκείμενου εδάφους σε περίπτωση σεισμού και την
- Ανάπτυξη μοντέλων για την πρόβλεψη της δομικής απόκρισης σε διάφορα σενάρια σεισμών.

Στις Εφαρμογές

- Προσδιορισμών των συμβάντων που προκαλούν σημαντική καταπόνηση.
- Τοπική επεξεργασία της πληροφορίας (εντός του κόμβου).
- Σύστημα παρακολούθησης με πυκνό δίκτυο

Ορισμένα στοιχεία για τις εφαρμογές σεισμικού ελέγχου είναι οι προκλήσεις:

Η επεξεργασία πραγματικού χρόνου για άμεση απόκριση και ο τεράστιος όγκος δεδομένων που απαιτεί έξυπνους, αποδοτικούς και καινοτόμους μηχανισμούς επεξεργασίας δεδομένων. Η ποιότητα σήματος για την ασύρματη δικτύωση είναι συχνά πολύ χαμηλή, τα δεδομένα δεν επαρκούν για μεγάλους σεισμούς και η απόκριση της δομής του κτιρίου συμπεραίνεται από σεισμούς μικρού και μεσαίου μεγέθους και πειράματα ελεγχόμενων δονήσεων.

- Παρακολούθηση οικοσυστήματος

Κατανόηση της συμπεριφοράς άγριων ζώων και φυτών σε βάθος χρόνου.

Ανάπτυξη συστημάτων λήψης παρατηρήσεων από το πεδίο και προσδιορισμού της δυναμικής του οικοσυστήματος.

Τεχνικές: Συλλογή δεδομένων φυσικών και χημικών ιδιοτήτων σε διάφορες χωρο-χρονικές κλίμακες. Αυτόματη αναγνώριση οργανισμών. Λήψη μετρήσεων από το πεδίο για μεγάλο χρονικό διάστημα. Προβληματικά περιβάλλοντα, όπως οριακές συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας, κλπ.

Διαδικασίες Παρακολούθησης του Οικοσυστήματος : Λήψη εικόνων, οικοφυσιολογία και περιβαλλοντικοί αισθητήρες. Μελέτη της αντίδρασης της χλωρίδας σε κλιματικές αλλαγές και ασθένειες. Παρακολούθηση έμβιων όντων : Οπτικός προσδιορισμός, παρακολούθηση, μέτρηση πληθυσμού. Ακουστικοί αισθητήρες για προσδιορισμό ειδών, εντοπισμός θέσης, εκτίμηση πληθυσμού

Ανίχνευση σύνθετων βιολογικών οργανισμών του περιβάλλοντος: Μια τέτοια ανίχνευση απαιτεί εξεζητημένες προσεγγίσεις για τον συνδυασμό των πληροφοριών χρόνου και χώρου. Η εξέλιξη των τεχνολογιών στον τομέα της ασύρματης ανίχνευσης και της αυτόματης συλλογής δεδομένων έχουν δώσει μεγαλύτερη φασματική, χωρική και χρονική ανάλυση με γεωμετρικά μειούμενο το κόστος ανά μονάδα περιοχής. Μαζί με αυτές τις εξελίξεις, οι αισθητήριοι κόμβοι έχουν επίσης την δυνατότητα να συνδέονται με το διαδίκτυο, το οποίο επιτρέπει σε απομακρυσμένους χρήστες να ελέγχουν, να παρακολουθούν και να παρατηρούν την βιοσυνθετικότητα του περιβάλλοντος.

Αν και οι δορυφορικοί και αεροπορικοί αισθητήρες είναι χρήσιμοι στην παρακολούθηση μεγάλης κλίμακας βιοδιαφορών, π.χ. χωρική πολυπλοκότητα των επικρατούντων ειδών φυτών, δεν έχουν δυνατότητα για διαχωρισμό των μικρών βιοδιαφορών οι οποίες είναι και οι περισσότερες σε ένα οικοσύστημα. Σαν αποτέλεσμα, είναι αναγκαία η εγκατάσταση ενός δικτύου ασύρματων αισθητήρων στο έδαφος για την παρακολούθηση της βιοσυνθετικότητας. Ένα παράδειγμα απεικόνισης της βιοσυνθετικότητας του περιβάλλοντος έγινε στο καταφύγιο James στη Καλιφόρνια. Τρία πλέγματα παρακολούθησης από τα οποία το καθένα είχε 25-100 αισθητήριους κόμβους υλοποιήθηκαν για σταθερή πολυμεσική εποπτεία και συγκέντρωση πληροφοριών σε ημερολόγια περιβαλλοντολογικής φύσης

Οι απαιτήσεις Εφαρμογών Αισθητήρων για Περιβαλλοντική παρακολούθηση είναι οι παρακάτω :

- Διαφορετικά μεγέθη αισθητήρων (1-10 cm), χωρική δειγματοληψία (1 cm - 100 m), και χρονική δειγματοληψία (1 ms - days), ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες παρακολούθησης (π.χ., οργανισμοί).
- Ανάγκη για επεξεργασία εντός του δικτύου για τον περιορισμένο της παραγώμενης πληροφορίας
- Ανάγκη ασύρματης επικοινωνίας λόγω κλίματος, εδάφους και πυκνής βλάστησης
- Ανάγκη προσαρμοστικότητας και αυτό-οργάνωσης για την επίτευξη αξιόπιστης, μακροπρόθεσμης λειτουργίας σε δυναμικά περιβάλλοντα ακραίων συνθηκών με περιορισμένους πόρους.

Ειδικές απαιτήσεις των εφαρμογών περιβαλλοντικής παρακολούθησης. Το περιβάλλον και η ιδιαιτερότητα των παρακολουθούμενων στοιχείων (έμβια όντα, περιβαλλοντικοί συντελεστές) εισάγουν συγκεκριμένες απαιτήσεις για την οργάνωση και λειτουργία των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων.

- Ευφυείς Μεταφορές & παρακολούθηση περιβαλλοντικών κινδύνων

Σημαντικά πεδία εφαρμογής: ευφυείς μεταφορές και παρακολούθηση περιβαλλοντικών κινδύνων. Στο χώρο των μεταφορών, αισθητήρες προσαρτημένοι στα οχήματα αλλά και σε χώρους στάθμευσης ή σε στάσεις επιτρέπουν την πληρέστερη αποτύπωση της κυκλοφορίας, τον καλύτερο προγραμματισμό των ενεργειών του πολίτη, την αποφυγή ατυχημάτων, την αποδοτικότερη διαχείριση των πόρων όπως οι θέσεις στάθμευσης κ.α. Στο εξωτερικό παρατηρείται πληθώρα τέτοιων έργων.

1.4 Χαρακτηριστικά ενός WSN

Τα κύρια χαρακτηριστικά ενός WSN περιλαμβάνουν:

- Τους περιορισμούς κατανάλωσης ενέργειας για κόμβους που κάνουν χρήση μπαταριών ή τη συγκομιδή της ενέργειας
- Δυνατότητα να αντιμετωπιστούν αποτυχίες του κόμβου
- Η κινητικότητα των κόμβων
- Αποτυχίες επικοινωνίας
- Η ετερογένεια των κόμβων

- Κλιμάκωσης σε μεγάλη κλίμακα της ανάπτυξης
- Ικανότητα να αντέχει σε σκληρές περιβαλλοντικές συνθήκες
- Ευκολία στη χρήση

Κόμβοι αισθητήρων μπορούν να χαρακτηριστούν ως μικροί υπολογιστές, πολύ βασικό όσον αφορά τις διεπαφές τους και τα συστατικά τους. Συνήθως αποτελούνται από μια μονάδα επεξεργασίας με περιορισμένη υπολογιστική ισχύ και περιορισμένη μνήμη, αισθητήρες ή MEMS - Microelectromechanical systems (συμπεριλαμβανομένων ειδικών κυκλωμάτων κλιματισμού), μια συσκευή επικοινωνίας (συνήθως ράδιο πομποδέκτες ή εναλλακτική οπτική), και μια πηγή ενέργειας συνήθως με τη μορφή μιας μπαταρίας. Άλλα πιθανά εγκλείσματα είναι ενότητες συγκομιδής ενέργειας, δευτεροβάθμια ASICs (application-specific integrated circuit), και ενδεχομένως της δευτεροβάθμιας διεπαφής επικοινωνίας (π.χ. RS-232 ή USB). Οι βασικοί σταθμοί είναι ένα ή περισσότερα συστατικά του WSN με πολύ μεγαλύτερη υπολογιστική δύναμη, την ενέργεια και την επικοινωνία των πόρων. Ενεργούν ως πύλη μεταξύ των κόμβων αισθητήρων και του τελικού χρήστη, καθώς προωθούν συνήθως τα δεδομένα από το WSN σε ένα διακομιστή. Άλλες ειδικές συνιστώσες στη δρομολόγηση δικτύων είναι οι δρομολογητές, οι οποίοι έχουν σχεδιαστεί για τον υπολογισμό, και τη διανομή τους πίνακες δρομολόγησης.

1.5 Βασικά Προβλήματα και Προκλήσεις

Ακολουθούν τα βασικά σημεία των προβλημάτων και των προκλήσεων που μπορούν να δημιουργηθούν

- Σοβαροί περιορισμοί στην ενέργεια.
 - Πηγές με περιορισμούς (π.χ., μπαταρίες).
 - Αντιστάθμισμα μεταξύ επιδόσεων και χρόνου ζωής.
- Αυτοοργάνωση και αυτοδιόρθωση (self-healing).
 - Ανάγκες σε απομακρυσμένες εγκαταστάσεις.
- Κλιμάκωση.
 - Αυθαίρετα μεγάλος αριθμός κόμβων.
- Ετερογένεια.
 - Συσκευές με διάφορες δυνατότητες.

- Διαφορετικοί αισθητήρες.
- Προσαρμοστικότητα.
 - Δυνατότητα προσαρμογής σε διαφορετικές λειτουργικές συνθήκες και απαιτήσεις εφαρμογών.
- Ασφάλεια.

Ένα δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό κόμβων αισθητήρων, οι οποίοι αναπτύσσονται πυκνά. Δεν υπάρχει η ανάγκη, η θέση των κόμβων αισθητήρων να προσχεδιαστεί ή να προαποφασιστεί. Αυτό επιτρέπει την τυχαία διασπορά σε μη προσβάσιμα εδάφη ή στην αντιμετώπιση καταστροφών. Από την άλλη πλευρά, αυτό σημαίνει ότι τα πρωτόκολλα και οι αλγόριθμοι των δικτύων αισθητήρων πρέπει να διαθέτουν δυνατότητες αυτοοργάνωσης.

Ένα άλλο μοναδικό χαρακτηριστικό των δικτύων αισθητήρων είναι η λειτουργία συνεργασίας των αισθητήριων κόμβων οι οποίοι εξοπλίζονται με έναν on-board επεξεργαστή και αντί να στέλνουν ακατέργαστα δεδομένα στους κόμβους που είναι υπεύθυνοι για την συγχώνευση των δεδομένων. Οι αισθητήριοι κόμβοι χρησιμοποιούν τις δυνατότητες επεξεργασίας που διαθέτουν προκειμένου να εκτελέσουν τοπικά απλούς υπολογισμούς και να μεταδώσουν μόνο τα απολύτως αναγκαία δεδομένα. Επειδή ένας μεγάλος αριθμός κόμβων αισθητήρων αναπτύσσεται με πυκνή διάταξη, οι γειτονικοί κόμβοι μπορεί να βρίσκονται πολύ κοντά ο ένας στον άλλο. Έτσι η multihop επικοινωνία στα δίκτυα αισθητήρων απαιτεί λιγότερη ενέργεια από ότι η παραδοσιακή επικοινωνία μεταξύ γειτονικών κόμβων (single-hop communication). Η επικοινωνία μεταξύ πολλαπλών διαδοχικών κόμβων (multi-hop) μπορεί να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά κάποια από τα προβλήματα διάδοσης του σήματος σε μακρινές αποστάσεις.

Ένας από τους σημαντικότερους περιορισμούς στα δίκτυα ασύρματων αισθητήρων είναι η απαίτηση για χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Οι αισθητήριοι κόμβοι έχουν περιορισμένες πηγές ενέργειας. Έτσι ενώ τα παραδοσιακά δίκτυα στοχεύουν να παρέχουν υπηρεσίες υψηλής ποιότητας, τα δίκτυα ασύρματων αισθητήρων έχουν ως πρωταρχικό στόχο τη διατήρηση της ενέργειας. Επίσης, θα πρέπει να έχουν ένα μηχανισμό που θα δίνει στον χρήστη του δικτύου την επιλογή να παρατείνει την ζωή του δικτύου με αντάλλαγμα την μικρότερη διαμεταγωγή ή την μεγαλύτερη καθυστέρηση στην μετάδοση.

Άλλες προκλήσεις που πηγάζουν από τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Ισχυρότατη ετερογένεια λόγω του μεγέθους του δικτύου και του παρακολουθούμενου φαινομένου. Ανάγκη για αυτόματη προσαρμογή στις ιδιαίτερες απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής σε κάθε χρονική στιγμή. Τέλος, σε πολλές περιπτώσεις υπάρχει έντονο το θέμα της ασφάλειας και της προστασίας των δεδομένων (π.χ. εφαρμογές στη παρακολούθηση βιοσημάτων).

1.6 Βασικές Τεχνολογίες

Βασικές Τεχνολογίες

Ενσωμάτωση κατανεμημένων συσκευών για την εποπτεία και παρακολούθηση του φυσικού κόσμου

Διαδικτυωμένες συσκευές για το συντονισμό και την υλοποίηση ενεργειών



Αξιοποίηση χωρικά και χρονικά «πυκνών» παρατηρήσεων από το πεδίο (sensing) και εκτέλεση ενεργειών (actuation)

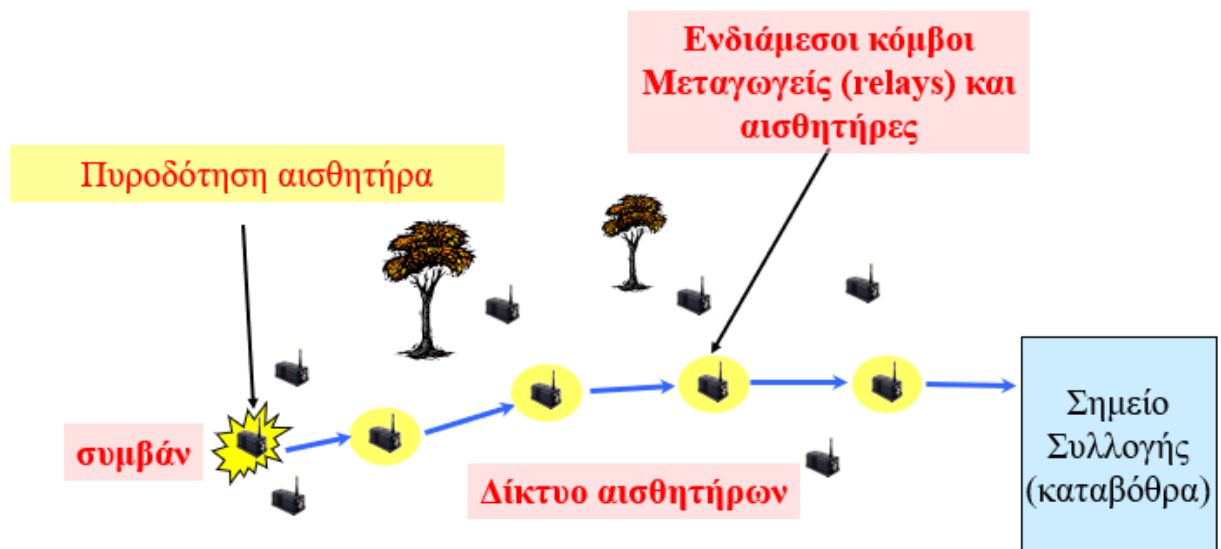
Ας εξετάσουμε τώρα τεχνικά ζητήματα σχετικά με τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Όπως αναφέρθηκε ήδη, η ανάπτυξη τους οφείλεται στις μεγάλες προόδους που διαπιστώνονται στους χώρους των ενσωματωμένων υπολογιστικών διατάξεων, των ασυρμάτων δικτύων επικοινωνιών καθώς και στο χώρο των αισθητήρων. Τα ενσωματωμένα συστήματα είναι μικρές διατάξεις ελέγχου που επιτρέπουν συγκεκριμένες ενέργειες σε σχέση με την εποπτεία/παρακολούθηση φυσικών φαινομένων. Το πλήθος των διατάξεων

καθώς και οι ιδιαιτερότητες της εκάστοτε εγκατάστασης επιβάλλουν την διαδικτύωση των επιμέρους συσκευών. Έτσι, και οι παρατηρήσεις μετρήσεις μπορούν να αξιοποιηθούν από εφαρμογές που βρίσκονται μέσα ή έξω από το πεδίο ενώ είναι εφικτή και η συνεργατική αντιμετώπιση διαφόρων προβλημάτων (π.χ., σύντηξη πληροφορίας, λήψη αποφάσεων). Συχνά τα συστήματα αισθητήρων μπορούν να ενσωματώνουν και κατάλληλες διατάξεις για την εκτέλεση ενεργειών (actuators).

1.7 Πολυαλματική μετάδοση

- Οι κόμβοι σε ένα ασύρματο δίκτυο στέλνουν τις μετρήσεις τους προς κάποιο σημείο συλλογής (καταβόθρα).
- Συχνά η απόσταση ενός κόμβου από την καταβόθρα είναι σημαντική.
- Η απευθείας μετάδοση δεν είναι εφικτή (χαρακτηριστικά ραδιοζεύξης) ή αποτελεσματική (ενεργειακό απόθεμα).
- Ο κόμβος βασίζεται σε άλλους κόμβους που βρίσκονται πλησιέστερα στη καταβόθρα για την προώθηση των μηνυμάτων του.
- Τα μηνύματα διανύουν πολλαπλά άλματα στην πορεία τους προς τη καταβόθρα.

Πολυαλματική μετάδοση



Εικόνα 1.1 Πολυαλματική μετάδοση

1.8 Εξέλιξη συστημάτων Διαδικτυωμένων Αισθητήρων

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, οι αισθητήρες κινούνται στη κατεύθυνση μικρότερου μεγέθους και περισσότερων δυνατοτήτων. Ορισμένες από τις υφιστάμενες πλατφόρμες έχουν φτάσει στο σημείο εύκολου προγραμματισμού γεγονός που τους καθιστά ιδανικές λύσεις για καθημερινά προβλήματα (και όχι προηγμένα επιστημονικά πειράματα). Θα παρουσιάσουμε την πορεία εξέλιξης των συσκευών. Θα δούμε ότι τόσο το μέγεθος όσο και οι δυνατότητες μεταβάλλονται από χρόνο σε χρόνο. Χαρακτηριστικότερο στοιχείο της μεταβολής είναι η ενσωμάτωση λειτουργικών συστημάτων (όπως το Linux) στις εξεταζόμενες διατάξεις και η δυνατότητα ανάπτυξης και φόρτωσης εφαρμογών. Οι παρουσιαζόμενοι κόμβοι προέρχονται από βασικά συστήματα που αναπτύχθηκαν στο πανεπιστήμιο UCLA (Los Angeles).

Μοντέλο: LWIM III

Κατασκευαστής: Πανεπιστήμιο UCLA

Έτος: 1996

Άλλα χαρακτηριστικά: Geophone

(συσκευή παρακολούθησης σεισμικών δονήσεων), ασύρματο RFM, τοπολογία αστέρα



Εικόνα 1.2 Μοντέλο LWIM III

Στην Εικόνα 1.3 που ακολουθεί βλέπουμε την διάταξη που χρησιμοποιείται για καταγραφή σεισμικών φαινομένων. Εφαρμογή πολυαλματικού δικτύου για τη μετάδοση πληροφορίας μεταξύ κόμβων και προς τους σταθμούς συλλογής (καταβόθρα). Τεχνολογία Direct Sequence / Spread Spectrum (εκπομπή σε ευρύ φάσμα).

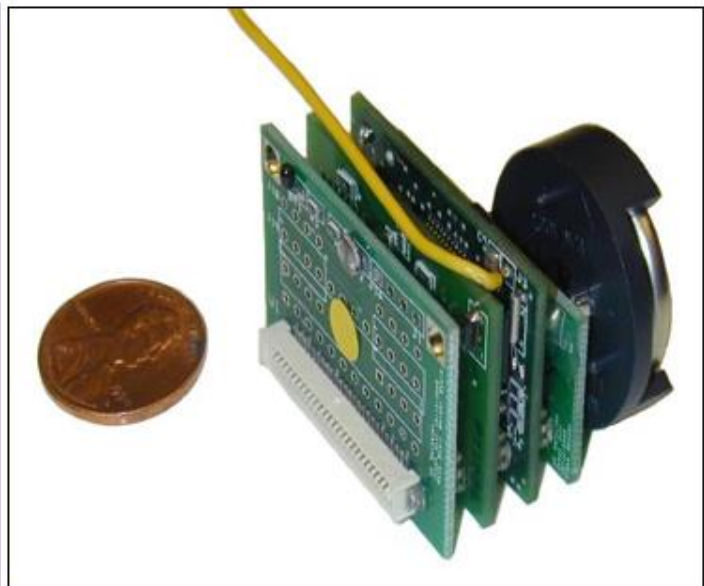
Μοντέλο: AWAIRS I
Κατασκευαστής: Συνεργασία
Πανεπιστημίου UCLA και Rockwell
Science Center
Ημερομηνία: 1998
Χαρακτηριστικά: Geophone, DS/SS
ραδιοτεχνολογία, strongARM,
Πολυαλματικό δίκτυο



Εικόνα 1.3 Μοντέλο AWAIRS I

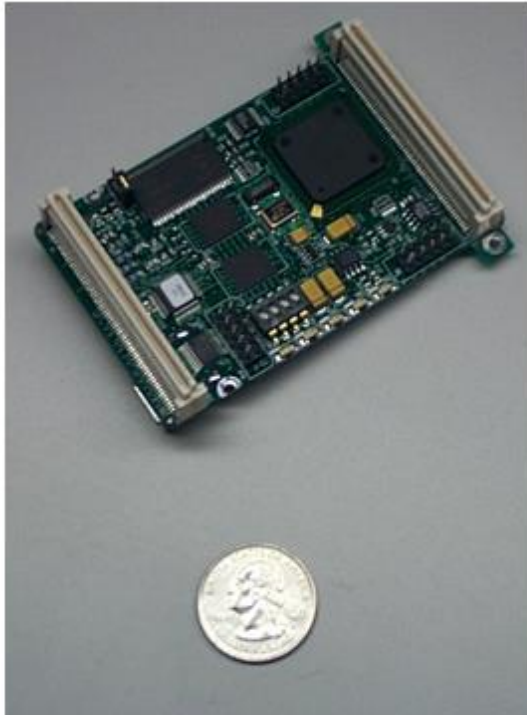
Στην Εικόνα 1.4 που ακολουθεί περιγράφετε η τεχνολογία Berkeley Motes που πλέον διατίθεται από την εμπορική εταιρία CrossBow.

Μοντέλο: Mote, 2000
Κατασκευαστής:
Πανεπιστήμιο Berkeley
Χαρακτηριστικά: 4K Ram
512K EEPROM,
Κώδικας 128K,
Ραδιοτεχνολογία:
CSMA
half-duplex RFM radio



Εικόνα 1.4 Μοντέλο MOTE 2000

Στην **Εικόνα 1.5** που ακολουθεί περιγράφετε η ενσωμάτωση GPS αισθητήρα στον κόμβο. Δυνατότητα εκτέλεσης λειτουργικού συστήματος Linux.

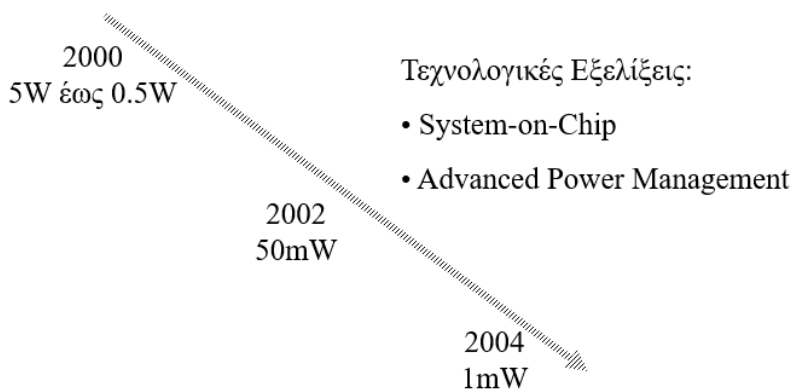


Μοντέλο: WINS NG 2.0
Sensoria
Έτος: 2001
Τεχνολογία πολλαπλών αισθητήρων,
Δύο διαφορετικές ραδιοτεχνολογίες,
Linux,
GPS

Εικόνα 1.5 Μοντέλο WINS NG 2.0

1.9 Εξέλιξη στις ενεργειακές απαιτήσεις των ασύρματων αισθητήρων

Οι κόμβοι αισθητήρων συμπεριλαμβάνουν συστήματα επεξεργασίας σήματος, επικοινωνιών και αισθητήρων σε μία ενιαία διάταξη. Σε αυτό συντέλεσαν οι εξελίξεις στη τεχνολογία των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, η βελτιστοποίηση συστημάτων, η εξειδίκευση συστημάτων. Λόγω αυτών, η κατανάλωση ισχύος από τον κόμβο μειώνεται σταθερά με την πάροδο του χρόνου.



Εικόνα 1.6 Εξέλιξη στις ενεργειακές απαιτήσεις των ασύρματων αισθητήρων

1.10 Σύγκριση ενεργειακών πηγών

Υπάρχουν πολλές πηγές για τη ενεργειακή τροφοδοσία των κόμβων. Ορισμένες πηγές κρίνονται οι πλέον κατάλληλες. Ενδιαφέρουσα προοπτική αποτελεί η χρήση ηλιακών κυψελών οι οποίες θα μπορούσαν να συντηρήσουν κόμβους αισθητήρων για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ιδιαίτερη έμφαση θα πρέπει να δοθεί όμως στον ενεργειακό χειρισμό του κόμβου γιατί οι συνεχείς μεταδόσεις μπορούν πολύ εύκολα να «εξοντώσουν» ενεργειακά τους κόμβους.

	Power (Energy) Density	
Batteries (Zinc-Air)	1050 -1560 mWh/cm³ (1.4 V)	
Batteries(Lithium ion)	300 mWh/cm³ (3 - 4 V)	
Solar (Outdoors)	15 mW/cm ² - direct sun	
	0.15mW/cm ² - cloudy day.	
Solar (Indoor)	.006 mW/cm ² - my desk	
	0.57 mW/cm ² - 12 in. under a 60W bulb	
Vibrations	0.001 - 0.1 mW/cm ³	
Acoustic Noise	3E-6 mW/cm ² at 75 Db sound level	
	9.6E-4 mW/cm ² at 100 Db sound level	
Passive Human Powered	1.8 mW (Shoe inserts >> 1 cm ²)	
Thermal Conversion	0.0018 mW - 10 deg. C gradient	
Nuclear Reaction	80 mW/cm ³	
	1E6 mWh/cm³	
Fuel Cells	300 - 500 mW/cm ³	
	~4000 mWh/cm³	

Με προσεκτική ενεργειακή διαχείριση, ένα σύστημα ασύρματων αισθητήρων μπορεί να λειτουργεί απρόσκοπτα για μεγάλο χρονικό διάστημα

Εικόνα 1.7 Σύγκριση ενεργειακών πηγών

Από την Εικόνα 1.8 που ακολουθεί μπορούμε εύκολα να καταλάβουμε ότι πλεονεκτεί η λύση επεξεργασίας δεδομένων στη πηγή (στον ασύρματο κόμβο) παρά η μετάδοση προς ένα κεντρικό σημείο (μέσω της καταβόθρας) και η εκεί επεξεργασία.

	1999 (Bluetooth)	2004
Μετάδοση	(150nJ/bit)	(5nJ/bit)
	1.5mW*	50μW
Υπολογισμός		~ 190 MOPS
		(5pJ/OP)

Υπόθεση: 10kbit/sec. Ραδιοακτίνα, 10 m.

Σημαντικό πρόβλημα: το μεγάλο κόστος μετάδοσης σε σχέση με τον υπολογισμό

Εικόνα 1.8 Λύση επεξεργασίας δεδομένων στη πηγή / μετάδοση προς ένα κεντρικό σημείο

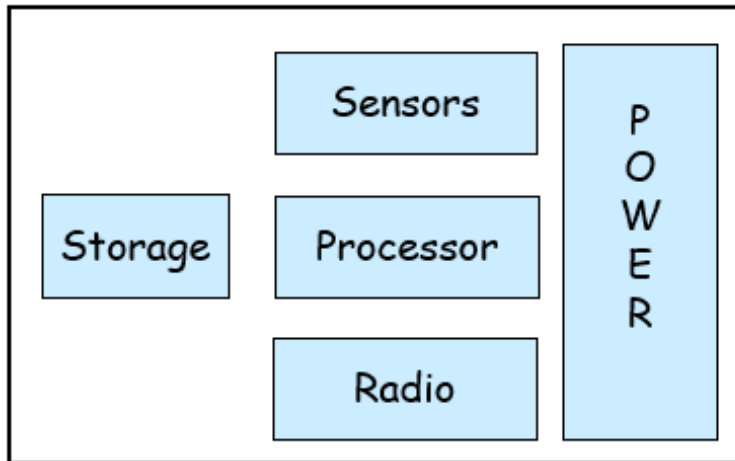
1.11 Αρχιτεκτονική Ασύρματων Δικτύων

Οι κόμβοι αισθητήρων αποτελούνται από διάφορα τμήματα όπως η μονάδα αισθητήρα, η μονάδα επεξεργασίας, η ασύρματη μονάδα επικοινωνίας και η τροφοδοσία. Αυτά τα στοιχεία λειτουργούν μαζί για να κάνουν τον κόμβο λειτουργικό σε ένα ασύρματο περιβάλλον. Για το λόγο αυτό, προκειμένου να αξιολογηθεί η κατανάλωση ενέργειας ενός κόμβου, είναι σημαντικό να μελετηθεί η αρχιτεκτονική και η ενεργειακή κατανάλωση των στοιχείων του.

Εάν λοιπόν είχαμε να απαντήσουμε στην ερώτηση «Τι ακριβώς είναι τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSNs);» τότε η απάντηση μας θα ήταν όλα τα παρακάτω.

- Δίκτυα με τυπικά μικρές, ασύρματες συσκευές.
 - Ενσωματωμένος υπολογιστής,
 - Δυνατότητες δικτύωσης, και,
 - αισθητήρες.

τροφοδοτούμενες από μπαταρίες.



Σχηματικό κόμβου WSN

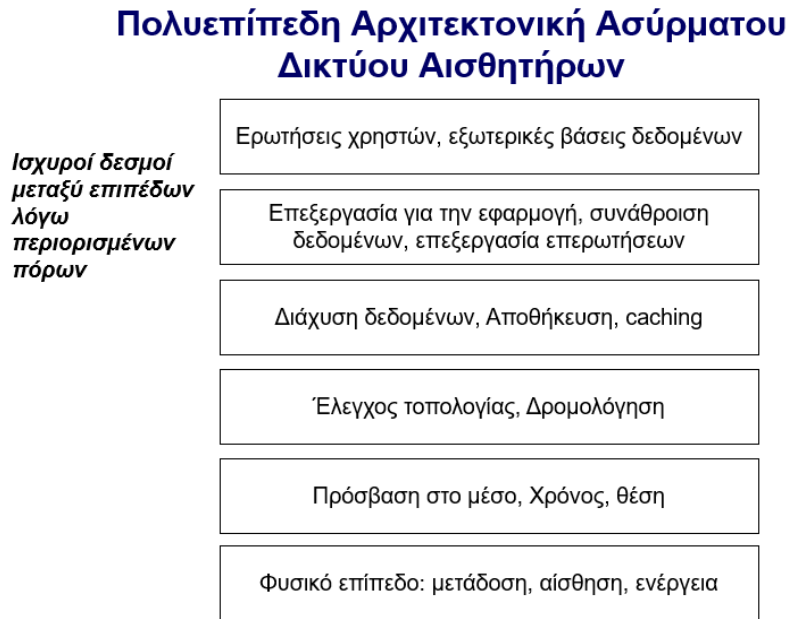
Εικόνα 1.9 Κόμβος WSN

Η πρόσφατη πρόοδος στην τεχνολογία των μικρό-ηλεκτρομηχανικών συστημάτων (ΜΗΜΣ), στην ασύρματη επικοινωνία και στα ψηφιακά ηλεκτρονικά έχει δώσει την δυνατότητα για την ανάπτυξη κόμβων αισθητήρων χαμηλού-κόστους, χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και πολλών λειτουργιών, οι οποίοι είναι μικροί σε μέγεθος και επικοινωνούν, χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση ή επιτήρηση, μεταξύ τους σε μικρές αποστάσεις. Αυτοί οι μικροσκοπικοί κόμβοι αισθητήρων, που αποτελούνται από στοιχεία αίσθησης, επεξεργασίας δεδομένων και επικοινωνιών, οδηγούν στην ιδέα δικτύων αισθητήρων που βασίζονται στην συνεργατική λειτουργία ενός μεγάλου συνόλου κόμβων.

Τα συστατικά ενός κόμβου είναι :

- Επεξεργαστής χαμηλής ισχύος.
 - Περιορισμένη δυνατότητα επεξεργασία.
- Μνήμη.
 - Περιορισμένη δυνατότητα αποθήκευσης.
- Ραδιοεπαφή.
 - Χαμηλής ισχύος.
 - Χαμηλού ρυθμού.
 - Περιορισμένης ακτίνας εκπομπής.
- Αισθητήρες.
 - Απλοί αισθητήρες: Θερμοκρασία, φωτεινότητα, κλπ.
 - Κάμερες, μικρόφωνα.
- Σύστημα τροφοδοσίας ισχύος.

Στη παρακάτω **Εικόνα 1.10** παρουσιάζουμε μία τυπική οργάνωση των κόμβων ενός δικτύου αισθητήρων. Η αρχιτεκτονική είναι πολυεπίπεδη (θυμίζει τα συμβατικά δίκτυα δεδομένων) αλλά με ισχυρούς δεσμούς μεταξύ των διαφόρων επιπέδων για την αποδοτικότερη αξιοποίηση των περιορισμένων πόρων (cross-layer optimization).



Εικόνα 1.10 Πολυεπίπεδη Αρχιτεκτονική

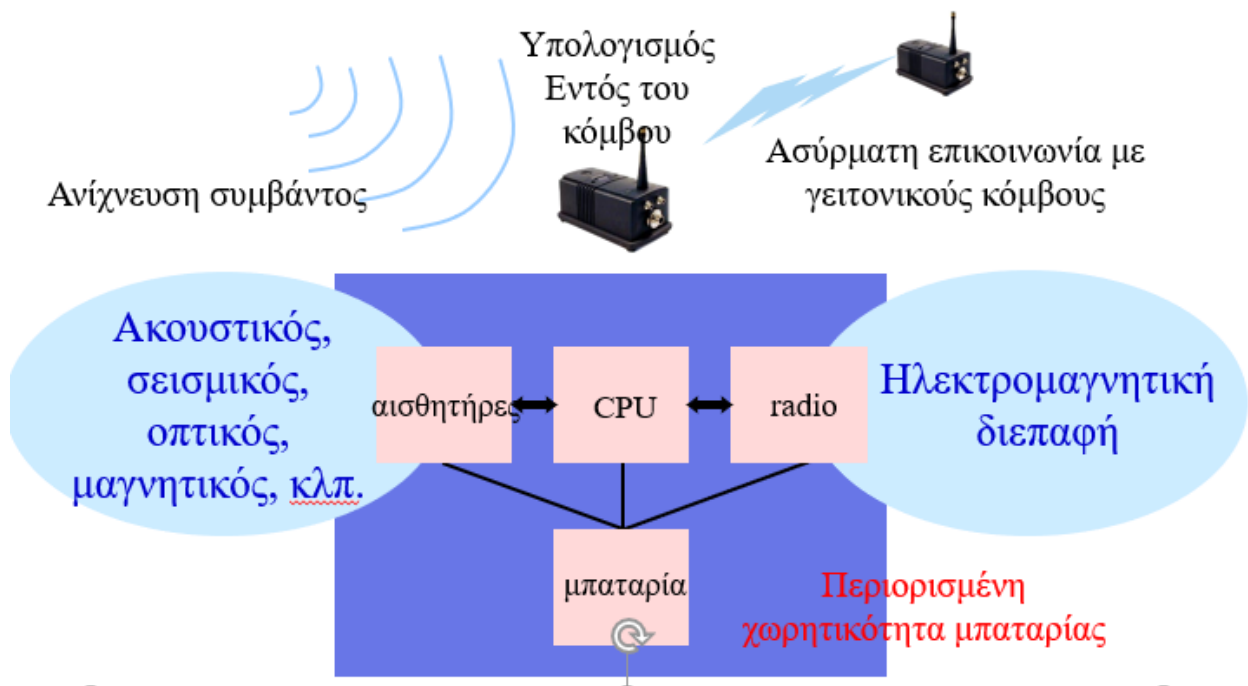
Σήμερα, τα συστήματα δικτύων αισθητήρων και οι συναφείς τεχνολογίες μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με τους παρουσιαζόμενους άξονες και να μελετηθούν βάσει των μετρικών που παρουσιάζονται στη διαφάνεια. Βασικοί παράγοντες που αξιολογούνται σε πολλές εφαρμογές είναι η αποδοτικότητα, η ευρωστία και η ικανότητα κλιμάκωσης.

Σήμερα, τα συστήματα δικτύων αισθητήρων και οι συναφείς τεχνολογίες μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με τους παρουσιαζόμενους άξονες και να μελετηθούν βάσει των μετρικών που παρουσιάζονται στη διαφάνεια. Βασικοί παράγοντες που αξιολογούνται σε πολλές εφαρμογές είναι η αποδοτικότητα, η ευρωστία και η ικανότητα κλιμάκωσης.

Ταξινόμια Συστημάτων	Μοντέλα Φόρτου/ Γεγονότων	Μετρικές
<ul style="list-style-type: none">• Χωρική και Χρονική Κλίμακα• Μεταβλητότητα• Αυτονομία• Περιορισμοί πόρων	<ul style="list-style-type: none">• Συχνότητα• Τοπικότητα• Κινητικότητα	<ul style="list-style-type: none">• Αποδοτικότητα• Διακριτική Ικανότητα / Πιστότητα• Καθυστέρηση• Ευρωστία• Ικανότητα κλιμάκωσης

Εικόνα 1.11 Χαρακτηριστικά

1.12 Πλατφόρμες Υλικού-Λογισμικού για κόμβους Αισθητήρων



Εικόνα 1.12 Πλατφόρμες Υλικού-Λογισμικού για κόμβους Αισθητήρων

Βασικό σημείο είναι η ενεργειακή αποδοτικότητα η οποία είναι κρίσιμη σχεδιαστική παράμετρος για το υλικό και το λογισμικό. Ο κόμβος δεν διαθέτει ανεξάντλητο απόθεμα ενέργειας. Η διαχείριση του θα πρέπει να είναι εξαιρετικά μεθοδευμένη και προσεκτική.

1.13 Πρότυπα και προδιαγραφές

Πολλά πρότυπα είτε έχουν ήδη επικυρωθεί είτε είναι υπό ανάπτυξη από οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένων WAVE2M για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Υπάρχει ένας αριθμός από οργανισμούς τυποποίησης στον τομέα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Το IEEE επικεντρώνεται στις φυσικά και στρώματα MAC. Το Internet Engineering Task Force λειτουργεί από 3 επίπεδα και άνω. Εκτός από αυτά, οι οργανισμοί όπως η Διεθνής Εταιρεία Αυτοματισμού προσφέρει κάθετες λύσεις, που καλύπτουν όλα τα στρώματα πρωτοκόλλου. Τέλος, υπάρχουν επίσης πολλοί μη τυποποιημένοι, ιδιόκτητοι μηχανισμοί και προδιαγραφές. Πρότυπα που χρησιμοποιούνται πολύ λιγότερο σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων σε σχέση με άλλα συστήματα υπολογιστών τα οποία κάνουν τα περισσότερα συστήματα ανίκανα για άμεση επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων

συστημάτων. Ωστόσο, περιλαμβάνουν κυρίως πρότυπα που χρησιμοποιούνται συνήθως σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων επικοινωνίας:

- WirelessHART
- IEEE 1451
- ZigBee / 802.15.4
- ZigBee IP
- 6LoWPAN

1.14 Hardware

Μια σημαντική πρόκληση σε ένα WSN είναι η παραγωγή χαμηλού κόστους και μικροσκοπικών αισθητήριων κόμβων. Υπάρχει ένας αυξανόμενος αριθμός των μικρών επιχειρήσεων που παράγουν WSN υλικό και η εμπορική κατάσταση μπορεί να συγκριθεί με αυτή των οικιακών υπολογιστών τη δεκαετία του 1970. Πολλοί από τους κόμβους είναι ακόμη στο στάδιο της έρευνας και της ανάπτυξης, ιδίως το λογισμικό τους. Επίσης εγγενείς στην υιοθέτηση αισθητήρα του δικτύου είναι η χρήση των πολλών χαμηλών μεθόδων ισχύος για απόκτηση δεδομένων.

1.15 Software

Η ενέργεια είναι ο πιο σπάνιος πόρος στους κόμβους WSN, και καθορίζει τη διάρκεια ζωής των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι γραφτό να αναπτύσσονται σε μεγάλους αριθμούς σε διάφορα περιβάλλοντα, συμπεριλαμβανομένων των απομακρυσμένων και εχθρικών περιοχών, όπου ad-hoc επικοινωνίες αποτελούν βασικό συστατικό. Για το λόγο αυτό, οι αλγόριθμοι και τα πρωτόκολλα αυτά θα πρέπει να αντιμετωπίσουν τα ακόλουθα ζητήματα:

- Μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής
- Αντοχή και ανοχή σε σφάλματα
- Αυτο-ρύθμιση

Μεγιστοποίηση διάρκειας ζωής: Ενέργεια / κατανάλωση ισχύος των αισθητήριων μηχανημάτων θα πρέπει να ελαχιστοποιηθούν και οι κόμβοι αισθητήρων θα πρέπει να είναι υψηλής ενεργειακής απόδοσης εφόσον η περιορισμένη πηγή ενέργειας τους καθορίζει τη διάρκεια της ζωής τους. Για

εξοικονόμηση ενέργειας ο κόμβος θα πρέπει να κλείσει την παροχή εκπομπής/λήψης ραδιοκυμμάτων όταν δεν είναι σε χρήση.

Μερικά από τα σημαντικά θέματα έρευνας λογισμικού στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (Wireless Sensor Networks) είναι:

- Λειτουργικά συστήματα
- Ασφάλεια
- Κινητικότητα

1.16 Λειτουργικά συστήματα

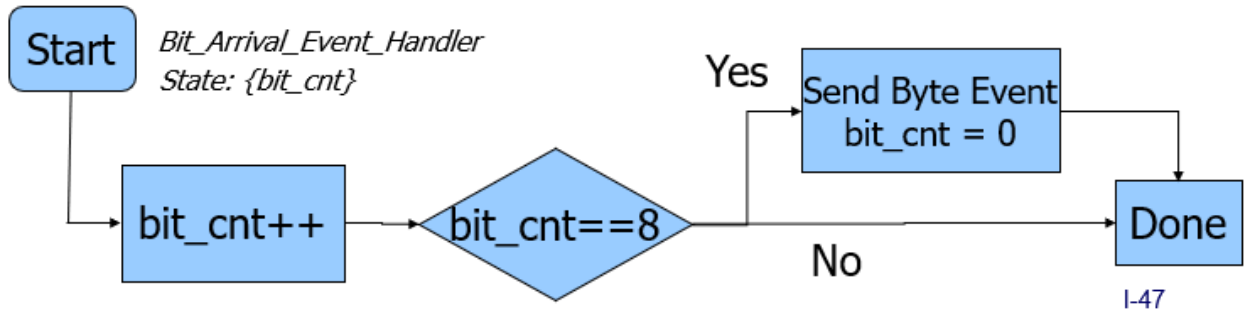
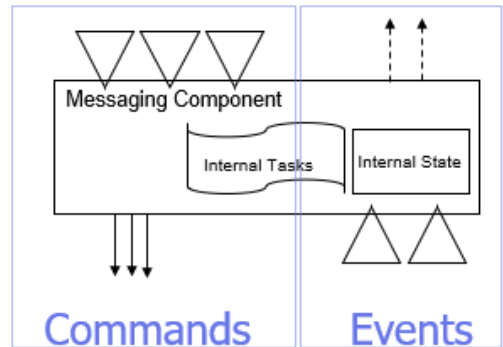
Τα λειτουργικά συστήματα ασύρματων κόμβων του δικτύου αισθητήρων είναι συνήθως λιγότερο πολύπλοκα από τα γενικής χρήσης λειτουργικά συστήματα. Τα πιο έντονα μοιάζουν με τα ενσωματωμένα συστήματα, για δύο λόγους. Πρώτον, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων συνήθως έχουν αναπτυχθεί με μια συγκεκριμένη εφαρμογή κατά νού, όχι ως μια γενική πλατφόρμα. Δεύτερον, η ανάγκη για χαμηλό κόστος και χαμηλή ισχύ οδηγεί τους κόμβους να έχουν χαμηλής ισχύος μικροελεγκτές εξασφαλίζοντας ότι οι μηχανισμοί, όπως η εικονική μνήμη είναι είτε περιττά ή υπερβολικά δαπανηρή για την εφαρμογή της.

Επομένως, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν τα ενσωματωμένα λειτουργικά συστήματα όπως ECOS και στο UC / OS για τα δίκτυα αισθητήρων. Ωστόσο, τα εν λόγω λειτουργικά συστήματα συχνά σχεδιάζονται με ιδιότητες πραγματικού χρόνου.

Το TinyOS είναι ίσως το πρώτο λειτουργικό σύστημα ειδικά σχεδιασμένο για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Το TinyOS βασίζεται σε ένα event-driven μοντέλο προγραμματισμού αντί multithreading. Τα TinyOS προγράμματα αποτελούνται από μηχανισμούς χειρισμού συμβάντων και εργασιών με run-to-completion σημασιολογία. Όταν ένα εξωτερικό συμβάν, όπως ένα εισερχόμενο πακέτο δεδομένων ή μια ανάγνωση του αισθητήρα, TinyOS σηματοδοτεί τον κατάλληλο χειρισμό συμβάντων ώστε να χειριστούν την εκδήλωση. Οι χειριστές των συμβάντων μπορούν να δημοσιεύουν εργασίες που έχουν προγραμματιστεί από τον πυρήνα TinyOS κάποια στιγμή αργότερα.

Λειτουργικό Σύστημα TinyOS

- Σύστημα που αποτελείται από συνδρομικά υποσυστήματα με μηχανές καταστάσεων
 - Μοναδικό πλαίσιο εκτέλεσης
- Μοντέλο υποσυστημάτων
 - Αποθήκευση
 - Εντολές & Χειριστές Συμβάντων
 - Ενέργειες
 - Διεπαφές Εντολών & Συμβάντων
 - Εύκολη διαχείριση υλικού/λογισμικού
- Χρονοδρομολόγηση
 - Προεκτοπιστική χρονοδρομολόγηση των χειριστών συμβάντων
 - Μη προεκτοπιστική χρονοδρομολόγηση FIFO των ενεργειών
- Δέσμευση μνήμης σε χρόνο μεταγλώτισης
- Γλώσσα προγραμματισμού NesC



Εικόνα 1.13 TinyOS

Το LiteOS είναι ένα νεόκτιστο λειτουργικό σύστημα για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, το οποίο παρέχει UNIX-όπως η αφαίρεση και η υποστήριξη για τη γλώσσα προγραμματισμού C.

Το Contiki είναι ένα λειτουργικό σύστημα που χρησιμοποιεί ένα απλό στυλ προγραμματισμού σε C, παρέχοντας παράλληλα προόδους όπως 6LoWPAN και Protothreads.

Το RIOT υλοποιεί μια δομή microkernel. Παρέχει multithreading με το πρότυπο API και επιτρέπει την ανάπτυξη σε C/C++. RIOT υποστηρίζει κοινά πρωτόκολλα Ίντερνετ, όπως 6LoWPAN, IPv6, RPL, TCP, και UDP.

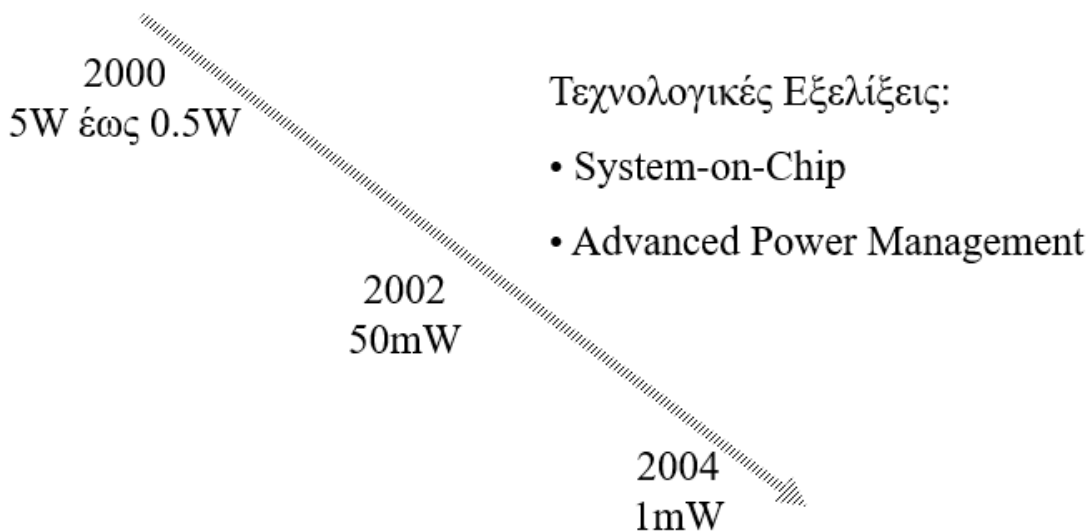
Συνεργασία σε απευθείας σύνδεση πλατφορμών διαχείρισης των δεδομένων του αισθητήρα

Η συνεργασία σε απευθείας σύνδεση πλατφορμών διαχείρισης των δεδομένων του αισθητήρα είναι on-line υπηρεσίες βάσεων δεδομένων που επιτρέπουν στους ιδιοκτήτες των αισθητήρων να εγγράφονται και να συνδέουν τις συσκευές τους για να μεταφέρουν τα δεδομένα σε μια ηλεκτρονική βάση

δεδομένων για αποθήκευση και επίσης επιτρέπει στους προγραμματιστές να συνδέονται με τη βάση δεδομένων και να δημιουργούν τις δικές τους εφαρμογές με βάση αυτά τα δεδομένα. Παραδείγματα όπως η Xively και η Wikisensing πλατφόρμα. Τέτοιες πλατφόρμες απλοποιούν την απευθείας συνεργασία των χρηστών σε διάφορα σύνολα δεδομένων που κυμαίνονται από την ενέργεια και το περιβάλλον δεδομένων σε πληροφορίες που συλλέγονται από υπηρεσίες μεταφορών. Άλλες υπηρεσίες περιλαμβάνουν τη δυνατότητα στους προγραμματιστές να ενσωματώνουν γραφήματα σε πραγματικό χρόνο και widgets σε ιστοσελίδες, την ανάλυση και την επεξεργασία ιστορικών στοιχείων που πάρθηκαν από τις τροφοδοσίες δεδομένων, στέλνουν σε πραγματικό χρόνο ειδοποιήσεις από κάθε ροή δεδομένων για τον έλεγχο των σεναρίων, συσκευών και περιβαλλόντων.

Η αρχιτεκτονική του συστήματος Wikisensing περιγράφεται στο περιγράφει τα βασικά στοιχεία των συστημάτων αυτών και περιλαμβάνουν APIs και τις διεπαφές για online συνεργάτες, ένα middleware που περιέχει την επιχειρηματική λογική που απαιτείται για τα δεδομένα διαχείρισης του αισθητήρα και επεξεργασία και αποθήκευση του κατάλληλου μοντέλο για την αποτελεσματική αποθήκευση και ανάκτηση των μεγάλων όγκων δεδομένων.

1.17 Εξέλιξη στις ενεργειακές απαιτήσεις των ασύρματων αισθητήρων

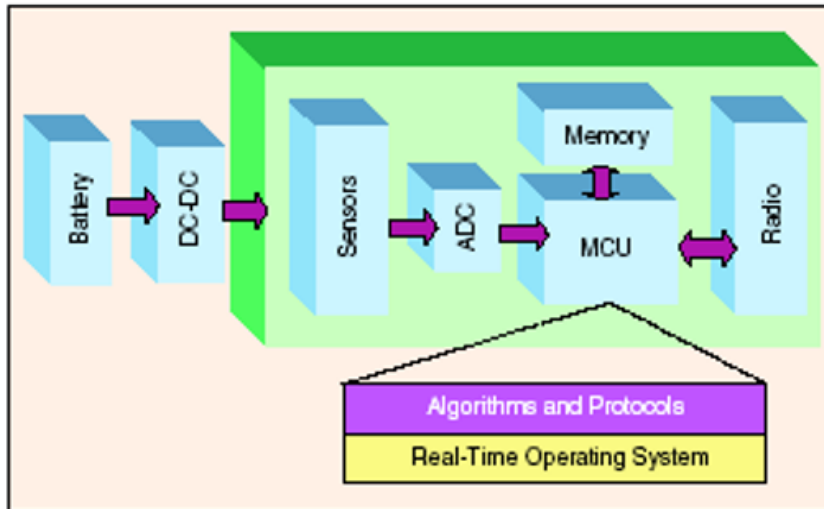


Εικόνα 1.14 Εξέλιξη στις ενεργειακές απαιτήσεις των ασύρματων αισθητήρων

1.18 Κατανάλωση ενέργειας

Η πιο κρίσιμη ερώτηση είναι που δαπανάτε ενέργεια

- Ο ασύρματος αισθητήριος κόμβος, αφού είναι μια μικρό-ηλεκτρονική συσκευή μπορεί να εφοδιαστεί με μια περιορισμένη πηγή ενέργειας (<0.5 Ah, 1.2V). Η αντικατάσταση αυτής της πηγής ενέργειας συνήθως είναι αδύνατη, συνεπώς η ζωή του αισθητήριου κόμβου εξαρτάται από αυτήν. Σε ένα δίκτυο αισθητήρων ο κάθε κόμβος παίζει το ρόλο του αποστολέα αλλά και του μεταγωγέα. Τυχόν βλάβες σε κάποιους από τους κόμβους δημιουργούν ανάγκη για αναδιοργάνωση του δικτύου και επαναδρομολόγηση των μηνυμάτων. Συνεπώς η σωστή διαχείριση της ενέργειας των κόμβων παίζει μεγάλο ρόλο. Η κατανάλωση ενέργειας μπορεί να αποδοθεί σε τρεις λειτουργίες: αίσθηση, επικοινωνία και επεξεργασία δεδομένων.
- Επικοινωνία.
Η πιο απαιτητική λειτουργία από άποψη κατανάλωσης ενέργειας είναι η επικοινωνία. Συνήθως για τις μικρές αποστάσεις που λειτουργούν οι αισθητήριοι κόμβοι η κατανάλωση είναι ίδια κατά την εκπομπή και την λήψη. Βεβαίως, εκτός από αυτό, σοβαρό ρόλο παίζει και το άνοιγμα και κλείσιμο του κυκλώματος του πομποδέκτη.
- Επεξεργασία δεδομένων.
Στη σχετική βιβλιογραφία συζητάτε εκτενώς πόσο μικρότερη είναι η δαπανώμενη ενέργεια κατά την φάση της επεξεργασίας των δεδομένων σε σχέση με την επικοινωνία. Συνεπώς θα πρέπει ο κόμβος να έχει ενσωματωμένο κύκλωμα επεξεργασίας προκειμένου να επεξεργάζεται τα δεδομένα με απώτερο σκοπό να στέλνει το δυνατόν λιγότερα πακέτα κατά την φάση της επικοινωνίας. Η ενέργεια που καταναλώνει ένας επεξεργαστής εξαρτάται από την τάση και την συχνότητα λειτουργίας. Συνεπώς αν μειώσουμε τους δύο αυτούς παράγοντες θα έχουμε και μείωση της δαπανώμενης ενέργειας. Βέβαια θα πρέπει να συμβιβαστούμε διότι και η ικανότητα επεξεργασίας θα μειωθεί. Μια άλλη εναλλακτική είναι να εκμεταλλευτούμε το γεγονός ότι ο επεξεργαστής εργάζεται λίγες φορές στο μέγιστο της απόδοσής του και έτσι μπορούμε να έχουμε ένα δυναμικό τρόπο αυξομείωσης του ρεύματος και της συχνότητας λειτουργίας του.



- Επεξεργασία
- Ραδιοεπαφή
- Αισθητήρες
- Ενεργοποιητές (actuators)
- Σύστημα ισχύος

Εικόνα 1.15 Κατανάλωση ενέργειας

1.19 Προγραμματισμός Δικτύων Αισθητήρων

Σημαντικό θέμα για την αξιοποίηση των δικτύων αισθητήρων είναι το προγραμματιστικό μοντέλο το οποίο υιοθετείται για την ανάπτυξη εφαρμογών. Υπάρχουν διάφορα μοντέλα τα οποία αντικατοπτρίζονται και στη δομή του ενδιάμεσου λογισμικού το οποίο συνήθως συνοδεύει την πλατφόρμα των αισθητήρων.

Το ενδιάμεσο λογισμικό μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε 4 κατηγορίες. Οι 4 κατηγορίες είναι: Κινητών πρακτόρων (Mobile Agents), Βάσεων Δεδομένων (Databases), Συμβάντων (Events) και άνευ ταξινόμησης. Η 1η κατηγορία προσεγγίζει το δίκτυο εμπνευσμένη από τους κινητούς πράκτορες (mobile agents) και τον κινητό κώδικα (mobile code) και λειτουργεί εισάγοντας ένα πρόγραμμα στο δίκτυο. Το πρόγραμμα αυτό μπορεί να συγκεντρώσει τα αισθητήρια δεδομένα από τους κόμβους, να διαδώσει αντίγραφα του εαυτού του στο δίκτυο και να επικοινωνεί με αυτά. Η 2η κατηγορία χειρίζεται το δίκτυο σαν μια κατακεντρωμένη (distributed) βάση δεδομένων όπου οι χρήστες μπορούν να θέτουν ερωτήματα τύπου SQL προκειμένου το δίκτυο να εκτελέσει κάποια αισθητήρια λειτουργία. Τέλος η 3η κατηγορία βασίζεται στην έννοια των συμβάντων. Σύμφωνα με αυτή τη

προσέγγιση οι εφαρμογές επικεντρώνουν το ενδιαφέρον τους σε αλλαγές της κατάστασης των αντικειμένων που παρακολουθούν στον πραγματικό κόσμο δηλαδή στα συμβάντα που λαμβάνουν χώρα. Όταν ένας αισθητήρας αντιληφθεί ένα τέτοιο γεγονός, στέλνει μια ειδοποίηση συμβάντος προς την εφαρμογή. Η εφαρμογή μπορεί όμως να θέσει περιορισμούς στις ειδοποιήσεις θέτοντας κάποια κριτήρια τα οποία πρέπει να πληρούνται προκειμένου οι αισθητήρες να στείλουν τέτοιου είδους ειδοποιήσεις.

- Δημοφιλής προσέγγιση: Αντιμετώπιση του δικτύου αισθητήρων ως βάση δεδομένων.
- Αιτιολόγηση: τα δίκτυα αισθητήρων παράγουν τεράστιους όγκους δεδομένων
- Θα πρέπει να είναι σε θέση να δεχθούν ερωτήσεις για δεδομένα
- Θα πρέπει να είναι σε θέση να απαντήσουν στις ερωτήσεις αυτές.
- Οι χρήστες χρειάζονται μία αφαίρεση που απλοποιεί τη διαδικασία συλλογής αξιόπιστων δεδομένων.
- Η αποδοτική οργάνωση των κόμβων και των δεδομένων θα προεκτείνει σημαντικά το χρόνο ζωής του δικτύου.
- Τεχνικές υπάρχουν στο χώρο των βάσεων δεδομένων για την αποδοτική αποθήκευση και πρόσβαση στα δεδομένα

1.20 Προσομοίωση της ΑΔΑ

Επί του παρόντος, ο πράκτορας που βασίζεται στη μοντελοποίηση και την προσομοίωση είναι το μόνο παράδειγμα που επιτρέπει την προσομοίωση των πολύπλοκων συμπεριφορών στα περιβάλλοντα των ασύρματων αισθητήρων (όπως συρρέουν). Agent-based προσομοίωση των ασύρματων αισθητήρων και ad-hoc δίκτυα είναι ένα σχετικά νέο πρότυπο. Το Agent-based μοντέλο βασίστηκε αρχικά στην κοινωνική προσομοίωση.

Προσομοιωτές δικτύων, όπως OPNET, NS2 NetSim μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσομοιωθεί ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων.

1.21 Κατανεμημένα δίκτυα αισθητήρων

Εάν μια κεντρική δομή χρησιμοποιείται σε ένα δίκτυο αισθητήρων και ο κεντρικός κόμβος αποτύχει, τότε ολόκληρο το δίκτυο θα καταρρεύσει, όμως η αξιοπιστία του δικτύου αισθητήρων μπορεί να αυξηθεί με τη χρήση ενός

κατανεμημένου αρχιτεκτονικού ελέγχου. Ο κατανεμημένος έλεγχος χρησιμοποιείται σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων για τους ακόλουθους λόγους:

- Οι κόμβοι αισθητήρων είναι επιρρεπείς σε αποτυχία
- Για την καλύτερη συλλογή των δεδομένων
- Να παρέχουν κόμβους με εφεδρικό σύστημα σε περίπτωση αποτυχίας του κεντρικού

Επίσης, δεν υπάρχει κεντρικό όργανο για την κατανομή των πόρων και θα πρέπει να είναι αυτοοργανωμένη.

1.22 Ενοποίηση δεδομένων και Sensor Web

Τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν από ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι συνήθως αποθηκευμένα με τη μορφή των αριθμητικών δεδομένων σε έναν κεντρικό σταθμό βάσης. Επιπλέον, το Open Geospatial Consortium (OGC) προσδιορίζει τα πρότυπα για την διαλειτουργικότητα των διεπαφών και κωδικοποιήσεις μεταδεδομένων που επιτρέπουν ολοκλήρωση σε πραγματικό χρόνο των ετερογενών ιστών αισθητήρων στο Internet, επιτρέποντας σε κάθε άτομο την παρακολούθηση ή τον έλεγχο Ασυρμάτων Δικτύων Αισθητήρων μέσω ενός προγράμματος περιήγησης στο Web.

1.23 Εσωτερικό δίκτυο επεξεργασίας

Για να μειωθεί το κόστος της επικοινωνίας μερικοί αλγόριθμοι εξαλείφουν ή μειώνουν τις περιττές πληροφορίες των αισθητηρίων κόμβων και την αποφυγή διαβίβασης των στοιχείων, που δεν έχουν καμία χρήση. Όπως οι κόμβοι μπορούν να επιθεωρούν τα δεδομένα που προωθούν μπορούν επίσης να μετρήσουν τους μέσους όρους ή την κατευθυντικότητα για παράδειγμα των αναγνώσεων από άλλους κόμβους. Για παράδειγμα, στην ανίχνευση και την παρακολούθηση των αιτήσεων, είναι γενικά περίπτωση όπου γειτονικοί κόμβοι αισθητήρων παρακολούθησης περιβαλλοντικών εγγράφουν χαρακτηριστικά παρόμοιες αξίες. Αυτό το είδος του πλεονασμού δεδομένων λόγω της χωρικής συσχέτισης μεταξύ των παρατηρήσεων του αισθητήρα εμπνέει τις τεχνικές για τη συγκέντρωση και εξόριξη δεδομένων στο δίκτυο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Wireless Ad Hoc Network

2.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε τα ασύρματα adhoc δίκτυα. Ένα ασύρματο ad hoc δίκτυο (WANET) ή MANET (Mobile ad hoc network) είναι ένας αποκεντρωμένος τύπος ασύρματου δικτύου. Το δίκτυο είναι ad hoc επειδή δεν βασίζεται σε προϋπάρχουσα υποδομή, όπως δρομολογητές σε ενσύρματα δίκτυα ή σημεία πρόσβασης σε διαχειριζόμενα ασύρματα δίκτυα. Αντίθετα, κάθε κόμβος συμμετέχει στη δρομολόγηση διαβιβάζοντας δεδομένα για άλλους κόμβους, οπότε ο προσδιορισμός των δεδομένων που προωθούν τα κόμβο γίνεται δυναμικά με βάση τη συνδεσιμότητα δικτύου και τον αλγόριθμο δρομολόγησης που χρησιμοποιείται.

Στο λειτουργικό σύστημα Windows, το ad-hoc είναι μια λειτουργία επικοινωνίας (ρύθμιση) που επιτρέπει στους υπολογιστές να επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους χωρίς ένα δρομολογητή.

Τα ασύρματα δίκτυα ad hoc για κινητά είναι αυτορυθμιζόμενα, δυναμικά δίκτυα στα οποία οι κόμβοι είναι ελεύθεροι να μετακινούνται. Τα ασύρματα δίκτυα στερούνται την πολυπλοκότητα της εγκατάστασης και της διαχείρισης της υποδομής, επιτρέποντας στις συσκευές να δημιουργούν και να συμμετέχουν σε δίκτυα "εν πτήση" - οπουδήποτε και οποτεδήποτε.

2.2 Ιστορικό του packet radio

Το παλαιότερο ασύρματο δίκτυο δεδομένων ονομάζεται δίκτυο "ραδιοσυχνοτήτων πακέτων" και χρηματοδοτήθηκε από την υπηρεσία προχωρημένων ερευνητικών προγραμμάτων άμυνας (DARPA) στις αρχές της δεκαετίας του 1970. Οι εταιρείες Bolt, Beranek και Newman Technologies (BBN) και η SRI International σχεδίασαν, κατασκεύασαν και πειραματίστηκαν με αυτά τα αρχαιότερα συστήματα. Παρόμοια πειράματα πραγματοποιήθηκαν στην ερασιτεχνική ραδιοφωνική κοινότητα με το πρωτόκολλο x25. Αυτά τα παλαιά συστήματα ραδιοσυχνοτήτων πακέτων προηγήθηκαν του Διαδικτύου και πράγματι ήταν μέρος του κινήτρου της αρχικής σουίτας πρωτοκόλλου Internet. Αργότερα, τα πειράματα της DARPA περιλάμβαναν το σχέδιο Survivable Radio Network

(SURAN), το οποίο έλαβε χώρα τη δεκαετία του 1980. Ένα άλλο τρίτο κύμα ακαδημαϊκής και ερευνητικής δραστηριότητας ξεκίνησε στα μέσα της δεκαετίας του '90 με την εμφάνιση των φθηνών ραδιοφωνικών καρτών 802.11 για προσωπικούς υπολογιστές. Τα τρέχοντα ασύρματα δίκτυα ad-hoc έχουν σχεδιαστεί κυρίως για στρατιωτική χρησιμότητα. Τα προβλήματα με τα ραδιόφωνικα πακέτα είναι:

- ογκώδη στοιχεία,
- αργός ρυθμός δεδομένων,
- αδυναμία διατήρησης δεσμών σε περίπτωση μεγάλης κινητικότητας.

Το έργο δεν προχώρησε πολύ μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1990 όταν δημιουργήθηκαν ασύρματα ad hoc δίκτυα.

2.3 Πρόωρη εργασία στο MANET

Στις αρχές της δεκαετίας του 1990, ο Charles Perkins από την SUN Microsystems των Η.Π.Α. και ο Chai Keong Toh από το Πανεπιστήμιο του Cambridge άρχισαν ξεχωριστά να εργάζονται σε ένα διαφορετικό Διαδίκτυο, ένα ασύρματο ad hoc δίκτυο. Ο Perkins ασχολήθηκε με τα θέματα δυναμικής αντιμετώπισης. Ο Toh εργάστηκε σε ένα νέο πρωτόκολλο δρομολόγησης, το οποίο ήταν γνωστό ως δρομολόγηση βασισμένη στη συνεταιριότητα ABR. Ο Perkins πρότεινε τελικά DSDV - δρομολόγηση διάνυσμα απομάκρυνσης ακολουθίας προορισμού, η οποία βασίστηκε σε δρομολόγηση διάνυσμα διανυσματικών αποστάσεων. Η πρόταση της Toh ήταν μια δρομολόγηση βάση της ζήτησης, δηλαδή οι διαδρομές ανακαλύπτονται επί τόπου, σε πραγματικό χρόνο, όσο και όταν χρειάζεται. Το ABR υποβλήθηκε στο IETF ως RFC. Το ABR εφαρμόστηκε επιτυχώς σε λειτουργικό σύστημα Linux σε φορητούς υπολογιστές Lucent WaveLAN 802.11a και για το λόγο αυτό αποδείχθηκε ότι ένα πραγματικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας ad hoc ήταν δυνατό το 1999. Στη συνέχεια εισήχθη ένα άλλο πρωτόκολλο δρομολόγησης γνωστό ως AODV και αργότερα που αποδείχθηκε και εφαρμόστηκε το 2005. Το 2007, ο David Johnson και ο Dave Maltz πρότειναν DSR - Dynamic Routing Source .

2.4 Ad hoc δίκτυο

Ένα ασύρματο ad hoc δίκτυο (αυτοοργανωμένο δίκτυο ή δίκτυο κατ' απαίτηση) είναι ένας αποκεντρωμένος τύπος ασύρματου δικτύου. Το δίκτυο είναι ad hoc επειδή δε βασίζεται σε κάποια προϋπάρχουσα υποδομή, όπως

δρομολογητές στα ενσύρματα δίκτυα ή ασύρματα access points στα διαχειριζόμενα ασύρματα δίκτυα. Αντίθετα, κάθε κόμβος λαμβάνει μέρος στη δρομολόγηση προωθώντας τα δεδομένα προς τους άλλους κόμβους, κι έτσι ο καθορισμός του ποιοι κόμβοι προωθούν δεδομένα γίνεται δυναμικά με βάση τη συνδεσιμότητα του δικτύου. Πέρα από την κλασική δρομολόγηση, τα ad hoc δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιήσουν την υπερχείλιση για να προωθήσουν τα δεδομένα.

Τα πρώτα ασύρματα ad hoc δίκτυα ήταν τα PRNETs (δίκτυα "ραδιοφωνικών πακέτων") από τη δεκαετία του '70, υπό την αιγίδα του DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) μετά το ALOHAnet project.

2.5 Εφαρμογές

Ο αποκεντρωμένος χαρακτήρας των ασύρματων δικτύων ad-hoc τα καθιστά κατάλληλα για μια ποικιλία εφαρμογών όπου δεν μπορούν να βασιστούν οι κεντρικοί κόμβοι και μπορεί να βελτιώσουν την επεκτασιμότητα των δικτύων σε σύγκριση με τα ασύρματα διαχειριζόμενα δίκτυα, αν και έχουν προσδιορισθεί θεωρητικά και πρακτικά όρια στη συνολική δυναμικότητα τέτοιων δικτύων. Η ελάχιστη διαμόρφωση και η ταχεία ανάπτυξη καθιστούν τα δίκτυα ad hoc κατάλληλα για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης όπως φυσικές καταστροφές ή στρατιωτικές συγκρούσεις. Η παρουσία δυναμικών και προσαρμοστικών πρωτοκόλλων δρομολόγησης επιτρέπει τη γρήγορη δημιουργία δικτύων ad hoc. Τα ασύρματα δίκτυα ad-hoc μπορούν να ταξινομηθούν περαιτέρω από τις εφαρμογές τους:

2.5.1 Κινητά ad hoc δίκτυα (MANETs)

Ένα δίκτυο ad hoc κινητής τηλεφωνίας (MANET) είναι ένα δίκτυο συνεχώς αυτορυθμιζόμενου, αυτοχρηματοδοτούμενου και λιγότερο υποδομής κινητών συσκευών συνδεδεμένων χωρίς καλώδια. Μερικές φορές είναι γνωστό ως δίκτυα "on the-fly" ή "αυθόρμητα δίκτυα" .

2.5.2 Οδικά δίκτυα ad hoc (VANET)

Τα VANETs χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και εξοπλισμού οδών. Τα έξυπνα ad hoc δίκτυα οχημάτων (InVANET) είναι ένα είδος τεχνητής νοημοσύνης που βοηθά τα οχήματα να συμπεριφέρονται με ευφυείς

τρόπους κατά τη διάρκεια συγκρούσεων οχημάτων με οχήματα, ατυχημάτων. Τα οχήματα χρησιμοποιούν ραδιοκύματα για να επικοινωνούν μεταξύ τους, δημιουργώντας δίκτυα επικοινωνίας αμέσως κατά τη διάρκεια της πτήσης, ενώ τα οχήματα μετακινούνται στους δρόμους.

2.5.3 Διαδικτυακά δίκτυα έξυπνων τηλεφώνων (SPAN)

Ένα SPAN χρησιμοποιεί το υπάρχον υλικό (κυρίως Wi-Fi και Bluetooth) και το λογισμικό (πρωτόκολλα) σε εμπορικά διαθέσιμα smartphones για τη δημιουργία δικτύων ομότιμων δικτύων χωρίς να στηρίζονται σε κυψελοειδή δίκτυα μεταφορέων, ασύρματα σημεία πρόσβασης ή παραδοσιακή υποδομή δικτύου. Πιο πρόσφατα, το iPhone της Apple με έκδοση 7.0 iOS και υψηλότερη έχουν ενεργοποιηθεί με τη δυνατότητα δικτύωσης δικτύων ad hoc multi-peer, στα iPhones, επιτρέποντας σε εκατομμύρια έξυπνα τηλέφωνα να δημιουργούν ad hoc δίκτυα χωρίς να βασίζονται σε κυψελοειδείς επικοινωνίες. Έχει υποστηριχθεί ότι αυτό πρόκειται να "αλλάξει τον κόσμο".

2.5.4 Ασύρματα mesh networks

Τα δίκτυα mesh παίρνουν το όνομά τους από την τοπολογία του προκύπτοντος δικτύου. Σε ένα πλήρως συνδεδεμένο πλέγμα, κάθε κόμβος συνδέεται με κάθε άλλο κόμβο, σχηματίζοντας ένα "πλέγμα". Ένα μερικό πλέγμα, αντίθετα, έχει μια τοπολογία στην οποία ορισμένοι κόμβοι δεν συνδέονται με άλλους, παρόλο που ο όρος αυτός σπάνια χρησιμοποιείται. Τα ασύρματα δίκτυα ad hoc μπορούν να λάβουν τη μορφή δικτύων ματιών ή άλλων. Ένα ασύρματο ad hoc δίκτυο δεν έχει σταθερή τοπολογία και η συνδεσιμότητά του μεταξύ των κόμβων εξαρτάται πλήρως από τη συμπεριφορά των συσκευών, τα πρότυπα κινητικότητας τους, την απόσταση μεταξύ τους κλπ. Ως εκ τούτου, τα δίκτυα ασύρματων δικτύων είναι ένας ιδιαίτερος τύπος ασύρματης ad hoc δικτύων, με ιδιαίτερη έμφαση στην προκύπτουσα τοπολογία του δικτύου. Ενώ ορισμένα δίκτυα ασύρματων δικτύων (ειδικά εκείνα που βρίσκονται μέσα σε ένα σπίτι) έχουν σχετικά σπάνια κινητικότητα και συνεπώς σπάνια σπασίματα συνδέσεων, άλλα πιο κινητά δίκτυα δικτύων απαιτούν συχνές προσαρμογές δρομολόγησης για να υπολογίζουν τους χαμένους συνδέσμους. Το Google Home, το Google Wi-Fi και το Google OnHub υποστηρίζουν όλα τα δίκτυα Wi-Fi (ad hoc) δικτύου Wi-Fi Το AirPort της Apple επιτρέπει τη δημιουργία δικτύων ασύρματων δικτύων στο

σπίτι, συνδέοντας ταυτόχρονα διάφορες συσκευές Wi-Fi και παρέχοντας καλή καλωδιακή κάλυψη και συνδεσιμότητα στο σπίτι.

2.5.5 Στρατιωτική τακτική MANETs

Ο στρατός έχει ανάγκη από επικοινωνίες "on-the-move" για μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι ad hoc κινητές επικοινωνίες έρχονται καλά για να ικανοποιήσουν αυτήν την ανάγκη, ιδίως τη φύση της, την ταχύτατη ανάπτυξη και τη λειτουργία της. Τα στρατιωτικά MANETs χρησιμοποιούνται από στρατιωτικές μονάδες με έμφαση στην ταχεία ανάπτυξη, ασύρματα δίκτυα (χωρίς σταθερούς ραδιοφωνικούς πύργους), ανθεκτικότητα (διαλείμματα σύνδεσης δεν αποτελούν πρόβλημα), ασφάλεια, εμπέλεια και άμεση λειτουργία. Τα MANE μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε στρατιωτικά ορυχεία [24], σε διμοιρίες όπου οι στρατιώτες επικοινωνούν σε ξένα εδάφη, δίνοντάς τους ανωτερότητα στο πεδίο της μάχης. Τακτικές MANET μπορούν να διαμορφωθούν αυτόματα κατά τη διάρκεια της αποστολής και το δίκτυο «εξαφανίζεται» όταν η αποστολή τελειώσει ή παροπλισθεί. Μερικές φορές ονομάζεται ασύρματο τακτικό δίκτυο "on the-fly".

2.5.6 Δίκτυα ad hoc του UAV της Πολεμικής Αεροπορίας

Το μη επανδρωμένο όχημα, είναι αεροσκάφος χωρίς πιλότο επί του σκάφους. Τα UAV μπορούν να ελέγχονται εξ αποστάσεως (δηλαδή να μεταφέρονται από πιλότο σε σταθμό ελέγχου εδάφους) ή να μπορούν να πετούν αυτόνομα με βάση προγραμματισμένα προγράμματα πτήσης. Η μη στρατιωτική χρήση του UAV περιλαμβάνει μοντελοποίηση τρισδιάστατων χώρων, παράδοση πακέτων (Amazon), κλπ.

Τα UAV χρησιμοποιήθηκαν επίσης από την Πολεμική Αεροπορία των ΗΠΑ για τη συλλογή δεδομένων και την ανίχνευση της κατάστασης, χωρίς να διακινδυνεύσει τον πιλότο σε ξένο εχθρικό περιβάλλον. Με ασύρματη τεχνολογία δικτύου ad hoc ενσωματωμένη στα UAV, πολλά UAVs μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους και να εργάζονται ως ομάδα, να συνεργάζονται για να ολοκληρώσουν μια αποστολή και αποστολή. Αν ένα UAV καταστραφεί από έναν εχθρό, τα δεδομένα του μπορούν να εκφορτωθούν γρήγορα ασύρματα σε άλλα γειτονικά UAV. Το ad hoc δίκτυο επικοινωνίας UAV αναφέρεται επίσης μερικές φορές στο δίκτυο UAV instant sky.

2.5.7 Ναυτικά δίκτυα ad hoc

Τα σκάφη του Ναυτικού χρησιμοποιούν παραδοσιακά δορυφορικές επικοινωνίες και άλλα θαλάσσια ραδιόφωνα για να επικοινωνούν μεταξύ τους ή με σταθμό εδάφους πίσω στη γη. Ωστόσο, οι επικοινωνίες αυτές περιορίζονται από καθυστερήσεις και περιορισμένο εύρος ζώνης. Τα ασύρματα ad hoc δίκτυα επιτρέπουν τη δημιουργία δικτύων θαλάσσιων περιοχών κατά τη διάρκεια της θάλασσας, επιτρέποντας την ασύρματη επικοινωνία υψηλής ταχύτητας μεταξύ των πλοίων, ενισχύοντας την ανταλλαγή δεδομένων απεικόνισης και πολυμέσων και τον καλύτερο συντονισμό στις επιχειρήσεις των πεδίων μάχης. Ορισμένες εταιρείες άμυνας (όπως οι Rockwell Collins και Rohde & Schwartz) έχουν παράγει προϊόντα που βελτιώνουν τις επικοινωνίες πλοίου με πλοίο και πλοίου προς ξηρά.

2.5.8 Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων

Οι αισθητήρες είναι χρήσιμες συσκευές που συλλέγουν πληροφορίες που σχετίζονται με μια συγκεκριμένη παράμετρο, όπως θόρυβος, θερμοκρασία, υγρασία, πίεση κ.λπ. Οι αισθητήρες συνδέονται ολόένα και περισσότερο μέσω ασύρματου δικτύου, επιτρέποντας τη συλλογή δεδομένων αισθητήρων σε μεγάλη κλίμακα. Με ένα μεγάλο δείγμα δεδομένων αισθητήρων, η επεξεργασία των αναλύσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατανόηση αυτών των δεδομένων. Η συνδεσιμότητα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων βασίζεται στις αρχές των ασύρματων δικτύων ad hoc, δεδομένου ότι οι αισθητήρες μπορούν τώρα να αναπτυχθούν χωρίς σταθερούς ραδιοφωνικούς πύργους και τώρα μπορούν να σχηματίσουν δίκτυα σε εξέλιξη. Το "Smart Dust" ήταν ένα από τα πρώτα έργα που έγιναν στο U C Berkeley, όπου χρησιμοποιήθηκαν μικροσκοπικά ραδιόφωνα για τη διασύνδεση της έξυπνης σκόνης [29]. Πιο πρόσφατα, τα δίκτυα κινητών ασύρματων αισθητήρων (MWSNs) έχουν επίσης γίνει ένα χώρο ακαδημαϊκού ενδιαφέροντος.

2.5.9 Ad hoc οικιακό έξυπνο φωτισμό

Το ZigBee είναι μια μορφή χαμηλής κατανάλωσης ασύρματων ad hoc δικτύων που τώρα βρίσκει το δρόμο για αυτοματοποίηση στο σπίτι. Η χαμηλή κατανάλωση ρεύματος, η ευρωστία και η εκτεταμένη εμβέλεια που ενυπάρχουν στη δικτύωση δικτύων μπορούν να προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα για έξυπνο φωτισμό σε σπίτια και γραφεία. Ο έλεγχος περιλαμβάνει ρύθμιση

ρυθμιζόμενων φώτων, χρωματικών φώτων και χρώματος ή σκηνής. Τα δίκτυα επιτρέπουν τη ρύθμιση ενός συνόλου ή υποσυνόλου φώτων μέσω ενός έξυπνου τηλεφώνου ή μέσω υπολογιστή. Η αγορά αυτοματισμού στο σπίτι αναμένεται να υπερβεί τα 16 δισεκατομμύρια δολάρια μέχρι το 2019.

2.5.10 Ad hoc δίκτυα φωτισμού δρόμου

Τα ασύρματα δίκτυα ανοιχτού φωτισμού του δρόμου αρχίζουν να εξελίσσονται. Η ιδέα είναι να χρησιμοποιηθεί ο ασύρματος έλεγχος των φώτων δρόμου της πόλης για καλύτερη ενεργειακή απόδοση, ως μέρος ενός έξυπνου αρχιτεκτονικού σχεδιασμού πόλης. Πολλαπλοί φωτισμοί δρόμου σχηματίζουν ένα ασύρματο ad hoc δίκτυο. Μια ενιαία συσκευή πύλης μπορεί να ελέγξει έως 500 φώτα δρόμου. Χρησιμοποιώντας τη συσκευή πύλης, μπορείτε να ενεργοποιήσετε, να απενεργοποιήσετε ή να μειώσετε τα μεμονωμένα φώτα, καθώς και να μάθετε ποιο μεμονωμένο φως είναι ελαττωματικό και χρειάζεται συντήρηση.

2.5.11 Ad hoc δικτύων ρομπότ

Τα ρομπότ είναι μηχανικά συστήματα που οδηγούν την αυτοματοποίηση και εκτελούν δουλειές που φαίνεται δύσκολο για τον άνθρωπο. Έχουν καταβληθεί προσπάθειες για τον συντονισμό και τον έλεγχο μιας ομάδας ρομπότ για την ανάληψη συνεργατικής εργασίας για την ολοκλήρωση ενός έργου. Ο κεντρικός έλεγχος βασίζεται συχνά σε μια προσέγγιση "αστεριών", όπου τα ρομπότ περιστρέφονται για να μιλήσουν στο σταθμό ελέγχου. Ωστόσο, με τα ασύρματα ad hoc δίκτυα, τα ρομπότ μπορούν να σχηματίσουν ένα δίκτυο επικοινωνίας σε εξέλιξη, δηλαδή τα ρομπότ μπορούν πλέον να "μιλάνε" ο ένας στον άλλο και να συνεργάζονται με κατακεκομμένο τρόπο. Με ένα δίκτυο ρομπότ, τα ρομπότ μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους, να μοιράζονται τις τοπικές πληροφορίες και να αποφασίζουν κατακεκομμένα πώς να επιλύουν μια εργασία με τον πιο αποτελεσματικό και αποτελεσματικό τρόπο.

2.5.12 Δίκτυο ad hoc για τη διάσωση καταστροφών

Μια άλλη πολιτική χρήση ασύρματου δικτύου ad hoc είναι η δημόσια ασφάλεια. Σε περιόδους καταστροφών (πλημμύρες, καταιγίδες, σεισμοί, πυρκαγιές κ.λπ.), είναι απαραίτητο ένα γρήγορο και άμεσο ασύρματο δίκτυο επικοινωνίας. Ειδικά σε περιόδους σεισμών, όταν οι πύργοι ραδιοφώνου

κατέρρευσαν ή καταστράφηκαν, μπορούν να σχηματιστούν ανεξάρτητα ασύρματα ad hoc δίκτυα. Οι πυροσβέστες και οι εργαζόμενοι διάσωσης μπορούν να χρησιμοποιούν δίκτυα ad hoc για να επικοινωνούν και να διασώζουν τους τραυματίες. Τα εμπορικά ραδιόφωνα με τέτοιες δυνατότητες διατίθενται στην αγορά.

2.5.13 Νοσοκομείο ad hoc δικτύου

Τα ασύρματα δίκτυα ad hoc επιτρέπουν την ασύρματη ανάπτυξη ασύρματων αισθητήρων, βίντεο, οργάνων και άλλων συσκευών για παρακολούθηση κλινικών και νοσοκομειακών ασθενών, ειδοποίηση γιατρού και νοσηλευτών καθώς και για την ταχεία συνειδητοποίηση τέτοιων δεδομένων σε σημεία σύντηξης, αποθηκεύονται

2.6 Προκλήσεις

Αρκετά βιβλία και έργα αποκάλυψαν τις τεχνικές και ερευνητικές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν ασύρματα ad hoc δίκτυα ή MANETs. Τα πλεονεκτήματα και οι προκλήσεις μπορούν να συνοψιστούν εν συντομία:

2.7 Πλεονεκτήματα

Δίκτυο υψηλής απόδοσης.

Δεν πρέπει να εγκατασταθεί δαπανηρή υποδομή

Χρήση φάσματος μη εξουσιοδοτημένου φάσματος

Γρήγορη διανομή πληροφοριών γύρω από τον αποστολέα

Δεν υπάρχει κανένα σημείο αποτυχίας.

2.8 Μειονεκτήματα

Όλες οι οντότητες δικτύου μπορεί να είναι κινητές ⇒ πολύ δυναμική τοπολογία

Οι λειτουργίες δικτύου πρέπει να έχουν υψηλό βαθμό προσαρμοστικότητας

Δεν υπάρχουν κεντρικές οντότητες ⇒ λειτουργία με πλήρως κατανεμημένο τρόπο.

2.9 Ραδιόφωνα για ad hoc

Τα ασύρματα δίκτυα ad hoc μπορούν να λειτουργούν σε διαφορετικούς τύπους ραδιοφωνικών σταθμών. Μπορούν να είναι UHF (300 - 3000 MHz), SHF (3 - 30 GHz) και EHF (30 - 300 GHz). Το ad-hoc Wi-Fi χρησιμοποιεί ασύρματα

δίκτυα ISM 2.4 GHz χωρίς άδεια. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε ραδιόφωνα των 5,8 GHz.

Το Wi-Fi επόμενης γενιάς γνωστό ως 802.11ax παρέχει χαμηλή καθυστέρηση, υψηλή χωρητικότητα (έως 10Gbit / s) και χαμηλό ποσοστό απώλειας πακέτων, προσφέροντας 12 ροές - 8 ροές στα 5 GHz και 4 ροές στα 2,4 GHz. Το IEEE 802.11ax χρησιμοποιεί κανάλια 8x8 MU-MIMO, OFDMA και 80 MHz. Ως εκ τούτου, το 802.11ax έχει τη δυνατότητα να δημιουργεί ad-hoc δίκτυα Wi-Fi υψηλής χωρητικότητας.

Στα 60 GHz, υπάρχει μια άλλη μορφή Wi-Fi γνωστή ως WiGi - ασύρματο gigabit. Αυτό έχει τη δυνατότητα να προσφέρει έως και 7Gbit / s. Επί του παρόντος, η WiGi στοχεύει να συνεργαστεί με δίκτυα 5G.

Όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα, όπως αυτή των 300 GHz, η απορρόφηση του σήματος θα είναι πιο επικρατέστερη. Τα στρατιωτικά τακτικά ραδιόφωνα χρησιμοποιούν συνήθως μια ποικιλία ραδιοφωνικών σταθμών UHF και SHF, συμπεριλαμβανομένων εκείνων του VHF για την παροχή ποικίλων τρόπων επικοινωνίας. Στην περιοχή 800, 900, 1200, 1800 MHz κυριαρχούν κυψελοειδή ραδιόφωνα. Ορισμένα κυψελοειδή ραδιόφωνα χρησιμοποιούν ad hoc επικοινωνίες για να επεκτείνουν την κυψελοειδή περιοχή σε περιοχές και συσκευές που δεν είναι προσβάσιμες από τον κυψελοειδή σταθμό βάσης.

2.10 Πρωτόκολλο «Στοιβά»

Οι προκλήσεις που επηρεάζουν το MANETs εκτείνονται από διάφορα στρώματα της στοιβάς πρωτοκόλλου OSI. Το επίπεδο πρόσβασης μέσων (MAC) πρέπει να βελτιωθεί για την επίλυση συγκρούσεων και κρυφών προβλημάτων τερματικού. Το πρωτόκολλο δρομολόγησης στρώματος δικτύου πρέπει να βελτιωθεί για να επιλύσει δυναμικά μεταβαλλόμενες τοπολογίες δικτύου και διακεκομμένες διαδρομές. Το πρωτόκολλο στρώματος μεταφοράς πρέπει να βελτιωθεί για να χειριστεί χαμένες ή σπασμένες συνδέσεις. Το πρωτόκολλο της περιόδου σύνδεσης πρέπει να ασχολείται με την ανακάλυψη εξυπηρετητών και υπηρεσιών.

Ένας σημαντικός περιορισμός με τους κινητούς κόμβους είναι ότι έχουν υψηλή κινητικότητα, προκαλώντας συχνά σπάσιμο και επαναφορά συνδέσμων. Επιπλέον, το εύρος ζώνης ενός ασύρματου καναλιού είναι επίσης περιορισμένο και οι κόμβοι λειτουργούν με περιορισμένη ισχύ μπαταρίας, η οποία τελικά θα

εξαντληθεί. Επομένως, ο σχεδιασμός ενός κινητού δικτύου ad hoc είναι εξαιρετικά δύσκολο, αλλά αυτή η τεχνολογία έχει μεγάλες προοπτικές να είναι σε θέση να διαχειριστεί τα πρωτόκολλα επικοινωνίας του μέλλοντος.

Ο σχεδιασμός σταυρωτής στρώσης αποκλίνει από την παραδοσιακή προσέγγιση σχεδιασμού δικτύου στην οποία κάθε στρώμα της στοίβας θα είναι κατασκευασμένο για να λειτουργεί ανεξάρτητα. Η τροποποιημένη ισχύς μετάδοσης θα βοηθήσει αυτόν τον κόμβο να μεταβάλλει δυναμικά το εύρος διάδοσης του στο φυσικό στρώμα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η απόσταση διάδοσης είναι πάντα ανάλογη της ισχύος μετάδοσης. Αυτές οι πληροφορίες διαβιβάζονται από το φυσικό επίπεδο στο επίπεδο του δικτύου, ώστε να μπορούν να λαμβάνουν τις βέλτιστες αποφάσεις στα πρωτόκολλα δρομολόγησης. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα αυτού του πρωτοκόλλου είναι ότι επιτρέπει την πρόσβαση των πληροφοριών μεταξύ του φυσικού στρώματος και των κορυφαίων στρωμάτων (MAC και στρώμα δικτύου).

Ορισμένα στοιχεία της στοίβας λογισμικού αναπτύχθηκαν για να επιτρέψουν την ενημέρωση κώδικα επί τόπου, δηλ. Με τους κόμβους που είναι ενσωματωμένοι στο φυσικό τους περιβάλλον και χωρίς να χρειάζεται να φέρουν τους κόμβους πίσω στην εργαστηριακή εγκατάσταση. Τέτοια ενημέρωση λογισμικού βασίστηκε σε τρόπο επιδημίας διάδοσης πληροφοριών και έπρεπε να γίνει τόσο αποτελεσματικά (λίγες μεταδόσεις δικτύου) όσο και γρήγορα.

2.11 Δρομολόγηση

Η δρομολόγηση σε ασύρματα ad hoc δίκτυα ή MANETs εν γένει εμπίπτει σε τρεις κατηγορίες, συγκεκριμένα:

- προληπτική δρομολόγηση,
- αντίδραση δρομολόγησης,
- υβριδική δρομολόγηση.

2.12 Προληπτική δρομολόγηση

Αυτός ο τύπος πρωτοκόλλων διατηρεί νέους καταλόγους προορισμών και των διαδρομών τους διανέμοντας περιοδικά τους πίνακες δρομολόγησης σε όλο το δίκτυο. Τα κύρια μειονεκτήματα τέτοιων αλγορίθμων είναι:

- Αντίστοιχη ποσότητα δεδομένων για συντήρηση.
- Αργή αντίδραση στις αναδιαρθρώσεις και τις αποτυχίες.

Παράδειγμα: Πρωτόκολλο δρομολόγησης βελτιστοποιημένης σύνδεσης σύνδεσης (OLSR)

2.13 Διαδρομή διάνυσμα απόστασης

Όπως σε έναν κόμβο καθαρών δικτύων συντήρησης, διατηρούν τους πίνακες δρομολόγησης. Τα πρωτόκολλα απόστασης-φορέα βασίζονται στον υπολογισμό της κατεύθυνσης και της απόστασης σε οποιονδήποτε σύνδεσμο σε ένα δίκτυο. "Κατεύθυνση" σημαίνει συνήθως την επόμενη διεύθυνση λυκίσκου και τη διεπαφή εξόδου. Η "Απόσταση" είναι ένα μέτρο του κόστους για την επίτευξη ενός συγκεκριμένου κόμβου. Η διαδρομή ελάχιστου κόστους μεταξύ οποιωνδήποτε δύο κόμβων είναι η διαδρομή με ελάχιστη απόσταση. Κάθε κόμβος διατηρεί ένα διάνυσμα (πίνακα) ελάχιστης απόστασης για κάθε κόμβο. Το κόστος επίτευξης ενός προορισμού υπολογίζεται χρησιμοποιώντας διάφορες μετρήσεις διαδρομής. Το RIP χρησιμοποιεί τον αριθμό λίστας του προορισμού ενώ το IGRP λαμβάνει υπόψη άλλες πληροφορίες, όπως καθυστέρηση κόμβου και διαθέσιμο εύρος ζώνης.

2.14 Ανενεργή δρομολόγηση

Αυτός ο τύπος πρωτοκόλλου βρίσκει μια διαδρομή που βασίζεται στη ζήτηση χρηστών και κυκλοφορίας, κατακλύζοντας το δίκτυο με πακέτα Αίτημα διαδρομής ή Ανακάλυψη. Τα κύρια μειονεκτήματα τέτοιων αλγορίθμων είναι:

2.15 Χρόνος υψηλής καθυστέρησης κατά την εύρεση διαδρομής.

Η υπερβολική πλημμύρα μπορεί να οδηγήσει σε απόφραξη του δικτύου. Ωστόσο, η ομαδοποίηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον περιορισμό των πλημμυρών. Η λανθάνουσα κατάσταση που προκύπτει κατά την ανακάλυψη της διαδρομής δεν είναι σημαντική σε σύγκριση με τις περιοδικές ανταλλαγές ενημέρωσης διαδρομών από όλους τους κόμβους του δικτύου.

2.16 Flooding - Πλημμύρα

Είναι ένας απλός αλγόριθμος δρομολόγησης στον οποίο κάθε εισερχόμενο πακέτο στέλνεται μέσω κάθε εξερχόμενης ζεύξης εκτός από εκείνη που έφτασε. Οι πλημμύρες χρησιμοποιούνται στη γεφύρωση και σε συστήματα όπως η κοινή χρήση αρχείων Usenet και peer-to-peer και ως μέρος ορισμένων πρωτοκόλλων

δρομολόγησης, συμπεριλαμβανομένων των OSPF, DVMRP και εκείνων που χρησιμοποιούνται σε ασύρματα ad hoc δίκτυα.

2.17 Υβριδική δρομολόγηση

Αυτός ο τύπος πρωτοκόλλου συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της ενεργητικής και της ενεργού δρομολόγησης. Η δρομολόγηση αρχικά δημιουργείται με ορισμένες προορατικές διαδρομές και στη συνέχεια εξυπηρετεί τη ζήτηση από επιπλέον ενεργοποιημένους κόμβους μέσω αντιδραστικών πλημμυρών. Η επιλογή μιας ή της άλλης μεθόδου απαιτεί προκαθορισμό για τυπικές περιπτώσεις. Τα κύρια μειονεκτήματα τέτοιων αλγορίθμων είναι:

- Το πλεονέκτημα εξαρτάται από τον αριθμό άλλων ενεργοποιημένων κόμβων.
- Η αντίδραση στη ζήτηση κυκλοφορίας εξαρτάται από την κλίση του όγκου κίνησης.

Παράδειγμα: Πρωτόκολλο δρομολόγησης ζωνών (ZRP)

2.18 Position-based routing

Οι μέθοδοι δρομολόγησης με βάση τη θέση χρησιμοποιούν πληροφορίες σχετικά με τις ακριβείς θέσεις των κόμβων. Αυτές οι πληροφορίες λαμβάνονται για παράδειγμα μέσω ενός δέκτη GPS. Με βάση την ακριβή τοποθεσία, μπορεί να καθοριστεί η καλύτερη διαδρομή μεταξύ κόμβων προέλευσης και προορισμού.

2.19 Τεχνικές απαιτήσεις για την εφαρμογή

Ένα δίκτυο ad hoc αποτελείται από πολλούς "κόμβους" που συνδέονται με "συνδέσμους".

Οι συνδέσεις επηρεάζονται από τους πόρους του κόμβου (π.χ. ισχύς πομπού, υπολογιστική ισχύς και μνήμη) και ιδιότητες συμπεριφοράς (π.χ. αξιοπιστία), καθώς και ιδιότητες συνδέσμων (π.χ. απώλεια σήματος, απώλεια σήματος, παρεμβολές και θόρυβος). Δεδομένου ότι οι συνδέσεις μπορούν να συνδεθούν ή να αποσυνδεθούν ανά πάσα στιγμή, ένα λειτουργικό δίκτυο πρέπει να είναι σε θέση να αντιμετωπίσει αυτή τη δυναμική αναδιάρθρωση, κατά προτίμηση με τρόπο έγκαιρο, αποτελεσματικό, αξιόπιστο, εύρωστο και κλιμακωτό.

Το δίκτυο πρέπει να επιτρέπει σε οποιονδήποτε δύο κόμβους να επικοινωνούν μεταδίδοντας τις πληροφορίες μέσω άλλων κόμβων. Μια

"διαδρομή" είναι μια σειρά συνδέσεων που συνδέει δύο κόμβους. Διάφορες μέθοδοι δρομολόγησης χρησιμοποιούν μία ή δύο διαδρομές μεταξύ οποιωνδήποτε δύο κόμβων. οι μέθοδοι πλημμύρας χρησιμοποιούν όλες ή τις περισσότερες διαθέσιμες διαδρομές.

2.20 Έλεγχος μέσου πρόσβασης

Στα περισσότερα ασύρματα ad hoc δίκτυα, οι κόμβοι ανταγωνίζονται για την πρόσβαση σε κοινόχρηστο ασύρματο μέσο, με αποτέλεσμα συχνά συγκρούσεις (παρεμβολές). Οι συγκρούσεις μπορούν να αντιμετωπιστούν με τη χρήση κεντρικών πρωτοκόλλων προγραμματισμού ή κατακεκομένου καταστατικού. [49] Η χρήση συνεργατικών ασύρματων επικοινωνιών βελτιώνει την ασυλία στις παρεμβολές, επειδή ο κόμβος προορισμού συνδυάζει την αυτοδιάθεση και την παρεμβολή άλλων κόμβων για τη βελτίωση της αποκωδικοποίησης των επιθυμητών σημάτων.

2.21 Προσομοίωση των ασύρματων ad hoc δικτύων

Ένα βασικό πρόβλημα για τα ασύρματα ad hoc δίκτυα είναι η πρόβλεψη της ποικιλίας των πιθανών καταστάσεων που μπορεί να προκύψουν. Ως αποτέλεσμα, η Μοντελοποίηση και η Προσομοίωση χρησιμοποιώντας εκτεταμένη σάρωση παραμέτρων και ανάλυση περιπτώσεων ("what-if") καθίσταται εξαιρετικά σημαντικό υπόδειγμα για χρήση σε ad hoc δίκτυα. Παραδοσιακά εργαλεία Μοντελοποίησης-Προσομοίωσης περιλαμβάνουν τα NS2, το OPNET και το NetSim. Ωστόσο, τα εργαλεία αυτά επικεντρώνονται κυρίως στην προσομοίωση ολόκληρης της στοίβας πρωτοκόλλων του συστήματος. Αν και αυτό μπορεί να είναι σημαντικό για την απόδειξη της εννοιολογικής υλοποίησης των συστημάτων, δεν παύει να υφίσταται η ανάγκη μιας πιο προηγμένης μεθοδολογίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Εισαγωγή στις κατηγορίες Πρωτοκόλλων

Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα πραγματοποιηθεί μια έρευνα / αναφορά / ταξινόμηση για τα πρωτόκολλα δρομολόγησης, καθώς και η κατάταξή τους σε τέσσερις βασικές κατηγορίες:

- Δομή του Δικτύου (Network Structure),
- Μοντέλο Επικοινωνίας (Communication Model),
- Βασισμένα στην Τοπολογία (Topology Based)
- και Βασισμένα στην Αξιόπιστη Δρομολόγηση (Reliable Routing).

Επικεντρωνόμαστε στις τεχνικές που χρησιμοποιούν αυτά τα πρωτόκολλα για την δρομολόγηση των πακέτων, λαμβάνοντας υπόψη την ενέργεια που καταναλώνουν και πώς επιτυγχάνουν την ελαχιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης και την επέκταση της διάρκειας ζωής του δικτύου. Επίσης, αναφέρεται το ιστορικό της ανακάλυψης / χρήσης / ανάπτυξης τους και αναλύονται τα πλεονεκτήματα και οι αδυναμίες του κάθε πρωτοκόλλου.

3.1 Επιλογή Πρωτοκόλλου στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

Ο κύριοι στόχοι του σχεδιασμού των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι να μεταδίδουν τα δεδομένα από μια πηγή σε έναν προορισμό και να αυξάνουν τη διάρκεια ζωής του δικτύου. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την σχεδίαση και χρησιμοποίηση ενεργειακά αποδοτικών πρωτοκόλλων δρομολόγησης. Η απόδοση ενός πρωτοκόλλου δρομολόγησης εξαρτάται από την αρχιτεκτονική και το σχεδιασμό του δικτύου. Ωστόσο, η λειτουργία του πρωτοκόλλου μπορεί να επηρεάσει την ενέργεια που δαπανάται για τη μετάδοση των δεδομένων.

Οι αρχικές προσπάθειες για την ανάπτυξη ενεργειακά αποδοτικών κόμβων προέρχονται κυρίως από ακαδημαϊκά ιδρύματα. Την τελευταία δεκαετία όμως έχει εμφανιστεί μια σειρά από εμπορικές προσπάθειες, από εταιρείες που παρέχουν τη δυνατότητα σε κάποιον να αγοράσει συσκευές έτοιμες για χρήση σε μια ποικιλία σεναρίων εφαρμογής, μαζί με διάφορα εργαλεία διαχείρισης για τον προγραμματισμό, τη συντήρηση, και την απεικόνιση των δεδομένων.

Προκειμένου λοιπόν να αναπτυχθούν ενεργειακά αποδοτικές λύσεις έχουμε έρευνες που πραγματοποιούνται για την ανάπτυξη υλικού που χρησιμοποιείται στους κόμβους και για την ανάπτυξη πρωτοκόλλων δρομολόγησης που απαιτούν λιγότερη ενέργεια, με αποτέλεσμα την παράταση της διάρκειας ζωής του δικτύου. Η πιο απλή λύση είναι η μετάβαση του κόμβου σε χαμηλότερη λειτουργία όποτε το επιτρέπουν οι συνθήκες αλλά το μεγαλύτερο πρόβλημα σε αυτήν την περίπτωση είναι ο χρόνος και η κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται για την μετάβαση σε υψηλότερη λειτουργία δεν είναι αμελητέα. Έτσι λοιπόν απαιτούνται τεχνικές και πρωτόκολλα που θα εξετάσουν την ενεργειακή απόδοση και την μετάδοση πακέτων μέσω ενεργειακά αποδοτικών πρωτοκόλλων δρομολόγησης και επομένως την παράταση της διάρκειας ζωής του δικτύου.

Το μεγαλύτερο μέρος της κατανάλωσης ενέργειας, στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, δαπανάται σε τρεις βασικές δραστηριότητες:

- τη σάρωση,
- την επεξεργασία δεδομένων
- και την επικοινωνία.

Η αποστολή των πρωτοκόλλων έχει σαν σκοπό να βρει τη χαμηλότερη ενεργειακή διαδρομή από μια πηγή σε έναν προορισμό και τον πιο αποτελεσματικό τρόπο για να επεκτείνει τη διάρκεια ζωής του δικτύου.

Η συνεχής χρήση της χαμηλής ενεργειακά διαδρομής οδηγεί συχνά σε εξάντληση της ενέργειας των κόμβων κατά μήκος αυτής και μπορεί να οδηγήσει σε διχοτόμηση του δικτύου. Υπάρχουν κάποιοι όροι που σχετίζονται με την ενεργειακή απόδοση στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της απόδοσης των πρωτοκόλλων δρομολόγησης και εδώ είναι οι πιο σημαντικές :

- Ενέργεια ανά πακέτο. Η ποσότητα της ενέργειας που δαπανάται κατά την αποστολή ενός πακέτου από μια πηγή σε έναν προορισμό.
- Ενέργεια και αξιοπιστία. Ο τρόπος που επιτυγχάνεται μια ανταλλαγή μεταξύ διαφορετικών απαιτήσεων μιας εφαρμογής. Εξαιτίας έκτακτης ανάγκης μπορεί να δικαιολογηθεί μια αύξηση του κόστους της ενέργειας για την επιτάχυνση υποβολής τέτοιων γεγονότων ή για να αυξηθεί η επιτυχία μετάδοσης χρησιμοποιώντας πολλαπλά μονοπάτια.

- Διάρκεια ζωής του δικτύου. Η διάρκεια ζωής του δικτύου αντιστοιχεί στο χρόνο, κατά τον οποίο ο πρώτος κόμβος εξαντλεί την ενέργειά του ή ένα ορισμένο ποσοστό των κόμβων του δικτύου μείνουν από ενέργεια, ή ακόμα όλοι οι κόμβοι μείνουν από ενέργεια.
- Μέση κατανάλωση ενέργειας. Μέση κατανάλωση ενέργειας ανά κόμβο με την πάροδο του χρόνου στο δίκτυο, καθώς εκτελεί διάφορες λειτουργίες, όπως τη μετάδοση, λήψη, ανίχνευση και ομαδοποίηση των δεδομένων.
- Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Ένα ενεργειακό πρωτόκολλο πρέπει να καταναλώνει λιγότερη ενέργεια από ό,τι τα παραδοσιακά πρωτόκολλα. Ένα πρωτόκολλο που θα λαμβάνει υπόψη το επίπεδο ενέργειας των κόμβων και επιλέγει διαδρομές που μεγιστοποιούν τη διάρκεια ζωής του δικτύου θεωρείται ως ενεργειακά αποδοτικό πρωτόκολλο.
- Συνολικός αριθμός κόμβων σε λειτουργία. Δίνει μια εικόνα για την περιοχή κάλυψης του δικτύου.
- Συνολικός αριθμός των σημάτων δεδομένων που φτάνουν στο σταθμό βάσης. Αυτή είναι ισοδύναμη με την ενέργεια που εξοικονομείται από το πρωτόκολλο, αφού δε μεταδίδονται συνεχώς πακέτα δεδομένων τα οποία δεν απαιτούνται.
- Λόγος Παράδοσης Πακέτων. Ο λόγος του αριθμού των διακριτών πακέτων που φτάνουν στην βάση προς τον αριθμό των πακέτων που αποστέλλονται από τον κόμβο. Αυτή υποδηλώνει την αξιοπιστία της παράδοσης των δεδομένων.
- Χρόνος μέχρι ο πρώτος κόμβος να σβήσει από ενέργεια. Ο χρόνος αυτός δείχνει τη διάρκεια που όλοι οι κόμβοι στο δίκτυο είναι ενεργοί.
- Ενέργεια που καταναλώνεται ανά γύρο. Σχετίζεται με το συνολικό ποσό ενέργειας που δαπανάται στη δρομολόγηση μηνυμάτων σε ένα γύρο.
- Μέγεθος πακέτου. Το μέγεθος πακέτου καθορίζει το χρόνο που διαρκεί η μετάδοση.
- Απόσταση. Η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη μπορεί να επηρεάσει τη ενέργεια που απαιτείται για την αποστολή και λήψη πακέτων.

Ένα πραγματικό κρίσιμο ζήτημα είναι τα πρωτόκολλα δρομολόγησης να επιλέγουν τα συντομότερα μονοπάτια μεταξύ των κόμβων ώστε να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας.

Υπάρχουν διάφορες πολιτικές για την επιλογή της διαδρομής με υψηλή ενεργειακή απόδοση.

- Η πιο γνωστή πολιτική είναι η «πολιτική συγκέντρωση κλήσεων», η οποία δρομολογεί τα νέα πακέτα σε φορτωμένες συνδέσεις. Το πλεονέκτημα αυτής είναι ότι ευνοεί τα πακέτα υψηλού εύρους ζώνης και το βασικό της μειονέκτημα είναι ότι δεν χρησιμοποιεί κάποιες ζεύξεις, μειώνοντας έτσι τη συνδεσιμότητα του δικτύου.
- Η «πολιτική εξισορρόπησης φορτίου» από την άλλη, προσπαθεί να διαδώσει το φορτίο ομοιόμορφα μεταξύ των συνδέσεων. Αυτή η πολιτική αποφασίζει να δρομολογεί πακέτα σε μη φορτωμένες διαδρομές.
- Και η «πολιτική ελάχιστων βημάτων», δρομολογεί ένα πακέτο στο μονοπάτι ελάχιστων-βημάτων που πληροί τις απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης. Αυτό το είδος της πολιτικής είναι χρήσιμο σε ενεργειακά αποδοτικά ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.

Η πολιτική εξισορρόπησης φορτίου είναι μια καλή πολιτική επίδοσης σε όλες τις τοπολογίες. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η διαφορά μεταξύ της εξισορρόπησης φορτίου και των πολιτικών δρομολόγησης με ελάχιστα βήματα είναι πολύ μικρή.

3.2 Εξοικονόμηση Ενέργειας με την Επιλογή της Βέλτιστης Δρομολόγησης στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

Οι αλγόριθμοι δρομολόγησης σε συστήματα βασισμένα στην συντομότερη διαδρομή, υπολογίζουν τη συντομότερη διαδρομή από οποιοδήποτε κόμβο προς τον κόμβο προορισμού. Εάν το κόστος, αντί του μήκους, συνδέεται με κάθε σύνδεσμο, αυτοί οι αλγόριθμοι μπορούν επίσης να υπολογίζουν τις διαδρομές ελάχιστου κόστους. Αυτοί οι αλγόριθμοι μπορεί να είναι κεντρικοποιημένοι ή κατανεμημένοι. Ο σύνηθες τρόπος δρομολόγησης στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι η δρομολόγηση πακέτων στο μονοπάτι ελάχιστου κόστους από την πηγή μέχρι τον προορισμό.

3.3 Ελαχιστοποίηση των Επιβαρύνσεων στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

Σημαντική συνιστώσα της κατανάλωσης ενέργειας στους κόμβους αισθητήρων σε ένα WSN είναι η επιβάρυνση. Η αμέλεια της επιβάρυνσης σε αποφάσεις ενεργειακής δρομολόγησης μπορεί να οδηγήσει σε μη βέλτιστη χρήση της ενέργειας. Οι αλγόριθμοι δρομολόγησης θα πρέπει να επικεντρωθούν στην ελαχιστοποίηση της επιβάρυνσης για την εξοικονόμηση της ενέργειας που καταναλώνεται, σε κάθε βήμα

μετάδοσης δεδομένων μέσω του ασύρματου δικτύου. Η χρήση μικρότερων διαδρομών πολλαπλών βημάτων εμφανίζεται ως μια πιο συμφέρουσα λύση, αν υπολογίζεται η ενέργεια μετάδοσης μόνο ως το κόστος επικοινωνίας.

3.4 Παράγοντες που Επηρεάζουν τον Σχεδιασμό Πρωτοκόλλων Εξοικονόμησης Ενέργειας

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχουν διάφορους περιορισμούς που αφορούν, κυρίως, τα περιορισμένα αποθέματα ενέργειας, την περιορισμένη επεξεργαστική ισχύ και το περιορισμένο εύρος ζώνης των ασύρματων συνδέσεων μεταξύ των κόμβων αισθητήρων. Ένας από τους πιο σημαντικούς τους στόχους είναι η επικοινωνία δεδομένων ενώ παράλληλα προσπαθούν να συμβάλουν στη μακροβιότητα του δικτύου και να αποκλείσουν την διακοπή σύνδεση με τη χρήση τεχνικών διαχείρισης της ενέργειας.

Ο σχεδιασμός των ενεργειακά αποδοτικών πρωτοκόλλων δρομολόγησης στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες οι οποίοι πρέπει να υπολογιστούν για να μπορεί να επιτευχθεί αποτελεσματική επικοινωνία στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν το σχεδιασμό είναι οι εξής:

- Τοποθέτηση Κόμβων: Η λειτουργία που επηρεάζει την απόδοση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης και μπορεί να είναι είτε σχεδιασμένη ή τυχαία.
- Ετερογένεια Κόμβων: Η ύπαρξη ενός ετερογενούς συνόλου αισθητήρων δημιουργεί πολλά τεχνικά προβλήματα που σχετίζονται με την δρομολόγηση των δεδομένων τα οποία και πρέπει να ξεπεραστούν.
- Μοντέλο Αναφοράς Δεδομένων: Η ανίχνευση των δεδομένων, η μέτρηση και η αναφορά στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων εξαρτάται από την εφαρμογή και την κρισιμότητα των δεδομένων. Η αναφορά των στοιχείων μπορεί να είναι με βάση το χρόνο, το γεγονός, το ερώτημα ή υβριδική.

- Κατανάλωση Ενέργειας χωρίς Απώλεια Ακρίβειας: Σε αυτή την περίπτωση, οι μηχανισμοί ενεργειακής απόδοσης επικοινωνίας και επεξεργασίας δεδομένων είναι περισσότερο από αναγκαία.
- Επεκτασιμότητα: Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης πρέπει να είναι επεκτάσιμα ώστε να ανταποκρίνονται σε διάφορα γεγονότα, π.χ. σε μια τεράστια αύξηση των κόμβων αισθητήρων στο δίκτυο.
- Δυναμική Δικτύου: Είναι απαραίτητο σε πολλές εφαρμογές να ληφθεί υπόψη η κινητικότητα των κόμβων αισθητήρων, παρά το γεγονός ότι οι περισσότερες από τις αρχιτεκτονικές που έχουν προταθεί υποθέτουν ότι οι κόμβοι αισθητήρων είναι στατικοί.
- Ανοχή Σφαλμάτων: Το συνολικό έργο του δικτύου αισθητήρων δεν πρέπει να επηρεάζεται από την αστοχία κάποιων κόμβων αισθητήρων.
- Συνδεσιμότητα: Η συνδεσιμότητα των κόμβων αισθητήρων εξαρτάται από την κατανομή των κόμβων στο χώρο.
- Μέσο Μετάδοσης: Σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων με μετάδοση πληροφορίας με πολλαπλά βήματα, οι κόμβοι συνδέονται μέσω του ασύρματου μέσου. Μια προσέγγιση σχεδιασμού MAC για δίκτυα αισθητήρων είναι η χρήση πρωτοκόλλων TDMA που εξοικονομούν περισσότερη ενέργεια σε σύγκριση με τα πρωτόκολλα CSMA.
- Κάλυψη: Η περιοχή κάλυψης για κάθε αισθητήρα είναι περιορισμένη σε εύρος και σε ακρίβεια, το δίκτυο δηλαδή μπορεί να καλύψει μόνο ένα περιορισμένο φυσικό χώρο.
- Ποιότητα Υπηρεσίας: Τα δεδομένα πρέπει να παραδοθούν μέσα σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα. Ωστόσο, σε έναν αριθμό εφαρμογών, η διατήρηση της ενέργειας, η οποία είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη διάρκεια ζωής του δικτύου, θεωρείται σχετικά πιο σημαντική από την ποιότητα των δεδομένων που αποστέλλονται. Ως εκ τούτου, τα ενεργειακά αποδοτικά πρωτόκολλα δρομολόγησης πρέπει να τηρούν αυτή την απαίτηση.
- Συνάθροιση Δεδομένων: Η συνάθροιση δεδομένων είναι ο συνδυασμός δεδομένων από διαφορετικές πηγές, σύμφωνα με μια συγκεκριμένη συνάρτηση συνάθροισης.

3.5 Τεχνικές Δρομολόγησης στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

Η δρομολόγηση στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μπορεί να είναι πιο απαιτητική από ότι σε άλλα ασύρματα δίκτυα για τους εξής λόγους:

- Οι κόμβοι αισθητήρων απαιτούν προσεκτική διαχείριση των πόρων τους λόγω των περιορισμών σε διαθέσιμη ενέργεια, επεξεργασία και αποθήκευση.
- Οι κόμβοι στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι σταθεροί στην θέση τους και σαν επακόλουθο έχει τις προβλέψιμες και μη-συχνές τυπολογικές αλλαγές.
- Οι εφαρμογές των ασύρματων δικτύων αισθητήρων απαιτούν τη ροή των δεδομένων από πολλαπλές πηγές σε ένα συγκεκριμένο σταθμό βάσης.
- Οι απαιτήσεις σχεδιασμού ενός ασύρματου δικτύου εξαρτώνται από την εφαρμογή, επειδή τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων προσαρμόζονται στη συγκεκριμένη εφαρμογή.
- Η συλλογή δεδομένων επειδή είναι με βάση τη θέση, η γνώση της θέσης των κόμβων αισθητήρων είναι σημαντική. Η θέση τους εντοπίζετε με χρήση μεθόδων όπως ισχύ συχνότητας από μερικά γνωστά σημεία.

3.6 Πρωτόκολλα Βασισμένα στην Δομή του Δικτύου (Network Structure)

Η δομή του δικτύου συχνά καθορίζεται από την ομοιομορφία των κόμβων. Οι κόμβοι σε ορισμένα δίκτυα τοποθετούνται ομοιόμορφα, είναι ο ένας ίσος με τον άλλο. Πιο συγκεκριμένα, το κύριο χαρακτηριστικό των πρωτοκόλλων δρομολόγησης που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία είναι ο τρόπος που οι κόμβοι συνδέονται και δρομολογούν τις πληροφορίες βασιζόμενοι στην υποκείμενη αρχιτεκτονική. Αυτό δημιουργεί δύο τύπους τοποθέτησης κόμβων, στο ίδιο επίπεδο σύνδεσης και σε ιεραρχίες. Έτσι λοιπόν τα πρωτόκολλα αυτής της κατηγορίας μπορούν να ταξινομηθούν περαιτέρω ως εξής:

- Επίπεδα Πρωτόκολλα: Όλοι οι κόμβοι του δικτύου παίζουν τον ίδιο ρόλο. Η επίπεδη αρχιτεκτονική του δικτύου παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα, συμπεριλαμβανομένης της ελάχιστης επιβάρυνσης για τη διατήρηση της διαδρομής μεταξύ των επικοινωνούντων κόμβων.
- Ιεραρχικά Πρωτόκολλα: Τα πρωτόκολλα αυτά ακολουθούν μια δομή του δικτύου για την επίτευξη της ενεργειακής απόδοσης, τη σταθερότητα και την επεκτασιμότητα. Σε αυτή την κατηγορία πρωτοκόλλων, οι κόμβοι του

δικτύου οργανώνονται σε συμπλέγματα όπου ο κόμβος με την υψηλότερη στάθμη ενέργειας, για παράδειγμα, αναλαμβάνει το ρόλο του επικεφαλής του συμπλέγματος. Ο επικεφαλής του συμπλέγματος είναι υπεύθυνος για το συντονισμό των δραστηριοτήτων στο πλαίσιο του συμπλέγματος και τη διαβίβαση των πληροφοριών μεταξύ των συμπλεγμάτων. Η ομαδοποίηση των κόμβων έχει τη δυνατότητα να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας και να παρατείνει τη διάρκεια ζωής του δικτύου.

3.7 Πρωτόκολλα Βασισμένα στο Μοντέλο Επικοινωνίας (Communication Model)

Το μοντέλο επικοινωνίας σε ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης σχετίζεται με τον τρόπο που ακολουθείται η κύρια λειτουργία του πρωτοκόλλου για τη δρομολόγηση πακέτων στο δίκτυο. Τα πρωτόκολλα αυτά μπορούν να παραδώσουν περισσότερα δεδομένα για μία δεδομένη ποσότητα ενέργειας. Επίσης, όσον αφορά το ποσοστό διάδοσης και χρήσης της ενέργειας τα πρωτόκολλα αυτής της κατηγορίας μπορούν να εκτελέσουν πολύ κοντά στο θεωρητικό βέλτιστο από σημείο-σε-σημείο και σε δίκτυα ανοικτής εκπομπής. Το πρόβλημα είναι ότι δεν έχουν υψηλή αναλογία παράδοσης για τα δεδομένα που αποστέλλονται σε έναν προορισμό με αποτέλεσμα να μην εγγυώνται την παράδοση των δεδομένων.

Τα πρωτόκολλα αυτά μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:

- Πρωτόκολλα βασισμένα σε Ερωτήματα (Query-Based): Οι κόμβοι προορισμού διαδίδουν ένα ερώτημα για δεδομένα από έναν κόμβο μέσω του δικτύου και ο κόμβος που έχει τα δεδομένα στέλνει, αυτά που ταιριάζουν με το ερώτημα, πίσω στον κόμβο.
- Συνεκτικά και μη-Συνεκτικά Πρωτόκολλα (Coherent and Non-Coherent-Based): Στη συνεκτική δρομολόγηση, τα δεδομένα προωθούνται σε συναθροιστές μετά από μια ελάχιστη επεξεργασία. Στη μη-συνεκτική διαδικασία, οι κόμβοι επεξεργάζονται τοπικά τα ανεπεξέργαστα δεδομένα πριν αποσταλούν σε άλλους κόμβους για περαιτέρω επεξεργασία.
- Πρωτόκολλα βασισμένα στην διαπραγματεύση (Negotiation-Based): Χρησιμοποιούν τις διαπραγματεύσεις μετά-δεδομένων για να μειωθούν οι περιττές μεταδόσεις στο δίκτυο.

3.8 Πρωτόκολλα Βασισμένα στην Τοπολογία (Topology Based)

Τα πρωτόκολλα αυτά χρησιμοποιούν την αρχή ότι κάθε κόμβος σε ένα δίκτυο διατηρεί πληροφορίες τοπολογίας και ότι η κύρια διαδικασία της λειτουργίας του πρωτοκόλλου βασίζεται στην τοπολογία του δικτύου. Τα πρωτόκολλα αυτά μπορούν να ταξινομηθούν περαιτέρω ως εξής:

- Πρωτόκολλα βασισμένα στην θέση (Location-based): Τα πρωτόκολλα αυτά μπορεί να επωφεληθούν από τις πληροφορίες θέσης, προκειμένου να αναμεταδώσουν τα δεδομένα που έλαβαν μόνο σε ορισμένες περιοχές και όχι σε ολόκληρο το WSN. Τα πρωτόκολλα αυτής της κατηγορίας μπορούν να βρουν μια διαδρομή από μια πηγή σε έναν προορισμό με ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας των κόμβων αισθητήρων. Έχουν περιορισμένη δυνατότητα κλιμάκωσης σε περίπτωση που οι κόμβοι είναι κινητοί. Επίσης, ένας κόμβος πρέπει να γνωρίζει ή να μάθει για τις θέσεις των άλλων κόμβων.
- Πρωτόκολλα βασισμένα σε κινητούς πράκτορες (Mobile Agent-based): Τα συστήματα κινητών πρακτόρων έχουν ως κύριο συστατικό ένα κινητό μέσο, το οποίο μετακινείται μεταξύ των κόμβων ενός δικτύου εκτελώντας μια εργασία με βάση τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Τα πρωτόκολλα αυτά μπορεί να παρέχουν στο δίκτυο επιπλέον ευελιξία, καθώς και νέες δυνατότητες σε αντίθεση με τις συμβατικές λειτουργίες του WSN που βασίζονται στο μοντέλο πελάτη-εξυπηρετητή.

3.9 Πρωτόκολλα Βασισμένα στην Αξιόπιστη Δρομολόγηση (Reliable Routing)

Τα πρωτόκολλα αυτά είναι πιο ανθεκτικά σε προβληματικές διαδρομές είτε με την εύρεση εναλλακτικών διαδρομών ή πληρώντας ορισμένες παραμέτρους QoS, όπως η καθυστέρηση, η ενέργεια, και το εύρος ζώνης. Οι κόμβοι του δικτύου μπορεί να υποφέρουν το φόρτο της διατήρησης με χρήση πινάκων δρομολόγησης και μετρήσεων QoS σε κάθε κόμβο αισθητήρα. Τα πρωτόκολλα αυτά ταξινομούνται ως εξής:

- Πρωτόκολλα βασισμένα σε πολλαπλές διαδρομές (Multipath-Based): Επιτυγχάνουν την εξισορρόπηση του φορτίου και είναι πιο ανθεκτικά σε προβληματικές διαδρομές.
- Πρωτόκολλα βασισμένα στην ποιότητα υπηρεσίας (QoS-based): Το δίκτυο θα πρέπει να ισορροπήσει μεταξύ της κατανάλωσης ενέργειας και της

ποιότητας της υπηρεσίας. Κάθε φορά που ο σταθμός βάσης θέλει δεδομένα από τους κόμβους στο δίκτυο, η μετάδοση θα πρέπει να καλύψει συγκεκριμένα επίπεδα ποιότητας.

3.10 Σύγκριση μεταξύ των κατηγοριών δρομολόγησης

Το κύριο χαρακτηριστικό των πρωτοκόλλων δρομολόγησης που βασίζονται στην δομή του δικτύου είναι ο τρόπος που οι κόμβοι συνδέονται και ασκούν επιρροή για την δρομολόγηση των πληροφοριών.

Ωστόσο, στο μοντέλο επικοινωνίας, το κύριο χαρακτηριστικό των πρωτοκόλλων είναι ο τρόπος που εκτελείται μια απόφαση δρομολόγησης, χωρίς να βασίζεται κυρίως στη δομή του δικτύου.

Επιπλέον, υπάρχουν κάποια πρωτόκολλα που εκτός από το μοντέλο επικοινωνίας που χρησιμοποιούν για τη μετάδοση δεδομένων, λαμβάνουν υπόψη και την τοπολογία του δικτύου. Λειτουργούν χωρίς πίνακες δρομολόγησης, και ανά τακτά χρονικά διαστήματα μεταδίδουν μηνύματα HELLO για να μπορούν οι γείτονες να γνωρίζουν τις θέσεις τους.

Κάποια από τα πρωτόκολλα χρησιμοποιούν πράκτορες για να μεταφέρουν τα δεδομένα και να μειώσουν τις ενεργειακές δαπάνες των κόμβων. Τέλος, υπάρχει μια κατηγορία πρωτοκόλλων που εκτός της ενεργειακής απόδοσης τείνουν να παρέχουν αξιόπιστη δρομολόγηση δεδομένων. Αυτό το επιτυγχάνουν, είτε με την παροχή πολλαπλών διαδρομών από την πηγή στον προορισμό ή από την εφαρμογή QoS για την κύρια δραστηριότητα δρομολόγησης τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Πρωτόκολλα Βασισμένα στην Δομή του Δικτύου

Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε και θα αναλύσουμε τα Πρωτόκολλα Βασισμένα στην Δομή του Δικτύου

4.1 Επίπεδα Πρωτόκολλα Δρομολόγησης (Flat Protocols)

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης για επίπεδα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μπορεί να ταξινομηθούν, σύμφωνα με τη στρατηγική δρομολόγησης, σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Προληπτικά (Pro-active),
- Αντιδραστικά (Re-active) και
- Υβριδικά (Hybrid).

Αυτά τα πρωτόκολλα διαφέρουν μεταξύ τους και δεν παρουσιάζουν τα ίδια χαρακτηριστικά, αν και έχουν σχεδιαστεί για το ίδιο τύπο δικτύου.

4.2 Προληπτικά (Pro-active) ή (Table-Driven) Πρωτόκολλα Δρομολόγησης

Proactive Πρωτόκολλα Δρομολόγησης

Διάφορα θέματα προκύπτουν από τη στιγμή που ένας κόμβος θέλει να επικοινωνήσει με κάποιον άλλο στο δίκτυο, ακόμα και αν το πρωτόκολλο πρόσβασης μέσου είναι κατάλληλο να διαχειριστεί αποδοτικά τις απευθείας μεταδόσεις ανάμεσα στους κόμβους. Το σοβαρότερο ζήτημα που πρέπει να λυθεί είναι η εύρεση της διαδρομής ανάμεσα στους κόμβους έτσι ώστε πακέτα που δημιουργούνται από μια εφαρμογή σε μία πηγή τελικά να φθάσουν στον προορισμό τους. Σαφώς, αυτό το πρόβλημα δρομολόγησης δεν διαφέρει στη διατύπωσή του από τα κλασικά προβλήματα δρομολόγησης στα παραδοσιακά ενσύρματα δίκτυα. Εκείνο που διαφέρει, είναι το δυναμικό περιβάλλον των κατά περίπτωση δικτύων με αποτέλεσμα κάποιες από τις παραδοσιακές επιλογές να μην είναι πλέον αποδοτικές και να καθίστανται μη εφαρμόσιμες. Σκοπός του παρόντος κεφαλαίου είναι να δώσει μία περιγραφή των σημαντικότερων πρωτοκόλλων δρομολόγησης που έχουν προταθεί για τα κατά περίπτωση δίκτυα,

δίνοντας έμφαση σε εκείνες τις ιδιότητές τους που συσχετίζονται άμεσα με τις ιδιομορφίες του περιβάλλοντος.

4.3 Εισαγωγικά

Σε γενικές γραμμές, ο σκοπός ενός πρωτοκόλλου δρομολόγησης είναι καταλήξει σε μία διαδρομή (path) ανάμεσα σε δύο κόμβους στο δίκτυο (οι οποίοι στη συνέχεια θα ονομάζονται πομπός και δέκτης). Δεδομένου πως οι διαδρομές μπορεί να είναι πολλές, ο σκοπός είναι η τελικά επιλεγόμενη διαδρομή να είναι η μικρότερη δυνατή. Αν δανειστούμε την ορολογία της θεωρίας των γράφων, πρόκειται τελικά για την εύρεση ενός ελαχίστου μονοπατιού ανάμεσα σε δύο κόμβους. Στα κατά περίπτωση δίκτυα ενδιαφέρει η εύρεση ενός ελάχιστου μονοπατιού με καταναμημένο τρόπο λόγω της εγγενούς καταναμημένης φύσης των δικτύων αυτών. Αναφορικά με την πραγματοποίηση της επικοινωνίας ανάμεσα σε δύο κόμβους, γίνεται η υπόθεση πως στην πηγή δημιουργούνται δεδομένα με τη μορφή πακέτων. Κάθε πακέτο περιέχει κάποια πληροφορία ελέγχου που βρίσκεται στην κεφαλίδα (header) του. Η εν λόγω πληροφορία ελέγχου μπορεί να αναφέρεται σε διάφορους παράγοντες (π.χ., ο αριθμός των αλμάτων

από την πηγή μέχρι την τρέχουσα θέση, η διεύθυνση της πηγής, η θύρα της εφαρμογής, το υπερκείμενο πρωτόκολλο κ.ά.) αλλά θα περιλαμβάνει σίγουρα τη διεύθυνση του παραλήπτη. Σημειώνεται πως στα κατά περίπτωση δίκτυα κάθε κόμβος του δικτύου μπορεί να παίξει τον ρόλο του δρομολογητή διατηρώντας έναν πίνακα διαδρομών (routing table). Είναι, λοιπόν, δυνατόν ένα πακέτο δεδομένων να προωθείται κάθε φορά με βάση τα δεδομένα του πίνακα δρομολόγησης του εκάστοτε κόμβου. Το ζήτημα τελικά ανάγεται στη δημιουργία του πίνακα αυτού ώστε τελικά το πακέτο να προωθηθεί σωστά προς τον προορισμό μέσω ενός ελάχιστου μονοπατιού. Αξίζει να σημειωθεί πως ο τρόπος δημιουργίας των πινάκων δρομολόγησης αλλάζει ανάλογα με τον αλγόριθμο που υλοποιεί το εκάστοτε πρωτόκολλο δρομολόγησης.

Παραδοσιακά, υπάρχουν δύο κατηγορίες: των διανυσμάτων απόστασης (distance vector) και των καταστάσεων ζεύξης (link state).

4.4 Διανύσματα Αποστάσεων

Η βασική ιδέα είναι διατηρείται σε κάθε κόμβο πληροφορία σχετική με την απόσταση ανάμεσα στον κόμβο αυτό και κάθε άλλο κόμβο στο δίκτυο διαμέσου κάθε γειτονικού κόμβου. Τελικά επιλέγεται ως κόμβος προς τον οποίο θα προωθηθεί ένα πακέτο δεδομένων εκείνος για τον οποίο η απόσταση είναι η μικρότερη. Με τον τρόπο αυτό, το κάθε πακέτο δεδομένων πραγματικά θα καταλήξει στον προορισμό του μέσω ενός ελάχιστου μονοπατιού.

Το βασικό πρόβλημα είναι να δημιουργηθεί ο πίνακας δρομολόγησης που να περιέχει αυτή την πληροφορία, ενώ η ίδια η πληροφορία απαιτείται να είναι πρόσφατη προκειμένου να μην δημιουργείται πρόβλημα από τις τυχόν αλλαγές του δικτυακού περιβάλλοντος. Για τον λόγο αυτό, κάθε κόμβος παρακολουθεί ανά τακτά χρονικά διαστήματα την κατάσταση των ζεύξεών του με τους γειτονικούς του κόμβους, ενημερώνει ανάλογα τον πίνακα δρομολόγησής του με τις νέες του εκτιμήσεις για το την απόσταση με κάθε προορισμό και στη συνέχεια διαχέει την πληροφορία αυτή στους γειτονικούς του κόμβους.

Ο προηγούμενος αλγόριθμος αποτελεί ουσιαστικά τον κατανεμημένο αλγόριθμο δρομολόγησης των Bellman-Ford. Ο αλγόριθμος αυτός, αν και απλός, έχει ένα ιδιαίτερα σημαντικό μειονέκτημα: υπάρχει το ενδεχόμενο της δημιουργίας βρόχων όταν οι ενημερώσεις αναφορικά με μεταβολές στο δίκτυο είναι ελλιπείς. Είναι σαφές πως αυτό το μειονέκτημα είναι ιδιαίτερα σημαντικό στα κατά περίπτωση δίκτυο όπου οι αλλαγές στην τοπολογία είναι κατά βάση ο κανόνας.

4.5 Κατάσταση Ζεύξεων

Αυτή η προσέγγιση είναι ιδιαίτερα κεντρικοποιημένη. Κάθε κόμβος διατηρεί μια 'άποψη' της τοπολογίας (κόμβοι, ζεύξεις ανάμεσά τους και κόστη αυτών) ενώ περιοδικά διαχέει σε όλο το δίκτυο τα κόστη των ζεύξεών του με γειτονικούς κόμβους χρησιμοποιώντας κάποιο πρωτόκολλο πλημμυρίδας. Καθώς κάποιος κόμβος λαμβάνει την πληροφορία αυτή, ενημερώνει την 'άποψή' του σχετικά με την τοπολογία και εφαρμόζει κάποιον αλγόριθμο ελάχιστου μονοπατιού (π.χ., τον γνωστό αλγόριθμο του Dijkstra) προκειμένου να επιλέξει τον επόμενο κόμβο όταν προωθεί τα προς μετάδοση πακέτα.

Παρόλα αυτά, είναι δυνατόν κάποιο κομμάτι πληροφορίας να μην είναι σωστό τη στιγμή κατά την οποία καταφτάνει σε έναν κόμβο εξαιτίας της

καθυστερήσης των μεταδόσεων μέσα στο δίκτυο. Συνεπώς, εξακολουθεί να είναι ορατός ο κίνδυνος της δημιουργίας βρόχων στο δίκτυο.

4.6 Proactive Πρωτόκολλα

Είναι δυνατόν να γίνει μία κατηγοριοποίηση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης σε Proactive (ή Table-Driven) και Reactive (ή On-Demand). Το χαρακτηριστικό στοιχείο της πρώτης κατηγορίας είναι πως διατηρούν πληροφορίες δρομολόγησης (τον πίνακα δρομολόγησης ουσιαστικά), έτσι ώστε τη στιγμή κατά την οποία θα χρειαστεί, να είναι έτοιμη προς απόδοση.

Στον αντίποδα, η δεύτερη κατηγορία ανακτά από το δίκτυο πληροφορίες δρομολόγησης μόνο όταν αυτό ζητηθεί (στην πλειοψηφία των περιπτώσεων από την πηγή των δεδομένων).

Σημειώνεται πως τα πρωτόκολλα της πρώτης κατηγορίας βασίζονται στην ίδια λογική με τα διανύσματα αποστάσεων και κατάσταση ζεύξεων που παρουσιάστηκαν προηγουμένως.

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός πρωτοκόλλων που εντάσσονται στην πρώτη κατηγορία αλλά εδώ θα επικεντρωθούμε στο Destination Sequenced Distance Vector (DSDV) πρωτόκολλο, και στο Wireless Routing Protocol (WRP). Σαν proactive πρωτόκολλα και τα δύο συνεχώς αποτιμούν τις διαδρομές και προσπαθούν να διατηρήσουν συνεπείς και ενημερωμένες πληροφορίες δρομολόγησης. Όταν μια διαδρομή χρειάζεται, τότε ενδέχεται να είναι ήδη διαθέσιμη με αποτέλεσμα να μην χρειάζεται να περιμένουν τα δεδομένα μέχρι να καθοριστεί η διαδρομή. Όταν η τοπολογία του δικτύου αλλάζει, το πρωτόκολλο αντιδρά με τη διάχυση πληροφορίας ενημέρωσης στο δίκτυο ώστε να ενημερωθούν όλοι οι κόμβοι και να προβούν στις ανάλογες αλλαγές στους πίνακες δρομολόγησής τους.

Τα proactive πρωτόκολλα έχουν το πλεονέκτημα πως οι διαδρομές είναι διαθέσιμες άπαξ και χρειαστούν. Επειδή το πρωτόκολλο συνεχώς ενημερώνει τον πίνακα διαδρομών του κόμβου για τις όλες τις διαδρομές, όταν καταφθάσει κάποιο πακέτο που πρέπει να προωθηθεί, τότε ο κόμβος απλά ελέγχει τον πίνακα και αποφασίζει για τον γείτονα προς τον οποίο θα προωθήσει τελικά το πακέτο. Όμως, το μεγάλο πρόβλημα αφορά τον αριθμό των μηνυμάτων ελέγχου που διαχέονται στο δίκτυο, ο οποίος είναι ιδιαίτερα υψηλός με αποτέλεσμα να σπαταλούνται πόροι του συστήματος για τη μετάδοση μηνυμάτων ελέγχου αντί να

χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση δεδομένων. Επιπλέον, ο όγκος της πληροφορίας που απαιτείται να διατηρείται τοπικά σε κάθε κόμβο, κλιμακώνεται με τον αριθμό N των κόμβων που είναι παρόντες στο δίκτυο (είναι $O(N)$) με προφανείς αρνητικές επιπτώσεις καθώς το N μεγαλώνει. Σαν ένα πρώτο συμπέρασμα, λοιπόν, μπορεί να διατυπωθεί ο ισχυρισμός πως τα proactive πρωτόκολλα είναι κατάλληλα για περιβάλλοντα στα οποία είναι παρόν ένας μεγάλος αριθμός ροών δεδομένων, γιατί τότε η επιβάρυνση (overhead) για τη διατήρηση των πινάκων δρομολόγησης δικαιολογείται από τον όγκο των προς μετάδοση δεδομένων.

Αυτός ο τύπος πρωτοκόλλων διατηρεί νέους καταλόγους προορισμών και των διαδρομών τους διανέμοντας περιοδικά τους πίνακες δρομολόγησης σε όλο το δίκτυο. Τα κύρια μειονεκτήματα τέτοιων αλγορίθμων είναι:

- Αντίστοιχη ποσότητα δεδομένων για συντήρηση.
- Αργή αντίδραση στις αναδιαρθρώσεις και τις αποτυχίες.

4.7 LSR - Link State Routing Πρωτόκολλο

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης link-state είναι μία από τις δύο κύριες κατηγορίες πρωτοκόλλων δρομολόγησης που χρησιμοποιούνται σε δίκτυα μεταγωγής πακέτων για επικοινωνίες μέσω υπολογιστή, ενώ το άλλο είναι πρωτόκολλα δρομολόγησης διάνυσμα εξ αποστάσεως. Παραδείγματα πρωτοκόλλων δρομολόγησης σύνδεσης-συνδέσεων περιλαμβάνουν το Open Shortest Path First (OSPF) και το ενδιάμεσο σύστημα στο ενδιάμεσο σύστημα (IS-IS).

Το πρωτόκολλο σύνδεσης-κατάστασης εκτελείται από κάθε κόμβο μεταγωγής στο δίκτυο (δηλαδή, οι κόμβοι που είναι έτοιμοι να προωθούν τα πακέτα στο Διαδίκτυο, αυτοί ονομάζονται δρομολογητές). Η βασική έννοια της σύνδεσμος-state δρομολόγησης είναι ότι κάθε κόμβος κατασκευάζει ένα χάρτη του σύνδεσης με το δίκτυο, με τη μορφή ενός γραφήματος, δείχνει ποιοι κόμβοι συνδέονται σε ποιες άλλους κόμβους. Κάθε κόμβος υπολογίζει αυτόματα την επόμενη βέλτιστη λογική διαδρομή από αυτόν σε κάθε πιθανό προορισμό στο δίκτυο. Κάθε συλλογή καλύτερων διαδρομών θα διαμορφώσει στη συνέχεια τον πίνακα δρομολόγησης κάθε κόμβου.

Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τα πρωτόκολλα δρομολόγησης διάνυσμα εξ αποστάσεως, τα οποία λειτουργούν έχοντας κάθε κόμβο να μοιράζεται τον πίνακα

δρομολόγησης με τους γείτονές του. Σε ένα πρωτόκολλο σύνδεσης-σύνδεσης, η μόνη πληροφορία που μεταφέρεται μεταξύ των κόμβων είναι σχετική με τη συνδεσιμότητα. Οι αλγόριθμοι κατάστασης σύνδεσης χαρακτηρίζονται μερικές φορές ανεπίσημα ως κάθε δρομολογητής, "λέγοντας στον κόσμο για τους γείτονές του".

Αυτό που πιστεύεται ότι είναι το πρώτο προσαρμοστικό δίκτυο δρομολόγησης υπολογιστών, χρησιμοποιώντας τη δρομολόγηση link-state ως καρδιά του, σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε κατά τη διάρκεια του 1976-77 από μια ομάδα από το Radar Plessey με επικεφαλής τον Bernard J Harris. το έργο ήταν για το "Wavell" - ένα σύστημα ελέγχου και ελέγχου ηλεκτρονικών υπολογιστών για τον Βρετανικό Στρατό.

Η πρώτη ιδέα δρομολόγησης συνδέσμου-κράτους δημοσιεύθηκε το 1979 από τον John M. McQuillan (στη συνέχεια, από τους Bolt, Beranek και Newman) ως μηχανισμό που θα υπολογίζει τα δρομολόγια ταχύτερα όταν μεταβάλλονται οι συνθήκες δικτύου και συνεπώς οδηγούν σε πιο σταθερή δρομολόγηση.

Οι μεταγενέστερες εργασίες στην BBN Technologies έδειξαν πώς να χρησιμοποιήσουν την τεχνική της σχέσης-κατάσταση σε ένα ιεραρχικό σύστημα (δηλ. Ένα στο οποίο το δίκτυο χωρίστηκε σε περιοχές) έτσι ώστε κάθε κόμβος μεταγωγής να μην χρειάζεται χάρτη ολόκληρου του δικτύου, μόνο η περιοχή s) στην οποία περιλαμβάνεται. [παραπομπή που απαιτείται]

Η τεχνική προσαρμόστηκε αργότερα για χρήση στα σύγχρονα πρωτόκολλα δρομολόγησης link-state IS-IS και OSPF. Η βιβλιογραφία της Cisco αναφέρεται στο πρωτόκολλο διευρυμένης δρομολόγησης εσωτερικής πύλης (EIGRP) ως ένα "υβριδικό" πρωτόκολλο, παρά το γεγονός ότι διανέμει πίνακες δρομολόγησης αντί για χάρτες τοπολογίας. Ωστόσο, συγχρονίζει τους πίνακες δρομολόγησης κατά την εκκίνηση ως OSPF και αποστέλλει συγκεκριμένες ενημερώσεις μόνο όταν συμβαίνουν αλλαγές τοπολογίας.

Το 2004, η Radia Perlman πρότεινε τη χρήση δρομολόγησης συνδέσμων για τη διαβίβαση πλαισίου στρώματος 2 με συσκευές που ονομάζονται γέφυρες δρομολόγησης ή Rbridges. Η Task Force για την τεχνολογία του Διαδικτύου έχει τυποποιήσει τη διαφανή διασύνδεση πολλών συνδέσμων (TRILL) για την επίτευξη αυτού του στόχου.

Πιο πρόσφατα, αυτή η ιεραρχική τεχνική εφαρμόστηκε σε ασύρματα δίκτυα mesh χρησιμοποιώντας το βελτιστοποιημένο πρωτόκολλο δρομολόγησης

σύνδεσης (OLSR). Όταν μια σύνδεση μπορεί να έχει διαφορετική ποιότητα, η ποιότητα μιας σύνδεσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επιλογή καλύτερων συνδέσεων. Αυτό χρησιμοποιείται σε ορισμένα πρωτόκολλα δρομολόγησης που χρησιμοποιούν μετάδοση ραδιοσυχνοτήτων.

Το 2012, το IEEE ολοκλήρωσε και ενέκρινε την τυποποίηση της χρήσης του IS-IS για τον έλεγχο της προώθησης Ethernet με τη συντομότερη διέλευση πορείας IEEE 802.1aq (SPB).

Διανομή χαρτών : Αυτή η περιγραφή καλύπτει μόνο την απλούστερη διαμόρφωση. δηλ. ένα χωρίς περιοχές, έτσι ώστε όλοι οι κόμβοι να έχουν έναν χάρτη ολόκληρου του δικτύου. Η ιεραρχική περίπτωση είναι κάπως πιο περίπλοκη. δείτε τις διάφορες προδιαγραφές πρωτοκόλλου.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το πρώτο κύριο στάδιο στον αλγόριθμο σύνδεσης-κατάστασης είναι να δοθεί ένας χάρτης του δικτύου σε κάθε κόμβο. Αυτό γίνεται με διάφορα δευτερεύοντα βήματα.

Προσδιορισμός των γειτόνων του κάθε κόμβου : Κατ 'αρχάς, κάθε κόμβος πρέπει να καθορίσει ποιες άλλες θύρες είναι συνδεδεμένες, πάνω από τους πλήρως λειτουργικούς συνδέσμους. το κάνει χρησιμοποιώντας ένα πρωτόκολλο προσβασιμότητας το οποίο εκτελεί περιοδικά και ξεχωριστά με κάθε έναν από τους άμεσα συνδεδεμένους γείτονές του.

Διανομή των πληροφοριών για το χάρτη : Στη συνέχεια, κάθε κόμβος περιοδικά (και σε περίπτωση αλλαγής συνδεσιμότητας) στέλνει ένα σύντομο μήνυμα, το link-state διαφήμιση, το οποίο :

- Προσδιορίζει τον κόμβο που την παράγει.
- Αναγνωρίζει όλους τους άλλους κόμβους (είτε δρομολογητές ή δίκτυα) στους οποίους συνδέεται άμεσα.
- Περιλαμβάνει έναν αριθμό ακολουθίας, ο οποίος αυξάνεται κάθε φορά που ο κόμβος προέλευσης δημιουργεί μια νέα έκδοση του μηνύματος.

Αυτό το μήνυμα αποστέλλεται σε όλους τους γείτονες του κόμβου. Ως απαραίτητος πρόδρομος, κάθε κόμβος στο δίκτυο θυμάται, για κάθε έναν από τους γείτονές του, τον αριθμό ακολουθίας του τελευταίου μηνύματος κατάστασης σύνδεσης που έλαβε από αυτόν τον κόμβο. Όταν μια διαφήμιση κατάστασης σύνδεσης λαμβάνεται σε έναν κόμβο, ο κόμβος αναζητά τον αριθμό ακολουθίας που έχει αποθηκεύσει για την πηγή αυτού του μηνύματος κατάστασης σύνδεσης:

Εάν αυτό το μήνυμα είναι νεότερο (δηλαδή έχει υψηλότερο αριθμό ακολουθίας), αποθηκεύεται, και ένα αντίγραφο αποστέλλεται με τη σειρά του σε κάθε γείτονα αυτού του κόμβου. Αυτή η διαδικασία παίρνει γρήγορα ένα αντίγραφο της τελευταίας έκδοσης της διαφήμισης κατάστασης σύνδεσης κάθε κόμβου σε κάθε κόμβο του δικτύου.

Τα δίκτυα που εκτελούν αλγόριθμους κατάστασης συνδέσμων μπορούν επίσης να χωριστούν σε ιεραρχίες που περιορίζουν το πεδίο των αλλαγών της διαδρομής. Αυτά τα χαρακτηριστικά σημαίνουν ότι οι αλγόριθμοι κατάστασης σύνδεσης βελτιώνονται καλύτερα σε μεγαλύτερα δίκτυα.

Δημιουργία του χάρτη : Τέλος, με το πλήρες σύνολο διαφημίσεων κατάστασης σύνδεσης (ένα από κάθε κόμβο στο δίκτυο) στο χέρι, κάθε κόμβος παράγει το γράφημα για το χάρτη του δικτύου. Ο αλγόριθμος επαναλαμβάνει τη συλλογή διαφημίσεων κατάστασης σύνδεσης. για κάθε μία, κάνει συνδέσμους στο χάρτη του δικτύου, από τον κόμβο που έστειλε αυτό το μήνυμα, σε όλους τους κόμβους που αυτό το μήνυμα υποδεικνύει ότι είναι γείτονες του κόμβου αποστολής.

Κανένας σύνδεσμος δεν θεωρείται ότι έχει αναφερθεί σωστά εκτός εάν συμφωνήσουν οι δύο άκρες. δηλ. εάν ένας κόμβος αναφέρει ότι είναι συνδεδεμένος σε άλλο, αλλά ο άλλος κόμβος δεν αναφέρει ότι είναι συνδεδεμένος με τον πρώτο κόμβο, υπάρχει πρόβλημα και ο σύνδεσμος δεν περιλαμβάνεται στο χάρτη.

Υπολογισμός του πίνακα δρομολόγησης : Όπως αναφέρθηκε αρχικά, το δεύτερο κύριο στάδιο στον αλγόριθμο σύνδεσης-κατάστασης είναι η παραγωγή πινάκων δρομολόγησης, με την επιθεώρηση των χαρτών. Αυτό γίνεται πάλι με μερικά βήματα.

Υπολογισμός των μικρότερων διαδρομών : Κάθε κόμβος εκτελεί ανεξάρτητα έναν αλγόριθμο πάνω στον χάρτη για να προσδιορίσει τη μικρότερη διαδρομή από τον εαυτό του σε κάθε άλλο κόμβο του δικτύου. γενικά χρησιμοποιείται κάποια παραλλαγή του αλγορίθμου Dijkstra. Αυτό βασίζεται σε ένα κόστος συνδέσμου σε κάθε διαδρομή, το οποίο περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, διαθέσιμο εύρος ζώνης.

Ένας κόμβος διατηρεί δύο δομές δεδομένων: ένα δέντρο που περιέχει κόμβους που έχουν «γίνει», και μια λίστα υποψηφίων. Ο αλγόριθμος αρχίζει και

με τις δύο δομές κενές. Στη συνέχεια προσθέτει στον πρώτο τον ίδιο τον κόμβο. Η παραλλαγή ενός άπληστου αλγορίθμου κάνει συνέχεια τα εξής:

Όλοι οι γειτονικοί κόμβοι που είναι απευθείας συνδεδεμένοι με τον κόμβο προστίθενται στο δέντρο (εξαιρουμένων των κόμβων που βρίσκονται ήδη στο δέντρο ή στην λίστα υποψηφίων). Τα υπόλοιπα προστίθενται στη δεύτερη (υποψήφια) λίστα.

Κάθε κόμβος στον κατάλογο υποψηφίων συγκρίνεται με κάθε κόμβο που βρίσκεται ήδη στο δέντρο. Ο υποψήφιος κόμβος ο οποίος βρίσκεται πιο κοντά σε οποιονδήποτε από τους κόμβους που βρίσκονται ήδη στο δέντρο μεταφέρεται από μόνη της στο δέντρο και προσαρτάται στον κατάλληλο κόμβο γειτόνων. Όταν ένας κόμβος μετακινείται από την λίστα υποψηφίων στο δέντρο, αφαιρείται από τον κατάλογο υποψηφίων και δεν εξετάζεται σε επόμενες επαναλήψεις του αλγορίθμου.

Τα παραπάνω δύο βήματα επαναλαμβάνονται εφόσον υπάρχουν κόμβοι που απομένουν στον κατάλογο υποψηφίων. (Όταν δεν υπάρχουν, όλοι οι κόμβοι στο δίκτυο θα έχουν προστεθεί στο δέντρο.) Η διαδικασία αυτή τελειώνει με το δέντρο που περιέχει όλους τους κόμβους στο δίκτυο, με τον κόμβο στον οποίο λειτουργεί ο αλγόριθμος ως ρίζα του δέντρου. Η συντομότερη διαδρομή από αυτόν τον κόμβο σε οποιονδήποτε άλλο κόμβο υποδεικνύεται από τη λίστα των κόμβων που ο ένας διασχίζει για να πάρει από τη ρίζα του δέντρου στον επιθυμητό κόμβο στο δέντρο.

Συμπλήρωση του πίνακα δρομολόγησης : Με τα μικρότερα μονοπάτια στο χέρι, το επόμενο βήμα είναι να συμπληρώσετε τον πίνακα δρομολόγησης. Για κάθε δεδομένο κόμβο προορισμού, η καλύτερη διαδρομή για αυτόν τον προορισμό είναι ο κόμβος που είναι το πρώτο βήμα από τον κόμβο ρίζας, κάτω από τον κλάδο στο δέντρο της μικρότερης διαδρομής που οδηγεί προς τον επιθυμητό κόμβο προορισμού. Για να δημιουργήσετε τον πίνακα δρομολόγησης, είναι απαραίτητο μόνο να περπατήσετε το δέντρο, θυμόμαστε την ταυτότητα του κόμβου στο κεφάλι κάθε κλάδου και συμπληρώνοντας την καταχώρηση πίνακα δρομολόγησης για κάθε κόμβο συναντάμε με αυτήν την ταυτότητα.

Βελτιστοποιήσεις στον αλγόριθμο : Ο αλγόριθμος που περιγράφηκε παραπάνω έγινε όσο το δυνατόν πιο απλός, ώστε να διευκολυνθεί η κατανόηση. Στην πράξη, υπάρχουν ορισμένες βελτιστοποιήσεις που χρησιμοποιούνται.

Μερική ανασύνθεση :

Κάθε φορά που αλλάζει ο χάρτης συνδεσιμότητας, είναι απαραίτητο να επανασυναρμολογήσετε το δέντρο της συντομότερης διαδρομής και, στη συνέχεια, να δημιουργήσετε ξανά τον πίνακα δρομολόγησης. Οι εργασίες από την BBN Technologies ανακαλύψαν πως θα μπορούσαμε να επαναπροσδιορίσουμε μόνο το τμήμα του δέντρου το οποίο θα μπορούσε να επηρεαστεί από μια δεδομένη αλλαγή στο χάρτη. Επίσης, ο πίνακας δρομολόγησης κανονικά θα συμπληρώνεται καθώς υπολογίζεται το δέντρο της μικρότερης διαδρομής, αντί να το κάνει ξεχωριστό.

Μείωση Τοπολογίας :

Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι λογικό να μειωθεί ο αριθμός των κόμβων που δημιουργούν μηνύματα LSA. Για παράδειγμα, ένας κόμβος που έχει μόνο μία σύνδεση με το γράφημα δικτύου δεν χρειάζεται να στείλει μηνύματα LSA, καθώς οι πληροφορίες σχετικά με την ύπαρξή του θα μπορούσαν ήδη να συμπεριληφθούν στο μήνυμα LSA του μόνο γείτονα. Για το λόγο αυτό μπορεί να εφαρμοστεί μια στρατηγική μείωσης τοπολογίας, στην οποία μόνο ένα υποσύνολο των κόμβων του δικτύου δημιουργεί μηνύματα LSA. Δύο ευρέως μελετημένες προσεγγίσεις για τη μείωση τοπολογίας είναι:

Τα MultiPoint Relays που βρίσκονται στη βάση του πρωτοκόλλου OLSR αλλά έχουν επίσης προταθεί για το OSPF

Συνδεδεμένα δεσπύζοντα σύνολα που έχουν προταθεί και πάλι για το OSPF

Κατάσταση δρομολόγησης Fisheye : Με το FSR, τα LSA αποστέλλονται με διαφορετικές τιμές TTL, προκειμένου να περιορίσουν τη διάχυσή τους και να περιορίσουν τα γενικά έξοδα που οφείλονται στα μηνύματα ελέγχου. Η ίδια ιδέα χρησιμοποιείται επίσης στο Πρωτόκολλο δρομολόγησης του Hazy Sighted Link.

Λειτουργίες αποτυχίας : Εάν όλοι οι κόμβοι δεν λειτουργούν από ακριβώς τον ίδιο χάρτη, μπορούν να σχηματιστούν βρόχοι δρομολόγησης. Αυτές είναι καταστάσεις στις οποίες, στην απλούστερη μορφή, δύο γειτονικοί κόμβοι το καθένα θεωρούν ότι ο άλλος είναι ο καλύτερος δρόμος προς έναν συγκεκριμένο προορισμό. Οποιοδήποτε πακέτο κατευθύνεται προς τον προορισμό που φτάνει σε κάθε κόμβο, θα βρεθεί μεταξύ των δύο, εξ ου και το όνομα. Οι βρόχοι δρομολόγησης που περιλαμβάνουν περισσότερους από δύο κόμβους είναι επίσης δυνατοί.

Αυτό μπορεί να συμβεί αφού κάθε κόμβος υπολογίζει το δέντρο της συντομότερης πορείας και τον πίνακα δρομολόγησης του, χωρίς να αλληλεπιδρά

με κανέναν τρόπο με άλλους κόμβους. Εάν δύο κόμβοι ξεκινούν με διαφορετικούς χάρτες, είναι δυνατό να υπάρχουν σενάρια στα οποία δημιουργούνται βρόχοι δρομολόγησης.

4.8 HSR - Hierarchical State Routing Πρωτόκολλο

Βελτίωση του LSR με την προσθήκη ιεραρχικού routing. Χωρίζει τους σταθμούς σε δύο επίπεδα, κρατώντας πληροφορίες ανά επίπεδο.

Η ιεραρχική δρομολόγηση είναι μια μέθοδος δρομολόγησης σε δίκτυα που βασίζεται σε ιεραρχική διεύθυνση.

Η περισσότερη δρομολόγηση πρωτοκόλλου ελέγχου πρωτοκόλλου / πρωτόκολλο Internet (TCP / IP) βασίζεται σε μια ιεραρχική δρομολόγηση δύο επιπέδων στην οποία μια διεύθυνση IP χωρίζεται σε ένα τμήμα δικτύου και ένα τμήμα κεντρικού υπολογιστή. Οι πύλες χρησιμοποιούν μόνο το τμήμα δικτύου έως ότου ένα πακέτο δεδομένων IP φτάσει σε μια πύλη που μπορεί να την παραδώσει απευθείας. Πρόσθετα επίπεδα ιεραρχικής δρομολόγησης εισάγονται με την προσθήκη υποδικτύων.

Η ιεραρχική δρομολόγηση είναι η διαδικασία τακτοποίησης δρομολογητών με ιεραρχικό τρόπο. Ένα καλό παράδειγμα θα ήταν να εξετάσουμε ένα εταιρικό [διαδίκτυο]. Τα περισσότερα εταιρικά intranets αποτελούνται από ένα δίκτυο ραχοκοκαλιάς υψηλής ταχύτητας. Συνδέονται με αυτή τη ραχοκοκαλιά είναι οι δρομολογητές που με τη σειρά τους συνδέονται με μια συγκεκριμένη ομάδα εργασίας. Αυτές οι ομάδες εργασίας καταλαμβάνουν ένα μοναδικό τοπικό δίκτυο. Ο λόγος για τον οποίο πρόκειται για μια καλή ρύθμιση είναι ότι, παρόλο που μπορεί να υπάρχουν δεκάδες διαφορετικές ομάδες εργασίας, το εύρος (το μέγιστο count hop για να πάρει από ένα host σε οποιονδήποτε άλλο κεντρικό υπολογιστή στο δίκτυο) είναι 2. Ακόμη και αν οι ομάδες εργασίας διαιρέσουν το LAN μικρότερα διαμερίσματα, το εύρος μπορεί να αυξηθεί μόνο σε 4 σε αυτό το συγκεκριμένο παράδειγμα.

Λαμβάνοντας υπόψη εναλλακτικές λύσεις με κάθε δρομολογητή που συνδέεται με κάθε άλλο δρομολογητή ή εάν κάθε δρομολογητής ήταν συνδεδεμένος σε 2 δρομολογητές, δείχνει την ευκολία της ιεραρχικής δρομολόγησης. Μειώνει την πολυπλοκότητα της τοπολογίας του δικτύου, αυξάνει την απόδοση δρομολόγησης και προκαλεί πολύ λιγότερη συμφόρηση λόγω λιγότερων διαφημίσεων δρομολόγησης. Με ιεραρχική δρομολόγηση, μόνο δρομολογητές πυρήνα

συνδεδεμένοι με τη ραχοκοκαλιά γνωρίζουν όλες τις διαδρομές. Οι δρομολογητές που βρίσκονται μέσα σε ένα δίκτυο LAN γνωρίζουν μόνο τις διαδρομές στο τοπικό δίκτυο. Οι μη αναγνωρισμένοι προορισμοί μεταβιβάζονται στην προεπιλεγμένη διαδρομή.

4.9 OLSR - Πρωτόκολλο δρομολόγησης βελτιστοποιημένης σύνδεσης σύνδεσης για δίκτυα ad hoc για κινητά

Το πρωτόκολλο δρομολόγησης βελτιστοποιημένης σύνδεσης σύνδεσης (OLSR) είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης IP βελτιστοποιημένο για δίκτυα κινητών ad hoc, τα οποία μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε άλλα ασύρματα ad hoc δίκτυα. Το OLSR είναι ένα πρωταρχικό πρωτόκολλο δρομολόγησης σύνδεσης-κράτους, το οποίο χρησιμοποιεί μηνύματα hello και topology control (TC) για να ανακαλύψει και να διαδώσει τις πληροφορίες κατάστασης σύνδεσης σε όλο το δίκτυο ad hoc για κινητά. Οι μεμονωμένοι κόμβοι χρησιμοποιούν αυτές τις πληροφορίες τοπολογίας για τον υπολογισμό των επόμενων προορισμών hop για όλους τους κόμβους του δικτύου χρησιμοποιώντας τις μικρότερες διαδρομές προώθησης λυκίσκου.

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης Link-State όπως το Open Shortest Path First (OSPF) και το IS-IS επιλέγουν έναν καθορισμένο δρομολογητή σε κάθε σύνδεσμο για να πραγματοποιήσουν πλημμύρες των πληροφοριών τοπολογίας. Στα ασύρματα δίκτυα ad hoc, υπάρχει διαφορετική έννοια ενός συνδέσμου, τα πακέτα μπορούν και εξέρχονται από την ίδια διεπαφή. Ως εκ τούτου, απαιτείται μια διαφορετική προσέγγιση για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας πλημμυρών. Χρησιμοποιώντας τα μηνύματα Hello, το πρωτόκολλο OLSR σε κάθε κόμβο ανακαλύπτει πληροφορίες γείτονα 2-hop και εκτελεί μια κατανεμημένη εκλογή ενός συνόλου σημείων πολλαπλών σημείων (MPRs). Οι κόμβοι επιλέγουν MPRs έτσι ώστε να υπάρχει μια διαδρομή προς κάθε γείτονά τους 2-hop μέσω ενός κόμβου που έχει επιλεγεί ως MPR. Αυτοί οι κόμβοι MPR, στη συνέχεια, προωθούν και προωθούν τα μηνύματα TC που περιέχουν τους επιλογείς MPR. Αυτή η λειτουργία των MPR καθιστά το OLSR μοναδικό από άλλα πρωτόκολλα δρομολόγησης συνδέσεων κατάστασης με λίγους διαφορετικούς τρόπους: Η διαδρομή προώθησης για μηνύματα TC δεν μοιράζεται μεταξύ όλων των κόμβων αλλά ποικίλει ανάλογα με την πηγή, μόνο ένα υποσύνολο πηγών πληροφοριών

συνδέσμου προέλευσης κόμβων, οι σύνδεσμοι ενός κόμβου διαφημίζονται αλλά μόνο εκείνοι που αντιπροσωπεύουν τις επιλογές MPR.

Δεδομένου ότι η δρομολόγηση σύνδεσης-θέσης απαιτεί συγχρονισμό της βάσης δεδομένων τοπολογίας σε όλο το δίκτυο, τα OSPF και IS-IS εκτελούν υπερχειλίση τοπολογίας χρησιμοποιώντας αξιόπιστο αλγόριθμο. Ένας τέτοιος αλγόριθμος είναι πολύ δύσκολο να σχεδιαστεί για ad hoc ασύρματα δίκτυα, έτσι OLSR δεν ενοχλεί με αξιοπιστία? απλώς πλημμυρίζει τα δεδομένα τοπολογίας αρκετά συχνά για να βεβαιωθεί ότι η βάση δεδομένων δεν παραμένει ασύγχρονη για παρατεταμένες χρονικές περιόδους.

Πολλαπλών σημείων (MPRs) μεταδίδουν μηνύματα μεταξύ κόμβων. Έχουν επίσης τον κύριο ρόλο στη δρομολόγηση και την επιλογή της κατάλληλης διαδρομής από οποιαδήποτε πηγή σε οποιονδήποτε επιθυμητό κόμβο προορισμού.

Οι MPR διαφημίζουν περιοδικά στα μηνύματα ελέγχου τις πληροφορίες κατάστασης σύνδεσης για τους επιλογείς MPR (έναν κόμβο που έχει επιλεγεί ως MPR). Οι MPR χρησιμοποιούνται επίσης για να σχηματίσουν μια διαδρομή από έναν δεδομένο κόμβο σε οποιοδήποτε προορισμό στον υπολογισμό της διαδρομής. Κάθε κόμβος εκπέμπει περιοδικά ένα μήνυμα Hello για τις διαδικασίες ανίχνευσης συνδέσεων, ανίχνευσης γειτόνων και επιλογής MPR.

Οφέλη : Ως προορατικό πρωτόκολλο, οι διαδρομές σε όλους τους προορισμούς εντός του δικτύου είναι γνωστές και διατηρούνται πριν από τη χρήση. Έχοντας διαθέσιμες τις διαδρομές μέσα στον τυπικό πίνακα δρομολόγησης μπορεί να είναι χρήσιμη σε ορισμένα συστήματα και εφαρμογές δικτύου, καθώς δεν υπάρχει καθυστέρηση εντοπισμού διαδρομής που να συνδέεται με την εύρεση μιας νέας διαδρομής.

Η γενική ροή που δημιουργείται, ενώ είναι γενικά μεγαλύτερη από αυτή ενός αντιδραστικού πρωτοκόλλου, δεν αυξάνεται με τον αριθμό των διαδρομών που δημιουργούνται.

Οι προεπιλεγμένες και οι διαδρομές δικτύου μπορούν να εισάγονται στο σύστημα με μηνύματα HNA που επιτρέπουν τη σύνδεση στο διαδίκτυο ή σε άλλα δίκτυα εντός του cloud OLSR MANET. Οι διαδρομές δικτύου είναι κάτι που αντιδραστικά πρωτόκολλα δεν εκτελούν αυτή τη στιγμή καλά.

Οι τιμές χρονικού ορίου και οι πληροφορίες εγκυρότητας περιέχονται μέσα στα μηνύματα που μεταδίδουν πληροφορίες επιτρέποντας τη χρήση διαφορετικών τιμών χρονομέτρου σε διαφορετικούς κόμβους.

Ο αρχικός ορισμός του OLSR δεν περιλαμβάνει καμία διάταξη για την ανίχνευση της ποιότητας της σύνδεσης. απλώς υποθέτει ότι ένας σύνδεσμος είναι επάνω εάν έχουν ληφθεί πρόσφατα ορισμένα πακέτα hello. Αυτό προϋποθέτει ότι οι συνδέσεις είναι διτροπικές (είτε λειτουργούν είτε αποτυγχάνουν), κάτι που δεν συμβαίνει απαραίτητα στην περίπτωση των ασύρματων δικτύων, όπου οι συνδέσεις συχνά παρουσιάζουν ενδιάμεσες απώλειες πακέτων. Εφαρμογές όπως το OLSRd ανοιχτού κώδικα (που χρησιμοποιούνται συνήθως σε δρομολογητές πλέγματος με βάση το Linux) έχουν επεκταθεί (από το 0.4.8) με την ανίχνευση ποιότητας συνδέσεων.

Ως ενεργό πρωτόκολλο, το OLSR χρησιμοποιεί πόρους ενέργειας και δικτύου για τη διάδοση δεδομένων σχετικά με ενδεχόμενες αχρησιμοποίητες διαδρομές. Ενώ αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα για ενσύρματα σημεία πρόσβασης και φορητούς υπολογιστές, το OLSR καθιστά ακατάλληλο για δίκτυα αισθητήρων που προσπαθούν να κοιμηθούν τις περισσότερες φορές. Για τα μικρής κλίμακας σημεία ενσύρματης πρόσβασης με χαμηλή ισχύ CPU, το έργο OLSRd ανοιχτού κώδικα έδειξε ότι μεγάλα δίκτυα mesh μπορούν να λειτουργούν με OLSRd σε χιλιάδες κόμβους με ελάχιστη ισχύ CPU σε ενσωματωμένες συσκευές 200 MHz.

Το πρωτόκολλο σύνδεσης-κατάστασης, το OLSR απαιτεί λογικά μεγάλο εύρος ζώνης και ισχύ CPU για τον υπολογισμό των βέλτιστων διαδρομών στο δίκτυο. Στα τυπικά δίκτυα όπου χρησιμοποιείται το OLSR (τα οποία σπάνια ξεπερνούν μερικές εκατοντάδες κόμβους), αυτό δεν φαίνεται να αποτελεί πρόβλημα.

Χρησιμοποιώντας μόνο MPRs για την πληροφόρηση σχετικά με την τοπολογία των πλημμυρών, OLSR καταργεί μέρος της πλεονασμού της διαδικασίας πλημμύρας, γεγονός που μπορεί να είναι ένα πρόβλημα σε δίκτυα με μέτρια έως μεγάλα ποσοστά απώλειας πακέτων - ωστόσο, ο μηχανισμός MPR είναι αυτοκαθοριζόμενος σε περίπτωση απώλειας πακέτων, ορισμένοι κόμβοι που δεν θα είχαν ξαναμεταφέρει ένα πακέτο, μπορούν να το πράξουν).

Το OLSR χρησιμοποιεί τα μηνύματα "Hello" για να βρει τους γείτονές του ενός λυκίσκου και τους δύο γείτονές του με τις απαντήσεις τους. Ο αποστολέας μπορεί στη συνέχεια να επιλέξει τα πολυδιάστατα ρελέ (MPR) με βάση τον κόμβο

ενός hop που προσφέρει τις καλύτερες διαδρομές στους δύο κόμβους hop. Κάθε κόμβος έχει επίσης ένα σετ επιλογής MPR, ο οποίος απαριθμεί κόμβους που το έχουν επιλέξει ως κόμβο MPR. Το OLSR χρησιμοποιεί μηνύματα ελέγχου τοπολογίας (TC) μαζί με την προώθηση MPR για τη διάδοση πληροφοριών γειτονιάς σε όλο το δίκτυο. Τα μηνύματα υποδοχής και σύνδεσης δικτύου (HNA) χρησιμοποιούνται από την OLSR για τη διάδοση διαφημίσεων διαδρομής δικτύου με τον ίδιο τρόπο που τα μηνύματα TC διαφημίζουν τις διαδρομές υποδοχής.

Hello

0										1										2										3	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
Reserved										Htime										Willigness											
Link Code					Reserved					Link Message Size																					
Neighbor Interface Address																															
Neighbor Interface Address																															
..																															
Link Code					Reserved					Link Message Size																					
Neighbor Interface Address																															
Neighbor Interface Address																															

Topology control (TC)

0										1										2										3	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
ANSN										Reserved																					
Advertised Neighbor Main Address																															
Advertised Neighbor Main Address																															

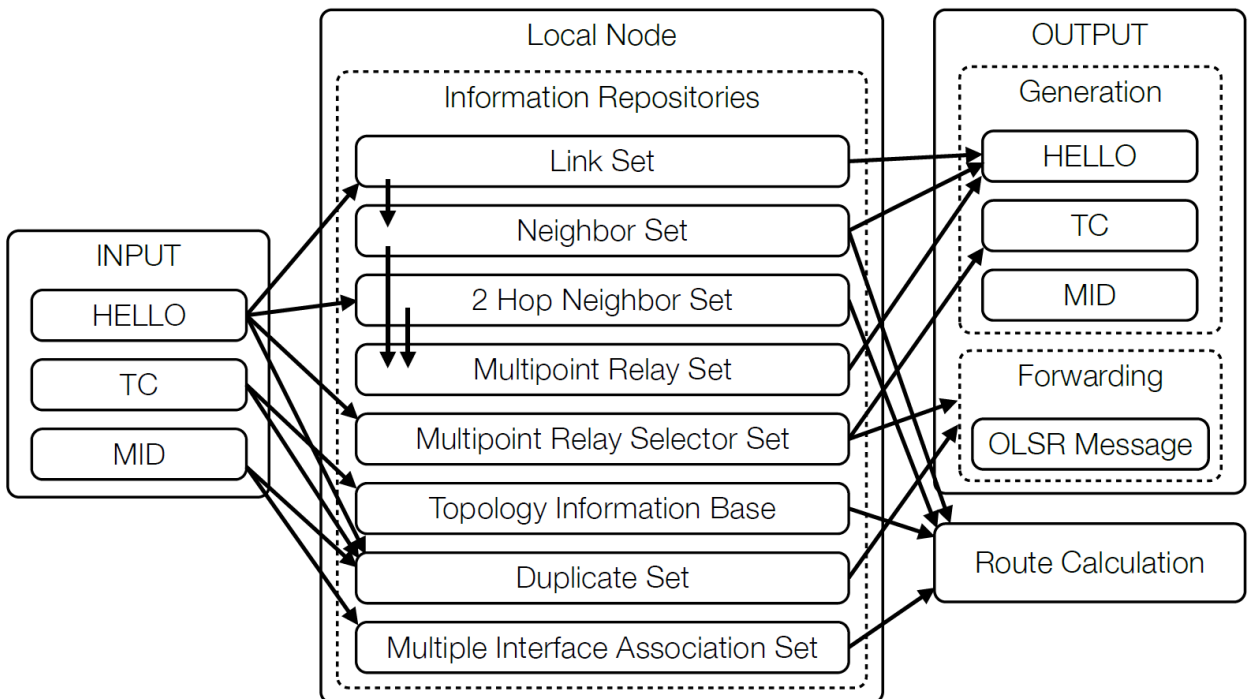
Εικόνα 4.1

Το πρόβλημα της δρομολόγησης σε ασύρματα δίκτυα ad hoc διερευνάται ενεργά και το OLSR δεν είναι παρά μία από τις προτεινόμενες λύσεις. Για πολλούς, δεν είναι σαφές εάν χρειάζεται ένα ολόκληρο πρωτόκολλο ή εάν το OSPF μπορεί να επεκταθεί με υποστήριξη για ασύρματες διεπαφές.

Σε περιβάλλοντα με μεγάλο εύρος ζώνης και χωρίς πηγή ενέργειας, είναι ενδιαφέρον να διατηρείται το δίκτυο σιωπηλό όταν δεν υπάρχει κίνηση προς δρομολόγηση. Τα πρωτόκολλα ενεργητικής δρομολόγησης δεν διατηρούν δρομολόγια, αλλά τα κατασκευάζουν κατόπιν ζήτησης. Δεδομένου ότι τα πρωτόκολλα σύνδεσης-συνδέσεων απαιτούν συγχρονισμό βάσεων δεδομένων,

τα πρωτόκολλα αυτά συνήθως χρησιμοποιούν την προσέγγιση διανυσματικών αποστάσεων, όπως στην περίπτωση των AODV και DSDV, ή περισσότερες ad hoc προσεγγίσεις που δεν δημιουργούν απαραίτητα βέλτιστες διαδρομές, όπως Dynamic Routing Source.

OLSRv2 : Το OLSRv2 δημοσιεύθηκε από τον IETF τον Απρίλιο του 2014. Διατηρεί πολλά από τα βασικά χαρακτηριστικά του πρωτοτύπου συμπεριλαμβανομένης της επιλογής και της διάδοσης του MPR. Οι βασικές διαφορές είναι η ευελιξία και ο αρθρωτός σχεδιασμός που χρησιμοποιούν τα κοινόχρηστα στοιχεία: πακέτο μορφής πακέτου και το πρωτόκολλο ανακάλυψης γειτονιάς NHDP. Αυτά τα στοιχεία σχεδιάζονται για να είναι κοινά μεταξύ των πρωτοκόλλων IETF MANET επόμενης γενιάς. Υπάρχουν επίσης διαφορές στο χειρισμό πολλαπλών κόμβων με διευθύνσεις και διεπαφές μεταξύ OLSR και OLSRv2.



Εικόνα 4.2

FSR - FishEye State Routing

-Multi-level scope routing με χρήση πινάκων.

-Κάθε σταθμός μεταδίδει περιοδικά πακέτα ανακάλυψης διαδρομών που έχουν κάποιο συγκεκριμένο όριο hops.

-Όσο μεγαλύτερο το όριο των hops τόσο μικρότερη και η συχνότητα μετάδοσης τέτοιων πακέτων. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται το overhead που εισάγει κάθε τυπικός μηχανισμός routing.

4.10 DSDV - Πρωτόκολλο Δρομολόγησης με πρόβλεψη μη δημιουργίας φαινόμενων βρόγχου

Το Destination Sequenced Distance Vector (DSDV) πρωτόκολλο δρομολόγησης, στηρίζεται και αυτό στον κλασικό κατανεμημένο αλγόριθμο των Bellman-Ford αλλά με πρόβλεψη ώστε να μην δημιουργούνται φαινόμενα βρόγχου και η συμπεριφορά του πρωτοκόλλου να είναι όσο το δυνατόν πιο κατάλληλη για ένα περιβάλλον κατά περίπτωση δικτύων.

Η βασική ιδέα του DSDV είναι η χρήση ενός αύξοντα αριθμού για κάθε κόμβο προκειμένου να αποφευχθεί το πρόβλημα των βρόχων. Ένας κόμβος αυξάνει τον αύξοντα αριθμό του όποτε λαμβάνει χώρα κάποια αλλαγή στη γειτονιά του (π.χ., δημιουργία, αποκοπή ή μεταβολή μιας ζεύξης). Με τον τρόπο αυτό, όταν θα πρέπει κάποιος κόμβος να αποφασίσει για την κατεύθυνση που θα πρέπει να προωθήσει τα δεδομένα, θα επιλέξει εκείνη τη διαδρομή για την οποία ο αύξοντας αριθμός είναι μεγαλύτερος (δηλαδή την πιο πρόσφατη).

Από τη στιγμή που το DSDV είναι ένα proactive πρωτόκολλο, κάθε κόμβος διατηρεί μία διαδρομή για κάθε άλλο κόμβο στο δίκτυο. Ο πίνακας δρομολογήσεων περιέχει για κάθε στοιχείο του πληροφορία σχετικά με τη διεύθυνση (IP) του κόμβου προορισμού, τον αύξοντα αριθμό προορισμού, τη διεύθυνση (IP) του επόμενου κόμβου, έναν μετρητή αλμάτων και τον χρόνο εγκατάστασης (install time).

Το DSDV υλοποιεί περιοδικές αλλά και κατόπιν απαίτησης ενημερώσεις. Ειδικότερα, κατά τακτά χρονικά διαστήματα κάθε κόμβος διαχέει προς του γείτονές του τον τρέχοντα αύξοντα αριθμό του μαζί με τις ενημερώσεις (updates) του πίνακα δρομολόγησης. Οι τελευταίες αποτελούνται από τη διεύθυνση (IP) του προορισμού, τον αύξοντα αριθμό του προορισμού και τον μετρητή αλμάτων. Αφού λάβει τις ενημερώσεις, ο κάθε γειτονικός κόμβος χρησιμοποιεί την πληροφορία αυτή για να ενημερώσει τον δικό του πίνακα δρομολόγησης. Σημειώνεται πως στην περίπτωση μιας σημαντικής αλλαγής στο δίκτυο (π.χ., πρόσθεση μιας ζεύξης) τότε ο κόμβος που το αντιλήφθηκε ενημερώνει άμεσα τον

πίνακα δρομολόγησής του και στέλνει τις ενημερώσεις στους γειτονικούς κόμβους δίχως να περιμένει να έρθει η επόμενη χρονική στιγμή που ήταν προγραμματισμένη μια τέτοια ενημέρωση. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται καλύτερη χρονική απόκριση στις αλλαγές του δικτύου. Έχει ήδη αναφερθεί πως όταν κάποιος κόμβος πρέπει να επιλέξει μια διαδρομή, παίζει ρόλο ο μικρότερος αύξοντας αριθμός του προορισμού. Στην περίπτωση που ο αριθμός αυτός είναι ο ίδιος (που σημαίνει πως το μήνυμα ήρθε μέσα από διαφορετικές διαδρομές του δικτύου), τότε επιλέγεται εκείνη η διαδρομή για την οποία ο μετρητής των αλμάτων είναι ο μεγαλύτερος. Αν ο τελευταίος είναι και αυτός ο ίδιος, τότε ο κόμβος μπορεί να επιλέξει οποιαδήποτε από τις δύο διαδρομές.

Υπάρχουν δύο μηχανισμοί που χρησιμοποιεί το DSDV πρωτόκολλο δρομολόγησης προκειμένου να βελτιώσει την απόδοσή του. Ο πρώτος μηχανισμός αφορά τη χρήση δύο διαφορετικών ειδών μηνυμάτων προκειμένου να μεταδίδονται οι ενημερώσεις των πινάκων δρομολόγησης στο δίκτυο. Το πρώτο είδος μηνυμάτων επιτρέπει τη μετάδοση ολόκληρου του πίνακα δρομολόγησης. Επειδή όμως το μέγεθος αυτών των μηνυμάτων εξαρτάται από τον αριθμό των κόμβων N στο δίκτυο, δεν χρησιμοποιούνται συχνά. Στη θέση τους μεταδίδονται μηνύματα τα οποία απλά περιέχουν μόνο τις αλλαγές που έλαβαν χώρα από την προηγούμενη ενημέρωση.

Ο δεύτερος μηχανισμός που χρησιμοποιείται αφορά την εισαγωγή χρονικών ορίων προκειμένου να αποφευχθούν πολλαπλές ενημερώσεις στο δίκτυο εξαιτίας του ασύγχρονου τρόπου λειτουργίας του. Ειδικότερα, απαιτείται κάθε κόμβος να περιμένει ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα πριν αποστείλει τις ενημερώσεις στους άλλους κόμβους. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν ενημερώσεις που έρχονται από άλλες κατευθύνσεις αλλά αφορούν την ίδια κατάσταση να ληφθούν συνολικά υπόψη ώστε να μην προκαλέσουν επιπλέον ενημερώσεις.

Για παράδειγμα, ο πίνακας δρομολόγησης του κόμβου A σε αυτό το δίκτυο είναι

Destination	Next Hop	Number of Hops	Sequence Number	Install Time
A	A	0	A 46	002000
B	B	1	B 36	002200
C	B	2	C 28	002500

Εικόνα 4.3 Πίνακας Δρομολόγησης

Φυσικά ο πίνακας περιέχει περιγραφή όλων των πιθανών διαδρομών που είναι προσβάσιμες από τον κόμβο A, μαζί με το επόμενο hop, τον αριθμό του λυκίσκου και τον αριθμό ακολουθίας.

Εάν ένας δρομολογητής λαμβάνει νέες πληροφορίες, τότε χρησιμοποιεί τον τελευταίο αριθμό ακολουθίας. Εάν ο αριθμός ακολουθίας είναι ο ίδιος με αυτόν που υπάρχει ήδη στον πίνακα, χρησιμοποιείται η διαδρομή με την καλύτερη μετρική. Οι παλιές καταχωρήσεις είναι αυτές που δεν έχουν ενημερωθεί για λίγο. Τέτοιες καταχωρήσεις καθώς και οι διαδρομές που χρησιμοποιούν αυτούς τους κόμβους ως επόμενο λυκίσκο διαγράφονται.

Πλεονεκτήματα : Η διαθεσιμότητα διαδρομών σε όλους τους προορισμούς στο δίκτυο δείχνει πάντα ότι απαιτείται λιγότερη καθυστέρηση στη διαδικασία ρύθμισης διαδρομής.

Η μέθοδος σταδιακής ενημέρωσης με ετικέτες αριθμών ακολουθίας, σηματοδοτεί τα υπάρχοντα πρωτόκολλα ενσύρματου δικτύου προσαρμόσιμα σε ασύρματα δίκτυα Ad-hoc. Επομένως, όλο το διαθέσιμο πρωτόκολλο ενσύρματου δικτύου μπορεί να είναι χρήσιμο σε ad hoc ασύρματα δίκτυα με λιγότερες τροποποιήσεις.

Μειονεκτήματα : Το DSDV απαιτεί τακτικές ενημερώσεις των πινάκων δρομολόγησης, οι οποίες καταναλώνουν ενέργεια μπαταρίας και ένα μικρό εύρος ζώνης ακόμη και όταν το δίκτυο είναι αδρανές.

Κάθε φορά που αλλάζει η τοπολογία του δικτύου, απαιτείται ένας νέος αριθμός ακολουθίας πριν το δίκτυο συγκλίνει εκ νέου. Έτσι, το DSDV δεν είναι κατάλληλο για δίκτυα υψηλής δυναμικής ή μεγάλης κλίμακας. (Όπως σε όλα τα πρωτόκολλα διανυσματικών αποστάσεων, αυτό δεν διαταράσσει την κυκλοφορία σε περιοχές του δικτύου που δεν ενδιαφέρονται για την αλλαγή τοπολογίας).

Ενώ το ίδιο το DSDV δεν φαίνεται να χρησιμοποιείται πολύ σήμερα, άλλα πρωτόκολλα έχουν χρησιμοποιήσει παρόμοιες τεχνικές. Το καλύτερο γνωστό πρωτόκολλο διανυσματικής απόστασης είναι το AODV, το οποίο, λόγω του ότι

είναι ένα αντιδραστικό πρωτόκολλο, μπορεί να χρησιμοποιήσει απλούστερα heuristics αλληλουχίας. Η Babel είναι μια προσπάθεια να καταστεί η DSDV πιο ισχυρή, πιο αποτελεσματική και πιο ευρέως εφαρμόσιμη, ενώ παραμένει στο πλαίσιο των ενεργών πρωτοκόλλων.

4.11 WRP - Ασύρματο Πρωτόκολλο Δρομολόγησης

Το χαρακτηριστικό στοιχείο του Wireless Routing Protocol (WRP) πρωτοκόλλου δρομολόγησης, αφορά τον τρόπο με τον οποίο αποφεύγει τη δημιουργία βρόχων. Στο πρωτόκολλο αυτό οι κόμβοι στέλνουν πληροφορία αναφορικά με την απόσταση αλλά και τα ενδιάμεσα άλματα μεταξύ πηγής και προορισμού. Το πρόβλημα της δημιουργίας βρόχων αποτρέπεται με την επιβολή σε κάθε κόμβο της εξονυχιστικής εξέτασης της πληροφορίας που υπάρχει ήδη μέσω των γειτονικών κόμβων.

Στο πρωτόκολλο αυτοί οι κόμβοι μαθαίνουν την ύπαρξη των γειτόνων τους με τη λήψη μηνυμάτων επιβεβαίωσης (acknowledgments) και άλλων μηνυμάτων. Αν ένας κόμβος δεν στέλνει δεδομένα θα πρέπει να στείλει ένα HELLO μήνυμα μέσα σε ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα ώστε να διασφαλιστεί το γεγονός της ύπαρξης συνδεσιμότητας (π.χ., για να μην νομίσουν οι γείτονες πως δεν υπάρχει σύνδεση μαζί του από τη στιγμή που καμιά μετάδοση που τον αφορά δεν λαμβάνει χώρα). Όταν ένας κόμβος λάβει το HELLO μήνυμα από έναν νέο κόμβο, πληροφορία σχετικά με αυτόν τον νέο κόμβο προστίθεται στον πίνακα δρομολόγησης του κόμβου και στέλνεται στον νέο κόμβο ένα αντίγραφο.

Το WRP λειτουργεί με τη βοήθεια τεσσάρων πινάκων. Ένας περιέχει τις αποστάσεις (δηλαδή των αριθμό των αλμάτων) ανάμεσα σε δύο κόμβους στο δίκτυο. Ένας δεύτερος είναι ουσιαστικά ο πίνακας δρομολόγησης: αναφέρεται στον γείτονα που πρέπει να προωθεί ένα πακέτο αναφορικά με τον προορισμό του. Ένας τρίτος πίνακας περιέχει πληροφορία σχετικά με τη χρονική καθυστέρηση των ζεύξεων. Ο τελευταίος πίνακας διατηρεί πληροφορία σχετική με τις επαναμεταδόσεις των μηνυμάτων: έναν αύξοντα αριθμό, ένα μετρητή επαναμεταδόσεων, ένα διάνυσμα των επιβεβαιώσεων και μία λίστα των ενημερώσεων που στάλθηκαν με το μήνυμα ενημέρωσης. Τέλος, στην ίδια λογική με το DSDV υπάρχουν περιοδικές ενημερώσεις του δικτύου ώστε να αντιμετωπίζονται τυχόν αλλαγές.

4.12 TBRPF - Πρωτόκολλο βασιζόμενο στην Τοπολογία Διάδοσης Αντίστροφου Μονοπατιού

Το πρωτόκολλο TBRPF μεταδίδει μόνο τις διαφορές μεταξύ της προηγούμενης κατάστασης και της τρέχουσας κατάστασης του δικτύου. Αυτό οδηγεί σε μικρότερα μηνύματα δρομολόγησης, που μπορεί να αποσταλούν πιο συχνά. Αυτό σημαίνει ότι οι πίνακες δρομολόγησης των κόμβων είναι περισσότερο ενημερωμένοι. Το πρωτόκολλο TBRPF εφαρμόζει την έννοια της προώθησης αντίστροφης διαδρομής για τη μετάδοση της ενημέρωσης προς την αντίθετη κατεύθυνση κατά μήκος του γεννητικού δένδρου που σχηματίζεται από τις διαδρομές ελάχιστου βήματος από όλους τους κόμβους αισθητήρων με την πηγή της ενημέρωσης. Οι πληροφορίες που λαμβάνονται μέσω αυτών των δέντρων εκπομπής μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να υπολογίσει τις διαδρομές ελάχιστου βήματος που αποτελούν τα ίδια τα δέντρα. Δεδομένου ότι οι διαδρομές ελάχιστου βήματος έχουν υπολογιστεί, κάθε κόμβος πηγή εκπομπής ενημέρωσης για εξερχόμενες συνδέσεις κατά μήκος ενός δέντρου ελάχιστου βήματος δρομολογούνται προς την πηγή και δημιουργείται ένα ξεχωριστό δέντρο εκπομπής για κάθε πηγή.

Το TBRPF αποθηκεύει τις ακόλουθες πληροφορίες σε κάθε κόμβο του δικτύου:

- Έναν πίνακα τοπολογίας, που αποτελείται από όλες τις ενεργές συνδέσεις που αποθηκεύονται στον κόμβο.
- Μια λίστα των γειτονικών κόμβων.
- Για κάθε κόμβο: ένα γονέα, μια λίστα με τα παιδιά του και τον αύξοντα αριθμό της πλέον πρόσφατης ενημέρωσης.

Η κύρια ιδέα στο TBRPF είναι να μεταδίδει τις ενημερώσεις τοπολογίας σε αντίστροφη κατεύθυνση. Εν τω μεταξύ, η τροποποίηση βασίζεται στις νέες πληροφορίες τοπολογίας, οι οποίες λήφθηκαν κατά μήκος του δέντρου. Η μετάδοση ενημερωμένης που δημιουργήθηκε σε μια πηγή είναι αποδεκτή από έναν άλλο κόμβο αν λαμβάνεται από τον πατέρα του κόμβου και αν έχει μεγαλύτερο αριθμό ακολουθίας από την αντίστοιχη καταχώρηση στον πίνακα τοπολογίας. Ο πίνακας τοπολογίας ενημερώνεται και στη συνέχεια διαβιβάζεται σε όλα τα παιδιά του κόμβου μόνο εάν η ενημέρωση είναι αποδεκτή.

Ακολουθούν οι ιδιότητες του πρωτοκόλλου TBRPF:

- Πρόκειται για προληπτικό πρωτόκολλο.

- Χρησιμοποιεί το ελάχιστο βήμα που εκτείνεται σε δέντρο για να μεταδώσει τις ενημερώσεις.
- Το δέντρο ελάχιστου βήματος εκτείνεται από τις ρίζες με βάση τις ενημερώσεις της πηγής.
- Το δέντρο ελάχιστου βήματος διατηρείται με πληροφορίες που λαμβάνονται από το ίδιο το δέντρο.
- Κάθε κόμβος είναι εφοδιασμένος με όλες τις πληροφορίες τοπολογίας.
- Είναι δυνατές πολλαπλές διαδρομές προς τους προορισμούς.

Οι περιοδικές ενημερώσεις της τοπολογίας στέλνονται λιγότερο συχνά από ότι σε άλλα πρωτόκολλα αυτής της κατηγορίας. Αυτές οι ενημερώσεις είναι μεγάλα μηνύματα που εξασφαλίζουν ότι κάθε κόμβος τελικά μπορεί να μάθει όλη την τοπολογία. Το TBRPF δεν είναι κατάλληλο για δίκτυα με χαμηλή κινητικότητα (π.χ. σταθερά δίκτυα αισθητήρων που τροφοδοτούνται από μπαταρία). Η έλλειψη βρόχου ελευθερίας προκαλεί την απώλεια πακέτων και σπατάλη του εύρους ζώνης.

4.13 Αντιδραστικά (Re-active) ή On-Demand Πρωτόκολλα Δρομολόγησης

Τα Re-active πρωτόκολλα δρομολόγησης καλούνται επίσης και on-demand (κατά απαίτηση) και αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της δρομολόγησης από μια τελείως διαφορετική σκοπιά σε σχέση με τα proactive πρωτόκολλα. Η βασική λογική είναι να μην διατηρούν συνέχεια ενημερωμένους τους πίνακες δρομολόγησης στο δίκτυο (κάτι που όπως φάνηκε προηγουμένως είναι ασύμφορο για τα κατά περίπτωση περιβάλλοντα), αλλά να καθορίζονται οι διαδρομές μόνο όταν αυτές χρειάζονται. Όταν μια πηγή θέλει να στείλει δεδομένα σε κάποιο προορισμό, ελέγχει τον πίνακα δρομολόγησής της ώστε να αποφασίσει για τη διαδρομή. Αν δεν υπάρχει διαδρομή τότε εκτελεί μία διαδικασία εύρεσης της διαδρομής (route discovery) με σκοπό να βρεθεί ένα μονοπάτι προς τον προορισμό. Κατά συνέπεια, η εύρεση της διαδρομής είναι μια διαδικασία που εκτελείται κατά απαίτηση (on-demand). Ειδικότερα, αν δύο κόμβοι δεν χρειάζεται ποτέ να ανταλλάξουν δεδομένα, δεν απαιτείται διαθέτουν τους πόρους τους προκειμένου να διατηρούν ενημερωμένη την πληροφορία για τις μεταξύ τους διαδρομές.

Θα πρέπει βέβαια να τονιστεί πως αυτή η αντιμετώπιση του προβλήματος της δρομολόγησης είναι αποδοτική σε δίκτυα όπου υπάρχουν λίγες σχετικά ροές

δεδομένων. Αν οι ροές δεδομένων είναι αυξημένες ανάμεσα στους κόμβους του δικτύου τότε ενδέχεται να είναι αποδοτικότερη η χρήση ενός proactive πρωτοκόλλου. Σε αυτά πρέπει να συνυπολογιστεί και το γεγονός της χρονικής καθυστέρησης που εισάγεται κάθε φορά που εκτελείται η διαδικασία εύρεσης της διαδρομής. Για παράδειγμα, έστω πως η πηγή και ο προορισμός είναι τοποθετημένοι αντι-διαμετρικά στο δίκτυο. Υποθέτοντας πως γίνεται χρήση αλγορίθμων πλημμυρίδας (flooding) ώστε να σταλούν ειδικά μηνύματα ελέγχου στο δίκτυο, στην καλύτερη περίπτωση αυτά θα χρειαστούν χρόνο όσο δύο φορές ο χρόνος που χρειάζεται για να διατρέξουν τη διάμετρο του δικτύου. Όταν το δίκτυο είναι μεγάλο αυτό μπορεί να είναι απαγορευτικό.

4.14 Πρωτόκολλο Δρομολόγησης AODV

Το Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV) πρωτόκολλο δρομολόγησης, στηρίζεται κατά πολύ στο DSDV πρωτόκολλο αλλά με κάποιες παραλλαγές οι οποίες του επιτρέπουν να περιορίσει τον αριθμό των διαχύσεων (broadcasts) στο δίκτυο με τη δημιουργία διαδρομών κατά απαίτηση.

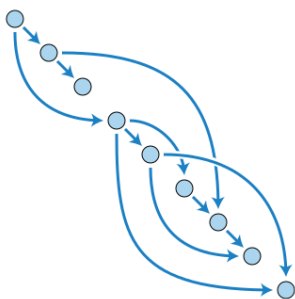
Όταν ένας κόμβος επιθυμεί να στείλει ένα μήνυμα σε κάποιον προορισμό και θεωρώντας πως δεν κατέχει κάποια σχετικά πρόσφατη πληροφορία (π.χ., από προηγούμενες εκτελέσεις του πρωτοκόλλου), τότε ξεκινά μια διαδικασία εύρεσης της διαδρομής (αυτή αναφέρεται και σαν path discovery αντί για route discovery). Ουσιαστικά η πηγή στέλνει ένα μήνυμα αίτησης διαδρομής (RREQ) στους γειτονικούς του κόμβους, οι οποίοι με τη σειρά τους το προωθούν στους δικούς τους γείτονες κ.ο.κ. μέχρι να βρεθεί ο ζητούμενος κόμβος (ο προορισμός) ή κάποιος άλλος ο οποίος έχει σχετικά πρόσφατη πληροφορία αναφορικά με τη ζητούμενη διαδρομή. Στην περίπτωση αυτή δημιουργείται ένα μήνυμα απάντησης διαδρομής (RREP) το οποίο επιστρέφει προς την πηγή ακολουθώντας την αντίστροφη πορεία. Καθώς προωθείται το RREP μήνυμα οι κόμβοι από τους οποίους διέρχεται ενημερώνουν τους πίνακες δρομολόγησής τους αναφορικά με τον γειτονικό κόμβο από τον οποίο τελικά προήλθε το RREP μήνυμα. Με κάθε τέτοια 'εγγραφή' στον πίνακα δρομολόγησης σχετίζεται και ένα αντίστροφος χρονικός μετρητής στο πέρας του οποίου η δεδομένη εγγραφή απομακρύνεται από τον πίνακα (θεωρείται πως δεν ισχύει πλέον λόγω παρέλευσης ενός κατάλληλου χρονικού διαστήματος).

Με τον τρόπο αυτό είναι σαφές πως επιτυγχάνεται επικοινωνία κατά απαίτηση μεταξύ της πηγής και του προορισμού. Στην περίπτωση που η πηγή μετακινηθεί, τότε είναι απαραίτητο να ξεκινήσει πάλι μια διαδικασία εύρεσης της διαδρομής. Στην περίπτωση, όμως, που ένας ενδιάμεσος κόμβος μετακινηθεί, τότε τα πράγματα δυσκολεύουν. Στην περίπτωση αυτή οι γειτονικοί κόμβοι μπορούμε να θεωρήσουμε πως αντιλήφθηκαν αυτή τη μετακίνηση. Τότε στέλνουν ένα μήνυμα προς του γείτονες που βρίσκονται στην κατεύθυνση της πηγής, ενημερώνοντάς τους σχετικά με την αλλαγή. Οι γείτονες, μόλις λάβουν αυτό το μήνυμα πράττουν ακριβώς το ίδιο. Το αποτέλεσμα είναι τελικά να ενημερωθεί η πηγή η οποία και θα αποφασίσει αν θα πρέπει να ξεκινήσει πάλι κάποια διαδικασία εύρεσης της διαδρομής.

4.15 TORA - Πρωτόκολλο Προσωρινής Διάταξης (Temporary Ordered Routing Algorithm)

Το TORA επιχειρεί να επιτύχει ένα υψηλό βαθμό κλιμακωτότητας χρησιμοποιώντας ένα "επίπεδο", μη ιεραρχικό αλγόριθμο δρομολόγησης. Κατά τη λειτουργία του, ο αλγόριθμος προσπαθεί να καταστείλει, στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό, τη δημιουργία εκτεταμένου πολλαπλασιασμού μηνύματος ελέγχου. Για να επιτευχθεί αυτό, το TORA δεν χρησιμοποιεί την συντομότερη λύση διαδρομής, μια προσέγγιση που είναι ασυνήθιστη για αλγορίθμους δρομολόγησης αυτού του τύπου.

Το TORA δημιουργεί και διατηρεί ένα Directed Acyclic Graph (DAG) που έχει ρίζες σε έναν προορισμό. Δύο κόμβοι δεν μπορούν να έχουν το ίδιο ύψος.



Εικόνα 4.4 Κόμβοι TORA

Οι πληροφορίες μπορεί να ρέουν από κόμβους με υψηλότερα ύψη σε κόμβους με χαμηλότερα ύψη. Συνεπώς, οι πληροφορίες μπορούν να θεωρηθούν ως ένα ρευστό που μπορεί να ρέει μόνο προς τα κάτω. Διατηρώντας ένα σύνολο από τελείως ταξινομημένα ύψη ανά πάσα στιγμή, η TORA επιτυγχάνει

δρομολόγηση πολλαπλών διαδρομών χωρίς βρόχο, καθώς οι πληροφορίες δεν μπορούν να «ρέουν προς τα πάνω» και έτσι να επιστρέψουν στον εαυτό της.

Οι βασικές έννοιες σχεδιασμού του TORA είναι ο εντοπισμός των μηνυμάτων ελέγχου σε ένα πολύ μικρό σύνολο κόμβων κοντά στην εμφάνιση μιας τοπολογικής αλλαγής. Για να επιτευχθεί αυτό, οι κόμβοι πρέπει να διατηρούν τις πληροφορίες δρομολόγησης σχετικά με γειτονικούς κόμβους. Το πρωτόκολλο εκτελεί τρεις βασικές λειτουργίες:

- Δημιουργία διαδρομής
- Διατήρηση της διαδρομής
- Διαγραφή διαδρομής

Κατά τη διάρκεια των φάσεων δημιουργίας και συντήρησης διαδρομής, οι κόμβοι χρησιμοποιούν μια μέτρηση ύψους για να δημιουργήσουν ένα κατευθυνόμενο ακυκλικό γράφημα (DAG) που έχει ρίζες στον προορισμό. Στη συνέχεια, οι συνδέσεις καθορίζονται με βάση τη σχετική μέτρηση ύψους των γειτονικών κόμβων. Κατά τη διάρκεια της κινητικότητας το DAG σπάει και η μονάδα συντήρησης διαδρομής έρχεται για να αποκαταστήσει μια DAG δρομολογημένη στον προορισμό.

Ο χρονισμός είναι ένας σημαντικός παράγοντας για το TORA επειδή η μέτρηση ύψους εξαρτάται από τον λογικό χρόνο της αποτυχίας σύνδεσης. Η φάση διαγραφής της διαδρομής της TORA αφορά ουσιαστικά την πλημμύρα ενός σαφούς πακέτου εκπομπής (CLR) σε όλο το δίκτυο για τη διαγραφή μη έγκυρων διαδρομών.

Ένας κόμβος που απαιτεί σύνδεση σε έναν προορισμό επειδή δεν έχει downstream γείτονες στέλνει ένα πακέτο QRY (ερώτημα) και ορίζει τη σημαία του (παλιότερα απενεργοποιημένη) διαδρομή. Ένα πακέτο QRY περιέχει το αναγνωριστικό προορισμού του κόμβου που αναζητά μια διαδρομή. Η απάντηση σε ένα ερώτημα ονομάζεται UPD πακέτο ενημέρωσης. Περιέχει το quintuple ύψους του γειτονικού κόμβου που απαντά σε ένα ερώτημα και το πεδίο προορισμού που δηλώνει τον προορισμό για τον οποίο προοριζόταν η ενημέρωση. Ένας κόμβος που λαμβάνει ένα πακέτο QRY κάνει ένα από τα ακόλουθα:

- Εάν έχει οριστεί η σημαία του, αυτό σημαίνει ότι δεν χρειάζεται να προωθήσει το QRY, επειδή έχει ήδη εκδώσει ένα QRY για τον προορισμό,

αλλά καλύτερα να το απορρίψει για να αποτρέψει την επιβάρυνση του μηνύματος.

- Εάν ο κόμβος δεν έχει μεταγενέστερους συνδέσμους και δεν έχει οριστεί η σημαία που απαιτείται για τη διαδρομή, ορίζει τη σημαία που απαιτείται για τη διαδρομή και αναμεταδίδει το μήνυμα QRY.

Ένας κόμβος που λαμβάνει ένα πακέτο ενημέρωσης ενημερώνει την τιμή ύψους του γείτονά του στον πίνακα και λαμβάνει μία από τις ακόλουθες ενέργειες:

- Εάν δεν έχει οριστεί το bit ανάκλασης του ύψους των γειτόνων και έχει οριστεί η σημαία που έχει οριστεί για τη διαδρομή, ορίζει το ύψος του για τον προορισμό σε εκείνο των γειτόνων του, αλλά αυξάνει το d κατά ένα. Έπειτα, διαγράφει τη σημαία RR και στέλνει ένα μήνυμα UPD στους γείτονες, ώστε να μπορούν να μεταφερθούν μέσω αυτής.
- Εάν η διαδρομή των γειτόνων δεν είναι έγκυρη (η οποία υποδεικνύεται από το κομμάτι αντανάκλασης) ή η σημαία RR έχει απενεργοποιηθεί, ο κόμβος ενημερώνει μόνο την καταχώρηση του κόμβου των γειτόνων στον πίνακα του.

Κάθε κόμβος διατηρεί έναν πίνακα γειτονίας που περιέχει το ύψος των γειτονικών κόμβων. Αρχικά το ύψος όλων των κόμβων είναι NULL. (Αυτό δεν είναι μηδέν "0" αλλά NULL "-"), έτσι ώστε η πεντάδα τους να είναι (-, -, -, -, i). Το ύψος ενός γειτονικού προορισμού είναι (0,0,0,0, dest).

Ο κόμβος C απαιτεί μια διαδρομή, επομένως μεταδίδει ένα QRY.

Το QRY διαδίδεται μέχρι να χτυπήσει έναν κόμβο ο οποίος έχει μια διαδρομή προς τον προορισμό, ο κόμβος αυτός στη συνέχεια στέλνει ένα μήνυμα UPD.

Το UPD επίσης μεταδίδεται, ενώ ο κόμβος E στέλνει ένα νέο UPD.

Διατήρηση της διαδρομής

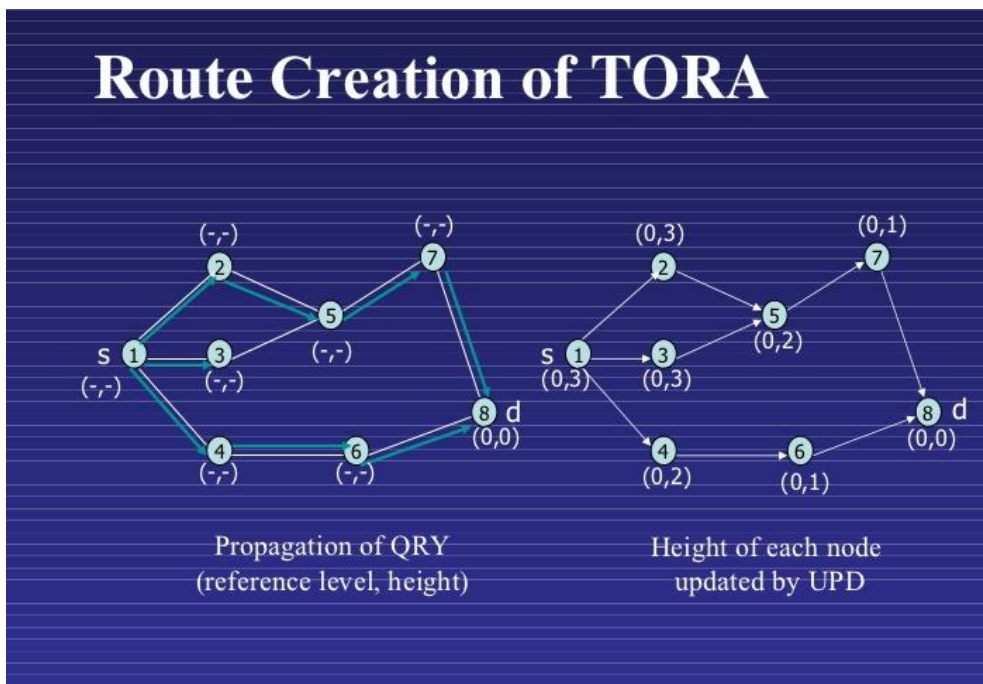
Η συντήρηση της διαδρομής στο TORA έχει πέντε διαφορετικές περιπτώσεις σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα ροής:

Διαγραφή Διαδρομής

Όταν ένας κόμβος ανίχνευσε ένα διαμέρισμα, ορίζει το ύψος και τα ύψη όλων των γειτόνων του για τον προορισμό στον πίνακα του σε NULL και εκδίδει

ένα πακέτο CLR (Clear). Το πακέτο CLR αποτελείται από το ανακλώμενο επίπεδο αναφοράς ($t, oid, 1$) και το αναγνωριστικό προορισμού.

Εάν ένας κόμβος δέχεται ένα πακέτο CLR και το επίπεδο αναφοράς ταιριάζει με το δικό του επίπεδο αναφοράς, ορίζει όλα τα ύψη των γειτόνων και το δικό του για τον προορισμό σε NULL και μεταδίδει το πακέτο CLR. Αν το επίπεδο αναφοράς δεν ταιριάζει με το δικό του, απλά ορίζει τα ύψη των γειτόνων, ο πίνακας του που ταιριάζει με το επίπεδο αναφοράς που αντανακλάται σε NULL και ενημερώνει την κατάσταση σύνδεσης



Εικόνα 4.5 Route Creation of TORA

4.16 DSR - Dynamic Source Routing πρωτόκολλο δρομολόγησης

Το Dynamic Source Routing (DSR) πρωτόκολλο δρομολόγησης, είναι και αυτό ένα πρωτόκολλο που λειτουργεί κατά απαίτηση. Οι κόμβοι του δικτύου διατηρούν προσωρινή πληροφορία σχετικά με τις διαδρομές στο δίκτυο ενώ προσθέτουν νέες διαδρομές στη διάρκεια.

Το πρωτόκολλο αυτό διαιρείται σε δύο κύριες φάσεις: την εύρεση της διαδρομής και τη διατήρηση των διαδρομών. Όταν ένας κόμβος έχει ένα πακέτο δεδομένων να στείλει σε κάποιο προορισμό, ελέγχει καταρχάς αν υπάρχει σχετική πληροφορία στον πίνακα των διαδρομών του. Αν υπάρχει αυτή η πληροφορία και δεν έχει λήξει η διάρκεια ζωής της, τότε τη χρησιμοποιεί. Αν δεν υπάρχει τότε ξεκινά μια διαδικασία εύρεσης της διαδρομής με τη διάχυση ενός ειδικού route

request πακέτου. Αυτό το πακέτο περιέχει τη διεύθυνση της πηγής, τη διεύθυνση του προορισμού καθώς και έναν μοναδικό αριθμό ως ταυτότητα. Κάθε κόμβος που λαμβάνει αυτό το πακέτο ελέγχει τον πίνακα δρομολόγησής του για να δει αν έχει όταν πληροφορίες για το συγκεκριμένο προορισμό. Αν δεν έχει τότε προσθέτει στο πακέτο τη δική του διεύθυνση και το προωθεί στους υπόλοιπους κόμβους. Όταν τελικά το πακέτο αυτό φτάσει είτε στον προορισμό, είτε σε κάποιον άλλο κόμβο στον οποίο υπάρχει πληροφορία σχετικά με την επιθυμητή διαδρομή, τότε ο κόμβος αυτός δημιουργεί ένα ειδικό route reply πακέτο ως απάντηση στον προορισμό αλλά και σε όλους τους ενδιάμεσους κόμβους. Με τον τρόπο αυτό μεταφέρεται η επιθυμητή πληροφορία μέσα από το δίκτυο και λαμβάνουν χώρα οι επιθυμητές ενημερώσεις.

Background : Ο προσδιορισμός της διαδρομής πηγής απαιτεί τη συσσώρευση της διεύθυνσης κάθε συσκευής μεταξύ της πηγής και του προορισμού κατά την ανακάλυψη της διαδρομής. Οι συσσωρευμένες πληροφορίες διαδρομής αποθηκεύονται από τους κόμβους που επεξεργάζονται τα πακέτα εντοπισμού διαδρομής. Οι μαθησιακές διαδρομές χρησιμοποιούνται για τη δρομολόγηση πακέτων. Για να επιτευχθεί η δρομολόγηση πηγής, τα δρομολογημένα πακέτα περιέχουν τη διεύθυνση κάθε συσκευής που θα μεταβεί το πακέτο. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα υψηλά έξοδα για μεγάλες διαδρομές ή μεγάλες διευθύνσεις, όπως το IPv6. Για να αποφύγετε τη χρήση δρομολόγησης πηγής, το DSR προαιρετικά ορίζει μια επιλογή id της ροής που επιτρέπει την προώθηση των πακέτων σε βάση hop-by-hop.

Αυτό το πρωτόκολλο βασίζεται πραγματικά στη δρομολόγηση πηγής όπου διατηρούνται όλες οι πληροφορίες δρομολόγησης (συνεχώς ενημερωμένες) σε κινητούς κόμβους. Έχει μόνο δύο σημαντικές φάσεις, οι οποίες είναι η Ανακάλυψη Διαδρομής και η Συντήρηση Διαδρομής. Η απάντηση διαδρομής θα δημιουργηθεί μόνο αν το μήνυμα έχει φτάσει στον προορισμό του κόμβου προορισμού (η εγγραφή της διαδρομής που αρχικά περιέχεται στην αίτηση διαδρομής θα εισαχθεί στην απάντηση διαδρομής).

Για να επιστρέψετε την απάντηση διαδρομής, ο κόμβος προορισμού πρέπει να έχει μια διαδρομή προς τον κόμβο προέλευσης. Εάν η διαδρομή είναι στη μνήμη cache της διαδρομής του κόμβου προορισμού, θα χρησιμοποιηθεί η διαδρομή. Διαφορετικά, ο κόμβος θα αντιστρέψει τη διαδρομή με βάση την εγγραφή της διαδρομής στην κεφαλίδα του μηνύματος Αίτημα διαδρομής (αυτό

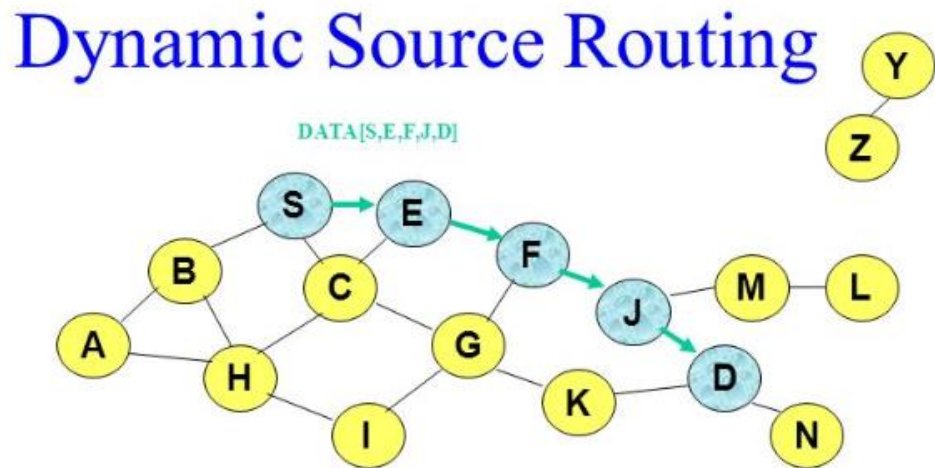
απαιτεί ότι όλοι οι σύνδεσμοι είναι συμμετρικοί). Σε περίπτωση θανατηφόρου μετάδοσης, ξεκινά η φάση συντήρησης διαδρομής, με την οποία παράγονται τα πακέτα σφαλμάτων διαδρομής σε έναν κόμβο. Το λανθασμένο hop θα αφαιρεθεί από την cache της διαδρομής του κόμβου. όλες οι διαδρομές που περιέχουν το λυκίσκο κόβονται σε αυτό το σημείο. Και πάλι, η φάση ανακάλυψης διαδρομής ξεκινάει για να καθορίσει την πιο βιώσιμη διαδρομή.

Περιορισμένο bandwidth : Το πρωτόκολλο δρομολόγησης δυναμικών πηγών (DSR) είναι ένα πρωτόκολλο κατά παραγγελία σχεδιασμένο να περιορίζει το εύρος ζώνης που καταναλώνουν τα πακέτα ελέγχου σε ad hoc ασύρματα δίκτυα εξαλείφοντας τα μηνύματα περιοδικής ενημέρωσης πινάκων που απαιτούνται στην προσέγγιση που καθοδηγείται από τον πίνακα. Η κύρια διαφορά μεταξύ αυτού και των άλλων πρωτοκόλλων δρομολόγησης κατ' απαίτηση είναι ότι είναι χωρίς φάρους και ως εκ τούτου δεν απαιτεί περιοδικές εκπομπές πακέτων hello (beacon), οι οποίες χρησιμοποιούνται από έναν κόμβο για να ενημερώσουν τους γείτονές τους για την παρουσία του. Η βασική προσέγγιση αυτού του πρωτοκόλλου (και όλων των άλλων πρωτοκόλλων δρομολόγησης κατ' απαίτηση) κατά τη διάρκεια της φάσης κατασκευής της διαδρομής είναι να δημιουργηθεί μια διαδρομή πληρώνοντας πακέτα RouteRequest στο δίκτυο. Ο κόμβος προορισμού, κατά τη λήψη ενός πακέτου RouteRequest, αποκρίνεται στέλνοντας ένα πακέτο RouteReply πίσω στην πηγή, η οποία μεταφέρει τη διαδρομή που διέρχεται από το λαμβανόμενο πακέτο RouteRequest.

Ας εξετασούμε έναν κόμβο προέλευσης που δεν έχει διαδρομή προς τον προορισμό. Όταν έχει πακέτα δεδομένων προς αποστολή στον συγκεκριμένο προορισμό, ξεκινά ένα πακέτο RouteRequest. Αυτή η RouteRequest πλημμυρίζεται σε όλο το δίκτυο. Κάθε κόμβος, αφού λάβει ένα πακέτο RouteRequest, αναμεταδίδει το πακέτο στους γείτονές του αν δεν έχει ήδη προωθήσει, υπό τον όρο ότι ο κόμβος δεν είναι ο κόμβος προορισμού και ότι δεν έχει ξεπεραστεί ο μετρητής χρόνου (TTL) του πακέτου. Κάθε RouteRequest φέρει έναν αριθμό ακολουθίας που παράγεται από τον κόμβο προέλευσης και το μονοπάτι που έχει διασχίσει. Ένας κόμβος, κατά τη λήψη ενός πακέτου RouteRequest, ελέγχει τον αριθμό ακολουθίας στο πακέτο πριν τον προωθήσει. Το πακέτο προωθείται μόνο αν δεν είναι διπλότυπο RouteRequest. Ο αριθμός ακολουθίας στο πακέτο χρησιμοποιείται για την αποτροπή σχηματισμών βρόχου και για την αποφυγή πολλαπλών μεταδόσεων της ίδιας RouteRequest από έναν

ενδιάμεσο κόμβο που τον λαμβάνει μέσω πολλαπλών διαδρομών. Έτσι, όλοι οι κόμβοι, εκτός από τον προορισμό, προωθούν ένα πακέτο RouteRequest κατά τη διάρκεια της φάσης κατασκευής της διαδρομής. Ένας κόμβος προορισμού, μετά τη λήψη του πρώτου πακέτου RouteRequest, απαντά στον κόμβο προέλευσης μέσω της οπίσθιας διαδρομής που το πακέτο RouteRequest είχε διασχίσει. Οι κόμβοι μπορούν επίσης να μάθουν για τις γειτονικές διαδρομές που διακινούνται από τα πακέτα δεδομένων, εάν λειτουργούν στη μη διάσπαρτη λειτουργία (ο τρόπος λειτουργίας στον οποίο ένας κόμβος μπορεί να λάβει τα πακέτα που δεν μεταδίδονται ούτε απευθύνονται στον εαυτό του). Αυτή η cache διαδρομής χρησιμοποιείται επίσης κατά τη διάρκεια της φάσης κατασκευής της διαδρομής.

Αυτό το πρωτόκολλο χρησιμοποιεί μια αντιδραστική προσέγγιση η οποία εξαλείφει την ανάγκη να πλημμυρίζει περιοδικά το δίκτυο με μηνύματα ενημέρωσης πίνακα τα οποία απαιτούνται σε μια προσέγγιση που καθοδηγείται από τον πίνακα. Σε μια προσέγγιση που ανταποκρίνεται σε αυτήν την περίπτωση, μια διαδρομή δημιουργείται μόνο όταν απαιτείται και ως εκ τούτου εξαλείφεται η ανάγκη να βρεθούν διαδρομές σε όλους τους άλλους κόμβους του δικτύου, όπως απαιτείται από την προσέγγιση που καθοδηγείται από τον πίνακα. Οι ενδιάμεσοι κόμβοι αξιοποιούν επίσης αποτελεσματικά τις πληροφορίες cache διαδρομής για να μειώσουν τα γενικά έξοδα ελέγχου. Το μειονέκτημα αυτού του πρωτοκόλλου είναι ότι ο μηχανισμός συντήρησης διαδρομής δεν επιδιορθώνει τοπικά έναν σπασμένο σύνδεσμο. Οι πληροφορίες για την προσωρινή αποθήκευση της διαδρομής θα μπορούσαν επίσης να οδηγήσουν σε ασυνέπειες κατά τη φάση ανασυγκρότησης της διαδρομής. Η καθυστέρηση ρύθμισης σύνδεσης είναι υψηλότερη σε σχέση με τα πρωτόκολλα που καθοδηγούνται από τον πίνακα. Παρόλο που το πρωτόκολλο λειτουργεί καλά σε στατικά περιβάλλοντα και περιβάλλοντα χαμηλής κινητικότητας, η απόδοση υποβαθμίζεται με την αυξανόμενη κινητικότητα. Επίσης, υπάρχει σημαντική επιβάρυνση δρομολόγησης λόγω του μηχανισμού δρομολόγησης πηγής που χρησιμοποιείται στο DSR. Αυτό το γενικευμένο δρομολόγιο είναι άμεσα αναλογικό με το μήκος διαδρομής.



- When **S** sends a data packet to **D**, the entire route is included in the packet header
- Intermediate nodes use the **source route** embedded in the packet's header to determine to whom the packet should be forwarded
- Different packets may have different routes, even they have the same source and destination

Hence called as **dynamic source routing**

Εικόνα 4.6 Dynamic Source Routing

4.17 ABR - Associativity Based Routing

Το ABR έχει τρεις φάσεις. Η πρώτη φάση είναι η φάση ανακάλυψης της διαδρομής. Όταν ένας χρήστης ξεκινά να μεταδίδει δεδομένα, το πρωτόκολλο θα υποκλέψει το αίτημα και θα μεταδώσει ένα πακέτο αναζήτησης μέσω των ασύρματων διεπαφών. Καθώς το πακέτο αναζήτησης μεταδίδει κόμβο στον κόμβο, οι ταυτότητες κόμβου και οι πληροφορίες ευστάθειας προσαρτώνται στο πακέτο. Όταν το πακέτο φθάσει τελικά στον κόμβο προορισμού, θα έχει λάβει όλες τις πληροφορίες που περιγράφουν τη διαδρομή από την πηγή στον προορισμό. Όταν συμβαίνει αυτό, ο προορισμός τότε επιλέγει την καλύτερη διαδρομή (επειδή μπορεί να υπάρχουν περισσότερες από μία διαδρομές από την πηγή προς τον προορισμό) και να στείλει ένα ΑΠΑΝΤΗΣΗ πίσω στον κόμβο προέλευσης, πάνω από την επιλεγμένη διαδρομή.

Σημειώστε ότι όταν το πακέτο μεταφέρεται προς τα πίσω από τον προορισμό στην πηγή, κάθε ενδιάμεσος κόμβος θα ενημερώσει τον πίνακα δρομολόγησης, υποδηλώνοντας ότι τώρα θα γνωρίζει πώς να δρομολογεί όταν

λαμβάνει δεδομένα από τον απέναντί κόμβο. Όταν ο κόμβος προέλευσης λάβει την απάντηση, η διαδρομή ανακαλύπτεται και εγκαθίσταται με επιτυχία. Αυτή η διαδικασία γίνεται σε πραγματικό χρόνο και διαρκεί μόνο μερικά χιλιοστά δευτερόλεπτα.

Το ABR καθιερώνει διαδρομές που είναι μακρόβια ή σταθερή ως προς τη συσχέτιση, συνεπώς οι περισσότερες καθιερωμένες διαδρομές θα αντιμετωπίζουν σπάνια διαλείμματα σύνδεσης. Ωστόσο, αν ένας ή περισσότεροι σύνδεσμοι σπάσουν, το ABR τους θα ενεργοποιήσει αμέσως τη φάση ανασυγκρότησης της διαδρομής RRC. Το RRC επισκευάζει βασικά τον σπασμένο σύνδεσμο έχοντας τον ανάντη κόμβο (ο οποίος αισθάνεται το σπάσιμο του συνδέσμου) εκτελώντας μια τοπική επισκευή διαδρομής. Η τοπική επισκευή διαδρομής εκτελείται με τη διεξαγωγή ενός εντοπισμένου ερωτήματος εκπομπής που αναζητά μια εναλλακτική μακρόχρονη μερική διαδρομή προς τον προορισμό.

Η συντήρηση της διαδρομής ABR αποτελείται από:

- (α) μερική ανακάλυψη της διαδρομής,
- (β) άκυρη διαγραφή διαδρομής,
- (γ) έγκυρη ενημέρωση διαδρομής και
- (δ) νέα ανακάλυψη διαδρομής (χειρότερη περίπτωση).

Όταν μια ανακαλυφθείσα διαδρομή δεν είναι πλέον απαραίτητη, ένα πακέτο RD (Route Delete) θα ξεκινήσει από τον κόμβο προέλευσης έτσι ώστε όλοι οι ενδιάμεσοι κόμβοι της διαδρομής να ενημερώσουν τις καταχωρήσεις πίνακα δρομολόγησης και τα πακέτα δεδομένων αναστολής που σχετίζονται με αυτή τη διαγραμμένη διαδρομή.

Εκτός από τη χρήση RD για τη διαγραφή μιας διαδρομής, η ABR μπορεί επίσης να εφαρμόσει μια προσέγγιση μαλακής κατάστασης, όπου οι καταχωρήσεις διαδρομής έχουν λήξει ή ακυρωθεί μετά την εκπνοή της ώρας, όταν δεν υπάρχει δραστηριότητα κυκλοφορίας που να σχετίζεται με τη διαδρομή για μια χρονική περίοδο.

Το 1998, ο ABR εφαρμόστηκε με επιτυχία στον πυρήνα του Linux, σε διάφορους διαφορετικούς επώνυμους φορητούς υπολογιστές (IBM Thinkpad, COMPAQ, Toshiba κ.λπ.) που είναι εξοπλισμένοι με ασύρματους προσαρμογείς WaveLAN 802.11a PCMCIA Δημιουργήθηκε ένα ασύρματο ad hoc δίκτυο με 6 κόμβους και εκτείνεται σε απόσταση μεγαλύτερη των 600 μέτρων και το

επιτυχημένο γεγονός δημοσιεύθηκε στο περιοδικό Mobile Computing Magazine το 1999. Πραγματοποιήθηκαν διάφορες δοκιμές με το δίκτυο:

1. Transmission of up to 500MBytes of data from source to destination over 3-hop route.
2. Link breaks and automatic link repairs proven to be working
3. Automatic Route Discovery
4. Route Delete
5. Web Server in Ad Hoc mode – with source being client and destination being the web server
6. Transmission of multimedia information (audio and video)
7. TELNET over Ad Hoc
8. FTP over Ad Hoc
9. HTTP over Ad Hoc

Επίσης, έγιναν μετρήσεις απόδοσης δικτύου για τα ακόλουθα:

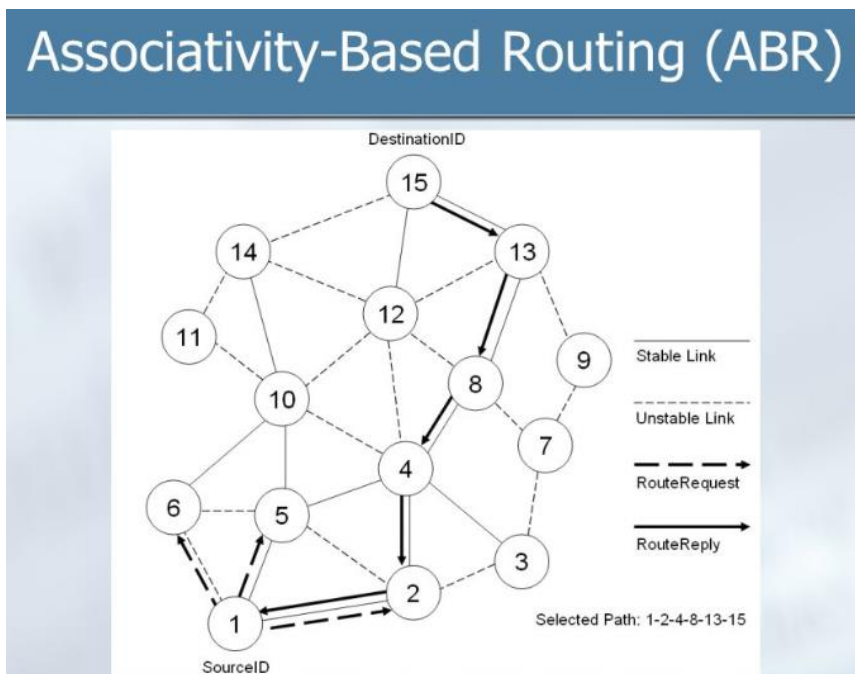
1. End-to-end delay
2. TCP throughput
3. Packet loss ratio
4. Route discovery delay
5. Route repair delay
6. Impact of packet size on throughput
7. Impact of beaconing interval on throughput and remaining battery life

Μια βελτιωμένη έκδοση του πρωτοκόλλου έχει εφαρμοστεί στο πεδίο από τον αμυντικό αντισυμβαλλόμενο TRW Inc. το 2002. Η βελτίωση που έγινε στο πρωτόκολλο περιλαμβάνει: (α) προσθήκες QoS στρώματος δικτύου και (β) δυνατότητες προτεραιότητας διαδρομής.

Μερικά άλλα πρωτόκολλα δρομολόγησης ad hoc για κινητά έχουν ενσωματώσει την ιδέα σταθερότητας της ABR ή έχουν κάνει επεκτάσεις του πρωτοκόλλου ABR, μεταξύ των οποίων:

1. Signal Stability-based Adaptive Routing Protocol (SSA)
2. Enhanced Associativity Based Routing Protocol (EABR)
3. Alternative Enhancement of Associativity-Based Routing (AEABR)
4. Optimized Associativity Threshold Routing (OABTR)

5. Cluster-Based Enhanced Associativity-Based Routing (CBE-ABR)
6. Associativity-Based Clustering Protocol (ABCP)
7. Fuzzy Based Trust Associativity-Based Routing (Fuzzy-ABR)
8. Associativity Tick Averaged Associativity-Based Routing (ATA-AR)
9. Self-adaptive Q-learning based trust ABR (QTABR)
10. Quality of Service Extensions to ABR (QoSE-ABR)
11. Associativity-based Multicast Routing (ABAM)
12. Multipath Associativity Based Routing (MABR)
13. Associativity routing for Wireless Sensor Networks
14. Associative Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs)



Εικόνα 4.7 Associaty-Based Routing

4.18 Gossiping - Πρωτόκολλο κουτσομπολιό

Το κουτσομπολιό και η μετάδοση είναι τα δύο προβλήματα της διάδοσης των πληροφοριών που περιγράφονται για μια ομάδα ατόμων που συνδέονται μέσω ενός δικτύου επικοινωνίας. Στο κουτσομπολιό, κάθε άτομο στο δίκτυο γνωρίζει μια μοναδική πληροφορία και πρέπει να την κοινοποιήσει σε όλους τους άλλους. Στη μετάδοση, ένα άτομο έχει ένα στοιχείο των πληροφοριών που πρέπει να κοινοποιήσει σε όλους τους άλλους. Στην πραγματικότητα, το κουτσομπολιό

είναι ένα παράγωγο των πλημμύρων (flooding) όπου οι κόμβοι δεν μεταδίδουν, αλλά στέλνουν τα εισερχόμενα πακέτα σε ένα τυχαία επιλεγμένο γείτονα. Αν και αυτή η προσέγγιση αποφεύγει το πρόβλημα της κατάρρευσης έχοντας ένα αντίγραφο του μηνύματος σε κάθε κόμβο, παίρνει πολύ χρόνο για να διαδώσει το μήνυμα σε όλους τους κόμβους αισθητήρων στο δίκτυο.

4.19 Flooding - Πρωτόκολλο Πλημμύρας

Οι πλημμύρες είναι μια παλιά και πολύ απλή τεχνική η οποία μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη δρομολόγηση στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Στις πλημμύρες, τα αντίγραφα των πακέτων αποστέλλονται από κάθε σύνδεσμο, εκτός από αυτόν από τον οποίο έφτασαν τα πακέτα. Αυτή η διαδικασία παράγει ένα τεράστιο ποσό περιττής κίνησης. Οι πλημμύρες είναι μια εξαιρετικά ισχυρή τεχνική, αλλά εφ' όσον υπάρχει μια διαδρομή από την πηγή στον προορισμό της παράδοσης του πακέτου. Οι πλημμύρες είναι μια αντιδραστική τεχνική και δεν απαιτεί δαπανηρή συντήρηση της τοπολογίας και σύνθετους αλγόριθμους ανακάλυψης της διαδρομής.

Ωστόσο, έχει αρκετά μειονεκτήματα:

- *Κατάρρευση:* Η κατάρρευση είναι μια κατάσταση όπου διπλά μηνύματα μεταδίδονται στον ίδιο κόμβο.
- *Επικάλυψη:* Εάν δύο κόμβοι μοιράζονται την ίδια περιοχή σάρωσης και οι δύο μπορεί να ανιχνεύσουν τις ίδιες τιμές ταυτόχρονα. *ς αποτέλεσμα, οι γείτονες κόμβοι να λαμβάνουν διπλά μηνύματα.
- *Διαθεσιμότητα Πόρων:* Το πρωτόκολλο πλημμύρας δεν λαμβάνει υπόψη το σύνολο των διαθέσιμων ενεργειακών πόρων. Ένα ενεργειακά αποδοτικό πρωτόκολλο πρέπει να λαμβάνει υπόψη το ποσό της ενέργειας που είναι διαθέσιμο στους κόμβους.

Οι πλημμύρες έχουν δύο πολύ ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά που προκύπτουν από το γεγονός ότι έχουν δοκιμάσει όλες τις πιθανές διαδρομές:

- Εφ' όσον υπάρχει μια διαδρομή από την πηγή στον προορισμό, η παράδοση του πακέτου είναι εγγυημένη.
- Ένα αντίγραφο του πακέτου θα φτάσει από τη συντομότερη δυνατή διαδρομή.

Οι πλημμύρες είναι μια εξαιρετικά ισχυρή τεχνική και είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για ένα "πεδίο μάχης". Η δεύτερη ιδιότητα θα μπορούσε να είναι χρήσιμη για την

«εκμάθηση της διαδρομής».

Επιπλέον, οι πλημμύρες καταναλώνουν πολλή ενέργεια, για κάθε πακέτο δεδομένων, όλοι οι κόμβοι που βρίσκονται στην περιοχή εκπομπής θα λάβουν πακέτα που θα τα διαβιβάσουν στους γείτονές τους. Έτσι, αυτοί απαιτούν ένα μεγάλο ποσό ενέργειας που προκαλεί απαγορευτικά μικρή διάρκεια ζωής του δικτύου.

4.20 RR - Το πρωτόκολλο Φήμης

Η δρομολόγηση φήμης είναι ένας συμβιβασμός μεταξύ των πλημμύρων και των ειδοποιήσεων. Η κύρια ιδέα αυτού του πρωτοκόλλου είναι ότι δημιουργεί μονοπάτια που οδηγούν σε κάθε συμβάν, σε αντίθεση με τις πλημμύρες που δημιουργούν ένα πεδίο διαδρομών σε ολόκληρο το δίκτυο. Έτσι, σε περίπτωση που δημιουργείται ένα ερώτημα, μπορεί το ερώτημα αυτό να αποσταλεί σε ένα τυχαίο μονοπάτι μέχρι να βρει το συμβάν, αντί των πλημμύρων που στέλνονται σε όλο το δίκτυο.

Η δρομολόγηση φήμης μπορεί να είναι μια καλή μέθοδος για την παράδοση ερωτημάτων σε μεγάλα δίκτυα, σύμφωνα με ένα ευρύ φάσμα συνθηκών (χαμηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις από εναλλακτικές λύσεις). Είναι σχεδιασμένα είναι προσαρμόσιμη σε διαφορετικές εφαρμογές και υποστηρίζει διάφορα ερωτήματα σε ανάλογες εκδηλώσεις, με υψηλά ποσοστά επιτυχούς παράδοσης και επισκευής διαδρομής. Επιπλέον, είναι σε θέση να χειριστεί την αποτυχία κόμβων, υποβαθμίζοντας το ρυθμό παράδοσης γραμμικά με τον αριθμό των αποτυχημένων κόμβων.

4.21 E-TORA - Το πρωτόκολλο Ενεργειακής Επίγνωσης Προσωρινής Διάταξης

Το E-TORA είναι μια βελτίωση του TORA που κύριος στόχος του είναι η ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας των κόμβων. Το κλασικό TORA επιλέγει τις διαδρομές με τα λιγότερα βήματα όσο η τοπολογία του δικτύου δεν αλλάζει. Αυτό μπορεί να προκαλέσει βαρύ φορτίο στους κόμβους που βρίσκονται στην κύρια διαδρομή. Επίσης, αν ορισμένες διαδρομές περιλαμβάνουν κατ'επανάληψη τον ίδιο κόμβο, ο κόμβος αυτός θα ξεμείνει από ενέργεια πολύ νωρίτερα από ότι οι άλλοι κόμβοι. Έτσι, η χρήση των κόμβων στη βραδύτερη διαδρομή χωρίς να εξεταστεί η ενέργεια που διαθέτουν οδηγεί στην μείωση της διάρκειας ζωής του δικτύου.

4.22 Σύγκριση μεταξύ Προληπτικών (Pro-active) και Αντιδραστικών πρωτοκόλλων (Re-active)

Οι κύριες διαφορές μεταξύ των Pro-active και αντιδραστικών πρωτοκόλλων μπορεί να συνοψιστούν ως εξής:

- Τα Pro-active πρωτόκολλα απαιτούν πολλές πληροφορίες δρομολόγησης και διατηρούν πληροφορίες ανεξάρτητα από την ανάγκη για επικοινωνία. Τα Re-active πρωτόκολλα απαιτούν λιγότερη ποσότητα πληροφορίας δρομολόγησης για κάθε κόμβο και επομένως επιτυγχάνουν λιγότερη κατανάλωση ενέργειας.
- Στα Pro-active πρωτόκολλα δεν υπάρχει καθυστέρηση στην ανακάλυψη διαδρομής, έτσι είναι κατάλληλα για εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Στα Re-active πρωτόκολλα υπάρχει καθυστέρηση λόγω της διαδικασίας ανακάλυψης διαδρομής, η οποία ονομάζεται καθυστέρηση απόκτησης διαδρομής και δεν είναι κατάλληλα για επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο.
- Τα Pro-active πρωτόκολλα σπαταλούν εύρος ζώνης και ενέργειας στις περιοδικές ενημερώσεις σε σύγκριση με τα Re-active πρωτόκολλα που δεν απαιτούν περιοδική ενημέρωση και έτσι εξοικονομούν ενέργεια και εύρος ζώνης κατά τη διάρκεια της περιόδου αδράνειας.
- Τα Pro-active πρωτόκολλα ενημερώνουν τις διαδρομές και τους πίνακες δρομολόγησης συνεχώς. Στα Re-active πρωτόκολλα μια διαδρομή θα βρεθεί μόνο όταν ζητηθεί.
- Τα Pro-active πρωτόκολλα χρειάζεται να αποκτήσουν και να διατηρήσουν τις πληροφορίες δρομολόγησης για όλους τους κόμβους σε ένα δίκτυο. Απαιτούν μεγάλη χωρητικότητα για να κρατήσουν τις πληροφορίες του δικτύου. Στα Re-active πρωτόκολλα οι ενδιάμεσοι κόμβοι δεν χρειάζεται να λαμβάνουν αποφάσεις δρομολόγησης. Δεν υπάρχει καμία ανάγκη να έχουν πληροφορίες σχετικά με τους κόμβους.
- Τα Pro-active πρωτόκολλα στέλνουν μηνύματα ενημέρωσης σε όλο το δίκτυο περιοδικά ή όταν αλλάζει η τοπολογία του. Δεν υπάρχει καμία ανάγκη να στείλουν μήνυμα ενημέρωσης, όταν αλλάζει η τοπολογία στην περίπτωση των Re-active πρωτοκόλλων.

- Τα Pro-active πρωτόκολλα είναι καλά βαριά φορτία, αλλά όχι αρκετά καλά για ελαφριά φορτία, ενώ τα Re-active πρωτόκολλα είναι καλά για ελαφριά φορτία και καταρρέουν κατά τη διάρκεια μεγάλων φορτίων.
- Τα Pro-active πρωτόκολλα δεν χρησιμοποιούνται σε εκρηκτική κίνηση αλλά τα Re-active πρωτόκολλα μπορεί να χρησιμοποιηθούν, καθώς υπάρχει συμφόρηση κατά τη διάρκεια της υψηλής δραστηριότητας.
- Εάν αλλάζουν συχνά οι πληροφορίες δρομολόγησης, τότε τα Pro-active πρωτόκολλα δεν θα ασκήσουν καμία επίδραση στην παράδοση των πακέτων, αλλά με τα Re-active πρωτόκολλα εάν οι πληροφορίες δρομολόγησης αλλάζουν συχνά και απαιτούνται ανακαλύψεις διαδρομής τότε μπορεί να οδηγήσει σε ένα μεγάλο όγκο μηνυμάτων, δεδομένου ότι οι ανακτήσεις διαδρομής απαιτούν μια εκπομπή μηνύματος στο δίκτυο.

4.23 Υβριδικά πρωτόκολλα δρομολόγησης

Υπάρχουν πολλές άλλες κατηγορίες πρωτοκόλλων δρομολόγησης. Μία από αυτές αφορά υβριδικές προσεγγίσεις των proactive και reactive προσεγγίσεων. Υπάρχουν πρωτόκολλα τα οποία δρομολογούν τα πακέτα βάσει γεωγραφικής πληροφορίας (π.χ., με χρήση του global positioning system (GPS)), άλλα που χρησιμοποιούν πληροφορία για την κατανάλωση ενέργειας και προσπαθούν να επιλέξουν διαδρομές ώστε να την ελαχιστοποιούν αυξάνοντας ταυτόχρονα τον χρόνο ζωής του δικτύου. Υπάρχουν πρωτόκολλα που ιεραρχούν τις διευθύνσεις και το εκμεταλλεύονται κατάλληλα ενώ άλλα που ομαδοποιούν τους κόμβους (clustering) και αφήνουν τον υπεύθυνο της κάθε ομάδας να λύσει το πρόβλημα της δρομολόγησης. Στη συνέχεια θα περιγραφούν συνοπτικά το Zone Routing Protocol (ZRP), [46], και το Location-Aided Routing (LAR), πρωτόκολλο.

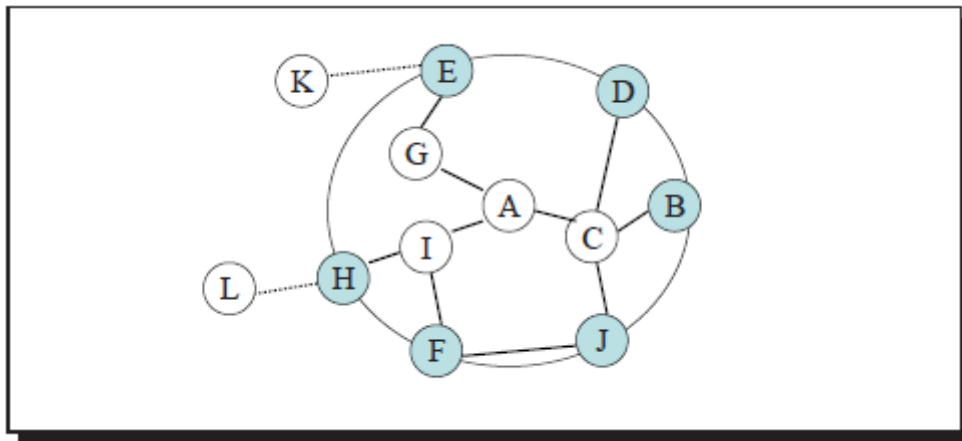
4.24 ZRP - Το πρωτόκολλο Ζώνης

Το Zone Routing Protocol (ZRP), συνδυάζει τη λογική των proactive και reactive.

Το ZRP ορίζει μια περιφέρεια γύρω από κάθε κόμβο με την ακτίνα αυτής να υπολογίζεται

σε αριθμό αλμάτων. Κάθε κόμβος χρησιμοποιεί μία proactive λογική δρομολόγησης για τους κόμβους που βρίσκονται εντός της περιφέρειας και reactive προκειμένου να επικοινωνήσει με εκείνους που βρίσκονται εκτός. Με τη

λογική αυτή, κάθε κόμβος γνωρίζει τους κόμβους που βρίσκονται εντός της περιφέρειάς του και διατηρεί την πληροφορία αυτή στον πίνακα δρομολόγησης του. Συνεπώς, όταν θελήσει να επικοινωνήσει με κάποιον από αυτούς ελέγχει τον πίνακα δρομολόγησης του ο οποίος είναι ήδη ενημερωμένος. Στη δε περίπτωση που επιθυμεί να επικοινωνήσει με κάποιο κόμβο εκτός της περιφέρειάς του, τότε ξεκινά μια διαδικασία εύρεσης της διαδρομής. Μια γραφική απεικόνιση ενός τέτοιου παραδείγματος φαίνεται στην Εικόνα 4.8



Εικόνα 4.8 γραφική απεικόνιση ZRP

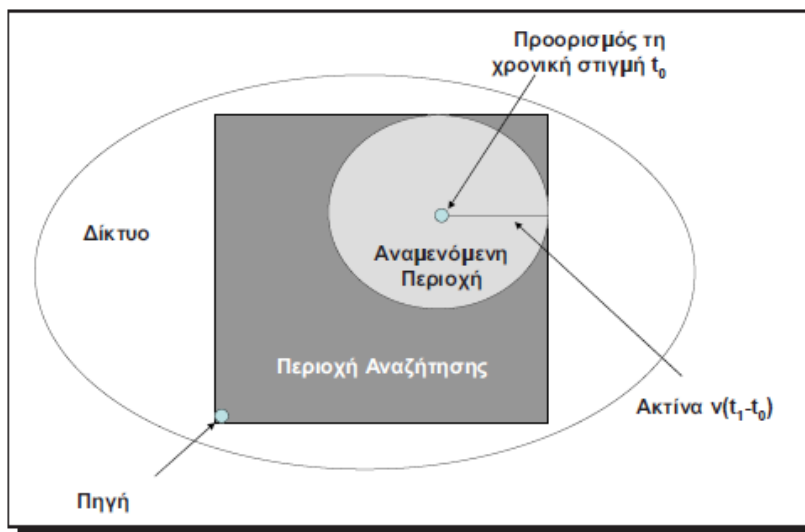
Αυτή η διαδικασία εύρεσης της διαδρομής έχει ως εξής. Όταν ένας κόμβος (πηγή) θέλει να μεταδώσει δεδομένα προς έναν άλλο (προορισμό) εκτός της περιφέρειάς του, τότε στέλνει ένα μήνυμα αναζήτησης σε όλους τους κόμβους που βρίσκονται στην περιφέρειά του. Πρόκειται δηλαδή για εκείνους τους κόμβους που η μικρότερη απόστασή τους από την πηγή είναι ίση με την ακτίνα της περιφέρειας. Οι κόμβοι αυτοί ελέγχουν αν ο προορισμός βρίσκεται εντός της δικής τους περιφέρειας. Αν ναι, τότε στέλνουν ένα μήνυμα προς την πηγή αναφέροντας τη σχετική πληροφορία για τον κόμβο αυτό. Αν όχι, τότε προωθούν το μήνυμα αναζήτησης στους δικούς τους κόμβους που βρίσκονται στην περιοχή μέχρι τελικά να βρεθεί ο κόμβος.

4.25 Πρωτόκολλο LAR

Το Location-Aided Routing (LAR), πρωτόκολλο δρομολόγησης είναι ένα reactive πρωτόκολλο και χρησιμοποιεί πληροφορίες γεωγραφικού χαρακτήρα

προκειμένου να δρομολογήσει τα μηνύματα που αναζητούν τις διαδρομές προς την προηγούμενη γνωστή θέση του προορισμού. Το πρωτόκολλο καθορίζει δύο διαφορετικές περιοχές: την αναμενόμενη περιοχή και την περιοχή αναζήτησης.

Η αναμενόμενη περιοχή αφορά το πού είναι πιθανόν να βρίσκεται ο προορισμός. Προκειμένου να υπολογιστεί η περιοχή αυτή είναι απαραίτητο η πηγή να έχει γνώση μιας προηγούμενης θέσης του προορισμού σε μια χρονική στιγμή t_0 καθώς και της ταχύτητας v με την οποία μετακινούνται ο προορισμός τη χρονική στιγμή t_0 . Αν η τρέχουσα χρονική στιγμή είναι η t_1 , τότε η αναμενόμενη περιοχή υπολογίζεται σαν ένας κύκλος ακτίνας $v(t_1 - t_0)$ με κέντρο τη θέση που είχε ο προορισμός τη χρονική στιγμή t_0 . Η περιοχή αναζήτησης πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ώστε υπάρχει η πιθανότητα να βρεθεί ο κόμβος (στην περίπτωση που κάτι άλλαξε και τελικά δεν βρίσκεται στην περιοχή αναζήτησης). Ένας τρόπος για να οριστεί η περιοχή αυτή είναι σαν το μικρότερο ορθογώνιο παραλληλόγραμμο το οποίο περιέχει την αναμενόμενη περιοχή και την πηγή. Μια γραφική απεικόνιση των περιοχών αυτών φαίνεται στην Εικόνα 4.9



Εικόνα 4.9 γραφική απεικόνιση των περιοχών LAR

Έστω, λοιπόν, πως μια πηγή θέλει να μεταδώσει δεδομένα σε έναν προορισμό. Αν δεν έχει καμία απολύτως πληροφορία σχετικά με τον προορισμό τότε η μόνη επιλογή είναι παρόμοια με αυτή των άλλων reactive πρωτοκόλλων (π.χ., με τη διάχυση στο δίκτυο ενός RREQ μηνύματος αναζήτησης της διαδρομής). Το ενδιαφέρον προκύπτει από τη στιγμή που υπάρχει ήδη κάποια πληροφορία. Τότε, δημιουργείται πάλι το RREQ μήνυμα το οποίο όμως στην

πορεία ανάμεσα στους κόμβους δεν επεξεργάζεται από εκείνους που δεν ανήκουν στην περιοχή αναζήτησης. Οι κόμβοι γνωρίζουν αν βρίσκονται στην περιοχή αναζήτησης εξαιτίας πληροφορίας που μεταφέρεται με το RREQ μήνυμα και επειδή οι ίδιοι γνωρίζουν τη γεωγραφική τους θέση στο δίκτυο.

Το αποτέλεσμα αυτής της προσέγγισης είναι να μειώνεται η αναζήτηση μιας διαδρομής σε εκείνο το κλάσμα του δικτύου που αφορά την περιοχή αναζήτησης με προφανείς ευεργετικές συνέπειες στους πόρους του δικτύου και τη χρονική καθυστέρηση. Βέβαια, ένα θέμα το οποίο υπεισέρχεται αφορά το μέγεθος της περιοχής αναζήτησης. Όσο πιο μεγάλη είναι τόσο πιο πιθανό είναι να βρεθεί τελικά ο προορισμός αλλά ταυτόχρονα εισάγεται και ένα ζήτημα πολυπλοκότητας. Από την άλλη πλευρά, μικρές περιοχές του δικτύου μπορεί να καταλήξουν στη μη εύρεση του προς αναζήτηση προορισμού.

Κάποια επιπλέον πρωτόκολλα είναι τα παρακάτω και παρουσιάζονται συνοπτικά

- Landmark

Υποτίθεται πως υπάρχουν ομάδες κόμβων που έχουν παρόμοια συμπεριφορά κυρίως όσον αφορά στην κίνηση τους.

Κάθε ομάδα κόμβων που έχει παρόμοια συμπεριφορά κίνησης ανακηρύσσει ένα σταθμό σαν LANDMARK και μέσω αυτού γίνεται κάθε δρομολόγηση προς και από την ομάδα.

Κάθε σταθμός πρέπει να αποκτά routing πληροφορίες μόνο για τον LANDMARK σταθμό που έχει ανακηρύξει η ομάδα που ανήκει, μέσω κάποιου distance vector πρωτοκόλλου. Μεταξύ των LANDMARK σταθμών χρησιμοποιείται οποιοδήποτε πρωτόκολλο όπως AODV, DSR, DSVD, FRS.

- TRR, TLR – Terminodes Remote-Local Routing

Ιεραρχικό πρωτόκολλο που χρησιμοποιεί το TLR για τοπικές μεταδόσεις πακέτων και το TRR για γεωγραφικά απομακρυσμένες. Απαιτεί την ύπαρξη συστήματος παροχής πληροφοριών γεωγραφικής θέσης (GPS π.χ.) για την λειτουργία του TRR. Το TRR είναι reactive πρωτόκολλο ενώ το TLR proactive. Στο μέλλον θα υποστηρίζει κατανομή πόρων με QoS περιορισμούς και σταθερές υπηρεσίες πραγματικού χρόνου.

- CGSR – Clusterhead Gateway Switching Routing

Χρησιμοποιεί σαν βάση τον DSVD αλγόριθμο. Ομάδες σταθμών σχηματίζουν clusters και επιλέγουν έναν για clusterhead. Χρειάζεται η διατήρηση 2 πινάκων σε κάθε κόμβο. -Η δρομολόγηση πακέτων γίνεται ιεραρχικά : node – Clusterhead node – Dest Clusterhead node – dest node. Πολύ καλό για μεγάλα δίκτυα. Ευαίσθητο σε point failures. Σημαντικό το πόσο συχνά κάνει επιλογή clusterheads.

4.26 Σύγκριση των επιπέδων πρωτοκόλλων δρομολόγησης

Τα πρωτόκολλα TBRPD, TORA, Gossiping, E-TORA και ZRP είναι αποτελεσματικά στην περίπτωση που οι κόμβοι κινούνται. Επιπλέον, τα πρωτόκολλα TBRPF, RR και ZRP είναι εύρωστα, κυρίως λόγω του γεγονότος ότι χρησιμοποιούν περιοδικά μηνύματα για να ανακαλύψουν τους ενεργούς κόμβους του δικτύου. Από την άλλη πλευρά, τα πρωτόκολλα E-TORA και ZRP δεν χρησιμοποιούν τη συντομότερη διαδρομή όπως τα άλλα πρωτόκολλα, αλλά επιλέγουν την καλύτερη διαδρομή με βάση την ενέργεια των κόμβων. Επιπλέον, τα πρωτόκολλα TORA, Φήμης, RR και E-TORA είναι επεκτάσιμα.

4.27 Ιεραρχικά Πρωτόκολλα Δρομολόγησης

Ο κύριος στόχος της ιεραρχικής δρομολόγησης είναι η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας με την ταξινόμηση των κόμβων σε συστοιχίες. Σε κάθε σύμπλεγμα, επιλέγεται ένας κόμβος ως ηγέτης ή κεφαλή συμπλέγματος. Τα διαφορετικά σχήματα για ιεραρχικές δρομολογήσεις διαφέρουν κυρίως στον τρόπο με τον οποίο επιλέγεται η κεφαλή συμπλέγματος και πώς συμπεριφέρονται οι κόμβοι στον τομέα inter και intra-cluster.

Με αυτόν τον τύπο πρωτοκόλλου η επιλογή της ενεργητικής και της ενεργού δρομολόγησης εξαρτάται από το ιεραρχικό επίπεδο στο οποίο βρίσκεται ένας κόμβος. Η δρομολόγηση αρχικά δημιουργείται με ορισμένες προορατικές διαδρομές και στη συνέχεια εξυπηρετεί τη ζήτηση από επιπλέον ενεργοποιημένους κόμβους μέσω αντιδραστικών πλημμυρών στα κατώτερα επίπεδα. Η επιλογή μιας ή της άλλης μεθόδου απαιτεί κατάλληλη απόδοση για τα αντίστοιχα επίπεδα. Τα κύρια μειονεκτήματα τέτοιων αλγορίθμων είναι:

- Το πλεονέκτημα εξαρτάται από το βάθος του σχήματος φωλιάσματος και διευθυνσιοδότησης.

- Η ανταπόκριση στη ζήτηση κυκλοφορίας εξαρτάται από την αντιστοίχιση παραμέτρων.

4.28 LEACH - Το πρωτόκολλο Χαμηλής Ενέργειας Προσαρμοσμένων Συστάδων

Στο LEACH ο ρόλος της κεφαλής συστάδας μεταφέρεται περιοδικά μεταξύ των κόμβων του δικτύου για να κατανείμει την κατανάλωση ενέργειας. Οι επιδόσεις του LEACH βασίζονται σε γύρους. Έπειτα, σε κάθε γύρο εκλέγεται μια κεφαλή συστάδων. Για αυτές τις εκλογές, χρησιμοποιείται ο αριθμός των κόμβων που δεν έχουν επικεφαλής συμπλέγματος και το ποσοστό των κεφαλών συμπλέγματος. Μόλις καθοριστεί η κεφαλή συμπλέγματος στη φάση εγκατάστασης, καθορίζει ένα πρόγραμμα TDMA για τις μεταδόσεις στο σύμπλεγμα. Αυτός ο προγραμματισμός επιτρέπει στους κόμβους να απενεργοποιούν τις διεπαφές τους όταν δεν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Η κεφαλή συμπλέγματος είναι ο δρομολογητής στον νεροχύτη και είναι επίσης υπεύθυνος για τη συγκέντρωση δεδομένων. Καθώς η κεφαλή συμπλέγματος ελέγχει τους αισθητήρες που βρίσκονται σε μια στενή περιοχή, η συσσωμάτωση δεδομένων που εκτελείται από αυτόν τον οδηγό επιτρέπει την απομάκρυνση των πλεονασμάτων.

Μια κεντρική έκδοση αυτού του πρωτοκόλλου είναι το LEACH-C. Το σχήμα αυτό βασίζεται επίσης σε γύρους χρόνου που χωρίζονται στη φάση ρύθμισης και στη σταθερή φάση. Στη φάση ρύθμισης, οι αισθητήρες ενημερώνουν τον σταθμό βάσης για τις θέσεις τους και για το επίπεδο ενέργειας τους. Με αυτές τις πληροφορίες, ο σταθμός βάσης αποφασίζει τη δομή των συστάδων και τις αντίστοιχες κεφαλές συμπλέκτη τους. Δεδομένου ότι ο σταθμός βάσης κατέχει πλήρη γνώση της κατάστασης του δικτύου, η δομή συμπλέγματος που προκύπτει από το LEACH-C θεωρείται βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων του LEACH.

4.29 LEACH-C - Το πρωτόκολλο Χαμηλής Ενέργειας Κεντροποιημένων Συστάδων

Το LEACH-C είναι ένα πρωτόκολλο με βάση το σύμπλεγμα στο οποίο τυχαία επιλέγονται κεφαλές συμπλέγματος από τον σταθμό βάσης. Όλοι οι κόμβοι που έχουν την ενέργεια πάνω από το μέσο όρο είναι επιλέξιμοι για να είναι επικεφαλής συμπλέγματος. Ο σταθμός βάσης τρέχει έναν προσομοιωμένο

αλγόριθμο ανόπτησης για να βρει τη βέλτιστη λύση με καλύτερες θέσεις για να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας των κεφαλών συμπλέγματος. Στο πρωτόκολλο ενεργειακής απόδοσης LEACH-C (EELEACH-C), στο οποίο ο σταθμός βάσης τρέχει έναν αλγόριθμο ταξινόμησης για να αποκτήσει μια λίστα με υποψήφιους κόμβους κεφαλής συστάδας που ταξινομούνται κατά φθίνουσα τιμή την υπολειμματική τους ενέργεια. Αφού εξετάσει τους υποψήφιους κόμβους της ομάδας συστοιχιών, επιλέγει εκείνους με μέγιστη υπολειπόμενη ενέργεια και από το να υπολογίσει το τετραγωνικό άθροισμα των αποστάσεων από κάθε κεφαλή συμπλέγματος στους κόμβους μελών για να βρει την βέλτιστη λύση. Το πειραματικό αποτέλεσμα βεβαιώνει ότι το προτεινόμενο πρωτόκολλο βελτιώνει τη μακροζωία του δικτύου.

4.30 PEGASIS - Το πρωτόκολλο Ενεργειακής Απόδοσης Συλλογής

Θεωρείται βελτιστοποίηση του αλγορίθμου LEACH. Αντί να ταξινομεί τους κόμβους σε συστοιχίες, ο αλγόριθμος σχηματίζει αλυσίδες των κόμβων των αισθητήρων. Με βάση αυτή τη δομή, κάθε κόμβος μεταδίδει και λαμβάνει από έναν μόνο πλησιέστερο κόμβο των γειτόνων του. Με αυτό το σκοπό, οι κόμβοι ρυθμίζουν τη δύναμη των μεταδόσεών τους. Ο κόμβος πραγματοποιεί τη συσσωμάτωση δεδομένων και τον προωθεί στον κόμβο της αλυσίδας που επικοινωνεί με το νεροχύτη. Σε κάθε γύρο, ένας κόμβος στην αλυσίδα επιλέγεται να επικοινωνεί με τον νεροχύτη. Η αλυσίδα κατασκευάζεται με έναν άπληστο αλγόριθμο.

4.31 TEEN - Το πρωτόκολλο Ευαίσθητου Ορίου Δικτύου Αισθητήρων

Το TEEN είναι άλλο ιεραρχικό πρωτόκολλο για αντιδραστικά δίκτυα που ανταποκρίνεται άμεσα σε αλλαγές στις σχετικές παραμέτρους. Σε αυτό το πρωτόκολλο μια κεφαλή συστάδων (CH) στέλνει μια σκληρή τιμή κατωφλίου και μια μαλακή. Οι κόμβοι αισθάνονται το περιβάλλον τους συνεχώς. Την πρώτη φορά που μια παράμετρος από το σετ χαρακτηριστικών φτάνει στη σκληρή τιμή κατωφλίου, ο κόμβος ανοίγει τον πομπό του και στέλνει τα δεδομένα του. Οι κόμβοι στη συνέχεια μεταδίδουν δεδομένα στην τρέχουσα περίοδο συσχέτισης εάν ισχύουν οι ακόλουθες συνθήκες: η τρέχουσα τιμή του χαρακτηριστικού ανίχνευσης είναι μεγαλύτερη από το σκληρό κατώφλι και η τρέχουσα τιμή του χαρακτηριστικού ανίχνευσης διαφέρει από την ανιχνευόμενη τιμή κατά ποσό ίσο ή

μεγαλύτερο από το μαλακό κατώφλι. Και η στρατηγική φαίνεται να μειώνει τα μηνύματα που μεταδίδουν ενέργεια.

Το κύριο μειονέκτημα αυτού του σχήματος είναι ότι, αν δεν επιτευχθούν τα κατώτατα όρια, οι κόμβοι δεν θα επικοινωνούν ποτέ. ο χρήστης δεν θα πάρει καθόλου δεδομένα από το δίκτυο και δεν θα έρθει να γνωρίζει ακόμα κι αν πεθάνουν όλοι οι κόμβοι. Έτσι, το σύστημα αυτό δεν είναι κατάλληλο για εφαρμογές όπου ο χρήστης χρειάζεται να λαμβάνει δεδομένα σε τακτική βάση.

4.32 APTEEN - Το πρωτόκολλο Προσαρμοσμένου Ευαίσθητου Ορίου Ικτύου Αισθητήρων

Ένα υβριδικό πρωτόκολλο δρομολόγησης (APTEEN) το οποίο επιτρέπει την πλήρη ανάκτηση πληροφοριών. Οι κόμβοι σε ένα τέτοιο δίκτυο όχι μόνο αντιδρούν σε κρίσιμες χρονικές καταστάσεις αλλά και παρέχουν μια συνολική εικόνα του δικτύου σε περιοδικά διαστήματα με πολύ ενεργειακά αποδοτικό τρόπο. Ένα τέτοιο δίκτυο επιτρέπει στο χρήστη να ζητά παρελθόντα, παρόντα και μελλοντικά δεδομένα από το δίκτυο με τη μορφή ιστορικών, εφάπαξ και επίμονων ερωτημάτων αντίστοιχα. Αξιολογήσαμε την απόδοση αυτών των πρωτοκόλλων και παρατηρήσαμε ότι αυτά τα πρωτόκολλα παρατηρούνται ότι υπερβαίνουν τα υπάρχοντα πρωτόκολλα όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας και τη μακροζωία του δικτύου.

4.33 TTDD - Το πρωτόκολλο Διπλής Διάδοσης Δεδομένων

Μια προσέγγιση δύο επιπέδων διάδοσης δεδομένων που παρέχει κλιμακούμενη και αποτελεσματική παράδοση δεδομένων σε πολλαπλούς, κινητούς νεροχύτες. Κάθε πηγή δεδομένων στο TTDD δημιουργεί προορατικά μια δομή πλέγματος, η οποία επιτρέπει στους κινητούς νεροχύτες να λαμβάνουν συνεχώς δεδομένα σχετικά με την κίνηση με ερωτήματα πλημμύρας μόνο σε ένα τοπικό κελί. Ο σχεδιασμός του TTDD εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι οι αισθητήρες είναι ακίνητοι και εντοπίζουν την τοποθεσία για να κατασκευάσουν και να διατηρήσουν την υποδομή του δικτύου με χαμηλή επιβάρυνση. Αξιολογούμε το TTDD τόσο με ανάλυση όσο και με εκτεταμένες προσομοιώσεις. Τα αποτελέσματά μας δείχνουν ότι το TTDD χειρίζεται αποτελεσματικά την κινητικότητα νεροχύτη με απόδοση συγκρίσιμη με εκείνη των στατικών νεροχύτη.

4.34 BCDCP - Το πρωτόκολλο Ελεγχόμενης Δυναμικής Συσταδοποίησης Σταθμού Βάσης

Ως επέκταση της LEACH και της PEGASIS, ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης βασισμένο σε σύμπλεγμα, το οποίο ονομάζεται ελεγχόμενος σταθμός βάσης. Το πρωτόκολλο δυναμικής ομαδοποίησης (BCDCP) είναι ένας ασύρματος αισθητήρας, με πολύπλοκες υπολογιστικές ικανότητες που κάνει τους κόμβους των αισθητήρων να είναι πολύ απλοί και οικονομικοί. Στο BCDCP, οι ενεργειακές αποφάσεις υπολογισμού ενέργειας λαμβάνονται από το BS, που υποτίθεται ότι είναι μη ενεργειακά περιορισμένη και έχοντας επίγνωση της θέσης όλων των κόμβων αισθητήρων στο δίκτυο.

Το BCDCP χτίζει ομοιόμορφα κατανεμημένα σύμπλεγμα και δεν περιορίζεται σε μια συγκεκριμένη περιοχή του δικτύου. Εκτελεί ισορροπημένο σχηματισμό συμπλέγματος με εξισορρόπηση του μεγέθους του σε συστοιχίες.

Το BCDCP λειτουργεί σε δύο μεγάλες φάσεις: ρύθμιση και δεδομένα επικοινωνία. Κατά τη διάρκεια της φάσης επικοινωνίας δεδομένων, κάθε μία κεφαλή συστοιχίας (CH) λαμβάνει σήματα από την κεφαλή που δεν συμπλέκεται με άλλα μέλη, και τα συγκεντρώνει πριν προχωρήσουμε σε ένα multi-hop CH-προς-CH διαδρομή δρομολόγησης, που κατασκευάστηκε εφαρμόζοντας ελάχιστο MST. Χρησιμοποιώντας την τεχνική MST, το BCDCP συνδέει όλα τα CH με βάση το χωρικό τους διαχωρισμού, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η ποσότητα ενέργειας που διαχέεται για κάθε CH. Κατά την κατασκευή του MST, BCDCP τυχαία επιλέγει ένα από τα CH για να είναι εκείνο που προωθεί τα δεδομένα σε το μακρινό BS.

Το BCDCP παρέχει δραστικές βελτιώσεις έναντι του LEACH, LEACH-C και PEGASIS. Αποφεύγει την άμεση μετάδοση από κάθε CH προς το απομακρυσμένο BS που δίνει σημαντική μείωση στην κατανάλωση ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Πρωτόκολλα Βασισμένα στο Μοντέλο Επικοινωνίας

Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε και θα αναλύσουμε τα Πρωτόκολλα Βασισμένα στο Μοντέλο Επικοινωνίας

5.1 Πρωτόκολλα Βασισμένα στα Ερωτήματα (Query-Based)

Τα πρωτόκολλα βασισμένα στα ερωτήματα είναι πρωτόκολλα στα οποία οι κόμβοι προορισμού διαδίδουν ένα ερώτημα για τα δεδομένα από έναν κόμβο του δικτύου και ο κόμβος που έχει αυτά τα δεδομένα στέλνει τα δεδομένα που ταιριάζουν με το ερώτημα πίσω στον κόμβο ο οποίος έχει ξεκινήσει το ερώτημα. Όλοι οι κόμβοι που έχουν στους πίνακες τους δεδομένα που ταιριάζουν με αυτό το ερώτημα τα στέλνουν στον κόμβο. Ο σταθμός βάσης στέλνει μηνύματα ενδιαφέροντος στους αισθητήρες. Το μήνυμα διαδίδεται σε όλο το δίκτυο αισθητήρων και έχει συσταθεί η διαδρομή από την πηγή στην βάση. Όταν η πηγή έχει τα δεδομένα ενδιαφέροντος, η πηγή στέλνει τα δεδομένα κατά μήκος αυτής της πορείας ενδιαφέροντος. Για να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας, γίνεται συνάθροιση των δεδομένων κατά την αποστολή.

5.2 DD - Το πρωτόκολλο Κατευθυνόμενης Διάχυσης

Το DD μπορεί να επιλέξει εμπειρικά καλές διαδρομές και να χρησιμοποιήσει τις τεχνικές της γρήγορης μνήμης και της επεξεργασίας δεδομένων στο δίκτυο, προκειμένου να επιτύχει την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας.

Το DD αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία:

- Ονομασία. Οι εργασίες ονοματοδοτούνται χρησιμοποιώντας μια λίστα από ζεύγη χαρακτηριστικών (είδος των δεδομένων, το χρονικό διάστημα από τη διαβίβαση των στοιχείων, η διάρκεια κ.λπ.)
- Συμφέροντα και Κλήσεις. Η περιγραφή των εργασιών καθορίζει πως τα δεδομένα ταιριάζουν με τα χαρακτηριστικά. Τα στοιχεία αυτά, που αποστέλλονται ως απάντηση στα ερωτήματα, ονοματίζονται χρησιμοποιώντας ένα παρόμοιο σχήμα ονοματοδοσίας.

- Διάδοση Δεδομένων. Σε περίπτωση που ένας κόμβος αισθητήρας ανιχνεύει ένα στόχο, ψάχνει για τα δεδομένα στη μνήμη που αντιστοιχούν στο ερώτημα.
- Ενίσχυση. Οι εκδηλώσεις αρχίζουν να ρέουν προς τους δημιουργούς των συμφερόντων κατά μήκος πολλαπλών διαδρομών. Το δίκτυο αισθητήρων ενισχύει ένα, ή μικρό αριθμό από αυτά τα μονοπάτια.

Έτσι λοιπόν το DD έχει τη δυνατότητα για σημαντική μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κόμβων και για παράταση της διάρκειας ζωής του δικτύου.

5.3 Το πρωτόκολλο COUGAR

Βάσει αυτής της προσέγγισης, το δίκτυο προβλέπεται ως κατανεμημένη βάση δεδομένων όπου ορισμένοι κόμβοι που περιέχουν τις πληροφορίες είναι προσωρινά μη προσβάσιμοι. Δεδομένου ότι ο κόμβος αποθηκεύει ιστορικές τιμές, το δίκτυο συμπεριφέρεται ως αποθήκη δεδομένων. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι οι κακές συνθήκες διάδοσης μπορούν να οδηγήσουν στην αποθήκευση εσφαλμένων πληροφοριών στους κόμβους. Λαμβάνοντας υπόψη αυτήν την περίπτωση, το COUGAR παρέχει μια διεπαφή τύπου SQL που επεκτείνεται για να ενσωματώσει μερικές ρήτρες για να μοντελοποιήσει την κατανομή πιθανότητας. Ο νεροχύτης είναι υπεύθυνος για τη δημιουργία ενός σχεδίου ερωτήματος το οποίο παρέχει τις συμβουλές για την επιλογή ενός ειδικού κόμβου που ονομάζεται ηγέτης. Οι ηγέτες δικτύου εκτελούν συσσωμάτωση και μεταδίδουν τα αποτελέσματα στον νεροχύτη.

5.4 ACQUIRE - Το πρωτόκολλο Ενεργούς Προώθησης Ερωτημάτων

Αυτός ο αλγόριθμος θεωρεί επίσης το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων ως κατανεμημένη βάση δεδομένων. Σε αυτό το σχήμα, ένας κόμβος εισάγει ένα ενεργό πακέτο ερωτήματος στο δίκτυο. Οι γειτονικοί κόμβοι που ανιχνεύουν ότι το πακέτο περιέχει ξεπερασμένες πληροφορίες, εκπέμπει ένα μήνυμα ενημέρωσης στον κόμβο. Στη συνέχεια, ο κόμβος επιλέγει τυχαία έναν γείτονα για να προωθήσει το ερώτημα το οποίο πρέπει να επιλύσει. Καθώς το ενεργό ερώτημα προχωρά μέσω του δικτύου, μετατρέπεται προοδευτικά σε μικρότερα και μικρότερα εξαρτήματα μέχρι να επιλυθεί τελείως. Στη συνέχεια, το ερώτημα επιστρέφεται στον κόμβο ερωτήματος ως ολοκληρωμένη απάντηση.

5.5 Coherent and Non- Coherent - Συνεκτικά και μη-Συνεκτικά πρωτόκολλα / SWE - Το πρωτόκολλο του ενός Νικητή / MWE - Το πρωτόκολλο Πολλών Νικητών

Για μη συνεκτική επεξεργασία, τα ακατέργαστα δεδομένα αισθητήρων θα προεπεξεργαστούν σε κάθε κόμβο για να εξαγάγουν ένα μικρό σύνολο τις παραμέτρους που πρέπει να διαβιβάζονται σε έναν κεντρικό κόμβο (CN) για περαιτέρω επεξεργασία. για συνεκτική επεξεργασία όπως η τυφλή, τα δεδομένα ακατέργαστου αισθητήρα, μετά από ελάχιστη προεπεξεργασία, θα επισημαίνονται με μια χρονική σφραγίδα και θα μεταφορτωθούν μέσω του τοπικού δικτύου για πιο εντατικούς υπολογισμούς. Αν και η ενεργειακή απόδοση είναι ο τελικός στόχος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικές προσεγγίσεις ανάλογα με τις λειτουργίες συνεργασίας που χρησιμοποιούνται.

Οι μη συνεκτικές λειτουργίες έχουν σχετικά χαμηλή φόρτωση δεδομένων. Ως εκ τούτου, θα εστιάσουμε την προσπάθειά μας στη βελτίωση αλγοριθμική απόδοση. Από την άλλη πλευρά, δεδομένου ότι η συνεκτική επεξεργασία παράγει μακράς ροής δεδομένα, η αποτελεσματικότητα πρέπει να επιτευχθεί με τη βέλτιστη διαδρομή.

Μη συνεκτική συνεταιριστική λειτουργία: Σε γενικές γραμμές, υπάρχουν τρεις φάσεις στη διαδικασία σχηματισμού δικτύου επεξεργασίας:

I. Ανίχνευση στόχων, συλλογή δεδομένων και προεπεξεργασία

II. Δήλωση Συμμετοχής

III. Κεντρικές εκλογές κόμβων

Κατά τη διάρκεια της φάσης I, εντοπίζεται ένας στόχος, τα δεδομένα του συλλέγονται και προεπεξεργάζονται. Αν και ο κόμβος νεροχύτη μπορεί να υπερισχύσει των αποφάσεων που λαμβάνονται σε τοπικό επίπεδο, τα αποτελέσματα της προεπεξεργασίας μπορούν να αποτελέσουν καλούς δείκτες αν ένας κόμβος πρέπει να συμμετέχει σε μια συνεταιριστική λειτουργία. Ένας τέτοιος δείκτης είναι το Σήμα προς Θόρυβο - Αναλογία (SNR). Όταν ένας κόμβος αποφασίσει να συμμετάσχει σε μια συνεταιριστική συνάρτηση, θα εισέλθει στη φάση II να το δηλώσει την πρόθεση του σε όλους τους γείτονες. Αυτό πρέπει να γίνει το συντομότερο δυνατόν, έτσι ώστε κάθε αισθητήρας να έχει κατανόηση της τοπολογίας του δικτύου. Η τρίτη φάση της διαδικασίας σχηματισμού είναι η εκλογή του Κεντρικού Κόμβου (CN). Δεδομένου ότι η CN έχει επιλεγεί για να εκτελεί πιο εξελιγμένη επεξεργασία πληροφοριών, πρέπει να έχει επαρκές ενεργειακό

απόθεμα και υπολογιστική ικανότητα. Μπορεί επίσης να επιλεγεί με βάση το SNR, το οποίο είναι καλός εκτιμητής για την απόσταση από τον στόχο. Ο αλγόριθμος εκλογών της ΚΟ έχει δύο συνιστώσες:

- (1) Ένας αλγόριθμος επιλογής ενός νικητή (SWE)
- (2) αλγόριθμος Spanning Tree (ST).

Το πρώτο στοιχείο χειρίζεται την απαραίτητη σηματοδότηση που διευκολύνει την ανταλλαγή υποψήφιων πληροφοριών. Η δεύτερη συνιστώσα υπολογίζει ένα ελάχιστο δένδρο λυκίσκου που έχει ρίζες στη ΣΟ. Με την εκλογή της δρομολόγησης πληροφοριών μαζί σε ένα μήνυμα Elect, είναι δυνατή η ταυτόχρονη εκτέλεση και των δύο αλγορίθμων.

Κάθε μήνυμα Elect προσδιορίζει έναν πιθανό υποψήφιο CN και ένα σύνολο παραμέτρων που χρησιμεύουν ως εκλογές - κριτήρια σύγκρισης των υποψηφίων. Στο αρχικό στάδιο της διαδικασίας SWE, κάθε κόμβος μπορεί να επιβάλει προαιρετική καθυστέρηση διαφόρου μήκους, προτού ανακοινωθεί ως υποψήφιος της ΚΕ μέσω της εκπομπής Elect

μηνυμάτων. Σε απάντηση στην πρώτη παρτίδα των μηνυμάτων Elect, ο κόμβος που τους έλαβε θα ξεκινήσει συγκρίνοντας τους προτεινόμενους υποψηφίους CN με τον εαυτό της και απαντώντας με μια δεύτερη παρτίδα μηνυμάτων Elect, που φέρει το αποτέλεσμα αυτής της αρχικής σύγκρισης. Η δεύτερη παρτίδα μετάδοσης μηνυμάτων πιθανόν να γεννήσει περαιτέρω ανταλλαγή μηνυμάτων. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, για κάθε μήνυμα που παρουσιάζει έναν καλύτερο υποψήφιο, οι πληροφορίες θα καταγράφονται στο μητρώο και στη συνέχεια θα διαβιβάζονται σε όλους τους γείτονες. Διαφορετικά το μήνυμα απορρίπτεται.

Συνεργατική συνεταιριστική λειτουργία : Ο συνεπής αλγόριθμος διακρίνει τη μη συνεκτική περίπτωση από δύο απόψεις:

- (1) Περιορισμένος αριθμός αισθητήρων που παράγουν δεδομένα.
- (2) Αυξημένος υπολογισμός ελάχιστων ενεργειακών διαδρομών.

Δεδομένου ότι το ενεργειακό κόστος της φόρτωσης μακράς ροής δεδομένων στον κεντρικό κόμβο είναι υψηλό, μια εκλογή πολλών νικητών (MWE) χρησιμοποιείται για τον περιορισμό του αριθμού των κόμβων προέλευσης αισθητήρων (SN) που θα παρέχουν τα δεδομένα.

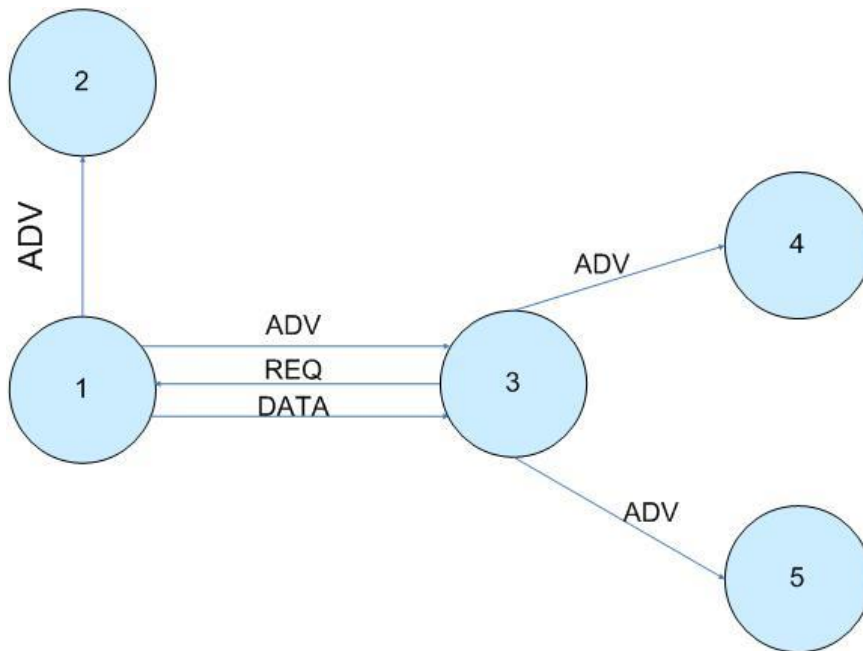
Η διαδικασία MWE είναι μια απλή επέκταση της διαδικασίας SWE. Αντί να τηρεί αρχείο ενός καλύτερου υποψηφίου, κάθε κόμβος θα κρατήσει τώρα έως και n . Όπως και στην περίπτωση που δεν είναι συνεκτική, για κάθε υποψήφιο SN, μια

διαδρομή ελαχίστης ενέργειας μπορεί να υπολογιστεί με την ανάκτηση πληροφοριών σχετικά με την ισχύ του συνδέσμου στα μηνύματα Elect. Στο τέλος της διαδικασίας MWE, κάθε αισθητήρας στο δίκτυο έχει ένα σύνολο ελάχιστης διαδρομής ενέργειας σε κάθε SN. Στη συνέχεια μπορεί να γίνει η συνολική κατανάλωση ενέργειας για να φορτωθούν δεδομένα από κάθε SN σε κάθε κόμβο στο τοπικό δίκτυο. Χρησιμοποιώντας αυτό το ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας ως κριτήριο εκλογών, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια διαδικασία SWE για την εύρεση του κόμβου που αποδίδει την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας. Αυτός ο κόμβος μπορεί στη συνέχεια να χρησιμεύσει ως CN για την συνεταιριστική λειτουργία. Σε γενικές γραμμές, η διαδικασία σχηματισμού έχει μεγαλύτερη καθυστέρηση, υψηλότερη επιβάρυνση και χαμηλότερη κλιμάκωση από ό, τι για μη συνεκτικά δίκτυα επεξεργασίας.

5.6 Πρωτόκολλα Βασισμένα στην Διαπραγμάτευση (Negotiation-Based)

Το SPIN αντιπροσωπεύει το πρωτόκολλο αισθητήρων για πληροφορίες μέσω διαπραγμάτευσης. Υπάρχει οικογένεια πρωτοκόλλων που καλείται SPIN. Έρχονται με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Αυτά τα πρωτόκολλα έχουν σχεδιαστεί για να αντιμετωπίσουν την έλλειψη πλημμυρών και κουτσομπολιού.

Το SPIN χρησιμοποιεί τρεις τύπους μηνυμάτων, ADV, REQ και DATA. Το μήνυμα ADV μεταδίδεται από έναν κόμβο που έχει κάποια δεδομένα. Αυτό το μήνυμα μεταδίδεται από τον κόμβο. Αυτό το μήνυμα θα αναφέρει τον τύπο δεδομένων που περιέχει ο κόμβος διαφήμισης. Οι ενδιαφερόμενοι κόμβοι που έλαβαν το μήνυμα ADV στείλουν μήνυμα REQ ζητώντας τα δεδομένα. Ο κόμβος που έχει τα δεδομένα στέλνει τα δεδομένα στους ενδιαφερόμενους κόμβους. Οι κόμβοι μετά τη λήψη δεδομένων αποστέλλουν μήνυμα ADV και η διαδικασία συνεχίζεται. Αυτό μπορεί να φανεί στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 5.1 Κόμβοι Negotiation-Based Protocol

Ο κόμβος 1 στέλνει μήνυμα ADV σε όλους τους γείτονες του, 2 και 3. Node 3 αιτήματα για τα δεδομένα χρησιμοποιώντας το μήνυμα REQ, για τον οποίο ο κόμβος 1 στέλνει δεδομένα χρησιμοποιώντας το μήνυμα DATA στον κόμβο 3. Μετά την παραλαβή των δεδομένων ο κόμβος 3 στέλνει μήνυμα ADV στους γείτονές του 4 και 5 και η διαδικασία συνεχίζεται. Δεν στέλνει σε 1 επειδή 3 γνωρίζει ότι έλαβε δεδομένα από 1.

Τα δεδομένα περιγράφονται στο πακέτο ADV χρησιμοποιώντας περιγραφείς δεδομένων υψηλού επιπέδου, οι οποίοι είναι αρκετά ικανοί να αναγνωρίσουν τα δεδομένα. Αυτοί οι περιγραφείς δεδομένων υψηλού επιπέδου ονομάζονται μεταδεδομένα. Τα μετα-δεδομένα δύο διαφορετικών δεδομένων πρέπει να είναι διαφορετικά και τα μετα-δεδομένα δύο παρόμοιων δεδομένων θα πρέπει να είναι παρόμοια. Η χρήση μεταδεδομένων εμποδίζει, τα πραγματικά δεδομένα να πλημμυρίζουν έξω από το δίκτυο. Τα πραγματικά δεδομένα μπορούν να δοθούν μόνο στους κόμβους που χρειάζονται τα δεδομένα. Αυτό το πρωτόκολλο καθιστά επίσης τους κόμβους πιο ευφείς, κάθε κόμβος θα έχει έναν διαχειριστή πόρων, ο οποίος θα ενημερώνει κάθε κόμβο για το ποσό των διαφόρων πόρων που απομένουν στον κόμβο. Συνεπώς, ο κόμβος μπορεί να αποφασίσει σχετικά με το εάν μπορεί να είναι ως κόμβος προώθησης ή όχι.

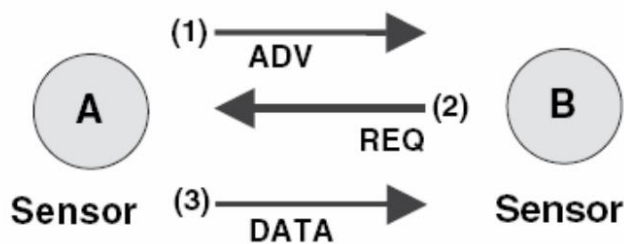
Στην οικογένεια με τα πρωτόκολλα SPIN ανήκουν τα ακόλουθα:

5.7 SPIN-PP - Το πρωτόκολλο Επικοινωνίας από άκρο σε άκρο

Η πιο απλή έκδοση του SPIN, που αναφέρεται ως SPINPP, έχει σχεδιαστεί για ένα σημείο σε δίκτυο επικοινωνιών.

- Το πρωτόκολλο χειραψίας τριών βημάτων που χρησιμοποιείται από το SPINPP απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα

SPIN PP Three way Hand shaking Protocol



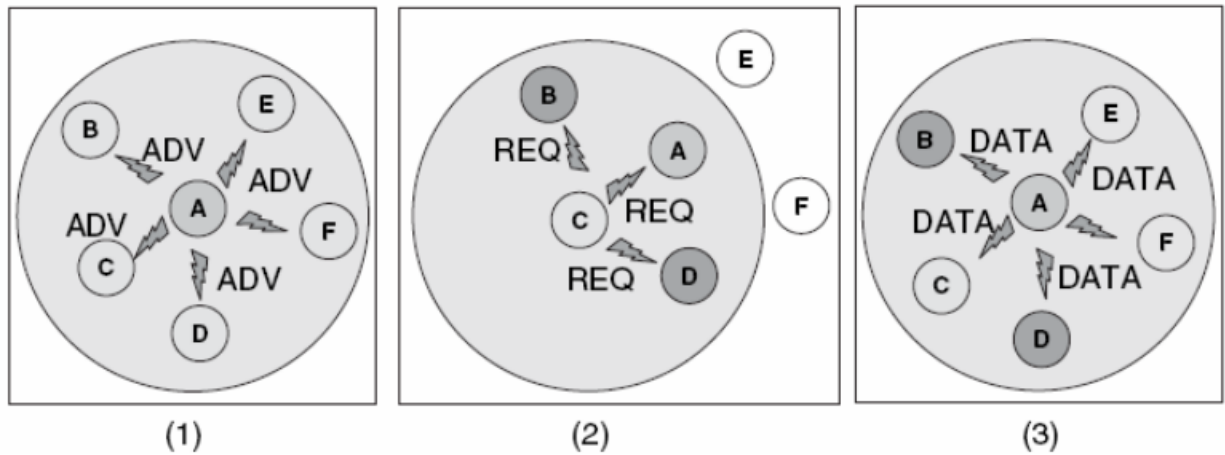
Εικόνα 5.2 SPINPP

- Το SPIN-PP χρησιμοποιεί διαπραγματεύσεις για να ξεπεράσει το πρόβλημα εμφύσησης και αλληλοεπικάλυψης των παραδοσιακών πλημμύρων και πρωτόκολλων κουτσομπολιών.

5.8 SPIN-EC - Το πρωτόκολλο SPIN για Εξοικονόμηση Ενέργειας

Μια επέκταση του πρωτοκόλλου SPIN, SPIN-EC. Επιπλέον, ενσωματώνει ένα κατώτατο όριο μηχανισμό ευαισθητοποίησης πόρων για την ολοκλήρωση των δεδομένων διαπραγμάτευση.

- Όταν η ενεργειακή της στάθμη προσεγγίζει το χαμηλό ο κόμβος που εκτελεί το SPIN - EC μειώνει το όριο συμμετοχή στις διαδικασίες του πρωτοκόλλου. Συγκεκριμένα, ένας κόμβος εμπλέκεται σε λειτουργίες πρωτοκόλλου μόνο αν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι μπορεί να ολοκληρώσει όλα τα στάδια των λειτουργιών του πρωτοκόλλου χωρίς να προκαλούν το επίπεδο ενέργειας του να μειωθεί κάτω από το όριο.
- Τα αποτελέσματα προσομοίωσης αυτού του πρωτοκόλλου δείχνουν ότι Το SPIN-EC διανέμει κατά 60% περισσότερα στοιχεία ανά μονάδα ενέργειας από τις πλημμύρες.



Εικόνα 5.3 SPIN-EC

5.9 SPIN-BC - Το πρωτόκολλο SPIN για Δίκτυα Εκπομπής

Το SPIN-BC, είναι σχεδιασμένο για δίκτυα εκπομπής. Σε αυτά τα δίκτυα, οι κόμβοι μοιράζονται ένα κανάλι για διαβιβάσεις. Σε αυτή την τάξη δικτύων, όταν ο κόμβος στέλνει ένα πακέτο δεδομένων στην εκπομπή κανάλι, το πακέτο που μεταδίδεται λαμβάνεται από όλους οι άλλοι κόμβοι σε ένα ορισμένο εύρος του αποστολής κόμβου.

- Το πρωτόκολλο SPIN-BC εκμεταλλεύεται το ικανότητα μετάδοσης του καναλιού και απαιτεί ότι ένας κόμβος που έχει λάβει ένα μήνυμα ADV δεν ανταποκρίνεται άμεσα με REQ μήνυμα. Αντ' αυτού, ο κόμβος περιμένει για ένα συγκεκριμένο ο χρόνος, κατά τον οποίο παρακολουθεί το επικοινωνίας.
- Αν ο κόμβος ακούσει ένα μήνυμα REQ που εκδίδεται από έναν άλλο κόμβο που ενδιαφέρεται λαμβάνει τα δεδομένα, ακυρώνει τη δική του αίτησης, εξαλείφοντας έτσι τυχόν περιττές αιτήσεις για το ίδιο μήνυμα.
- Επιπλέον, κατά τη λήψη ενός REQ μήνυμα, ο κόμβος διαφήμισης στέλνει το μήνυμα μηνύματα δεδομένων μόνο μία φορά, ακόμη και όταν αυτό λαμβάνει πολλαπλά αιτήματα για το ίδιο μήνυμα.
- Σε αυτή τη διαμόρφωση, ο κόμβος που κρατά το δεδομένα, κόμβος A, στέλνει ένα πακέτο ADV στο να διαφημίσει τα δεδομένα στους γείτονές του. Όλοι οι κόμβοι ακούσετε τη διαφήμιση, αλλά ο κόμβος C είναι ο πρώτος εκδώστε ένα πακέτο REQ για να ζητήσετε τα δεδομένα από κόμβος A. Οι κόμβοι B και Δ ακούν την εκπομπή να ζητήσουν και να διατηρήσουν από τη δική τους Πακέτα REQ. Οι κόμβοι E και F είτε δεν έχουν το ενδιαφέρον για τα διαφημιζόμενα δεδομένα ή σκόπιμα καθυστερούν τα αιτήματά τους.

Επάνω σε αίτημα κόμβου ακρόασης C, ο κόμβος A απαντά από στέλνοντας το πακέτο δεδομένων. Όλοι οι κόμβοι εντός της περιοχής μετάδοσης του A λαμβάνει το πακέτο δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των κόμβων E και F. Σε περιβάλλοντα εκπομπής, SPINBC έχει τη δυνατότητα να μειώσει την ενέργεια κατανάλωση εξαλείφοντας περιττά στοιχεία ανταλλαγή αιτημάτων δεδομένων και απαντήσεων.

5.10 SPIN-RL - Το πρωτόκολλο SPIN για Αξιοπιστία

- Το SPIN-RL επεκτείνει τις δυνατότητες του SPINBC να ενισχύσει την αξιοπιστία του και να ξεπεράσει το μήνυμα σφάλματα μετάδοσης που προκαλούνται από ένα κανάλι απώλειας.
- Η ενισχυμένη αξιοπιστία επιτυγχάνεται με την περιοδική μετάδοση των μηνυμάτων ADV και REQ. Κάθε κόμβος στο SPIN-BC παρακολουθεί το τις διαφημίσεις που ακούει και τους κόμβους όπου βρίσκονται οι διαφημίσεις προέρχονται.
- Εάν ένας κόμβος που ζητά συγκεκριμένα δεδομένα ενδιαφέροντος κάνει δεν λαμβάνουν τα ζητούμενα δεδομένα εντός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος χρονικό διάστημα, στέλνει ξανά το αίτημα. Επιπλέον, μπορεί να παρέχεται βελτιωμένη αξιοπιστία με την περιοδική διαφήμιση των μεταδεδομένων.

Κεφάλαιο 6

Πρωτόκολλα Βασισμένα στην Τοπολογία του Δικτύου (Topology Based)

6.1 Πρωτόκολλα Βασισμένα στην Θέση (Location-Based)

Στο κεφάλαιο αυτό, θα μιλήσουμε για τα πρωτόκολλα τα οποία είναι βασισμένα στη θέση και οι μέθοδοι που προτείνονται για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Αυτά τα πρωτοκόλλα υπολογίζουν την επίδραση της απόστασης και την κατανομή των κόμβων σε περιοχές που θεωρούνται σημαντικές για την απόδοση του δικτύου.

Στα πρωτόκολλα που είναι βασισμένα στην θέση κάθε κόμβος γνωρίζει τις θέσεις των γειτονικών του κόμβων στο δίκτυο και η πηγή του μηνύματος πρέπει να ενημερωθεί για τη θέση του προορισμού.

Τα πρωτόκολλα για την τοπική μετάδοση σε δίκτυα αισθητήρων κάνουν χρήση του υπάρχοντος δέντρου δρομολόγησης και δεν δημιουργούν άλλα κανάλια επικοινωνίας. Αυτοί οι αλγόριθμοι απαιτούν οι κόμβοι να μεταδίδουν περιοδικά μηνύματα επιτρέποντας στους γείτονές τους να γνωρίζουν τις θέσεις τους. Όταν η θέση του προορισμού γίνει γνωστή, όλες οι λειτουργίες γίνονται τοπικά, δηλαδή, κάθε κόμβος πρέπει να παρακολουθεί μόνο τους άμεσους γείτονές του.

Τα μειονεκτήματα αυτών των πρωτοκόλλων είναι ότι η απόδοση εξαρτάται από την εξισορρόπηση της γεωγραφικής κατανομής σε σχέση με την εμφάνιση της κίνησης και ότι κάθε εξάρτηση της απόδοσης με το φορτίο της κίνησης μπορεί να οδηγήσει σε υπερφόρτωση του δικτύου.

6.2 DREAM - Το πρωτόκολλο Απόστασης Δρομολόγησης για Κινητούς Κόμβους

Το πρωτόκολλο DREAM είναι πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιείται σε αδόμητες αρχιτεκτονικές. Κάθε κόμβος μπορεί να διατηρεί έναν πίνακα τοποθεσίας σχετικά με τη θέση όλων των κόμβων του δικτύου και κρατάει την τοποθεσία πακέτο, που ονομάζεται πακέτο ελέγχου, για να ενημερώσει τη θέση που τηρούν οι γείτονές της. Κάθε πακέτο τοποθεσίας που υποβάλλεται από έναν κόμβο A σε άλλους κόμβους για την ενημέρωση της θέσης τους οι πίνακες περιέχουν τις συντεταγμένες του A μαζί με την ταχύτητά με την

οποία μεταδόθηκε. Το DREAM χρησιμοποιεί την αρχή του αποτελέσματος απόστασης στην οποία ενημερώνονται οι πίνακες θέσης. Η συχνότητα καθορίζεται από την απόσταση των εγγεγραμμένων κόμβων. Με άλλα λόγια, όσο πιο κοντά στον άλλο κόμβο, τόσο περισσότερες ενημερώσεις αποστέλλονται σε αυτόν τον κόμβο. Η συχνότητα αποστολής ενός πακέτου ελέγχου είναι προσαρμοσμένη με βάση την ταχύτητα κίνησης του κόμβου προέλευσης S. Όταν ο κόμβος προέλευσης S επιθυμεί να στείλει ένα μήνυμα σε ένα κόμβο προορισμού D, αρχίζει αναζητώντας τον πίνακα θέσης και ανακτά πληροφορίες σχετικά με τη γεωγραφική του θέση. Αν η κατεύθυνση του D είναι έγκυρη, το S στέλνει το μήνυμα στους γείτονες στη ζώνη προώθησης που καθορίζονται από αυτή την κατεύθυνση. Αν δεν υπάρχουν πληροφορίες θέσης για το D, τότε μια ανάκτηση πρέπει να εκτελεστεί με πλημμύρες εν μέρει ή εξ ολοκλήρου για να φτάσετε στο D. Όταν ένας κόμβος A λαμβάνει το μήνυμα, ελέγχει πρώτα αν είναι ο προορισμός κόμβου. Εάν αυτή είναι η περίπτωση, τότε στέλνει μια επιβεβαίωση στον κόμβο προέλευσης. Διαφορετικά, το A επαναλαμβάνει την ίδια διαδικασία στέλνοντάς το σε όλους τους γείτονες που βρίσκονται στην κατεύθυνση του D. Κάθε ένα από αυτούς τους κόμβους, με τη σειρά τους, επαναλαμβάνει αυτή τη διαδικασία, εάν είναι δυνατόν, μέχρι το D επιτευχθεί. Για να προσδιοριστεί η ζώνη προώθησης προς την κατεύθυνση του κόμβου D, ο κόμβος προέλευσης S υπολογίζει την αναμενόμενη ζώνη η οποία περιέχει το D. Μετά τον προσδιορισμό της αναμενόμενης ζώνης, ο κόμβος S ορίζει τη ζώνη προώθησης η οποία είναι η περιοχή που περικλείεται από ένα γωνία της οποίας η κορυφή είναι στο S και των οποίων οι πλευρές είναι εφαπτόμενες στην η αναμενόμενη ζώνη υπολογίζεται για το D και στη συνέχεια στέλνει το πακέτο, προοριζόμενη για τον D, σε όλους τους γείτονές του στη ζώνη αποστολής. Στο DREAM, γίνεται ανταλλαγή των συντεταγμένων των κόμβων αντί για την ανταλλαγή πλήρους πληροφορίας κατάστασης σύνδεσης ή διανυσματικής απόστασης που βοηθά στη μείωση του κατειλημμένου εύρους ζώνης. Επιπλέον, από τότε που το DREAM χρησιμοποιεί την αρχή του αποτελέσματος απόστασης που περιγράφεται παραπάνω, αυτό μπορεί να αποδίδει καλά σε δίκτυα δυναμικών κινητών ad hoc.

6.3 GEAR - Το πρωτόκολλο Επίγνωσης της Θέσης και της Ενέργειας

Η γεωγραφική δρομολόγηση παρέχει τον μηχανισμό για την παράδοση του πακέτου σε μια θέση προορισμού με βάση την τοποθεσία. Υπάρχει η έννοια των περιοχών στις οποίες υπάρχουν δεδομένα που πρέπει να παραδοθεί. Για το σκοπό αυτό ολόκληρη η γεωγραφική περιοχή είναι διαιρούμενη σε αριθμό υποπεριοχών και στόχος είναι το πακέτο να παραδοθεί στην περιοχή και κατόπιν σε αυτό τον συγκεκριμένο κόμβο στον οποίο απευθύνεται.

Ιδιότητες του πρωτοκόλλου γεωγραφικής δρομολόγησης:

- α) Επεκτασιμότητα
- β) Ανιθαγένεια
- γ) Υπερβολικά χαμηλό κόστος συντήρησης.

Δεδομένου του ότι όλοι οι κόμβοι στο WSN περιορίζονται από την ενέργεια, οπότε υπάρχει ανάγκη παροχής ενός ενεργειακά έξυπνου πρωτοκόλλου με δυνατότητα αποθήκευσης των γνωστων μετρήσεων με σκοπό την πραγματοποίηση αποτελεσματικής επικοινωνίας από γεωγραφική άποψη. Ορισμένα βασικά σημεία που πρέπει να έχουν ληφθεί υπόψη για να αναπτυχθεί μια γεωγραφική και ενεργειακή συνείδηση δρομολόγησης είναι

- α) Ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας ανά πακέτο
- β) Μεγιστοποίηση του χρόνου στο διαμέρισμα δικτύου
- γ) Ελαχιστοποίηση διακύμανσης στο επίπεδο ισχύος κόμβου
- δ) Ελαχιστοποίηση κόστους ανά πακέτο
- ε) Ελαχιστοποίησή του μέγιστου κόστους κόμβου

Το GEAR χρησιμοποιεί αυτές τις ενεργειακά ευαίσθητοποιημένες μετρήσεις για τον υπολογισμό του γειτονική επιλογή, προκειμένου να εξισορροπηθεί η ενέργεια κατανάλωση μεταξύ των κόμβων. Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή σχετικά με τις μετρήσεις.

6.4 GEM - Το πρωτόκολλο Γραφικής Ενσωμάτωσης Δρομολόγησης

Το SECS / GEM είναι το πρωτόκολλο διεπαφής εξοπλισμού του ημιαγωγού για τις επικοινωνίες δεδομένων εξοπλισμού-υποδοχής. Σε ένα αυτοματοποιημένο κύκλωμα, η διεπαφή μπορεί να ξεκινήσει και να σταματήσει την επεξεργασία του εξοπλισμού, να συλλέξει δεδομένα μέτρησης, να αλλάξει μεταβλητές και να επιλέξει τις συνταγές για τα προϊόντα. Τα πρότυπα SECS (πρότυπο επικοινωνίας εξοπλισμού SEMI) / GEM (μοντέλο γενικού εξοπλισμού) κάνουν όλα αυτά με έναν καθορισμένο τρόπο. Αναπτύχθηκε από την οργάνωση SEMI (Semiconductor Equipment and Materials International), τα πρότυπα ορίζουν ένα κοινό σύνολο συμπεριφοράς εξοπλισμού και των δυνατοτήτων επικοινωνίας.

Το πρότυπο γενικού μοντέλου επικοινωνιών και ελέγχου εξοπλισμού κατασκευής (GEM) διατηρείται και δημοσιεύεται από τον μη κερδοσκοπικό οργανισμό Semiconductor Equipment and Materials International (SEMI). Σε γενικές γραμμές, το πρότυπο SECS / GEM ορίζει μηνύματα, μηχανές κατάστασης και σενάρια για να επιτρέψει στο εργοστάσιακο λογισμικό να ελέγχει και να παρακολουθεί τον εξοπλισμό παραγωγής. Το πρότυπο GEM χαρακτηρίζεται επισήμως και αναφέρεται ως πρότυπο SEMI E30, αλλά συχνά απλά αναφέρεται ως πρότυπο GEM ή SECS / GEM. Η GEM σκοπεύει να "παράγει οικονομικά οφέλη τόσο για τους κατασκευαστές συσκευών όσο και για τους προμηθευτές εξοπλισμού, ορίζοντας ένα κοινό σύνολο συμπεριφοράς εξοπλισμού και δυνατοτήτων επικοινωνίας που παρέχουν τη λειτουργικότητα και την ευελιξία για την υποστήριξη των προγραμμάτων αυτοματοποίησης κατασκευής κατασκευαστών συσκευών ημιαγωγών

Το GEM είναι μια τυπική εφαρμογή του προτύπου SECS-II, πρότυπο SEMI E5. Πολλοί εξοπλισμοί σε ημιαγωγούς (μπροστινό και πίσω μέρος), τεχνολογία επιφανειακής τοποθέτησης, συναρμολόγηση ηλεκτρονικών, φωτοβολταϊκές, επίπεδες οθόνες και άλλες κατασκευαστικές βιομηχανίες παγκοσμίως παρέχουν μια διεπαφή GEM / SECS στον κατασκευαστικό εξοπλισμό έτσι ώστε το λογισμικό του εργοστασίου να μπορεί να επικοινωνεί με το μηχάνημα για σκοπούς παρακολούθησης και / ή ελέγχου. Επειδή το πρότυπο GEM γράφτηκε με πολύ λίγες ιδιότητες ημιαγωγών, μπορεί να εφαρμοστεί σχεδόν σε οποιοδήποτε αυτοματοποιημένο εξοπλισμό κατασκευής σε οποιαδήποτε βιομηχανία.

Όλοι οι εξοπλισμοί παραγωγής που είναι συμβατοί με την GEM μοιράζονται μια συνεπή διεπαφή και μια ορισμένη συνεπή συμπεριφορά. Ο

εξοπλισμός GEM μπορεί να επικοινωνεί με έναν κεντρικό υπολογιστή GEM με χρήση TCP / IP (χρησιμοποιώντας το πρότυπο HSMS, SEMI E37) ή πρωτόκολλο RS-232 (χρησιμοποιώντας το πρότυπο SECS-I, SEMI E4). Συχνά υποστηρίζονται και τα δύο πρωτόκολλα. Κάθε εξοπλισμός μπορεί να παρακολουθείται και να ελέγχεται χρησιμοποιώντας ένα κοινό σύνολο μηνυμάτων SECS-II που καθορίζονται από το GEM.

6.5 Το πρωτόκολλο Ενεργειακής Απόδοσης Τοποθεσίας (SELAR)

Το SELAR έχει επηρεαστεί από την απλότητα της πλημμύρας, την καλύτερη απόδοση του κουτσομπολιού και την τοποθεσία μηχανισμών που χρησιμοποιούνται στο DREAM. Ωστόσο, το SELAR είναι διαφορετικό από το DREAM στο ότι περιλαμβάνει ενέργεια στην δρομολόγησης. Το SELAR συνδυάζει ενέργεια, τοποθεσία και πληροφορίες για την επίτευξη τοπικών αποφάσεων δρομολόγησης ενώ επιτυγχάνει παγκόσμιους στόχους.

Το πρωτόκολλο αρχίζει στον κόμβο νεροχύτη, ο οποίος πλημμυρίζει πληροφορίες τοποθεσίας στους γειτονικούς κόμβους του. Μετά από αυτό, όλοι οι κόμβοι αισθητήρων πλημμυρίζουν την τοποθεσία και τις πληροφορίες ενέργειας τους, τους γειτονικούς κόμβους τους, συμπεριλαμβανομένης της θέσης του νεροχύτη ως κόμβο αναφοράς. Αργότερα, μόνο οι ενεργειακές πληροφορίες πρέπει να ενημερωθούν, καθώς το δίκτυο είναι μάλλον στατικό. Στο SELAR, τα πακέτα ταξιδεύουν ανα hop, αποφεύγοντας έτσι την έκρηξη δεδομένων και εξοικονόμουν ενέργεια. Για την προώθηση των πακέτων δεδομένων, οι μεμονωμένοι κόμβοι υπολογίζουν τους υποψήφιους κόμβους γειτονικών χωρών ζώνης προώθησης, η οποία είναι η περιοχή που σχηματίζεται από τη γωνία κατεύθυνσης του κόμβου νεροχύτη και την περιοχή κάλυψής του.

6.6 Το πρωτόκολλο Απληστου Κατανεμημένου Κέντρου (GDSTR)

Το GDSTR μπορεί να βρει τη συντομότερη διαδρομή και να παράγει χαμηλή κίνηση για την διατήρηση αυτής. Το GDSTR είναι καλύτερο από τους υπάρχοντες γεωγραφικούς αλγόριθμους δρομολόγησης προσώπου στα ακόλουθα σημεία:

- Απαιτεί σημαντικά μικρότερο εύρος ζώνης συντήρησης από το CLDP.
- Επιτυγχάνει χαμηλότερη διαδρομή και εύρος λυκίσκου από τους υπάρχοντες γεωγραφικούς αλγόριθμους δρομολόγησης προσώπου. και
- Είναι απλούστερο και πιο εύκολο να κατανοηθεί και να εφαρμοστεί.

Όπως συμβαίνει με τους υπάρχοντες αλγόριθμους γεωγραφικής δρομολόγησης, υποθέτουμε ότι οι κόμβοι έχουν αντιστοιχίσει συντεταγμένες και ότι οι δεσμοί είναι αμφίδρομοι. Οι γεωγραφικοί δρομολογητικοί αλγόριθμοι προωθούν τα πακέτα με δρομολόγηση μέσω ενός άμεσα συνδεδεμένου γείτονα προς την κατεύθυνση του τελικού προορισμού. Όταν δεν υπάρχει τέτοιος γείτονας, οι αλγόριθμοι προσανατολισμού προσώπου αποφεύγουν το εμπόδιο μεταδίδοντας γύρω από τις όψεις ενός επίπεδου υπογράμματος του δικτύου. Το GDSTR, αντίθετα, μεταβαίνει στην προώθηση κατά μήκος των άκρων ενός δένδρου.

Μια κοινή τεχνική για την επίτευξη επεκτασιμότητας στην παραδοσιακή δικτύωση είναι η συνάθροιση πληροφοριών σχετικά με τον χώρο διευθύνσεων. Μια βασική ιδέα της δουλειάς μας είναι ότι το GDSTR μπορεί να εφαρμόσει την ίδια αρχή για να τον βοηθήσει να κατευθύνει κατά μήκος του δένδρου του, συσσωρεύοντας τις θέσεις που καλύπτονται από subtrees χρησιμοποιώντας κυρτά κύτη. Ονομάζουμε ένα δέντρο με κυρτά κύτη, ένα δέντρο σκάφους. Το GDSTR χρησιμοποιεί τα κυρτά κύτη για να αποφασίσει ποια κατεύθυνση στο δέντρο είναι πιο πιθανό να σημειώσει πρόοδο προς έναν συγκεκριμένο γεωγραφικό προορισμό.

Το GDSTR απαιτεί μόνο ένα δέντρο σκάφους για την ορθότητα. Ωστόσο, χρησιμοποιούμε ένα δεύτερο δέντρο, διότι έτσι παρέχεται καλύτερη ευρωστία σε περίπτωση αποτυχίας κόμβου και πρόσθετη επιλογή δρομολόγησης.

Μια αξιολόγηση προσομοίωσης δείχνει ότι η GDSTR επιτυγχάνει μια κορυφαία βελτίωση περίπου 20% όσον αφορά την διαδρομή και το τέντωμα του λυκίσκου στον καλύτερο διαθέσιμο αλγόριθμο γεωγραφικής προσανατολισμού προσώπου σε καταστάσεις όπου τα αδιέξοδα είναι κοινά και ότι η απόδοση του GDSTR είναι σταθερά καλή σε ένα ευρύ φάσμα δικτύων πυκνότητας και μεγέθους.

6.7 MERR - Το πρωτόκολλο Ελάχιστης Ενέργειας Τοποθεσίας

Αυτό το πρωτόκολλο προτείνει ένα νέο μηχανισμό μεταφοράς πακέτων που ονομάζεται MERR για ασύρματα δίκτυα. Η QoS εγγυάται την επικαιρότητα, την ενέργεια αποδοτικών και αξιόπιστων τομέων. Για τον τομέα επικαιρότητας, το πρωτόκολλο παρέχει πολλαπλές επιλογές ταχύτητας σε όλο το δίκτυο έτσι η διαφορετική κίνηση μπορεί να επιλέξει δυναμικά την κατάλληλη ταχύτητα και υπάρχουν επιλογές για τα πακέτα τους ανάλογα με τις end to end προθεσμίες. Για τη διατήρηση της ενέργειας και την αύξηση της διάρκειας ζωής του συστήματος, ορισμένοι περιττοί κόμβοι απενεργοποιούνται χρησιμοποιώντας την επιτρεπόμενη υπηρεσία που εγγυάται τη μέγιστη κάλυψη της αρχικής ανίχνευσης για πιθανή έκταση. Για τον τομέα αξιοπιστίας, το προτεινόμενο πρωτόκολλο χρησιμοποιεί προληπτική προώθηση πολλαπλών διαδρομών για τον έλεγχο του αριθμού διαδρομών παράδοσης πακέτων ανάλογα με τις απαιτούμενες από άκρο σε άκρο.

6.8 OGF - Το πρωτόκολλο Γεωγραφικής Αντιδραστικής Προώθησης

Το OGF είναι ένα πρωτόκολλο διαστρωματικό που χρησιμοποιεί συγκεκριμένη τεχνική για τη δημιουργία ενός μονοπατιού. Σε περίπτωση που ο αποστολέας πρέπει να στείλει ένα πακέτο, ενημερώνεται από τον πίνακα δρομολόγησης, προκειμένου να μάθει αν υπάρχει μια καταχώριση προς τον κόμβο προορισμού του. Εάν είναι διαθέσιμες οι πληροφορίες για το επόμενο βήμα, ο κόμβος πηγή αποστέλλει το πακέτο στον επόμενο κόμβο. Από την άλλη πλευρά, αν δεν υπάρχει διαθέσιμη καταχώριση, ο αποστολέας ξεκινά τη δημιουργία του μονοπατιού για τον επόμενο αισθητήρα. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει αισθητήρας που να βρίσκεται στην περιοχή προώθησης, τότε ο αποστολέας αρχίζει την διαδικασία επιλογής του κόμβου. Σε αντίθετη περίπτωση, επιλέγεται ένας γειτονικός κόμβος να λάβει το πακέτο δεδομένων από τον αποστολέα. Ο αποστολέας ενημερώνει τον πίνακα δρομολόγησης εισάγοντας μια νέα εγγραφή μετά την επιτυχή αποστολή των πακέτων δεδομένων. Η λειτουργία αυτού του πρωτοκόλλου βασίζεται στις πραγματικές απαιτήσεις της εφαρμογής, στην κυκλοφορία των δεδομένων και στη δυναμική του δικτύου. Το OGF παρουσιάζει μια ανώτερη απόδοση όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας, την επεκτασιμότητα και την ευρωστία. Επιπλέον, το OGF είναι αποτελεσματικό στην παροχή στοιχείων σε συγκεκριμένα δίκτυα αισθητήρων.

6.9 PAGER-M - Το πρωτόκολλο Μερικής Τμηματοποίησης για Αποφυγή Γεωγραφικής Δρομολόγησης

Το PAGER-M χρησιμοποιεί τις πληροφορίες θέσεις των κόμβων αισθητήρων και του σταθμού βάσης και εκχωρεί σε κάθε κόμβο αισθητήρα ένα κόστος, το οποίο είναι κοντά στο ευκλείδειο μήκος του αισθητήρα του συντομότερου μονοπατιού προς το σταθμό βάσης. Όταν ένας κόμβος αισθητήρα λαμβάνει ένα πακέτο, αυτό προωθεί το πακέτο στο σταθμό βάσης. Η προώθηση μπορεί να αποτύχει σε έναν κοίλο κόμβο που δεν έχει πλησιέστερο γείτονα στη βάση. Για να αποφευχθεί αυτήν την κατάσταση, όταν φτάσει ένα πακέτο στους κόμβους αισθητήρων κοντά στον κοίλο κόμβο, το πακέτο διαβιβάζεται σε έναν γείτονα μετά από το υψηλό κόστος. Το PAGER-M δεν απαιτεί έναν κόμβο να απομνημόνευσει τη προηγούμενη κυκλοφορία / διαδρομή. Με αυτή την έννοια, είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης βασισμένο σε τοποθεσίες χωρίς καθεστώς. Στην PAGERM, προσφέρονται πολλαπλές επιλογές προώθησης προς ένα κόμβο. Αυτή η πλεονασματική διαδρομή μειώνει τις αποτυχίες μετάδοσης που προκαλούνται από την κινητικότητα.

6.10 HGR - Το πρωτόκολλο Υβριδικής Γεωγραφικής Δρομολόγησης

Το HGR είναι ένα νέο υβριδικό πρωτόκολλο δρομολόγησης που συνδυάζει τις στρατηγικές απόστασης και κατεύθυνσης με ευέλικτο τρόπο. Σε αυτό το πρωτόκολλο, η κύρια λειτουργία ενός κόμβου είναι να ορίσει την προτεραιότητα ως το επόμενο βήμα. Η προτεραιότητα αυτή ορίζεται ως Q_i . Όσο μεγαλύτερη είναι η προβλεπόμενη πρόοδος του κόμβου i τόσο μεγαλύτερο γίνεται το Q_i , ενώ όσο μικρότερη είναι η γωνία απόκλισης μεταξύ της γραμμής που συνδέει το z με το i και η γραμμή που συνδέει το z με το j , το Q_i γίνεται μεγαλύτερο. Μπορεί να οριστούν διαφορετικές μορφές του Q_i ώστε να συνδυάζουν τα κριτήρια δρομολόγησης της απόστασης και της κατεύθυνσης.

6.11 Σύγκριση των πρωτοκόλλων βασισμένα στην θέση

Τα DREAM, IGF, PAGER-M και HGR μπορούν να υποστηρίξουν κινητικότητα των κόμβων, ενώ ταυτόχρονα κρατούν την κατανάλωση ενέργειας των κόμβων σε χαμηλά επίπεδα. Επιπλέον, τα GEM και GDSTR προσπαθούν να ελαχιστοποιήσουν την κατανάλωση ενέργειας των κόμβων, επιλέγοντας τη

συντομότερη διαδρομή για να δρομολογήσουν τις πληροφορίες. Από την άλλη πλευρά, τα GEM, IGF, MERR, OGF και HGR προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η κατανάλωση ενέργειας δεν χρησιμοποιούν περιοδικά μηνύματα. Επιπλέον, τα GEM, OGF, PAGER-M και HGR είναι πιο επεκτάσιμα από τα άλλα πρωτόκολλα.

Τέλος, στα πρωτόκολλα βασισμένα στην θέση μπορεί εν μέρει να συμπεριληφθούν μερικά πρωτόκολλα, τα οποία κυρίως ταξινομούνται και περιγράφονται αναλυτικά στις κατηγορίες παρακάτω. Τα πρωτόκολλα αυτά είναι τα TTDD, COUGAR και ACQUIRE.

6.12 Πρωτόκολλα Βασισμένα σε Κινητούς Πράκτορες (Mobile Agent-based Protocols)

Τα συστήματα κινητών πρακτόρων έχουν ως κύριο συστατικό ένα κινητό μέσο, λογισμικό ή πρόγραμμα, το οποίο κινείται μεταξύ των κόμβων ενός δικτύου για να εκτελέσει μια εργασία αυτόνομα και έξυπνα, με βάση τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Τα κινητά συστήματα πρακτόρων χρησιμοποιούν κωδικούς θέσης ώστε να διευκολύνουν την ευέλικτη εφαρμογή, την τοπική επεξεργασία και τη συνεργατική σήματος και επεξεργασίας πληροφοριών. Αυτό παρέχει στο δίκτυο επιπλέον ευελιξία, καθώς και νέες δυνατότητες σε αντίθεση με τις συμβατικές λειτουργίες των WSN που βασίζονται στο μοντέλο που πελάτη-εξυπηρετητή.

Ο σχεδιασμός των κινητών πρακτόρων και η ανάπτυξη πρωτοκόλλων στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων που χρησιμοποιούνται για την δρομολόγηση δεδομένων από την ανιχνευόμενη περιοχή προς τον προορισμό είναι ένας πραγματικά ενδιαφέρον τομέας.

Ο σχεδιασμός του πράκτορα μπορεί να χωριστεί στα ακόλουθα:

- Αρχιτεκτονική. Η αρχιτεκτονική αυτή βασίζεται στην τοπολογία του δικτύου και διαιρείται περαιτέρω σε επίπεδη ή ιεραρχική.
- Σχεδιασμός Διαδρομής. Η διαδρομή είναι ο δρόμος που ακολουθείται κατά τη μετακίνηση των κινητών πρακτόρων. Ο σχεδιασμός της διαδρομής σχετίζεται με την επιλογή του συνόλου των κόμβων πηγής που είναι επισκέψιμοι από τον κινητό πράκτορα και τον προσδιορισμό της αλληλουχίας επίσκεψης της πηγής για εξοικονόμηση ενέργειας. Ο σχεδιασμός διαδρομής χωρίζεται σε στατικό, δυναμικό και υβριδικό.

- Συνεργασία Πρακτόρων. Οι κινητοί πράκτορες μπορούν να λειτουργήσουν είτε ως μεμονωμένες μονάδες επεξεργασίας είτε ως μονάδες κατανεμημένης συλλογής των στοιχείων. Η απαίτηση να παρέχουν τα μέσα για τη συνεργασία πρακτόρων είναι ένας σημαντικός παράγοντας στο σχεδιασμό για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, η εφαρμογή των συστημάτων κινητών πρακτόρων στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της κατανάλωσης του εύρους ζώνης. Η μετακίνηση των στοιχείων επεξεργασίας των δεδομένων προς τη θέση των στοιχείων που ανιχνεύονται μπορεί να μειώσει τις ενεργειακές δαπάνες των κόμβων. Ωστόσο, η εξεύρεση της βέλτιστης διαδρομής είναι πρόβλημα και για το λόγο αυτό είναι σε εξέλιξη πολλές προσπάθειες για την εύρεση κατάλληλων αλγορίθμων.

6.13 MIP - Το πρωτόκολλο Πολλαπλών Πρακτόρων που βασίζεται στο Σχεδιασμό Διαδρομής

Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που έχουν αναπτυχθεί χρησιμοποιούν ένα πράκτορα (SIP) το οποίο, σε ένα δίκτυο μεγάλης κλίμακας μπορεί να οδηγήσει σε υψηλή καθυστέρηση και ασύμμετρο φορτίο. Έτσι, είναι σημαντικό να χρησιμοποιηθεί ένα πρωτόκολλο με πολλαπλούς πράκτορες για καλύτερα αποτελέσματα.

Η βασική ιδέα του πρωτοκόλλου MIP είναι η διανομή ενός συντελεστή επιπτώσεων σε κάθε κόμβο. Για παράδειγμα, θεωρώντας n τον αριθμό πηγής, τότε κάθε πηγή θα λάβει $n-1$ στοιχεία από τους άλλους κόμβους και ένα από τον ίδιο. Μετά από αυτό υπολογίζεται ο συσσωρευμένος παράγοντας επιρροής και επιλέγει τη θέση της πηγής με τον μεγαλύτερο συσσωρευμένο παράγοντα.

Κεφάλαιο 7

Αξιόπιστα Πρωτόκολλα Δρομολόγησης (Reliable Routing)

7.1 Πρωτόκολλα Βασισμένα σε Πολλαπλές Διαδρομές (Multipath Based)

Η δρομολόγηση πολλαπλών διαδρομών έχει το πλεονέκτημα ότι επιτυγχάνει την εξισορρόπηση του φορτίου και είναι πιο ανθεκτική σε αστοχίες της διαδρομής. Η αξιολόγηση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία αποδεικνύει ότι έχουν το πλεονέκτημα του χαμηλότερου φορτίου δρομολόγησης, την χαμηλότερη καθυστέρηση end to end και την αποφυγή συμφόρησης σε σύγκριση με τα πρωτόκολλα δρομολόγησης μιας μόνο διαδρομής.

7.2 ROAM - Πρωτόκολλο Δρομολόγησης Αντιδραστικών Άκυκλων Πολλαπλών Διαδρομών

Το ROAM είναι ένα πρωτόκολλο αντιδραστικό το οποίο χρησιμοποιεί μια την «εφικτή απόσταση» για να διατηρήσει τις διαδρομές του. Ανιχνεύει χωρίσματα στο δίκτυο, απαιτώντας από τους κόμβους να στέλνουν μηνύματα ενημέρωσης στους γειτονικούς τους κόμβους κάθε φορά που υπάρχει αλλαγή στην απόσταση σε έναν συγκεκριμένο προορισμό.

Κάθε δρομολογητής διατηρεί έναν πίνακα απόστασης, έναν πίνακα δρομολόγησης και έναν πίνακα κόστους. Ο πίνακας απόστασης περιέχει την απόσταση μεταξύ δύο γειτόνων σε έναν δρομολογητή. Ο πίνακας δρομολόγησης περιέχει για κάθε προορισμό την απόσταση από τον κόμβο προορισμού, την εφικτή απόσταση, την απόσταση που αναφέρθηκε, τον επόμενο κόμβο, την προέλευση της σημαίας ερώτημα και τη σήμανση. Ο πίνακας κόστους απαριθμεί τις δαπάνες των συνδέσεων σε κάθε γνωστό γείτονα. Το ROAM ενημερώνει τους δρομολογητές όταν ένας προορισμός είναι απρόσιτος και αποτρέπει τους δρομολογητές από την περιττή αποστολή πακέτων αναζήτησης, προκειμένου να βρει μονοπάτια σε ένα απρόσιτο προορισμό. Το κύριο μειονέκτημα αυτού του αλγορίθμου είναι ότι πρέπει να στέλνει περιοδική ενημέρωση προκειμένου να ενημερωθούν σχετικά οι ενεργοί κόμβοι.

7.3 LMR - Το Πρωτόκολλο Ετικέτας Πολλαπλής Δρομολόγησης

Το LMR αποστέλλει ένα μήνυμα ελέγχου σε όλο το δίκτυο για μια πιθανή εναλλακτική διαδρομή. Κατά τη διαδικασία αυτή, ανατίθενται ετικέτες στα μονοπάτια που περνάει το μήνυμα και οι πληροφορίες της κάθε ετικέτας χρησιμοποιούνται για την εφεδρική αναζήτηση διαδρομής, εάν μια διαδρομή δεν είναι εφικτή. Στο LMR, οι κόμβοι μεταδίδουν ένα μήνυμα

ετικέτας στους γείτονές τους. Τα μηνύματα ετικέτας διαβιβάζονται προς την πηγή κατά μήκος όλων των διαδρομών που θα περάσουν τα διερευνητικά μηνύματα δεδομένων. Ένας κόμβος που λαμβάνει δύο ή περισσότερα μηνύματα ετικέτας θα διαβιβάσει το ένα μόνο με τη μικρότερη τιμή. Η ιδέα είναι να αποσταλεί το μήνυμα ετικέτας από τον κόμβο όσο το δυνατόν περισσότερο πιο κοντά στο σταθμό, έτσι ώστε τα ασύνδετα μονοπάτια να είναι δυνατό να βρεθούν.

7.4 GRAB - Το πρωτόκολλο Μετάδοσης Κλήσης

Το GRAB έχει σχεδιαστεί ειδικά για την καλή παράδοση δεδομένων, προκειμένου να ασχοληθεί με αναξιόπιστους κόμβους και να αποτρέψει τυχαίες αποτυχίες των ασύρματων συνδέσεων. Κτίζει και διατηρεί ένα πεδίο κόστους με διαφήμιση (ADV) πακέτων στο δίκτυο. Μόλις ένας κόμβος λαμβάνει ένα πακέτο ADV που περιέχει το κόστος του αποστολέα, υπολογίζει το κόστος του προσθέτοντας το κόστος σύνδεσης μεταξύ του ίδιου και του αποστολέα και διαφημίζει το κόστος στον αποστολέα. Συγκρίνει το κόστος που έχει ήδη και θέτει το νέο κόστος ως το μικρότερο από τα δύο. Όταν αποκτά κόστος μικρότερο από το παλιό, μεταδίδει ένα πακέτο ADV που περιέχει το νέο κόστος. Το GRAB ελέγχει το εύρος ζώνης από το ποσό της κίνησης που μεταφέρεται σε κάθε μήνυμα δεδομένων, επιτρέποντας στον αποστολέα να ρυθμίσει την ευρωστία της παράδοσης των δεδομένων. Το πλεονέκτημα του GRAB είναι ότι βασίζεται στις συλλογικές προσπάθειες των πολλαπλών κόμβων για την παροχή δεδομένων, χωρίς την εξάρτηση από οποιοσδήποτε μεμονωμένες μονάδες και είναι πραγματικά ισχυρό. Από την άλλη πλευρά, μπορεί να έχει γενικά την αποστολή πλεοναζόντων δεδομένων.

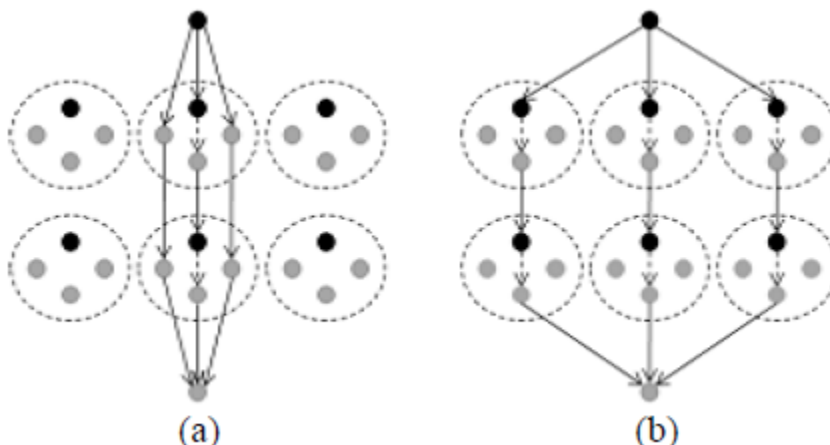
7.5 HMRP - Το πρωτόκολλο Ιεραρχικής Πολλαπλής Διαδρομής

Στο HMRP οι κόμβοι των αισθητήρων κατανέμονται τυχαία στο πεδίο ανίχνευσης. Ένα δίκτυο που αποτελείται από ένα μικρό αριθμό νεκρούς κόμβους και πολλούς ασύρματους κόμβους αισθητήρων σε ένα ενδιαφέρον περιοχή. Οι κόμβοι των αισθητήρων θεωρούνται ότι έχουν να καθοριστεί για τη διάρκεια ζωής τους, και το αναγνωριστικό του αισθητήρα. Οι κόμβοι καθορίζονται a priori.

Επιπλέον, αυτοί οι αισθητήρες οι κόμβοι έχουν περιορισμένη ισχύ επεξεργασίας, αποθήκευση και ενέργεια, ενώ οι κόμβοι νεροχύτη έχουν ισχυρούς πόρους για να εκτελέσουν οποιαδήποτε εργασίες ή επικοινωνούν με τους κόμβους των αισθητήρων. Μόλις αναπτυχθούν οι κόμβοι, παραμένουν στις θέσεις τους για την ανίχνευση εργασιών. Οι κόμβοι αισθητήρων μπορούν να λαμβάνουν μηνύματα από άλλους κόμβους. Το HMPP είναι ιεραρχικό πρωτόκολλο δρομολόγησης που μπορεί να μειώσει την ενέργεια κατανάλωση και να παρατείνει τη διάρκεια ζωής σε δίκτυα αισθητήρων. Απαντά με μια πλήρη διαδρομή από τον κόμβο προέλευσης σε το νεροχύτη γρήγορα, και προετοιμάζει πολλές διαδρομές διαδρομή προς την ισορροπία την ενέργεια κάθε κόμβου. Οι κόμβοι που συγκεντρώνουν όλα τα πακέτα λαμβάνουν κατά τη διάρκεια μιας σύντομης περιόδου και να μεταδώσει μόνο ένα συγκεντρωτικό πακέτο στο μετά τον κόμβο. Το HMPP βασίζεται στην ιεραρχική δομή των δέντρων, στην οποία οι κόμβοι νεροχύτη χρησιμεύουν ως κόμβοι ρίζας. Κάθε αισθητήρας ο κόμβος πρέπει να είναι μέλος της αρχιτεκτονικής, δηλαδή εσωτερικός ή κόμβου φύλλων, για επικοινωνία με τον κόμβο νεροχύτη.

7.6 CBMPR - Το Πρωτόκολλο Βασισμένο σε Πολλαπλή Δρομολόγηση

Η προτεινόμενη δρομολόγηση πολλαπλών διαδρομών (CBMPR) που βασίζεται σε συμπλέγματα συνδυάζει τη δρομολόγηση με συστοιχία και τη δρομολόγηση πολλαπλών διαδρομών αποτελεσματικά. Το CBMPR χρησιμοποιεί το δίκτυο συμπλεγμάτων για να βρει πολλαπλές διαδρομές που παρέχουν ανεξάρτητες διαδρομές. Το παρακάτω σχήμα (α) συγκρίνει ένα παράδειγμα συμβατικής δρομολόγησης πολλαπλών διαδρομών και CBMPR.



Το σχήμα 4 (b) δείχνει ένα παράδειγμα με πολλαπλές διαδρομές που θα υποφέρουν λιγότερο από παρεμβολές, επιλέγοντας διαδρομές δρομολόγησης μέσω διαφορετικών ομάδων. Το κύριο πλεονέκτημα της CBMPR έναντι της συμβατικής δρομολόγησης πολλαπλών διαδρομών είναι η μικρότερη παρέμβαση. Ένα άλλο ισχυρό σημείο της CBMPR είναι η απλότητα της. Κάθε διαδρομή στο CBMPR περνάει απλά από τα κεφάλια των συμπλεγμάτων, με αποτέλεσμα ένα απλό επίπεδο συμπλέγματος δρομολόγησης hop-by-hop. Αυτό κάνει την CBMPR εύκολη και απλή, μειώνοντας την επιβάρυνση του υπολογισμού των παρεμβολών που απαιτείται σε κάθε ενδιάμεσο κόμβο.

7.7 DGR - Το πρωτόκολλο Κατευθυνόμενης Γεωγραφικής Δρομολόγησης

Ένα δυναμικό πρωτόκολλο δρομολόγησης (DGR) βασισμένο σε κλίση για να εξισορροπηθεί η κατανάλωση ενέργειας του δικτύου. Με τις διάφορες κλίμακες επικοινωνίας των αισθητήρων και των συντελεστών, το πρωτόκολλο DGR χρησιμοποιεί μια στρατηγική επέκτασης φορτίου δεδομένων για να παρατείνει σημαντικά τη διάρκεια ζωής του δικτύου. Ο συντελεστής εξισορρόπησης και το κατώφλι αποκατάστασης της δρομολόγησης εισάγονται επίσης για να πραγματοποιηθεί η ανταλλαγή μεταξύ της διάρκειας ζωής του δικτύου και της αποτελεσματικότητας δρομολόγησης. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν την αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου πρωτοκόλλου DGR για μη ισορροπημένη και επίμονη μετάδοση δεδομένων.

7.8 DCF - Το πρωτόκολλο Κατευθυνόμενης Ελεγχόμενης Σύντηξης

Το DCF απαιτεί σταθμό που επιθυμεί να μεταδώσει για να ακούσει την κατάσταση του καναλιού για ένα διάστημα DIFS. Αν το κανάλι βρεθεί απασχολημένο κατά τη διάρκεια του διαστήματος DIFS, ο σταθμός αποκρύπτει τη μετάδοσή του. Σε ένα δίκτυο όπου πολλοί σταθμοί υποστηρίζουν το ασύρματο μέσο, αν πολλοί σταθμοί αισθάνονται το κανάλι απασχολημένο και αναβάλλουν την πρόσβασή τους, θα βρουν επίσης ταυτόχρονα ταυτόχρονα ότι το κανάλι απελευθερώνεται και, στη συνέχεια, προσπαθεί να εκμεταλλευτεί το κανάλι. Ως αποτέλεσμα, ενδέχεται να προκύψουν συγκρούσεις. Προκειμένου να

αποφευχθούν τέτοιες συγκρούσεις, το DCF καθορίζει επίσης τυχαία αναμονή, η οποία αναγκάζει έναν σταθμό να αναβάλει την πρόσβασή του στο κανάλι για μια επιπλέον περίοδο. Το μήκος της περιόδου backoff καθορίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\mathrm{BackoffTime} = \mathrm{random}() \times \mathrm{aSlotTime}$$

Το DCF διαθέτει επίσης έναν προαιρετικό εικονικό μηχανισμό ανίχνευσης φερεγγυότητας, ο οποίος ανταλλάσσει μεταξύ των καναλιών προέλευσης και προορισμού τα μικρά πλαίσια RTS και CTS (Clear-to-Send) κατά τη διάρκεια των διαστημάτων μεταξύ των μεταδόσεων πλαισίου δεδομένων.

Το DCF περιλαμβάνει ένα θετικό σχήμα αναγνώρισης, το οποίο σημαίνει ότι εάν ένα πλαίσιο ληφθεί επιτυχώς από τον προορισμό στον οποίο απευθύνεται, ο προορισμός πρέπει να στείλει ένα πλαίσιο ACK για να ειδοποιήσει την πηγή της επιτυχημένης λήψης.

Το DCF δεν επιλύει τελείως το κρυφό τερματικό ή το εκτεθειμένο πρόβλημα τερματικού, απλώς ανακουφίζει το πρόβλημα μέσω της χρήσης των RTS και CTS και συνιστά τη χρήση μεγαλύτερου εύρους αισθητήρα φορέα.

7.9 RPL - Το Πρωτόκολλο Δρομολόγησης για Δίκτυα με Χαμηλή Ισχύ και Απώλειες

Το RPL είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης πρωτοκόλλου IPv6 για το LLN που καθορίζει τον τρόπο κατασκευής ενός προσανατολισμένου ακυκλικού γραφήματος χρησιμοποιώντας μια αντικειμενική λειτουργία και ένα σύνολο από μετρήσεις / περιορισμούς. Η αντικειμενική λειτουργία λειτουργεί με συνδυασμό μετρήσεων και περιορισμούς για τον υπολογισμό της "καλύτερης" πορείας. Θα μπορούσαν να υπάρχουν πολλές αντικειμενικές λειτουργίες στον ίδιο κόμβο και δίκτυο επειδή οι αναπτύξεις ποικίλλουν σημαντικά με διαφορετικούς στόχους και ένα δίκτυο μεμονωμένων ματιών ίσως χρειαστεί να μεταφέρουν κυκλοφορία με πολύ διαφορετικές απαιτήσεις ποιότητας πορείας. Για παράδειγμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αρκετά DODAG με στόχο: (1) Έύρεση διαδρομών με τις καλύτερες τιμές ETX [αναμενόμενες μεταδόσεις] (μετρική) και να αποφύγουμε τους μη κρυπτογραφημένους συνδέσμους (περιορισμός) ή (2) να βρούμε την

καλύτερη διαδρομή με όρους της καθυστέρησης (μετρική) αποφεύγοντας τους κόμβους που λειτουργούν με μπαταρία (περιορισμός) ». Ο σκοπός δεν ορίζει κατανάλωση τη μέτρηση / περιορισμούς, αλλά υπαγορεύει κάποιους κανόνες για τον σχηματισμό του DODAG (για παράδειγμα, ο αριθμός των γονέων, οι γονείς υποστήριξης, η χρήση της εξισορρόπησης φορτίου, ...). Το γράφημα που κατασκευάστηκε από το RPL είναι μια λογική τοπολογία δρομολόγησης που χτίστηκε πάνω από ένα φυσικό δίκτυο πληρούν συγκεκριμένα κριτήρια και ο διαχειριστής δικτύου μπορεί να αποφασίσει να έχει πολλαπλές δρομολογήσεις τοπολογιών (γραφικών παραστάσεων) που χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα για τη μεταφορά της κυκλοφορίας με διαφορετικές σύνολο απαιτήσεων. Ένας κόμβος στο δίκτυο μπορεί να συμμετάσχει σε ένα ή περισσότερα γραφήματα και επισημάνει την κίνηση σύμφωνα με το χαρακτηριστικό γράφημα για την υποστήριξη της γνώσης QoS και της δρομολόγησης που βασίζεται σε περιορισμούς. Η διαδικασία δημιουργίας γραφημάτων ξεκινά από τη ρίζα ή LBR (Router Border Border LowPAN), η οποία ρυθμίζεται από το διαχειριστή του συστήματος. Θα μπορούσαν να διαμορφωθούν πολλαπλές ρίζες στο σύστημα. Το πρωτόκολλο δρομολόγησης RPL καθορίζει ένα σύνολο νέου ελέγχου ICMPv6 μηνύματα για την ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με γραφήματα. Αυτά τα μηνύματα ονομάζονται DIS (DODAG Information Solicitation), το DIO (DODAG Information Object) και το DAO. Η ρίζα ξεκινά τη διαφήμιση των πληροφοριών σχετικά με το γράφημα χρησιμοποιώντας το μήνυμα DIO. Οι κόμβοι στην περιοχή ακρόασης (γειτονικοί κόμβοι) της ρίζας θα λάβουν και επεξεργάζονται το μήνυμα DIO δυναμικά από πολλούς κόμβους και λαμβάνουν μια απόφαση με βάση ορισμένους κανόνες (σύμφωνα με την αντικειμενική λειτουργία, τα χαρακτηριστικά DAG, που διαφημίζονται το κόστος της διαδρομής και ενδεχομένως την τοπική πολιτική) είτε να συμμετάσχουν στο γράφημα είτε όχι. Μόλις ο κόμβος συνδεθεί σε ένα γράφημα έχει μια διαδρομή προς τη ρίζα (DODAG). Η ρίζα του γραφήματος είναι που ονομάζεται "γονέας" του κόμβου. Ο κόμβος υπολογίζει ο ίδιος την τάξη μέσα στην οποία υποδεικνύονται οι "συντεταγμένες" του κόμβου στην ιεραρχία γραφημάτων. Αν έχει ρυθμιστεί να λειτουργεί ως δρομολογητής, αρχίζει να διαφημίζει τις πληροφορίες γραφήματος στους γειτονικούς συνομηλικούς κόμβους. Αν ο κόμβος είναι ένας "κόμβος φύλλων", απλώς συνδέεται και δεν στέλνει κανένα μήνυμα DIO. Οι γειτονικοί συνομηλικοί θα επαναλάβουν την επεξεργασία και την επιλογή γονέων, την προσθήκη διαδρομής και την διαφήμιση

πληροφοριών γραφημάτων χρησιμοποιώντας μηνύματα DIO. Αυτή η κυματοειδής επίδραση χτίζει το γράφημα από την ρίζα προς τους κόμβους των φύλλων όπου τελειώνει η διαδικασία. Σε αυτό το σχηματισμό κάθε κόμβος του γραφήματος έχει μια καταχώρηση δρομολόγησης προς τον γονέα του (ή πολλαπλούς γονείς ανάλογα με τον στόχο λειτουργίας) με τρόπο hop-by-hop και οι κόμβοι των φύλλων μπορούν να στείλουν ένα πακέτο δεδομένων όλοι στη ρίζα του γραφήματος μεταφέροντας απλώς το πακέτο στο άμεσο γονέα του. Αυτό το μοντέλο αντιπροσωπεύει ένα μοντέλο προώθησης MP2P (Multipoint-to-point) όπου κάθε κόμβος και το γράφημα του έχει φτάσει προς τη ρίζα του γραφήματος. Αυτό αναφέρεται επίσης ως UPWARD δρομολόγηση. Κάθε κόμβος στο γράφημα έχει μια 'τάξη' που είναι σχετική και αντιπροσωπεύει μια αυξανόμενη συντεταγμένη της σχετικής θέσης του κόμβου σε σχέση με τη ρίζα στο τοπολογία γραφήματος. Η έννοια της "κατάταξης" χρησιμοποιείται από την RPL για διάφορους σκοπούς συμπεριλαμβανομένου της αποφυγής βρόχου. Η ροή κυκλοφορίας MP2P καλείται κατεύθυνση "προς τα πάνω" στο DODAG.

7.10 QoSBased - Πρωτόκολλα Βασισμένα στην Ποιότητα Υπηρεσίας

Η ποιότητα της υπηρεσίας (QoS) αναφέρεται στην δυνατότητα ενός δικτύου να παρέχει καλύτερη εξυπηρέτηση σε επιλεγμένη κίνηση δικτύου μέσω διαφόρων τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένων δικτύων αναμετάδοσης πλαισίου, ασύγχρονης μεταφοράς (ATM), δικτύων Ethernet και 802.1, SONET και δρομολογημένων δικτύων IP να χρησιμοποιήσετε κάποια ή όλες αυτές τις βασικές τεχνολογίες. Ο πρωταρχικός στόχος του QoS είναι να παρέχει προτεραιότητα, συμπεριλαμβανομένου αποκλειστικού εύρους ζώνης, ελεγχόμενου jitter και λανθάνοντος χρόνου (που απαιτείται από κάποια κίνηση σε πραγματικό χρόνο και διαδραστική) και βελτιωμένα χαρακτηριστικά απώλειας. Εξίσου σημαντικό είναι να διασφαλίσουμε ότι η παροχή προτεραιότητας για μία ή περισσότερες ροές δεν καταλήγει σε αποτυχία άλλων ροών. Οι τεχνολογίες QoS παρέχουν τα στοιχειώδη δομικά στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν για μελλοντικές επιχειρηματικές εφαρμογές σε δίκτυα πανεπιστημίουπόλεων, WAN και παρόχων υπηρεσιών. Αυτό το άρθρο περιγράφει τα χαρακτηριστικά και τα οφέλη του QoS που παρέχεται από το Cisco IOS QoS.

7.11 Το πρωτόκολλο SPEED

Πρωτόκολλο δρομολόγησης QoS για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων που παρέχει σε πραγματικό χρόνο end to end εγγυήσεις. Μπορεί να παρέχει αποφυγή της κυκλοφοριακής συμφόρησης, όταν το δίκτυο είναι κορεσμένο. Η δρομολόγηση στο SPEED ονομάζεται Γεωγραφική Ακαταστασία Μη Προσδιοριστική προώθησης (SNFG) και συνεργάζεται με τέσσερις άλλες ενότητες στο στρώμα του δικτύου και διατηρεί την επιθυμητή ταχύτητα παράδοσης στα δίκτυα αισθητήρων ρυθμίζοντας τα πακέτα που αποστέλλονται στο στρώμα MAC. Αποτελείται από τα ακόλουθα συστατικά, μια εφαρμογή (Application Programming Interface), ένα σύστημα καθυστέρησης, ένα σύστημα γειτονικής ανταλλαγής, έναν αλγόριθμο NGF, ένα βρόχο ενημέρωσης (NFL) και ένα σύστημα για την αναδρομολόγηση. Επειδή το SPEED προσφέρει περισσότερα πακέτα προς τον προορισμό από τα άλλα πρωτόκολλα, σε καταστάσεις με βαριά κυκλοφοριακή συμφόρηση, το SPEED έχει ελαφρώς υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας.

Το πλεονέκτημα του είναι ότι αποδίδει καλύτερα από την άποψη της end to end καθυστέρησης.

7.12 MMSPEED - Το πρωτόκολλο Πολλαπλής Διαδρομής Multi-SPEED

Είναι ένας μηχανισμός παροχής πακέτων που ονομάζεται Multi-Path και Multi-SPEED Routing Protocol (MMSPEED) για πιθανή εγγύηση QoS σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Η παροχή πόρων QoS εκτελείται σε δύο τομείς ποιότητας, συγκεκριμένα την επικαιρότητα και την αξιοπιστία. Πολλαπλά επίπεδα QoS παρέχονται στον τομέα της επικαιρότητας, διασφαλίζοντας τις επιλογές ταχύτητας πολλαπλής παράδοσης πακέτων. Στον τομέα αξιοπιστίας, οι διάφορες απαιτήσεις αξιοπιστίας υποστηρίζονται από την πιθανολογική προώθηση πολλαπλών διαδρομών. Αυτοί οι μηχανισμοί παροχής πόρων QoS υλοποιούνται με τοπικό τρόπο χωρίς να παρέχονται πληροφορίες για το παγκόσμιο δίκτυο, χρησιμοποιώντας τοπική γεωγραφική διαβίβαση πακέτων με δυναμική αντιστάθμιση, η οποία αντισταθμίζει τις τοπικές ανακρίβειες ως ένα πακέτο ταξιδεύει προς τον προορισμό του. Με αυτόν τον τρόπο, το MMSPEED μπορεί να εγγυηθεί την κάλυψη των απαιτήσεων από άκρο σε άκρο με έναν εντοπισμένο τρόπο, ο οποίος είναι επιθυμητός για την επεκτασιμότητα και την προσαρμοστικότητα σε δίκτυα δυναμικών αισθητήρων μεγάλης κλίμακας. Τα

αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν ότι το MMSPEED παρέχει διαφοροποίηση QoS σε τομείς αξιοπιστίας και επικαιρότητας και ως εκ τούτου βελτιώνει σημαντικά την αποτελεσματική χωρητικότητα ενός δικτύου αισθητήρων από την άποψη του αριθμού των ροών που πληρούν τις απαιτήσεις αξιοπιστίας και επικαιρότητας μέχρι και 50%.

7.13 MGR - Το Πρωτόκολλο Κινητών Πολυμέσων Γεωγραφικής Δρομολόγησης

Μια νέα αρχιτεκτονική που ονομάζεται δίκτυο κινητής τηλεφωνίας πολυμέσων (MMSN) και ένα σύστημα δρομολόγησης που ονομάζεται γεωγραφική δρομολόγηση κινητών πολυμέσων (MGR). Σε αυτήν την αρχιτεκτονική ο κινητός κόμβος πολυμέσων (MMN) αξιοποιείται για να ενισχυθεί η ικανότητα του δικτύου αισθητήρων για την περιγραφή του συμβάντος. Το προτεινόμενο πρωτόκολλο έχει σχεδιαστεί για να ελαχιστοποιήσει την κατανάλωση ενέργειας και να ικανοποιήσει τους περιορισμούς σχετικά με τη μέση από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης των ειδικών αιτήσεων MMSN. Στο πρωτόκολλο αυτό, το κύριο μέλημα είναι να αντιμετωπιστεί η καθυστέρηση που εγγυάται ως κορυφαία προτεραιότητα το QoS. Στη συνέχεια, το πρωτόκολλο συνεχίζει τις προσπάθειες για την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας και διευρύνει τη διάρκεια ζωής του δικτύου. Αυτό δίνει το κίνητρο να εκμεταλλευτεί τις ανταλλαγές καθυστέρησης ενέργειας για το σχεδιασμό αυτού του πρωτοκόλλου. Έτσι, η κύρια λειτουργία του πρωτοκόλλου είναι να επιλέξει την ιδανική τοποθεσία του επόμενου κόμβου.

7.14 Σύγκριση Πρωτοκόλλων Βασισμένα σε Πολλαπλές Διαδρομές με Πρωτόκολλα Βασισμένα στην Ποιότητα Υπηρεσίας

Το LMR είναι αποτελεσματικό επειδή χρησιμοποιεί τοπική πολυεκπομπή και μειώνει τον μέσο αριθμό των μηνυμάτων κατά $1/2D$ (D είναι ο μέσος βαθμός κόμβων). Το HMRP, σε σύγκριση με τα LEACH και PEGASIS, βελτιώνει τη διάρκεια ζωής (75% των κόμβων είναι ενεργοί) του LEACH κατά 200% και του PEGASIS κατά 8%. Το HMRP εμφανίζει μείωση της κατανάλωσης ενέργειας 35% σε σχέση με το LEACH. Το GRAB μπορεί να παραδώσει με επιτυχία πάνω από το 90% των πακέτων με χαμηλό κόστος ενέργειας, ακόμη και κάτω από αντίξοες συνθήκες. Για διαφορετικούς ρυθμούς απώλειας πακέτων, η ενέργεια παραμένει σχεδόν σταθερή. Ωστόσο, το CBMPR αυξάνει την απόδοση περίπου 5- 8% για κάθε πρόσθετη διαδρομή, φτάνοντας τελικά στο 20-24% σε τέσσερις διαδρομές.

Το SAR προσφέρει λιγότερη κατανάλωση ενέργειας από το πρωτόκολλο ελάχιστης ενέργειας. Επίσης το SPEED καταφέρνει να παραδώσει το 95% των πακέτων προς τον προορισμό. Ωστόσο, το MMSPEED μπορεί να προσφέρει σαφή διαφοροποίηση υπηρεσιών στον τομέα της αξιοπιστίας.

Πολλά από τα προτεινόμενα πρωτόκολλα έχουν αξιολογηθεί με τη χρήση εργαλείων προσομοίωσης, όπως τα NS2, Sensor Toolkit πολλά από αυτά θα μπορούσαν να υλοποιηθούν σε πραγματικό περιβάλλον όπως το IGF σε στρατιωτικά δίκτυα, το TBRPF, E-TORA και COUGAR σε συστήματα υγείας. Τα πρωτόκολλα TTDD, ROAM, SWE και MWE, δεδομένου ότι δεν αποδίδουν καλά σε κινητά περιβάλλοντα, μπορεί να μελετηθούν και να βελτιωθούν περαιτέρω προκειμένου να ξεπεραστούν η περιορισμένη κινητικότητα και να ελαχιστοποιηθούν τα μειονεκτήματα της κατανάλωσης ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

Συμπεράσματα Διατριβής

Η ενεργειακή απόδοση είναι από τα σημαντικότερα θέματα για τα δίκτυα, ιδίως για τα ασύρματα καθώς χαρακτηρίζονται από περιορισμένες δυνατότητες ενέργειας. Η πολυπλοκότητα και η εξάρτηση των εργασιών από τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων απαιτούν την χρήση πρωτοκόλλων, τα οποία θα εγγυώνται την συνδεσιμότητα με το δίκτυο και τη διακίνηση των πληροφοριών με την λιγότερη απαιτούμενη ενέργεια. Σε αυτή την διατριβή, επικεντρωθήκαμε στα ενεργειακά αποδοτικά πρωτόκολλα δρομολόγησης που έχουν αναπτυχθεί για αυτόν τον σκοπό. Τα κατατάσσουμε σε επίπεδα, ιεραρχικά, με βάση το ερώτημα, συνεκτικά και μη συνεκτικά, με βάση τη διαπραγμάτευση, με βάση την τοπολογία, που βασίζονται σε κινητούς πράκτορες, που βασίζονται πολλαπλές διαδρομές, με βάση το QoS.

Τα επίπεδα πρωτόκολλα είναι ιδανικά για ένα μικρό δίκτυο με σταθερούς κόμβους, αλλά σε ένα μεγάλο δίκτυο είναι αναποτελεσματικά λόγω της επεξεργασίας.

Τα ιεραρχικά πρωτόκολλα λύνουν αυτό το πρόβλημα και παράγουν αποτελεσματικές λύσεις, καθώς χωρίζουν το δίκτυο σε ομάδες και διατηρούν αποτελεσματικά την κατανάλωση ενέργειας των κόμβων αισθητήρων και εκτελούν τη συνάθροιση των δεδομένων, προκειμένου να μειωθεί ο αριθμός των μεταδιδόμενων μηνυμάτων στο σταθμό βάσης. Έτσι, τα ιεραρχικά πρωτόκολλα είναι κατάλληλα για δίκτυα αισθητήρων με βαρύ φορτίο και μεγάλη περιοχή κάλυψης.

Τα πρωτόκολλα με βάση τη θέση μπορεί να είναι χρήσιμα για δυναμικά δίκτυα, καθώς χρησιμοποιούν τις πληροφορίες θέσης, προκειμένου να υπολογίσουν την απόσταση μεταξύ των κόμβων, ελαχιστοποιώντας έτσι την κατανάλωση ενέργειας και παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής του δικτύου.

Τα πρωτόκολλα που βασίζονται στην διαπραγμάτευση μπορούν να αποδώσουν κοντά στο επιθυμητό, αλλά δεν μπορούν να εγγυηθούν την επιτυχή παράδοση των δεδομένων. Τα πρωτόκολλα πολλαπλών διαδρομών διατηρούν πολλαπλές διαδρομές από τους κόμβους και έτσι εξασφαλίζεται η ανοχή σε σφάλματα και η εύκολη ανάκτηση, αλλά δεν μπορούν να συντηρήσουν τους πίνακες, καθώς πρέπει να βρουν πολλές διαδρομές.

Τα πρωτόκολλα με βάση το ερώτημα στέλνουν το ερώτημα για τα δεδομένα από έναν κόμβο και ο κόμβος που έχει αυτά τα δεδομένα τα αποστέλλει πίσω στους κόμβους προορισμού. Τα συναντάμε σε δίκτυα με δυναμικές τοπολογίες δικτύου. Χαρακτηριστικό τους είναι η υποστήριξη των πολλαπλών απαντήσεων διαδρομής. Υπάρχει όμως το πρόβλημα της ακριβούς παράδοσης των δεδομένων από την πηγή στον προορισμό, το οποίο και επιλύεται με τα πρωτόκολλα QoS.

Τα πρωτόκολλα QoS εξασφαλίζουν βελτιστοποιημένες μετρήσεις στην καθυστέρηση, την ενεργειακή απόδοση και την χαμηλή κατανάλωση εύρους ζώνης, επιτυγχάνοντας παράλληλα μεγάλη ενεργειακή απόδοση.

Τα συνεκτικά πρωτόκολλα δρομολόγησης είναι ένας ενεργειακά αποδοτικός μηχανισμός στον όποιον μόνο η ελάχιστη επεξεργασία γίνεται από τον κόμβο αισθητήρα. Σε μη – συνεκτικά, οι κόμβοι του δικτύου επεξεργάζονται τοπικά τα δεδομένα και στη συνέχεια τα στέλνουν στους άλλους κόμβους για περαιτέρω επεξεργασία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] K. Oikonomou, N. B. Pronios, "Ad-Hoc Networking: A Unified Evaluation Framework," IST Mobile & Communications Summit 2003, Aveiro- Portugal, 15-18 June 2003.
- [2] Hend Koubaa, "Reflections on Smart Antennas for MAC Protocols in Multihop Ad Hoc Networks," European Wireless 2002, February 25-28, 2002, Florence, Italy.
- [3] T. Rappaport, "Wireless Communications: Principles and Practice," Prentice Hall; 2nd edition, December 31, 2001.
- [AAhmad-2005] Aftab Ahmad, "Wireless and Mobile Data Networks," John Wiley & Sons Inc., 2005.
- [Murthy-2004] C. Siva Ram Murthy, and B. S. Manoj, "Ad Hoc Wireless Networks, Architectures and Protocols" Prentice Hall PRT, Pearson Education Inc., 2004.
- [TRappaport-2002] Theodore S. Rappaport, "Wireless Communications, Principles and Practice," 2nd Edition, Prentice Hall Inc., 2002.
- [4] N. Pronios, "Performance considerations for slotted spread-spectrum random access networks with directional antennas," in Proc. of IEEE GLOBECOM '89, Nov. 1989.
- [5] Y.B. Ko, V. Shankarkumar, and N.H. Vaidya, "Medium access control protocols using directional antennas in ad hoc networks," in Proceedings of IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM), volume 1(3), pages 13–21, Tel Aviv, Israel, Mar. 26–30 2000.
- [6] J. Ward and R. T. Compton, "Improving the Performance of Slotted ALOHA Packet Radio Network with an Adaptive Array," IEEE Transactions on Communications, 40(2):292–300, February 1992.
- [7] R. T. Compton, Jr. and J. Ward, "High throughput slotted ALOHA packet radio networks with adaptive arrays," IEEE Trans. Comm., vol. 41, no. 3, pp. 460-470, March 1993.
- [8] R. Wattenhofer, L. Li, P. Bahl, and Y. M. Wang, "Distributed topology control for power efficient operation in multihop wireless ad hoc networks," in Proc. IEEE Infocom, 2001.
- [9] M. Kubisch, H. Karl, A. Wolisz, L. C. Zhong and J. Rabaey, "Distributed Algorithms for Transmission Power Control in Wireless Sensor Networks," in WCNC 2003, New Orleans, LA, March 2003.
- [10] J. Monks, V. Bharghavan, and W. W. Hwu, "Transmission power control for multiple access wireless packet networks," in Proceedings of The 25th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN 2000), Tampa, FL, November 2000.
- [11] S. Narayanaswamy, V. Kawadia, R. S. Sreenivas, and P. R. Kumar, "Power control in ad-hoc networks: Theory, architecture, algorithm and implementation of the COMPOW protocol," in Proceedings of European Wireless Conference, 2002.
- [12] J. P. Monks, J.-P. Ebert, A. Wolisz, and W. mei W. Hwu, "A study of the energy saving and capacity improvement potential of power control in multi-hop

wireless networks,” in Workshop on Wireless Local Networks, Tampa, Florida, USA, also Conf. of Local Computer Networks (LCN), Nov. 2001.

[13] R. Zheng and R. Kravets, “On-demand power management for ad hoc network,” IEEE Infocom 2003, San Francisco, CA, USA, March 30 - April 3, 2003.

[14] R. Kravets and P. Krishnan, “Power management techniques for mobile communication,” in Proc. ACM Mobicom 99, pages 24–35, 1999.

[15] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, “An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks,” in INFOCOM 2002, New York, June 23-27, 2003.

[16] S. Singh and C. S. Raghavendra, “PAMAS: Power Aware Multi-Access protocol with Signalling for Ad Hoc Networks,” (to appear) ACM Computer Communications Review, 1999.

[17] U. Kozat, I. Koutsopoulos and L. Tassiulas, “A Framework for Cross-layer Design of Energy-efficient Communication with QoS Provisioning in Multi-hop Wireless Networks,”

[18] R. Albert and A.-L. Barabási, “Statistical mechanics of complex networks,” Rev. Mod. Phys., in press.

[19] R. Albert, H. Jeong and A.-L. Barabási, 1999, Nature (London)

[20] M. Faloutsos, P. Faloutsos and C. Faloutsos, Computer Communications Review [21] B. Bollobas, 1981, Discrete Math. 33. 1.

[22] D. J. Watts and S. H. Strogatz, 1998, Nature (London), 393, 440.

[23] A.-L. Barabási and R. Albert, 1999, Science 286, 509.

[24] R. Krishnan and J.P.G. Sterbenz, “An Evaluation of the TSMA Protocol as a Control Channel Mechanism in MMWN,” Technical report, BBN Technical Memorandum No. 1279, 2000.

[25] Dimitri Bertsekas and Robert Gallager, “Data networks,” 2nd edition, Prentice-Hall, Inc., 1992.

[26] G. Wang and N. Ansari, “Optimal Broadcast Scheduling in Packet Radio Networks Using Mean Field Annealing,” IEEE Journal on Selected Areas in Communications, VOL. 15, NO. 2, pp 250-260, February 1997.

[27] IEEE 802.11, “Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications,” Nov. 1997. Draft Supplement to Standard IEEE 802.11, IEEE, New York, January 1999.

[28] P. Karn, “MACA- A new channel access method for packet radio,” in ARRL/CRRL

Amateur Radio 9th Computer Networking Conference, pp. 134-140, 1990.

[29] F. A. Tobagi and L. Kleinrock, “Packet Switching in Radio ChannelsQ Part II – the Hidden Terminal Problem in Carrier Sense Multiple Access Modes and the Busy-Tone Solution”, IEEE Transactions on Communications, Vol. 23, pp. 1417-1433, 1975.

[30] V. Bharghavan, A. Demers, S. Shenker, and L. Zhang, “MACAW: A Media Access Protocol for Wireless LAN’s,” Proceedings of ACM SIGCOMM’94, pp. 212-225, 1994.

[31] F. Talucci, M. Gerla and L. Fratta, “MACA-BI (MACA By Invitation): A ReceiverOriented Access Protocol for Wireless Multihop Networks,” PIMRC ’97, the 8th IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Communications, Vol. 2, 1997, pp. 435-39.

- [32] J. Deng and Z. J. Haas, "Busy Tone Multiple Access (DBTMA): A New Medium Access Control for Packet Radio Networks," in IEEE ICUPC'98, Florence, Italy, October 5-9, 1998.
- [33] C. Wu and V.O.K. Li, "Receiver-Initiated Busy Tone Multiple Access in Packet Radio Networks," ACM Computer Communications Review, 17(5):335-342, August 1987.
- [34] R. Nelson, L. Kleinrock, "Spatial TDMA, A collision-free Multihop Channel Access Protocol," IEEE Transactions on Communications, Vol. COM-33, No. 9, September 1985.
- [35] C. Zhu and S.M. Corson, "A Five-Phase Reservation Protocol (FPRP) for Mobile Ad Hoc Networks," in Proceedings of IEEE Infocom '98, Vol. 1, Pp. 322-331, San Francisco, CA, March/April 1998.
- [36] I. Chlamtac and A. Farago, "Making Transmission Schedules Immune to Topology Changes in Multi-Hop Packet Radio Networks," IEEE/ACM Trans. on Networking, 2:23-29, 1994.
- [37] J.-H. Ju and V. O. K. Li, "An Optimal Topology-Transparent Scheduling Method in Multihop Packet Radio Networks," IEEE/ACM Trans. on Networking, 6:298-306, 1998.
- [38] J. A. Stankovic, T. Abdelzaher, C. Lu, L. Sha, J. Hou, "Real-Time Communication and Coordination in Embedded Sensor Networks," Proceedings of the IEEE, 91(7): 1002-1022, July 2003. (invited paper).
- [39] R. Rozovsky and P. R. Kumar, "SEEDEX: A MAC protocol for ad hoc networks," ACM Mobihoc'01, October 2001.
- [40] Ian Stewart, "Galois Theory," Chapman & Hall/CRC Mathematics, 3rd Edition, 2004.
- [41] K. Oikonomou and I. Stavrakakis, "Analysis of a Probabilistic Topology-Unaware TDMA MAC Policy for Ad-Hoc Networks," IEEE JSAC Special Issue on Quality-of Service Delivery in Variable Topology Networks, Vol. 22, No. 7, September 2004, pp. 1286-1300.
- [42] C. P. . P. Bhagwat, "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers," Proceedings of ACM SIGCOMM' 94, pp. 234- 244, September 1994.
- [43] S. Murthy and J.J. Garci-Luna-Aceves, "A Routing Protocol for Packet Radio Networks," in Proceedings of ACM First International Conference on Mobile Computing & Networking (MOBICOM '95), November 1995.
- [44] C. Perkins and E. Royer, "Ad-Hoc On-Demand Distance Vector Routing," Proceedings of 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, February 1999.
- [45] D. B. Johnson and D. A. Maltz, Mobile Computing, Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [46] M.R. Pearlman, Z.J. Haas, "Determining the Optimal Configuration for the Zone Routing Protocol", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 17(8), 1395- 1414, August 1999.
- [47] Y.-B. Ko and N.H. Vaidya, "Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad Hoc Networks", in Proceedings of the 4th ACM/IEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom), pp. 66-75, Dallas, Texas, October 1998.

- [48]https://en.wikipedia.org/wiki/Temporally_ordered_routing_algorithm
- [49] https://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_Source_Routing
- [50] 2007 IETF MANET DRAFT RFC 4728 - The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4"
- [51]<https://www.google.gr/search?q=translate&oq=transla&aqs=chrome.0.69i59j69i57j0i4.9213j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- [52]https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_ad_hoc_routing_protocols
- [53]https://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_Source_Routing
- [54] https://en.wikipedia.org/wiki/Ad_hoc_On-Demand_Distance_Vector_Routing
- [55] https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_ad_hoc_network
- [56] L. Junhai, X. Liu, Y. Danxia, "Research on Multicast Routing Protocols for Mobile ad-hoc Networks", Computer Networks, 2008, Vol. 52, Issue 5, pp. 988-997.
- [57] Διδακτορική Διατριβή με Τίτλο «Εξοικονόμηση Ενέργειας στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων με Ενεργειακά Αποδοτική Δρομολόγηση - Νικολιδάκης Στέφανος 2015 – Ελλάδα