

Πανεπιστήμιο Μακεδονίας
ΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα
Τεχνολογίες Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων
Καθηγητής: Α.Α. Οικονομίδης

Routing in Mobile Networks:
A Survey on Algorithms and Methods

Επισκόπηση αλγορίθμων και μεθόδων για
Δρομολόγηση σε Κινητά Δίκτυα

από
Ελένη Μπουλογεώργου-Νημά (1/08)

Θεσσαλονίκη
Φεβρουάριος 2009

Abstract

During the last few years there has been a rapid growth of research interests in mobile ad-hoc networking (MANETs). The infrastructureless and the dynamic nature of these networks demands new set of networking strategies to be implemented in order to provide efficient end-to-end communication. Routing in the MANETs is a challenging task and has received a tremendous amount of attention from researches. This has led to development of many different routing protocols for MANETs, although it is quite difficult to determine which protocols may perform best under a number of different network scenarios, such as increasing node density and traffic.[1]

In this survey, we provide an overview of the most known mobile routing protocols. We compare and evaluate their efficiency and performance and we suggest solutions to the problems that rise each time. Finally, we make suggestions for future research on routing in mobile networks.

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ραγδαία αύξηση του ερευνητικού ενδιαφέροντος για τα κινητά ad-hoc δίκτυα ή αλλιώς MANETs (Mobile Ad-Hoc Networks). Η χωρίς υποδομή και παράλληλα δυναμική φύση των δικτύων αυτών απαιτεί την υλοποίηση νέων στρατηγικών δικτύωσης με σκοπό την αποδοτική end-to-end επικοινωνία. Η δρομολόγηση στα MANETs είναι μια διεργασία απαιτητική και γεμάτη προκλήσεις και γι' αυτό έχει προσελκύσει την προσοχή πολλών ερευνητών. Αυτό έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη πολλών πρωτοκόλλων δρομολόγησης για MANETs, όμως είναι αρκετά δύσκολο να καθορίσει κανείς ποια πρωτόκολλα λειτουργούν καλύτερα σε έναν αριθμό δικτύων με διαφορετικά χαρακτηριστικά και περιορισμούς, όπως αυξημένη πυκνότητα κόμβων και κυκλοφορία.[1]

Στην παρούσα εργασία, εξετάζονται τα πιο διαδεδομένα πρωτόκολλα δρομολόγησης σε κινητά δίκτυα. Περιγράφονται οι βασικές κατηγορίες αλγορίθμων, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Αξιολογούνται και συγκρίνονται ως προς την αποτελεσματικότητά τους και προτείνονται πιθανοί τρόποι επίλυσης των προβλημάτων που προκύπτουν κάθε φορά. Τέλος, παρατίθενται προτάσεις για μελλοντική έρευνα πάνω στο θέμα της δρομολόγησης σε κινητά δίκτυα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
Λειτουργία των MANETs	4
Εφαρμογές.....	4
Ιδιαίτερα Χαρακτηριστικά	5
Ποιότητα Υπηρεσίας (Quality of Service)	5
Προβλήματα – Περιορισμοί	6
Δρομολόγηση	6
Πρωτόκολλα Δρομολόγησης	7
A. Proactive (table-driven) πρωτόκολλα	7
1. DSDV	7
2. WRP	8
3. CGSR.....	9
B. Reactive (demand-driven) πρωτόκολλα	11
1. AODV	11
2. DSR	12
3. TORA	13
4. ABR	15
5. SSR	17
Γ. Υβριδικά (hybrid) πρωτόκολλα	18
ZRP	19
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	20
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ	21

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

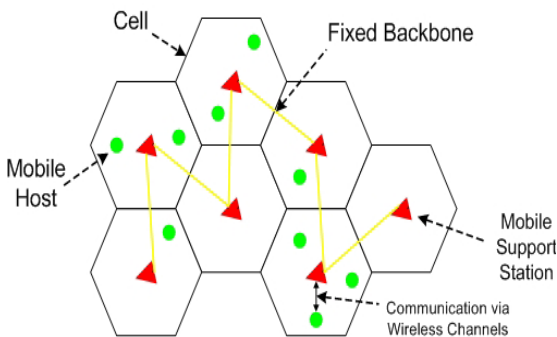
Τα ασύρματα δίκτυα έκαναν την εμφάνισή τους τη δεκαετία του 1970 αλλά μόλις τα τελευταία χρόνια παρατηρήθηκε μια έκρηξη στη χρήση τους, εξαιτίας της τεχνολογικής εξέλιξης στις ασύρματες δικτυακές φορητές συσκευές (φορητοί υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα, PDA, κλπ.). Τα δίκτυα αυτά συνήθως χαρακτηρίζονται ως **κινητά** αφού οι κόμβοι τους δεν είναι σταθεροί, αλλά κινούνται. Οι τεχνολογίες μετάδοσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα τέτοιο δίκτυο είναι η τεχνολογία υπερύθρων, η τεχνολογία ραδιοσυχνοτήτων και η τεχνολογία των ραδιοκυμάτων.

Υπάρχουν πολλοί τύποι ασύρματων κινητών δικτύων. Ένας τρόπος κατηγοριοποίησής τους είναι σύμφωνα με το μοντέλο λειτουργίας και την αρχιτεκτονική, σε **δίκτυα σταθερής υποδομής** και σε **αδόμητα δίκτυα**.

Στα δίκτυα σταθερής υποδομής η περιοχή κάλυψης υποδιαιρείται σε κυψέλες και κάθε κυψέλη έχει ένα σταθμό βάσης (Mobile Support Station-MSS). Οι σταθμοί βάσης διασυνδέονται μεταξύ τους με τη χρήση ενός σταθερού δικτύου υποδομής υψηλού εύρους ζώνης επικοινωνίας. Τα τερματικά συνδέονται με τους σταθμούς βάσης (ή αλλιώς σημεία πρόσβασης - access points), οι οποίοι είναι συγκεκριμένοι και τοποθετημένοι σε γνωστά και σταθερά σημεία. Το διαδίκτυο είναι ένα παραδοσιακό δίκτυο υποδομής.

Τα αδόμητα δίκτυα ή ad-hoc (κατ' απαίτηση) δίκτυα αποτελούνται από ένα αριθμό γεωγραφικά καταναμημένων κινητών σταθμών που επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω ασύρματων μεταδόσεων. Η διαφορά τους από τα δίκτυα σταθερής υποδομής έγκειται στο γεγονός ότι στα ad-hoc δίκτυα δε μετακινούνται μόνο τα τερματικά αλλά και τα σημεία πρόσβασης, σχηματίζοντας κάθε φορά ένα (προσωρινό) δίκτυο χωρίς τη βοήθεια οποιασδήποτε προϋπάρχουσας υποδομής ή κεντρικής οργάνωσης. [2]

Παράδειγμα Δικτύου Σταθερής Υποδομής



Πηγή: <http://www.ceid.upatras.gr/courses/katanemhmena/wiki/images/3/35/Handout-2007-05-MAY-24.pdf>

Παράδειγμα αδόμητου δικτύου



Όπως θα εξηγήσουμε στη συνέχεια, εξαιτίας των περιορισμένων πόρων στα δίκτυα αυτά, ο σχεδιασμός μιας αποδοτικής και αξιόπιστης στρατηγικής δρομολόγησης αντιμετωπίζει πολλές προκλήσεις. Ένα «έξυπνο» πρωτόκολλο δρομολόγησης εκμεταλλεύεται αποδοτικά τους περιορισμένους πόρους ενώ ταυτόχρονα προσαρμόζεται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες του δικτύου. Παράλληλα, πιθανόν να υπάρχει η απαίτηση το πρωτόκολλο δρομολόγησης να παρέχει διαφορετικά επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας (QoS) ανάλογα με τις ανάγκες διαφορετικών εφαρμογών και χρηστών.[1]

Λειτουργία των MANETs

Τα ασύρματα ad-hoc δίκτυα διαμορφώνονται από κινητούς κόμβους (υπολογιστικές συσκευές) οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα για ασύρματη μετάδοση και λήψη δεδομένων χωρίς να απαιτούν την ύπαρξη κάποιας προϋπάρχουσας δικτυακής υποδομής. Αυτά τα δίκτυα, που είναι γνωστά και ως MANETs (Mobile Ad hoc NETWORKs), μπορούν να λειτουργήσουν είτε αυτόνομα, διαμορφώνοντας groups από ασύρματες συσκευές, είτε κάποιες από αυτές τις ασύρματες συσκευές να συνδεθούν σε κάποιο άλλο σταθερό δίκτυο ή ακόμα και στο Internet. Οι συσκευές μέσα σε ένα τέτοιο δίκτυο έχουν την δυνατότητα επικοινωνίας με οποιαδήποτε άλλη συσκευή η οποία βρίσκεται στην εμβέλεια τους ή στην εμβέλεια μιας γειτονικής τους συσκευής. Στην πρώτη περίπτωση, τα τερματικά επικοινωνούν απευθείας το ένα με το άλλο είτε στέλνοντας πληροφορία σαν αποστολές είτε λαμβάνοντας ως παραλήπτες. Στη δεύτερη περίπτωση, οι κόμβοι λειτουργούν και σαν ενδιάμεσοι routers, προωθώντας πακέτα άλλων κόμβων και επιτρέποντας έτσι την επικοινωνία ανάμεσα σε δύο κόμβους όπου ο ένας βρίσκεται εκτός της ακτίνας μετάδοσης του άλλου. Αυτός είναι και ο λόγος που τα ασύρματα ad-hoc δίκτυα είναι και γνωστά ως multi-hop wireless networks. [3],[4],[5]

Εφαρμογές

Εκτός από τις καθημερινές εφαρμογές και τις υπηρεσίες του παγκόσμιου ιστού που λειτουργούν σε περίπτωση που οποιοσδήποτε κόμβος στο ad-hoc δίκτυο χρησιμεύσει ως μια πύλη προς το διαδίκτυο, τα ad-hoc δίκτυα, έχοντας την ικανότητα της αυτό-δημιουργίας και αυτονομίας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκεί όπου άλλες τεχνολογίες είτε αποτυγχάνουν είτε δεν μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά.

Μερικές γνωστές εφαρμογές των ad-hoc δικτύων είναι:

1. Σε στρατιωτικές επιχειρήσεις όπου η εγκατάσταση δικτυακής υποδομής είναι ανέφικτη και οι ανάγκες για επικοινωνία είναι άμεσες.
2. Για εκπαιδευτικούς λόγους, σε αίθουσες σεμιναρίων ή σε ακαδημαϊκά περιβάλλοντα όπου το ad-hoc δίκτυο εγκαθίσταται επί τόπου από τα laptops και τα PDAs των παρευρισκόμενων χωρίς να εξαρτώνται αποκλειστικά από ένα σημείο πρόσβασης.
3. Σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, μετά από φυσικές ή άλλες καταστροφές, όπου όλες οι υποδομές έχουν καταρρεύσει και υπάρχει άμεση απαίτηση για επικοινωνία, οι εφαρμογές διαχείρισης κρίσεων χρησιμοποιούν τα ad-hoc δίκτυα για την οργάνωση μιας προσωρινής τηλεπικοινωνιακής υποδομής.
4. Σε συστήματα ασφαλείας ή σε συστήματα παρακολούθησης (sensor networks). Τα τελευταία είναι στατικά δίκτυα και χρησιμοποιούνται για τη παρακολούθηση κάποιου μεγέθους, φυσικού φαινομένου ή κάποιας περιοχής και υπάρχει ένας κεντρικός κόμβος που συλλέγει αυτές τις πληροφορίες.
5. Δίκτυα μικρής εμβέλειας, προσωπικά ασύρματα δίκτυα, Bluetooth – Ένα PAN (Personal Area Network) είναι ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο μικρής εμβέλειας, του οποίου οι κόμβοι βρίσκονται κοντά σε ένα άτομο, και συνήθως είναι εγκατεστημένοι στα ρούχα του ή σε προσωπικά του αντικείμενα.[3],[4],[5],[6]

Ιδιαίτερα Χαρακτηριστικά

Δυναμική Τοπολογία: Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι κόμβοι ενός κινητού ad-hoc δικτύου δύνανται να κινούνται συνεχώς και αυθαίρετα. Το αποτέλεσμα είναι να αλλάζει δυναμικά η τοπολογία του δικτύου, νέοι κόμβοι προστίθενται ενώ άλλοι αποχωρούν από το δίκτυο. Σ' αυτό συμβάλλει και το γεγονός ότι οι σύνδεσμοι επικοινωνίας κάθε κόμβου του δικτύου αλλάζουν, καθώς οι κόμβοι προσαρμόζουν την ισχύ μετάδοσής τους σε διάφορες τιμές ανάλογα με τις ανάγκες τους,

Κατανάλωση Ενέργειας: Είναι δίκτυα χαμηλής ενέργειας, αφού μερικοί ή όλοι οι κόμβοι μπορεί να στηρίζονται σε μπαταρίες για παροχή ισχύος με αποτέλεσμα να έχουν περιορισμένους πόρους (διάρκεια ζωής, δυνατότητες αποθήκευσης και επεξεργασίας). Για το λόγο αυτό, η διαχείριση της ενέργειας αποτελεί μείζον θέμα βελτιστοποίησης κατά το σχεδιασμό του όλου συστήματος.

Περιορισμένη ασφάλεια σε φυσικό επίπεδο: Η ευπάθεια των ασύρματων συνδέσμων, η περιορισμένη φυσική προστασία των κόμβων και η έλλειψη μιας κεντρικής παρακολούθησης καθιστούν τα κινητά ασύρματα δίκτυα πιο ευάλωτα σε σύγκριση με τα συμβατικά ενσύρματα.

Χαμηλό εύρος ζώνης και μεταβαλλόμενη χωρητικότητα: Οι ασύρματες συνδέσεις είναι περιορισμένου εύρους ζώνης σε σχέση με τις αντίστοιχες ενσύρματες. Οι σχετικά χαμηλές χωρητικότητες των συνδέσμων και ο χαμηλός ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων μέσα στο δίκτυο έχουν σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση συμφόρησης, παρεμβολής κ.ά. που μπορούν να προκαλέσουν αποτυχίες συνδέσεων ή σημαντικές μεταβολές στο ρυθμό σφάλματος (ποσοστό αποτυχίας) του καναλιού.
[2],[3],[4],[5],[6],[7]

Ποιότητα Υπηρεσίας (Quality of Service)

Για τη σωστή λειτουργία τους πολλές προηγμένες εφαρμογές απαιτούν καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service, QoS). Το ζήτημα της ποιότητας υπηρεσιών είναι πιο δύσκολο να αντιμετωπιστεί στα ad-hoc δίκτυα, συγκριτικά με τα παραδοσιακά, λόγω της συνεχούς μεταβολής της τοπολογίας του δικτύου. Η ποιότητα των υπηρεσιών αναφέρεται στο ποσοστό που ικανοποιείται ο χρήστης από τις υπηρεσίες που παρέχονται από το επικοινωνιακό σύστημα (δίκτυο). Η ποιότητα των υπηρεσιών που προσφέρει ένα δίκτυο, γίνεται αντιληπτή διαφορετικά από τον κάθε χρήστη. Αυτό είναι άμεσο αποτέλεσμα κυρίως των απαιτήσεων που έχει ο καθένας από τα εργαλεία-εφαρμογές που χρησιμοποιεί.

Ο στόχος είναι να μπορέσει να υπάρξει μια όσο το δυνατόν προβλέψιμη συμπεριφορά ώστε να μπορέσει ο κατασκευαστής να εγγυηθεί κατώτατα όρια στις υπηρεσίες που προσφέρει το δίκτυο. Όμως, στα ad-hoc δίκτυα δεν υπάρχει διαθέσιμη έγκυρη πληροφορία για την κατάσταση του δικτύου (λόγω της κινητικότητας των κόμβων) αλλά ούτε και για τους πόρους που διαθέτει ανά πάσα στιγμή το δίκτυο. Έτσι, η εγγύηση για ποιότητα υπηρεσιών είναι δύσκολο να επιτευχθεί και για το λόγο αυτό, τα πρωτόκολλα που έχουν παρουσιαστεί προσεγγίζουν το θέμα με μεγαλύτερη ανεκτικότητα και με τον περιορισμό πως τα δίκτυα θα ικανοποιούν κάποιες απαιτήσεις.

Απαιτήσεις που θέτει η ποιότητα υπηρεσίας για τις μη ελαστικές εφαρμογές είναι το υψηλό εύρος ζώνης, η μικρή καθυστέρηση από άκρο σε άκρο, η μικρή διακύμανση καθυστέρησης (jitter) και οι μικρές απώλειες πακέτων. Το πρόβλημα επομένως είναι πώς

θα μπορούσαμε να εξυπηρετήσουμε τις διάφορες συνδέσεις ταυτόχρονα (multihop network) χωρίς συγκρούσεις, απώλειες και καθυστερήσεις.[4],[5],[7]

Προβλήματα-Περιορισμοί

1. Η δυναμικότητα που παρουσιάζουν τα κινητά ad-hoc δίκτυα, με τους κόμβους να εισέρχονται ή να αφήνουν το δίκτυο ανά πάσα στιγμή, έχει σαν αποτέλεσμα να μην γνωρίζουμε την καθολική κατάσταση του δικτύου. Οι σταθμοί δυσκολεύονται να αποφασίσουν για την κατάσταση της τοπικής γειτονιάς τους πόσο μάλλον για την καθολική κατάσταση του δικτύου. Η άγνοια της κατάστασης του δικτύου έχει σαν αποτέλεσμα να μην μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια κεντρικοποιημένη αρχιτεκτονική, δηλαδή μια αρχιτεκτονική στην οποία ένας κόμβος να γνωρίζει την κατάσταση του δικτύου και να καθορίζει τότε θα εκπέμψει κάθε σταθμός του δικτύου.
2. Χωρίς κάποιο κεντρικό έλεγχο και συντονισμό είναι δύσκολο να επιτευχθεί συνεργασία μεταξύ γειτονικών σταθμών ώστε να αποφασίσουν τότε θα εκπέμψει ο καθένας. Επειδή όλοι οι σταθμοί μοιράζονται το ίδιο ραδιοκανάλι (τον αέρα), σε περίπτωση που εκπέμψουν ταυτόχρονα τα ραδιοπακέτα τους θα συγκρουστούν και η πληροφορία θα χαθεί.
3. Η μεγαλύτερη αδυναμία του ασύρματου καναλιού είναι ότι δεν εμφανίζει αξιοπιστία για διάφορους λόγους, όπως εξασθένηση και παρεμβολές.[7]

Δρομολόγηση

Η δρομολόγηση στα ad-hoc δίκτυα είναι πιο απαιτητική σε σχέση με τα ενσύρματα δίκτυα, λόγω των περιορισμών που τίθενται σε τέτοιου τύπου δίκτυα. Μία από τις βασικότερες ιδιαιτερότητες που πρέπει να αντιμετωπίσουν οι αλγόριθμοι δρομολόγησης των ασύρματων δικτύων είναι η κινητικότητα των χρηστών, η οποία αλλάζει πολύ συχνά την τοπολογία του δικτύου, με αποτέλεσμα να απαιτείται η κατασκευή νέων διαδρομών. Επιπρόσθετα, εξαιτίας του περιορισμένου διαθέσιμου εύρους ζώνης στα ασύρματα δίκτυα, απαιτείται ο αριθμός των σχετικών με την δρομολόγηση μηνυμάτων να είναι περιορισμένος και πρέπει να ισορροπηθούν απαιτήσεις που έρχονται σε αντίθεση μεταξύ τους όπως σύντομα μονοπάτια, μικρός αριθμός συγκρούσεων, διατήρηση της συνεκτικότητας του δικτύου κ.ά. Επίσης, στα ασύρματα δίκτυα το ποσοστό των πακέτων που χάνονται είναι αρκετά υψηλό, τόσο λόγω της αυξημένης πιθανότητας λαθών μετάδοσης, όσο και της αυξημένης πιθανότητας καταστροφής συνδέσεων (π.χ. εξαιτίας της μετακίνησης ενός κόμβου). [8]

Επομένως, 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 κάθε εφαρμογή των ad hoc δικτύων έχει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά (traffic, device capabilities, mobility patterns κ.ά) με αποτέλεσμα η δρομολόγηση να αποτελεί μια πρόκληση και πληθώρα πρωτοκόλλων έχουν αναπτυχθεί. Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε ότι δεν υπάρχει μοναδική επικρατέστερη λύση για το πρόβλημα της δρομολόγησης σε ασύρματα ad hoc δίκτυα, με αποτέλεσμα η επιλογή του τελικά χρησιμοποιούμενου πρωτοκόλλου να εξαρτάται τόσο από τις σχεδιαστικές απαιτήσεις, όσο και από το περιβάλλον λειτουργίας του εκάστοτε δικτύου. [5]

Πρωτόκολλα δρομολόγησης

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, οι κόμβοι ενός ad hoc δικτύου δε γνωρίζουν εξ' αρχής την τοπολογία του δικτύου τους αλλά την ανακαλύπτουν. Υπάρχουν πολλές κατηγορίες πρωτοκόλλων δρομολόγησης σε κινητά ad hoc δίκτυα. Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε κυρίως με τα proactive, reactive και hybrid πρωτόκολλα.

A. Proactive (table-driven) πρωτόκολλα



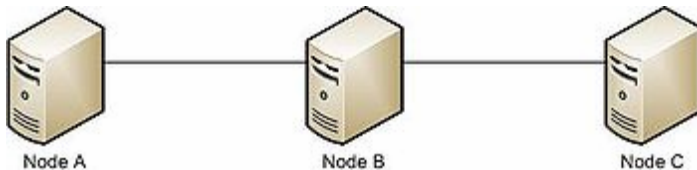
Στα proactive (ή table-driven) πρωτόκολλα υπολογίζονται συνεχώς οι διαδρομές μέσα σ' ένα δίκτυο και οι πίνακες δρομολόγησης ανανεώνονται και διανέμονται περιοδικά στους κόμβους του δικτύου. Επομένως κάθε κόμβος διαθέτει μια υπαρκτή διαδρομή, κάθε χρονική στιγμή για κάθε προορισμό. Τα βασικά μειονεκτήματα τέτοιων αλγορίθμων είναι οι μεγάλες ποσότητες δεδομένων που διατηρούνται ώστε να υπάρχει συνεχής ενημέρωση για τη τοπολογία του δικτύου καθώς και η αργή αντίδραση σε ανακατατάξεις και αποτυχίες.

Στη συνέχεια εξετάζουμε ορισμένα πρωτόκολλα αυτής της κατηγορίας.

1. DSDV (Destination-Sequenced Distance Vector) routing protocol

Ο DSDV βασίζεται στον αλγόριθμο δρομολόγησης του Bellman Ford με κάποιες βελτιώσεις και αναπτύχθηκε από τους C. Perkins και P. Bhagwat το 1994. Τα πακέτα μεταδίδονται μεταξύ των κόμβων του δικτύου χρησιμοποιώντας πίνακες δρομολόγησης που αποθηκεύονται σε κάθε κόμβο του δικτύου. Κάθε πίνακας δρομολόγησης περιέχει όλους τους προορισμούς και τον αριθμό των hops προς αυτούς, δηλαδή την απόστασή τους.

Σε μια δυναμική τοπολογία, όπως τα ad-hoc δίκτυα, για να ενημερώνεται το περιεχόμενο των πινάκων δρομολόγησης με τις αλλαγές στο δίκτυο, κάθε κόμβος περιοδικά εκπέμπει ενημερώσεις (updates). Οι ενημερώσεις αυτές γίνονται μόλις υπάρξουν σημαντικές πληροφορίες. Οι πληροφορίες αυτές διαφημίζονται εκπέμποντας πακέτα σε περιοδικά διαστήματα. Τα διαστήματα αυτά πυκνώνουν όταν η τοπολογία αλλάζει, όταν δηλαδή μετακινούνται κόμβοι προς και από το δίκτυο. Το πρωτόκολλο αυτό επομένως απαιτεί κάθε κινητός κόμβος στο δίκτυο να διαφημίζει στους γειτονικούς του κόμβους τον πίνακα δρομολόγησης του σε τακτά χρονικά διαστήματα, ώστε σε περίπτωση που αλλάξει να ενημερωθούν οι υπόλοιποι κόμβοι για την αλλαγή. Συνεπώς, «ακούγοντας» διαρκώς το κανάλι και γνωρίζοντας ανά πάσα στιγμή τη τοπολογία του δικτύου, όταν χρειαστεί να γίνει μια σύνδεση, η διαδρομή είναι ήδη γνωστή και επομένως δεν χρειάζεται να γίνει ανακάλυψη του μονοπατιού (των κόμβων που συμμετέχουν σε αυτήν), η οποία θα προσθέσει επιπλέον καθυστέρηση στο δίκτυο.



Για παράδειγμα, ο πίνακας δρομολόγησης του κόμβου A στο παραπάνω δίκτυο είναι ο εξής:

Destination	Next Hop	Number of Hops	Sequence Number	Install Time
A	A	0	A 46	001000
B	B	1	B 36	001200
C	B	2	B 28	001500

Πηγή: http://en.wikipedia.org/wiki/Destination-Sequenced_Distance_Vector_routing

Ο αλγόριθμος αυτός είναι κατάλληλος για δίκτυα με μικρό αριθμό κόμβων. 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. [9],[10],[11]

2. WRP (Wireless Routing Protocol)

Το WRP χρησιμοποιεί μια εμπλουτισμένη έκδοση του distance-vector πρωτοκόλλου δρομολόγησης και λόγω της κινητικότητας των κόμβων, το πρωτόκολλο εισάγει μηχανισμούς οι οποίοι μειώνουν τους βρόγχους και διασφαλίζουν την αξιόπιστη ανταλλαγή μηνυμάτων. Λειτουργεί παρόμοια με το πρωτόκολλο DSDV αλλά διαφέρει στη διατήρηση των πινάκων και στις διαδικασίες ανανέωσης καθώς χρησιμοποιεί ένα σύνολο πινάκων ώστε να διατηρεί πιο ακριβείς πληροφορίες. Κάθε κόμβος διατηρεί τους εξής πίνακες:

A. Πίνακα απόστασης (distance table). Περιέχει την απόσταση ενός κόμβου X από τον κόμβο προορισμού Y μέσω κάθε γειτονικού κόμβου Z στον X.

B. Πίνακα δρομολόγησης (routing table). Περιέχει για έναν κόμβο X, την απόστασή του από τον προορισμό του Y, τον πρόγονο του, τον απόγονό του και μια ετικέτα που προσδιορίζει την κατάσταση της διαδρομής (απλό μονοπάτι, βρόγχος, άκυρος προορισμός). Η αποθήκευση των προηγούμενων και επόμενων κόμβων συμβάλλει στον εντοπισμό βρόγχων και την αποφυγή του προβλήματος του ατέρμονου υπολογισμού (counting-to-infinity problem).

Γ. Πίνακα σύνδεσης-κόστους (link-cost table). Περιέχει το κόστος σύνδεσης του κόμβου με τον κάθε γείτονά του, και τον αριθμό των διακοπών από τη στιγμή που ένας γειτονικός κόμβος παρέλαβε ένα μήνυμα, χωρίς λάθη.

Δ. Λίστα επαναμετάδοσης μηνυμάτων (message retransmission list-MRL). Περιέχει τις πληροφορίες που επιτρέπουν σε έναν κόμβο να γνωρίζει ποιος από τους γειτονικούς του κόμβους δεν έλαβε το αναβαθμισμένο μήνυμα έτσι ώστε να του το μεταδώσει ξανά.

Οι κόμβοι περιοδικά ανταλλάσσουν τους πίνακες δρομολόγησης με τους

γειτονικούς τους κόμβους μέσω μηνυμάτων update ή όποτε αλλάζει ο πίνακας σύνδεσης-κόστους. Όταν δεν υπάρχει τροποποίηση στον πίνακα δρομολόγησης, ο κόμβος μεταδίδει ένα απλό μήνυμα ώστε να επιβεβαιώσει τη συνδεσιμότητά του. Όταν ένας κόμβος λαμβάνει ένα μήνυμα update, ανανεώνει τον πίνακα απόστασής του και επαναπροσδιορίζει τα καλύτερα μονοπάτια σύμφωνα με τα νέα δεδομένα. Επίσης, ελέγχει τη συνέπεια όλων των γειτονικών του κόμβων κάθε φορά που ανιχνεύει μια αλλαγή στη σύνδεση, ώστε να ελαχιστοποιήσει τους βρόγχους.

Ενώ το βασικό πλεονέκτημα του WRP είναι η αξιοσημείωτη μείωση της πιθανότητας βρόγχων, μειονέκτημά του είναι το γεγονός ότι κάθε κόμβος διατηρεί απαραίτητα τις πλήρεις πληροφορίες για τη δρομολόγησή του στο δίκτυο. Έτσι σε περιπτώσεις υψηλής κινητικότητας των κόμβων, απαιτείται αρκετά μεγάλη αποθηκευτική ικανότητα και υπολογιστική δύναμη, παρόμοια με τον αλγόριθμο DSDV. [9],[10],[11]

3. CGSR (Cluster-Head Gateway Switch Routing)

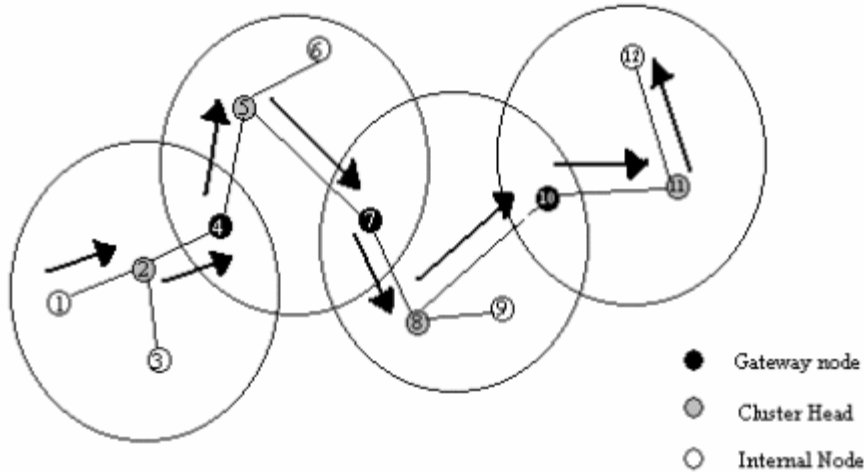
Το πρωτόκολλο CGSR χρησιμοποιεί τον DSDV ως βασικό αλγόριθμο δρομολόγησης. Εδώ, όμως, το δίκτυο κινητών κόμβων χωρίζεται σε τομείς (clusters) και ένας καταναμημένος αλγόριθμος χρησιμοποιείται για να εκλέξει έναν κόμβο ως κεφαλή τομέα (cluster head). Όλοι οι κόμβοι που βρίσκονται μέσα στην εμβέλεια επικοινωνίας της κεφαλής ανήκουν στον τομέα της. Ένας κόμβος ο οποίος βρίσκεται μέσα στην εμβέλεια επικοινωνίας δύο ή περισσότερων κεφαλών λέγεται πύλη (gateway). Λόγω της δυναμικής τοπολογίας του δικτύου, οι κόμβοι που παίζουν το ρόλο της κεφαλής αλλάζουν πολύ συχνά, γεγονός που μειώνει την απόδοσή του. Γι' αυτό χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος LCC (Least Cluster Change). Σύμφωνα με αυτόν, αλλαγή κεφαλής τομέα σημειώνεται μόνο όταν δύο κεφαλές βρεθούν μέσα στον ίδιο τομέα ή όταν ένας από τους κόμβους κινείται εκτός της εμβέλειας όλων των κεφαλών.

Μια κεφαλή τομέα ελέγχει μια ομάδα ad-hoc κόμβων που σημαίνει ότι έχει αναλάβει να εκπέμπει μέσα στον τομέα, προωθώντας μηνύματα και ελέγχοντας δυναμικά την πρόσβαση στο κανάλι.

Κάθε κόμβος διατηρεί δύο πίνακες:

1. έναν πίνακα «μελών τομέων» ο οποίος περιέχει την κεφαλή τομέα για κάθε κόμβο προορισμό.
2. έναν πίνακα δρομολόγησης (distance-vector) ο οποίος χρησιμοποιείται για να καθορίσει το επόμενο hop προκειμένου να φτάσουμε στον προορισμό.

Ο πίνακας «μελών τομέων» μεταδίδεται περιοδικά από κάθε κόμβο χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο DSDV και ανανεώνεται μόλις ο κόμβος λάβει ένα νέο πίνακα από τους γείτονές του. Όταν ένας κόμβος λάβει ένα πακέτο για να το δρομολογήσει, βρίσκει την κοντινότερη κεφαλή τομέα κατά μήκος της διαδρομής προς τον προορισμό σύμφωνα με τον πίνακα «μελών τομέων» και τον πίνακα δρομολόγησης. Έπειτα, συμβουλευεται τον πίνακα δρομολόγησης ώστε να βρει το επόμενο hop που θα τον οδηγήσει προς την επιλεγμένη κεφαλή και μεταδίδει το πακέτο στον κόμβο αυτό.



Πηγή:

<http://wiki.uni.lu/secan-lab/Cluster-Head+Gateway+Switch+Routing+Protocol.html>

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, πρώτα η πηγή πρέπει να μεταδώσει το πακέτο στη κεφαλή του τομέα της. Στη συνέχεια, η κεφαλή στέλνει το πακέτο στην πύλη η οποία ενώνει την κεφαλή αυτή με την επόμενη κεφαλή κατά μήκος της διαδρομής προς τον προορισμό. Η πύλη στέλνει το πακέτο στην επόμενη κεφαλή. Αυτό συνεχίζεται μέχρι να φτάσει στην κεφαλή τομέα του κόμβου προορισμού η οποία μεταδίδει το πακέτο στον κόμβο-προορισμό.

Η δρομολόγηση με τον αλγόριθμο CSGR είναι πιο αποτελεσματική απ' ό,τι με τον DSDV καθώς το μέγεθος του πίνακα δρομολόγησης είναι μικρότερο, αφού διατηρεί μια εγγραφή για κάθε τομέα-προορισμό αντί για κάθε κόμβο προορισμό. Επομένως, είναι πιο αποδοτικό σε σχέση με τα δύο προηγούμενα πρωτόκολλα. [9],[10],[11]

Συγκριτικός πίνακας των *proactive (table-driven)* πρωτοκόλλων

Parameters	DSDV	CGSR	WRP
Time Complexity (link addition / failure)	$O(d)$	$O(d)$	$O(h)$
Communication Complexity (link addition / failure)	$O(x=N)$	$O(x=N)$	$O(x=N)$
Routing Philosophy	Flat	Hierarchical	Flat ¹
Loop Free	Yes	Yes	Yes, but not instantaneous
Multicast Capability	No	No ²	No
Number of Required Tables	Two	Two	Four
Frequency of Update Transmissions	Periodically & as needed	Periodically	Periodically & as needed
Updates Transmitted to	Neighbors	Neighbors & cluster head	Neighbors
Utilizes Sequence Numbers	Yes	Yes	Yes
Utilizes "Hello" Messages	Yes	No	Yes
Critical Nodes	No	Yes (cluster head)	No
Routing Metric	Shortest Path	Shortest Path	Shortest Path

N = Number of nodes in the network

d = Network diameter

h = Height of routing tree

x = Number of nodes affected by a topological change

Πηγή:

http://bwrc.eecs.berkeley.edu/classes/ee290q/ReadingAssignments/Week7RA_Daekyeon_gMoon.ppt (A Review of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks by Elizabeth M. Royer, Chai-keong Toh)

B. Reactive (demand-driven) πρωτόκολλα



Στα reactive (ή demand-driven) πρωτόκολλα οι διαδρομές μεταξύ των κόμβων δεν υπάρχουν από την αρχή αλλά δημιουργούνται κάθε φορά που ένας κόμβος θέλει να στείλει ένα μήνυμα. Η διαδρομή διατηρείται μόνο μέχρι το μήνυμα να φτάσει στον προορισμό του εκτός αν συμβεί μια τέτοια αλλαγή στην τοπολογία του δικτύου που θα έχει ως αποτέλεσμα την ακύρωση της διαδρομής πριν ολοκληρωθεί η αποστολή του μηνύματος. Ενώ η διαδικασία αυτή απαιτεί μικρότερο εύρος ζώνης απ' ότι στα proactive πρωτόκολλα, το βασικό μειονέκτημά τους είναι οι καθυστερήσεις στην εύρεση της κατάλληλης διαδρομής όταν μια επικοινωνία ξεκινά.

Στη συνέχεια θα εξετάσουμε μερικά από τα πιο βασικά πρωτόκολλα αυτής της κατηγορίας:

1. AODV (Ad-Hoc On Demand Distance-Vector) Routing

Το AODV είναι ένα πρωτόκολλο ειδικά σχεδιασμένο για κινητά ad hoc δίκτυα και υποστηρίζει τόσο unicast όσο και multicast δρομολόγηση. Αποφεύγει το πρόβλημα του ατέρμονος υπολογισμού που έχουν τα υπόλοιπα distance-vector πρωτόκολλα χρησιμοποιώντας αριθμούς ακολουθίας στις ανανεώσεις των διαδρομών, μια τεχνική που πρωτοεφάρμοσε ο αλγόριθμος DSDV.

Όταν απαιτείται μια διαδρομή μεταξύ δύο κόμβων, η πηγή εκπέμπει ένα αίτημα (RouteRequest packet) για σύνδεση. Οι ενδιαμέσοι κόμβοι προωθούν το μήνυμα αυτό, έχοντας καταγράψει τον κόμβο-πηγή στους πίνακες δρομολόγησης τους, ώστε να του στείλουν πίσω κάθε πιθανή διαδρομή. Όταν ένας κόμβος λάβει ένα τέτοιο μήνυμα και έχει ήδη μια διαδρομή προς τον επιθυμητό κόμβο, στέλνει ένα μήνυμα προς τα πίσω, μέσω μιας προσωρινής διαδρομής, στον αιτούντα κόμβο ο οποίος στη συνέχεια χρησιμοποιεί τη διαδρομή με το μικρότερο αριθμό hops.

Η βασική διαφορά μεταξύ του AODV και των άλλων reactive πρωτοκόλλων δρομολόγησης είναι ότι χρησιμοποιεί έναν αριθμό ακολουθίας προορισμού (DestSeqNum) για να προσδιορίσει ένα πρόσφατο μονοπάτι προς τον προορισμό. Ένας κόμβος ανανεώνει τις πληροφορίες διαδρομής μόνο εάν ο αριθμός ακολουθίας προορισμού του πακέτου που μόλις ελήφθη είναι μεγαλύτερος από τον τελευταίο αριθμό ακολουθίας ο οποίος είναι ήδη αποθηκευμένος στον κόμβο.

Όταν ένας ενδιαμέσος κόμβος λαμβάνει ένα RouteRequest είτε το προωθεί είτε ετοιμάζει μια απάντηση (RouteReply) εάν είναι ο τελικός προορισμός ή αν έχει έγκυρη (πιο νέα) διαδρομή προς τον προορισμό. Η εγκυρότητα μιας διαδρομής στον ενδιαμέσο κόμβο καθορίζεται συγκρίνοντας τον αριθμό ακολουθίας στον ενδιαμέσο κόμβο με τον αριθμό ακολουθίας προορισμού στο πακέτο RouteRequest. Όλοι οι ενδιαμέσοι κόμβοι οι οποίοι έχουν έγκυρες διαδρομές προς τον προορισμό επιτρέπεται να στέλνουν πακέτα RouteReply στον κόμβο-πηγή. Κάθε ενδιαμέσος κόμβος, καθώς προωθεί ένα RouteRequest, αποθηκεύει τη διεύθυνση του προηγούμενου του κόμβου.

Μόλις ο κόμβος-πηγή λάβει ένα RouteReply, οι πληροφορίες για τον

προηγούμενο κόμβο από τον οποίο ελήφθη το πακέτο επίσης αποθηκεύονται, έτσι ώστε να προωθήσουν το μήνυμα σε αυτόν ως το επόμενο hop προς τον προορισμό. Έτσι, ξεκινάει να στέλνει τα πακέτα δεδομένων στον κόμβο προορισμού. Εάν ο κόμβος-πηγή λάβει αργότερα ένα RouteReply περιέχοντας έναν μεγαλύτερο αριθμό ακολουθίας ή ένα RouteReply με τον ίδιο αριθμό ακολουθίας αλλά με λιγότερα hop, μπορεί να ενημερώσει τον πίνακα δρομολόγησής του και να επιλέξει τη "καλύτερη" διαδρομή.

Όταν έναν σύνδεσμος μιας ενεργής διαδρομής αποτύχει, δημιουργείται ένα σφάλμα διαδρομής το οποίο στέλνεται στον κόμβο-πηγή και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

Η πολυπλοκότητα του πρωτοκόλλου έγκειται στη μείωση του αριθμού των μηνυμάτων ούτως ώστε να συντηρηθεί η χωρητικότητα του δικτύου. Για παράδειγμα, κάθε αίτημα για διαδρομή έχει έναν αριθμό ακολουθίας. Οι κόμβοι χρησιμοποιούν τον αριθμό αυτό ώστε να μην επαναλαμβάνουν τα αιτήματα διαδρομών που έχουν ήδη εξυπηρετηθεί. Άλλο χαρακτηριστικό είναι ότι τα αιτήματα διαδρομών έχουν έναν αριθμό «time to live» ο οποίος περιορίζει τις φορές που μπορούν να επαναμεταδοθούν.

Το πλεονέκτημα του AODV είναι ότι δε δημιουργεί επιπλέον κυκλοφορία για την επικοινωνία κατά μήκος των υπαρχόντων συνδέσμων. Επίσης, η δρομολόγηση distance vector είναι απλή και δε χρειάζεται μεγάλη μνήμη ή υπολογιστική ικανότητα. Όμως, ο AODV απαιτεί περισσότερο χρόνο για να εγκαθιδρύσει μια σύνδεση αρχικά σε σύγκριση με άλλες προσεγγίσεις. [9],[10],[11]

2. DSR (Dynamic Source Routing)

Το DSR είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης για ασύρματα δίκτυα πλέγματος. Μοιάζει με το AODV στο ότι δημιουργεί μια διαδρομή κατ' απαίτηση, όταν δηλαδή ένας κόμβος θέλει να στείλει ένα μήνυμα. Όμως, χρησιμοποιεί δρομολόγηση πηγής αντί να βασίζεται στον πίνακα δρομολόγησης κάθε ενδιάμεσης συσκευής και όλες οι πληροφορίες δρομολόγησης διατηρούνται (και συνεχώς ανανεώνονται) στους κινητούς κόμβους. Έχει δύο φάσεις: i) Ανακάλυψη διαδρομών και ii) Συντήρηση διαδρομών.

Όταν ένας κόμβος-πηγή θελήσει να στείλει δεδομένα, πρώτα δρομολογεί ένα πακέτο RouteRequest το οποίο μεταδίδεται στο δίκτυο. Κάθε ενδιάμεσος κόμβος που το λαμβάνει για πρώτη φορά, επισυνάπτει σε αυτό και τη δική του διεύθυνση και το επαναμεταδίδει στους γείτονές του (αν δεν το έχουν λάβει ακόμη), δημιουργώντας έτσι τον κατάλογο των κόμβων από τους οποίους πέρασε.

Κάθε RouteRequest διαθέτει έναν αριθμό ακολουθίας που παράγεται από την πηγή καθώς και το μονοπάτι που έχει διασχίσει. Ένας κόμβος που λαμβάνει ένα πακέτο RouteRequest ελέγχει τον αριθμό ακολουθίας του πριν το προωθήσει, ώστε να αποφευχθούν βρόγχοι και πολλαπλές μεταδόσεις του ίδιου πακέτου από τον ίδιο ενδιάμεσο κόμβο που το λαμβάνει μέσω διαφορετικών διαδρομών. Ο κόμβος-προορισμός, αφού λάβει το πρώτο πακέτο RouteRequest, απαντά στην πηγή μέσω της αντίστροφης διαδρομής από αυτή που είχε διασχίσει το πακέτο RouteRequest.

Σε περίπτωση λανθασμένης μετάδοσης, ξεκινά η φάση «Συντήρηση διαδρομών» όπου τα πακέτα σφάλματος (RouteError) παράγονται σε έναν κόμβο. Το εσφαλμένο hop αφαιρείται από την cache διαδρομών του κόμβου και όλες οι διαδρομές που περιέχουν αυτό το hop «κόβονται» σε αυτό το σημείο. Έπειτα, ξεκινά πάλι η φάση «Ανακάλυψη διαδρομών» για να καθορίσει την «καλύτερη» διαδρομή.

Ο DSR βασίζεται στους αλγόριθμους link-state πράγμα που σημαίνει ότι κάθε κόμβος είναι ικανός να αποθηκεύει την καλύτερη διαδρομή προς έναν προορισμό. Επίσης, αν η τοπολογία του δικτύου αλλάξει, όλο το δίκτυο πληροφορείται για την αλλαγή μέσω της τεχνικής της «πλημμύρας». Έτσι, εάν ένας ενδιάμεσος κόμβος έχει ήδη αποθηκευμένη μια διαδρομή προς τον προορισμό, τότε απαντά στην πηγή στέλλοντάς της ένα RouteReply με όλες τις πληροφορίες διαδρομής από την πηγή προς τον προορισμό.

Το πρωτόκολλο αυτό έχει τα πλεονεκτήματα των reactive πρωτοκόλλων με αποτέλεσμα να κρατάει σε χαμηλά επίπεδα την κίνηση στο δίκτυο. Το μειονέκτημα είναι ότι ο μηχανισμός «Συντήρηση διαδρομών» δεν επιδιορθώνει τοπικά ένα σπασμένο σύνδεσμο. Αν και το πρωτόκολλο λειτουργεί καλά σε στατικά και χαμηλής κινητικότητας περιβάλλοντα, η απόδοσή του μειώνεται δραματικά με την αύξηση της κινητικότητας. [9],[10],[11]

3. TORA (Temporally Ordered Routing Algorithm)

Ο αλγόριθμος TORA χρησιμοποιείται σε ασύρματα δίκτυα πλέγματος και σε κινητά ad hoc δίκτυα. Αναπτύχθηκε από τον Vincent Park στο Πανεπιστήμιο του Maryland και στο ερευνητικό εργαστήριο Naval και ανήκει στην οικογένεια των αλγορίθμων δρομολόγησης αντίστροφων συνδέσεων (link reversal).

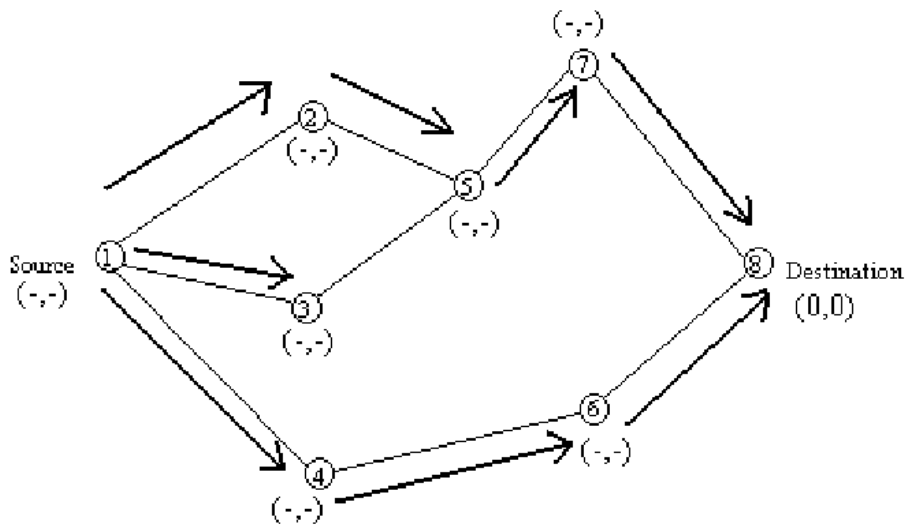
Αποτελείται από τρεις φάσεις: i) Δημιουργία διαδρομών, ii) Συντήρηση διαδρομών και iii) Εξάλειψη διαδρομών. Οποιαδήποτε χρονική στιγμή σε κάθε κόμβο του δικτύου αντιστοιχίζεται μια πλειάδα τιμών, οι εξής:

1. Λογικός χρόνος αποτυχίας σύνδεσης
2. Μοναδικό αναγνωριστικό (ID) του κόμβου-πηγή
3. Δυαδικό ψηφίο δεικτών αντανάκλασης
4. Παράμετρος διάδοσης
5. Μοναδική ταυτότητα του ίδιου του κόμβου

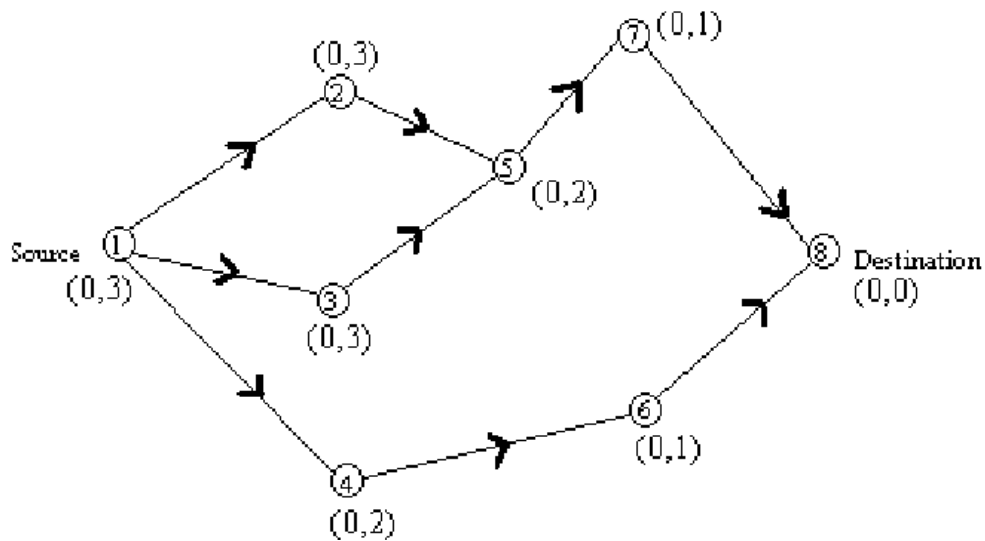
Η πλειάδα αυτή αντιπροσωπεύει τη μεταβλητή “height” του κόμβου. Ο TORA κατασκευάζει και διατηρεί έναν Κατευθυνόμενο Ακυκλικό Γράφο μέσω του οποίου γίνεται η δρομολόγηση από την πηγή προς τον προορισμό. Αυτό σημαίνει ότι δεν μπορούν τρεις κόμβοι να έχουν το ίδιο “height”.

Το πρωτόκολλο χρησιμοποιεί τρία διαφορετικά πακέτα ελέγχου: τα Query(QRY), τα Update(UPD) και τα Clear(CLR). Η δημιουργία διαδρομών γίνεται χρησιμοποιώντας τα πακέτα QRY και UDP. Με την εκκίνηση του αλγόριθμου, τίθεται η τιμή “height” του κόμβου προορισμού ίση με 0, ενώ οι υπόλοιπες τιμές ίσες με “NULL”. Η πηγή του μηνύματος μεταδίδει ένα πακέτο QRY με την ταυτότητα του κόμβου προορισμού σε αυτό. Με τον τρόπο αυτό, κάθε κόμβος στη διαδρομή που έχει height non-NULL, ανταποκρίνεται με ένα UPD πακέτο που έχει το ύψος του. Στη συνέχεια, κάθε κόμβος που λαμβάνει ένα τέτοιο πακέτο, αυξάνει το δικό του height κατά ένα περισσότερο από αυτό του κόμβου που προήλθε.

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 β, 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

Πηγή: http://www.cse.wustl.edu/~jain/cis788-99/ftp/adhoc_routing/index.html#TORA

Σε περίπτωση μετακίνησης κόμβων, κάποια διαδρομή προς έναν προορισμό σπάει και η φάση «Συντήρηση διαδρομών» είναι υπεύθυνη για την εύρεση μιας νέας διαδρομής προς τον ίδιο προορισμό. Επίσης, οι άκυρες διαδρομές «σβήνονται» από το δίκτυο μέσω της ραδιοφωνικής μετάδοσης πακέτων CLR σε όλο το δίκτυο (φάση «Εξάλειψης διαδρομών»). [9],[10],[11]

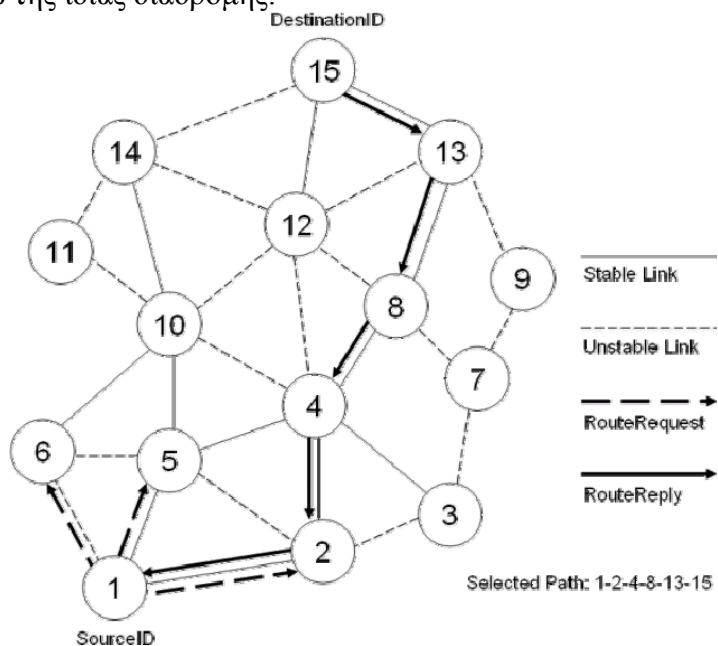
Πλεονέκτημα του αλγόριθμου είναι ότι οι ενδιαμέσοι κόμβοι διατηρούν πληροφορίες δρομολόγησης μόνο προς τους γειτονικούς τους, αποφεύγοντας τις καθυστερήσεις και τον μεγάλο αποθηκευτικό φόρτο της διατήρησης ολοκληρωμένων διαδρομών. Μειονέκτημά του είναι ότι δημιουργεί προσωρινά άκυρες διαδρομές, εισάγοντας έτσι καθυστερήσεις.[1]

4. ABR (Associativity-Based Routing)

Ο αλγόριθμος ABR αναπτύχθηκε από τον C.K. Toh στο Πανεπιστήμιο του Cambridge το 1996. Ακολουθεί δρομολόγηση πηγής και η διαδρομή επιλέγεται με βάση την προσωρινή σταθερότητα των συνδέσεων μεταξύ των κόμβων. Κάθε κόμβος εκπέμπει περιοδικά απλά μηνύματα ώστε να επισημαίνει την ύπαρξή του στους γείτονες. Αυτά τα μηνύματα χρησιμοποιούνται για να ενημερώσουν τον πίνακα «σταθερότητας ένωσης» (associativity table) κάθε κόμβου. Με την προσωρινή σταθερότητα και τον πίνακα associativity, οι κόμβοι είναι ικανοί να κατηγοριοποιήσουν κάθε γειτονική τους σύνδεση σε σταθερή ή μη-σταθερή. Το πρωτόκολλο ABR καθορίζει μία νέα μετρική για τη δρομολόγηση που είναι γνωστή ως βαθμός σταθερότητας ένωσης.

Βασικός σκοπός του ABR είναι να ανακαλύψει διαδρομές με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Αποτελείται από τρεις φάσεις: i)Ανακάλυψη διαδρομών, ii)Επιδιόρθωση/Ανακατασκευή διαδρομών και iii)Διαγραφή διαδρομών.

Στην **πρώτη φάση** αν ο κόμβος-πηγή έχει ήδη στην cache του μια διαδρομή προς τον προορισμό, τότε χρησιμοποιεί αυτή. Αν όχι, το δίκτυο πλημμυρίζεται με πακέτα RouteRequest τα οποία προωθούνται μόνο από κάθε ενδιάμεσο κόμβο, όπως στο DSR. Μόλις ένας ενδιάμεσος κόμβος λάβει ένα RouteRequest, του επισυνάπτει τη διεύθυνσή του και τις τιμές σταθερότητας της σύνδεσης. Όταν το RouteRequest φτάσει στον προορισμό, αυτός θα περιμένει ένα χρονικό διάστημα πριν επιλέξει την καλύτερη διαδρομή εξετάζοντας τις τιμές της σταθερότητας κατά μήκος κάθε μονοπατιού. Εάν πολλές διαδρομές έχουν τον ίδιο βαθμό σταθερότητας, επιλέγεται η διαδρομή με τον ελάχιστο αριθμό hops. Έπειτα, ο προορισμός στέλνει ένα πακέτο Reply πίσω στην πηγή, μέσω της ίδιας διαδρομής.



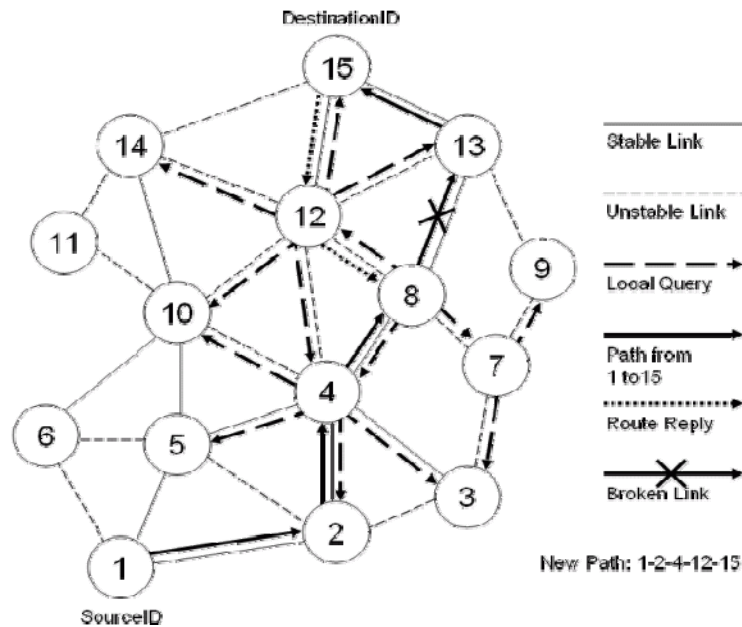
Πηγή: <http://wiki.uni.lu/secan-lab/Associativity-Based+Routing.html>

Οι τρεις πιθανές διαδρομές από τον κόμβο 1 προς τον κόμβο 15 είναι οι εξής: 1-5-10-14-15, 1-5-4-12-15 και 1-2-4-8-13-15. Το ABR επιλέγει τη διαδρομή 3 λόγω του μεγάλου ποσοστού σταθερών συνδέσεων σε αυτό το μονοπάτι.

Κατά τη **δεύτερη φάση** υπάρχουν δύο περιπτώσεις:

A) Η σύνδεση είναι «σπασμένη».

Η σπασμένη σύνδεση εντοπίζεται από όλους τους γειτονικούς κόμβους μέσω των απλών μηνυμάτων. Ο πλησιέστερος στην πηγή κόμβος ξεκινά μια διαδικασία τοπικής επιδιόρθωσης διαδρομής. Πρώτα ο κόμβος εκπέμπει ένα πακέτο RouteRepair (local query LQ) στους γείτονές του. Αν ο κόμβος αυτός δεν μπορέσει να επιδιορθώσει τη σπασμένη σύνδεση, ο επόμενος κόμβος στη κατεύθυνση της πηγής ξεκινά και πάλι την εκπομπή LQ πακέτων. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου ο κόμβος στο μέσο του χαλασμένου μονοπατιού αποτύχει να επιδιορθώσει την άκυρη σύνδεση. Μετά η πηγή ειδοποιείται να αρχίσει μια νέα διαδικασία «Ανακάλυψης διαδρομής».



Πηγή: <http://wiki.uni.lu/secan-lab/Associativity-Based+Routing.html>

Σπασμένο μονοπάτι: 8-13-15/ Ο κόμβος 8 ξεκινά την εκπομπή LQ/ Νέο μονοπάτι: 8-12-15.

B) Μετακινείται κάποιος κόμβος.

Πρώτα, ο τελευταίος κόμβος πριν τον προορισμό σβήνει τη διαδρομή του. Μετά ξεκινά μια διαδικασία LQ ώστε αν ελέγξει εάν ο κόμβος είναι ακόμα προσπελάσιμος. Εάν ο προορισμός είναι προσπελάσιμος, επιλέγει την καλύτερη μερική διαδρομή και απαντά. Διαφορετικά, η διαδικασία LQ προωθείται στον επόμενο ανερχόμενο (upstream) κόμβο. Ένα μήνυμα Ειδοποίησης Διαδρομής στέλνεται στον επόμενο ανερχόμενο κόμβο για να διαγράψει την άκυρη διαδρομή και πληροφορεί τον κόμβο αυτό ότι θα πρέπει να αναλάβει τη διαδικασία LQ. Αν αυτή η διαδικασία έχει ως αποτέλεσμα την οπισθοχώρηση για περισσότερο από το μισό της διαδρομής προς την πηγή, η διαδικασία LQ διακόπτεται και η πηγή ξεκινά μια νέα διαδικασία εκπομπής αιτήματος.

Στη **τρίτη φάση**, αν η διαδρομή που βρέθηκε δε χρειάζεται πλέον, ο κόμβος-πηγή ξεκινά μια εκπομπή RouteDelete (RD) πακέτων. Όλοι οι κόμβοι κατά μήκος της

διαδρομής διαγράφουν από τη λίστα διαδρομών τους τη συγκεκριμένη διαδρομή. Το RD μήνυμα εκπέμπεται ευρέως, διότι η πηγή δεν είναι σε θέση αν γνωρίζει αν κάποιο μονοπάτι έχει αλλάξει κατά την «Ανακατασκευή διαδρομών».

Το πρωτόκολλο δρομολόγησης ABR προτιμά τις σταθερές διαδρομές από τις συντομότερες διαδρομές. Αυτό σημαίνει ότι λιγότερα μονοπάτια «σπάνε» πράγμα που μειώνει τις πλημμύρες (flooding) και κατά συνέπεια, το απαιτούμενο εύρος ζώνης. Σε περίπτωση σπασμένης σύνδεσης, αυτή επιδιορθώνεται τοπικά, έτσι η πηγή δεν ξεκινά νέα διαδικασία εύρεσης μονοπατιού. Έτσι, το πρωτόκολλο είναι ελεύθερο από βρόγχους, αδιέξοδα και αντίγραφα πακέτων. Ωστόσο, οι πληροφορίες για την σταθερότητα χρησιμοποιούνται μόνο κατά τη διάρκεια της διαδικασίας επιλογής διαδρομής. Έτσι, το επιλεγμένο μονοπάτι μπορεί να είναι μακρύτερο από το συντομότερο μονοπάτι, πράγμα που μπορεί σε κάποιες περιπτώσεις να είναι μειονέκτημα. Τέλος, οι εκπομπές αιτημάτων LQ μπορεί να φέρουν ως αποτέλεσμα μεγάλες καθυστερήσεις κατά τη διάρκεια της επιδιόρθωσης μιας διαδρομής. [9],[11]

5. SSR (Signal Stability Routing)

Το πρωτόκολλο SSR επιλέγει τις διαδρομές με βάση την ισχύ του σήματος μεταξύ των κόμβων και με βάση τη σταθερότητα (τοποθεσία) ενός κόμβου όπως και το πρωτόκολλο ABR. Το κριτήριο για την επιλογή μιας διαδρομής είναι η ισχυρή συνδετικότητα. Το πρωτόκολλο SSR συναποτελείται από δύο συνεργαζόμενα πρωτόκολλα: Το πρωτόκολλο Δυναμικής Δρομολόγησης (Dynamic Routing Protocol - DRP) και το πρωτόκολλο Στατικής Δρομολόγησης (Static Routing Protocol - SRP).

Το DRP διαχειρίζεται τον πίνακα ισχύος σήματος (Signal Strength Table-SST) και τον πίνακα δρομολόγησης (Routing Table-RT). Ο SST «κρατάει» την ισχύ των σημάτων των γειτονικών κόμβων που λαμβάνεται από τα περιοδικά αναγνωριστικά μηνύματα από το επίπεδο σύνδεσης κάθε γειτονικού κόμβου. Η ισχύς του σήματος καταγράφεται ως ισχυρό ή ως ασθενές κανάλι. Όλες οι μεταδόσεις λαμβάνονται από το DRP και υποβάλλονται σε επεξεργασία. Αφού ενημερώσει κατάλληλα τον πίνακα δρομολόγησης, το DRP μεταβιβάζει το πακέτο στο SRP.

Το SRP τοποθετεί το πακέτο στη στοιβά εάν είναι ο προοριζόμενος δέκτης. Διαφορετικά, βρίσκει τον προορισμό στον RT και του προωθεί το πακέτο. Αν δεν υπάρχει εγγραφή για τον προορισμό στον RT, ξεκινά τη διαδικασία εύρεσης διαδρομής. Τα πακέτα RouteRequest προωθούνται στο επόμενο hop μόνο εάν έχουν ληφθεί διαμέσου ισχυρών καναλιών και δεν έχουν υποβληθεί σε επεξεργασία προηγουμένως (αποφυγή βρόγχων). Ο προορισμός επιλέγει το πρώτο πακέτο που φτάνει για να το στείλει πίσω καθώς αυτό έφτασε από το συντομότερο ή/και λιγότερο κορεσμένο μονοπάτι. Το DSR στέλνει μήνυμα RouteReply πίσω στην πηγή ακολουθώντας το ίδιο επιλεγμένο μονοπάτι. Τα DRP των κόμβων κατά μήκος του μονοπατιού ανανεώνουν τους RTs τους αναλόγως.

Τα πακέτα αναζήτησης διαδρομής που φτάνουν στον προορισμό έχουν φτάσει απαραίτητα από το μονοπάτι με τη μεγαλύτερη σταθερότητα σήματος γιατί τα πακέτα μέσω ασθενών καναλιών απορρίπτονται στους ενδιάμεσους κόμβους.

Όταν εντοπιστεί μια αποτυχία σύνδεσης μέσα στο δίκτυο, οι ενδιάμεσοι κόμβοι στέλνουν μήνυμα σφάλματος στην πηγή υποδεικνύοντας ποιο κανάλι έχει αποτύχει. Η πηγή τότε στέλνει μήνυμα διαγραφής για να ειδοποιήσει όλους τους κόμβους της

σπασμένης σύνδεσης και ξεκινά μια νέα διαδικασία εύρεσης διαδρομής προς τον προορισμό.

Πλεονέκτημα του πρωτοκόλλου είναι ότι η επιλογή της ισχυρότερης σύνδεσης οδηγεί σε λιγότερες ανακατασκευές διαδρομών. Επομένως, όπως και στο ABR τα μονοπάτια είναι σταθερά και με μεγάλο χρόνο ζωής. Μειονέκτημά του είναι η μεγάλη καθυστέρηση καθώς οι ενδιαμέσοι κόμβοι δεν μπορούν να «δώσουν» το μονοπάτι, όπως στα πρωτόκολλα AODV και DSR. [9]

Συγκριτικός πίνακας των reactive (demand-driven) πρωτοκόλλων

Performance Parameters	AODV	DSR	TORA	ABR	SSR
Time Complexity (initialization)	$O(2d)$	$O(2d)$	$O(2d)$	$O(d+z)$	$O(d+z)$
Time Complexity (postfailure)	$O(2d)$	$O(2d)$ or 0 (cache hit)	$O(2d)$	$O(l+z)$	$O(l+z)$
Communication Complexity (initialization)	$O(2N)$	$O(2N)$	$O(2N)$	$O(N+y)$	$O(N+y)$
Communication Complexity (postfailure)	$O(2N)$	$O(2N)$	$O(2x)$	$O(x+y)$	$O(x+y)$
Routing Philosophy	Flat	Flat	Flat	Flat	Flat
Loop Free	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Multicast Capability	Yes	No	No ³	No	No
Beaconing Requirements	No	No	No	Yes	Yes
Multiple Route Possibilities	No	Yes	Yes	No	No
Routes Maintained in	route table	route cache	route table	route table	route table
Utilizes Route Cache/Table Expiration Timers	Yes	No	No	No	No
Route Reconfiguration Methodology	Erase Route; Notify Source	Erase Route; Notify Source	Link Reversal; Route Repair	Localized Broadcast Query	Erase Route; Notify Source
Routing Metric	Freshest & Shortest Path	Shortest Path	Shortest Path	Associativity & Shortest Path & others ⁴	Associativity & Stability

l = Diameter of the affected network segment

y = Total number of nodes forming the directed path where the REPLY packet transits

z = Diameter of the directed path where the REPLY packet transits

Πηγή:

http://bwrc.eecs.berkeley.edu/classes/ee290q/ReadingAssignments/Week7RA_Daekyeon_gMoon.ppt (A Review of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks by Elizabeth M. Royer, Chai-keong Toh)

Γ. Υβριδικά πρωτόκολλα



Τα υβριδικά πρωτόκολλα δρομολόγησης είναι στη φύση τους και proactive αλλά και reactive. Είναι σχεδιασμένα με σκοπό να λειτουργούν αποδοτικά σε μεγάλες κλίμακες, επιτρέποντας στους κοντινούς μεταξύ τους κόμβους να συνεργάζονται για να δημιουργήσουν ένα είδος «ραχοκοκαλιάς» με σκοπό τη μείωση της επιβάρυνσης κατά την ανακάλυψη των διαδρομών. Αυτό επιτυγχάνεται κυρίως διατηρώντας διαδρομές προς τους πλησιέστερους κόμβους (όπως στα proactive πρωτόκολλα) και καθορίζοντας διαδρομές προς απομακρυσμένους κόμβους χρησιμοποιώντας μια στρατηγική ανακάλυψης διαδρομών. Τα περισσότερα υβριδικά πρωτόκολλα μέχρι σήμερα βασίζονται στην ιδέα ότι το δίκτυο (θεωρείται ότι) είναι διαμερισμένο σε ζώνες γύρω από κάθε κόμβο.[1]

Στη συνέχεια θα μελετήσουμε το υβριδικό πρωτόκολλο ZRP.

ZRP (Zone Routing Protocol)

Ήταν το πρώτο υβριδικό πρωτόκολλο δρομολόγησης με χαρακτηριστικά τόσο proactive όσο και reactive δρομολόγησης και αναπτύχθηκε από τον Haas το 1997. Το ZRP βρίσκει μια διαδρομή μετά από ζήτηση (reactive) όμως με περιορισμένο κόστος αναζήτησης.

Αρχικά, καθορίζει μια ζώνη γύρω από κάθε κόμβο αποτελούμενη από k γειτονικούς κόμβους. Έτσι η proactive δρομολόγηση περιορίζεται στη «γειτονιά» του κόμβου, ενώ η αναζήτηση για βέλτιστη διαδρομή γίνεται από επιλεγμένους κόμβους στο δίκτυο και όχι από όλους. Η *ακτίνα ζώνης* για κάθε κόμβο είναι μια προκαθορισμένη απόσταση σε hops από τον αρχικό αυτό κόμβο. Στη ζώνη δρομολόγησης του κόμβου ανήκουν οι κόμβοι εκείνοι οι οποίοι βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη από την ακτίνα ζώνης από αυτόν. *Περιφερειακοί* λέγονται οι κόμβοι που απέχουν από τον αρχικό απόσταση ίση με την ακτίνα ζώνης.

Όταν πηγή και προορισμός βρίσκονται εντός της ίδιας ζώνης, η διαδρομή επιλέγεται με βάση τον πίνακα δρομολόγησης ενός proactive πρωτοκόλλου. Εάν ο προορισμός είναι έξω από την ακτίνα ζώνης, η πηγή κάνει demand-driven αναζήτηση που ονομάζεται *Bordercasting*. Χρησιμοποιώντας τους πίνακες αναζήτησης των ενδιαμέσων κόμβων, αποστέλλει σε όλους τους περιφερειακούς της κόμβους ένα IP datagram. Κάθε κόμβος υποτίθεται ότι έχει μια μοναδική διεύθυνση IP, αφού το ZRP μπορεί να υποστηρίξει την αρχιτεκτονική της IP διευθυνσιοδότησης. Οι περιφερειακοί κόμβοι ελέγχουν αν ο προορισμός ανήκει στις δικές τους τοπικές ζώνες. Αν ο προορισμός ανήκει σε αυτές, στέλνει μια απάντηση (RouteReply) πίσω στην πηγή ακολουθώντας το αντίστροφο μονοπάτι. Έτσι η πηγή χρησιμοποιεί το μονοπάτι αυτό (το οποίο αποθηκεύεται στο πακέτο RouteReply) για να δρομολογήσει τα πακέτα της στον προορισμό. Αν ο προορισμός δεν ανήκει ούτε σε αυτές τις ζώνες, ο περιφερειακός κόμβος επισυνάπτει και τη δική του διεύθυνση στο πακέτο και το προωθεί στους δικούς του περιφερειακούς κόμβους. [9], [10]

Πλεονέκτημα του πρωτοκόλλου αυτού είναι ότι μειώνει σημαντικά την επιβάρυνση στο δίκτυο σε σχέση με τα αμιγώς proactive πρωτόκολλα αλλά και τις καθυστερήσεις, διευκολύνοντας τη γρηγορότερη ανακάλυψη των διαδρομών. Το μειονέκτημά του είναι ότι για μεγάλες τιμές (hops) της ζώνης δρομολόγησης συμπεριφέρεται ως αμιγώς proactive πρωτόκολλο ενώ για μικρές τιμές συμπεριφέρεται ως reactive πρωτόκολλο.[1]

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή εξετάσαμε τρεις κατηγορίες πρωτοκόλλων και, αντιπαραβάλλοντας τα χαρακτηριστικά και τις αποδόσεις τους, μπορούμε να καταλήξουμε σε ορισμένα συμπεράσματα. Στα proactive πρωτόκολλα η δρομολόγηση είναι απλούστερη στη υλοποίησή της, ωστόσο δε λειτουργεί αποδοτικά σε μεγάλες κλίμακες (μεγάλα δίκτυα). Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό, πρέπει να μειωθεί η επιβάρυνση στο δίκτυο. Ένας τρόπος είναι η χρήση μιας συσκευής όπως το GPS. Έτσι, οι κόμβοι θα ανταλλάσσουν μόνο πληροφορίες θέσης (συντεταγμένες) αντί για πληροφορίες distance-vector. Άλλος τρόπος είναι χρησιμοποιώντας updates «υπό όρους» αντί για περιοδικά. Στη reactive δρομολόγηση, τα πρωτόκολλα με τεχνικές πλημμύρας όπως το AODV και το DSR επίσης έχουν προβλήματα κλίμακας, επομένως πρέπει να ρυθμιστούν κατάλληλα η ανακάλυψη και η διατήρηση των διαδρομών. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί περιορίζοντας τη διάδοση των μηνυμάτων ελέγχου σε μια προκαθορισμένη διαδρομή, εκεί όπου βρίσκεται ο προορισμός ή όπου έχει σπάσει μια σύνδεση. Για παράδειγμα, στο πρωτόκολλο ABR εκπέμπονται πακέτα-αιτήματα τοπικά (local query) όταν σπάει μια σύνδεση. Το πρωτόκολλο ZRP είναι ένα υβριδικό πρωτόκολλο σχεδιασμένο για μεγάλες κλίμακες MANETs. Πλεονέκτημά του είναι ότι διατηρεί ισχυρή τη συνδετικότητα του δικτύου μέσα στις ζώνες δρομολόγησης ενώ έξω από τις ζώνες μια απομακρυσμένη διαδρομή καθορίζεται ταχύτερα από ότι με την τεχνική της πλημμύρας. Άλλο πλεονέκτημα του ZRP είναι ότι μπορεί να ενσωματώσει άλλα πρωτόκολλα για να βελτιώσει την απόδοσή του.[1]

Συμπερασματικά, η δρομολόγηση είναι ένα μείζον ζήτημα στα κινητά ad-hoc δίκτυα. Ένας αποτελεσματικός μηχανισμός δρομολόγησης θα συμβάλλει στην αποτελεσματική και επιτυχημένη εκμετάλλευση των κινητών δικτύων. Τα σημερινά πρωτόκολλα δρομολόγησης παρέχουν λύσεις οι οποίες όμως δε χειρίζονται επαρκώς πολλά από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αυτών των δικτύων. Επιπλέον, τα περισσότερα πρωτόκολλα έχουν σχεδιαστεί και υλοποιηθεί σε μικρή κλίμακα. Αν επεκταθούν περαιτέρω λαμβάνοντας υπ' όψη τους και άλλους παράγοντες που σχετίζονται με τη δρομολόγηση, είναι πιθανό να προκύψει ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης το οποίο να είναι κατάλληλο για μεγάλα κινητά δίκτυα των οποίων τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά μπορεί να ποικίλλουν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

[1] http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B7576-49DDS9D-5&_user=83476&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_view=c&_acct=C000059629&_version=1&_urlVersion=0&_userid=83476&md5=168cc8e8fa41b448f3bf5747eced839f

A review of routing protocols for mobile ad hoc networks by Mehran Abolhasan, Tadeusz Wysocki and Eryc Dutkiewicz (Ad Hoc Networks, Volume 2, Issue 1, January 2004, Pages 1-22)

[2] <http://elocus.lib.uoc.gr/dlib/c/9/5/metadata-dlib-2004spanakis.tkl>

Μεταπτυχιακή εργασία με θέμα «Θέματα Δρομολόγησης σε ad-hoc τηλεπικοινωνιακά δίκτυα», Σπανάκης Εμμανουήλ (2004)

[3] <http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/epp/2007/Karampotsi,Nikoleta/document.tkl>

Πτυχιακή εργασία με θέμα «Ασύρματα Ad-Hoc Δίκτυα: Πρωτόκολλα-Εφαρμογές», Καραμπότση Νικολέτα (2007)

[4] <http://openarchives.gr/view/95305>

Διπλωματική εργασία με θέμα «Δρομολόγηση πολλαπλών κριτηρίων σε ad hoc δίκτυα με δυνατότητα ρύθμισης της ακτίνας μετάδοσης», Καραγιώργας Νικόλαος (2007)

[5] http://conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/metaptyxiaka/technologies_diktywn/ergasies/2006/Manets.pdf

Εργασία με θέμα «Mobile Networks», Γκαραφλή Σταματή (2006)

[6] <http://artemis.cslab.ntua.gr/Dienst/Repository/2.0/Body/artemis.ntua.ece/DT2007-0016/doc>

Διπλωματική εργασία με θέμα «Ανάπτυξη εφαρμογής για την βελτιστοποίηση αλγορίθμων δρομολόγησης σε κινητά ad-hoc δίκτυα με QoS», Κουτσογιαννάκη Χ. Μαρία (2007)

[7] http://conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/metaptyxiaka/technologies_diktywn/ergasies/2007/Ad-Hoc%20and%20Sensor%20Networks.pdf

Εργασία με θέμα «Ad-Hoc and Sensor Networks: Technology and Applications», Καμπιτάκη Δήμητρα (2007)

[8] http://www.cse.wustl.edu/~jain/cis788-99/ftp/adhoc_routing/index.html

Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks by Padmini Misra.

[9] http://en.wikipedia.org/wiki/Ad_hoc_routing_protocol_list

Λίστα πρωτοκόλλων δρομολόγησης για ad-hoc δίκτυα.

[10] <http://wiki.uni.lu/secan-lab/Ad-Hoc+Protocols.html>

Λίστα πρωτοκόλλων δρομολόγησης για ad-hoc δίκτυα.

[11] <http://www.eecs.harvard.edu/~mdw/course/cs263/papers/royer-ieee99.pdf>
A Review of Current Routing Protocols for Ad-Hoc Wireless Networks. Elizabeth M. Royer, University of California, Santa Barbara Chai-Keong Toh, Georgia Institute of Technology.

[12] [http://perleybrook.umfk.maine.edu/slides/spring%202006/Cos420/Mobile%20Ad-hoc%20Networks%20\(manets\).ppt](http://perleybrook.umfk.maine.edu/slides/spring%202006/Cos420/Mobile%20Ad-hoc%20Networks%20(manets).ppt)
Mobile Ad-hoc Networks (Manets) by Donatas Sumyla.

[13] <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-aodv-08.txt>
Γρήγορος οδηγός για το πρωτόκολλο δρομολόγησης AODV.

[14] <http://www.cs.cmu.edu/~dmaltz/dsr.html>
Λειτουργία του πρωτοκόλλου DSR (David A. Maltz).

[15] <http://www.ietf.org/proceedings/97dec/slides/manet-tora/index.htm>
Γρήγορος οδηγός για το πρωτόκολλο δρομολόγησης TORA.