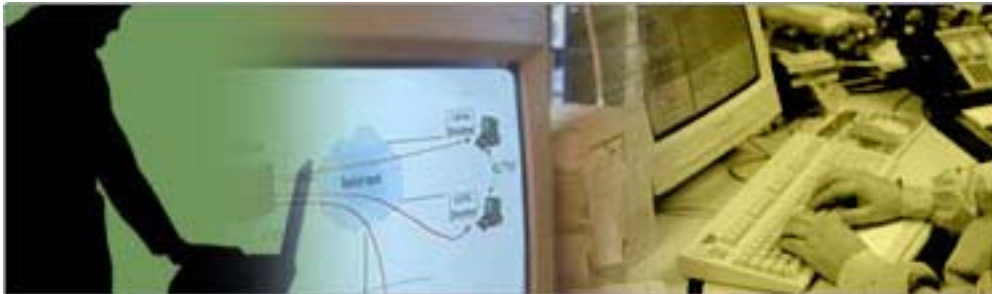


University of Macedonia
Master in Information Systems
Networking Technologies

Professor : A. A. Economides

Subject :

**Adaptive Distributed Routing
&
QoS in Mobile Networks**



Karavetsios Prokopios
Tsitouras Nikolaos

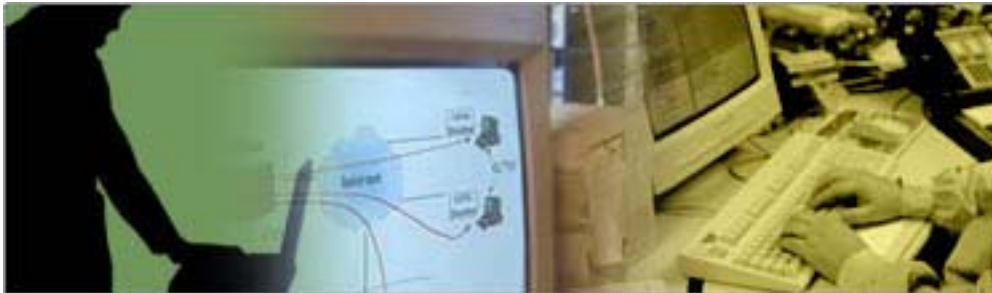
Thessaloniki 15/01/2003

Πανεπιστήμιο Μακεδονίας
Μεταπτυχιακό στα Πληροφοριακά Συστήματα
Τεχνολογίες Δικτύων

Καθηγητής: Α. Α. Οικονομίδης

Θέμα:

**Adaptive Distributed Routing
&
QoS in Mobile Networks**



Καραβέτσιος Προκόπιος
Τσιτούρας Νικόλαος

Θεσσαλονίκη 15/01/2003

ABSTRACT	3
1 Εισαγωγή	4
2 Κατηγορίες πρωτοκόλλων δρομολόγησης	7
2.1 Πρωτόκολλα δρομολόγησης καθοδηγούμενα από πίνακες (Table Driven).	7
2.1.1 Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) [1]	8
2.1.2 The Wireless Routing Protocol- WRP [2]	10
2.1.3 Clusterhead Gateway Switch Routing (CGSR) [3]	11
2.1.4 Fisheye State Routing (FSR) [4]	12
2.1.5 Hierarchical State Routing (HSR) scheme [4]	15
2.1.5.1 Ποιότητα της υποστήριξης υπηρεσιών	16
2.1.6 Zone-based Hierarchical Link State Routing Protocol [5]	17
2.1.7 Σύγκριση πρωτοκόλλων για ad hoc wireless δίκτυα	18
2.2 ON-Demand πρωτόκολλα δρομολόγησης	18
2.2.1 Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing [6]	19
2.2.2 Dynamic Source Routing (DSR) [7]	21
2.2.3 Temporally Ordered Routing Algorithm (TORA) [8]	22
2.2.4 Cluster based Routing Protocol [9]	25
2.2.5 Associativity Based Routing (ABR) [10]	27
2.2.6 Signal Stability Routing (SSR) [12]	28
3 Table-Driven vs On-Demand Routing	29
4 Flooding Routing Protocols	30
4.1 GEDIR (Geographic distance routing) [13]	31
5 ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ	32
5.1 ZONE ROUTING PROTOCOL (ZRP) [14]	32
5.1.1 Η έννοια της ζώνης δρομολόγησης, της ακτίνας ζώνης, και του Bordercasting [15]	32
6 QoS	33
6.1 QoS Metrics (Μονάδες Μέτρησης) [16]	33
6.2 Συμβιβαστικές αρχές	35
6.3 Αλγόριθμοι Δρομολόγησης και QoS	36
6.4 CEDAR [17]	37
6.5 Routing by Ticket-Based Probing [18]	37
7 ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	38
8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-BIBLIOGRAPHY	39

ABSTRACT

A wireless network is an emerging new technology that will allow users to access information and services electronically, regardless of their geographic position. Wireless networks can be classified in two types: infrastructured network and infrastructureless (ad hoc) networks. Infrastructured network requires a fixed wireline backbone infrastructure. All mobile hosts in a communication cell can reach a base station on the wireline network in one hop. In contrast in ad hoc networks all nodes are mobile and can be connected in an arbitrary manner. All nodes of these networks behave as routers and take part in discovery and maintenance of routes to other nodes in the network. This article discusses proposed routing protocols and the need for supporting Quality of Service (QoS) in these networks. Due to the bandwidth constraint and dynamic topology of Mobile Ad Hoc Networks (MANET), supporting Quality of Service routing in MANETs is a challenging task. A lot of researches have been done on supporting QoS in the Internet and other network architectures, but most of them are not suitable in the MANET environment. The overhead of QoS routing is too high for the bandwidth limited MANETs because the mobile host should have some mechanism to store and update link state information. Because of the dynamic nature of MANETs, maintaining the precise link state information is very difficult. The traditional meaning that the required QoS should be ensured once a feasible path is established is no longer true. The reserved resource may not be guaranteed because of the path breakage caused by the mobility or power depletion of the mobile hosts. QoS routing algorithms should rapidly find a feasible new route to recover the service.

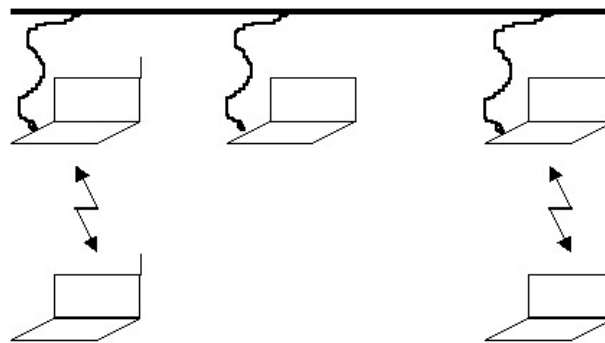
Περίληψη

Τα ασύρματα δίκτυα είναι μια αναδυόμενη νέα τεχνολογία που θα επιτρέψει στους χρήστες να έχουν πρόσβαση στις πληροφορίες και τις υπηρεσίες ηλεκτρονικά, ανεξάρτητα από τη γεωγραφική θέση τους. Τα ασύρματα δίκτυα μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο τύπους: το infrastructured (δομημένο) δίκτυο και τα infrastructureless (Ad hoc) δίκτυα. Το δίκτυο infrastructured απαιτεί μια σταθερή υποδομή καλωδιώσεων όσον αφορά τη “ραχοκοκαλιά” του. Όλοι οι κινητοί κόμβοι που ανήκουν σε ένα στοιχείο επικοινωνίας (cell) μπορούν να συνδεθούν σε έναν σταθμό βάσης του δικτύου άμεσα. Σε αντίθεση στα ειδικά δίκτυα όλοι οι κόμβοι είναι κινητοί και μπορούν να συνδεθούν με έναν αυθαίρετο τρόπο. Όλοι οι κόμβοι αυτών των δικτύων συμπεριφέρονται ως δρομολογητές και συμμετέχουν στην ανακάλυψη και τη συντήρηση των διαδρομών με άλλους κόμβους στο δίκτυο. Αυτό το άρθρο αναφέρεται σε προτεινόμενα πρωτόκολλα δρομολόγησης για κινητά ειδικά δίκτυα και την ανάγκη για υποστήριξη της ποιότητας της υπηρεσίας (QoS) διαμέσου αυτών των πρωτοκόλλων σε αυτά τα δίκτυα. Λόγω του περιορισμένου εύρους ζώνης συχνοτήτων και τη δυναμική τοπολογία των κινητών ειδικών δικτύων (MANET), η υποστήριξη της ποιότητας της υπηρεσίας μέσω της δρομολόγησης σε MANETs είναι μια απαιτητική εργασία. Πολλές έρευνες έχουν γίνει για την υποστήριξη QoS στο Διαδίκτυο και άλλες αρχιτεκτονικές δικτύων, αλλά οι περισσότερες από αυτές δεν είναι κατάλληλες στο περιβάλλον MANET. Η επιβάρυνση που προκαλεί η δρομολόγηση με υποστήριξη QoS είναι πάρα πολύ υψηλή για το περιορισμένο εύρος ζώνης συχνοτήτων ενός MANET επειδή το κινητό τερματικό πρέπει να έχει ένα μηχανισμό για να καταχωρήσει και να ενημερώσει τις πληροφορίες για την κατάσταση των συνδέσεων. Λόγω της δυναμικής φύσης

των MANETs, η ακριβής διατήρηση των πληροφοριών για την κατάσταση των συνδέσεων είναι πολύ δύσκολη. Η παραδοσιακή έννοια ότι το απαιτημένο QoS πρέπει να εξασφαλιστεί μόλις καθιερωθεί ένα εφικτό μονοπάτι δεν είναι πλέον αληθινή. Η διατήρηση ενός πόρου δεν μπορεί να εγγυηθεί λόγω της κατάρρευσης των μονοπατιών που προκαλείται από την κινητικότητα ή τη μείωση της ισχύος των κινητών τερματικών. Ένας αλγόριθμος δρομολόγησης με υποστήριξη QoS πρέπει γρήγορα να βρει μια εφικτή νέα διαδρομή για να ανακτήσει την υπηρεσία.

1 Εισαγωγή

Από την εμφάνισή τους στη δεκαετία του '70, τα ασύρματα δίκτυα έχουν γίνει όλο και περισσότερο δημοφιλή. Αυτό έγινε ιδιαίτερα αισθητό μέσα στην προηγούμενη δεκαετία κατά την οποία τα ασύρματα δίκτυα κατάφεραν να υποστηρίξουν την κινητικότητα των κόμβων. Υπάρχουν δύο παραλλαγές των κινητών ασύρματων δικτύων. Το πρώτο είναι γνωστό ως infrastructure(δομημένο) δίκτυο, δηλ., εκείνα τα δίκτυα με σταθερές συνδέσεις με τις πύλες μέσω καλωδίων. Η πρόσβαση των κινητών τερματικών σε αυτά τα δίκτυα γίνεται μέσω συγκεκριμένων σημείων πρόσβασης, οι οποίοι είναι γνωστοί ως σταθμοί βάσης. Μια κινητή μονάδα μέσα σε αυτά τα δίκτυα συνδέεται και επικοινωνεί με τον κοντινότερο σταθμό βάσης που είναι μέσα στην ακτίνα επικοινωνίας του. Καθώς ο χρήστης και το κινητό τερματικό μετακινούνται η συσκευή μπορεί να ανιχνεύσει ότι υπάρχει ένα εναλλακτικό σημείο πρόσβασης με καλύτερη απόδοση στη μετάδοση από ότι το σημείο πρόσβασης με το οποίο είναι μέχρι εκείνη την στιγμή συνδεδεμένο. Στην συνέχεια, το κινητό τερματικό θα προχωρήσει στην μεταβίβαση της ευθύνης της κλήσης του στο νέο σημείο πρόσβασης. Οι εγκατεστημένες συνδέσεις θα μετατεθούν προς το νέο σημείο πρόσβασης έτσι ώστε το κινητό τερματικό να παραμείνει συνδεδεμένο με το δίκτυο. Οι χαρακτηριστικές εφαρμογές αυτού του τύπου δικτύου περιλαμβάνουν τα ασύρματα τοπικά δίκτυα περιοχής (WLANs).



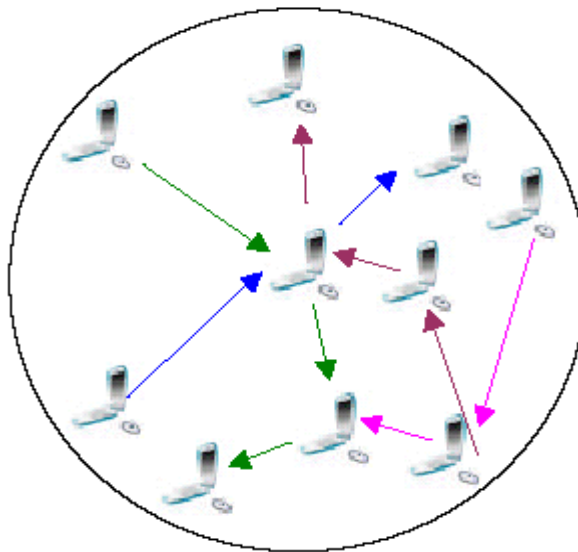
Infrastructure Network

Ο δεύτερος τύπος κινητού ασύρματου δικτύου είναι το infrastructureless ασύρματο δίκτυο, που είναι γνωστό συνήθως ως ασύρματο κινητό ειδικό δίκτυο(wireless mobile ad hoc network-MANET). Τα δίκτυα Infrastructureless δεν έχουν κανέναν σταθερό δρομολογητή, όλοι οι κόμβοι είναι ικανοί να μετακινηθούν και μπορούν να συνδεθούν δυναμικά με έναν αυθαίρετο τρόπο. Οι

κόμβοι αυτών των δικτύων λειτουργούν ως δρομολογητές που ανακαλύπτουν και διατηρούν τις διαδρομές με άλλους κόμβους στο δίκτυο. Ένα τέτοιο δίκτυο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιπτώσεις που η σταθερή δομή είναι απύσχα, κατεστραμμένη ή ανεπαρκής. Μερικές από τις εφαρμογές αυτού του είδους δικτύου είναι οι παρακάτω :

- Στρατιωτικές
 - Επικοινωνία σε πεδία μαχών
 - Δίκτυα αισθητήρων
 - Υπηρεσίες σε καταστάσεις ανάγκης
- ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ
 - Αυτοματοποίηση πωλήσεων
 - Οικιακό δίκτυο
 - PANS (Personal Area Networks)
- ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΕΣ
 - Συνδιαλέξεις
 - Συνέδρια

Οι κόμβοι MANET είναι εξοπλισμένοι με ασύρματες συσκευές αποστολής και λήψης σημάτων, τους πομπούς και τους δέκτες και χρησιμοποιούν τις κεραίες είτε για ευρυεκπομπή (broadcast), μονοεκπομπή (από σημείο σε σημείο), ενδεχομένως και πολυεκπομπή (multicast), ή και συνδυασμό των παραπάνω.



Infrastructureless Network

Τα MANETs έχουν διάφορα εμφανή και ιδιαίτερα χαρακτηριστικά :

- Περιορισμένο εύρος ζώνης
- Μειωμένος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων
- Κινητικότητα
- Περιβάλλον επιρρεπές σε σφάλματα
- Κοινή χρήση καναλιού ευρυεκπομπής (broadcast)
- Κατανάλωση ισχύος
- Περιορισμένη ασφάλεια του φυσικού μέσου μετάδοσης

Λόγω της κινητικότητας των κόμβων ενός τέτοιου δικτύου, η τοπολογία μπορεί να αλλάξει γρήγορα και απρόβλεπτα κατά τη διάρκεια του χρόνου. Για το λόγο αυτό ένα δίκτυο MANET πρέπει είναι αποκεντρωμένο, δηλαδή η οργάνωση και η παράδοση μηνυμάτων πρέπει να εκτελείται από τους κόμβους π.χ. λειτουργία δρομολόγησης θα υλοποιείται από τους κινητούς κόμβους. Ένα MANET μπορεί να λειτουργήσει με έναν αυτόνομο τρόπο, ή να συνδεθεί με ένα μεγαλύτερο δίκτυο, π.χ., το σταθερό Διαδίκτυο.

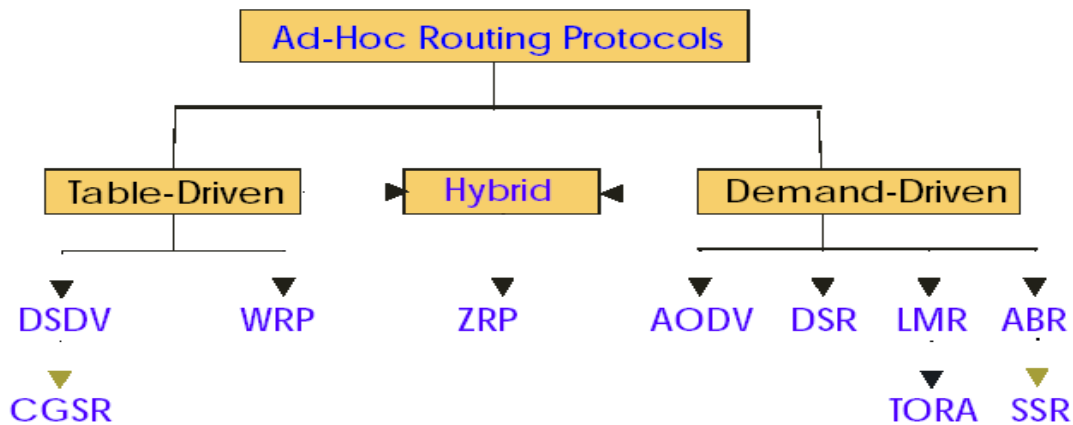
Η σχεδίαση των πρωτοκόλλων δικτύων για MANETs είναι ένα σύνθετο ζήτημα. Αυτά τα δίκτυα χρειάζονται αποδοτικούς διανεμημένους αλγόριθμους για να καθορίσουν την οργάνωση τους, τον τρόπο που επιτυγχάνεται η σύνδεση και πως γίνεται η δρομολόγηση. Μια αποδοτική προσέγγιση είναι να χρησιμοποιηθούν αλγόριθμοι δρομολόγησης στους οποίους η συνδετικότητα δικτύων καθορίζεται στο στάδιο της εγκατάστασης των διαδρομών. Η δρομολόγηση μηνυμάτων σε ένα αποκεντρωμένο περιβάλλον όπου η τοπολογία δικτύων μεταβάλλεται δεν είναι ένα καθορισμένο με σαφήνεια πρόβλημα. Ενώ το συντομότερο μονοπάτι (που βασίζεται σε μια δεδομένη λειτουργία κόστους) από μια πηγή σε έναν προορισμό σε ένα στατικό δίκτυο είναι συνήθως η βέλτιστη διαδρομή, αυτή η ιδέα δεν υλοποιείται εύκολα σε MANETs. Παράγοντες όπως η ισχύς της μπαταρίας, η μεταβαλλόμενη ασύρματη ποιότητα συνδέσεων, η απώλεια μονοπατιών διάδοσης, η εξασθένηση του σήματος, η παρέμβαση πολλών χρηστών, και οι τοπολογικές αλλαγές, γίνονται σημαντικά ζητήματα τα οποία πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη.

Το δίκτυο πρέπει να είναι σε θέση να αλλάζει προσαρμοστικά τα μονοπάτια δρομολόγησης για να αντιμετωπίσει προβλήματα που μπορούν να δημιουργηθούν από τους πιο πάνω παράγοντες. Επιπλέον, σε ένα στρατιωτικό περιβάλλον, η εξασφάλιση της ασφάλειας, η αξιοπιστία, το σκόπιμο μπλοκάρισμα και η αποκατάσταση από την αποτυχία είναι σημαντικά ζητήματα. Τα στρατιωτικά δίκτυα επιθυμούν να διατηρήσουν μια χαμηλή πιθανότητα παρεμβολής και χαμηλή πιθανότητα ανίχνευσης. Ως εκ τούτου, οι κόμβοι προτιμούν να εκπέμπουν λιγότερη ισχύ ανάλογα με τις ανάγκες και να διαβιβάσουν όσο το δυνατόν πιο σπάνια, μειώνοντας κατά συνέπεια την πιθανότητα της ανίχνευσης (ή της παρεμβολής). Μια αποτυχία σε οποιεσδήποτε από αυτές τις απαιτήσεις μπορεί να υποβιβάσει την απόδοση και την αξιοπιστία του δικτύου. Ένα πρωτόκολλο που υλοποιείται για να χρησιμοποιηθεί σε ένα τέτοιο δίκτυο πρέπει να μπορεί να ικανοποιήσει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τους παρακάτω στόχους :

- Υψηλή ρυθμαπόδοση
- Χαμηλή μέση καθυστέρηση
- Υποστήριξη ετερογενούς κίνησης(δεδομένα, φωνή, video)
- Επεκτασιμότητα
- Εξοικονόμηση ενέργειας
- QoS

2 Κατηγορίες πρωτοκόλλων δρομολόγησης

Σε αυτή την ενότητα θα εξετάσουμε τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που σχεδιάζονται για αυτά τα ειδικά δίκτυα και θα περιγράψουμε τη λειτουργία ορισμένων από τα πρωτόκολλα αυτά και επίσης θα συγκρίνουμε τα διάφορα χαρακτηριστικά τους. Η κύρια κατηγοριοποίηση των πρωτοκόλλων για ad hoc δίκτυα παρουσιάζεται στον πίνακα 1.



Πίνακας 1

2.1 Πρωτόκολλα δρομολόγησης καθοδηγούμενα από πίνακες (Table Driven).

Το χαρακτηριστικό αυτών των πρωτοκόλλων δρομολόγησης είναι ότι κάθε κόμβος διατηρεί έναν ή περισσότερους πίνακες που περιέχουν τις πληροφορίες δρομολόγησης για κάθε άλλο κόμβο στο δίκτυο. Όλοι οι κόμβοι ενημερώνουν αυτούς τους πίνακες ώστε να διατηρηθεί μια συνεπής και ενημερωμένη όψη του δικτύου. Όταν η τοπολογία δικτύων αλλάζει οι κόμβοι διαδίδουν τα μηνύματα αναπροσαρμογών σε όλο το δίκτυο προκειμένου να διατηρηθούν συνεπή και ενημερωμένα τα στοιχεία που περιέχουν οι πίνακες δρομολόγησης για ολόκληρο το δίκτυο. Αυτά τα πρωτόκολλα δρομολόγησης διαφέρουν στη μέθοδο με την οποία οι πληροφορίες αλλαγής τοπολογίας διανέμονται στο δίκτυο.

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά αυτής της κατηγορίας δρομολόγησης είναι :

- Διατηρούν διαδρομές για όλους τους κόμβους
- Ελάχιστη καθυστέρηση εύρεσης δρόμου
- Επιπρόσθετο φορτίο μηνυμάτων ελέγχου
- Δεν μπορούν να υποστηρίξουν υψηλή κινητικότητα

Σχέδια επίπεδης δρομολόγησης (FLAT) [1]

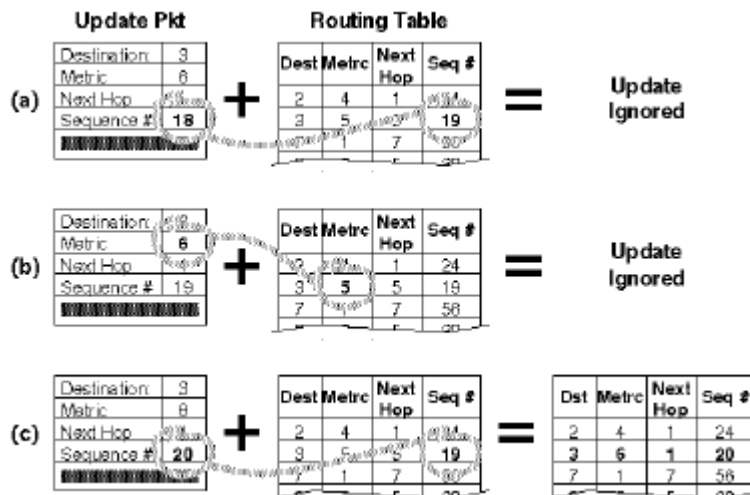
Σε αυτή την κατηγορία πολλά πρωτόκολλα έχουν προταθεί για να υποστηρίξουν την ad hoc mobile ασύρματη δρομολόγηση. Μερικές προτάσεις είναι επεκτάσεις των σχεδίων που αναπτύχθηκαν παλαιότερα . Για παράδειγμα ο αλγόριθμος DSDV (Perkins Destination Sequenced Distance Vector) βασίζεται πάνω στον DBF (Distributed Bellman_Ford) καθώς και ο WPR (Garcia's Wireless Routing Protocol) είναι βασισμένος σε έναν ελεύθερο από βρόχους αλγόριθμο . Στους επίπεδους αλγορίθμους δρομολόγησης κάθε κόμβος διατηρεί έναν πίνακα δρομολόγησης με τις εισόδους για όλους τους κόμβους στο δίκτυο. Αυτό είναι αποδεκτό εάν το πλήθος των χρηστών είναι μικρό. Κατά συνέπεια, οι επίπεδοι αλγόριθμοι δρομολόγησης δεν εξελίσσονται καλά στα μεγάλα δίκτυα. Για να επιτραπεί η εξέλιξη μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ιεραρχικές τεχνικές.

2.1.1 Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) [1]

Το πρωτόκολλο δρομολόγησης (DSDV) που περιγράφεται είναι ένας αλγόριθμος που στηρίζεται σε πίνακες και βασίζεται στον κλασσικό μηχανισμό δρομολόγησης Bellman-Ford. Οι βελτιώσεις που γίνονται στον αλγόριθμο Bellman-Ford περιλαμβάνουν την ελευθερία από τους βρόχους στη δρομολόγηση των πινάκων. Κάθε κινητός (mobile) κόμβος στο δίκτυο διατηρεί έναν πίνακα δρομολόγησης στον οποίο όλοι οι πιθανοί προορισμοί μέσα στο δίκτυο καθώς και ο αριθμός μετακινήσεων σε κάθε προορισμό καταγράφονται. Κάθε είσοδος είναι χαρακτηρισμένη με έναν αριθμό ακολουθίας που ανατίθεται από τον κόμβο προορισμού. Οι αριθμοί ακολουθίας επιτρέπουν στους κινητούς κόμβους να διακρίνουν τις παλαιότερες διαδρομές από τις νέες. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται ο σχηματισμός βρόχων κατά την δρομολόγηση. Οι αναβαθμίσεις των πινάκων δρομολόγησης διαβιβάζονται περιοδικά σε όλο το δίκτυο προκειμένου να διατηρηθεί η συνέπεια των πινάκων. Για να βοηθηθεί το δίκτυο από την ενδεχομένως μεγάλη κυκλοφορία που τέτοιες αναβαθμίσεις μπορούν να παράγουν, μπορούν να υιοθετηθούν δύο πιθανοί τύποι πακέτων. Ο πρώτος είναι γνωστός ως "πλήρης απόρριψη" (full dump). Αυτός ο τύπος πακέτου μεταφέρει όλες τις διαθέσιμες πληροφορίες δρομολόγησης και μπορεί να απαιτήσει τις πολλαπλάσιες μονάδες στοιχείων πρωτοκόλλου δικτύων (NPDUs). Κατά τη διάρκεια των περιόδων περιστασιακής μετακίνησης, αυτά τα πακέτα διαβιβάζονται σπάνια. Τα μικρότερα "επαυξητικά" πακέτα χρησιμοποιούνται για την μεταφορά μόνο εκείνων των πληροφοριών που έχουν αλλάξει από την τελευταία "πλήρη απόρριψη". Κάθε μια από αυτές τις μεταδόσεις πρέπει να ταιριάζει με το μέγεθος του NPDU αφού με τον τρόπο αυτό μειώνεται το

ποσό κυκλοφορίας που παράγεται. Οι κινητοί (mobile) κόμβοι διατηρούν έναν επιπλέον πίνακα όπου εκεί καταχωρούνται τα στοιχεία που στέλνονται στα επανυζητικά πακέτα πληροφοριών δρομολόγησης (incremental routing information packets) .

Κάθε φορά που διαβιβάζεται ένα αναβαθμισμένο πακέτο, το πακέτο όχι μόνο περιέχει τη διεύθυνση του ενδεχόμενου προορισμού, αλλά περιέχει επίσης τη διεύθυνση του κόμβου που μεταβιβάζει το πακέτο αυτό και η διεύθυνση του εισάγεται στον πίνακα δρομολόγησης (εκτός αν το πακέτο αγνοείται). Το επόμενο σχήμα επεξηγεί πώς ένας κόμβος επεξεργάζεται ένα αναβαθμισμένο πακέτο.



Παράδειγμα κόμβου που λαμβάνει 3 αναβαθμισμένα πακέτα

➤ Ανάλυση του DSDV [1]

Ο DSDV είναι βασισμένος σε ένα συμβατικό πρωτόκολλο δρομολόγησης που ονομάζεται RIP, το οποίο είναι προσαρμοσμένο για τη χρήση στα adhoc δίκτυα. Η δρομολόγηση επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση των πινάκων δρομολόγησης που διατηρούνται από κάθε κόμβο. Ο όγκος της πολυπλοκότητας στον DSDV έγκειται στην παραγωγή και τη διατήρηση αυτών των πινάκων δρομολόγησης. Ο DSDV απαιτεί οι κόμβοι να διαβιβάζουν περιοδικά τα αναπροσαρμοζόμενα πακέτα των πινάκων δρομολόγησης, ανεξάρτητα από την κυκλοφορία του δικτύου. Αυτά τα αναπροσαρμοζόμενα πακέτα μεταδίδονται σε όλο το δίκτυο έτσι ώστε κάθε κόμβος στο δίκτυο ξέρει πώς να φθάσει σε κάθε άλλο κόμβο. Δεδομένου ότι ο αριθμός κόμβων στο δίκτυο αυξάνεται, το μέγεθος των πινάκων δρομολόγησης και το εύρος ζώνης συχνοτήτων (bandwidth) που απαιτείται για να ενημερώσει τους πίνακες αυξάνεται επίσης. Αυτή η επιβάρυνση (overhead) είναι βασική αδυναμία του DSDV. Επιπλέον, οποτεδήποτε παρουσιαστούν αλλαγές στην τοπολογία, ο DSDV είναι ασταθής μέχρι που τα αναπροσαρμοζόμενα πακέτα διαδοθούν σε όλο το δίκτυο. Ο Broch βρήκε ότι ο DSDV έχει το

μεγαλύτερο πρόβλημα (σε σχέση με άλλα πρωτόκολλα) όσον αφορά την δυνατότητα της κινητικότητας (mobility) των κόμβων.

2.1.2 The Wireless Routing Protocol- WRP [2]

Το πρωτόκολλο αυτό εντοπίζει τις αναβαθμίσεις στους άμεσους γειτονικούς κόμβους . Όταν ένας νέος κόμβος Α κινείται στη περιοχή ενός κόμβου Β και ένα μήνυμα παραλαμβάνεται από αυτόν, ο κόμβος Α προστίθεται στον πίνακα δρομολόγησης του Β, και αποστέλλεται ένα πλήρες αντίγραφο του πίνακα. Όταν μια σύνδεση αποτυγχάνει, ένας κόμβος στέλνει αναβαθμίσεις στους γειτονικούς του κόμβους.

Το ασύρματο πρωτόκολλο δρομολόγησης (WRP) είναι ένα distance-vector πρωτόκολλο δρομολόγησης βασισμένο σε πίνακες δρομολόγησης. Κάθε κόμβος στο δίκτυο διατηρεί έναν πίνακα απόστασης (distance table), έναν πίνακα δρομολόγησης (routing table) , έναν πίνακα σύνδεσης-κόστους (Link-Cost table) και μια λίστα επαναμετάδοσης μηνυμάτων. Ο πίνακας απόστασης ενός κόμβου Χ περιέχει την απόσταση κάθε κόμβου προορισμού Υ μέσω κάθε γειτονικού κόμβου Ζ στο Χ. Περιέχει επίσης τον προς τα κάτω γειτονικό κόμβο του Ζ μέσω του οποίου αυτό το μονοπάτι πραγματοποιείται. Ο πίνακας δρομολόγησης του κόμβου Χ περιέχει την απόσταση κάθε κόμβου προορισμού Υ από τον κόμβο Χ, τον πρόγονο και τον διάδοχο του κόμβου Χ σε αυτό το μονοπάτι. Περιέχει επίσης μια ετικέτα για να προσδιορίσει εάν η είσοδος είναι ένα απλό μονοπάτι, ένας βρόχος ή αν αυτή δεν ισχύει. Η καταχώρηση του προγόνου και του διαδόχου στον πίνακα είναι ευεργετική στην ανίχνευση των βρόχων και στην αποφυγή των προβλημάτων χωρίς λύση. Ο πίνακας σύνδεσης-κόστους (Link-Cost table) περιέχει το κόστος της σύνδεσης σε κάθε γείτονα του κόμβου και τον αριθμό των διακοπών από τη στιγμή που ένα χωρίς λάθη μήνυμα παραλήφθηκε από εκείνο τον γείτονα. Ο κατάλογος επαναμετάδοσης μηνυμάτων (MRL) περιέχει τις πληροφορίες που επιτρέπουν σε έναν κόμβο να γνωρίζει ποιος από τους γειτονικούς του κόμβους δεν έχει λάβει γνώση του αναβαθμισμένου μηνύματος έτσι ώστε να μεταδώσει το αναβαθμισμένο αυτό μήνυμα σε εκείνο τον γειτονικό κόμβο.

Εάν δεν υπάρχει καμία αλλαγή στον πίνακα δρομολόγησης από την τελευταία αναβάθμιση (update), ο κόμβος απαιτείται να στείλει ένα απλό μήνυμα για να εξασφαλίσει τη συνδεσιμότητα. Κατά τη λήψη ενός αναβαθμισμένου μηνύματος ο κόμβος τροποποιεί τον πίνακα απόστασής του (Distance Table) και ψάχνει τα καλύτερα μονοπάτια χρησιμοποιώντας τις νέες πληροφορίες. Οποιοδήποτε νέο μονοπάτι που βρίσκεται με αυτό τον τρόπο μεταδίδεται πίσω στους αρχικούς κόμβους έτσι ώστε αυτοί να μπορούν να ενημερώσουν τους πίνακές τους. Ο κόμβος ενημερώνει επίσης τον πίνακα δρομολόγησης του εάν το νέο μονοπάτι είναι καλύτερο από το υπάρχον μονοπάτι. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτού του αλγορίθμου είναι ότι ελέγχει τη συνέπεια όλων των γειτονικών του κόμβων κάθε φορά που ανιχνεύει μια αλλαγή στη σύνδεση, οποιοδήποτε και αν είναι αυτοί οι γειτονικοί κόμβοι.

Ουσιαστικά το WRP στηρίζεται στο να επικοινωνήσει για τις αλλαγές με τους γειτονικούς κόμβους , η οποία επικοινωνία διαδίδεται αποτελεσματικά σε όλο το δίκτυο. Το εμφανές πλεονέκτημα του WRP είναι η αξιοσημείωτη μείωση της πιθανότητας βρόχων στις υπολογισμένες διαδρομές. Το βασικό μειονέκτημα όμως του WRP για την δρομολόγηση σε ασύρματα δίκτυα είναι το γεγονός ότι οι κόμβοι δρομολόγησης διατηρούν συνεχώς τις πλήρεις πληροφορίες δρομολόγησης σε κάθε κόμβο δικτύων, οι οποίες αποκτήθηκαν με σχετικά υψηλό κόστος.

Έτσι λοιπόν τα κυριότερα χαρακτηριστικά του αλγορίθμου WRP είναι τα παρακάτω : [6]

Πρόκειται για έναν αλγόριθμο εύρεσης μονοπατιού που χρησιμοποιεί τις πληροφορίες σχετικά με το μήκος του μονοπατιού και επιλέγει το συντομότερο μονοπάτι για κάθε προορισμό. Επίσης μειώνει το πρόβλημα του ατέρμονος υπολογισμού (Count to Infinity Problem). Τέλος ένα αναβαθμισμένο μήνυμα στέλνεται είτε μετά από την επεξεργασία των αναβαθμίσεων από γειτονικούς κόμβους είτε μετά από μια αλλαγή στη σύνδεση με έναν γειτονικό.

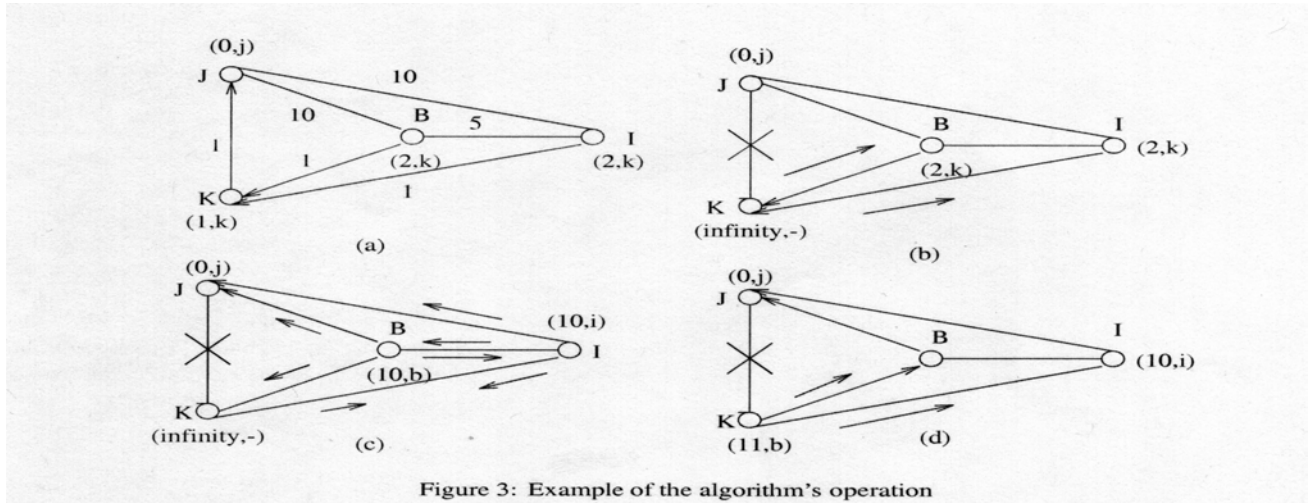


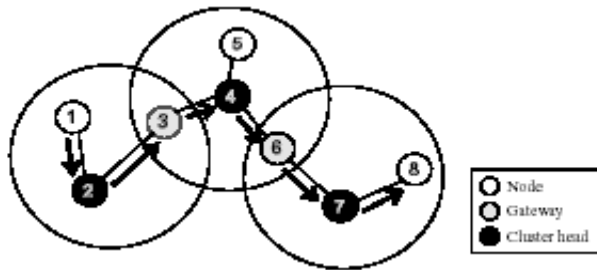
Figure 3: Example of the algorithm's operation

2.1.3 Clusterhead Gateway Switch Routing (CGSR) [3]

Το πρωτόκολλο δρομολόγησης (CGSR) διαφέρει από το πρωτόκολλο DSDV στον τύπο διευθυνσιοδότησης και οργάνωσης δικτύων που υιοθετείται. Αντί ενός "επίπεδου" δικτύου, το CGSR είναι ένα τμηματοποιημένο (clustered) multihop ασύρματο δίκτυο με διάφορα σχέδια (αλγόριθμους) δρομολόγησης. Οι ερευνητές δηλώνουν ότι έχοντας την κεφαλή ενός τομέα (cluster head) και ελέγχοντας κατά αυτόν τον τρόπο μια ομάδα από ad-hoc κόμβους, ένα πλαίσιο για το χωρισμό κώδικα (μεταξύ των τομέων), η πρόσβαση καναλιών, η δρομολόγηση και η κατανομή εύρους ζώνης συχνοτήτων μπορούν να επιτευχθούν. Ένας αλγόριθμος επιλογής κεφαλής τομέα χρησιμοποιείται για να εκλέξει έναν κόμβο ως κεφαλή τομέα (cluster head) χρησιμοποιώντας έναν καταναεμημένο αλγόριθμο μέσα στον τομέα αυτόν. Το μειονέκτημα της κατοχής ενός cluster head αλγόριθμου είναι οι συχνές αλλαγές κεφαλών τομέων που μπορούν να έχουν επιπτώσεις στην απόδοση του πρωτοκόλλου δρομολόγησης δεδομένου ότι οι κόμβοι είναι απασχολημένοι με την διαδικασία επιλογής κεφαλών τομέων παρά την μετάδοση πακέτων. Ως εκ τούτου, αντί της διαρκούς επανεπιλογής κεφαλής τομέα κάθε φορά που αλλαγές στους τομείς πραγματοποιούνται, ένας νέος αλγόριθμος εισάγεται και ονομάζεται Least Cluster Change (LCC). Χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο LCC, οι κεφαλές τομέων αλλάζουν μόνο όταν δυο τουλάχιστο κεφαλές τομέων έρχονται σε επαφή, ή όταν ένας κόμβος κινείται μακριά από όλες τις κεφαλές τομέων.

Ο CGSR χρησιμοποιεί DSDV που λειτουργεί ως ο βασικός αλγόριθμος δρομολόγησης. Εντούτοις, τροποποιεί τον DSDV λόγω της χρησιμοποίησης μιας ιεραρχικής προσέγγισης δρομολόγησης με τομείς από κεφαλή σε πύλη (head to gateway) για να δρομολογήσει την κυκλοφορία από την πηγή στον προορισμό. Οι κόμβοι πυλών είναι κόμβοι που βρίσκονται μέσα στα πλαίσια επικοινωνίας δύο ή περισσότερων κεφαλών τομέων. Ένα πακέτο που στέλνεται από έναν κόμβο καθοδηγείται αρχικά από την κεφαλή του τομέα του, και έπειτα το πακέτο δρομολογείται από την κεφαλή τομέα σε μια πύλη που βρίσκεται σε άλλη κεφαλή τομέα. Αυτή η

διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να φτάσει το πακέτο στην κεφαλή τομέα του κόμβου προορισμού. Το πακέτο τέλος μεταβιβάζεται στον προορισμό. Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει ένα παράδειγμα αυτού του σχεδίου δρομολόγησης. [4]



CGSR: Δρομολόγηση από τον κόμβο 1 στον κόμβο 8.

Χρησιμοποιώντας αυτήν την μέθοδο, κάθε κόμβος πρέπει να διατηρεί έναν "πίνακα μελών τομέων" όπου αποθηκεύεται η κεφαλή τομέα του προορισμού για κάθε κόμβο στο δίκτυο. Αυτοί οι πίνακες μεταδίδονται περιοδικά από κάθε κόμβο χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο DSDV. Οι κόμβοι ενημερώνουν τους πίνακες αυτούς στη διάρκεια λήψης ενός τέτοιου πίνακα από έναν γειτονικό κόμβο. Εκτός από τον πίνακα "μελών τομέων", κάθε κόμβος πρέπει επίσης να διατηρήσει έναν πίνακα δρομολόγησης, ο οποίος χρησιμοποιείται για να καθορίσει το επόμενο hop προκειμένου να φτάσουμε στον προορισμό. Με την λήψη ενός πακέτου, ένας κόμβος θα συμβουλευθεί τον πίνακα μελών τομέων του και τον πίνακα δρομολόγησης για να καθορίσει το κοντινότερη κεφαλή τομέα κατά μήκος της διαδρομής προς τον προορισμό. Έπειτα ο κόμβος θα ελέγξει τον πίνακα δρομολόγησης του για να καθορίσει τον κόμβο προκειμένου να φθάσει στην επιλεγμένη κεφαλή τομέα και τέλος μεταδίδει το πακέτο στον κόμβο αυτό.

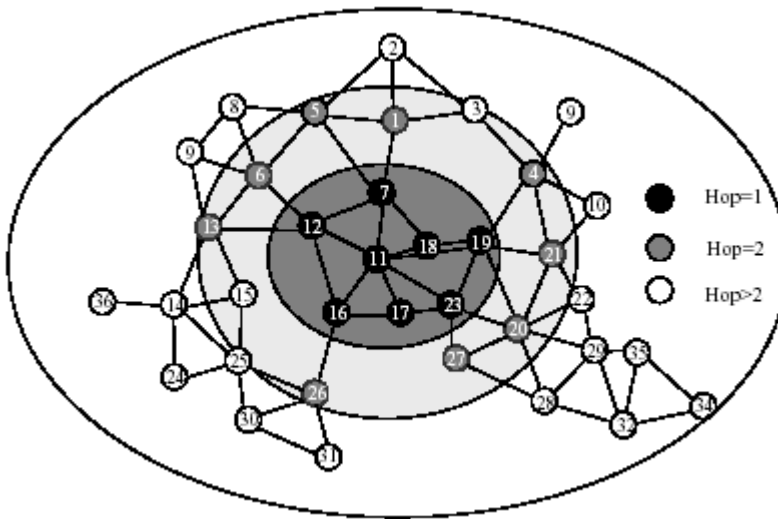
➤ Ιεραρχικά σχέδια δρομολόγησης

2.1.4 Fisheye State Routing (FSR) [4]

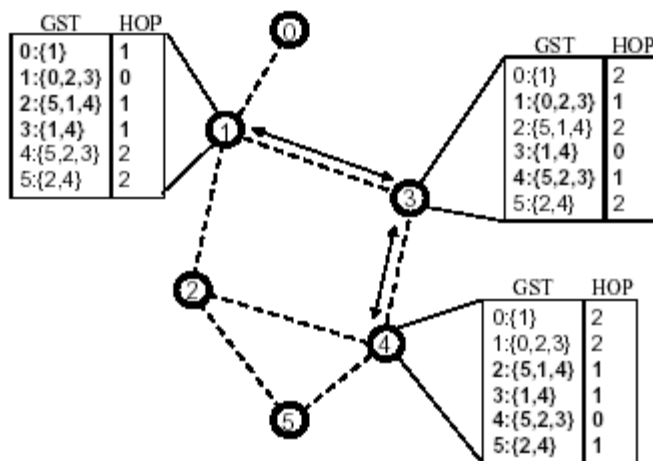
Ο Fisheye State Routing (FSR) είναι ένας συνδυασμός του DSDV και του TORA . Κάθε κόμβος διατηρεί έναν πίνακα δρομολόγησης για το πώς θα φθάσει σε κάθε άλλο κόμβο στο δίκτυο, όμοια με τον DSDV εκτός από τις πληροφορίες πλήρους τοπολογίας οι οποίες διατηρούνται σε κάθε κόμβο. Κάθε κόμβος χρησιμοποιεί αυτές τις πληροφορίες για να δρομολογήσει τα πακέτα μέσω του δικτύου. Ο FSR διατηρεί έναν πίνακα δρομολόγησης με περιοδικά, σε κατάσταση σύνδεσης (link state), πακέτα που διανύουν μια απόσταση μέσα στο δίκτυο όπως καθορίζεται από το πεδίο. Τα πακέτα με μεγαλύτερο πεδίο (και που διανύουν μεγαλύτερες αποστάσεις) μεταδίδονται λιγότερο συχνά. Κατά συνέπεια ένας πιο μακρινός κόμβος προορισμού είναι λιγότερο αξιόπιστος όσον αφορά τις πληροφορίες δρομολόγησης. Εντούτοις, ένα πακέτο κατά την διέλευση σε έναν απόμακρο κόμβο θα καθοδηγηθεί με τις ακριβέστερες πληροφορίες όσο αυτό φτάνει προς τον προορισμό του.

Οι Kleinrock και Stevens πρότειναν αυτή την τεχνική fisheye για να μειωθεί το μέγεθος των πληροφοριών που απαιτούνταν για να αντιπροσωπεύσουν γραφικά δεδομένα. Στη δρομολόγηση, η τεχνική fisheye μεταφράζεται ως η διατήρηση της ακριβούς απόστασης και της ποιότητας των πληροφοριών για την άμεση γειτνίαση ενός κόμβου, με τη σταδιακά λιγότερη λεπτομέρεια καθώς η απόσταση αυξάνει.

Το παρακάτω σχήμα επεξηγεί την εφαρμογή του fisheye σε ένα ασύρματο δίκτυο. Οι κύκλοι με τις διαφορετικές σκιές του γκρι καθορίζουν τα πεδία fisheye όσον αφορά τον κεντρικό κόμβο (κόμβος 11). Το πεδίο καθορίζεται ως το σύνολο κόμβων που μπορεί να επιτευχθούν μέσα σε έναν δεδομένο αριθμό hops. Στην περίπτωση μας τρία τα πεδία εμφανίζονται για 1,2 και 3 hops αντίστοιχα. Οι κόμβοι κωδικοποιούνται αναλόγως με μαύρο, γκρι και λευκό χρώμα.

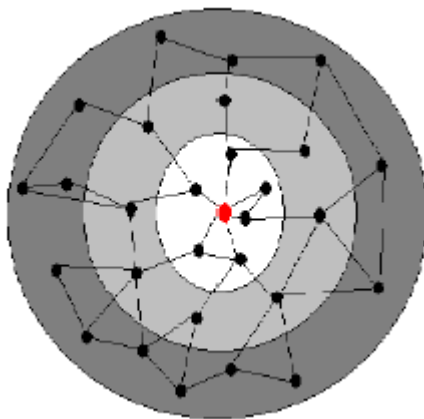


Η μείωση του μεγέθους των αναπροσαρμοσμένων μηνυμάτων λαμβάνεται με τη χρησιμοποίηση των διαφορετικών περιόδων ανταλλαγής για τις διαφορετικές εισόδους στον πίνακα. Ακριβέστερα, οι εισόδοι που αντιστοιχούν στους κόμβους μέσα στο μικρότερο πεδίο διαδίδονται στους γειτονικούς κόμβους με την υψηλότερη συχνότητα. Στο παρακάτω σχήμα οι εισόδοι με έντονη γραφή στο ανταλλάσσονται πολύ πιο συχνά. Οι υπόλοιπες εισόδοι στέλνονται με χαμηλότερη συχνότητα. Κατά συνέπεια, ένα αξιοσημείωτο μέρος των συνδέσεων καταστέλλεται, μειώνοντας έτσι το μέγεθος των μηνυμάτων. Αυτή η στρατηγική παράγει έγκαιρες αναπροσαρμογές από τους κοντινούς σταθμούς, αλλά δημιουργεί μεγάλες αργοπορίες από τους σταθμούς που βρίσκονται μακριά. Παρόλα αυτά, η ανακριβής γνώση για το ποιο είναι το καλύτερο μονοπάτι σε έναν μακρινό προορισμό αντισταθμίζεται από το γεγονός ότι η διαδρομή γίνεται σταδιακά ακριβέστερη όπως το πακέτο φτάνει πιο κοντά στον προορισμό.



Παράδειγμα μείωσης μεγέθους μηνύματος με την χρήση του Fisheye

Εν κατακλείδι, ο FSR ανταποκρίνεται καλά στα μεγάλα δίκτυα, χωρίς το συμβιβασμό της ακρίβειας υπολογισμού διαδρομών όταν ο προορισμός είναι κοντά. Με τη διατήρηση μιας εισόδου δρομολόγησης για κάθε προορισμό, FSR αποφεύγει την πρόσθετη εργασία να βρει τον προορισμό “όπως συμβαίνει στην δρομολόγηση on demand” και διατηρεί έτσι τη χαμηλή ενιαία μη εμφανή κατάσταση μεταφοράς πακέτων. Έτσι όσο η κινητικότητα αυξάνει, οι διαδρομές σε απομακρυσμένους προορισμούς γίνετε λιγότερο ακριβής. Εντούτοις, όταν ένα πακέτο πλησιάζει στον προορισμό του, αυτό βρίσκει όλο και περισσότερες ακριβέστερες οδηγίες δρομολόγησης καθώς εισάγει τους τομείς με υψηλότερο ποσοστό αναβάθμισης.



Εφαρμογή του Fisheye σε ένα δίκτυο

Οι διάφορες εφαρμογές πάνω στο πρωτόκολλο Fisheye έχουν δείξει ότι ο fisheye εργάζεται στη δρομολόγηση των πακέτων και τη μείωση της επιβάρυνσης (overhead) κυκλοφορίας σε περιβάλλον ασύρματων δικτύων. Με την αύξηση του χρόνου διαστήματος αναπροσαρμογών των link state πακέτων στα διαφορετικά πεδία, τεράστια ποσά επιβάρυνσης (overhead) κυκλοφορίας

μπορούν να περιοριστούν. Εντούτοις, υπάρχει μια ανταλλαγή. Δεδομένου ότι ο χρόνος διαστήματος αναπροσαρμογών αυξάνει, οι πίνακες δρομολόγησης σε κάθε κόμβο γίνονται λιγότερο ακριβείς, προκαλώντας μια μείωση του αριθμού επιτυχών παραδόσεων πακέτων. Κάποιος πρέπει να ισορροπήσει την κινητικότητα, την ακρίβεια δρομολόγησης, και την επιβάρυνση (overhead) της κυκλοφορίας για να επιτύχει μια βέλτιστη αξία για το διάστημα αναπροσαρμογών.

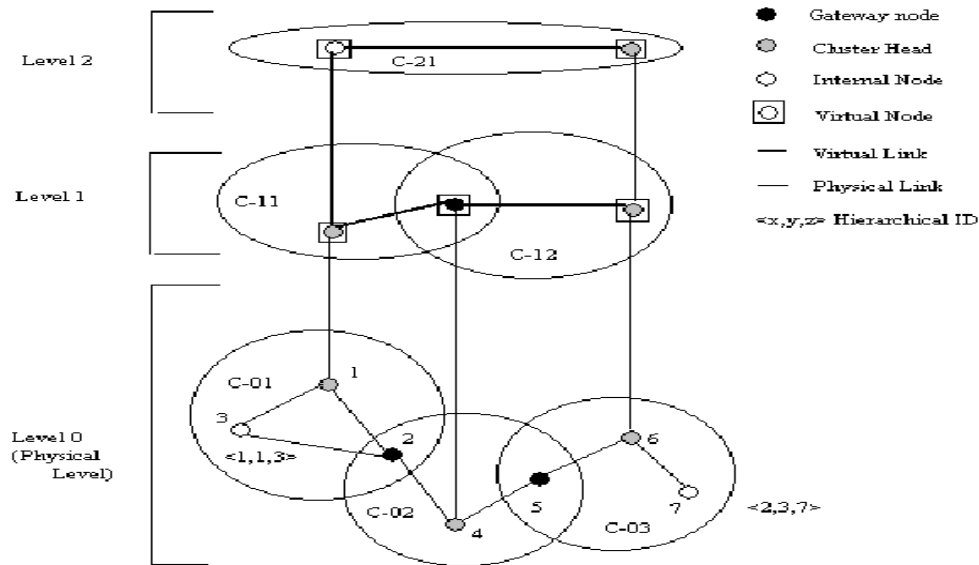
2.1.5 Hierarchical State Routing (HSR) scheme [4]

Ο χωρισμός (partitioning) και η συγκέντρωση σε τομείς (clustering) είναι κοινή πρακτική στα ασύρματα δίκτυα multihop τόσο στο MAC layer όσο και στο επίπεδο δικτύου. Η συγκέντρωση μπορεί να ενισχύσει την απόδοση δικτύων. Παραδείγματος χάριν, στο MAC layer, με τη χρησιμοποίηση των διαφορετικών κωδικών στους τομείς η παρέμβαση μειώνεται και η τοπική επαναχρησιμοποίηση ενισχύεται. Δεδομένου ότι ο αριθμός κόμβων αυξάνεται, υπάρχει περαιτέρω κίνητρο για εκμετάλλευση των χωρισμάτων (partitions) στο επίπεδο δικτύου προκειμένου να εφαρμοστεί η ιεραρχική δρομολόγηση και να μειωθεί έτσι η επιβάρυνση (overhead) της δρομολόγησης. Σε ένα ασύρματο δίκτυο, το βασικό μειονέκτημα της ιεραρχικής δρομολόγησης είναι η διαχείριση της κινητικότητας και της τοποθεσίας. Για να υπερνικήσουμε αυτό το πρόβλημα, αναλύεται σχέδιο HSR που συνδυάζει τη δυναμική, κατανεμημένη, πολλαπλών επιπέδων ιεραρχική συγκέντρωση σε τομείς και μια αποδοτική διαχείριση τοποθεσίας.

Ο HSR διατηρεί μια ιεραρχική τοπολογία, όπου οι επιλεγμένες κεφαλές τομέων στο χαμηλότερο επίπεδο, γίνονται μέλη του επόμενου υψηλότερου επιπέδου. Αυτά τα νέα μέλη με τη σειρά τους οργανώνονται στη συνέχεια σε τομείς, και κατά αυτόν τον τρόπο συνεχίζεται η διαδικασία. Οι στόχοι είναι η αποδοτική χρησιμοποίηση των πηγών των ραδιοκαναλιών και η μείωση της επιβάρυνσης (overhead) της δρομολόγησης στο επίπεδο δικτύου (δηλ. η αποθήκευση στον πίνακα δρομολόγησης, η επεξεργασία και η μεταφορά).

Εκτός από την πολλαπλών επιπέδων συγκέντρωση σε τομείς, ο HSR παρέχει επίσης τον λογικό χωρισμό (partitioning) πολλαπλών επιπέδων. Ενώ η συγκέντρωση σε τομείς είναι βασισμένη στη γεωγραφική (δηλ. φυσική) σχέση μεταξύ των κόμβων, (στο εξής θα αναφέρεται ως φυσική συγκέντρωση σε τομείς (physical clustering)) ο λογικός χωρισμός (logical partitioning) είναι βασισμένος στη λογική, λειτουργική συγγένεια μεταξύ των κόμβων (π.χ. υπάλληλοι της ίδιας επιχείρησης, τα μέλη της ίδιας οικογένειας κ.λ.π.). Τα λογικά χωρίσματα διαδραματίζουν έναν βασικό ρόλο στη διαχείριση της τοποθεσίας.

Το προτεινόμενο σχήμα διαχείρισης τοποθεσίας μεταχειρίζεται τους κινητούς κόμβους (mobile nodes), ενώ κρατάει τον έλεγχο την επιβάρυνση (overhead) του μηνύματος σε χαμηλό επίπεδο. Είναι βασισμένο σε μια κατανεμημένη προσέγγιση με κεντρικούς υπολογιστές που εκμεταλλεύεται τα λογικά χωρίσματα (partitions).



Παράδειγμα clustering στον HSR

2.1.5.1 Ποιότητα της υποστήριξης υπηρεσιών

Στις real time εφαρμογές (π.χ. IP τηλεφωνία) είναι ευεργετικό για την πηγή να γνωρίζει, πριν από την διαδικασία κλήσης, όχι μόνο το μονοπάτι προς τον προορισμό αλλά και το μέσο όρο των δεδομένων που θα είναι διαθέσιμα ή επιτεύξιμα σε ένα τέτοιο μονοπάτι. Αυτό είναι σημαντικό για πολλούς λόγους, παραδείγματος χάριν: α) εάν το εύρος ζώνης συχνοτήτων (bandwidth) δεν είναι διαθέσιμο, τότε η κλήση δεν είναι εφικτή χωρίς απαραίτητα να γίνει έλεγχος αποδοχής κλήσης, β) εάν άλλα μέσα (π.χ. κυψελοειδές ραδιόφωνο (cellular radio), δορυφόροι LEO, UAVs, κ.λπ.) είναι διαθέσιμα ως εναλλακτικές λύσεις στο ad hoc ασύρματο μονοπάτι, αυτές οι πληροφορίες επιτρέπουν στην πύλη να κάνει μια ευφυή επιλογή δρομολόγησης. γ) εάν η ποιότητα εύρους ζώνης συχνοτήτων ή / και καναλιών είναι ανεπαρκής για την πλήρη μεταφορά, η πηγή μπορεί ακόμα να εγκαταστήσει την κλήση μειώνοντας τον μέσο όρο δεδομένων ή χρησιμοποιώντας ένα πιο “δυνατό” σχέδιο κωδικοποίησης. δ) εάν το εύρος ζώνης συχνοτήτων ή ποιότητα μονοπατιών επιδεινωθεί κατά τη διάρκεια

της κλήσης, η πηγή εξετάζει τον περιοδικό πίνακα δρομολόγησης και έπειτα μπορεί να τροποποιήσει ή να ρίξει την κλήση.

Σε ένα ad hoc ασύρματο δίκτυο, το MAC layer είναι γενικώς υπεύθυνο για τον έλεγχο της ποιότητας καναλιών και του διαθέσιμου εύρους ζώνης συχνοτήτων. Για παράδειγμα εξετάζοντας ένα δίκτυο με συγκέντρωση τομέων στο MAC layer και με πρωτόκολλο πρόσβασης token. Η κεφαλή του τομέα μπορεί να ελέγξει όλη την κυκλοφορία στον τομέα αυτόν. Μπορεί επίσης να ελέγξει την ποιότητα καναλιών (ποσοστό σφάλματος, κ.λπ.) Μπορεί να κάνει διάκριση μεταξύ του πραγματικού χρόνου και της κυκλοφορίας των δεδομένων και μπορεί να καθορίσει το ποσό του εύρους ζώνης συχνοτήτων που θα είναι ακόμα διαθέσιμο για φωνή (voice) (υψηλή

προτεραιότητας κυκλοφορία) Στα ad hoc δίκτυα που δεν χρησιμοποιούν συγκέντρωση τομέων (clustering), ο έλεγχος των διαθέσιμων στοιχείων συμπεριφοράς είναι πιο σύνθετος, αλλά μπορεί να ολοκληρωθεί.

Προκειμένου να περιληφθεί ο έλεγχος για ποιότητα υπηρεσιών (QoS) στη διαδικασία δρομολόγησης, αρκεί να επεκταθεί ο καθορισμός των συνδέσεων με το να προστεθούν σε αυτές τις συνδέσεις τόσο πληροφορίες για το εύρος ζώνης συχνοτήτων όσο και για την ποιότητα των καναλιών. Βασιζόμενοι πάνω σε αυτή την πρακτική, τόσο ο FSR όσο και ο HSR είναι έτοιμοι σχετικά με την ποιότητα υπηρεσιών που παρέχουν από το γεγονός ότι και οι δύο είναι βασισμένοι στο μοντέλο (link state) δρομολόγησης. Η υποστήριξη QoS μπορεί να είναι επίσης να πραγματοποιηθεί και στα σχέδια της κατά ζήτηση (on-demand) δρομολόγησης. Εντούτοις, με τη δρομολόγηση κατά ζήτηση (on-demand), η ποιότητα του μονοπατιού δεν είναι γνωστή εκ των προτέρων. Μπορεί να ανακαλυφθεί μόνο αν εγκαταστήσουμε το σχετικό μονοπάτι, και θα πρέπει να ελεγχθεί από όλους τους ενδιαμέσους κόμβους κατά τη διάρκεια της επικοινωνίας, πληρώνοντας κατά συνέπεια τη σχετική καθυστέρηση. Στον αλγόριθμο AODV για παράδειγμα, οι ενδιαμέσοι κόμβοι κατά μήκος μιας διαδρομής QoS καταχωρούν κάποιες πληροφορίες (π.χ. ελάχιστο ποσοστό) για την επικοινωνία και, αφού ανακαλύψουν ότι οι παράμετροι QoS δεν μπορούν πλέον να διατηρηθούν, επιστρέφουν ένα ICMP (Internet Control Message Protocol) XAMENO QoS μήνυμα πίσω στην πηγή.

2.1.6 Zone-based Hierarchical Link State Routing Protocol [5]

Στο πρωτόκολλο ZHLS, το δίκτυο χωρίζεται σε μη επικαλυπτόμενες ζώνες. Αντίθετα από άλλα ιεραρχικά πρωτόκολλα, δεν υπάρχει καμία κεφαλή ζώνης. Ο ZHLS καθορίζει δύο επίπεδα τοπολογιών : α) του επιπέδου κόμβων και β) του επιπέδου ζώνης. Μια τοπολογία επιπέδου κόμβων παρουσιάζει πώς οι κόμβοι μιας ζώνης συνδέονται ο ένας με τον άλλον φυσικά. Μια εικονική σύνδεση μεταξύ δύο ζωνών υπάρχει εφόσον τουλάχιστον ένας κόμβος μιας ζώνης συνδέεται φυσικά με κάποιους κόμβους άλλης ζώνης. Η τοπολογία του επιπέδου ζώνης λείει πώς οι ζώνες συνδέονται μεταξύ τους. Υπάρχουν δύο τύποι link state πακέτων (LSP) : α) LSP κόμβων και β) LSP ζωνών. Ένας LSP κόμβος περιέχει τις πληροφορίες του γειτονικού του κόμβου και διαδίδεται μαζί με την ζώνη, ενώ μια LSP ζώνη περιέχει τις πληροφορίες ζωνών και διαδίδεται συνολικά. Έτσι κάθε κόμβος έχει την πλήρη γνώση συνδεσιμότητας κόμβων για τους κόμβους στην δική του ζώνη και μόνο τις πληροφορίες για την συνδεσιμότητα ζωνών για άλλες ζώνες στο δίκτυο. Έτσι δίνοντας το zone id και το node id ενός προορισμού, το πακέτο δρομολογείται βασισμένο στο zone id μέχρις ότου αυτό φθάσει στη σωστή ζώνη. Κατόπιν σε εκείνη την ζώνη, δρομολογείται βασισμένο στο node id. Ένας συνδυασμός (zone id, node id) του προορισμού είναι αρκετός για την δρομολόγηση γιατί μπορεί να προσαρμοστεί ευκολότερα στις μεταβαλλόμενες τοπολογίες.

Επίσης στον ZHLS μπορεί να ρυθμιστεί η λειτουργία του σχετικά με τις πρόσφατες λειτουργικές συνθήκες δικτύου (δηλ. αλλαγή της ακτίνας της ζώνης δρομολόγησης). Εντούτοις αυτό δεν γίνεται δυναμικά, αλλά άντ' αυτού η ακτίνα ζώνης καθορίζεται από τον διαχειριστή του δικτύου. Η απόδοση αυτού του πρωτοκόλλου εξαρτάται πολύ από αυτήν την παράμετρο. Ο ZHLS επίσης περιορίζει τη διάδοση των πληροφοριών σχετικά με τις τοπολογικές αλλαγές στην ζώνη όπου συντελέστηκε η αλλαγή. Αυτό προκαλεί μια μείωση στην επιβάρυνση (overhead) της κυκλοφορίας, όμως όχι ανέξοδα, καθώς δημιουργούνται κάποιες διαδρομές όχι απαραίτητα βέλτιστες και όχι απαραίτητα μικρές σε κόστος. Στην ιεραρχική προσέγγιση, ο ZHLS μετριάζει τη δυσχέρεια κυκλοφορίας (bottleneck) και αποφεύγει κάποιες αποτυχίες με την αποφυγή των κεφαλών των τομέων. Εντούτοις, λόγω αυτού του γεγονότος, ένας κόμβος θα πρέπει διαρκώς να

κρατά αντίγραφο της φυσικής θέσης του προκειμένου να καθορίζεται η θυγατρική του ζώνη. Αυτό απαιτεί έναν πολύπλοκο αλγόριθμο και μια συσκευή για κάθε κόμβο.

2.1.7 Σύγκριση πρωτοκόλλων για ad hoc wireless δίκτυα

Παρακάτω παρουσιάζεται ένας πίνακας όπου επιχειρείται μια σύγκριση ανάμεσα στα διάφορα πρωτόκολλα δρομολόγησης table-driven για ad hoc δίκτυα.

	Fisheye	DSDV	WRP	CGSR	ZHLS
Loop-free	Yes	Yes	Yes, but not instantaneous	Yes	Yes
Distributed	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Routing Philosophy	Table-Driven	Table-Driven	Table-Driven	Table-Driven	Table-Driven
Periodic Broadcasts	Varying over scopes	Periodic	Periodic and triggered	Periodic	Different by zone level
Topology Philosophy	Flat	Flat	Flat	Hierarchical	Hierarchical
Critical Nodes	No	No	No	Yes	Yes
Routing Metric	Shortest path	Shortest path	Shortest path	Shortest path	Shortest path

Τα πρωτόκολλα Fisheye, DSDV, και WRP χρησιμοποιούν επίπεδη διευθυνσιοδότηση δικτύου. Επειδή ο Fisheye χρησιμοποιεί link-state, έχει το πλεονέκτημα έναντι του DSDV από την άποψη της γρηγορότερης σύγκλισης διαδρομών. Εντούτοις, το link-state απαιτεί περισσότερη πολυπλοκότητα υπολογισμού από ότι το Distance-Vector, γιατί το link-state απαιτεί περισσότερα βήματα υπολογισμού για έναν κόμβο έτσι ώστε να εκτελέσει τους υπολογισμούς δρομολόγησης από τα αναπροσαρμοσμένα μηνύματα. Ο WRP χρησιμοποιεί ελέγχους συνέπειας των πληροφοριών των προκατόχων κόμβων για να αποφύγει τους βρόχους. Αυτό απαιτεί να διατηρεί διάφορους πίνακες δρομολόγησης που οδηγούν σε πολύ υψηλότερες απαιτήσεις σε μνήμη από ότι στον Fisheye. Ο Fisheye έχει επίσης το πλεονέκτημα έναντι του DSDV και του WRP, στη χαμηλότερη επιβάρυνση (overhead) κυκλοφορίας ως αποτέλεσμα της περιοδικής μετάδοσης μηνυμάτων. Εντούτοις, ο περιορισμός της δρομολόγησης των μηνυμάτων στα διαδοχικά πεδία που χρησιμοποιούνται από τον Fisheye μπορεί να μειώσει την ακρίβεια δρομολόγησης.

2.2 ON-Demand πρωτόκολλα δρομολόγησης

Σε αντίθεση με τα table driven πρωτόκολλα δρομολόγησης όλες οι ενημερωμένες διαδρομές δεν διατηρούνται σε κάθε κόμβο, άντ' αυτού οι διαδρομές δημιουργούνται όταν και όπως απαιτείται. Όταν μια πηγή θέλει να στείλει σε έναν προορισμό, καλεί τους μηχανισμούς εύρεσης διαδρομών για να βρει το μονοπάτι προς τον προορισμό. Η διαδρομή παραμένει έγκυρη μέχρις ότου ο προορισμός είναι εφικτός ή μέχρι η διαδρομή δεν είναι πλέον απαραίτητη.

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά αυτής της κατηγορίας δρομολόγησης είναι :

- Η πληροφορία για τη δρομολόγηση μεταδίδεται μόνο όταν χρειάζεται
- Κατανάλωση μικρότερου εύρους ζώνης
- Δραματική αύξηση καθυστέρησης για κάποιες εφαρμογές

Κάποια από τα πρωτόκολλα δρομολόγησης αυτής της κατηγορίας είναι :

2.2.1 Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing [6]

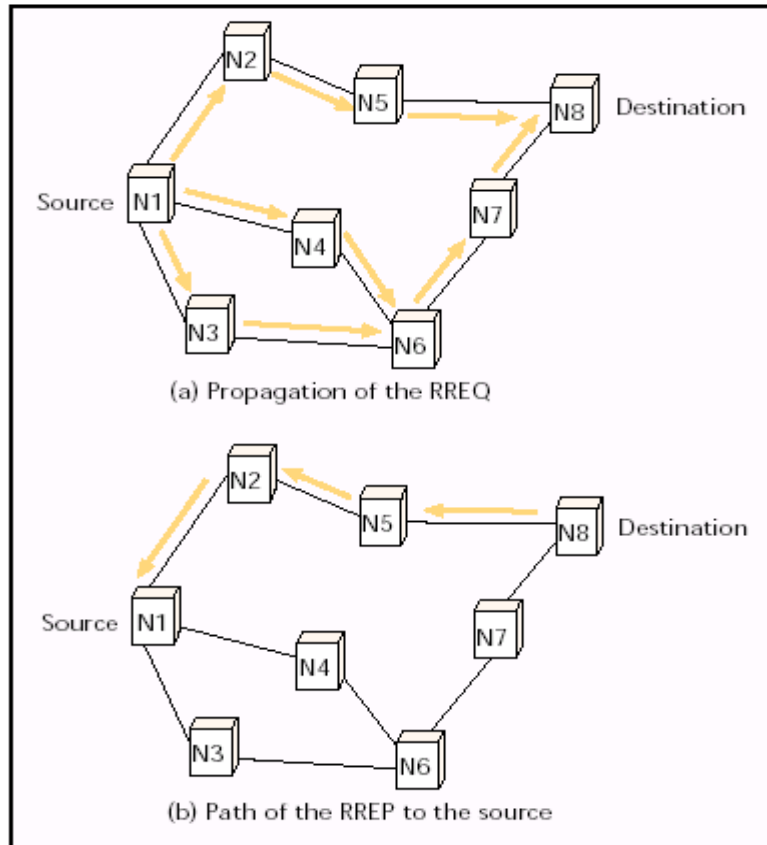
Το πρωτόκολλο δρομολόγησης AODV έχει τις ρίζες του στο πρωτόκολλο δρομολόγησης DSDV. Εντούτοις, το AODV έχει σχεδιαστεί συγκεκριμένα για τα ειδικά ασύρματα δίκτυα. Το AODV παρέχει γρήγορη εγκατάσταση διαδρομών και ελάχιστη επιβάρυνση ελέγχου.

➤ Η λειτουργία του AODV

Το AODV είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης που σχεδιάστηκε ειδικά για τα ειδικά κινητά δίκτυα. Εκτός από τη δρομολόγηση unicast υποστηρίζει και multicasting. Ο AODV είναι ένας αλγόριθμος-ζήτησης, το οποίο σημαίνει ότι οι διαδρομές μεταξύ των κόμβων δημιουργούνται μόνο όταν αυτό ζητείται από έναν κόμβο που θέλει να αποστείλει ένα μήνυμα. Οι διαδρομές διατηρούνται μόνο εφ' όσον τις χρειάζονται οι δημιουργοί. Το multicasting υποστηρίζεται με τη διαμόρφωση δέντρων που συντίθενται από ομάδες multicast κόμβων και των ενδιάμεσων κόμβων που απαιτούνται για να συνδέσουν τα μέλη ομάδας. Προκειμένου να εξασφαλιστεί ισχύς των διαδρομών ο AODV χρησιμοποιεί αριθμούς ακολουθίας.

Η εύρεση των διαδρομών στον AODV γίνεται μετά από ζήτηση και ακολουθεί ένας κύκλος εύρεσης διαδρομής μέσω μιας αίτησης / απάντησης. Όποτε απαιτείται μια διαδρομή μεταξύ δύο κόμβων, ο κόμβος πηγή μεταδίδει ραδιοφωνικά ένα αίτημα διαδρομών (RREQ) προς το δίκτυο. Οι κόμβοι που λαμβάνουν αυτό το RREQ θα ενημερώσουν τα στοιχεία τους για τον κόμβο πηγή και θα δημιουργήσουν δείκτες προς τον κόμβο πηγή στους πίνακες δρομολόγησης τους (η αντίστροφη διαδρομή ιδρύεται προκειμένου να διαβιβαστεί ένα πακέτο RREP πίσω στο δημιουργό από τον προορισμό ή από έναν ενδιάμεσο κόμβο που συνδέεται με τον προορισμό).

Το RREQ περιέχει τον πιο πρόσφατο αριθμό ακολουθίας προορισμού για τον οποίο ο κόμβος πηγή είναι ενήμερος. Ένας κόμβος που λαμβάνει το μήνυμα RREQ μπορεί εκπέμψει μια απάντηση (RREP) πίσω στον κόμβο πηγή εάν: (1) είναι ο προορισμός ή (2) εάν έχει μια πιο νέα διαδρομή στον προορισμό (ο αριθμός ακολουθίας μεγαλύτερος ή ίσος με αυτόν που περιείχε στο RREQ). Διαφορετικά, ο κόμβος κάνει μια αναμετάδοση το RREQ. Όλοι οι κόμβοι κρατούν τη διαδρομή εκείνων των RREQs που έχουν ήδη δει (διεύθυνση πηγής IP - Ζευγάρι ταυτότητας RREQ). Εάν το ίδιο RREQ παραλαμβάνεται πάλι, απορρίπτεται.



Δεδομένου ότι το RREP μεταδίδεται πίσω στον κόμβο πηγή, όλοι οι κόμβοι κατά μήκος του μονοπατιού ιδρύουν τους μπροστινούς δείκτες στον κόμβο προορισμού (μια μπροστινή διαδρομή ιδρύεται για να στείλει τα πακέτα δεδομένων από έναν κόμβο πηγή προς τον επιθυμητό προορισμό της. Μόλις λάβει ο κόμβος πηγή το RREP, θα είναι σε θέση να στείλει τα πακέτα δεδομένων στον κόμβο προορισμού. Εάν ο κόμβος πηγή λάβει αργότερα ένα RREP περιέχοντας έναν μεγαλύτερο αριθμό ακολουθίας ή ένα RREP με τον ίδιο αριθμό ακολουθίας αλλά μια μικρότερη αρίθμηση τμημάτων(hop), μπορεί να ενημερώσει τον πίνακα δρομολόγησής του για εκείνο τον προορισμό και να επιλέξει τη "καλύτερη" διαδρομή.

Κάθε πίνακας δρομολόγησης περιλαμβάνει τα ακόλουθα πεδία:

- Διεύθυνση προορισμού IP
- Αριθμός ακολουθίας προορισμού
- Interface
- Αρίθμηση τμημάτων (αριθμός τμημάτων μέχρι τον προορισμό)
- Τελευταία αρίθμηση hop(η αρίθμηση hop που υποδεικνύεται στο πακέτο RREP καταχωρείται ως η τελευταία αρίθμηση hop στον πίνακα δρομολόγησης).
- Επόμενο hop

- Κατάλογος προδρόμων (περιέχει τις διευθύνσεις IP για τους γείτονες που είναι πιθανό να χρησιμοποιήσουν αυτόν τον κόμβο ως επόμενο hop προς τον προορισμό που είναι τώρα απρόσιτος)

- Διάρκεια ζωής (χρόνος λήξης ή διαγραφής των πληροφοριών για τους μέχρι τώρα απρόσιτους προορισμούς. Εάν ο κόμβος πηγή χρειάζεται ακόμα τις διαδρομές σε αυτούς τους προορισμούς, μπορεί να επανακινήσει τη διαδικασία εύρεσης διαδρομής).

- Σημαίες δρομολόγησης

Οι διαδρομές διατηρούνται εφ' όσον παραμένουν ενεργές (εφ' όσον υπάρχει αρκετά συχνή κυκλοφορία δεδομένων προς τον προορισμό). Όταν η κυκλοφορία σε έναν προορισμό σταματά, η διαδρομή αδρανοποιείται και τελικά θα διαγραφεί από τον πίνακα δρομολόγησης. Εάν παρουσιαστεί ένα σπάσιμο στη σύνδεση ενώ η διαδρομή είναι ακόμα ενεργή, τότε δημιουργείται ένα σφάλμα διαδρομής RERR και στέλνεται από τον κόμβο που είναι πιο στενός στον κόμβο πηγή. Το μήνυμα RERR περιλαμβάνει τις πληροφορίες για τους μέχρι τώρα απρόσιτους προορισμούς. Εάν ο κόμβος πηγή χρειάζεται ακόμα τις διαδρομές σε αυτούς τους προορισμούς, μπορεί να επανακινήσει τη διαδικασία εύρεσης διαδρομής.

➤ Οι επεκτάσεις QoS στον AODV

Το AODV είναι ένα από τα λίγα ειδικά πρωτόκολλα δρομολόγησης που είναι σε θέση να παρέχουν εγγύηση της ποιότητας υπηρεσίας (QoS). Υπάρχουν όλο και περισσότερες νέες εφαρμογές που να ωφεληθούν από αυτές τις εγγυήσεις QoS. Παραδείγματος χάριν, η εγγύηση της μέγιστης καθυστέρησης και jitter είναι πολύ χρήσιμη για τη φωνή πάνω από IP (VoIP) όπως επίσης στα κινητά ειδικά δίκτυα. Προκειμένου να παρασχεθεί QoS, ορισμένες επεκτάσεις μπορούν να προστεθούν στα μηνύματα που χρησιμοποιούνται για την εύρεση διαδρομών. Ένας κόμβος που λαμβάνει ένα μήνυμα RREQ με μια επέκταση QoS πρέπει να είναι σε θέση να ικανοποιήσει τη δεδομένη απαίτηση υπηρεσίας. Εάν, μετά από την εγκατάσταση μιας διαδρομής, οποιοσδήποτε κόμβος κατά μήκος του μονοπατιού ανιχνεύσει ότι οι ζητούμενες παράμετροι QoS δεν μπορούν να διατηρηθούν άλλο, εκείνος ο κόμβος πρέπει να στείλει ένα "ICMP QOS_LOST" πίσω στον κόμβο, ο οποίος αρχικά ζήτησε την ικανοποίηση αυτών των παραμέτρων.

Τα ακόλουθα πεδία προστίθενται σε κάθε πίνακα δρομολόγησης που αντιστοιχεί σε κάθε προορισμό:

- Μέγιστη καθυστέρηση
- Ελάχιστο διαθέσιμο εύρος ζώνης συχνοτήτων
- Κατάλογος με τους κόμβους που ζητούν εγγυήσεις μέγιστης καθυστέρησης
- Κατάλογος με τους κόμβους που ζητούν εγγυήσεις εύρους ζώνης

2.2.2 Dynamic Source Routing (DSR) [7]

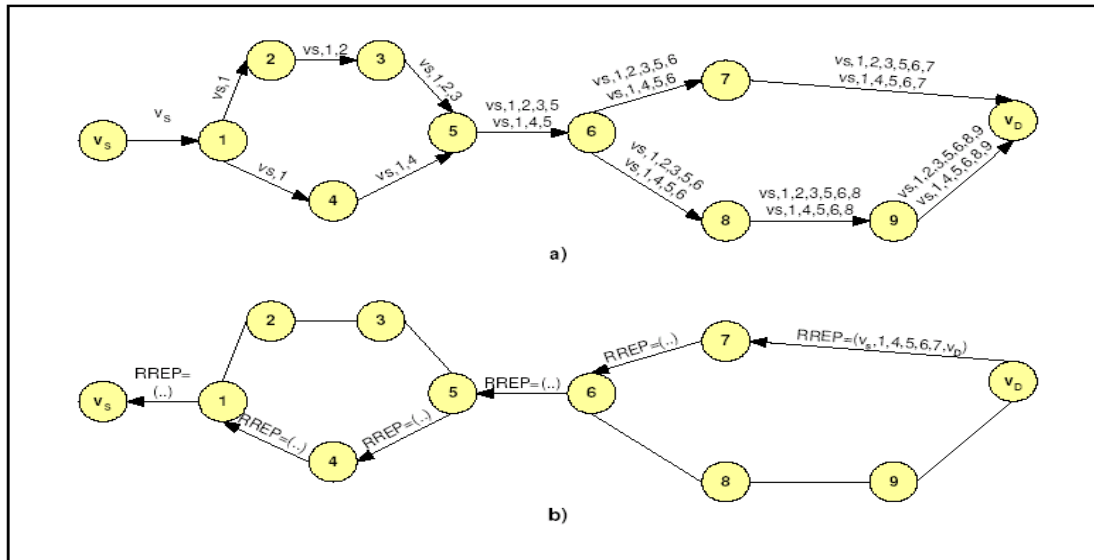
Η βασική ιδέα δρομολόγησης του αλγόριθμου DSR είναι ότι ο κόμβος πηγή περιλαμβάνει τις πλήρεις πληροφορίες δρομολόγησης σε κάθε πακέτο δεδομένων, π.χ. (vS, v1, v2, .. vD), για ένα πακέτο vD που δρομολογείται μέσω v1, v2, κ.λ.π. Ο DSR εφαρμόζει τη μέθοδο Source Routing στα κινητά ειδικά δίκτυα. Ο DSR χρησιμοποιεί δύο φάσεις:

- ανακάλυψη διαδρομών
- συντήρηση διαδρομών

Εάν ένας κόμβος πηγή vS δεν έχει μια διαδρομή για έναν ορισμένο προορισμό vD αρχίζει μια διαδικασία εύρεσης διαδρομών μεταδίδοντας ένα αίτημα RREQ στους γείτονές του (σχήμα α). Το RREQ είναι ένα μικρό πακέτο που περιέχει vS, vD, μια μοναδική ταυτότητα RREQ_ID, και Lsd που είναι ο κατάλογος κόμβων που διαβίβασε το RREQ. Ένας ενδιάμεσος κόμβος που λαμβάνει ένα RREQ για πρώτη φορά επισυνάπτει τη διεύθυνσή του στο Lsd και την μεταδίδει ραδιοφωνικά στους γείτονές του, αλλά όχι πίσω στον κόμβο από όπου το αίτημα προήλθε.

Εάν ο κόμβος προορισμού vD λάβει το αίτημα διαδρομών εξάγει ένα Lsd, δημιουργεί ένα μήνυμα RREP απάντησης που περιέχει το Lsd και το επιστρέφει στον κόμβο πηγή (σχήμα β).

Η δεύτερη φάση της προσπέλασης είναι η συντήρηση διαδρομών. Όταν ένας κόμβος v1 μεταδίδει προς τα εμπρός ένα πακέτο στοιχείων στον κόμβο vj αυτός αναμένει μια επιβεβαίωση από το vj. Εάν ο v1 δεν λάβει οποιοδήποτε επιβεβαίωση σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, θα στείλει ένα μήνυμα RERR σφάλματος στον κόμβο πηγή το οποίο περιέχει τη σύνδεση πέρα από την οποία η διαβίβαση έχει αποτύχει. Στη συνέχεια, ο κόμβος πηγή θα αναζητήσει μιας εναλλακτική λύση στον πίνακα δρομολόγησης της ή θα αρχίσει μια νέα διαδικασία εύρεσης διαδρομών.



2.2.3 Temporally Ordered Routing Algorithm (TORA) [8]

Ο χρονικά διαταγμένος αλγόριθμος δρομολόγησης (TORA) είναι ένας ιδιαίτερα προσαρμοστικός, αποδοτικός εξελικτικός και διανεμημένος αλγόριθμος δρομολόγησης που

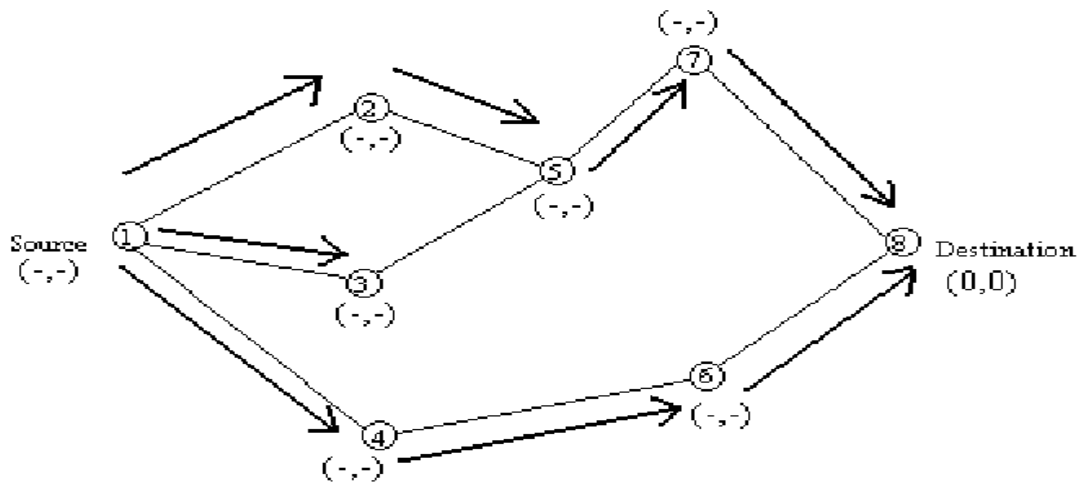
βασίζεται στην έννοια της αντιστροφής συνδέσεων [Park97]. Ο TORA προτείνεται για ιδιαίτερα δυναμικά κινητά, multihop ασύρματα δίκτυα. Βρίσκει πολλαπλές διαδρομές από έναν κόμβο πηγή σε έναν κόμβο προορισμού. Το βασικό χαρακτηριστικό γνώρισμα του TORA είναι ότι τα μηνύματα ελέγχου εντοπίζονται σε ένα πολύ μικρό σύνολο κόμβων κοντά στο σημείο μιας τοπολογικής αλλαγής. Για να το επιτύχουν αυτό, οι κόμβοι διατηρούν τις πληροφορίες δρομολόγησης για τους παρακείμενους κόμβους. Το πρωτόκολλο έχει τρεις βασικές λειτουργίες:

- Δημιουργία διαδρομών
- Συντήρηση διαδρομών
- Εξάλειψη διαδρομών

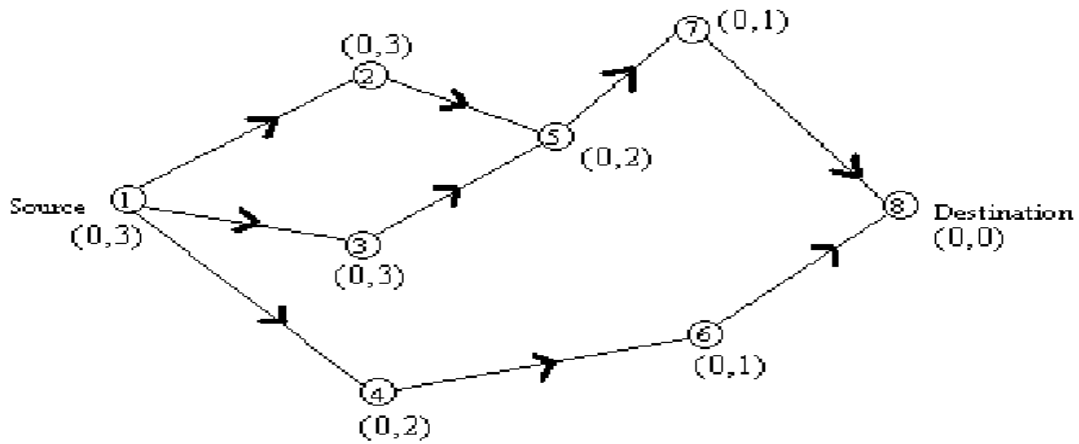
Κάθε κόμβος περιέχει μια μονάδα μέτρησης height η οποία αποτελείται από τις παρακάτω τιμές :

- λογικός χρόνος μιας αποτυχίας σύνδεσης
- η μοναδική ταυτότητα του κόμβου που καθόρισε τη νέα διάδοση
- δυαδικό ψηφίο δεικτών αντανάκλασης
- παράμετρος διάδοσης
- μοναδική ταυτότητα του κόμβου

Η δημιουργία διαδρομών γίνεται χρησιμοποιώντας τα πακέτα QRY και UPD. Ο αλγόριθμος αρχίζει θέτοντας στο height (παράμετρο διάδοσης) του κόμβου προορισμού την τιμή 0 και τις υπόλοιπες τιμές σε NULL (δηλ. απροσδιόριστο). Η πηγή μεταδίδει ραδιοφωνικά ένα πακέτο QRY με την ταυτότητα του κόμβου προορισμού σε αυτό. Ένας κόμβος με ένα non-NULL ύψος αποκρίνεται με ένα πακέτο UPD που έχει το ύψος του σε αυτό. Ένας κόμβος που λαμβάνει ένα πακέτο UPD αυξάνει το height του κατά ένα περισσότερο από αυτό του κόμβου που παρήγαγε το UPD. Ένας κόμβος με το υψηλότερο ύψος θεωρείται προς τα πάνω και ένας κόμβος με το χαμηλότερο ύψος προς τα κάτω. Κατ' αυτό τον τρόπο μια κατευθυνόμενη ακυκλική γραφική παράσταση κατασκευάζεται από την πηγή στον προορισμό. Το σχήμα α επεξηγεί μια διαδικασία δημιουργίας διαδρομών του TORA. Όπως φαίνεται στο σχήμα α, ο κόμβος 5 δεν διαδίδει QRY από τον κόμβο 3 δεδομένου ότι έχει δει ήδη και έχει διαδώσει το μήνυμα QRY από τον κόμβο 2. Στο σχήμα b, η πηγή (δηλ. ο κόμβος 1) μπορεί να έχει λάβει ένα UPD κάθε ένας από τον κόμβο 2 ή τον κόμβο 3 αλλά δεδομένου ότι ο κόμβος 4 του δίνει το μικρότερο ύψος, διατηρεί εκείνο το ύψος.

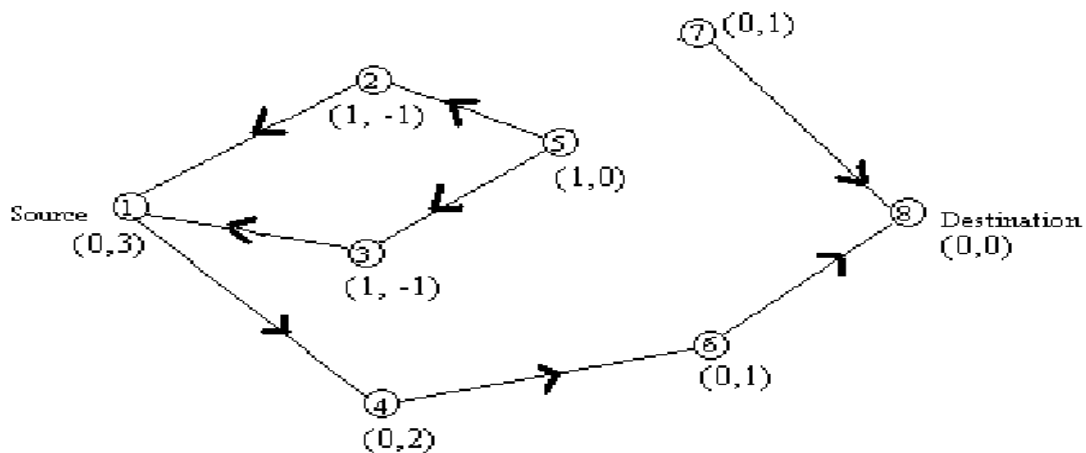


Σχήμα α



Σχήμα β

Όταν ένας κόμβος μετακινηθεί η διαδρομή DAG σπάει, και η διαδικασία συντήρησης της διαδρομής είναι απαραίτητη για να επανεγκαθιδρύσει ένα DAG για τον ίδιο προορισμό.



Στην φάση εξάλειψης διαδρομών, πλημμύρες TORA ένα σαφές πακέτο ραδιοφωνικής μετάδοσης (CLR) σε όλο το δίκτυο για να σβήσει τις άκρες διαδρομές.

2.2.4 Cluster based Routing Protocol [9]

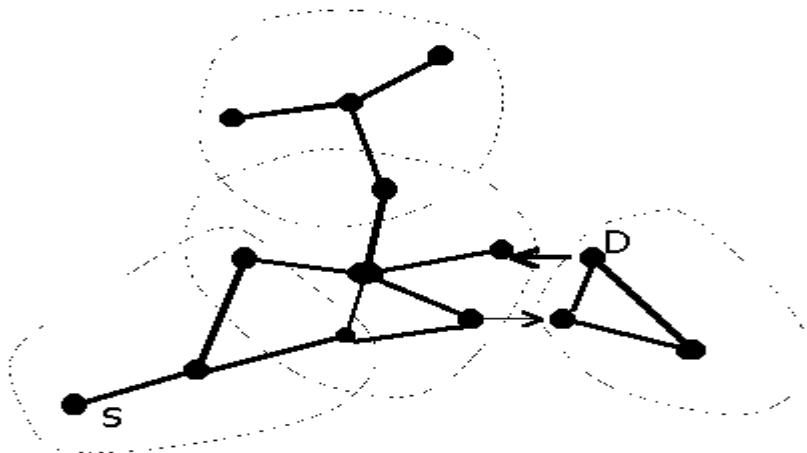
Στο πρωτόκολλο δρομολόγησης CBRP, οι κόμβοι είναι διαιρεμένοι σε τομείς (clusters). Για να διαμορφωθεί ο τομέας χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος CBRP. Όταν ένας κόμβος μπαίνει στην "αναποφάσιστη" κατάσταση (state), ξεκινάει ένας χρονοδιακόπτης και μεταδίδεται ένα απλό μήνυμα. Όταν μια κεφαλή τομέα (cluster head) παίρνει αυτό το μήνυμα αποκρίνεται με ένα άλλο μήνυμα αμέσως. Όταν ο "αναποφάσιστος" κόμβος παίρνει αυτό το μήνυμα θέτει την κατάσταση (state) του σε "μέλος". Εάν ο "αναποφάσιστος" κόμβος ολοκληρώσει την διαδικασία γίνεται ο ίδιος κεφαλή τομέα (cluster head) στην περίπτωση όμως που έχει αμφίδρομη σύνδεση με κάποιο γειτονικό κόμβο ειδικά παραμένει στην "αναποφάσιστη" κατάσταση (state) και επαναλαμβάνει και πάλι τη διαδικασία. Οι κεφαλές των τομέων αλλάζουν πολύ σπάνια. Κάθε κόμβος διατηρεί έναν πίνακα γειτονικών κόμβων. Για κάθε γειτονικό κόμβο, ο πίνακας "γειτόνων" ενός κόμβου περιέχει το είδος της σύνδεσης (μονόδρομη ή αμφίδρομη) και την κατάσταση (state) του γειτονικού κόμβου (κεφαλή τομέα (cluster head) ή μέλος). Μια κεφαλή τομέα κρατά τις πληροφορίες για τα μέλη του τομέα της και διατηρεί επίσης έναν πίνακα γειτνίασης τομέων που περιέχει τις πληροφορίες για τους γειτονικούς τομείς. Για κάθε τομέα γειτονικών κόμβων, ο πίνακας έχει μια είσοδο που περιλαμβάνει την πύλη μέσω της οποίας μπορούν να προσεγγιστούν τόσο ο τομέας όσο και η κεφαλή του τομέα.

Όταν μια πηγή πρέπει να στείλει δεδομένα στον προορισμό, δρομολογεί κάποια πακέτα κατόπιν αιτήσεως για εξεύρεση διαδρομών (αλλά μόνο σε γειτονική κεφαλή τομέα). Λαμβάνοντας την αίτηση από μια κεφαλή τομέα ελέγχει για να δει εάν ο προορισμός βρίσκεται στον τομέα της. Εάν ναι, στέλνει την αίτηση απευθείας στον προορισμό αλλιώς στέλνει την αίτηση σε όλες τις παρακείμενες σε αυτήν κεφαλές τομέων. Η διεύθυνση της κεφαλής του τομέα εγγράφεται στο πακέτο και έτσι μια κεφαλή τομέα απορρίπτει ένα τέτοιο πακέτο που έχει ήδη δει. Όταν ο προορισμός λαμβάνει το πακέτο, απαντά με τη διαδρομή που είχε καταγραφεί στο πακέτο. Εάν η πηγή δεν λάβει μια απάντηση μέσα σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, υπαναχωρεί πριν προσπαθήσει να ξαναστείλει το αίτημα.

Στον CBRP, η δρομολόγηση γίνεται χρησιμοποιώντας τη δρομολόγηση πηγής (source routing). Χρησιμοποιεί επίσης τη ελάχιστη διαδρομή που απαιτείται για την λήψη ενός πακέτου

από την πηγή και ο κόμβος προσπαθεί να βρει τον μακρινότερο κόμβο στη διαδρομή που είναι ο γειτονικός του κόμβος (αυτό μπορεί να συμβεί και κατά την αλλαγή τοπολογίας) και στέλνει το πακέτο σε εκείνο τον κόμβο και έτσι μειώνεται η διαδρομή. Καθόσον γίνεται η μετάδοση του πακέτου εάν ένας κόμβος ανιχνεύσει μια “χαλασμένη” σύνδεση τότε στέλνει πίσω στον αποστολέα ένα μήνυμα σφάλματος και χρησιμοποιεί έπειτα τον τοπικό μηχανισμό επισκευής. Στον τοπικό μηχανισμό επισκευής, όταν ένας κόμβος βρίσκει ότι το επόμενο hop είναι απρόσιτο, τότε ελέγχει να δει εάν το επόμενο hop μπορεί να προσπελασθεί μέσω οποιουδήποτε γειτονικού του κόμβου ή εάν το μεθεπόμενο hop μπορεί να προσπελασθεί μέσω οποιουδήποτε άλλου γειτονικού κόμβου. Όποια και από τις δύο εργασίες και αν γίνει, το πακέτο πλέον μπορεί να σταλεί πάνω από το “επισκευασμένο” μονοπάτι.

Το πρωτόκολλο δρομολόγησης CBRP είναι μια παραλλαγή του πρωτοκόλλου DSR. Η βασική διαφορά μεταξύ του DSR και του CBRP είναι κατά τη διάρκεια της λειτουργίας για ανακάλυψη διαδρομών. Ο DSR πλημμυρίζει την διαδρομή με query πακέτα σε όλο το δίκτυο. Ο CBRP εκμεταλλεύεται τη δομή των τομέων του για να περιορίσει την πλημμύρας των διαδρομών από query πακέτα. Στον CBRP, μόνο οι κεφαλές τομέων (cluster heads) και οι αντίστοιχες πύλες είναι πλημμυρισμένες με τα query πακέτα μειώνοντας έτσι το εύρος ζώνης συχνοτήτων που απαιτείται από το μηχανισμό ανακάλυψης διαδρομών.



Μεταφορά μηνύματος αίτησης για εξεύρεση διαδρομής από πηγή S στον προορισμό D

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια αποτελέσματα προσομοίωσης του αλγορίθμου CBRP :

Παράμετροι προσομοίωσης

Channel bandwidth	2mbps	Transmission range	250m
-------------------	-------	--------------------	------

Max_speed	20m/sec	Simulated time	600 sec
-----------	---------	----------------	---------

Αποτελέσματα προσομοίωσης μέσω του CBRP

Route request retransmit interval (exponential backoff)	500ms
Time out for packets without a route	30 sec
Network interface buffer size	50
Send buffer size at buffer originator	50

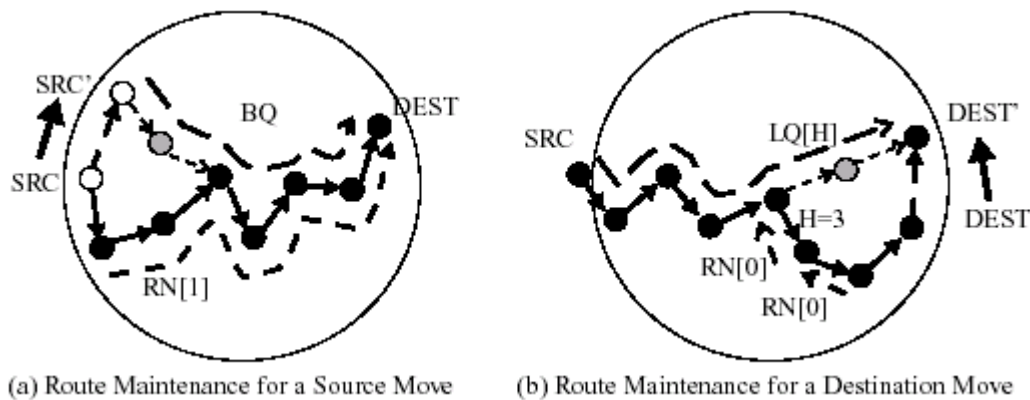
2.2.5 Associativity Based Routing (ABR) [10]

Το πρωτόκολλο δρομολόγησης ABR καθορίζει ένα νέο metric (μονάδα μέτρησης) για τη δρομολόγηση που είναι γνωστή ως βαθμός σταθερότητας ένωσης. Είναι ελεύθερο από βρόχους (loop-free), το αδιέξοδο (deadlock), και τα αντίγραφα πακέτων. Στον ABR, μια διαδρομή επιλέγεται βάση της κατάστασης της ένωσης (associativity) των κόμβων. Οι διαδρομές που επιλέγονται με αυτό τον τρόπο είναι πιθανό να είναι μακρόβιες. Όλοι οι κόμβοι παράγουν περιοδικά αναγνωριστικά σήματα για να δηλώσουν την ύπαρξή τους. Όταν ένας γειτονικός κόμβος λάβει ένα αναγνωριστικό σήμα, ενημερώνει τους πίνακες του. Για κάθε αναγνωριστικό σήμα που λαμβάνει αυξάνει το βαθμό συνδετικότητας του όσον αφορά τον κόμβο από τον οποίο έλαβε το αναγνωριστικό σήμα. Η σταθερότητα ένωσης σημαίνει τη σταθερότητα σύνδεσης του ενός κόμβου όσον αφορά έναν άλλο κόμβο κατά τη διάρκεια του χρόνου και του χώρου. Μια υψηλή τιμή βαθμού ένωσης όσον αφορά έναν κόμβο δείχνει χαμηλή κατάσταση της κινητικότητας κόμβων, ενώ μια χαμηλή τιμή βαθμού ένωσης δείχνει μια υψηλή κατάσταση της κινητικότητας των κόμβων. Θεμελιώδης στόχος του ABR είναι να βρεθούν οι μακροβιότερες διαδρομές για τα ειδικά κινητά δίκτυα.

Οι τρεις φάσεις του ABR είναι η εύρεση διαδρομών, η αναδημιουργία διαδρομών (RRC) και η διαγραφή διαδρομών. Η φάση εύρεσης διαδρομής είναι ένας κύκλος ερώτησης και απάντησης μετάδοσης ευρεκπομπής (BQ-REPLY). Ο κόμβος πηγή μεταδίδει ραδιοφωνικά ένα μήνυμα BQ σε αναζήτηση των κόμβων που έχουν μια διαδρομή στον προορισμό. Ένας κόμβος δεν διαβιβάζει ένα αίτημα BQ περισσότερο από μία φορά. Στη λήψη ενός μηνύματος BQ, ένας ενδιαμέσος κόμβος επισυνάπτει τη διεύθυνσή του και τις τιμές συνδετικότητας του στο πακέτο ερώτησης. Ο επόμενος κόμβος σβήνει τις καταχωρήσεις των τιμών συνδετικότητας των προς τα πάνω γειτονικών κόμβων του και διατηρεί μόνο την δική του τιμή και τον προς τα πάνω κόμβο του. Κάθε πακέτο που φθάνει στον προορισμό περιέχει τις τιμές συνδετικότητας των κόμβων κατά μήκος της διαδρομής από την πηγή στον προορισμό. Ο προορισμός μπορεί τώρα να επιλέξει την καλύτερη διαδρομή από την εξέταση των τιμών συνδετικότητας κατά μήκος κάθε ενός από τα μονοπάτια. Εάν τα πολλαπλά μονοπάτια έχουν τον ίδιο γενικό βαθμό σταθερότητας ένωσης, η διαδρομή με τον ελάχιστο αριθμό τμημάτων επιλέγεται. Μόλις επιλεγεί ένα μονοπάτι,

ο προορισμός στέλνει ένα πακέτο REPLY πίσω στην πηγή κατά μήκος αυτού του μονοπατιού. Οι κόμβοι από τους οποίους περνάει το μονοπάτι με το πακέτο REPLY σημειώνουν τις διαδρομές ως έγκυρες. Όλες οι άλλες διαδρομές παραμένουν ανενεργές, αποφεύγοντας κατά συνέπεια την πιθανότητα να φθάσουν διπλά πακέτα στον προορισμό [11].

Η φάση RRC αποτελείται από τη μερική εύρεση διαδρομών, την εξάλειψη άκυρων διαδρομών, τις έγκυρες αναπροσαρμογές διαδρομών, και τη νέα εύρεση διαδρομών, ανάλογα με το ποιος κόμβος(οι) κατά μήκος της διαδρομής έχουν μετακινηθεί. Η μετακίνηση κόμβων πηγή οδηγεί σε μια νέα διαδικασία BQ-REPLY. Το μήνυμα ανακοίνωσης (RN) διαδρομών χρησιμοποιείται για να σβήσει τα μονοπάτια που συνδέονται με τους προς τα κάτω κόμβους. Όταν ο προορισμός κινείται, ο προς τα πάνω κόμβος του προορισμού σβήνει τη διαδρομή του. Μια διαδικασία ερώτησης (LQ [χ]), όπου το χ αναφέρεται στην αρίθμηση τμήματος από τον προς τα πάνω κόμβο στον προορισμό, αρχίζει για να καθορίσει εάν ο κόμβος είναι ακόμα προσιτός. Εάν ο προορισμός λαμβάνει το πακέτο LQ, επιλέγει την καλύτερη διαδρομή και το REPLYs. Διαφορετικά, ο κόμβος που ξεκίνησε τη διαδικασία τη σταματά και απευθύνεται στον επόμενο προς τα πάνω κόμβο. Ένα μήνυμα RN στέλνεται στον επόμενο προς τα πάνω κόμβο για να σβήσει την άκυρη διαδρομή και να ενημερώσει αυτόν τον κόμβο ότι πρέπει να καλέσει τη διαδικασία LQ [χ]. Εάν αυτή η διαδικασία οδηγεί να οπισθοδρομήσει περισσότερο από τα μισά του δρόμου προς την πηγή, η διαδικασία LQ διακόπτεται και η πηγή αρχίζει μια νέα διαδικασία BQ. Όταν μια διαδρομή δεν είναι πλέον αναγκαία, ο κόμβος πηγή αρχίζει μια διαδικασία διαγραφής διαδρομής μεταδίδοντας ένα μήνυμα (RD). Όλοι οι κόμβοι κατά μήκος της διαδρομής διαγράφουν τη διαδρομή από τους πίνακες δρομολόγησής τους. Το μήνυμα RD διαδίδεται από μέσω ευρυεκπομπής, σε αντιδιαστολή με μια κατευθυνόμενη ραδιοφωνική μετάδοση, επειδή ο κόμβος πηγή μπορεί να μην είναι ενήμερος για οποιεσδήποτε αλλαγές στις διαδρομές που εμφανίστηκαν κατά τη διάρκεια RRCs.



2.2.6 Signal Stability Routing (SSR) [12]

Το προσαρμοστικό πρωτόκολλο δρομολόγησης (SSR) είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης ζήτησης που επιλέγει τις διαδρομές που βασίζονται στην ισχύ των σημάτων μεταξύ των κόμβων και της σταθερότητας της θέσης ενός κόμβου. Αυτό το κριτήριο επιλογής διαδρομής έχει ως αποτέλεσμα την επιλογή των διαδρομών που έχουν τη "ισχυρότερη" συνδετικότητα. Το SSR αποτελείται από δύο συνεταιριστικά πρωτόκολλα: το δυναμικό πρωτόκολλο δρομολόγησης (DRP) και το στατικό πρωτόκολλο δρομολόγησης (SRP).

Το DRP διατηρεί τον πίνακα σταθερότητας σημάτων (SST) και τον πίνακα (RT) δρομολόγησης. Ο SST καταχωρεί τη δύναμη σημάτων των γειτονικών κόμβων που λαμβάνεται από τα περιοδικά αναγνωριστικά σήματα από το στρώμα συνδέσεων κάθε γειτονικού κόμβου. Η δύναμη σημάτων είτε καταγράφεται ως ισχυρό είτε ως αδύνατο κανάλι. Όλες οι μεταδόσεις παραλαμβάνονται από το DRP και υποβάλλονται σε επεξεργασία. Αφού ενημερώσει τον πίνακα δρομολόγησης, το DRP περνά το πακέτο στο SRP. Το SRP περνά το πακέτο στη στοίβα εάν είναι ο προοριζόμενος δέκτης. Εάν όχι, κοιτάζει τον RT. Εάν δεν υπάρχει καμία εγγραφή για τον προορισμό στον RT, αρχίζει μια διαδικασία αναζήτησης για να βρει μια διαδρομή. Τα πακέτα αιτήματος διαβιβάζονται στο επόμενο hop μόνο εάν παραλαμβάνονται από κανάλια με ισχυρό σήμα και δεν έχουν υποβληθεί σε επεξεργασία προηγουμένως (για να αποφευχθούν τα looping). Ο προορισμός επιλέγει το πρώτο πακέτο που έφτασε, για να το στείλει πίσω καθώς αυτό το πακέτο έφτασε από το συντομότερο ή/και λιγότερο κορεσμένο μονοπάτι. Το DRP αντιστρέφει την επιλεγμένη διαδρομή και στέλνει ένα μήνυμα απάντησης πίσω στον αποστολέα του αιτήματος. Το DRP των κόμβων κατά μήκος του μονοπατιού ενημερώνει RTs τους αναλόγως.

Τα πακέτα αναζήτησης που φθάνουν στον προορισμό έχουν φθάσει απαραίτητως στο μονοπάτι της ισχυρότερης σταθερότητας σημάτων επειδή τα πακέτα που φθάνουν πέρα από ένα αδύνατο κανάλι πέφτουν στους ενδιάμεσους κόμβους. Εάν ο χρόνος που έχει θέσει η πηγή έχει λήξει πριν λάβει μια απάντηση τότε αλλάζει PREF πεδίο στην επικεφαλίδα για να δείξει ότι τα αδύνατα κανάλια είναι αποδεκτά, δεδομένου ότι αυτά μπορούν να είναι οι μόνες συνδέσεις διαμέσου των οποίων το πακέτο μπορεί να διαδοθεί. Όταν μια αποτυχία συνδέσεων ανιχνεύεται μέσα στο δίκτυο, οι ενδιάμεσοι κόμβοι στέλνουν ένα μήνυμα σφάλματος στην πηγή που δείχνει ποιο κανάλι έχει αποτύχει. Η πηγή στέλνει έπειτα ένα μήνυμα διαγραφής για να ειδοποιήσει όλους τους κόμβους της σπασμένης σύνδεσης και αρχίζει μια νέα διαδικασία αναζήτησης διαδρομής για να βρει ένα νέο μονοπάτι στον προορισμό.

3 Table-Driven vs On-Demand Routing

Συμπερασματικά, η προσέγγιση δρομολόγησης των ad hoc δικτύων που βασίζεται σε table-driven αλγόριθμους είναι παρόμοια με τη χωρίς σύνδεση προσέγγιση της διαβίβασης των πακέτων, χωρίς να μας απασχολεί το πότε ή το πόσο συχνά επιδιώκονται τέτοιες διαδρομές. Στηρίζεται πάνω σε έναν κρυμμένο κατά κάποιο τρόπο μηχανισμό αναβάθμισης του πίνακα δρομολόγησης που περιλαμβάνει τη σταθερή διάδοση των πληροφοριών που πρέπει να δρομολογηθούν. Αυτό δεν αποτελεί, εντούτοις, την περίπτωση για τα πρωτόκολλα δρομολόγησης κατά ζήτηση. Όταν ένας κόμβος χρησιμοποιεί ένα πρωτόκολλο κατά ζήτηση και επιθυμεί μια διαδρομή σε έναν νέο προορισμό, θα πρέπει να περιμένει έως ότου μπορεί να ανακαλυφθεί μια τέτοια διαδρομή. Από την άλλη πλευρά, επειδή οι πληροφορίες που δρομολογούνται διαδίδονται συνεχώς και διατηρούνται στα πρωτόκολλα δρομολόγησης table-driven, μια διαδρομή σε κάθε άλλο κόμβο στο ad hoc δίκτυο είναι πάντα διαθέσιμη, ανεξάρτητα από το εάν χρειάζεται ή όχι. Αυτό το χαρακτηριστικό γνώρισμα, αν και είναι χρήσιμο για την κυκλοφορία των datagrams, υφίσταται μεγάλη κατανάλωση ισχύος. Δεδομένου ότι και το εύρος ζώνης συχνότητας και η ισχύς είναι λιγοστά στοιχεία στους ασύρματους υπολογιστές, αυτό αποτελεί έναν σοβαρό περιορισμό.

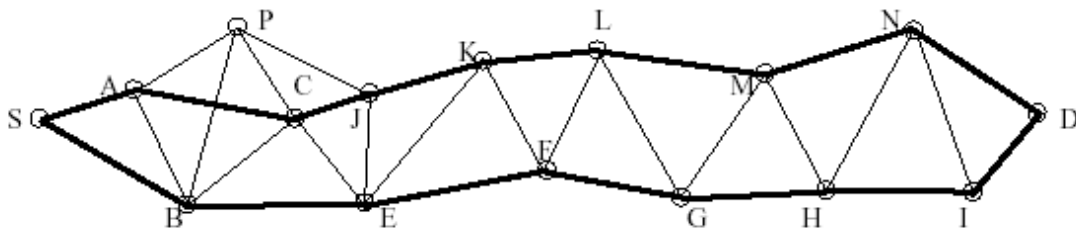
Μια άλλη εκτίμηση είναι εάν θα πρέπει να χρησιμοποιείται ένα επίπεδο ή ένα ιεραρχικό σχέδιο διευθυνσιοδότησης. Όλα τα πρωτόκολλα που συζητήθηκαν παραπάνω, εκτός από τον CGSR, χρησιμοποιούν επίπεδο σχέδιο διευθυνσιοδότησης. Ενώ στην διευθυνσιοδότηση μπορεί να είναι λιγότερο περίπλοκοι και ευκολότεροι να χρησιμοποιηθούν, παρόλα αυτά υπάρχουν αμφιβολίες ως προς την εξέλιξη τους.

4 Flooding Routing Protocols

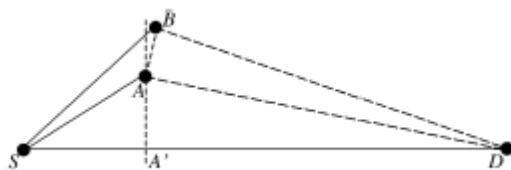
Μια άλλη κατηγορία πρωτοκόλλων δρομολόγησης είναι τα flooding routing protocols όπου ένα πακέτο μεταδίδεται σε όλους τους προορισμούς, με την προσδοκία ότι τουλάχιστον ένα αντίγραφο του πακέτου θα φθάσει στον προοριζόμενο προορισμό. Η εξέταση των πρωτοκόλλων αυτών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιορίσει την επιβάρυνση (overhead) της πλημμύρας πακέτων (flooding).

Σε έναν τοπικό αλγόριθμο δρομολόγησης, κάθε κόμβος διαβιβάζει τις αποφάσεις οι οποίες βασίζονται απλώς στη θέση του, στην θέση των γειτονικών του κόμβων και στη θέση του προορισμού του. Στις προσεγγίσεις εκείνες οι οποίες βασίζονται στην κατεύθυνση (direction-based), όταν θέλει ο κόμβος α να στείλει ή να διαβιβάσει ένα μήνυμα m στον κόμβο προορισμού δ , διαβιβάζει το m στον γειτονικό του κόμβο ϵ που είναι και ο πιο κοντινός στον κόμβο προορισμού δ , σε σχέση με τους υπόλοιπους γειτονικούς κόμβους του α . Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρις ότου ο δ , εάν κάτι τέτοιο είναι δυνατό, τελικά προσπελασθεί. Οι αλγόριθμοι που αναφέρονται ως GEDIR, MFR, και DIR χρησιμοποιούνται όταν εισάγεται ένα κοινό κριτήριο αποτυχίας: όταν δηλαδή ο αλγόριθμος σταματά εάν η καλύτερη επιλογή για την επιλογή του κόμβου, είναι ο κόμβος από τον οποίο προήλθε το μήνυμα. Κατόπιν αυτών προτείνονται οι 2-hop GEDIR, DIR, και MFR μέθοδοι κατά τις οποίες ο κόμβος α επιλέγει τον καλύτερο υποψήφιο κόμβο ϵ των 1-hop και 2-hop γειτονικών

του κόμβων σύμφωνα με το αντίστοιχο κριτήριο και διαβιβάζει το μήνυμα στον καλύτερο 1-hop γειτονικό κόμβο που βρίσκεται ανάμεσα στους κοινούς γείτονες του A και του ϵ . Επίσης ο f-GEDIR και ο f-MFR καθώς και οι υβριδικές single path/flooding μέθοδοι GEDIR και MFR αποτελούν τους πρώτους localized αλγορίθμους που μπορούν να εγγυηθούν την παράδοση μηνυμάτων σε ένα ελεύθερο από συγκρούσεις περιβάλλον. Τέλος οι μέθοδοι δρομολόγησης που βασίζονται στα πρωτόκολλα GEDIR και MFR δεν εξαρτώνται αποκλειστικά από διαδικασίες που περιλαμβάνουν βρόχους. Ουσιαστικά λοιπόν είναι loop-free. Αρκετά πειράματα προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκαν με τυχαίες στατικές γραφικές παραστάσεις, έδειξαν ότι ο GEDIR και ο MFR έχουν παρόμοια ποσοστά επιτυχίας, τα οποία είναι χαμηλά για τα χαμηλού βαθμού γραφήματα και υψηλά για τα υψηλού βαθμού. Όταν είναι επιτυχημένα, οι αριθμήσεις των hop τους είναι κοντά στην απόδοση του αλγορίθμου με το συντομότερο μονοπάτι. Οι υβριδικές μέθοδοι GEDIR και MFR έχουν τα χαμηλό (overhead) επικοινωνίας. Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνονται επίσης από τα πειράματα με την μετακίνηση των κόμβων και του MAC layer.



Μονοπάτια που επιλέγονται από τους αλγορίθμους GEDIR και DIR



Επιλογή και διαφορετικών κόμβων από τον GEDIR και τον MFR

4.1 GEDIR (Geographic distance routing) [13]

Το πρωτόκολλο GEDIR, είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης location aware(δηλαδή ενημερωτικό όσον αφορά την τοποθεσία για την μεταγωγή ενός πακέτου από την πηγή στον προορισμό του) , το οποίο εργάζεται με έναν χωρίς-σύνδεση (connectionless) τρόπο προκειμένου να στείλει τα πακέτα δεδομένων άμεσα χωρίς να εγκαταστήσει μονοπάτια. Οι ερευνητές έχουν προτείνει διάφορους τρόπους για τη χρησιμοποίηση αυτού του πρωτοκόλλου για να σταλούν πακέτα δεδομένων. Κατά μια προσέγγιση, ο παραλήπτης ,δηλαδή ο επόμενος host, επιλέγεται από το γεγονός ότι δημιουργείται η μικρότερη γωνία μεταξύ της πηγής του επόμενου host και του προορισμού. Εντούτοις, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε έναν ατελείωτο βρόχο που δεν φθάνει ποτέ στον προορισμό.

Κατά την δεύτερη προσέγγιση, η πηγή επιλέγει πάντα ως επόμενο δέκτη (host) εκείνον που βρίσκεται πιο κοντά στον προορισμό. Παρόλα αυτά, σε ορισμένες περιπτώσεις, ο επόμενος host μπορεί να είναι μακρύτερα από τον προορισμό από ότι η πηγή, δημιουργώντας μια σχέση παρόμοια με μια λοξοδρόμηση. Αυτό το σενάριο μπορεί επίσης να οδηγήσει σε έναν ατελείωτο βρόχο. Βασισμένες λοιπόν πάνω σε αυτές τις προσεγγίσεις, υπάρχουν διάφορες παραλλαγές που μπορούν να οδηγήσουν περαιτέρω βελτίωση της απόδοσης, όπως το f-GEDIR (στο οποίο "το f" σημαίνει flooding) και το c-GEDIR (στο οποίο το c σημαίνει την ταυτόχρονη αποστολή από την πηγή σε c hosts, καθένας από τους οποίους θα προσπαθήσει να βρει ένα μονοπάτι βασισμένο πάνω στον GEDIR.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένας πίνακας που συγκρίνει εκείνα τα πρωτόκολλα δρομολόγησης τα οποία είναι locationaware και μερικά από αυτά είναι το GEDIR, το DSR,ZRP,GRID,LAR κ.α.

Scheme	Route discovery	Packet relay	Route maintenance
DSR, AODV, ZRP	No	No	No
LAR	Yes (on-demand)	No	No
Gedir	Connectionless	Yes	Connectionless
Grid	Yes (on-demand)	Yes	Yes
Two-level	Yes (proactive)	No	Yes (proactive)

5 ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ

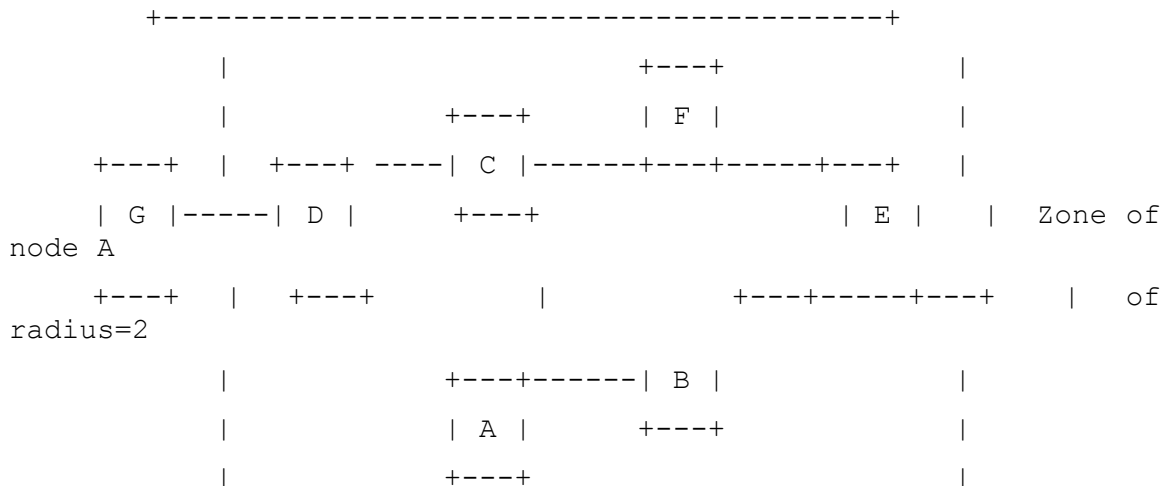
5.1 ZONE ROUTING PROTOCOL (ZRP) [14]

Γενικώς, τα υπάρχοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης μπορούν να ταξινομηθούν είτε ως proactive(table driven) είτε ως reactive (on demand). Τα proactive πρωτόκολλα προσπαθούν συνεχώς να αξιολογήσουν τις διαδρομές μέσα στο δίκτυο, έτσι ώστε όταν χρειάζεται να διαβιβαστεί ένα πακέτο, η διαδρομή να είναι ήδη γνωστή και μπορεί να χρησιμοποιηθεί αμέσως. Η οικογένεια των Distance-Vector πρωτοκόλλων είναι ένα παράδειγμα proactive πρωτοκόλλων. Τα reactive πρωτόκολλα, καλούν μια διαδικασία προσδιορισμού διαδρομών μόνο κατά ζήτηση (on demand). Κατά συνέπεια, όταν απαιτείται μια διαδρομή, κάποια καθολική διαδικασία αναζήτησης υιοθετείται. Η οικογένεια των κλασσικών flooding αλγορίθμων ανήκει στην ομάδα των reactive. Ένα παράδειγμα reactive πρωτοκόλλου είναι ο TORA.

Αυτό που πλέον απαιτείται είναι ένα πρωτόκολλο που να πραγματοποιεί τη διαδικασία εύρεσης διαδρομής κατά ζήτηση, αλλά με περιορισμένο κόστος αναζήτησης. Ένα τέτοιο πρωτόκολλο, είναι το "πρωτόκολλο δρομολόγησης ζώνης (ZRP)," και είναι ένα παράδειγμα ενός υβριδικού reactive/proactive πρωτοκόλλου δρομολόγησης. Το ZRP, από την μια πλευρά, περιορίζει το πεδίο της proactive διαδικασίας μόνο όμως "στην τοπική γειτονιά" του κόμβου, και από την άλλη πλευρά, η αναζήτηση στο δίκτυο γίνεται με αποτελεσματικό τρόπο από κάποιους επιλεγμένους κόμβους στο δίκτυο, οι οποίοι κατά κάποιο τρόπο ερωτώνται για την βέλτιστη διαδρομή, και όχι με όλους τους κόμβους του δικτύου.

5.1.1 Η έννοια της ζώνης δρομολόγησης, της ακτίνας ζώνης, και του Bordercasting [15]

Η ζώνη δρομολόγησης καθορίζεται για κάθε κόμβο και περιλαμβάνει τους κόμβους των οποίων η ελάχιστη απόσταση σε hops από τον κόμβο που "θα ερωτηθεί" είναι σε κάποιο προκαθορισμένο αριθμό, ο οποίος αναφέρεται ως ακτίνα ζώνης. Ένα παράδειγμα μιας ζώνης δρομολόγησης (για τον κόμβο A) της ακτίνας 2 εμφανίζεται παρακάτω.



Ας σημειωθεί ότι σε αυτό το παράδειγμα οι κόμβοι από τον B μέχρι τον E είναι μέσα στην ζώνη δρομολόγησης του A. Ο κόμβος G είναι έξω από την ζώνη δρομολόγησης του A. Επίσης να σημειωθεί ότι ο E μπορεί να προσεγγιστεί μέσω δυο μονοπατιών από τον A, ένα με μήκος 2 hops και ένα με μήκος 3 hops. Δεδομένου ότι το ελάχιστο είναι λιγότερο ή ίσο με 2, ο E είναι μέσα στην ζώνη δρομολόγησης του A.

Οι περιφερειακοί κόμβοι είναι κόμβοι των οποίων η ελάχιστη απόσταση από τον κόμβο που “ερωτάται” είναι ακριβώς ίση με την ακτίνα ζώνης. Κατά συνέπεια, στο παραπάνω παράδειγμα οι κόμβοι D, F, και E είναι περιφερειακοί κόμβοι του A.

Εάν ο προορισμός είναι έξω από την ακτίνα ζώνης, τότε η πηγή θα καλέσει τον μηχανισμό αναζήτησης κατά ζήτηση που καλείται Bordercasting. Το Bordercasting παρέχει έναν αποδοτικό τρόπο για την αναζήτηση ενός προορισμού χρησιμοποιώντας πίνακες δρομολόγησης των ενδιάμεσων κόμβων. Το Bordercasting είναι μια διαδικασία αποστολής ενός IP datagram από έναν κόμβο σε όλους τους περιφερειακούς του κόμβους. Κάθε κόμβος υποτίθεται ότι έχει μια μοναδική διεύθυνση IP (ή ένα σύνολο μοναδικών IP διευθύνσεων στην περίπτωση των πολλαπλάσιων διεπαφών (interfaces)), αφού το ZRP μπορεί να υποστηρίξει την αρχιτεκτονική της IP διευθυνσιοδότησης. Το Bordercasting μπορεί να εφαρμοστεί είτε μέσω της κανονικής IP μετάδοσης (unicast) είτε μέσω της IP πολλαπλής μετάδοσης (multicast) μέσω του πρωτοκόλλου δρομολόγησης DVMRP (Distance Vector Multicast Routing Protocol). Φυσικά, η multicast προσέγγιση προτιμάται για να μειώσει το ποσό κυκλοφορίας πάνω από αέρα.

6 QoS

Η αυξημένη ανάγκη για ποιότητα στην υπηρεσία (QoS) στις αναπτυσσόμενες εφαρμογές είχε ως αποτέλεσμα την ανάγκη να υποστηριχθούν παρόμοιες υπηρεσίες και στα MANETs. Οι περιορισμοί σε πόρους και η ποικιλότητα συντέλεσαν στην ανάγκη για παροχή ποιότητας στις υπηρεσίες αυτών των δικτύων. Παρόλα αυτά, τα χαρακτηριστικά αυτών των δικτύων κάνουν την υποστήριξη της QoS μία αρκετά πολύπλοκη διαδικασία. Η υποστήριξη του QoS στα MANETs περιλαμβάνει ζητήματα που αφορούν τα επίπεδα εφαρμογής, μεταφοράς, δικτύου, πρόσβασης στο μέσο, καθώς και το φυσικό επίπεδο των δομημένων δικτύων.

6.1 QoS Metrics (Μονάδες Μέτρησης) [16]

Το QoS ορίζεται σαν ένα σύνολο από απαιτήσεις υπηρεσίας το οποίο πρέπει να συναντάται σε κάθε δίκτυο κατά τη μετάδοση πακέτων από την πηγή στον προορισμό. Οι ανάγκες του δικτύου υπόκεινται στις απαιτήσεις σε υπηρεσία οι οποίες καθορίζονται από τις εφαρμογές των τελικών χρηστών. Το δίκτυο αναμένεται να εγγυάται ένα σύνολο από μετρήσιμα προκαθορισμένα χαρακτηριστικά υπηρεσίας στους χρήστες στα πλαίσια της από άκρη σε άκρη (end-to-end) απόδοσης, όπως η καθυστέρηση, το εύρος ζώνης, η πιθανότητα απώλειας πακέτων, η διακύμανση καθυστέρησης (jitter) κλπ. Η κατανάλωση ενέργειας και η περιοχή κάλυψης υπηρεσιών είναι δύο ακόμα χαρακτηριστικά του QoS τα οποία είναι πιο συγκεκριμένα στα MANETs.

Οι μονάδες μέτρησης της QoS μπορεί να εξαρτώνται από την τιμή ενός μόνο τμήματος της διαδρομής ή μπορεί να είναι προσθετικές. Το εύρος ζώνης είναι για παράδειγμα ανήκει στην πρώτη κατηγορία με την έννοια ότι το από άκρη σε άκρη εύρος ζώνης είναι το ελάχιστο από όλες τις συνδέσεις στη διαδρομή. Η καθυστέρηση και η διακύμανση καθυστέρησης είναι προσθετικές. Η από άκρη σε άκρη καθυστέρηση είναι η συσσώρευση όλων των καθυστερήσεων των συνδέσεων της διαδρομής. Υποστήριξη της QoS στα MANETs – Θέματα και δυσκολίες

Τα κινητά ασύρματα δίκτυα πολλαπλών τμημάτων διαφέρουν από τα παραδοσιακά ενσύρματων δομών. Οι διαφορές παρουσιάζουν μοναδικά θέματα και δυσκολίες όσον αφορά την υποστήριξη της QoS στα MANETs τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω:

- **Μη προβλέψιμες ιδιότητες συνδέσεων:** Τα ασύρματα μέσα είναι απρόβλεπτα. Στα ασύρματα δίκτυα η σύγκρουση των πακέτων είναι πραγματική – εσωτερική. Η μετάδοση του σήματος αντιμετωπίζει δυσκολίες όπως η εξασθένησή του, παρεμβολές, και ακύρωση πολλαπλών διαδρομών. Όλες αυτές οι ιδιότητες κάνουν τις μονάδες, όπως το εύρος ζώνης και την καθυστέρηση μιας ασύρματης σύνδεσης, απροσδιόριστες.

- **Το πρόβλημα του κρυφού τερματικού:** Η αναμετάδοση πακέτων με την τεχνική των πολλαπλών τμημάτων παρουσιάζει το πρόβλημα του κρυφού τερματικού. Το πρόβλημα αυτό εμφανίζεται όταν σήματα από δύο κόμβους, οι οποίοι βρίσκονται έξω από την μεταξύ τους εμβέλεια μετάδοσης, συγκρούονται με ένα κοινό αποδέκτη.

- **Η κινητικότητα των κόμβων:** Η κινητικότητα των κόμβων δημιουργεί μία τοπολογία δυναμικού δικτύου. Οι συνδέσεις θα σχηματιστούν δυναμικά όταν δύο κόμβοι εισέρχονται στην μεταξύ τους περιοχή μετάδοσης και καταστρέφονται όταν αποχωρούν από αυτήν.

- **Η διατήρηση της διαδρομής:** Η δυναμική φύση της τοπολογίας των δικτύων και η μεταβαλλόμενη συμπεριφορά του μέσου επικοινωνίας κάνουν πολύ δύσκολη την ακριβή διατήρηση της πληροφορίας για την κατάσταση του δικτύου. Έτσι οι αλγόριθμοι δρομολόγησης στα ad-hoc δίκτυα πρέπει να λειτουργούν με ακριβή πληροφόρηση. Επιπλέον στα ad-hoc δικτυακά περιβάλλοντα οι κόμβοι μπορούν να συμμετέχουν ή να εγκαταλείπουν οποτεδήποτε. Τα εγκαθιδρυμένα μονοπάτια δρομολόγησης μπορεί να κοπούν ακόμα και κατά τη διάρκεια της μεταφοράς δεδομένων. Έτσι αυξάνεται η ανάγκη για διατήρηση και ανακατασκευή των διαδρομών δρομολόγησης με στόχο την ελάχιστη καθυστέρηση. Η δρομολόγηση με βάση το QoS θα απαιτούσε διατήρηση των πόρων στους ενδιάμεσους κόμβους. Παρόλα αυτά, με τις αλλαγές στην τοπολογία οι ενδιάμεσοι κόμβοι επίσης αλλάζουν και νέα μονοπάτια δημιουργούνται. Έτσι η εξασφάλιση της διατήρησης με τις αλλαγές στα μονοπάτια δρομολόγησης γίνεται πολύ δύσκολη.

- **Περιορισμένη ζωή μπαταρίας:** Οι κινητές συσκευές γενικά εξαρτώνται από περιορισμένα αποθέματα μπαταρίας. Η ανεύρεση πόρων για την παροχή της QoS πρέπει να λάβει υπόψη την απομείνουσα ενέργεια της μπαταρίας και την αναλογία της κατανάλωσης της μπαταρίας σχετικά με τη χρήση των πόρων. Έτσι όλες οι τεχνικές παροχής QoS πρέπει να λαμβάνουν υπόψη την ενέργεια και να είναι διαθέσιμες όσον αφορά την τελευταία.

• **Ασφάλεια:** Η ασφάλεια πρέπει να θεωρηθεί ως ένα χαρακτηριστικό της QoS. Χωρίς την κατάλληλη ασφάλεια, μη εξουσιοδοτημένες προσβάσεις και χρήσεις μπορεί να παραβιάσουν τις διαπραγματεύσεις του QoS. Η φύση των μεταδόσεων στα ασύρματα δίκτυα ενδεχομένως οδηγεί σε πιο ασφαλείς εκθέσεις. Το φυσικό μέσο επικοινωνίας είναι από τη φύση του μη ασφαλές. Έτσι για τα ad-hoc δίκτυα πρέπει να σχεδιάζονται αλγόριθμοι που λαμβάνουν υπόψη τους την ασφάλεια.

6.2 Συμβιβαστικές αρχές

Η δυναμική φύση των MANETs αποδίδεται σε πολλές πηγές, διάφορα χαρακτηριστικά συνδέσεων, κινήσεις κόμβων, μεταβαλλόμενη τοπολογία και διάφορες απαιτήσεις εφαρμογών. Η παροχή του QoS σε ένα τέτοιο δυναμικό περιβάλλον είναι πολύ δύσκολη. Δύο συμβιβαστικές αρχές για την παροχή QoS στα MANETs είναι οι: χαλαρή QoS και QoS με προσαρμογές.

Εξαιτίας των ειδικών ιδιοτήτων των κινητών ασύρματων δικτύων μερικοί ερευνητές έχουν προτείνει την χαλαρή QoS. Χαλαρή QoS σημαίνει ότι μετά την εγκατάσταση της σύνδεσης μπορεί να υπάρχουν μεταβατικά διαστήματα χρόνου στα οποία δεν ακολουθούνται αυστηρά τις προδιαγραφές του QoS. Παρόλα αυτά, μπορούμε να ποσοτικοποιήσουμε το επίπεδο απόδοσης της QoS διαιρώντας το συνολικό χρόνο διαταραχής με το συνολικό χρόνο σύνδεσης. Ο λόγος αυτός δεν πρέπει να υπερβαίνει ένα συγκεκριμένο όριο.

Σε μία καθορισμένου επιπέδου QoS προσέγγιση, η κράτηση των πόρων παριστάνεται από ένα χώρο n -διαστάσεων με συντεταγμένες να καθορίζουν τα χαρακτηριστικά της υπηρεσίας. Σε μία δυναμική QoS προσέγγιση, μπορούμε να επιτρέψουμε σε μία κράτηση πόρων να καθορίσει ένα εύρος τιμών, παρά μια μόνο συγκεκριμένη τιμή. Με αυτή την προσέγγιση, καθώς αλλάζουν οι διαθέσιμοι πόροι, το δίκτυο μπορεί να αναπροσαρμόσει τις κρατήσεις μέσα στο παραπάνω εύρος. Με παρόμοιο τρόπο, είναι επιθυμητό για τις εφαρμογές να μπορούν να προσαρμοστούν σ'αυτού του είδους τις επαναδεσμεύσεις. Ένα καλό παράδειγμα είναι το video πραγματικού χρόνου το οποίο απαιτεί μία επιβεβαίωση μέγιστου εύρους ζώνης και επιτρέπει ανώτερα επίπεδα QoS όταν είναι διαθέσιμοι επιπλέον πόροι.

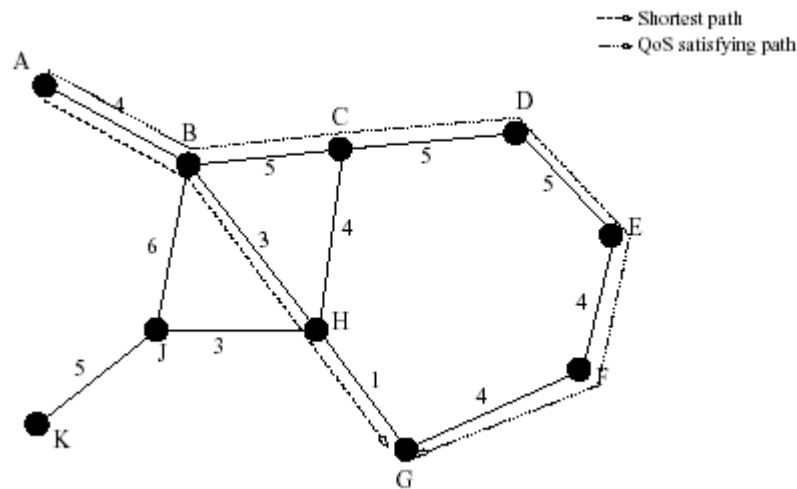
Η QoS προσαρμογή μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορα επίπεδα. Το φυσικό επίπεδο πρέπει να φροντίζει για τις αλλαγές στην ποιότητα μετάδοσης, για παράδειγμα αυξάνοντας ή μειώνοντας προσαρμοστικά την ισχύ μετάδοσης. Το επίπεδο σύνδεσης πρέπει να αντιδρά στις αλλαγές στην αναλογία των σφαλμάτων σύνδεσης, συμπεριλαμβανομένου και την τεχνική της χρήσης αυτόματης αίτησης-απάντησης (ARQ).

Μία πιο εξεζητημένη τεχνική περιλαμβάνει ένα μηχανισμό προσαρμοστικής διόρθωσης λαθών ο οποίος θα αυξήσει ή θα μειώσει την ποσότητα των μηνυμάτων που στέλνονται για τη διόρθωση των λαθών σε συνδυασμό με τις αλλαγές στην ποιότητα μετάδοσης. Έτσι η κύρια επίδραση που παρατηρείται στο επίπεδο δικτύου είναι η αλλαγή σε ένα αποτελεσματικό εύρος ζώνης και η καθυστέρηση.

6.3 Αλγόριθμοι Δρομολόγησης και QoS

Οι αλγόριθμοι δρομολόγησης που παρουσιάσαμε μέχρι τώρα δεν παρέχουν τις απαραίτητες προϋποθέσεις για την πλήρη υποστήριξη εφαρμογών που απαιτούν υποστήριξη QoS. Οι μεγάλη πλειοψηφία των αλγόριθμων προσπαθεί να ανακαλύψει το συντομότερο μονοπάτι μεταξύ της πηγής και του προορισμού. Ο μόνος αλγόριθμος ο οποίος έχει τη δυνατότητα να υποστηρίξει QoS είναι ο AODV με τις επεκτάσεις του οι οποίες αναφέρονται στην υποστήριξη υπηρεσιών με απαίτηση σε QoS. Επιπλέον παρουσιάσαμε και δύο αλγόριθμους τον ABR και τον SSR οι οποίοι στη διαδικασία εύρεσης της καλύτερης διαδρομής λαμβάνουν υπόψη τους τη δύναμη του σήματος και τη σταθερότητα της θέσης των κόμβων.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζουμε ένα MANET στο οποίο οι αριθμοί σε κάθε τμήμα αναπαριστούν το διαθέσιμο εύρος ζώνης μεταξύ δύο κόμβων. Αν υποθέσουμε ότι θέλουμε μια διαδρομή από τον κόμβο A στον κόμβο G για μια εφαρμογή η οποία απαιτεί ελάχιστο εύρος ζώνης 4. Ένας αλγόριθμος ο οποίος υπολογίζει μια διαδρομή βάση τον αριθμό των κόμβων (συντομότερη διαδρομή) θα επέλεγε τη διαδρομή A-B-H-G. Ένας αλγόριθμος όμως ο οποίος θα αναζητούσε μια διαδρομή χρησιμοποιώντας ως μονάδα μέτρησης το εύρος ζώνης θα επέλεγε τη διαδρομή A-B-C-D-E-F-G.



Ο πρωταρχικός στόχος ενός πρωτοκόλλου δρομολόγησης το οποίο υποστηρίζει QoS είναι να προσδιορίσει μια διαδρομή από μια πηγή σε ένα προορισμό η οποία θα ικανοποιεί τις απαιτήσεις ενός επιθυμητού επιπέδου QoS. Μια τέτοια διαδρομή καθορίζεται βάσει κάποιων περιορισμών όπως είναι ο μικρότερος χρόνος αναζήτησης, η απόσταση, και οι συνθήκες της κυκλοφορίας στο δίκτυο. Μέχρι τώρα έχουν προταθεί

ελάχιστα πρωτόκολλα δρομολόγησης με υποστήριξη QoS για ad hoc δίκτυα. Τα δύο πιο γνωστά θα παρουσιάσουμε στις επόμενες ενότητες.

6.4 CEDAR [17]

Ο CEDAR (Core Extraction Distributed Ad hoc Routing algorithm) είναι ένας αλγόριθμος που παρέχει ποιότητα υπηρεσιών (quality of services) για μικρού και μεσαίου μεγέθους ad hoc δίκτυα τα οποία βασίζονται σε δεκάδες ή και εκατοντάδες κόμβους. Ο αλγόριθμος αυτός εγκαθιστά τον πυρήνα του δικτύου και έπειτα επαυξητικά διαδίδει τις καταστάσεις (states) των συνδέσεων με υψηλό εύρος ζώνης συχνοτήτων στους κόμβους του πυρήνα. Ο υπολογισμός της διαδρομής εκτελείται από τους κόμβους του πυρήνα χρησιμοποιώντας μόνο την τοπική κατάσταση και διεξάγεται κατόπιν ζήτησης (on-demand) . Ο CEDAR έχει τρία βασικά συστατικά : α) Εξαγωγή πυρήνα (Core Extraction) . Ένα σύνολο από κόμβους επιλέγεται για να μορφοποιήσει τον πυρήνα ο οποίος διατηρεί την τοπολογία των κόμβων στον δικό του χώρο και επίσης εκτελεί υπολογισμούς διαδρομών. Οι κόμβοι του πυρήνα επιλέγονται από ένα ελάχιστο υποσύνολο του δικτύου όπου ο κάθε κόμβος που δεν βρίσκεται στο υποσύνολο αυτό είναι προσκείμενος (δηλαδή βρίσκεται κοντά) τουλάχιστο σε έναν κόμβο που είναι μέσα στο υποσύνολο του ad hoc δικτύου. β) Διάδοση της κατάστασης σύνδεσης (Link State Propagation) . Η δρομολόγηση της ποιότητας υπηρεσιών (Quality Of Services) στον CEDAR επιτυγχάνεται με την διάδοση των πληροφοριών των σταθερών συνδέσεων που διαθέτουν άφθονο εύρος ζώνης συχνοτήτων (bandwidth) σε όλους τους κόμβους του πυρήνα. Η βασική ιδέα είναι ότι οι πληροφορίες για σταθερές με υψηλό bandwidth συνδέσεις, μπορούν να γίνουν γνωστές σε απομακρυσμένους κόμβους του δικτύου, ενώ οι πληροφορίες σχετικά με τις δυναμικές συνδέσεις ή για εκείνες που έχουν χαμηλό bandwidth παραμένουν τοπικά. γ) Υπολογισμός της διαδρομής (Route Computation). Ο υπολογισμός διαδρομής αρχικά εγκαθιστά ένα μονοπάτι πυρήνα από την περιοχή αναχώρησης προς την περιοχή του προορισμού. Χρησιμοποιώντας κάποιες κατευθυντήριες οδηγίες που παρέχονται από το μονοπάτι πυρήνα, ο CEDAR επαναλαμβανόμενα προσπαθεί να βρει μια διαδρομή από την περιοχή αναχώρησης προς την περιοχή του πιο, κατά το δυνατό, απομακρυσμένου κόμβου στο μονοπάτι πυρήνα που ικανοποιεί το απαιτούμενο bandwidth. Έπειτα ο κόμβος αυτός γίνεται η αφετηρία της επόμενης επανάληψης.

Με τον αλγόριθμο CEDAR, ο πυρήνας παρέχει μια αποτελεσματική δομή για την εκτέλεση της δρομολόγησης, ενώ ο μηχανισμός διάδοσης της κατάστασης παρέχει διαθεσιμότητα στις link-state πληροφορίες προς τους κόμβους χωρίς μεγάλη επιβάρυνση (overhead).

6.5 Routing by Ticket-Based Probing [18]

Ο αλγόριθμος δρομολόγησης Ticket-Based probing είναι ένας κατανεμημένος αλγόριθμος εύρεσης πολλαπλών διαδρομών. Αρχικά στέλνονται κάποια μηνύματα δρομολόγησης τα οποία ονομάζονται ανιχνευτές (probes), από τον κόμβο πηγή προς τον κόμβο προορισμού. Οι ανιχνευτές αυτοί προσπαθούν να ανακαλύψουν χαμηλού κόστους μονοπάτια τα οποία να ικανοποιούν την απαίτηση για μια συγκεκριμένη καθυστέρηση. Ο κόμβος πηγή εκδίδει ένα συγκεκριμένο αριθμό από δελτία ανάλογα με τους πόρους του δικτύου. Ο κάθε ανιχνευτής απαιτείται να μεταφέρει τουλάχιστον ένα δελτίο. Επομένως, ο μέγιστος αριθμός ανιχνευτών εξαρτάται από το συνολικό αριθμό δελτίων. Από τη

στιγμή που κάθε ανιχνευτής αναζητεί ένα μονοπάτι, ο μέγιστος αριθμός μονοπατιών εξαρτάται από τον αριθμό των δελτίων.

Όταν ένας ανιχνευτής φτάσει σε ένα κόμβο, μπορεί να διασπαστεί σε περισσότερους ανιχνευτές, στους οποίους θα μοιραστούν τα δελτία που μετέφερε ο αρχικός ανιχνευτής. Οι νέοι ανιχνευτές θα προωθηθούν σε διαφορετικά μονοπάτια. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί την πληροφορία για την κατάσταση του δικτύου που έχει ο κάθε ενδιαμέσος κόμβος προκειμένου να οδηγήσει κάθε ανιχνευτή στην καλύτερη διαδρομή προς τον προορισμό, έτσι ώστε η πιθανότητα να βρεθεί ένα εφικτό μονοπάτι χαμηλού κόστους να μεγιστοποιηθεί. Όταν ένας οι περισσότεροι ανιχνευτές φτάσουν στον κόμβο προορισμού τότε η διαδρομή είναι γνωστή, όπως και οι πληροφορίες για την καθυστέρηση και για το εύρος ζώνης. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξασφάλιση των αναγκαίων πόρων κατά μήκος του μονοπατιού που θα ικανοποιούν το ζητούμενο επίπεδο QoS.

Ο αλγόριθμος Ticket-Based probing έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά :

- Η επιβάρυνση που δημιουργείται στο δίκτυο λόγω της δρομολόγησης ελέγχεται από τον αριθμό των δελτίων που δημιουργούνται.
- Είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε να λειτουργεί με ασαφής πληροφορίες. Ο βαθμός ασάφειας είναι αυτός που καθορίζει και το πλήθος των δελτίων που θα δημιουργηθούν.
- Η διαδικασία δρομολόγησης λαμβάνει υπόψη της όχι μόνο τις απαιτήσεις σε QoS αλλά και τη βέλτιστη διαδρομή όσον αφορά το μικρότερο κόστος.

7 ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παραπάνω ανάλυση κάνει φανερό πως σε αυτού του είδους τα δίκτυα η δρομολόγηση είναι ένα πολύ σημαντικό όσο και δύσκολο θέμα. Η παραδοσιακή αλγόριθμοι δρομολόγησης δεν μπορούν ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις ενός ad hoc δικτύου εξαιτίας της δυναμικής τοπολογίας και του περιορισμένου εύρους ζώνης που χαρακτηρίζουν αυτά τα δίκτυα. Για το λόγο αυτό πολλοί είναι οι ερευνητές που ασχολούνται είτε με την επέκταση των ήδη υπάρχοντων αλγόριθμων δρομολόγησης είτε με την ανακάλυψη νέων περισσότερο αποδοτικών αλγόριθμων δρομολόγησης.

Επιπλέον η υποστήριξη του Quality of Service μέσω αλγόριθμων δρομολόγησης ειδικά για δίκτυα ad hoc είναι ένα ζήτημα για το οποίο δεν έχουν δοθεί ολοκληρωμένες λύσεις. Ο στόχος αυτού του είδους των αλγόριθμων είναι να επιλέξουν εκείνες τις διαδρομές που οι πόροι τους να μπορούν να ικανοποιούν τις απαιτούμενες παραμέτρους του QoS. Αυτό όμως θα πρέπει να επιτευχθεί λαμβάνοντας υπόψη ότι η χρήση των πόρων θα πρέπει να είναι αποδοτική για ολόκληρο το δίκτυο ad hoc. Οι περισσότεροι αλγόριθμοι που εξετάσαμε στο άρθρο μας επιλέγουν ένα μονοπάτι βάση της συντομότερης διαδρομής. Αυτού του είδους όμως οι αλγόριθμοι δεν μπορούν να υποστηρίξουν συνδέσεις με απαιτήσεις υποστήριξης QoS, όπως για παράδειγμα είναι η μετάδοση φωνής η οποία έχει περιορισμούς όσον αφορά την καθυστέρηση και το εύρος ζώνης. Η έρευνα μας έδειξε ότι σε περιπτώσεις που η τοπολογία του δικτύου μεταβάλλεται πολύ γρήγορα η παροχή QoS μπορεί να είναι σχεδόν αδύνατη.

Σε περιπτώσεις που η τοπολογία του δικτύου δεν μεταβάλλεται πολύ γρήγορα παρουσιάσαμε δύο αλγόριθμους οι οποίοι μπορούν να υποστηρίξουν δρομολόγηση με υποστήριξη QoS. Ακόμη όμως και σε αυτές τις περιπτώσεις η υποστήριξη του QoS δεν παρέχεται για συγκεκριμένες τιμές αλλά για ένα εύρος τιμών (soft QoS).

Τα MANETs μέσα στα επόμενα είναι πολύ πιθανό σημειώσουν σημαντική ανάπτυξη. Ταυτόχρονα με την ευρεία εξάπλωση των πολυμεσικών εφαρμογών, η υποστήριξη του Quality of Service είναι ένα ζήτημα το οποίο θα πρέπει να αντιμετωπιστεί. Επομένως η ανάπτυξη καινούργιων μεθόδων δρομολόγησης για την παροχή QoS είναι ένα πολύ ενδιαφέρον όσο και δύσκολο πεδίο για έρευνα.

8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-BIBLIOGRAPHY

- Jochen Schiller (Addison-Wesley 2000), *Mobile Communications*.
- Anna Hac (Prentice-Hall 2000), *Multimedia Applications Support for Wireless ATM Networks*.
- Geier, James T (1999), *Wireless LANS: Implementing Interoperable Networks*.
- Benny Bing (2000), *High – Speed Wireless ATM and LANS*.
- Shigang Chen (Thesis 1999 – University of Illinois) *Routing support for providing guaranteed end-to-end Quality-of-Service*
- Ανδρέας Πομπόρτσης, *Εισαγωγή στις Νέες Τεχνολογίες Επικοινωνιών*, Εκδόσεις Α. Τζιόλα Ε., Θεσσαλονίκη, 1997.

1. Scalable Routing Strategies for Ad hoc Wireless Networks Atsushi Iwata, Ching Chuan Chiang, Guangyu Pei, Mario Gerla and Tsu_wei Chen
Computer Science Department University of California Los Angeles

<http://citeseer.nj.nec.com/iwata99scalable.html>

Discusses Destination-Sequenced Distance-Vector Routing Algorithm.
Αναφέρεται στο πρωτόκολλο DSDV.

2. S. Murthy and J.J. Garcia-Luna-Aceves, "*An Efficient Routing Protocol for Wireless Networks*", ACM Mobile Networks and App. J., Special Issue on Routing in Mobile Communication Networks, Oct. 1996, pp. 183-97.

<http://www.ics.uci.edu/~atm/adhoc/paper-collection/aceves-routing-winet.pdf>

Discusses Wireless Routing Protocol. Αναφέρεται στο πρωτόκολλο WRP.

3. C.-C. Chiang, "*Routing in Clustered Multihop, Mobile Wireless Networks with Fading Channel*" Proc. IEEE SICON'97, Apr.1997, pp.197-211.

<http://www.ics.uci.edu/~atm/adhoc/paper-collection/gerla-routing-clustered-sicon97.pdf>

Discusses Clustered Gateway Switch Routing Algorithm. Αναφέρεται στο πρωτόκολλο CGSR.

4. A. Iwata, C.-C. Chiang, G. Pei, M. Gerla, and T.-W. Chen, "*Scalable Routing Strategies for Ad Hoc Wireless Networks*" IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Special Issue on Ad-Hoc Networks, Aug. 1999, pp.1369-79.

<http://www.cs.ucla.edu/NRL/wireless/PAPER/jsac99.ps.gz>

Discusses Fisheye State Routing and Hierarchical State Routing Algorithms. Αναφέρεται στο πρωτόκολλο Fisheye.

5. M. Joa-Ng and I.-T. Lu, "*A Peer-to-Peer zone-based two-level link state routing for mobile Ad Hoc Networks*" IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Special Issue on Ad-Hoc Networks, Aug. 1999, pp.1415-25.

Discusses Zone-based Hierarchical Link State Routing Protocol. Αναφέρεται στο πρωτόκολλο HLSR.

6. Charles E. Perkins, Elizabeth M. Royer, Samir R. Das, "*Ad Hoc On-demand Distance Vector Routing*", October 99 IETF Draft, 33 pages.

<http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-aodv-04.txt>

Discusses Ad Hoc On-demand Distance Vector Routing Algorithm. Αναφέρεται στο πρωτόκολλο AODV.

7. David B. Johnson, Davis A. Maltz, *"Dynamic Source Routing in Ad Hoc Networks"*, Mobile Computing, T. Imielinski and H. Korth, Eds., Kulwer, 1996, pp. 152-81.

<http://www.ics.uci.edu/~atm/adhoc/paper-collection/johnson-dsr.pdf>

Discusses Dynamic Source Routing Algorithm. Αναφέρεται στο πρωτόκολλο DSR.

8. VD Park and MS Corson *"A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless networks"*, Proc. INFOCOM'97, Apr. 1997, 9 pages.

<http://www.ics.uci.edu/~atm/adhoc/paper-collection/corson-adaptive-routing-infocom97.pdf>

Discusses Temporally Ordered Routing Algorithm. Αναφέρεται στο πρωτόκολλο TORA.

9. Mingliang Jiang, Jinyang Li, Y.C. Tay, *"Cluster Based Routing Protocol"* August 1999 IETF Draft, 27 pages.

<http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-cbrp-spec-01.txt>

Discusses Cluster Based Routing Protocol. Αναφέρεται στο πρωτόκολλο CBRP.

10. Chai-Keong Toh, *"A novel distributed routing protocol to support Ad hoc mobile computing"* Proc. 1996 IEEE 15th Annual Int'l. Phoenix Conf. Comp. and Commun., Mar. 1996, pp. 480-86.

<http://www.ics.uci.edu/~atm/adhoc/paper-collection/toh-distributed-routing-ipccc96.pdf>

Discusses Associativity Based Routing Algorithm. Αναφέρεται στο πρωτόκολλο Associativity Based Routing.

11. C.-K. Toh, "*Long-lived Ad-Hoc Routing based on the concept of Associativity*" March 1999 IETF Draft, 8 pages.

<http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-longlived-adhoc-routing-00.txt>

Discusses Associativity Based Routing Algorithm. Αναφέρεται στο πρωτόκολλο Associativity Based Routing.

12. R. Dube et al., "*Signal Stability based adaptive routing for Ad Hoc Mobile networks*", IEEE Pers. Comm., Feb. 1997, pp. 36-45.

<http://www.cs.umd.edu/projects/mcml/papers/pcm97.ps>

Discusses Signal Stability Based Routing Algorithm. Αναφέρεται στο πρωτόκολλο Signal Stability Based.

13. Computer Science, SITE, University of Ottawa, Ottawa, Canada

A routing strategy and quorum based location update scheme for ad hoc wireless networks *Ivan Stojmenovic and Bosko Vukojevic*

www.cs.odu.edu/~ibl/public/colloquium/fall99/stojmenovic.txt

Discusses GEDIR Algorithm. Αναφέρεται στο πρωτόκολλο GEDIR.

14. Z. J. Haas and M.R. Pearlman, "*The Performance of Query Control Schemes for the Zone Routing Protocol*," ACM SIGCOMM'98. Describes ZRP protocol, which lead to the development of Zone-Based Hierarchical Routing Protocol.

Discusses ZRP Algorithm. Αναφέρεται στο πρωτόκολλο ZRP.

15. [The Zone Routing Protocol \(ZRP\) for Ad Hoc Networks](#), Zygmunt J. Haas, Marc R. Pearlman, Internet draft.

Discusses ZRP Algorithm. Αναφέρεται στο πρωτόκολλο ZRP.

16. Shigang Chen (Thesis 1999 – University of Illinois) *Routing support for providing guaranteed end-to-end Quality-of-Service*

<http://cairo.cs.uiuc.edu/papers/SCthesis.ps>

Εργασία σε θέματα QoS και αλγόριθμων δρομολόγησης

17. R. Sivakumar, P. Sinha, V. Bharghavan. *CEDAR: a Core-Extraction Distributed Ad hoc Routing algorithm*. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol 17, No 8, August 1999.

<http://www.cs.cornell.edu/People/egs/615/sivakumar99cedar.pdf>

Discusses CEDAR Algorithm. Αναφέρεται στο πρωτόκολλο CEDAR.

18. Goazalo Camarillo, “ *Quality of Service routing in mobile Wireless Networks*”, Advanced Signalling Research Laboratory, Ericsson Finland.

<http://standards.ericsson.net/gonzalo/papers/wireless.pdf>

Αναφέρεται σε θέματα QoS και αλγόριθμων δρομολόγησης σε Wireless Networks.

19. Elizabeth M. Royer, Chai -Keong Toh, “*A Review of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks*”, IEEE Personal Communications, Vol. 6, No. 2, pp. 46-55, April 1999.

<http://users.ece.gatech.edu/~cktoh/royer.html>

Gives a review of routing protocols for ad hoc networks.

20. A. Veres, A.T. Campbell, M. Barry and L. H. Sun, “*Supporting Service Differentiation in Wireless Packet Networks Using Distributed Control*,” IEEE Journal of Selected Areas in Communications, Oct. 2001.

21. Atsushi Iwata_ Ching_ Chuan Chiang_ Guangyu Pei_ Mario Gerla and Tsu_wei Chen, “*Scalable Routing Strategies for Ad hoc Wireless Networks*” Computer Science Department University of California.

<http://citeseer.nj.nec.com/update/197803>

Αναφέρεται σε θέματα δρομολόγησης σε Ad Hoc δίκτυα.