

Ατομική Διπλωματική Εργασία

**ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕ VEHICULAR AD-HOC ΑΣΥΡΜΑΤΑ
ΔΙΚΤΥΑ**

Μαριλένα Δεμέτη

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ



ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Ιούνιος 2009

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Τίτλος Ατομικής Διπλωματικής Εργασίας
Δρομολόγηση σε Vehicular Ad-Hoc Ασύρματα Δίκτυα

Όνομα Φοιτητή
Μαριλένα Δεμέτη

Επιβλέπων Καθηγητής
Βάσος Βασιλείου

Η Ατομική Διπλωματική Εργασία υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των
απαιτήσεων απόκτησης του πτυχίου Πληροφορικής του Τμήματος Πληροφορικής του
Πανεπιστημίου Κύπρου

Ιούνιος 2009

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέπων καθηγητή μου κύριο Βάσο Βασιλείου, για όλη τη βοήθεια, την στήριξη και την κατανόηση που μου έδειξε τα δύο αυτά εξάμηνα. Οι συναντήσεις μας κάθε δύο βδομάδες, το ενδιαφέρον που έδειχνε σε κάθε συνάντηση, το υλικό που μου παρείχε και οι πολύτιμες του συμβουλές για τυχόν λάθη ή παραλήψεις μου, με βοήθησαν να τελειώσω την εργασία αυτή έγκαιρα καλύπτοντας όλους τους στόχους (κεφάλαια) που μαζί θέσαμε εξ' αρχής.

Τέλος, περισσότερο από όλους ευχαριστώ την οικογένεια μου για την συμπαράσταση, την κατανόηση και την υπομονή που έδειξαν σε όλη την διάρκεια αυτής της εργασίας.

Περίληψη

Η Ατομική αυτή Διπλωματική Εργασία, ως θέμα έχει τη Δρομολόγηση στα Vehicular Ad-Hoc Δίκτυα (VANETs). Για να μπορέσουμε όμως να αντιληφθούμε τα δίκτυα αυτά, χρειάζεται να πάρουμε τα πράγματα από την αρχή. Καταρχάς, θα πρέπει να μελετήσουμε την ad-hoc δικτύωση. Το πρώτο κεφάλαιο, η Εισαγωγή, ασχολείται με αυτό. Εκεί μας δίνεται ο ορισμός των ad-hoc δικτύων, αλλά και οι τύποι των ad-hoc δικτύων που υπάρχουν μέχρι και σήμερα. Έπειτα, προχωρώντας ένα βήμα πιο κάτω, θα μπούμε στο δεύτερο κεφάλαιο, στην κατηγορία των Mobile Ad-Hoc Networks (MANETs), των οποίων όπως θα δούμε, υποκατηγορία είναι τα VANETs. Στο κεφάλαιο αυτό, θα μελετήσουμε τα κύρια χαρακτηριστικά, τις εφαρμογές και τις υποκατηγορίες των δικτύων αυτών. Έχοντας μια πρώτη γνωριμία με τα MANETs, θα προχωρήσουμε στο τρίτο κεφάλαιο, και θα μάθουμε για δρομολόγηση. Θα δούμε για την ad-hoc δρομολόγηση και διάδοση πακέτων, θα συναντήσουμε διάφορα πρωτόκολλα δρομολόγησης που χρησιμοποιούνται στο Διαδίκτυο, αλλά και πρωτόκολλα δρομολόγησης που έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί, για να καλύπτουν τις ανάγκες των MANETs δικτύων. Τελειώνοντας στο τρίτο κεφάλαιο, είμαστε σε θέση να μιλάμε για ad-hoc δικτύωση και MANETs δίκτυα, αλλά και έτοιμοι να μπούμε σε μια πιο λεπτομερή ανάλυση των VANETs. Αυτό γίνεται στο τέταρτο κεφάλαιο. Στην αρχή του κεφαλαίου αυτού, θα δούμε τον ορισμό, καθώς και μια ιστορική αναδρομή στα VANETs. Ακολουθούν τα βασικά χαρακτηριστικά των πρωτοκόλλων αυτών, που τα κάνουν να ξεχωρίζουν από τις υπόλοιπες κατηγορίες των MANETs. Έπειτα, η σημαντικότητα των δικτύων αυτών θα επιβεβαιωθεί από την παρουσίαση των εφαρμογών τους. Επιπρόσθετα, θα μιλήσουμε για προσομοίωση στα δίκτυα αυτά και θα δούμε κάποια βασικά πρωτόκολλα που ανήκουν στην γενική κατηγορία των υπηρεσιών επικοινωνιών, τα λεγόμενα ITS συστήματα. Εμείς θα μελετήσουμε το DSRC και το MAC πρότυπο IEEE 802.11. Τέλος αλλά πολύ σημαντικό, θα δούμε ορισμένα πρωτόκολλα δρομολόγησης που προσφέρονται για να καλύψουν τις ανάγκες των VANETs. Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο, θα δούμε τον πίνακα αξιολόγησης των πρωτοκόλλων για τα οποία μιλήσαμε στο τελευταίο υποκεφάλαιο των VANETs και θα εξάξουμε ορισμένα πολύ σημαντικά συμπεράσματα για όλα όσα έχουμε συναντήσει και μιλήσει σε αυτή τη διπλωματική εργασία.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή	1
1.1 Ασύρματα Ad-Hoc Δίκτυα	1
1.2 Τάξεις Ad-Hoc Δικτύων	1
Κεφάλαιο 2 Mobile Ad-Hoc Networks (MANETs).....	3
2.1 Εισαγωγή στα MANETs	3
2.2 Χαρακτηριστικά των MANETs.....	4
2.3 Εφαρμογές των MANETs	5
2.4 Κατηγορίες MANETs	6
2.4.1 Mesh Networks (WMNs).....	6
2.4.2 Sensor Networks (SN).....	8
2.4.3 Vehicular Ad-Hoc Networks (VANETs).....	9
Κεφάλαιο 3 Δρομολόγηση	11
3.1 Ad-hoc δρομολόγηση και διάδοση πακέτων	11
3.2 Πρωτόκολλα Δρομολόγησης.....	12
3.2.1 Εισαγωγή στα Πρωτόκολλα Δρομολόγησης	12
3.2.2 Proactive/Table Driven Routing.....	12
3.2.3 Reactive/On Demand Routing	14
3.2.4 Hybrid Routing	15
3.2.5 Location-Based Routing (Καλούμενο επίσης και ως Geographic Routing ή Georouting ή Position-Based Routing).....	16
3.3 Δρομολόγηση στα MANETs	17
3.3.1 Εισαγωγή στη Δρομολόγηση στα MANETs.....	17
3.3.2 Ad hoc Multicast Routing protocol utilizing Increasing id-numberS (AMRIS)	17
3.3.3 Optimized link state Routing (OLSR) protocol	18
3.3.4 Dynamic Source Routing (DSR) protocol.....	19
3.3.5 Temporally Ordered Routing Algorithm (TORA)	21
3.3.6 Location Based Multicast (LBM) routing protocol	22
3.3.7 Geocast Temporally Ordered Routing Algorithm (GeoTORA).....	23
3.3.8 GeoGRID routing protocol	24
3.3.8.1 Εισαγωγή στο GeoGrid	24
3.3.8.2 Βασικό GeoGrid.....	25
3.3.8.3 Λεπτομέρειες Αλγορίθμου	25
3.3.9 Greedy Perimeter Stateless Routing (GPSR)	26
3.3.10 Mesh-based Geocast Routing Protocol	27
3.3.11 Ad-hoc On demand Distance Vector (AODV) protocol	28
3.3.12 Multicast Ad-hoc On-Demand Distance Vector (MAODV) protocol ...	29
3.3.13 On-Demand Multicast Routing Protocol (ODMRP)	30
3.3.14 MAODV VS ODMRP.....	30
3.3.15 Προσομοίωση στα MANETs	31
Κεφάλαιο 4 Vehicular Ad-Hoc NETWORKs (VANETs)	33
4.1 Εισαγωγή στα VANETs	33

4.2 Ιδιότητες - Βασικά Χαρακτηριστικά των VANETs	33
4.3 Εφαρμογές των VANETs	37
4. 4 Ενδεχόμενες Εφαρμοσμένες Ασύρματες Τεχνολογίες [23]	39
4.4.1 Wireless Metropolitan Area Networks (WMANs)	39
4.4.2 WLANs/Wi-Fi	40
4.4.3 WPANs.....	40
4.5 Προσομοίωση στα VANETs	41
4.5.1 Εισαγωγή στην Προσομοίωση στα VANETs	41
4.5.2 Μετρικές προσομοίωσης	41
4.5.3 Μοντέλα Κινητικότητας.....	42
4.5.4 Προσομοίωση Δικτύου	43
4.6 Υπηρεσίες Επικοινωνιών	45
4.6.1 DSRC (Dedicated Short Range Communications)	45
4.6.1.1 Εισαγωγή στο DSRC	45
4.6.1.2 Κλάσεις Εφαρμογών [36]	45
4.6.1.3 Ασφάλεια στα highways και Προειδοποιητικά Μηνύματα [36]	46
4.6.1.4 Αρχιτεκτονική Dedicated Short-Range Communications (DSRC) πρωτοκόλλου	47
4.6.2 MAC πρωτόκολλα για VANETs.....	49
4.6.2.1 Πρότυπο IEEE 802.11.....	49
4.6.2.2 ADHOC MAC	57
4.6.2.3 Ποιοτική Σύγκριση των MAC πρωτοκόλλων για VANETs.....	59
4.7 Πρωτόκολλα Δρομολόγησης για VANETs.....	60
4.7.1 Εισαγωγή στη Δρομολόγηση στα VANETs.....	60
4.7.2 Proactive/Table Driven Routing.....	62
4.7.2.1 Optimized link state routing protocol (OLSR)	62
4.7.3 Reactive/On Demand Routing.....	73
4.7.3.1 AODV and VANETs (DAODV)	73
4.7.3.2 Dynamic Source Routing Protocol (DSR)	80
4.7.4 Location-Based Routing (Καλούμενο επίσης και ως Geographic Routing ή Georouting ή Position-Based Routing).....	85
4.7.4.1 Εισαγωγή στο Location-Based Routing.....	85
4.7.4.2 GeoTORA [18]	85
4.7.4.2.2 Temporally Ordered Routing Algorithm (TORA)	86
4.7.4.3 MORA: a Movement-Based Routing Algorithm for Vehicle Ad Hoc Networks [16]	97
4.7.4.4 TOPO: Routing in Large Scale Vehicular Networks [35].....	102
4.7.4.5 Location-Based αλγόριθμος με Cluster-Based Flooding (LORA-CBF) [24]	107
4.7.4.6 Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks (GPSR) [40].....	109
4.7.4.7 Position-Based Routing Protocol (PBR protocol) [41]	116
4.7.4.8 MULTihop Routing protocol for Urban vehicular ad hoc networks	119
4.7.5 Multi-path schemes.....	124
4.7.5.1 Εισαγωγή στα Multi-path schemes	124
4.7.5.2 Πλεονεκτήματα του Multi-path routing.....	125
4.7.6 Άλλοι αρχικά προτεινόμενοι αλγόριθμοι για VANETs.....	126
4.7.7 Προβλήματα Ασφαλείας στα VANETs [23]	129

Κεφάλαιο 5 Συμπεράσματα.....	130
5.1 Κριτήρια Αξιολόγησης	130
5.2 Πίνακας Αξιολόγηση Πρωτοκόλλων.....	132
5.3 Γενικά Συμπεράσματα.....	136
5.4 Μελλοντική Εργασία	138
 Βιβλιογραφία.....	 140

Πίνακας Σχημάτων

Σχήμα 2.1. Mesh Δίκτυο	6
Σχήμα 2.2. Δίκτυο Αισθητήρων	8
Σχήμα 3.1. Κανόνας του δεξιού χεριού	27
Σχήμα 4.1. Εξισώσεις Πιθανότητας Σύγκρουσης στο WAVE	54
Σχήμα 4.2. Multipoint Relays of node m	63
Σχήμα 4.3. Οργάνωση δικτύου για πειράματα multi-hop δρομολόγησης	69
Σχήμα 4.4. Επικοινωνία Οχημάτων	69
Σχήμα 4.5. Χάρτης του Manhattan Μοντέλου δρομολόγησης	75
Σχήμα 4.6. Αναζήτηση Διαδρομής στο DSR	82
Σχήμα 4.7. Συντήρηση Διοαδρομών στο DSR	84
Σχήμα 4.8. Συντήρηση Διαδρομών στο TORA	86
Σχήμα 4.9. Anycasting στο τροποποιημένο TORA	88
Σχήμα 4.10. Geocasting χρησιμοποιώντας το GeoTORA	88
Σχήμα 4.11. Φάση δημιουργίας διαδρομών στο TORA	91
Σχήμα 4.12. Φάση δημιουργίας διαδρομών στο GeoTORA	94
Σχήμα 4.13. Φάση συντήρησης διαδρομών στο GeoTORA	95
Σχήμα 4.14. Γραφική αναπαράσταση των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται στο MORA	98
Σχήμα 4.15. Delay Performance στο TOPO	106
Σχήμα 4.16. Packet Delivery Ratio στο TOPO	106
Σχήμα 4.17. Παράδειγμα άπληστης προώθησης στο GPSR	109
Σχήμα 4.18. Κανόνας Δεξιού Χεριού	110
Σχήμα 4.19. Ψάχνοντας από τον κόμβο x για τον κόμβο D	112
Σχήμα 4.20. Τοπολογία Δικτύου	120
Σχήμα 4.21. Διαδρομή από τον κόμβο S στον κόμβο D	121
Σχήμα 4.22. Δομή ενός πακέτου αναζήτησης διαδρομής στο MURU	122
Σχήμα 4.23 Γραφικές Αξιολόγησης	124

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 4.1. Επίπεδα Προειδοποίησης του CCPWM	47
Πίνακας 4.2. EDCA Παράμετροι για το CCH	53
Πίνακας 4.3. Παράμετροι κίνησης στο WAVE	56
Πίνακας 4.4. Δρομολόγηση από τον παραλήπτη στον αποστολέα στο SBRS-OLSR	71
Πίνακας 4.5. Δρομολόγηση από τον παραλήπτη στον αποστολέα στο OLSR	71
Πίνακας 4.6. Πεδία στην ετικέτα του πακέτου κατά την χρήση της προώθησης παραμέτρου	111

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Ασύρματα Ad-Hoc Δίκτυα

Τα δίκτυα αυτά αντιπροσωπεύουν σύνθετα διανεμημένα συστήματα, τα οποία περιλαμβάνουν ασύρματους κινητούς κόμβους που μπορούν ελεύθερα και δυναμικά να οργανώνονται αυθαίρετα (ad-hoc) και προσωρινά, επιτρέποντας σε ανθρώπους και συσκευές να βρίσκονται και να επεξεργάζονται (χωρίς να χρειάζεται να εγγραφούν κάπου) περιοχές στο δίκτυο χωρίς την προϋπάρχουσα υποδομή επικοινωνίας όπως π.χ. τα περιβάλλοντα αποκατάστασης καταστροφών.

1.2 Τάξεις Ad-Hoc Δικτύων

Μπορούμε να ταξινομήσουμε τα ad-hoc ανάλογα με το εύρος ζώνης που καλύπτουν σε διάφορες κατηγορίες: **Body (BAN), Personal (PAN), Local (LAN), Metropolitan (MAN) και Wide (WAN) δίκτυα περιοχής.**

Ένα body δίκτυο περιοχής συσχετίζεται έντονα με φορητούς υπολογιστές. Η ακτίνα επικοινωνίας του BAN αντιστοιχεί στην ακτίνα ενός ανθρώπινου σώματος (1-2m).

Τα προσωπικά δίκτυα περιοχής συνδέουν κινητές συσκευές (οι οποίες μεταφέρονται από χρήστες) με άλλες κινητές και στάσιμες συσκευές. Ενώ ένα BAN αφιερώνεται στην διασύνδεση των φορητών συσκευών ενός ατόμου, ένα PAN είναι ένα δίκτυο στο περιβάλλον γύρω από τα άτομα αυτά. Η ακτίνα επικοινωνίας ενός PAN είναι τυπικά μέχρι και 10m, επιτρέποντας κατά συνέπεια τη διασύνδεση των BANs των διάφορων ατόμων που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση ο ένας από τον άλλο, και τη διασύνδεση ενός BAN με το περιβάλλον γύρω από αυτό.

Τα ασύρματα δίκτυα τοπικών περιοχών (WLAN) έχουν μια ακτίνα επικοινωνίας χαρακτηριστική ενός ενιαίου κτηρίου, ή ενός συνόλου κτηρίων, π.χ. 100-500m. Ένα WLAN πρέπει να ικανοποιεί τις ίδιες απαιτήσεις οι οποίες είναι χαρακτηριστικές ενός οποιουδήποτε LAN, συμπεριλαμβανομένης της υψηλού όγκου χωρητικότητας, πλήρης συνδετικότητας σχετιζόμενων σταθμών, και της δυνατότητας για broadcast μετάδοση. Παρόλα αυτά, για να επιτευχθούν αυτοί οι στόχοι, τα WLANs χρειάζεται να

σχεδιασθούν με τρόπο ώστε να μπορούν να αντιμετωπίσουν μερικά ζητήματα που αφορούν το ασύρματο περιβάλλον, όπως είναι η ασφάλεια, η κατανάλωση ισχύος, η κινητικότητα, και οι περιορισμοί σε bandwidth [29].

Τα MAN και WAN είναι εν κίνηση multi-hop ασύρματα δίκτυα τα οποία καλύπτουν μεγάλες περιοχές με αποστάσεις πολλών χιλιομέτρων. Τα δίκτυα αυτά παρουσιάζουν πολλές προκλήσεις οι οποίες δεν έχουν ακόμα ξεπεραστεί (π.χ. διεύθυνση, δρομολόγηση, διαχείριση περιοχής, ασφάλεια κ.λπ.).

Η επιτυχία μιας δικτυακής τεχνολογίας συνδέεται με την ανάπτυξη των προϊόντων δικτύωσης σε μια ανταγωνιστική τιμή. Ένας σημαντικός παράγοντας στην επίτευξη αυτού του στόχου είναι η διαθεσιμότητα των κατάλληλων προτύπων δικτύωσης. Αυτή την περίοδο έχουν προκύψει δύο κύρια πρότυπα για τα ad-hoc ασύρματα δίκτυα: το IEEE 802.11 πρότυπο για τα WLANs [34], και οι προδιαγραφές Bluetooth [33] για μικρής ακτίνας ασύρματες επικοινωνίες [4,28,21].

Κεφάλαιο 2

Mobile Ad-Hoc Networks (MANETs)

2.1 Εισαγωγή στα MANETs

Η έννοια της ad-hoc δικτύωσης δεν είναι καινούργια, και είναι γνωστή με ποικίλες μορφές για πάνω από 20 χρόνια τώρα. Ιστορικά τα δίκτυα αυτά έχουν χρησιμοποιηθεί πρώτιστα για τακτικές εφαρμογές, σχετικές με δίκτυα, για βελτίωση των ικανοτήτων επικοινωνίας και επιβίωσης σε ένα πεδίο μάχης. Η δυναμική φύση των στρατιωτικών διαδικασιών έθετε αναγκαία την ύπαρξη μιας μη προκαθορισμένης τοπολογικά υποδομής επικοινωνίας στο πεδίο της μάχης. Την ανάγκη αυτή κατάφεραν να καλύψουν πλήρως τα MANETs. Η εισαγωγή όμως νέων τεχνολογιών όπως τα Bluetooth, IEEE 802.11 και HIPERLAN έχουν βοηθήσει να επιτραπεί η εμπορική ανάπτυξη των MANETs πέραν της στρατιωτικής δομής.

Ουσιαστικά, πρόκειται για ένα είδος Wireless ad-hoc δικτύου, ένα αυτόνομο σύστημα εν κίνηση κόμβων, οι οποίοι κινούνται αυθαίρετα στο δίκτυο και είναι οι ίδιοι υπεύθυνοι για την οργάνωσή τους (π.χ. ρύθμιση των παραμέτρων μετάδοσης και λήψης). Αυτοί είναι και οι δύο παράγοντες στους οποίους οφείλεται το γεγονός ότι η τοπολογία του δικτύου αλλάζει συχνά.

Οι κόμβοι αυτοί μπορούν να εντοπιστούν μέσα ή πάνω σε αεροπλάνα, πλοία, φορτηγά, αυτοκίνητα, ίσως ακόμα και σε ανθρώπους ή μικρές συσκευές. Δύο κόμβοι θεωρούνται γείτονες αν και μόνο αν η ευκλείδεια τους απόσταση είναι μικρότερη από R , όπου R είναι η ακτίνα μετάδοσης, η οποία είναι ίδια για όλους τους κόμβους στο δίκτυο. Όμως, μπορεί να τύχει κόμβοι οι οποίοι βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη από R , να μην μπορούν να έρθουν σε επικοινωνία λόγω άλλων εμποδίων μεταξύ τους όπως ένα κτήριο, και κόμβοι των οποίων η απόσταση έχει ξεπεράσει κατά ελάχιστα το R να μπορούν να έρθουν σε επικοινωνία. Η επικοινωνία-σύνδεση μεταξύ των (εν κίνηση) κόμβων επιτυγχάνεται με σκοπό την αποστολή, λήψη και προώθηση πληροφοριών σε ένα κανάλι επικοινωνίας. Επίσης, η προώθηση δεδομένων γίνεται δυναμικά και βασίζεται στην συνδεσιμότητα του δικτύου.

2.2 Χαρακτηριστικά των MANETs

Αυτονομία και λιγότερη υποδομή: Τα MANETs δεν βασίζονται σε οποιανδήποτε καθιερωμένη υποδομή ή συγκεκριμένη διοίκηση. Κάθε κόμβος λειτουργεί με διανεμημένο peer-to-peer τρόπο, ενεργεί σαν ανεξάρτητος δρομολογητής και παράγει ανεξάρτητα δεδομένα. Η διαχείριση του δικτύου πρέπει να διανεμηθεί δια μέσου διαφορετικών κόμβων, οι οποίοι προκαλούν προστιθέμενη δυσκολία στην ανίχνευση λαθών και στην διαχείριση.

Δρομολόγηση δια μέσου πολλών αναπηδήσεων: Δεν διατίθεται κάποιος καθιερωμένος δρομολογητής. Κάθε κόμβος ενεργεί ως δρομολογητής και διαβιβάζει όποιο πακέτο φτάσει σε αυτόν από κάποιο άλλο κόμβο, ώστε να καθιερωθεί καταμερισμός πληροφοριών μεταξύ των εν κίνηση οικοδεσποτών.

Δυναμικά μεταβαλλόμενες τοπολογίες δικτύων: Στα εν κίνηση ad-hoc δίκτυα, εξαιτίας του γεγονότος ότι οι κόμβοι μπορούν να κινηθούν αυθαίρετα (ad-hoc), η τυπικά multi-hop τοπολογία του δικτύου, μπορεί να αλλάζει συχνά και απρόσμενα, με συνέπεια να υπάρχουν αλλαγές στις διαδρομές, συχνά χωρίσματα στο δίκτυο, και πιθανές απώλειες πακέτων.

Παραλλαγή στις ικανότητες συνδέσεων και κόμβων: Κάθε κόμβος μπορεί να εξοπλιστεί με μία ή περισσότερες ράδιο-διεπαφές που έχουν ποικίλες ικανότητες για μετάδοση και λήψη, και λειτουργούν σε διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων[7,8]. Αυτή η ετερογένεια στις ράδιο-ικανότητες των κόμβων μπορεί να οδηγήσει σε πιθανές ασυμμετρικές συνδέσεις. Επιπλέον, κάθε εν κίνηση κόμβος μπορεί να έχει μια διαφορετική διαμόρφωση σε υλικό και λογισμικό, κάτι που οδηγεί στην μεταβλητότητα των ικανοτήτων επεξεργασίας. Ο σχεδιασμός των πρωτοκόλλων και των αλγόριθμων δικτύου για αυτό το ετερογενές δίκτυο μπορεί να είναι σύνθετη, απαιτώντας δυναμική προσαρμογή στις μεταβαλλόμενες συνθήκες (συνθήκες ισχύς και καναλιού, αλλαγές στη κίνηση φορτίων/διανομών, συμφόρηση, κ.λπ.).

Λειτουργία περιορισμένης ενέργειας: Επειδή οι μπαταρίες που μεταφέρονται από κάθε εν κίνηση κόμβο έχουν περιορισμένη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, η ισχύς

επεξεργασίας είναι περιορισμένη, κάτι το οποίο με τη σειρά του περιορίζει τις υπηρεσίες και εφαρμογές που μπορούν να υποστηριχθούν από κάθε κόμβο. Αυτό γίνεται μεγαλύτερο πρόβλημα στα εν κίνηση ad hoc δίκτυα. Δεδομένου ότι κάθε κόμβος ενεργεί ταυτόχρονα ως κόμβος-παραλήπτης αλλά και ως κόμβος-δρομολογητής, απαιτείται επιπρόσθετη ενέργεια για προώθηση των πακέτων που έχει λάβει από άλλους κόμβους.

Εξελισσιμότητα δικτύων: Δημοφιλής αλγόριθμοι διαχείρισης δικτύου σχεδιάστηκαν κυρίως για να λειτουργήσουν σε σταθερά ή σχετικά μικρά ασύρματα δίκτυα. Πολλές MANET εφαρμογές περιλαμβάνουν μεγάλα δίκτυα με δεκάδες χιλιάδες κόμβους, όπως έχει φανεί παραδείγματος χάρη στα δίκτυα αισθητήρων [15]. Η εξελισσιμότητα είναι κρίσιμη για τη επιτυχή επέκταση αυτών των δικτύων. Τα βήματα προς ένα μεγάλο δίκτυο αποτελούμενο από κόμβους με περιορισμένους πόρους δεν είναι απλά, και παρουσιάζουν πολλές προκλήσεις που δεν έχουν ακόμα επιλυθεί όπως είναι η ασφάλεια.

2.3 Εφαρμογές των MANETs

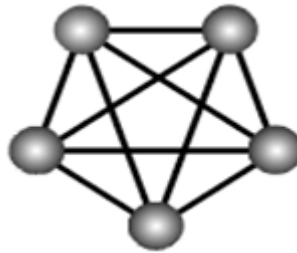
Μερικές εφαρμογές της τεχνολογίας MANET θα μπορούσαν να περιλάβουν βιομηχανικές και εμπορικές εφαρμογές περιλαμβανομένου την συνεταιριστική αλλαγή εν κίνηση δεδομένων. Επίσης, τα mesh-based κινητά δίκτυα μπορούν να λειτουργήσουν σαν γερές και φτηνές εναλλακτικές λύσεις, αλλά και ως κάτι επιπρόσθετο στις cell-based εν κίνηση δικτυακές υποδομές. Υπάρχουν επίσης -και θα υπάρξουν και περισσότερες στο μέλλον- στρατιωτικές δικτυακές απαιτήσεις για υγιείς υπηρεσίες δεδομένων στα εν κίνηση ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών [1], και πολλά από αυτά τα δίκτυα αποτελούνται από υψηλής δύναμης αυτόνομα τμήματα τοπολογιών. Επιπρόσθετα η ανάπτυξη τεχνολογιών "φορητού" υπολογισμού και επικοινωνιών μπορεί να παράσχει εφαρμογές στην τεχνολογία MANET. Όταν η τεχνολογία MANET συνδυαστεί κατάλληλα με την δορυφορική παράδοση πληροφοριών, μπορεί να παρέχει μια εξαιρετικά ευέλικτη μέθοδο για καθιέρωση επικοινωνιών για περιπτώσεις φωτιάς, ασφάλειας, διάσωσης ή άλλα σενάρια τα οποία απαιτούν γρήγορα αναπτυσσόμενες επικοινωνίες με επιβιώσιμη, αποδοτική και δυναμική δικτύωση.

2.4 Κατηγορίες MANETs

2.4.1 Mesh Networks (WMNs)

Πρόκειται για μια νέα τεχνολογία ασύρματων δικτύων η οποία έχει προκύψει την τελευταία δεκαετία. Αποτελούν την πιο τοπική εφαρμογή του αρχιτεκτονικού πλέγματος, η οποία αρχικά αναπτύχθηκε για στρατιωτικές εφαρμογές και έχει μέχρι σήμερα υποστεί σημαντική εξέλιξη. Στα WMNs οι κόμβοι αποτελούνται από δρομολογητές πλέγματος και πελάτες πλέγματος. Κάθε κόμβος λειτουργεί όχι μόνο ως οικοδεσπότης, αλλά και ως δρομολογητής, που προωθεί τα πακέτα εκ μέρους άλλων κόμβων που μπορεί να μην βρίσκονται σε άμεση ασύρματη ακτίνα μετάδοσης με τους προορισμούς στους οποίους θέλουν να αποστείλουν τα πακέτα.

Τα δίκτυα αυτά σαν κομμάτι των εν κίνηση ασύρματων ad-hoc δικτύων (MANETs), αυτό-οργανώνονται και αυτό-διαμορφώνονται δυναμικά. Είναι επίσης ευέλικτα, με ικανότητα να αποθεραπεύονται και να λειτουργούν χωρίς να επηρεάζονται από τυχόν απρόσμενες απώλειες σε κόμβους ή σε γραμμές σύνδεσης. Οι κόμβοι καθιερώνουν και διατηρούν αυτόματα την μεταξύ τους επικοινωνία στο πλέγμα, δημιουργώντας ένα ad-hoc δίκτυο.



Σχήμα 2.1 Mesh Δίκτυο

Οι κόμβοι στα WMNs είναι δύο ειδών: οι δρομολογητές πλέγματος και οι πελάτες πλέγματος. Ένας δρομολογητής πλέγματος έχει την ικανότητα να λειτουργεί σαν ένας συμβατός ασύρματος δρομολογητής των λειτουργιών για πύλες/γέφυρες. Επιπρόσθετα περιέχει λειτουργίες δρομολόγησης για υποστήριξη της δικτύωσης πλέγματος. Για να βελτιώσει περισσότερο την ευελιξία της δικτύωσης με πλέγμα, ένας δρομολογητής πλέγματος είναι συνήθως εξοπλισμένος με πολλαπλές ασύρματες διεπαφές κτισμένες είτε στην ίδια ή σε διαφορετικές ασύρματες τεχνολογίες πρόσβασης. Παρά τις διαφορές

αυτές, οι ασύρματοι δρομολογητές πλέγματος και σύμβασης συνήθως κτίζονται βασισμένοι σε μια παρόμοια πλατφόρμα υλικού. Οι δρομολογητές έχουν την ελάχιστη κινητικότητα και διαμορφώνουν για τους πελάτες τη σπονδυλική στήλη του πλέγματος. Κατά συνέπεια, αν και οι πελάτες πλέγματος μπορούν επίσης να δουλεύουν ως ένας δρομολογητής για τη δικτύωση πλέγματος, η πλατφόρμα υλικού και το λογισμικό για αυτές μπορεί να είναι πολύ πιο απλούστερα από αυτά των δρομολογητών πλέγματος.

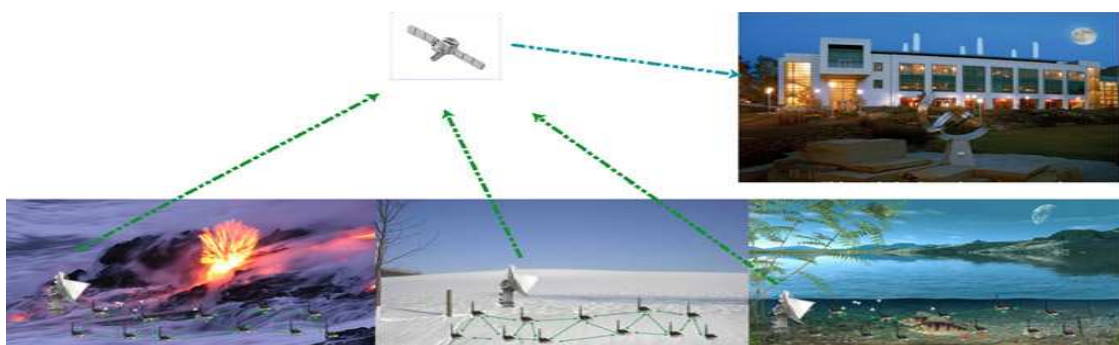
Αντί όμως να μιλάμε για άλλο τύπο ad-hoc δικτύωσης, τα WMNs αποτελούν ένα τρόπο διαφοροποίησης των ικανοτήτων των ad-hoc δικτύων. Αυτό το χαρακτηριστικό γνώρισμα φέρνει τα δίκτυα αυτά πολλά πλεονεκτήματα, όπως είναι η εύκολη συντήρηση του δικτύου, η ευρωστία, η αξιόπιστη κάλυψη υπηρεσιών κ.λπ. Επομένως, εκτός από το να γίνει αποδεκτό στους παραδοσιακούς τομείς εφαρμογής των ad hoc δικτύων, ένα WMN υποβάλλεται στη γρήγορη εμπορευματοποίηση σε πολλά άλλα σενάρια εφαρμογών όπως είναι η εγχώρια ευρυζωνική δικτύωση (broadband home networking), η κοινοτική δικτύωση κ.λπ.

Παρόλο που έχουν γίνει κάποια βήματα, η μελέτη γύρω από τα δίκτυα αυτά χρειάζεται περαιτέρω έρευνα, ιδίως στο θέμα πρωτοκόλλων που είναι και το πιο ουσιώδες. Παραδείγματος χάριν, τα διαθέσιμα MAC πρωτόκολλα δρομολόγησης δεν ανταποκρίνονται ακόμα σε σημαντικό βαθμό στις ανάγκες των δικτύων αυτών. Επίσης χρειάζεται τα ήδη υπάρχοντα πρωτόκολλα να τροποποιηθούν αναλόγως για να μπορούν να χρησιμοποιούνται από τα WMNs.

2.4.2 Sensor Networks (SN)

Ένα δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό αισθητήρων μικρού μεγέθους, οι οποίοι παρατάσσονται κοντά ο ένας στον άλλο, είτε μέσα στο «φαινόμενο» ή πολύ κοντά σε αυτό. Αυτό επιτρέπει την τυχαία ανάπτυξη σε απρόσιτες γεωγραφικές περιοχές ή σε επιχειρήσεις ανακούφισης από καταστροφή. Από την άλλη όμως δείχνει ότι οι αλγόριθμοι και τα πρωτόκολλα δρομολόγησης για τα δίκτυα αυτά πρέπει να διαθέτουν αυτό-οργανωτικές ικανότητες. Άλλο ένα μοναδικό χαρακτηριστικό των δικτύων αυτών είναι η ομαδική προσπάθεια που γίνεται από τους κόμβους αίσθησης, οι οποίοι είναι εξοπλισμένοι με ένα επεξεργαστή. Έτσι αντί να στέλνουν ακατέργαστα τα δεδομένα στους κόμβους που είναι υπεύθυνοι για τη συγχώνευση, χρησιμοποιούν τις ικανότητες επεξεργασίας που διαθέτουν, για να κάνουν κάποιους τοπικούς υπολογισμούς, και να μεταφέρουν μόνο τα απαραίτητα και μερικώς επεξεργασμένα δεδομένα.

Τα πιο πάνω χαρακτηριστικά διασφαλίζουν μια μεγάλης ακτίνας περιοχή εφαρμογών για τα δίκτυα αισθητήρων. Μερικές από τις περιοχές που καλύπτουν είναι η ιατρική και οι ένοπλες δυνάμεις. Στις ένοπλες δυνάμεις για παράδειγμα, η ραγδαία ανάπτυξη, η αυτο-οργάνωση, και τα χαρακτηριστικά ανοχής στο λάθος που διαθέτουν τα δίκτυα αυτά, τα κάνουν μια πολύ υποσχόμενη τεχνική αίσθησης στρατιωτικής εξουσίας, ελέγχου, επικοινωνιών, υπολογισμού, εξυπνάδας, παρακολούθησης, αναγνώρισης, και συστημάτων στόχευσης. Στην υγεία, οι κόμβοι αίσθησης μπορούν επίσης να αναπτυχθούν για παρακολούθηση των ασθενών.



Σχήμα 2.2 Δίκτυο Αισθητήρων

Γύρω από ένα δίκτυο αισθητήρων υπάρχουν οι λεγόμενες «λεκάνες», οι οποίες είναι μηχανισμοί οι οποίοι έχουν την δυνατότητα να συλλέγουν τις μετρήσεις που πάρθηκαν

από τους αισθητήρες, και να αναμεταδίδουν τις εντολές που προήλθαν από τους ελεγκτές. Κατά συνέπεια, οι αισθητήρες διαμορφώνουν αυτόματα μια δομή για μετάδοση unicast πακέτων προς τις «λεκάνες», και διάδοση broadcast πακέτων από τις «λεκάνες» στο δίκτυο αισθητήρων.

Προκειμένου να επιτευχθεί μια υποδομή και μια κλίμακα δρομολόγησης σε μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή, οι αισθητήρες μπορούν να επεκταθούν διαμορφώνοντας ένα δέντρο, ένα πλέγμα ή οποιοδήποτε είδος διανεμημένου γράφου που στοχεύει την βελτιστοποίηση της επικοινωνίας και της κατανάλωσης ενέργειας. Λόγω του προκλητικού περιβάλλοντος δρομολόγησης, οι πληροφορίες θέσης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να βελτιώσουν τη δομή δρομολόγησης.

Υπάρχει η αντίληψη ότι αυτές αλλά και πολλές άλλες εφαρμογές των δικτύων αισθητήρων χρειάζονται ασύρματες ad-hoc δικτυακές τεχνικές. Αν και πολλά πρωτόκολλα έχουν κατά καιρούς προταθεί, δεν ταιριάζουν ακριβώς στις μοναδικές ανάγκες αυτών των δικτύων. Πολλοί ερευνητές σήμερα ασχολούνται με το θέμα αυτό προσπαθώντας να καλύψουν τις ατέλειες που παρουσιάζονται.

2.4.3 Vehicular Ad-Hoc Networks (VANETs)

Ανερχόμενη νέα τεχνολογία η οποία αποτελεί υποκατηγορία των MANETs. Πιο συγκεκριμένα η τεχνολογία αυτή ενσωματώνει τις ικανότητες των ασύρματων δικτύων νέας γενεάς στα οχήματα.

Στόχο έχουν την εξασφάλιση ενδοεπικοινωνίας μεταξύ των οχημάτων, με σκοπό την βελτίωση της ασφάλειας και της αποδοτικότητας της οδικής κυκλοφορίας με όσο το δυνατό λιγότερη αρνητική επίδραση προς το περιβάλλον π.χ. η μείωση των ατυχημάτων οδηγεί και σε μείωση της οδικής συμφόρησης άρα καλύτερη προστασία του περιβάλλοντος. Η μείωση των ατυχημάτων μπορεί να επιτευχθεί με τη παροχή εναλλακτικών λύσεων σε περιπτώσεις οδικής συμφόρησης με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται και μια καλύτερη οδική συμπεριφορά.

Τα δίκτυα αυτά ξεχωρίζουν από τα υπόλοιπα ad-hoc networks εξαιτίας των μοναδικών χαρακτηριστικών τους που τους επιτρέπουν να προσφέρουν πολλές μοναδικές ερευνητικές προκλήσεις, αλλά και το γεγονός ότι η σχεδίαση ενός αποδοτικού πρωτοκόλλου δρομολόγησης για τα Vanets είναι κρίσιμης σημασίας.

Πιο γενικά, η μελέτη στα VANETs ή IVC (Inter-Vehicle Communication) άρχισε νωρίς το 1980 τόσο από τον ακαδημαϊκό κόσμο όσο και από την βιομηχανία. Από το 2002 όμως και μέχρι σήμερα με την ραγδαία ανάπτυξη των ασύρματων τεχνολογιών ο αριθμός των άρθρων που έχουν γραφτεί από τον ακαδημαϊκό κόσμο με αυτό το θέμα έχει αυξηθεί με ανάλογους ρυθμούς. Όσο αφορά την βιομηχανία πολλές γνωστές εταιρείες κατασκευής αυτοκινήτων όπως η Audi έχουν ήδη αρχίσει να ερευνούν τα δίκτυα ενδοεπικοινωνίας στα οχήματα και έχουν συνεργαστεί για την δημιουργία ενός μη κερδοφόρου οργανισμού που φέρει την ονομασία Car2Car Communication Consortium (C2CCC).

Κεφάλαιο 3

Δρομολόγηση

3.1 Ad-hoc δρομολόγηση και διάδοση πακέτων

Οι διαδρομές σε ένα ad-hoc δίκτυο μπορούν να περιλαμβάνουν μετάβαση από πολλούς ενδιάμεσους κόμβους για να φτάσει το μήνυμα από τον κόμβο-πηγή στον επιθυμητό προορισμό, για τον λόγο αυτό τα δίκτυα αυτά καλούνται και ως “multi-hop wireless ad-hoc networks”. Κάθε κόμβος είναι σε θέση να επικοινωνήσει απευθείας με οποιονδήποτε άλλο κόμβο, ο οποίος βρίσκεται μέσα στην ακτίνα μετάδοσης του (δεδομένου ότι δεν υπάρχει κάποιο εμπόδιο που να αποκλύει την επικοινωνία). Αν επιθυμεί να αποστείλει ένα μήνυμα σε κόμβο ο οποίος βρίσκεται εκτός της ακτίνας αυτής, τότε το μήνυμα θα φτάσει στον προορισμό του αναπηδώντας από τον ένα ενδιάμεσο κόμβο στον άλλο, δημιουργώντας ένα μονοπάτι δρομολόγησης από την πηγή στον προορισμό.

Η ιδιαίτερα δυναμική φύση ενός MANET οδηγεί σε συχνές και απρόβλεπτες αλλαγές της τοπολογίας του δικτύου, προσθέτοντας δυσκολία και πολυπλοκότητα στη δρομολόγηση μεταξύ των εν κίνηση κόμβων. Οι προκλήσεις και οι σύνθετες καταστάσεις, συνδεδεμένες με την κρίσιμη σημασία ενός πρωτοκόλλου δρομολόγησης στην καθιέρωση των επικοινωνιών μεταξύ των εν κίνηση κόμβων, κάνουν την περιοχή δρομολόγησης τη πιο ενεργή ερευνητική περιοχή στη δομή των MANETs. Έχουν προταθεί πολυάριθμα πρωτόκολλα και αλγόριθμοι δρομολόγησης, και οι αποδόσεις τους κάτω από διάφορα δικτυακά περιβάλλοντα, και συνθήκες κυκλοφορίας έχουν μελετηθεί και έχουν συγκριθεί.

3.2 Πρωτόκολλα Δρομολόγησης

3.2.1 Εισαγωγή στα Πρωτόκολλα Δρομολόγησης

Έχουν αναπτυχθεί και αναπτύσσονται πρωτόκολλα δρομολόγησης για τα Mobile Ad-Hoc Networks (MANETs) και για τα Vehicular Ad-Hoc Networks (VANETs), με στόχο την ανακάλυψη ενός αλγορίθμου που θα μεταφέρει τα πακέτα από μια πηγή (όχημα) στον επιθυμητό ή στους επιθυμητούς προορισμούς (όχημα ή οχήματα), στον ελάχιστο δυνατό χρόνο με την ελάχιστη κατανάλωση δικτυακών πόρων, συνδυάζοντας τα πλεονεκτήματα είδη υπάρχοντων πρωτοκόλλων και μηδενίζοντας έτσι τα μειονεκτήματά τους.

Μέχρι και σήμερα όμως, ο στόχος αυτός δεν έχει επιτευχθεί, και αποτελεί γεγονός το ότι δεν μπορεί να κατασκευαστεί ένα πρωτόκολλο χωρίς λάθη και ατέλειες.

Πιο κάτω ακολουθεί μια λεπτομερής παρουσίαση τεσσάρων γενικών κατηγοριών πρωτοκόλλων.

3.2.2 Proactive/Table Driven Routing

Τα πρωτόκολλα αυτά επιχειρούν μια συνεχή αξιολόγηση όλων των δρομολογίων του δικτύου έτσι ώστε όταν χρειαστεί να μεταφερθεί ένα πακέτο, το δρομολόγιο του να είναι γνωστό και έτοιμο να χρησιμοποιηθεί. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται αποστολή μηνυμάτων δρομολόγησης κάθε φορά που παρατηρείται μια αλλαγή στις καταστάσεις δρομολόγησης καταναλώνει bandwidth δικτύου, ωστόσο κρατά το δίκτυο καλά συνδεδεμένο. Σε αυτούς τους αλγόριθμους ορισμένα πακέτα παραδίδονται με μικρή καθυστέρηση σε σύγκριση με άλλους αλγορίθμους, ωστόσο χρησιμοποιώντας τους αλγόριθμους αυτούς σε υψηλά δυναμικά δίκτυα καταναλώνουμε σχεδόν όλο το bandwidth, καταντώντας τα μη ιδανικά στα δίκτυα αυτά, όπως είναι π.χ. τα motorway-based δίκτυα.

Οι αρχικές εφαρμογές στα proactive πλάνα βασίζονταν στα **πρωτόκολλα DVR** χρησιμοποιώντας τον κατανεμημένο αλγόριθμο DBF (Distributed Bellmen-Ford) για υπολογισμό του πιο σύντομου μονοπατιού στο δίκτυο. Στα παραδείγματα των DVR πρωτοκόλλων περιλαμβάνονται τα RIP version 1 και version 2 και το IGRP.

Το **RIP** είναι ένα δυναμικό πρωτόκολλο δρομολόγησης τοπικών δικτύων, και για το λόγο αυτό έχει κατηγοριοποιηθεί ως ένα Interior gateway protocol (IGP). Και οι δύο εκδόσεις του χρησιμοποιούνται σήμερα, ωστόσο θεωρούνται κατώτερες άλλων προηγμένων τεχνικών, όπως τα OSPF και IS-IS. Υπάρχει όμως και το RIPng για χρήση στο IPv6.

Το **IGRP** (Interior gateway routing protocol) ανήκει στην οικογένεια πρωτοκόλλων της Cisco και δημιουργήθηκε εν μέρη για να καλύψει τις ελλείψεις που παρουσιάζει το RIP όταν χρησιμοποιείται σε μεγάλα δίκτυα.

Στα ad-hoc δίκτυα χρησιμοποιείται το **DSDV** πρωτόκολλο δρομολόγησης το οποίο βασίζεται στον αλγόριθμο DBF. Το DSDV αναπτύχθηκε από τους C. Perkins και P. Bhagwat το 1997. Η κύρια λειτουργία του αλγόριθμου είναι να λύνει προβλήματα βρόχων στην δρομολόγηση. Το πρόβλημα αυτό παρουσιάζεται όταν προκληθεί λάθος στην λειτουργία του αλγόριθμου δρομολόγησης. Π.χ. οι κόμβοι A, B, C. Ένα πακέτο θα ακολουθήσει την πορεία A-B-C (σύμφωνα με τον πίνακα δρομολόγησης του A) για να φτάσει από τον A στον C. Η γραμμή επικοινωνίας όμως μεταξύ B-C έχει “σπάσει”. Ο B ξαναστέλνει το μήνυμα πίσω στον A προσπαθώντας να φτάσει στο C. Έτσι ο A αναλαμβάνει το μήνυμα που έστειλε και θέλοντας να το ξαναστείλει στον C το στέλνει πάλι στον B αφού δεν γνωρίζει για το πρόβλημα. Έτσι δημιουργείται ατέρμων βρόχος. Με τον DSDV οι πληροφορίες δρομολόγησης σε περιπτώσεις πλήρης απόρριψης μεταδίδονται σπάνια μεταξύ των κόμβων και συχνότερα στις περιπτώσεις των μικρότερων επαυξητικών αναπροσαρμογών.

Πέρα όμως από τα DVR πρωτόκολλα δρομολόγησης υπάρχει και μια άλλη εξίσου σημαντική κλάση πρωτοκόλλων, τα **link-state routing protocols (LSR)**. Κύριο χαρακτηριστικό αυτών των πρωτοκόλλων είναι ότι κάθε κόμβος κατασκευάζει ένα χάρτη σε μορφή γράφου που να δείχνει κάθε κόμβο με ποιους άλλους κόμβους συνδέεται. Έτσι κάθε κόμβος επιλέγει τον κατάλληλο επόμενο κόμβο ανάλογα με τον προορισμό στο δίκτυο. Παραδείγματα LSR πρωτοκόλλων, είναι τα OSPF και IS-IS.

Το **OSPF**, είναι ίσως το πιο ευρέως διαδεδομένο IGP για μεγάλα επιχειρηματικά δίκτυα ενώ το IS-IS είναι πιο γνωστό για μεγάλα δίκτυα παροχής υπηρεσιών.

Σε **σύγκριση** με τα LSR, τα DVR πρωτόκολλα έχουν λιγότερη υπολογιστική πολυπλοκότητα και κόστος μηνυμάτων αφού τα LSR απαιτούν περισσότερο αποθηκευτικό χώρο.

3.2.3 Reactive/On Demand Routing

Στους αλγόριθμους αυτούς αν δεν υπάρχει καμία ενεργή διαδρομή, τα πακέτα πρέπει να περιμένουν στον κόμβο μέχρι να εκτελεστεί μια διαδικασία εξεύρεσης διαδρομής και μια ενεργή διαδρομή γίνει διαθέσιμη. Αυτό προκαλεί κάποια καθυστέρηση δεδομένων, ειδικά όταν αρχικοποιείται μια διαδρομή. Ωστόσο οι αλγόριθμοι αυτοί εξοικονομούν bandwidth δικτύου, περιορίζοντας την broadcast προώθηση μηνυμάτων δρομολόγησης μόνο στις αναγκαίες διαδρομές, ώστε τα πακέτα δεδομένων να φτάσουν στον προορισμό τους.

Τα πρωτόκολλα εδώ επικαλούνται μια διαδικασία η οποία ανακαλύπτει μια διαδρομή, ανάλογα με την απαίτηση που υπάρχει. Η διαδικασία ανακάλυψης γίνεται διαμέσου αποστολής και λήψης μηνυμάτων αναζήτησης και απάντησης χρησιμοποιώντας μια μέθοδο flooding για να φτάσουμε στον επιθυμητό προορισμό. Μια τέτοια προσέγγιση παρουσιάζει δύο κύρια μειονεκτήματα, τα οποία είναι πρώτο η αρχική καθυστέρηση που παρουσιάζεται μέχρι να ανακαλυφθεί η διαδρομή, και δεύτερο τα δυναμικής κλίμακας προβλήματα που σχετίζονται με τη χρήση flooding.

Δύο σημαντικά είδη πρωτοκόλλων αυτής της κατηγορίας είναι τα DSR και AODV. Και τα δύο αποδίδουν καλά σε ad-hoc δίκτυα που δεν παρουσιάζουν υψηλές δυναμικές αλλαγές στην τοπολογία.

Το Ad-hoc on demand distance vector (**AODV**) πρωτόκολλο δρομολόγησης αναπτύχθηκε από τα κέντρα ερευνών της NOKIA στο University of California, της Santra Barbara και το University of Cincinnati από τους P. Perkins και S.Das. Το AODV, είναι ικανό τόσο για unicast όσο και για multicast δρομολόγηση. Το κύριο πλεονέκτημα του πρωτοκόλλου αυτού είναι ότι παρουσιάζει λιγότερη καθυστέρηση στη σύνδεση από άλλες προσεγγίσεις. Ένα από τα μειονεκτήματα του είναι ότι ενδιαμέσοι κόμβοι μπορούν να οδηγήσουν σε αντιφατικές διαδρομές, κάτι που μπορεί να προκληθεί από σύγχυση στους αριθμούς ακολουθίας μεταξύ της πηγής και των ενδιαμέσων κόμβων. Ακόμα η αποστολή πολλών πακέτων απάντησης για κάποια διαδρομή μετά από λήψη ενός μόνο πακέτου αναζήτησης διαδρομής μπορεί να οδηγήσει σε υπερχείλιση ελέγχου. Επιπλέον η αποστολή hello μηνυμάτων από τους κόμβους οδηγεί σε αχρείαστη κατανάλωση bandwidth.

Το Dynamic Source Routing (**DSR**) είναι ένα πρωτόκολλο το οποίο σε αντίθεση με το AODV χρησιμοποιεί δρομολόγηση πηγής αντί να βασίζεται στον πίνακα δρομολόγησης που βρίσκεται σε κάθε ενδιάμεση συσκευή. Για να γίνει δρομολόγηση της πηγής απαιτείται συσσώρευση των διευθύνσεων όλων των συσκευών που βρίσκονται μεταξύ της πηγής και του προορισμού. Η διαδικασία αυτή γίνεται κατά τη διάρκεια της ανακάλυψης δρομολογίου.

Το DSR σχεδιάστηκε για να περιορίζει το bandwidth το οποίο καταναλώνεται από τα πακέτα ελέγχου στα ασύρματα ad-hoc δίκτυα. Αυτό μπορεί να το καταφέρει απαλείφοντας τα μηνύματα αναβάθμισης των περιοδικών τα οποία απαιτούνται στην table-driven (proactive) προσέγγιση.

Η κύρια διαφορά του από τα υπόλοιπα reactive πρωτόκολλα είναι ότι είναι beacon-less, δηλαδή δεν απαιτεί μεταδόσεις hello πακέτων τα οποία χρησιμοποιούνται κάθε φορά που ένας κόμβος θέλει να ειδοποιήσει τους γείτονες του για την παρουσία του.

Το πρωτόκολλο αυτό αποδίδει καλά σε στατικά ή χαμηλής κινητικότητας περιβάλλοντα. Η απόδοση του όμως αλλοιώνεται ραγδαία σε αυξημένη κινητικότητα.

3.2.4 Hybrid Routing

Είναι πρωτόκολλα τα οποία συνδυάζουν τόσο τις proactive όσο και τις reactive τεχνικές, με στόχο τον καθορισμό του καλύτερου μονοπατιού μεταξύ οποιουδήποτε ζευγαριού από κόμβους. Οι κόμβοι οι οποίοι χρησιμοποιούν τους αλγόριθμους αυτούς αναβαθμίζουν τακτικά τις πληροφορίες που έχουν για κάποιους κόμβους στο δίκτυο (είτε επειδή είναι οι κοντινότεροι τους κόμβοι ή επειδή ανήκουν στην ίδια ομάδα) και αντιμετωπίζουν τους υπόλοιπους κόμβους με reactive τρόπο.

Ένα τέτοιο πρωτόκολλο είναι το Hazy Sighted Link State (**HSLS**). Το πρωτόκολλο αυτό αναπτύχθηκε από το ίδρυμα CUWiN για δίκτυα με πέραν των χιλιάδων κόμβων. Πρόκειται για ένα αλγόριθμο ο οποίος επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ υπολογιστών διαμέσου μετάδοσης σημάτων με τη μέθοδο των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με συχνότητες κάτω από αυτές του ορατού φωτός. Η επικοινωνία αυτή, στόχο έχει τη μετάδοση μηνυμάτων προς τους υπολογιστές που βρίσκονται εκτός του ορίου για απευθείας ραδιοεπαφή. Κάνει χρήση και των δύο ειδών δρομολόγησης για να περιορίσει τις αναβαθμίσεις του δικτύου σε χώρο και χρόνο.

Τα πλεονεκτήματα του πρωτοκόλλου αυτού είναι ότι καταφέρνει να πετύχει αρκετά καλές διαδρομές σε πραγματικό χρόνο και μειώνει ουσιαστικά τον αριθμό και το μέγεθος των μηνυμάτων που στέλνονται για να κρατήσουν το δίκτυο συνδεδεμένο σε αντίθεση με πολλά άλλα πρωτόκολλα.

3.2.5 Location-Based Routing (Καλούμενο επίσης και ως Geographic Routing ή Georouting ή Position-Based Routing)

Πρόκειται για multicast μέθοδο δρομολόγησης η οποία βασίζεται στην αποστολή μηνυμάτων τοπικά. Μεταφέρει πακέτα από την πηγή σε όλους τους άλλους κόμβους οι οποίοι βρίσκονται εκτός των ορίων μιας περιοχής (Zone of Relevance, ZOR). Πολλές VANET εφαρμογές έχουν πολλά οφέλη από τη συγκεκριμένη μέθοδο δρομολόγησης. Για παράδειγμα ένα όχημα αναγνωρίζει τον εαυτό του ως κτυπημένο με οδικούς αισθητήρες οι οποίοι εντοπίζουν γεγονότα όπως ανάφλεξη αερόσακων, και ενημερώνει για το ατύχημα όλα τα υπόλοιπα οχήματα που βρίσκονται κοντά του. Τα οχήματα εκτός της ευρείας ζώνης (ZOR) δεν ενημερώνονται. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται μια αχρείαστη και βιαστική αντίδραση από αυτά τα οχήματα.

Οι Bachir και Benslimane πρότειναν ένα τέτοιο πρωτόκολλο, το οποίο ονόμασαν **IVG**, για broadcast μεταφορά ενός προειδοποιητικού μηνύματος σε όλα τα οχήματα τα οποία βρίσκονται σε μια περιοχή κινδύνου σε ένα αυτοκινητόδρομο.

Οι Maihofer και Eberhardt ασχολήθηκαν με γρήγορο σκηνικό. Η κύρια ιδέα του γρήγορου αυτού αλγόριθμου που ανέπτυξαν και ονόμασαν **Cached Geocast**, είναι η προσθήκη μιας μικρής γρήγορης μνήμης στο επίπεδο δρομολόγησης, η οποία κρατά εκείνα τα πακέτα τα οποία ένας κόμβος δεν μπορεί να αποστείλει αμέσως εξαιτίας ενός τοπικού ελαχίστου. Όταν έρθει ένας νέος κόμβος, ή όταν ήδη υπάρχοντες κόμβοι αλλάξουν την τοποθεσία τους, τότε το μήνυμα που βρίσκεται αποθηκευμένο στη γρήγορη μνήμη μπορεί να αποσταλεί στο νέο κόμβο. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης του Cached Geocast πρωτοκόλλου έδειξαν ότι η παρουσία μιας γρήγορης αποθηκευτικής μονάδας μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τη geocast αναλογία επιτυχούς διανομής. Η βελτιωμένη επιλογή γειτονιάς (συγκεκριμένης περιοχής) λαμβάνοντας συχνά υπόψη τις αλλαγές στη γειτονιά, μειώνει σημαντικά τη φόρτωση του δικτύου και τη μειωμένη end-to-end καθυστέρηση στη μετάδοση.

3.3 Δρομολόγηση στα MANETs

3.3.1 Εισαγωγή στη Δρομολόγηση στα MANETs

Τα ίδια πρωτόκολλα που συναντάμε στη δρομολόγηση στο δίκτυο τα συναντάμε και εδώ. Ανήκουν και αυτά στην οικογένεια πρωτοκόλλων των MANETs μαζί με άλλα πιο εξελιγμένα και τεχνολογικά αναπτυγμένα πρωτόκολλα. Πιο κάτω υπάρχει μια αναλυτική παρουσίαση κάποιων πολύ σημαντικών πρωτοκόλλων δρομολόγησης που έχουν δημιουργηθεί για να καλύπτουν τις ανάγκες των MANETs.

3.3.2 Ad hoc Multicast Routing protocol utilizing Increasing id-numberS (AMRIS)

Το πρωτόκολλο αυτό σχεδιάστηκε από την IETF MANET Working Group το 1988. Η βασική ιδέα στο συγκεκριμένο πρωτόκολλο δρομολόγησης είναι κάθε κόμβος να οριστεί σε μια multicast σύνοδο με ένα μοναδικό αριθμό ταυτοποίησης (id-number). Ένα δέντρο παράδοσης βρίσκεται σε ένα συγκεκριμένο κόμβο, τον Sid ο οποίος ενώνει τους κόμβους που συμμετέχουν στη multicast σύνοδο. Η σχέση μεταξύ των id-numbers (περιλαμβανομένου και των κόμβων που τους κατέχουν) και του Sid, είναι ότι οι id-numbers αυξάνονται σε αριθμητική αξία καθώς ακτινοβολούν από τη ρίζα του δέντρου παράδοσης. Η αξία του Sid είναι ότι έχει το μικρότερο id-number μέσα στην multicast σύνοδο. Χρησιμοποιώντας τους id-numbers, οι κόμβοι είναι σε θέση να προσαρμοστούν γρήγορα στις αλλαγές των γραμμών συνδέσεων. Τα μηνύματα αποκατάστασης είναι περιορισμένα στην περιοχή στην οποία παρουσιάστηκε η απώλεια γραμμών σύνδεσης.

Στο AMRIS γίνεται η υπόθεση ότι όλοι οι κόμβοι μέσα στο ad hoc δίκτυο είναι πρόθυμοι να συμμετάσχουν πλήρως στο πρωτόκολλο.

Κάθε τμήμα multicast συνόδου προσδιορίζεται από ένα γενικό μοναδικό προσδιοριστικό. Ο ενιαίος Sid κόμβος αρχικοποιεί μια multicast σύνοδο μεταδίδοντας με broadcast μέθοδο ένα μήνυμα νέας συνόδου (NEW-SESSION). Όλοι οι κόμβοι που λαμβάνουν το συγκεκριμένο μήνυμα παράγουν το δικό τους μοναδικό αριθμό ταυτοποίησης βασισμένη στον αριθμό που βρήκαν στο πακέτο που έλαβαν. Έπειτα θα αντικαταστήσουν τον αριθμό στο πακέτο με τον δικό τους μοναδικό αριθμό και θα

αναμεταδώσουν το μήνυμα. Οι κόμβοι που λαμβάνουν περισσότερα του ενός NEW-SESSION μηνύματα, επιλέγουν ένα από αυτά και θα το επεξεργαστούν. Έτσι το NEW-SESSION μήνυμα ταξιδεύει σε ένα επεκταμένο δακτύλιο εξωτερικά του Sid. Στην αρχική φάση οι κόμβοι που βρίσκονται πιο κοντά στον Sid έχουν μικρότερο id-number από αυτούς που βρίσκονται σε μεγαλύτερη απόσταση.

Οι κόμβοι κατηγοριοποιούνται στις εξής τάξεις:

- 1. Ενδιαφερόμενος κόμβος (I-node):** Είναι ο κόμβος που ενδιαφέρεται για μια συγκεκριμένη multicast σύνοδο, και επιθυμεί να συμμετάσχει σε αυτή, χωρίς να έχει σημασία αν θα συμμετάσχει είτε ως αποστολέας ή δέκτης ή και τα δύο.
- 2. Αδιάφορος κόμβος (U-node):** Ο κόμβος αυτός δεν ενδιαφέρεται για μια συγκεκριμένη multicast σύνοδο, αλλά "αναγκάστηκε" και έγινε μέλος μιας συνόδου επειδή χρειάστηκε να γίνει αναμεταδότης/μεσάζων κόμβος στο multicast μονοπάτι παράδοσης.
- 3. Κόμβος Φύλλο:** Βρίσκεται στην άκρη του δέντρου πολλαπλής διανομής. Είναι ίσως ένας αποστολέας, ή ένας δέκτης ή και τα δύο. Οι αδιάφοροι κόμβοι που γίνονται κόμβοι φύλλα εξαιτίας μετακίνησης κόμβων, θα παραμείνουν κόμβοι φύλλα μόνο προσωρινά μέχρι να κλαδευτούν.
- 4. Ενδιάμεσος κόμβος:** Βρίσκεται στα εσωτερικά κλαδιά του πολλαπλής διανομής δέντρου, και μπορεί να είναι είτε ενδιαφερόμενος ή αδιάφορος κόμβος.

3.3.3 Optimized link state Routing (OLSR) protocol

Το OLSR είναι ένα δυναμικό πρωτόκολλο δρομολόγησης για τα MANETs. Το πρωτόκολλο αυτό έχει κληρονομήσει τη σταθερότητα ενός link state αλγόριθμου με το πλεονέκτημα ότι οι διαδρομές είναι διαθέσιμες οποιανδήποτε στιγμή χρειαστούν λόγω της δυναμικής φύσης του πρωτοκόλλου. Γενικά αποτελεί μια βελτιστοποίηση του κλασσικού link state πρωτοκόλλου προσαρμοσμένο σε MANETs.

Ο αλγόριθμος αυτός ελαχιστοποιεί την πιθανότητα υπερχειλίσης του δικτύου, χρησιμοποιώντας μόνο συγκεκριμένους κόμβους, τους καλούμενους MPRs, για αναμετάδοση broadcast μηνυμάτων ελέγχου. Οι multipoint relays (MPRs) δημιουργούνται ως εξής: Κάθε κόμβος στο δίκτυο, επιλέγει ένα σύνολο κόμβων ως τους MPRs του. Η επιλογή των MPRs γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε το σύνολο των MPRs να καλύπτει όλους τους κόμβους που είναι ανά δύο hops μακριά. Όσο πιο μικρό

είναι το σύνολο των MPRs, τόσο λιγότερο θα είναι το overhead εξαιτίας της κυκλοφορίας ελέγχου.

Κάθε κόμβος διατηρεί πληροφορίες για το σύνολο των κόμβων που έχουν επιλεγθεί ως τα MPRs του, όπως π.χ. την τοπολογία τους στο δίκτυο. Αυτό ονομάζεται **“Multipoint Relay Selector Set”** (MPR Selector Set) ενός κόμβου. Ένας κόμβος λαμβάνει αυτές τις πληροφορίες σε τακτά χρονικά διαστήματα διαμέσου Hello μηνυμάτων από τους γείτονες του.

Στο πρωτόκολλο αυτό κάθε μήνυμα ελέγχου περιέχει ένα αριθμό ακολουθίας ο οποίος αυξάνεται με κάθε καινούργιο μήνυμα ώστε να διατηρεί τη μοναδικότητα του. Έτσι ο παραλήπτης του μηνύματος μπορεί εύκολα να αναγνωρίσει ποιες πληροφορίες είναι πιο πρόσφατες ακόμα και αν κάποια μηνύματα έχουν ξαναζητηθεί κατά τη μετάβαση.

Στον υπολογισμό διαδρομών οι MPRs κόμβοι χρησιμοποιούνται για διαμόρφωση της διαδρομής από ένα δεδομένο κόμβο σε οποιονδήποτε προορισμό στο δίκτυο. Επιπλέον το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιεί τους MPRs για διευκόλυνση της απόδοσης στην διάδοση των μηνυμάτων ελέγχου στο δίκτυο.

Όσο αφορά την παροχή γρήγορων διαδρομών δρομολόγησης η μόνη απαίτηση του αλγόριθμου για να πετύχει κάτι τέτοιο είναι η δήλωση από τους MPRs κόμβους των link state πληροφοριών για τους MPRs επιλογείς τους.

Σε γενικές γραμμές ο αλγόριθμος OLSR είναι κατάλληλος για δρόμους με πυκνή κυκλοφορία, καθώς η βελτιστοποίηση που επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας τους MPRs δουλεύει καλά σε ένα τέτοιο σενάριο. j. Ακόμα δεδομένου ότι το OLSR διατηρεί συνεχώς τις διαδρομές για όλους τους προορισμούς στο δίκτυο, το πρωτόκολλο είναι ευεργετικό για σχέδια κυκλοφορίας όπου ένα μεγάλο υποσύνολο από κόμβους επικοινωνεί με άλλα μεγάλα υποσύνολα από κόμβους όπου τα ζευγάρια πηγή προορισμός αλλάζουν με την παράδοση του χρόνου.

3.3.4 Dynamic Source Routing (DSR) protocol

Πρόκειται για ένα απλό και αποδοτικό πρωτόκολλο δρομολόγησης που σχεδιάστηκε για multi-hop ασύρματα ad hoc δίκτυα κινητών κόμβων. Ένα δίκτυο το οποίο χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο αυτό δεν απαιτεί την ύπαρξη οποιασδήποτε υποδομής δικτύου, αντίθετα είναι υπεύθυνο να οργανώνει και να διαμορφώνει τον εαυτό του.

Οι κόμβοι συνεργάζονται ώστε να διαβιβάσουν τα πακέτα ο ένας του άλλου, έτσι ώστε να επιτευχθεί multi-hop επικοινωνία μεταξύ κόμβων οι οποίοι δεν βρίσκονται σε άμεση ασύρματη ακτίνα μετάδοσης ο ένας από τον άλλο. Καθώς οι κόμβοι κινούνται στο δίκτυο ή εισέρχονται ή εξέρχονται από αυτό, και καθώς οι συνθήκες της ασύρματης μετάδοσης όπως π.χ. οι πηγές παρέμβασης αλλάζουν, όλη η δρομολόγηση αυτόματα καθορίζεται και διατηρείται από το DSR πρωτόκολλο δρομολόγησης. Δεδομένου ότι ο αριθμός ή η ακολουθία των ενδιάμεσων κόμβων που χρειάζονται ώστε να καταλήξουμε σε οποιονδήποτε προορισμό μπορεί να αλλάξει στην πορεία του χρόνου, η προκύπτουσα τοπολογία του δικτύου μπορεί να είναι αρκετά πλούσια και να αλλάζει με ραγδαίους ρυθμούς.

Το πρωτόκολλο αυτό σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζει την επιτυχή παράδοση πακέτων δεδομένων παρά την κίνηση των κόμβων στο δίκτυο ή άλλων αλλαγών στις συνθήκες του δικτύου.

Το DSR αποτελείται από δύο κύριους μηχανισμούς, οι οποίοι λειτουργούν μαζί για να επιτρέψουν την ανακάλυψη και τη συντήρηση των πηγαίων διαδρομών στο ad-hoc δίκτυο. Πρόκειται για τον μηχανισμό ανακάλυψης διαδρομής και το μηχανισμό συντήρησης διαδρομής.

Η ανακάλυψη διαδρομής είναι ο μηχανισμός με τον οποίο ένας κόμβος S που επιθυμεί να στείλει ένα πακέτο σε ένα κόμβο D, εξασφαλίζει μια πηγαία διαδρομή προς τον D. Ο μηχανισμός αυτός χρησιμοποιείται μόνο όταν ο S δεν γνωρίζει μια διαδρομή προς τον D για να του στείλει το πακέτο.

Η συντήρηση διαδρομής είναι ο μηχανισμός με τον οποίο ο κόμβος S είναι σε θέση ενώ χρησιμοποιεί μια πηγαία διαδρομή προς τον κόμβο D, να ανιχνεύσει αν η τοπολογία του δικτύου έχει αλλάξει με τέτοιο τρόπο που να μην μπορεί πλέον να χρησιμοποιήσει τη διαδρομή που έχει για να φτάσει στον D λόγω απώλειας σε γραμμή επικοινωνίας στην διαδρομή. Όταν η συντήρηση διαδρομής δείξει ότι μια πηγαία διαδρομή έχει χαθεί, τότε ο κόμβος S μπορεί να προσπαθήσει να χρησιμοποιήσει κάποια άλλη διαδρομή προς τον κόμβο D. Αν όμως δεν γνωρίζει κάποια άλλη διαδρομή μπορεί να επικαλεσθεί τον μηχανισμό ανακάλυψης διαδρομής για να βρει μια νέα διαδρομή. Ο μηχανισμός αυτός χρησιμοποιείται μόνο όταν ο κόμβος S στέλνει πακέτα στον D.

Η βασική έκδοση του DSR χρησιμοποιεί αποκλειστικά πηγαία δρομολόγηση και στα πακέτα δεδομένων περιέχεται η ακολουθία των κόμβων από τους οποίους θα περάσει

το πακέτο. Αυτό επιτρέπει στον αποστολέα να επιλέξει και να ελέγξει τις διαδρομές που χρησιμοποιούνται για τα πακέτα του, να υποστηρίξει τη χρήση πολλαπλών διαδρομών για οποιονδήποτε προορισμό και επιτρέπει την εγγύηση ότι οι διαδρομές δεν κινδυνεύουν να καταλήξουν σε ατέρμων κατάσταση.

3.3.5 Temporally Ordered Routing Algorithm (TORA)

Πρόκειται για έναν adaptive (situation-aware) αλγόριθμο δρομολόγησης. Αυτό σημαίνει ότι αρχικά εγκαθιδρύεται με proactive διαδρομές, όμως στην πορεία οι διαδρομές του γίνονται on-demand.

Ο αλγόριθμος αυτός είναι προσαρμοσμένος για χρήση σε multi-hop δίκτυα και έχει τις ακόλουθες ιδιότητες: δομημένη εκτέλεση, ελευθερία από ατέρμων βρόγχους στην δρομολόγηση, δρομολόγηση πολλαπλών διαδρομών, αντιδραστική ή δυναμική καθιέρωση και συντήρηση διαδρομών και ελαχιστοποίηση του κόστους επικοινωνίας διαμέσου εντοπισμού της αλγοριθμικής αντίδρασης στις τοπολογικές αλλαγές όποτε αυτό μπορεί να γίνει.

Έχει σχεδιαστεί για να δουλεύει πάνω από τους μηχανισμούς του χαμηλότερου layer ή τα πρωτόκολλα τα οποία παρέχουν τις ακόλουθες βασικές υπηρεσίες μεταξύ των γειτονικών δρομολογητών: αντίληψη της κατάστασης των γραμμών επικοινωνίας και ανακάλυψη γειτονικών κόμβων, αξιόπιστη κατά παραγγελία παράδοση πακέτων ελέγχου, ανάλυση και χαρτογράφηση των διευθύνσεων των link και network layers, επικύρωση ασφαλείας. Γεγονότα όπως η υποδοχή μηνυμάτων ελέγχου και αλλαγές στη σύνδεση με γειτονικούς δρομολογητές προκαλούν αλγοριθμικές αντιδράσεις στον αλγόριθμο αυτό.

Το πρωτόκολλο αυτό χωρίζεται σε τέσσερις βασικές λειτουργίες: δημιουργία διαδρομών, διατήρηση διαδρομών, διαγραφή διαδρομών και βελτιστοποίηση διαδρομών.

Η δημιουργία διαδρομών αντιστοιχεί στην επιλογή των υψών για διαμόρφωση μιας κατευθυνόμενης ακολουθίας γραμμών επικοινωνίας που οδηγούν στον προορισμό.

Η διατήρηση διαδρομών αναφέρεται στην προσαρμογή της δομής δρομολόγησης ως απάντηση στις τοπολογικές αλλαγές του δικτύου. Για παράδειγμα, η απώλεια γραμμών επικοινωνίας μπορεί να οδηγήσει και στην απώλεια κάποιων μονοπατιών της διαδρομής που ακολουθούν τα πακέτα για να φτάσουν στον προορισμό. Τότε

αναλαμβάνει ο μηχανισμός διατήρησης διαδρομών και έτσι προκύπτει μια νέα ακολουθία κατευθυνόμενης σύνδεσης, η οποία θα επανακατευθύνει τη δομή δρομολόγησης προς τον προορισμό.

Κατά τη διάρκεια της διαγραφής διαδρομών οι δρομολογητές θέτουν τα ύψη ίσα με null και οι γραμμές επικοινωνίας τους παύουν να έχουν άμεση κατεύθυνση προς ένα προορισμό.

Όσο αφορά το μηχανισμό βελτιστοποίησης διαδρομών, οι δρομολογητές δίνουν νέες τιμές στα ύψη τους με σκοπό τη βελτίωση της δομής δρομολόγησης.

Ο αλγόριθμος TORA καταφέρνει την επίτευξη αυτών των τεσσάρων λειτουργιών με **χρήση τεσσάρων πακέτων ελέγχου: αναζήτησης (QRY), αναβάθμισης (UPD), αφαίρεσης (CLR), και βελτιστοποίησης (OPT).**

3.3.6 Location Based Multicast (LBM) routing protocol

Στόχος του πρωτοκόλλου αυτού είναι η μείωση του κόστους παράδοσης geocast πακέτων, μειώνοντας το χώρο προώθησης των geocast πακέτων καθώς χρησιμοποιεί ακρίβεια στην παράδοση δεδομένων.

Ο αλγόριθμος αυτός προέρχεται από τον Location-aided routing (LAR), ένα αλγόριθμο για unicast δρομολόγηση στα MANETs. Βασίζεται σε μια flooding προσέγγιση μετάδοσης μηνυμάτων με την εξαίρεση ότι κάθε κόμβος καθορίζει κατά πόσον να προωθήσει ένα geocast πακέτο διαμέσου δύο πλάνων.

LBM πλάνο 1: Όταν ένας κόμβος λάβει ένα πακέτο και βρίσκεται στην ζώνη μετάδοσης (forwarding zone) θα αποστείλει το πακέτο στους γειτονικούς του κόμβους, Αν είναι εκτός της ζώνης μετάδοσης θα πετάξει το πακέτο. Σε ένα κουτί ζώνης μετάδοσης το μικρότερο τετράγωνο που καλύπτει τον κόμβο-πηγή και την geocast περιοχή, καθορίζει τη ζώνη μετάδοσης.

LBM πλάνο 2: Εδώ η προώθηση ενός πακέτου βασίζεται στη θέση του κόμβου-αποστολέα και τη θέση της geocast περιοχής. Πιο συγκεκριμένα ένας κόμβος Β που έχει λάβει ένα geocast πακέτο από τον κόμβο Α, θα προωθήσει το πακέτο αυτό αν η απόσταση του από το κέντρο της geocast περιοχή είναι μικρότερη από την απόσταση που έχει ο Α από την περιοχή αυτή. Αντίθετα ένας κόμβος Γ ο οποίος βρίσκεται πιο μακριά από την geocast περιοχή από τον Β, και έχει λάβει ένα πακέτο δεδομένων από τον Β, δε θα προωθήσει το πακέτο κάπου αντιθέτως θα το πετάξει. Ουσιαστικά το

σκηνικό αυτό εξασφαλίζει πως κάθε μετάδοση ενός πακέτου στέλνει τα δεδομένα πιο κοντά στον παραλήπτη.

Η απόδοση του πρωτοκόλλου αυτού όσο αφορά την ακρίβεια είναι σχετικά καλή. Τα δύο σκηνικά σε αυτόν τον τομέα δε διαφέρουν και πολύ από άλλα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν flooding μετάδοση μηνυμάτων σε ένα δίκτυο. Ωστόσο όσο αφορά τον αριθμό των πακέτων που μεταδίδονται σε αυτό το πρωτόκολλο είναι σαφώς μικρότερος από τον αντίστοιχο αριθμό άλλων πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούν απλό flooding.

3.3.7 Geocast Temporally Ordered Routing Algorithm (GeoTORA)

Ο στόχος του πρωτοκόλλου GeoTORA είναι η μείωση του κόστους από τη μεταβίβασης geocast πακέτων μέσω flooding τεχνικών, καθώς διατηρείται υψηλή ακρίβεια.

Το unicast πρωτόκολλο δρομολόγησης TORA χρησιμοποιείται από το GeoTORA για προώθηση geocast πακέτων σε μια geocast περιοχή. Το TORA είναι ένα διανεμημένο πρωτόκολλο δρομολόγησης βασισμένο σε έναν αλγόριθμο «αντίστροφης σύνδεσης». Προσπαθεί να παρέχει πολλαπλές διαδρομές για έναν προορισμό, να καθιερώσει τις διαδρομές γρήγορα και να ελαχιστοποιήσει το κόστος επικοινωνίας τους. Το TORA χρησιμοποιεί την έννοια των υψών για να καθορίσει την κατεύθυνση κάθε σύνδεσης. Παρά τις δυναμικές αποτυχίες συνδέσεων, το TORA προσπαθεί να διατηρήσει ένα προσανατολισμένο ως προς το προορισμό κατευθυνόμενο ακυκλικό γράφο έτσι ώστε κάθε κόμβος να μπορεί να φθάσει στον προορισμό. Στα GeoTORA, ένας πηγαίος κόμβος εκτελεί ουσιαστικά ένα anycast σε οποιοδήποτε μέλος της geocast ομάδας (δηλαδή οποιοσδήποτε κόμβος στην geocast περιοχή) μέσω του TORA. Όταν ένας κόμβος στην geocast περιοχή λάβει το geocast πακέτο, αυτός αποστέλλει το πακέτο με flood μετάδοση έτσι ώστε το flooding να περιορίζεται στην geocast περιοχή και όχι έξω από αυτή.

Η ακρίβεια του GeoTORA είναι υψηλή, αλλά όχι τόσο υψηλή όσο και μια καθαρή flooding μέθοδος ή ένα LBM. Ένας πιθανός λόγος για τη μειωμένη ακρίβεια είναι ότι μόνο ένας κόμβος στη geocast περιοχή λαμβάνει το geocast πακέτο από το TORA. Εάν αυτός ο κόμβος χωριστεί από τους άλλους κόμβους στην geocast περιοχή, η ακρίβεια θα μειωθεί. Το κόστος είναι σχετικά μικρό, σε σύγκριση με προσεγγίσεις

προσανατολισμένες προς την μετάδοση δεδομένων, επειδή το κόστος στα GeoTORA είναι τα πακέτα ελέγχου και τα πακέτα πληροφοριών.

3.3.8 GeoGRID routing protocol

3.3.8.1 Εισαγωγή στο GeoGrid

Ενώ οι μέχρι σήμερα υφιστάμενες location-based υπηρεσίες υπάρχουν μόνο σε εξειδικευμένες αγορές (για παράδειγμα GISs – Συστήματα Γεωγραφικών Υπηρεσιών), περιορίζονται σε ένα σταθερό σύνολο από εν κίνηση αντικείμενα και είναι δαπανηρές σε θέματα συντήρησης και επέκτασης [37]. Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο ότι η πρώτη γενιά GIS συστημάτων και εφαρμογών παρέχει μικρή ή καθόλου υποστήριξη συστημάτων για εξυπηρέτηση ενός μεγάλου και αναπτυσσόμενου αριθμού εν κίνηση χρηστών και παροχή συνεχούς διάδοσης και παράδοσης σε πραγματικό χρόνο των location-based πληροφοριών.

Μια προσέγγιση για διευθέτηση του παραπάνω προβλήματος είναι η χρήση του GeoGrid, ένα δίκτυο επικάλυψης που σκοπό έχει την παροχή σταθερών location-based υπηρεσιών σε ένα μεγάλο και αναπτυσσόμενο αριθμό εν κίνηση χρηστών. Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο που ανήκει στην οικογένεια των geocast (geographical multicast) πρωτοκόλλων που σχεδιάστηκε για να είναι ένα αποκεντρωμένο μεν ελεγχόμενο δε δίκτυο επικάλυψης με τρία μοναδικά χαρακτηριστικά. Πρώτον έχει σχεδιαστεί στην κορυφή του 2D γεωγραφικού χώρου συντεταγμένων, από τον οποίο προκύπτει η 1-to-1 χαρτογράφηση στο σύστημα συντεταγμένων. Ολόκληρος ο χώρος συντεταγμένων διαμοιράζεται δυναμικά μεταξύ όλων των κόμβων του συστήματος με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε κόμβος να είναι ο ιδιοκτήτης της προσωπικής του περιοχής. Το GeoGrid, χρησιμοποιεί γεωγραφική χαρτογράφηση των κόμβων σε περιοχές και δρομολόγια βασισμένα στην τοπολογία, με σκοπό να εκμεταλλευτεί την ομοιότητα που υπάρχει μεταξύ φυσικής και δικτυακής γειτνίασης. Δεύτερον το GeoGrid περιλαμβάνει την αρχή της διπλής ισοδυναμίας. Αυτό εξουσιοδοτεί τον κάθε ιδιοκτήτη κόμβο με την δυνατότητα για αποτυχία, βελτιώνοντας έτσι την ανοχή στα σφάλματα. Τρίτον το GeoGrid εργοδοτεί αρκετούς αλγόριθμους που επιφέρουν δυναμική ισορροπία

θέλοντας να εκμεταλλευτεί αποτελεσματικά τις χωρητικότητες των κόμβων και να προσφέρει μια ισορροπία τόσο στην αναζήτηση τοποθεσίας όσο και στη δρομολόγηση.

3.3.8.2 Βασικό GeoGrid

Αποτελείται από ένα δίκτυο από αυτό-οργανωμένους κόμβους αλληλοσυνδεδεμένους διαμέσου του GeoGrid πρωτοκόλλου τοπολογίας και δρομολόγησης. Ένας κόμβος καθιερώνει την σύνδεση του με άλλους κόμβους διαμέσων των ενδιάμεσων τους γειτόνων. Ένας εν κίνηση κόμβος μπορεί να χρησιμοποιήσει το GeoGrid δίκτυο υπηρεσιών με το να συνδέσει τις κινητές του συσκευές με έναν από τους κόμβους στο δίκτυο συνήθως μέσω ασύρματης δικτυακής σύνδεσης. Κάθε κόμβος που είναι συνδεδεμένος με το GeoGrid λειτουργεί και σαν εξυπηρετητής άλλων εν κίνηση κόμβων κάνοντας (μέσων των συσκευών που χρησιμοποιεί π.χ. ένα φορητό υπολογιστή) αναζητήσεις, επεξεργασία δεδομένων, αποθήκευση αποτελεσμάτων αναζήτησης και αποστολή προειδοποιητικών μηνυμάτων σε άλλους εν κίνηση κόμβους είτε για κάποιο γεγονός είτε για τον τρόπο συμπεριφοράς τους.

3.3.8.3 Λεπτομέρειες Αλγορίθμου

Σε αυτό το πρωτόκολλο το δίκτυο επικοινωνίας χωρίζεται σε δυσδιάστατα πλέγματα. Κάθε πλέγμα είναι και ένα τετράγωνο όπου το μέγεθος του υπολογίζεται μέσα από συγκεκριμένους αλγορίθμους. Αφού χωρίσουμε την περιοχή μας σε πλέγματα πρέπει να επιλέξουμε ένα gateway κόμβο για κάθε πλέγμα. Ο κόμβος ο οποίος είναι πιο κοντά στο κέντρο του τετράγωνου πλέγματος επιλέγεται ως ο gateway κόμβος. Αυτός ο κόμβος θα συνεχίσει να είναι ο gateway κόμβος μέχρι να φύγει από το συγκεκριμένο πλέγμα. Αν τυχόν έρθει ένας νέος κόμβος στο πλέγμα μας, ο οποίος είναι πιο κοντά στο κέντρο του πλέγματος, δεν θα γίνει ο gateway κόμβος μέχρι να φύγει ο gateway κόμβος που έχει ανατεθεί στο συγκεκριμένο πλέγμα μας.

Η βασική διαφορά αυτού του πρωτοκόλλου από τα άλλα geocast πρωτόκολλα ότι μόνο ο gateway κόμβος έχει την ευθύνη να προωθεί πακέτα.

Υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους γίνεται η προώθηση πακέτων ο Flooding-Based και ο Ticket-Based.

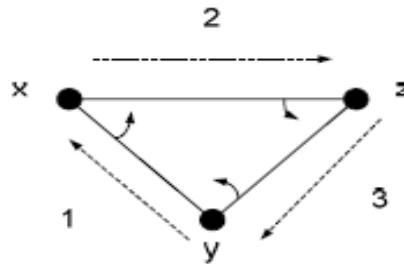
Στον **Flooding-Based τρόπο προώθησης πακέτων**, όλοι οι gateway κόμβοι μπορούν να ξαναστείλουν τα πακέτα τα οποία έχουν λάβει. Από την άλλη στον **Ticket-Based τρόπο προώθησης πακέτων**, δεν δίνεται η δυνατότητα σε όλους τους gateway κόμβους που βρίσκονται στην forwarding zone να ξαναστείλουν τα πακέτα. Ο τρόπος λειτουργίας του είναι να παράγει ένα αριθμό από tickets ο οποίος είναι ίσος με το άθροισμα των διαστάσεων της geocast περιοχής. Για παράδειγμα αν η geocast περιοχή έχει διαστάσεις 2*3 πλέγματα, τότε παράγονται 2+3 tickets. Τα tickets αυτά καθορίζουν πόσες φορές μπορούν οι gateway κόμβοι να ξαναστείλουν τα πακέτα. Τα tickets αρχικά δίνονται στον κόμβο πηγή. Αυτός μπορεί να τα διανέμει στους γειτονικούς του κόμβους δίνοντας πιο μεγάλο αριθμό tickets στους κόμβους που βρίσκονται πιο κοντά στην geocast περιοχή.

3.3.9 Greedy Perimeter Stateless Routing (GPSR)

Ο GPSR αλγόριθμος [24] αναπτύχθηκε από τους Karp και Kung [17]. Εδώ οι δρομολογητές αποφασίζουν που να προωθήσουν ένα πακέτο χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες για τους άμεσους γείτονες τους. Κρατώντας τις πληροφορίες μόνο για την τοπική τοπολογία, το GPSR ανταποκρίνεται καλά στον αριθμό των κόμβων του δικτύου, καθώς και τη συχνά μεταβαλλόμενη τοπολογία του δικτύου. Ο αλγόριθμος αυτός λύνει το στόχο την γεωγραφικής δρομολόγησης χρησιμοποιώντας δύο μεθόδους για δρομολόγηση πακέτων: την Greedy Forwarding και την Perimeter Forwarding.

Στην **greedy forwarding μέθοδο** ένας κόμβος-αποστολής μπορεί να κάνει μια τοπικά βέλτιστη άπληστη επιλογή του επόμενου κόμβου στον οποίο θα αποστείλει ένα πακέτο. Αυτό μπορεί να γίνει αν ένας κόμβος γνωρίζει τη θέση του γείτονα του. Η άπληστη επιλογή για τον επόμενο κόμβο αφορά το γείτονα που είναι γεωγραφικά πιο κοντά στον προορισμό του πακέτου. Ένας beacon αλγόριθμος παρέχει σε όλους τους κόμβους τις θέσεις των γειτόνων τους. Κατά περιόδους κάθε κόμβος μεταδίδει με beacon μήνυμα το αναγνωριστικό του (π.χ. την IP διεύθυνση του) καθώς και την θέση του.

Η **perimeter forwarding μέθοδος** καλείται και right-hand κανόνας. Ο κανόνας αυτός ορίζει ότι όταν ένα πακέτο φτάσει από ένα κόμβο x σε ένα κόμβο y ο επόμενος κόμβος στον οποίο θα καταλήξει είναι ο διαδοχικά επόμενος, μετρώντας δεξιόστροφα την διάταξη των κόμβων. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.1 η διαδρομή που θα ακολουθηθεί είναι η (y-> x-> z -> y).



Σχήμα 3.1 Κανόνας του δεξιού χεριού [24]

Γενικά, το GPSR δουλεύει καλά σε στατικά ad-hoc δίκτυα, όπως για παράδειγμα τα sensor networks, όμως δεν τα πάνε και τόσο καλά σε υψηλής κινητικότητας περιβάλλοντα.

3.3.10 Mesh-based Geocast Routing Protocol

Το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιεί ένα δίκτυο για geocasting σε ένα ad-hoc περιβάλλον. Στόχος έχει να παρέχει υπεράριθμες πορείες μεταξύ της πηγής και των μελών της ομάδας. Εφόσον τα μέλη της ομάδας σε μια geocast περιοχή είναι κοντά ο ένας στον άλλο, η παροχή υπεράριθμων πορειών από μια πηγή προς μια geocast περιοχή είναι λιγότερο δαπανηρή από την παροχή υπεράριθμων πορειών από μια πηγή σε μια multicast ομάδα κόμβων που μπορεί να μην είναι κοντά ο ένας στον άλλο.

Αντί να γίνεται flooding μετάδοση των geocast πακέτων, το πρωτόκολλο αυτό προσπαθεί να δημιουργήσει υπεράριθμες διαδρομές μέσω πακέτων ελέγχου. Πρώτα, αποστέλλονται με flooding τα **JOIN-DEMAND πακέτα** σε μια ζώνη προώθησης. Ένα πακέτο JOIN-DEMAND προωθείται στο δίκτυο έως ότου φθάσει σε έναν κόμβο στην geocast περιοχή. Ο κόμβος-παραλήπτης αποστέλλει με unicast τρόπο έναν **JOIN-TABLE** πίσω στον κόμβο-πηγή ακολουθώντας την αντίστροφη διαδρομή από αυτή που ακολούθησε το πακέτο JOIN-DEMAND. Με αυτό τον τρόπο οι κόμβοι στην άκρη της geocast περιοχής γίνονται μέρος του δικτύου. Όταν ο κόμβος-πηγή λάβει το πρώτο JOIN-TABLE πακέτο, τότε μπορεί να αρχίσει και η μετάδοση πακέτων δεδομένων προς τους κόμβους της geocast περιοχή.

Από τα αποτελέσματα προσομοίωσης παρατηρήθηκε ότι η μείωση του τομέα της ζώνης αποστολής μειώνει το κόστος ελέγχου, την επιβάρυνση του δικτύου με δεδομένα, την καθυστέρηση από κόμβο σε κόμβο, και την αξιοπιστία του δικτύου.

3.3.11 Ad-hoc On demand Distance Vector (AODV) protocol

Ο αλγόριθμος αυτός επιτρέπει μια multi-hop δρομολόγηση μεταξύ των εν κίνηση κόμβων οι οποίοι επιθυμούν την εγκαθίδρυση και διατήρηση ενός ad-hoc δικτύου. Με το AODV οι κόμβοι εξασφαλίζουν γρήγορα τις διαδρομές για τους νέους προορισμούς, και δεν χρειάζεται να διατηρούν δρομολόγια για προορισμούς που δεν βρίσκονται σε ενεργή επικοινωνία. Ακόμα ο αλγόριθμος αυτός επιτρέπει οι κόμβοι να ανταποκρίνονται με έγκαιρο τρόπο σε τυχόν απώλεια γραμμών επικοινωνίας ή αλλαγών στην τοπολογία του δικτύου.

Η λειτουργία του AODV διασφαλίζει τη μη ύπαρξη βρόγχων. Έτσι αποφεύγοντας το πρόβλημα Bellman-Ford στο οποίο ένα πακέτο κινείται επ' αόριστο σε κάποιο μονοπάτι και δεν φτάνει στον προορισμό, προσφέρει γρήγορη σύγκληση όταν η τοπολογία του δικτύου αλλάζει (κυρίως όταν ένας κόμβος κινείται στο δίκτυο). Όταν παρουσιαστεί απώλεια γραμμών επικοινωνίας στον AODV αλγόριθμο, το επηρεαζόμενο σύνολο κόμβων ειδοποιείται ώστε να είναι σε θέση να ακυρώσει τις διαδρομές που χρησιμοποιούν σύνδεση που έχει χαθεί.

Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό γνώρισμα του AODV αλγόριθμου είναι η χρήση ενός αριθμού ακολουθίας για κάθε είσοδο διαδρομών. Ο αριθμός αυτός δημιουργείται από τον προορισμό ο οποίος συμπεριλαμβάνεται στις πληροφορίες διαδρομής που στέλνονται στους κόμβους αναζήτησης. Η χρήση των αριθμών ακολουθίας προορισμού διασφαλίζει τη μη ύπαρξη βρόγχων και είναι απλή στον προγραμματισμό. Δοθέντος της επιλογής μεταξύ δύο διαδρομών για ένα προορισμό, ένας κόμβος αναζήτησης πρέπει να επιλέξει εκείνον με τον μεγαλύτερο αριθμό ακολουθίας.

Οι τρεις τύποι μηνυμάτων που καθορίζονται από το AODV είναι τα αιτήματα διαδρομών (PREQs), απαντήσεις διαδρομών (RREPs) και τα λάθη διαδρομών (RERRs).

Όσο τα τελικά σημεία μιας επικοινωνιακής σύνδεσης έχουν έγκυρες διαδρομές το ένα προς το άλλο, το AODV δεν παίζει κανένα ρόλο. Όταν μια διαδρομή για ένα νέο προορισμό τεθεί αναγκαία, ο κόμβος στέλνει με broadcast ένα PREQ μήνυμα έτσι ώστε να βρει διαδρομή για τον νέο προορισμό. Η διαδρομή αυτή θα καθοριστεί είτε όταν το PREQ μήνυμα φτάσει απευθείας στον προορισμό ή όταν βρεθεί ένας ενδιάμεσος κόμβος με διαδρομή στον προορισμό η οποία έχει στην είσοδο της αριθμό ακολουθίας ο οποίος βρίσκεται στο PREQ μήνυμα. Ενημέρωση για την εύρεση της διαδρομής

γίνεται με unicast αποστολή ενός RREP μηνύματος πίσω στον αρχικό κόμβο (κόμβος πηγή). Όταν παρουσιαστεί απώλεια κάποιας γραμμής στην σύνδεση, τότε ένα RERR μήνυμα χρησιμοποιείται για ενημέρωση των άλλων κόμβων.

3.3.12 Multicast Ad-hoc On-Demand Distance Vector (MAODV) protocol

Αυτός ο αλγόριθμος βρίσκει δρομολόγια χρησιμοποιώντας ένα μηχανισμό προωθήσεως των μηνυμάτων. Η αναπαράσταση των συνδέσεων μεταξύ των κόμβων αναπαριστάται από Multicast Trees.

Το πώς δουλεύει αυτός ο αλγόριθμος είναι να διαχωρίζει τους κόμβους μας σε Multicast Groups που βασικά είναι ένα υποδίκτυο από κόμβους. Κάθε κόμβος έχει αποθηκευμένες διαδρομές προς κόμβους του ιδίου group.

Έτσι αν κάποιος κόμβος θέλει να ενταχθεί σε αυτό το group μπορεί να στείλει ένα Join Route Request μήνυμα (RREQ) σε όλους τους κόμβους του group και θα γίνει εισαγωγή του στο Multicast tree του συγκεκριμένου group. RREQ μηνύματα επίσης στέλνονται όταν ένας κόμβος θέλει να αποστείλει δεδομένα σε κάποιο άλλο κόμβο. Σε αυτή την περίπτωση θα χρειαστούμε και ένα reply μήνυμα (RREP) σε περίπτωση που βρεθεί ο προορισμός.

Ο τρόπος με τον οποίο στέλνονται τα δεδομένα είναι με το να στείλει πρώτα ένα RREQ μήνυμα ο αποστολέας σε όλους του τους γείτονες του. Στην περίπτωση που ο γειτονικός κόμβος δεν ξέρει κάποιο δρομολόγιο προς τον αποδέκτη θα προωθήσει το μήνυμα στους δικούς του γείτονές και ούτε καθεξής. Στην αντίθετη περίπτωση που ένας γείτονας γνωρίζει το δρομολόγιο προς τον προορισμό μας θα στείλει ένα RREP μήνυμα προς τον αποστολέα. Έτσι ο αποστολέας θα χρησιμοποιήσει το δρομολόγιο με το οποίο έφτασε σε αυτόν το RREP για να στείλει τα δεδομένα του.

Ένα από τα πλεονεκτήματα αυτού του αλγορίθμου είναι η αποστολή HELLO μηνυμάτων ανά τακτά διαστήματα για την εξασφάλιση της σωστής λειτουργίας του δικτύου. Επίσης το ότι οι διαδρομές αποθηκεύονται κάθε φορά στους κόμβους κάνει την αποστολή μελλοντικών μηνυμάτων όλο και πιο εύκολη.

3.3.13 On-Demand Multicast Routing Protocol (ODMRP)

Ενώ σχεδόν όλα τα Multicast Routing πρωτόκολλα βασίζουν την δομή τους σε δέντρα (trees), το ODMRP βασίζει την δομή του σε πλέγμα (mesh).

Έτσι ο ODMRP αφού χρησιμοποιεί πλέγμα προσφέρει ένα πιο πλούσιο τρόπο αναπαράστασης της συνδεσιμότητας των κόμβων και επιπλέον προσφέρει πολλαπλές δρομολογήσεις για ένα προορισμό πράγμα που βοηθά στην περίπτωση που υπάρχει προβληματικός κόμβος.

Το πώς λειτουργά αυτός ο αλγόριθμος είναι ότι χωρίζει τους κόμβους του σε forwarding groups τα οποία βασικά είναι υποδίκτυα από κόμβους. Με αυτό τον τρόπο μειώνεται η πολυπλοκότητα μετάδοσης ενός μηνύματος. Έτσι αν θέλουμε να στείλουμε ένα μήνυμα από ένα αποστολέα σε ένα αποδέκτη ο αλγόριθμος στέλνει ένα μήνυμα (join request) στον αποδέκτη μας. Αυτός με την σειρά του στέλνει ένα μήνυμα (join reply) σε όλους τους γειτονικούς του κόμβους που είναι μέλη του forwarding group μας. Αυτό το μήνυμα θα ταξιδέψει πίσω στον αποστολέα από διάφορους δρόμους. Μόλις ο αποστολέας πάρει πίσω το join reply βλέπει ποιος είναι ο συντομότερος δρόμος μέσα από τον οποίο ήρθε το μήνυμα και ξεκινά να στέλνει τα δεδομένα του. Έτσι δημιουργήσαμε ένα πλέγμα από πιθανές δρομολογήσεις.

Ως συμπέρασμα μπορούμε να δούμε ότι αυτός ο αλγόριθμος έχει σαν προτερήματα την αξιοπιστία παράδοσης του μηνύματος λόγω των join replies με τα οποία μπορούν να εντοπιστούν πιθανά προβλήματα στο υποδίκτυο μας (forwarding group). Ακόμα ένα άλλο προτέρημα του είναι η απλότητα του αλγορίθμου όπως επίσης και η δημιουργία πολλαπλών διαδρομών.

3.3.14 MAODV VS ODMRP

Τα δυο πιο πάνω πρωτόκολλα μοιράζονται πολλά κοινά χαρακτηριστικά αφού αφορούν και τα δυο αποστολή δεδομένων σε ένα αριθμό από αποδέκτες. Και στους δυο αλγόριθμους το δρομολόγιο αποφασίζεται μέσω αποστολής μηνυμάτων από αποστολέα σε αποδέκτη. Υπάρχουν όμως μερικές λεπτομέρειες οι οποίες θα μας βοηθήσουν να βρούμε το πιο αποτελεσματικό αλγόριθμο.

Στον MAODV οι κόμβοι αναπαριστώνται από ένα δέντρο πράγμα που κάνει δύσκολη την αναδημιουργία του δέντρου αν φύγει κάποιος κόμβος. Σε αντίθεση ο ODMRP χρησιμοποιεί πλέγμα στο οποίο δεν παρουσιάζεται αυτό το πρόβλημα.

Και οι δυο αλγόριθμοι έχουν αξιοπιστία. Η διαφορά είναι ότι ο MAODV στέλνει περιοδικά μηνύματα HELLO για να διαπιστώσει την σωστή λειτουργία του δικτύου ενώ ο ODMRP βρίσκει πολλαπλά μονοπάτια για ένα προορισμό.

Επίσης στον MAODV, η απενεργοποίηση ενός δρομολογίου δεν γίνεται αμέσως αφού περιμένει ένα μήνυμα ενεργοποίησης σε αντίθεση με τον ODMRP.

Τέλος ο ODMRP κάνει broadcast την απάντηση πίσω στον αποστολέα σε αντίθεση με τον MAODV που το κάνει unicast. Το πρόβλημα με το unicast είναι ότι αν ένας κόμβος δεν υπάρχει τότε η απάντηση προς τον αποστολέα θα χαθεί.

Το συμπέρασμα από τα πιο πάνω είναι ότι τα πρωτόκολλα που βασίζονται σε πλέγμα (ODMRP) δείχνουν να υπερτερούν αυτών που βασίζονται σε δέντρα (MAODV).

3.3.15 Προσομοίωση στα MANETs

Η ανάπτυξη πρωτοκόλλων για τα MANETs απαιτεί την ύπαρξη ενός ρεαλιστικού εργαλείου προσομοίωσης. Ένα σημαντικό εργαλείο προσομοίωσης δικτύων είναι το εμπορικό εργαλείο OPNET. Τα ρεαλιστικά σχέδια επικοινωνίας των κόμβων MANET διαμορφώθηκαν με τη βοήθεια του **OPNET++ 3.2p1** [32] ενός περιβάλλοντος προσομοίωσης, το οποίο προσφέρεται δωρεάν για ακαδημαϊκή χρήση. Το εργαλείο αυτό το οποίο γίνεται όλο και πιο δημοφιλές στον τομέα της προσομοίωσης δικτύων, τρέχει τις προσομοιώσεις των εν επικοινωνία κόμβων σε μια ευρεία ποικιλία πλατφόρμων. Τα σενάρια σε OPNET++ αντιπροσωπεύονται από μια ιεραρχία επαναχρησιμοποιήσιμων ενοτήτων γραμμένων σε C++. Οι σχέσεις αυτών των ενοτήτων καθώς και οι συνδέσεις επικοινωνίας αποθηκεύονται σαν Network Description (NED) αρχεία, και μπορούν να μοντελοποιηθούν γραφικά. Οι προσομοιώσεις οργανώνονται αμφίδρομα σε ένα γραφικό περιβάλλον ή εκτελούνται σαν εφαρμογές εντολή-γραμμή. Το INET Framework (20060330) του OPNET++, παρέχει ένα σύνολο OPNET++ ενοτήτων που αντιπροσωπεύουν διάφορα επίπεδα της ακολουθίας πρωτοκόλλου Διαδικτύου, όπως είναι τα TCP, UDP, IPv4 και ARP πρωτόκολλα. Παρέχει τις ενότητες που επιτρέπουν τη διαμόρφωση των χωρικών σχέσεων των εν κίνηση κόμβων, καθώς και τις μεταξύ τους IEEE 802.11 μεταδόσεις.

Το πρωτόκολλο δρομολόγησης **DYMO** [6], είναι ένα reactive (on-demand) πρωτόκολλο, το οποίο στηρίζεται στην εμπειρία από προηγούμενες reactive προσεγγίσεις δρομολόγησης, ειδικά από το AODV πρωτόκολλο. Το DYMO στοχεύει σε μια πιο απλή σχεδίαση, η οποία θα βοηθά στις απαιτήσεις των εμπλεκόμενων κόμβων όσο αφορά το σύστημα, και θα απλοποιεί την εφαρμογή του πρωτοκόλλου.

Συμπεράσματα: Η προσομοίωση σε Opnet++ περιβάλλον και χρήση του DYMO πρωτοκόλλου δρομολόγησης καθώς και των microsimulation προσεγγίσεων κίνησης έδειξε ότι η χρήση ενός σύνθετου μοντέλου κινητικότητας βελτιώνει σημαντικά τον αριθμό των επιτυχών εναλλαγών. Τα γενικά συμπεράσματα όμως είναι ότι υπάρχει ανάγκη αναβάθμισης των μοντέλων προσομοίωσης τόσο των δικτύων όσο και της κινητικότητας. Βασικά αυτό που έγινε εδώ είναι η αναβάθμιση του IDM μοντέλου κινητικότητας σαν ένα μοντέλο κινητικότητας στον προσωμοιωτή δικτύων OPNET++ σε μια προσπάθεια βελτίωσης της ποιότητας στις προσομοιώσεις δικτύου. Σύγκριση στους χρόνους προσομοίωσης έδειξε μια αύξηση στο CPU στο 2% όταν γίνεται χρήση του ρεαλιστικού μοντέλου κινητικότητας σε σύζευξη πραγματικού χρόνου.

Κεφάλαιο 4

Vehicular Ad-Hoc NETWORKs (VANETs)

4.1 Εισαγωγή στα VANETs

Η πρόσβαση σε υπηρεσίες πληροφοριών ενώ κινούμαστε άρχισε στις μέρες μας να μετατρέπεται από μεγάλο προνόμιο για λίγους σε επιτακτική ανάγκη για όλους. Αν και η πρόσβαση στο Internet έχει επιτευχθεί και παρέχεται ενώ κινούμαστε με τρένο, ακόμα παραμένει πρόκληση για τα οχήματα, ιδίως σε περιπτώσεις αυτοκινητόδρομων στους οποίους τα οχήματα κινούνται με υψηλές ταχύτητες. Το μεγαλύτερο προς αντιμετώπιση πρόβλημα σε ένα δίκτυο χωρίς κάποια εξωτερική υποδομική στήριξη, στο οποίο οι κόμβοι επικοινωνίας είναι ασύρματοι και κινούνται με μεγάλες ταχύτητες, είναι η ανάπτυξη επικοινωνιών και πρωτοκόλλων τα οποία μπορούν να παραδίδουν εύρωστες και αξιόπιστες ad-hoc πληροφορίες μεταξύ των οχημάτων, όταν η σχετική τους ταχύτητα είναι εξαιρετικά υψηλή κάτω από αντίθετες συνθήκες διακίνησης.

Τα οχήματα στα δίκτυα αυτά, είναι εξοπλισμένα με ασύρματες συσκευές επικοινωνίας, GPS, ψηφιακούς χάρτες, και προαιρετικούς αισθητήρες για καταγραφή της κατάστασης του οχήματος. Τα οχήματα ανταλλάζουν πληροφορίες με άλλα οχήματα καθώς και με σημεία πρόσβασης (base stations) εντός της ακτίνας ραδιοφωνικής τους μετάδοσης/λήψης (5.9GHz για μικρής διάρκειας επικοινωνίες). Η διάδοση των δεδομένων απαιτεί καινοτόμους αλγόριθμους δρομολόγησης, εξαιτίας των μοναδικών χαρακτηριστικών των δικτύων αυτών, που τα κάνουν να ξεχωρίζουν από άλλα κοινά ασύρματα δίκτυα. Ως φυσικό επακόλουθο η δρομολόγηση αποτελεί μια πρόκληση εξαιτίας των υψηλών δυνατοτήτων ενός τέτοιου δικτύου.

4.2 Ιδιότητες - Βασικά Χαρακτηριστικά των VANETs

Για να είναι σε θέση να σχεδιάσουν αρχιτεκτονικές που να ανταποκρίνονται στις ανάγκες αυτών των δικτύων, οι σχεδιαστές θα πρέπει να γνωρίζουν και να κατανοούν πλήρως τις παρακάτω ιδιότητες, οι οποίες μπορούν ανά πάσα στιγμή να επηρεάσουν τις

αποφάσεις τους. Οι ιδιότητες αυτές [23] όπως θα δούμε αποτρέπουν τη χρήση ήδη υπαρχόντων πρωτοκόλλων δρομολόγησης, οι οποίες εφαρμόζονται στα κανονικά ασύρματα δίκτυα.

Υψηλά δυναμική τεχνολογία: Εξαιτίας των υψηλών ταχυτήτων κίνησης μεταξύ των οχημάτων αλλά και των συνεχών αλλαγών στις ρυθμίσεις των παραμέτρων λήψης και μετάδοσης των οχημάτων, η τοπολογία των VANETs αλλάζει με ραγδαίους ρυθμούς. Η μεταβολή της τοπολογίας του δικτύου λόγω των υψηλών ταχυτήτων καθιστά την δρομολόγηση περίπλοκη. Άλλοι παράγοντες που καθιστούν την δρομολόγηση περίπλοκη είναι π.χ. οι καιρικές συνθήκες.

Τοπολογία Γεωγραφικά Περιορισμένη: Στην πραγματικότητα οι δρόμοι περιορίζουν τη τοπολογία του δικτύου σε μια διάσταση, την κατεύθυνση του δρόμου. Εκτός από τις διασταυρώσεις ή τις γέφυρες, οι δρόμοι είναι γενικά τοποθετημένοι μακριά ο ένας από τον άλλο. Ακόμα και σε αστικές περιοχές, όπου βρίσκονται κοντά ο ένας στο άλλο υπάρχουν εμπόδια, όπως για παράδειγμα κτίρια και διαφημιστικοί τοίχοι, τα οποία εμποδίζουν τα ασύρματα σήματα να ταξιδέψουν μεταξύ των δρόμων. Από αυτό συνεπάγεται ότι οι κόμβοι μπορούν να θεωρηθούν σαν σημεία της ίδιας γραμμής, ένας δρόμος μπορεί σε γενικές γραμμές να θεωρηθεί σαν μια ευθεία γραμμή ή μια μικρής γωνίας καμπύλη. Αυτή η παρατήρηση είναι σημαντική, γιατί επηρεάζει τις ασύρματες τεχνολογίες που μπορούν να ληφθούν υπόψη. Για παράδειγμα, αφού οι αναμεταδώσεις πακέτων βρίσκονται όλες σχεδόν στην ίδια μονής-κατεύθυνσης περιοχή, η χρήση κατευθυνόμενων κεραιών μπορεί να αποτελέσει μεγάλο πλεονέκτημα.

Μεγάλη Διαμερισμένη Ιεραρχία: Στα VANETs η πιθανότητα οι συνδέσεις μεταξύ των κόμβων να μειώνονται όσο αυξάνονται οι αποστάσεις είναι αλήθεια, λόγω των μονής-κατεύθυνσης τοπολογιών δικτύου. Αντίθετα, η συνδεσιμότητα είναι συχνά αποκλειστική όπως για παράδειγμα στην έρευνα για παραδοσιακά ad-hoc δίκτυα, ακόμα και για την αξιολόγηση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης κάποιες φορές. Επιπρόσθετα, τα VANETs μπορούν αν επεκταθούν σε μεγάλες περιοχές όσο υπάρχει δρόμος διαθέσιμος. Αυτό μαζί με την μονής-κατεύθυνσης ανάπτυξη αυξάνει την πιο πάνω πιθανότητα.

Αναμενόμενη Κινητικότητα: Επειδή η κινητικότητα των οχημάτων εξαρτάται από το εν ανάπτυξη σενάριο, η κατεύθυνση κίνησης είναι αναμενόμενη σε κάποιο βαθμό. Στα highways, τα οχήματα κινούνται συχνά με υψηλή ταχύτητα, ενώ σε αστικές περιοχές κινούνται με σχετικά χαμηλές ταχύτητες. Επιπλέον, η κινητικότητα είναι περιορισμένη από τις κατευθύνσεις καθώς και από τις ρυθμίσεις κυκλοφορίας. Υποθέτοντας ότι αυτές οι ρυθμίσεις, αυτοί οι κανόνες τηρούνται, υπάρχουν χαμηλότερα και μέγιστα όρια ταχύτητας, και περιοριστικά σήματα που υποχρεώνουν τους οδηγούς να κινούνται σε συγκεκριμένους δρόμους και κατευθύνσεις. Έτσι, τα εν κίνηση μοντέλα μπορούν τώρα να περιλάβουν κάποιο επίπεδο πρόβλεψης στα μοτίβα κίνησης. Οι εταιρείες κατασκευής αυτοκινήτων έχουν ήδη υλοποιήσει τέτοια μοντέλα για δοκιμή μηχανικών εξαρτημάτων.

Κατανάλωση Ενέργειας: Στα παραδοσιακά ασύρματα δίκτυα, οι κόμβοι έχουν περιορισμένη ενέργεια, και η ζωή τους εξαρτάται από τις μπαταρίες τους (ειδικά σε περίπτωση ad-hoc δικτύων). Χαρακτηριστικό κοινό των κόμβων στα VANETs είναι ότι έχουν άφθονη ενέργεια και υπολογιστική δύναμη κάτι που περιλαμβάνει τόσο την χωρητικότητα όσο και την επεξεργασία, αφού πρόκειται για οχήματα. Αυτά τα δύο στοιχεία είναι πολύ σημαντικά γιατί μηδενίζουν τους περιορισμούς που παρουσιάζονται στις μικρές συσκευές και ανοίγουν ορίζοντες για μεγαλύτερα επιτεύγματα. Ως αποτέλεσμα, τα πρωτόκολλα δρομολόγησης δεν χρειάζεται να στρατολογούν μεθοδολογίες που προσπαθούν να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Παλαιότερα πρωτόκολλα περιλαμβάνουν τέτοιους μηχανισμούς, όπως οι αναφορές για την κατάσταση των μπαταριών, η επιλογή μονοπατιών με τα οποία θα εξοικονομηθεί ενέργεια, διαστήματα sleep-awake, καθώς και προχωρημένους αλγόριθμους συντονισμού της network/MAC layer διάβασης. Τέτοιες μεθοδολογίες δεν προσφέρουν κανένα επιπλέον πλεονέκτημα στα VANETs.

Αξιοπιστία Κόμβων: Τα οχήματα μπορούν να εισέλθουν ή να βγουν εκτός δικτύου οποιανδήποτε στιγμή και πολύ πιο συχνά από ότι σε άλλα ασύρματα δίκτυα. Ο ρυθμός άφιξης/απομάκρινσης εξαρτάται από την ταχύτητα τους, το περιβάλλον, καθώς και από τις ανάγκες των οδηγών για σύνδεση με το δίκτυο. Ειδικά στην ανάπτυξη ενός ad-hoc, το δίκτυο δεν μπορεί εύκολα να βασιστεί σε ένα μόνο όχημα για προώθηση πακέτων. Αυτό γιατί η διάρκεια της συνεργασίας εξαρτάται από τον προορισμό του πακέτου.

Επίσης, εκτός από την αποτυχία των οχημάτων με απρόβλεπτους τρόπους, υπάρχουν και τα προβλήματα ασφάλειας, τα οποία αναφέρονται και πιο κάτω.

Συνεχής διακοπή δικτύου: Κάτι που προκαλείται ιδίως από την χαμηλή πυκνότητα κάποιων οχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, η μεταφορά ενός μηνύματος δεν επιτυγχάνεται-ολοκληρώνεται εξαιτίας της χαμηλής πυκνότητας οχημάτων στο δίκτυο. Οι κόμβοι-οχήματα στο δίκτυο βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση ο ένας από τον άλλο, με συνέπεια όταν χρειαστεί να γίνει μεταφορά ενός μηνύματος, η ανάγκη αυτή να μη μπορεί να επιτευχθεί εξαιτίας του γεγονότος ότι ένας κόμβος δεν θα μπορεί να εντοπίσει κάποιο άλλο κόμβο (προορισμό) στο πεδίο ορατότητας του για να μεταβιβάσει το μήνυμα. Αυτό, θα έχει ως αποτέλεσμα το μήνυμα να μην φτάσει στον προορισμό του.

Μια λύση είναι η χρήση αποθηκευτικών συσκευών στους δρόμους, Έτσι όταν παρατηρείται χαμηλή πυκνότητα στο δίκτυο τα οχήματα να αποστέλλουν τα πακέτα σε αυτού του είδους τους δρομολογητές, οι οποίοι έχοντας μεγαλύτερη ακτίνα μετάδοσης θα συμβάλουν ώστε το μήνυμα να φτάνει στον τελικό του προορισμό.

Σε σύγκριση με τα υπόλοιπα δίκτυα που χρησιμοποιούν unicast ή multicast επικοινωνία τα VANETs έχουν και ένα νέο τύπο επικοινωνίας ο οποίος **διευθύνει γεωγραφικές περιοχές**. Πρόκειται για τα geocast πρωτόκολλα στα οποία ένας κόμβος αποστέλλει ένα μήνυμα σε όσους κόμβους βρίσκονται εντός μιας γεωγραφικής ζώνης. Τα μηνύματα αυτά είναι συνήθως προειδοποιητικά π.χ. για ειδοποίηση οχημάτων τα οποία βρίσκονται κοντά σε ατύχημα ή σε περιοχή όπου παρουσιάζεται αυξημένη κίνηση.

Οι κόμβοι-οχήματα στα VANETs έχουν ενσωματωμένα σε αυτά αισθητήρες οι οποίοι τα εφοδιάζουν με πληροφορίες είτε για να σχηματίσουν γραμμές επικοινωνίας ή για σκοπούς δρομολόγησης. Για παράδειγμα, υπάρχουν τα **GPS**, τα οποία παρέχουν τοπολογικές πληροφορίες οι οποίες είναι πολύ χρήσιμες για τον οδηγό, ιδίως σε περιπτώσεις που επιθυμεί να φτάσει με ασφάλεια και ευκολία στον επιθυμητό προορισμό, ο οποίος είναι πολλές φορές άγνωστος.

Γίνεται επίσης, **πρόβλεψη της μελλοντικής θέσης ενός οχήματος δοθέντος της ταχύτητας και του οδικού χάρτη στον οποίο βρίσκεται το συγκεκριμένο όχημα**. Αυτή είναι μια πολύ σημαντική ιδιότητα η οποία αν εκμεταλλευτεί σωστά μπορεί να

φανεί χρήσιμη σε πολλούς τομείς, π.χ. για εντοπισμό ενός εχθρικού οχήματος σε μια πολεμική ζώνη.

Υπάρχουν **δύο ειδών περιβάλλοντα** επικοινωνίας όπως έχουμε ήδη αναφέρει. Το ένα είναι τα **highways** όπου ο δρόμος είναι απλός και ευθύς. Εδώ η γραμμή επικοινωνίας δεν είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Το δεύτερο είναι οι δρόμοι της **πόλη**, ένα περιβάλλον πολύ πιο πολύπλοκο για επικοινωνία αφού οι δρόμοι χωρίζονται από κτίρια, δέντρα και άλλες υποδομές. Οι περισσότεροι κλασσικοί αλγόριθμοι δρομολόγησης αποδίδουν καλύτερα στο ένα από τα δύο περιβάλλοντα. Για τον λόγο αυτό επιδιώκουμε την σχεδίαση ενός αλγόριθμου ο οποίος εκμεταλλευόμενος τα προτερήματα ήδη υπάρχοντων αλγορίθμων να επιφέρει αποτελέσματα και στα δύο περιβάλλοντα που να μην διαφέρουν πολύ από τα επιθυμητά.

Σε μερικές περιπτώσεις παρατηρείται καθυστέρηση στον ρυθμό μετάδοσης πληροφοριών κάτι που είναι ανεπιθύμητο και η μη ύπαρξη του θεωρείται κρίσιμη σε περιπτώσεις αποστολής προειδοποιητικών μηνυμάτων ιδίως για αποφυγή κάποιου δυστυχήματος στον δρόμο.

4.3 Εφαρμογές των VANETs

Οι εφαρμογές που προσφέρονται για τα Vehicular Δίκτυα μπορούν γενικά να κατηγοριοποιηθούν σε ασφαλείς και μη ασφαλείς εφαρμογές. Στις ασφαλείς εφαρμογές περιλαμβάνονται η αποφυγή ατυχημάτων και η συνεργατική οδήγηση. Από την άλλη στις μη ασφαλείς εφαρμογές περιλαμβάνονται η παροχή πληροφοριών κυκλοφορίας, η πρόσβαση στο internet, η συνεργατική ψυχαγωγία και πολλές άλλες. Για να αξιολογηθούν οι πιθανότητες επιτυχίας των εφαρμογών αυτών γίνονται έλεγχοι κατά πόσο οι απαιτήσεις τους μπορούν να ικανοποιηθούν και τότε και σε πιο βαθμό θα έχουν ωφέλιμο αντίκτυπο.

Από πλευράς απαιτήσεων, ένας παράγοντας που πρέπει να ικανοποιηθεί ώστε να επιτρέψει τη αποδεκτή λειτουργία της εφαρμογής είναι ο ρυθμός διείσδυσης δηλαδή το ποσοστό των οχημάτων που είναι εφοδιασμένα με τεχνολογία VANET σε σύγκριση με τον πληθυσμό του οχήματος.

Από πλευράς προστιθέμενης αξίας, οι εφαρμογές αξιολογούνται αναλόγως του επιπέδου στο οποίο αυξάνουν την ασφάλεια ή την αποδοτική μετάδοση ή παρέχουν τις επιθυμητές πληροφορίες.

Οι πιο κύριες εφαρμογές είναι οι εξής:

1. Η κύρια εφαρμογή των VANETs είναι τα ITS (Intelligent Transportation Systems). Πρόκειται για τεχνολογίες που εφαρμόζονται στα μέσα μεταφοράς όπως στην περίπτωση μας τα οχήματα, για να κάνουν τα συστήματα πιο ασφαλή, πιο αποδοτικά, πιο αξιόπιστα και πιο φιλικά προς το περιβάλλον. Παραδείγματα των ITS είναι συστήματα πλοήγησης όπως τα GPS (αναφορά πιο πάνω), συστήματα επικοινωνίας μεταξύ των οδηγών για ανταλλαγή χρήσιμων πληροφοριών για εξοικονόμηση χρόνου και χρημάτων, συστήματα που βελτιώνουν την ορατότητα σε δύσκολες καιρικές συνθήκες όπως π.χ. ομίχλη την νύχτα, συστήματα προειδοποίησης για ύπαρξη αντικειμένων στο δρόμο που θέτουν σε κίνδυνο τη δική μας ασφάλεια αλλά και του οχήματος μας, συστήματα που ελέγχουν την ταχύτητα με την οποία κινείται το όχημα και προειδοποιούν τον οδηγό αν κινείται λιγότερο από το ελάχιστο ή περισσότερο από το επιτρεπτό όριο, συστήματα υπεύθυνα να προβαίνουν σε διορθωτικές κινήσεις, όπως φρενάρισμα του οχήματος όταν διαπιστωθεί από τους ειδικούς αισθητήρες ότι αυτό βρίσκεται σε κίνδυνο τον οποίο ο οδηγός δεν είναι σε θέση να αποφύγει, συστήματα για εντοπισμό τυχόν μηχανικών προβλημάτων προτού αυτά θέσουν το όχημα σε κίνδυνο, με αποτέλεσμα το πρόβλημα να αντιμετωπιστεί εγκαίρως έτσι το κόστος επίλυσης του θα είναι το λιγότερο δυνατόν και οι επιπτώσεις του στο περιβάλλον να είναι σχεδόν μηδαμινές.
2. Δυνατότητα οι οδικοί χρήστες να μπορούν ενώ βρίσκονται στα οχήματα τους και κινούνται να συνδεθούν μέσω οδικών κόμβων με το internet και να κατεβάσουν μουσική, να στείλουν emails αλλά και δυνατότητα οι συνεπιβάτες να παίξουν διάφορα παιχνίδια.

4. 4 Ενδεχόμενες Εφαρμοσμένες Ασύρματες Τεχνολογίες [23]

4.4.1 Wireless Metropolitan Area Networks (WMANs)

Ένα τέτοιο δίκτυο μπορεί να αλληλοσυνδέσει αποστασιοποιημένες τοποθεσίες. Υπάρχουν δύο είδη WMAN: Το back haul και το last mile. Το back haul είναι για επιχειρηματικά δίκτυα, cellular βάσης επικοινωνίες, και Wi-Fi σημεία. Ένα ιδιωτικό WMAN σύστημα ευρείας ζώνης είναι μια σχετικά μικρή λύση και είναι 10 φορές γρηγορότερα από μια DSL ή T1 ασύρματη σύνδεση. Η εγκατάσταση ενός last-mile δικτύου μπορεί να εγκαθιδρυθεί ασύρματα σαν μια εναλλακτική επιλογή στα οικιστικά μοντέλα ευρείας ζώνης. Σε μια τυπική ανάπτυξη cellular ακτινών τριών με δέκα χιλιομέτρων, τα last mile συστήματα μπορούν να επεκταθούν για να παραδώσουν χωρητικότητα μέχρι και 40Mbps σε κάθε κανάλι.

Αυτός ο τύπος τεχνολογίας μπορεί επίσης να εφαρμοστεί και σε VANETs βασιζόμενα σε κάποια υποδομή ή σε συνεργασία με WLANs ή WPANs ως τελικοί κόμβοι. Το WiMax υπόσχεται να φέρει ασύρματες ψηλών ταχυτήτων συνδέσεις σε ολόκληρες περιοχές μητροπόλεων. Στηρίζεται για την ώρα από 140 εταιρείες. Μπορεί να φτάσει από 1 μέχρι 10 μίλια, προσφέροντας ένα τρόπο να μεταφερθεί το Internet σε ολόκληρες κοινότητες. Οι αναπτύξεις εν κίνηση δικτύων έχουν επεκταθεί για να παρέχουν μέχρι και 15Mbps χωρητικότητα σε μια cellular ακτίνα ανάπτυξης των μέχρι και τριών χιλιομέτρων. Αυτό ενδεχομένως να αποτελέσει μια λύση για τα VANETs, ακόμα και για τα περιβάλλοντα μεγάλων αποστάσεων, όπως τα highways.

Όταν συνεργάζεται μαζί με Wi-Fi/WPANs, το WMAN μπορεί να παρέχει μόνιμη σύνδεση. Το PAN/Wi-Fi τμήμα θα μπορούσε να προστεθεί από τους σταθμούς-βάσεις στα οχήματα, καθώς και μεταξύ των ίδιων των οχημάτων (V2V multihop επικοινωνίες) για να προσφέρει ψηλό bandwidth με χαμηλό κόστος. Επίσης, ένα δυναμικό πρωτόκολλο θα μπορούσε να υποστηρίξει την κατευθυνόμενη σύνδεση ενός οχήματος με WMAN, είτε όταν υπάρχει έλλειψη ενός WMAN σταθμού-βάσης σε κάποια περιοχή, ή όταν υπάρχει ένας αριθμός από hops στο σταθμό-βάσης που υπερβαίνει το κατώφλι. Μια εναλλακτική λύση θα μπορούσε επίσης να ήταν η συντήρηση μόνιμων

κατευθυνόμενων συνδέσεων από οχήματα σε cellular σταθμούς-βάσεις, χωρίς την άμεση επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων. Ωστόσο, από την πλευρά των cellular δικτύων, αυτό πιθανός να έχει σαν αποτέλεσμα ένα σχετικά χαμηλό throughput. Μέχρι στιγμής η GSM/GPRS τεχνολογία προσφέρει το πολύ 100Kbps bandwidth.

4.4.2 WLANs/Wi-Fi

Το Wi-Fi είναι ακόμα μια πιθανότητα για VANETs. Ένας IEEE 802.11 πομπός έχει μια μη κατευθυνόμενη ακτίνα κάλυψης 250 μέτρων, η οποία είναι πιθανός αρκετή για να συντηρήσει ένα επίπεδο multihop σύνδεσης τόσο στα highways όσο και στις αστικές περιοχές. Επιπρόσθετα, επεκταμένες κεραίες γειτνίασης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σταθμούς-βάσεις, για κάλυψη μεγάλων αποστάσεων. Έχει γίνει μεγάλη έρευνα για το γνωστό IEEE 802.11 ασύρματο πρωτόκολλο, ιδίως για τα MAC (CSMA/CA) και Network επίπεδα. Ωστόσο, η έρευνα αυτή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην πράξη ακόμα στα VANETs, και αυτό εξαιτίας των μοναδικών ιδιοτήτων τους που περιγράφηκαν πιο πάνω.

4.4.3 WPANs

Ασύρματα δίκτυα ιδιωτικής περιοχής χρησιμοποιούνται για μικρής ακτίνας ασύρματες επικοινωνίες. Δύο από τις πιο γνωστές τεχνολογίες που ανήκουν στην κατηγορία αυτή είναι το Bluetooth και το UltraWide Band (UWB). Ενώ η προηγούμενη προσφέρει χαμηλό ρυθμό δεδομένων (μέχρι και 10Mbps για το v2.0 Bluetooth), η επόμενη προσφέρει πολύ ψηλούς ρυθμούς, μέχρι και 500Mbps για μικρές αποστάσεις. Παρά τη δουλεία που έχει γίνει για το Physical Layer ή το UWB, συμπεριλαμβανομένης της διαμόρφωσης και της διοχέτευσης, μόνο μερικές μελέτες έχουν γίνει για τα πιο πάνω επίπεδα. Ειδικά για τα UWB ad hoc δίκτυα, το MAC και το Network Layer είναι ακόμα υπό μελέτη. Παρά το γεγονός ότι οι ρυθμοί δεδομένων που προσφέρονται από το UWB είναι δελεαστικοί, η μικρής μετάδοσης ακτίνα (το πολύ 10-20 μέτρα) περιορίζει την εφαρμογή της τεχνολογίας αυτής μόνο στα πολύ πυκνής αστικής περιοχής VANETs.

4.5 Προσομοίωση στα VANETs

4.5.1 Εισαγωγή στην Προσομοίωση στα VANETs

Η παροχή υποδομικών συσκευών οι οποίες θα μπορούν να ενσωματωθούν ή θα βρίσκονται ενσωματωμένες στα οχήματα είναι κάτι το οποίο ενδιαφέρει και απασχολεί πολύ την ITS (Intelligent Transportation Systems) κοινότητα. Η δημιουργία ενός περιβάλλοντος επικοινωνίας στο οποίο τα οχήματα και η υποδομή μπορούν να συνυπάρχουν και να συνεργάζονται, με σκοπό την παροχή πληροφοριών για το περιβάλλον μεταφοράς, την κατάσταση του δικτύου, καθώς και το ποιος ταξιδεύει ή ενδιαφέρεται να ταξιδέψει, μπορεί να προσφέρει πολλά οφέλη όσο αφορά τη διαχείριση πραγματικού χρόνου, τη βελτίωση των συστημάτων μεταφοράς, την έξυπνη σχεδίαση και χρήση αυτών των συστημάτων για τα καινοτόμα σχέδια οδικής επίβλεψης και ενδεχόμενων εμπορικών συναλλαγών.

Η ανάπτυξη πρωτοκόλλων για τα VANETs αποτελεί πρόκληση γιατί τα πρωτόκολλα αυτά έχουν ένα μοναδικό συνδυασμό χαρακτηριστικών και απαιτήσεων που οδηγεί στην ανάγκη εξεύρεσης ενός καινούργιου εργαλείου προσομοίωσης. Η ρεαλιστική προσομοίωση είναι ένα αναγκαίο εργαλείο στην ανάπτυξη πρωτοκόλλων για τα VANETs.

4.5.2 Μετρικές προσομοίωσης

Οι πιο κοινές μετρικές αξιολόγησης της απόδοσης των αλγορίθμων δρομολόγησης σε μεγάλης κλίμακας ad-hoc δίκτυα είναι οι εξής:

Ανακάλυψη του χρόνου διαδρομής (Latency): Είναι το χρονικό διάστημα που η πηγή πρέπει να περιμένει πριν αποστείλει το πρώτο πακέτο.

Μέση καθυστέρηση των πακέτων από κόμβο σε κόμβο: Αυτό περιλαμβάνει όλες τις πιθανές καθυστερήσεις που προκαλούνται από την αποθήκευση κατά την διάρκεια ανακάλυψης διαδρομών, αναμονής στην ουρά διεπαφών, τις καθυστερήσεις αναμεταδότης στο MAC, καθώς και τους χρόνους διάδοσης και μεταφοράς.

Επιβάρυνση δρομολόγησης: Πόσο bandwidth καταναλώνεται από τα πακέτα

δρομολόγησης με σεβασμό στα "χρήσιμα" πακέτα δεδομένων.

Έξοδα δρομολόγησης σε overhead: Είναι ο συνολικός αριθμός των πακέτων δρομολόγησης που μεταδίδονται κατά την διάρκεια της προσομοίωσης.

Overhead πακέτων: Είναι ο συνολικός αριθμός παραγόμενων πακέτων δρομολόγησης διαιρεμένων με τον συνολικό αριθμό μεταδιδόμενων πακέτων δεδομένων, συν τον συνολικό αριθμό των πακέτων δρομολόγησης.

Αναλογία παράδοσης πακέτων: Μετριέται ως η αναλογία του αριθμού των πακέτων δεδομένων παραδοτέων στον προορισμό και του αριθμού των πακέτων δεδομένων σταλθέντων από τον αποστολέα.

4.5.3 Μοντέλα Κινητικότητας

Η επιλογή ενός ρεαλιστικού μοντέλου κινητικότητας είναι εξίσου σημαντική όσο και η ακριβής διαμόρφωση του υπό δοκιμή πρωτοκόλλου. Και αυτό γιατί η κινητικότητα των κόμβων επηρεάζει το αποτέλεσμα της προσομοίωσης σε μεγάλο βαθμό[19]. Η επιστήμη της μεταφοράς και της κίνησης ταξινομούν τα μοντέλα κυκλοφορίας σε Macroscopic, Mesoscopic, και Microscopic.

Τα Macroscopic μοντέλα όπως το METACOR [13], διαμορφώνουν την κυκλοφορία σε μεγάλο βαθμό, επεξεργάζοντας την κυκλοφορία σαν υγρό και συχνά εφαρμόζοντας την θεωρία της υδροδυναμικής ροής στη συμπεριφορά των οχημάτων.

Τα Mesoscopic μοντέλα όπως το CONTRAM [31], ενδιαφέρονται για την μετακίνηση ολόκληρων των αποσπασμάτων, χρησιμοποιώντας π.χ. συναρτήσεις άθροισης της πυκνότητας των διάφορων ταχυτήτων, για μοντελοποίηση της συμπεριφοράς τους.

Οι προσομοιώσεις στα VANET σενάρια όμως ενδιαφέρονται για την ακριβή διαμόρφωση των ενιαίων μεταδόσεων ράδιο-κυμάτων μεταξύ κόμβων, και για τον λόγο αυτό απαιτούν τις ακριβείς θέσεις των κόμβων που συμμετέχουν στην προσομοίωση.

Τα δύο πιο πάνω μοντέλα δεν μπορούν να προσφέρουν αυτό το επίπεδο λεπτομέρειας.

Από την άλλη οι Microscopic προσομοιώσεις παρέχουν αυτή τη δυνατότητα. Οι προσομοιώσεις αυτές διαμορφώνουν την συμπεριφορά των ενιαίων οχημάτων καθώς και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους, και θα θεωρηθούν ως τα μοντέλα κινητικότητας των προσομοιωμένων κόμβων στα VANETs.

Η επιστήμη μεταφοράς και κινητικότητας έχει αναπτύξει ένα αριθμό microsimulation μοντέλων, το καθένα από τα οποία υιοθετεί μια διαφορετική προσέγγιση, με αποτέλεσμα την παραγωγή προσομοιώσεων διαφορετικής πολυπλοκότητας. Όσο αφορά την προσομοίωση κίνησης κάθε προσέγγιση έχει τα δικά της μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα. Παρόλα αυτά μετά από αξιολόγηση πολλών από αυτά τα μοντέλα, έχει εξαχθεί το συμπέρασμα ότι είναι καλύτερο να παίρνουμε το πιο απλό μοντέλο για κάποια συγκεκριμένη εφαρμογή, αφού τα πολύπλοκα μοντέλα δεν θα παράξουν καλύτερα αποτελέσματα. Κάτι που δείχνει ότι όσο αφορά την προσομοίωση δικτύου, όλες οι microsimulation προσεγγίσεις είναι ίσης σημασίας με το μοντέλο κινητικότητας.

Ένα χρήσιμο εργαλείο προσομοίωσης που συμβάλει στη διατήρηση ενός απλού και κατανοητού μοντέλου κίνησης είναι μια προσαρμογή TrafficApplet, ένα open source εργαλείο, το οποίο εφαρμόζει τα IDM και MOBIL για υπολογισμό τη διαμήκη και πλευρική κίνηση των οχημάτων. Στο IDM υπολογίζεται η επιτάχυνση ενός συγκεκριμένου οχήματος σε ένα δεδομένο χρόνο. Στο μοντέλο αλλαγής λωρίδων MOBIL, πρέπει να πληρούνται δύο κριτήρια για αλλαγή λωρίδας: η αλλαγή λωρίδας να είναι ασφαλής, π.χ. μετά την αλλαγή, η επιτάχυνση του οχήματος που ακολουθεί το τρέχον όχημα πρέπει να είναι εντός της ζώνης ασφαλείας. Το δεύτερο κριτήριο πληρείται αν η επιτάχυνση του εν λόγω οχήματος θα αυξηθεί περισσότερο από την μείωση της επιτάχυνσης του οχήματος που ακολουθεί.

Η αξιολόγηση του αντίκτυπου της χρήσης ενός σύνθετου μοντέλου κίνησης έγινε με βάση προσομοιώσεις που εκτελέστηκαν όχι μόνο με τους κόμβους που κινούνται σύμφωνα με το IDM/MOBIL μοντέλο κινητικότητας, αλλά και σύμφωνα με ένα απλό τυχαίο μοντέλο κινητικότητας. Στην περίπτωση αυτή οι κόμβοι τοποθετήθηκαν σε τυχαία σημεία σε μια ορθογώνια περιοχή, η οποία αντιστοιχεί στον δρόμο προσομοίωσης.

4.5.4 Προσομοίωση Δικτύου

Η προσομοίωση δικτύου χρησιμοποιείται συνήθως για διαμόρφωση της σχετικής διάταξης των υπολογιστικών τμημάτων του δικτύου πολύ πριν αυτά αφεθούν στον

πραγματικό κόσμο. Με προσομοίωση συγκρίνεται η απόδοση διάφορων διαδικασιών του δικτύου, καθιστώντας ικανή την πιθανότητα εντοπισμού και επίλυσης προβλημάτων επίδοσης, χωρίς την ανάγκη διεξαγωγής δαπανηρών δοκιμών στα διάφορα πεδία. Πιο κάτω γίνεται αναφορά σε δύο από τα μοντέλα προσομοίωσης δικτύου που χρησιμοποιούνται για VANETs, τα TraNS και VISSIM.

- **Trafficand Network Simulation (TraNS) σε open-source source περιβάλλον:**

Είναι ένα μοντέλο προσομοίωσης που αποτελείται από δύο προσομοιωτές, ένα προσομοιωτή κίνησης SUMO και ένα προσομοιωτή δικτύου ns2. Ο προσομοιωτής δικτύου μπορεί να χρησιμοποιήσει ρεαλιστικά μοντέλα κίνησης και να επηρεάσει την συμπεριφορά του προσομοιωτή κίνησης βασιζόμενος στην επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων.

Ο στόχος του είναι να αποφύγει να έχει αποτελέσματα προσομοίωσης τα οποία διαφέρουν σημαντικά από τα αποτελέσματα που πάρθηκαν από παραδείγματα του πραγματικού κόσμου.

- **SUMO (Simulation of Urban MObility):** Πρόκειται για ένα ανοικτό περιβάλλον, με υψηλό βαθμό προσαρμογής, για microscopic μοντέλο προσομοίωσης, ικανό να ελέγχει δίκτυα μεγάλων δρόμων.
- **Ns2:** Πρόκειται για τη δεύτερη έκδοση του Ns, ενός προσομοιωτή που ειδικεύεται σε γεγονότα δικτύου, και που υποστηρίζει TCP προσομοίωση, προσομοίωση δρομολόγησης, καθώς και την παρουσία multicast πρωτοκόλλων σε ενσύρματα και ασύρματα (τοπικά και δορυφορικά) δίκτυα.

- **VISSIM:** Είναι ένα microscopic πολύμορφο λογισμικό προσομοίωσης κυκλοφοριακής ροής. Αναπτύχθηκε το 1992 από την PTV Planung Transport Verkehr AG στη Γερμανία ως ένα πρότυπο προσομοίωσης για την κυκλοφορία στις πόλεις.

4.6 Υπηρεσίες Επικοινωνιών

4.6.1 DSRC (Dedicated Short Range Communications)

4.6.1.1 Εισαγωγή στο DSRC

Το 5.9Ghz DSRC [36] είναι μια μικρής έως μέτριας ακτίνας υπηρεσία επικοινωνιών η οποία υποστηρίζει τόσο την δημόσια ασφάλεια όσο και τις ιδιωτικές διαδικασίες σε υποδομή-όχημα και όχημα-όχημα περιβάλλοντα επικοινωνίας. Προορίζεται να γίνει ένα συμπλήρωμα στις cellular επικοινωνίες με την παροχή πολύ υψηλού ρυθμού στην μεταφορά δεδομένων σε περιστάσεις όπου η ελαχιστοποίηση της λανθάνουσας κατάστασης στη γραμμή επικοινωνίας και η απομόνωση των σχετικών μικρών ζωνών επικοινωνίας είναι σημαντικές.

4.6.1.2 Κλάσεις Εφαρμογών [36]

Δημόσια Ασφάλεια: Στόχο έχει την μείωση των ατυχημάτων, κάτι το οποίο έχει πολλά οφέλη πέρα από την προφανή διάσωση των ζωών. Ένα ατύχημα ακόμα και χωρίς την απώλεια ζωών μπορεί να αυξήσει σημαντικά την κυκλοφοριακή συμφόρηση και να οδηγήσει σε σημαντικό κόστος όχι μόνο σε όσους εμπλέκονται σε αυτό αλλά και στην κοινωνία σαν σύνολο διαμέσου των αυξανόμενων απαιτήσεων για τις διάφορες δημόσιες υπηρεσίες.

Διαχείριση Κυκλοφορίας: Στόχο έχει την βελτίωση της ροής κυκλοφορίας και την μείωση της συμφόρησης, χρησιμοποιώντας «έξυπνα» σήματα κυκλοφορίας, μεταβλητά μηνύματα ένδειξης, τυχαία αντίδραση στα διάφορα επεισόδια, εμπλουτισμένη δημόσια μεταφορά, κεντρικό σύστημα διαχείρισης κυκλοφορίας και ηλεκτρονική συλλογή φόρου.

Ταξιδιωτικές Πληροφορίες: Στόχο έχει την πλήρη υποστήριξη του οδηγού παρέχοντας του χρήσιμες, αληθείς, και ουσιώδεις πληροφορίες που θα κάνουν το ταξίδι

του ευχάριστο, ασφαλές και λιγότερο κουραστικό σε περιπτώσεις κυρίως στις οποίες ο οδηγός επιθυμεί να επισκεπτεί ένα μέρος στο οποίο δεν έχει ξαναπάει.

4.6.1.3 Ασφάλεια στα highways και Προειδοποιητικά Μηνύματα [36]

Η ασφάλεια στα highways είναι θέμα κρίσιμο αφού τα ατυχήματα εδώ προκαλούν πολύ σοβαρότερο αντίκτυπο τόσο σε οδηγούς όσο και σε συνοδηγούς. Μια ποικιλία από αισθητήρες έχουν χρησιμοποιηθεί για εντοπισμό των γύρω οχημάτων σε ένα highway και εμπόδιση των τροχαίων ατυχημάτων, με αποστολή προειδοποιητικών σημάτων στον οδηγό. Αυτό όμως μπορεί να γίνει μόνο αν το όχημα βρίσκεται εντός της ακτίνας μετάδοσης του αισθητήρα. Άρα, η αποστολή του σήματος μπορεί να μην γίνει έγκαιρα κάτι πολύ σημαντικό γιατί όσο πιο νωρίς συνειδητοποιήσει ο οδηγός τον κίνδυνο, τόσο περισσότερο χρόνο έχει στη διάθεση του για να ανταποκριθεί σε αυτόν, να αντιδράσει.

Ο βασισμένος σε DSRC μηχανισμός για πρόβλεψη της σύγκρουσης και προειδοποίηση (CCPWM) προτάθηκε για ανταλλαγή πληροφοριών με άλλα οχήματα και πληροφόρηση του οδηγού για οποιονδήποτε πιθανό κίνδυνο, με σκοπό την αποτροπή του ατυχήματος. Το πλεονέκτημα της ασύρματης επικοινωνίας είναι ότι η αποφυγή των συγκρούσεων, δεν περιορίζεται αυστηρά στην γραμμή θέασης (LOS), ούτε επηρεάζεται σοβαρά από τις συνθήκες του καιρού.

Όλες οι παράμετροι του οχήματος, όπως ο ID αριθμός του (VIN), η γεωγραφική περιοχή στην οποία βρίσκεται και η ταχύτητα του, αποστέλλονται broadcast μέσω του DSRC, έτσι ώστε κάθε όχημα να σχηματίζει ένα δυναμικό χάρτη για τα γειτονικά του οχήματα. Έτσι βοηθάμε το όχημα να αποκομίσει τις δυναμικές σχέσεις με τα οχήματα που το περιβάλλουν ώστε να κρατήσει μια λογική απόσταση για συντήρηση του χρόνου αντίδρασης για επείγουσες καταστάσεις.

Ο CCPWM μηχανισμός χωρίζεται σε 4 επίπεδα (Πίνακας 4.1) κυμαινόμενα από το λιγότερο σημαντικό στο πιο επείγων, τα οποία καθορίζονται από την απόσταση μεταξύ του ξενιστή και των γειτονικών του οχημάτων, και τους τύπους της οδήγησης όπως η επιθετική οδήγηση, η συντηρητική κτλ. των γειτονικών οχημάτων.

THE WARNING LEVEL OF CCPWM		
THE WARNING LEVEL OF CCPWM	Trigger Condition of Warning Level	Purpose
Level 1 (minor)	When other vehicles are within the wireless communication range (100m).	To remind the drivers that some other vehicles are moving into their communication range.
Level 2	When other vehicles are within the safe distance defined by Ministry of Transportation and Communication, Taiwan.	To remind the drivers to pay attention and keep proper distance.
Level 3	If a vehicle is within the computed safe distance and applies brake, but the driver cannot make a brake to prevent from the collision in time.	To warn the drivers to take a normal brake to increase the distance with the other vehicle.
Level 4 (Emergent)	When any preceding vehicle takes an emergency brake and broadcasts the emergency warning.	To warn the drivers to take an emergency brake to prevent the multi vehicle chain collision

Πίνακας 4.1 Επίπεδα Προειδοποίησης του CCPWM [36]

4.6.1.4 Αρχιτεκτονική Dedicated Short-Range Communications (DSRC) πρωτοκόλλου

Το DSRC πρωτόκολλο αποτελείται από τρία στρώματα: Το Physical Layer, το Data Link (MAC) Layer, και το Application Layer [20]. Η αρχιτεκτονική αυτή είναι δημοφιλής για συστήματα πραγματικού χρόνου καθώς μειώνει το κόστος σε overhead και συναντά χρονικούς περιορισμούς. Το σύστημα σχεδιάστηκε για να υποστηρίζει σενάρια πολλών εφαρμογών και ένα περιβάλλον πολλών δρόμων, κάνοντας τη τεχνολογία αυτή αξιόλογη για πολλούς τομείς εφαρμογών.

Το **Physical Layer** έχει ως σκοπό να υποστηρίξει διάφορους τύπους μέσων. Προς το παρόν, ένα Ευρωπαϊκό ENV πρότυπο για μετάδοση μικροκυμάτων σε 5.8GHz [12] είναι διαθέσιμο. Ο προκαθορισμένος ρυθμός για downlink δεδομένα είναι 500Kb/s, με το μέγιστο να φτάνει τα 1000Kb/s, ενώ για uplink δεδομένα προκαθορισμένος ρυθμός είναι τα 250Kb/s, με μέγιστη απόδοση τα 750Kb/s. Η ζώνη επικοινωνίας έχει ένα χαρακτηριστικό μήκος 3 έως 15 μέτρων.

Το **Data Link Layer** αποτελείται από δύο υπό-επίπεδα: το Logical Link Control (LLC), το οποίο παρέχει πρωταρχικές υπηρεσίες για μια (μη)αναγνωρισμένη, ασύνδετη μεταφορά δεδομένων, και το Medium Access Control (MAC), το οποίο συντονίζει την πρόσβαση στο φυσικό μέσο.

Ο έλεγχος πρόσβασης πραγματοποιείται με τη διάθεση των χρονικών παραθύρων στη σύνδεση. Η πηγή καθοδήγησης (beacon) στέλνει στο downlist μια λίστα υπάρχουσων εφαρμογών RTTT, τον “Beacon Service Table” (BST), που ακολουθείται από μια δημόσια κατανομή παραθύρων (PuWa), και ένα αριθμό δημόσιων παραθύρων. Το όχημα επιλέγει τυχαία ένα από τα δημόσια παράθυρα για να εκπέμψει ένα ιδιωτικό αίτημα (PrWR) στο uplink. Εάν προκληθεί σύγκρουση πακέτων, το όχημα επιλέγει τυχαία ένα άλλο δημόσιο παράθυρο για αναμετάδοση. Η πηγή καθοδήγησης ελέγχει τη σύνδεση επικοινωνίας και ορίζει στο uplink ένα ιδιωτικό παράθυρο (PrW) αφιερωμένο στο όχημα. Αυτό αναγγέλλεται στο όχημα με την αποστολή στο downlink μιας ιδιωτικής κατανομής παραθύρου (PrWa). Το όχημα λαμβάνει το uplink αποκλειστικά κατά τη διάρκεια του ιδιωτικού του παραθύρου και απαντά στο BST με μια λίστα με τις εφαρμογές που εμφανίζονται στο BST αλλά και στην πλευρά του οχήματος, το “Vehicle Service Table” (VST).

Το **Application Layer** αποτελείται τρία στοιχεία πυρήνα, τα οποία πραγματοποιούν την έναρξη (I-KE), τη μετάδοση των broadcast μηνυμάτων (B-KE) και τη μεταφορά (T-KE) των ομάδων από δεδομένα (PDU) [11] του πρωτοκόλλου.

4.6.2 MAC πρωτόκολλα για VANETs

4.6.2.1 Πρότυπο IEEE 802.11

4.6.2.1.1 Εισαγωγή στο Πρότυπο IEEE 802.11

Πρόκειται για ένα ασύρματο πρότυπο επικοινωνίας το οποίο μπορεί να λειτουργήσει με δύο τρόπους: μια συγκεντρωμένη μέθοδο, όπου οι εν κίνηση ακραίοι επικοινωνούν με (και διαμέσου) ένα ή περισσότερα σημεία πρόσβασης, και μια ad-hoc μέθοδο, όπου οι εν κίνηση κόμβοι μπορούν να επικοινωνούν και να αλληλεπιδρούν απευθείας μεταξύ τους χωρίς την μεσολάβηση κάποιας υποδομής [20]. Εμάς μας ενδιαφέρει η δεύτερη μέθοδος.

Το πρότυπο αυτό χρησιμοποιείται συχνά για υλοποίηση πρωτοτύπων VANETs, εξαιτίας της μεγάλης διαθεσιμότητας στην αγορά των φτηνών σε κόστος IEEE 802.11 - βασικών ασύρματων συσκευών. Το IEEE 802.11 διευθύνει το MAC και το physical layer.

Γενικά, ένα καλό Mac πρωτόκολλο για VANETs θα πρέπει να λαμβάνει λιγότερο υπόψη τους περιορισμούς ενέργειας και τα προβλήματα χρονικού συγχρονισμού και περισσότερο να νοιάζεται για τις γρήγορες τοπολογικές αλλαγές, καθώς και για τα διάφορα είδη εφαρμογών, για τα οποία θα καθιερωθεί η μετάδοση. Τα πρωτόκολλα αυτά πρέπει να μειώνουν τη καθυστέρηση στο μέσο πρόσβασης, κάτι το οποίο είναι σημαντικό π.χ. σε εφαρμογές ασφαλείας.

4.6.2.1.2 IEEE 802.11 MAC Layer

Στο IEEE 802.11, η Distributed Coordination Function (DCF) είναι υπεύθυνη του μέσου πρόσβασης το οποίο βασίζεται στο CSMA με αποφυγή σύγκρουσης (CSMA/CA), κάτι που επιτυγχάνεται με τον εξής τρόπο: η συσκευή ακούει το δίκτυο προτού αποστείλει κάποιο πακέτο έτσι ώστε να αποφύγει τις συγκρούσεις [20]. Η Point Coordination Function (PCF) είναι μια άλλη μέθοδος για το μέσο πρόσβασης σχεδιασμένη για συγκεντρωμένα δίκτυα και συσκευές πραγματικού χρόνου.

Υπάρχουν δύο μέθοδοι οι οποίες καθορίζουν αν το μέσο είναι αδρανές ή όχι. Η φυσική αντίληψη του μεταφορέα εξαρτάται από το physical layer και το υλικό που χρησιμοποιείται, έτσι δεν μπορεί να υπερνικήσει το εσωτερικό πρόβλημα τερματικού, αφού ο εσωτερικός ακραίος δεν μπορεί να ακουστεί φυσικά. Η εικονική αντίληψη του μεταφορέα είναι από την άλλη βασισμένη στον Network Allocation Vector (NAV). Το NAV είναι ένας χρονομετρητής ο οποίος δείχνει τη διάρκεια για την οποία το μέσο θα είναι απασχολημένο. Έτσι αν το NAV είναι διάφορο του μηδέν το μέσο παρουσιάζεται ως απασχολημένο.

Στα ασύρματα δίκτυα κάποια διαστήματα παύσης, τα λεγόμενα Inter-Frames Spacings (IFSs), τίθενται μεταξύ δύο διαδοχικών πλαισίων μετάδοσης για ρύθμιση της μέσης διαδικασίας πρόσβασης.

Κατά τη χρήση του IEEE 802.11 στην ad-hoc μέθοδο για VANETs, πρέπει κάθε όχημα να ελέγξει τη μέση κατάσταση προτού επιχειρήσει να μεταδώσει. Αν αισθανθεί ότι είναι αδρανής για κάποια συγκεκριμένη χρονική διάρκεια, τότε το όχημα μπορεί να μεταδώσει, διαφορετικά κάνει πίσω και επιχειρεί ξανά αφού περάσει κάποιο χρονικό διάστημα, το οποίο επιλέγεται μέσα από ένα παράθυρο διαφοράς (CW).

Για πρόσβαση στο μέσο, το IEEE 802.11 βασίζεται κυρίως στην RTS/CTS/ACK ανταλλαγή πακέτων. Όταν ένα όχημα επιθυμεί να έχει πρόσβαση στο μέσο, αισθάνεται αν το μέσο είναι αδρανές, και στέλνει ένα RTS πακέτο το οποίο περιλαμβάνει το ID του και τη χρονική διάρκεια ολόκληρης της μετάδοσης. Όλοι οι γείτονες του οχήματος-δέκτη ακούνε το RTS πακέτο και θέτουν τα NAV σύμφωνα με τη χρονική διάρκεια μετάδοσης που υποδεικνύεται στο RTS πακέτο. Μετά τη λήψη του RTS, αν ο δέκτης είναι έτοιμος να λάβει και να μεταδώσει περιμένει ένα σύντομο IFS (SIFS) διάστημα και έπειτα απαντά ξαποστέλλοντας ένα CTS πακέτο το οποίο περιλαμβάνει τη χρονική διάρκεια μετάδοσης. Όλοι οι γείτονες που θα παραλάβουν το CTS θέτουν το NAV σύμφωνα με τον υποδειγμένο χρόνο διάρκειας. Κατά τη λήψη του CTS, το όχημα αποστολέας περιμένει για το SIFS προτού αρχίσει τη μετάδοση δεδομένων. Το όχημα-λήπτης, έχοντας λάβει με επιτυχία το πλαίσιο δεδομένων, περιμένει για ακόμα ένα SIFS και έπειτα στέλνει ένα ACK μόνο στον αποστολέα. Κάθε ακραίος κόμβος θέτει το

NAV στο μηδέν μετά που θα λάβει το ACK πακέτο.

Χάρη στη χρήση της ανταλλαγής πακέτων RTS/CTS/ACK και των διάφορων ενδιάμεσων-πλαισίων διαστημάτων, το 802.11 ελαχιστοποιούν τον κίνδυνο σύγκρουσης πλαισίων.

4.6.2.1.3 Προς ένα IEEE 802.11 Physical Layer για τα VANETs

Έχουν προταθεί διάφορες εκδόσεις IEEE 802.11 σχετικές με το Physical Layer . Οι πιο γνωστές εξ' αυτών είναι οι 802.11b, 802.11a, and 802.11g. Πολλές άλλες εκδόσεις προτάθηκαν ως επεκτάσεις των προηγούμενων εκδόσεων, όπως π.χ. η έκδοση 802.11i η οποία περιλαμβάνει θέματα ασφάλειας [20].

Η έκδοση 802.11b είναι η πιο δημοφιλής έκδοση και το πρώτο ευρέως αποδεκτό ασύρματο πρότυπο δικτύωσης. Όπως και η 802.11g, έτσι και η 802.11b χρησιμοποιεί την χωρίς άδεια ζώνη των 2.4GHz, όπου η επέμβαση είναι δυνατή με ασύρματα τηλέφωνα, φούρνους μικροκυμάτων, ασύρματες φωτογραφικές μηχανές, και άλλες συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούν την ίδια ζώνη. Στη θεωρία ο ρυθμός δεδομένων στο IEEE 802.11b μπορεί να φτάσει τα 11Mb/s, όμως στην πράξη μπορούν να φτάσουν μόνο τα 7.5Mb/s.

Σε αντίθεση με τα 802.11b και 802.11g, η έκδοση 802.11a χρησιμοποιεί τη ζώνη συχνότητας 5GHz. Το θεωρητικό μέγιστο throughput είναι 54Mb/s, το χρήσιμο όμως φτάνει το πολύ τα 25Mb/s. Η ζώνη των 5GHz δίνει στο 802.11a το πλεονέκτημα της λιγότερης επέμβασης, αλλά δυστυχώς δεν της επιτρέπει να διαπεράσει ικανοποιητικά μέσα από τοίχους και άλλα αντικείμενα.

Η 802.11g τεχνολογία μπορεί να φτάσει το ίδιο ψηλότερο θεωρητικό ποσοστό ψηφίων με την 802.11a (δηλ. με περίπου 25Mb/s μέγιστο δικτυακό throughput). Τα 802.11g και 802.11b είναι συμβατά και μπορούν να δουλέψουν μαζί. Το Super G, ένα νέο ιδιόκτητο χαρακτηριστικό το οποίο χρησιμοποιείται από μερικά προϊόντα στην αγορά, θα έπρεπε να επιτρέπει στη δικτυακή ταχύτητα να φτάσει μέχρι και τα 108Mb/s χρησιμοποιώντας τη σύνδεση καναλιών πάνω στο 802.11g, το οποίο μπορεί να συνδέσει μαζί δύο 20MHz

κανάλια.

4.6.2.1.4 WAVE (IEEE 802.11p)

4.6.2.1.4.1 Εισαγωγή στο IEEE 802.11p

Μια νέα τροποποίηση του προτύπου 802.11 σχεδιασμένη για VANETs είναι η ασύρματη πρόσβαση στα τροχαία περιβάλλοντα (WAVE) ή αλλιώς IEEE 802.11p [14]. Ο κύριος στόχος της χρήσης της επικοινωνιακής τεχνολογίας στα οχήματα, είναι η βελτίωση της ασφάλειας των επιβατών και η μείωση των μοιραίων περιστατικών.

Το πρότυπο WAVE χρησιμοποιώντας μια πολύ-καναλική αρχή, κάνει μια εκτίμηση της προτεραιότητας των μηνυμάτων. Αυτό γίνεται διαμέσου των διάφορων κατηγοριών πρόσβασης (Access Classes-ACs), κάτι το οποίο θα εξασφαλίσει ότι τα άμεσα σχετιζόμενα μηνύματα ασφαλείας, μπορούν να ανταλλαχτούν έγκαιρα και με αξιοπιστία ακόμα και κατά την διάρκεια ενός σεναρίου με πυκνή κυκλοφοριακή κίνηση.

4.6.2.1.4.2 Ενδο-επικοινωνία οχημάτων με τη χρήση του WAVE προτύπου

Το Physical Layer μπορεί να βασιστεί σε επτά κανάλια με 10MHz bandwidth το καθένα. Το φάσμα του WAVE διανέμεται στην μέγιστη ακτίνα των 5GHz. Δεδομένου ότι η σχεδίαση του θα επιτρέψει τόσο τα ενιαία τμήματα όσο και τα τμήματα πολλών αποδεκτών, τα διαφορετικά κανάλια δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα. Παρόλα αυτά κάθε σταθμός εναλλάσσεται συνεχώς μεταξύ του Control Channel (CCH) και ενός εκ των Service Channels (SCHs) ή των Safety Channels. Εξαιτίας των ισχυρών απαιτήσεων για καθυστέρηση π.χ. υπηρεσίες αποφυγής σύγκρουσης, μια περίοδος η οποία περιέχει ένα διάστημα CCH και ένα διάστημα SCH, θα διαρκέσει λιγότερο από 100ms.

Το MAC Layer στο WAVE είναι ισοδύναμο με την επέκταση του IEEE 802.11e Enhanced Distributed Channel Access (EDCA) Quality of Service (QoS) extension

[20]. Επομένως, τα μηνύματα εφαρμογών κατηγοριοποιούνται σε διαφορετικά ACs, όπου το AC0 έχει την χαμηλότερη προτεραιότητα και το AC3 την υψηλότερη.

Στο MAC Layer υπάρχει μια ουρά πακέτων για κάθε AC. Κατά τη διάρκεια της επιλογής ενός πακέτου για μετάδοση, τα τέσσερα ACs ικανοποιούνται εσωτερικά. Το επιλεγόμενο πακέτο έπειτα αγωνίζεται για το κανάλι εξωτερικά χρησιμοποιώντας τις επιλεγμένες ανταγωνιστικές του παραμέτρους. Οι παράμετροι αυτοί είναι παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2. Για τον υπολογισμό του CW_{min} θέτουμε ότι το aCW_{min}=15, ενώ για τον υπολογισμό του CW_{max} θέτουμε ότι το aCW_{max}=1023.

AC	CW _{min}	CW _{max}	AIFS	t_w
0	aCW _{min}	aCW _{max}	9	264 μs
1	$\frac{aCW_{min}+1}{2} - 1$	aCW _{min}	6	152 μs
2	$\frac{aCW_{min}+1}{4} - 1$	$\frac{aCW_{min}+1}{2} - 1$	3	72 μs
3	$\frac{aCW_{min}+1}{4} - 1$	$\frac{aCW_{min}+1}{2} - 1$	2	56 μs

Πίνακας 4.2 EDCA Παράμετροι για το CCH [14]

Ανάλογα με το AC πρώτα θέτουμε ότι το Arbitration Inter-Frame Space (AIFS) $t_a = AIFS * t_s$, όπου $t_s = 16 \mu s$ αντιπροσωπεύει το χρονικό πέρασμα. Έπειτα, καθορίζεται το μέγεθος του Contention Window (CW) τυχαία, επιλέγοντας μια τιμή μεταξύ του μηδέν και του CW_{min} για την πρώτη απόπειρα μετάδοσης. Έτσι η περίοδος ανταγωνισμού ισοδυναμεί με $t_c = CW * t_s$. Σε περίπτωση σύγκρουσης, θα επαναληφθεί η μετάδοση χρησιμοποιώντας ένα αυξανόμενο CW ίσο με $2 * (CW + 1) - 1$. Αυτή η αύξηση θα συνεχιστεί μέχρι να φτάσουμε τόσο στο CW_{max} όσο και στο μέγιστο αριθμό επαναλήψεων[3].

Αυτός ο μηχανισμός ανταγωνισμού είναι όμοιος με αυτούς που είναι γνωστοί από το συμβατό Wireless Local Area Network (WLAN) και την EDCA επέκταση. Ωστόσο το WAVE χρησιμοποιεί συγκεκριμένες παραμέτρους για την EDCA επέκταση του. Κάθε AC πρέπει να περιμένει τουλάχιστον τα AIFS χρονικά περάσματα του, και επιπλέον τα χρονικά περάσματα που καθορίζονται από την επιλεγμένη CW τιμή, κάτι που οδηγεί στον μέσο χρόνο t_w .

4.6.2.1.4.3 Αναλυτική Αξιολόγηση του throughput και των πιθανοτήτων για σύγκρουση

Για να επεξεργαστούμε και να αξιολογήσουμε πιο καλά και σωστά το throughput θα μελετήσουμε τα ακόλουθα παραδείγματα: Αρχικά θα πάρουμε το απλό παράδειγμα ενός πακέτου μεγέθους 500B (επιλέχθηκε αυτό το μέγεθος γιατί αποτελεί μια μέση λογική τιμή πακέτου τόσο για πληροφορίες δεδομένων όσο και για πληροφορίες ασφάλειας). Χρησιμοποιώντας τους περιορισμούς που πάρθηκαν από την διαδικασία ανταγωνισμού, το throughput για κάθε AC κατά τη διάρκεια ενός διαστήματος $t_i=50\text{ms}$ μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την (Σχήμα 4.1 Εξίσωση 1) όπως φαίνεται πιο κάτω. Το t_d μπορούμε να το βρούμε χρησιμοποιώντας την (Σχήμα 4.1 Εξίσωση 2). Αφού έγινε ο υπολογισμός έχει φανεί ότι χρησιμοποιώντας ένα ρυθμό δεδομένων στα 6Mbit/s αν μόνο ένας αποστολέας είναι ενεργός, οι μέγιστες τιμές σε throughput δίνουν μια καλή εντύπωση για τους περιορισμούς απόδοσης του CCH.

Η γενίκευση του πιο πάνω παραδείγματος ενός αποστολέα σε ένα με πολλαπλό αριθμό από κόμβους που προωθούν δεδομένα, επιφέρει συγκρούσεις πακέτων στο κανάλι, μειώνοντας το throughput. Η πιθανότητα εμφάνισης μιας σύγκρουσης εξαρτάται από τον αριθμό των διαφορετικών περιόδων σε ανταγωνιστικά παράθυρα (n_c). Για παράδειγμα σε ένα σενάριο με N κόμβους-αποστολείς, θα παρουσιαστεί σύγκρουση αν τουλάχιστον δύο κόμβοι επιλέξουν το ίδιο t_c και κανένας άλλος κόμβος δεν επιλέξει ένα πιο σύντομο t_c . Ο αριθμός συνδυασμών των N κόμβων που επιλέγουν ένα t_c δίνεται από την (Σχήμα 4.1 Εξίσωση 3) το αποτέλεσμα του υπολογισμού μπορεί έπειτα να χρησιμοποιηθεί για καθορισμό της πιθανότητας σύγκρουσης p_{coll} από την (Σχήμα 4.1 Εξίσωση 4).

$$N_p = \frac{t_i}{t_a + t_w + t_d} \quad (1)$$

$$t_d = t_{head} + t_{data} = 96 \mu\text{s} + 667 \mu\text{s} \quad (2)$$

$$n_t(N) = n_c^N \quad (3)$$

$$p_{coll}(N, n_c) = \frac{N}{n_t} \cdot \sum_{i=1}^{n_c-1} (n_c - i)^{N-1} \quad (4)$$

Σχήμα 4.1 Εξισώσεις Πιθανότητας Σύγκρουσης στο WAVE [14]

Για μείωση της πιθανότητας των συγκρούσεων πρέπει να αυξηθεί το μέγεθος του Control Window (CW), εντούτοις, αυτό οδηγεί σε ένα ελαφρώς μειωμένο μέσο όρο throughput. Η δεύτερη επιλογή είναι η διαμόρφωση της κυκλοφορίας και η μείωση του αριθμού των υψηλής προτεραιότητας πακέτων χρησιμοποιώντας AC3. Όμως η διαμόρφωση της κυκλοφορίας πρέπει να περιλαμβάνει τον τρέχον αριθμό γειτόνων για να είναι αποτελεσματική.

Παίρνοντας τους χρόνους αναμονής μηνυμάτων διάφορων κατηγοριών, φάνηκε ότι κάθε μήνυμα κατηγορίας AC3 καθώς και τα περισσότερα μηνύματα της AC2, κερδίζουν την διαδικασία ανταγωνισμού ενάντια στις χαμηλότερης προτεραιότητας κατηγορίες, λόγω των πολύ χαμηλότερων περιόδων ανταγωνισμού και ειδικά λόγω των μεγάλων AIFS χρόνων για AC0 και AC1.

4.6.2.1.4.4 Αξιολόγηση Απόδοσης με Προσομοίωση

Για καλύτερη επεξεργασία των χαρακτηριστικών και περιορισμών του προτύπου WAVE εφαρμόστηκε σε ένα περιβάλλον προσομοίωσης [14]. Σαν βάση χρησιμοποιήθηκε το OMNeT++, το οποίο συνδυάστηκε με το INET Framework (Version 20061020). Πιο συγκεκριμένα έγινε αντικατάσταση του IEEE 802.11b μοντέλου με το WAVE χρησιμοποιώντας τις ανταγωνιστικές παραμέτρους του προτύπου τις οποίες έχουμε δει πιο πάνω. Και αφού η προσοχή εστιάστηκε στην ανάλυση του CCH, χρησιμοποιήθηκε η ροή δεδομένων των 6Mbit/s. Η ράδιο-ακτίνα τέθηκε στα 250m και οι παρεμβάσεις από άλλες μεταδόσεις έγιναν αποδεχτές μέχρι και στην απόσταση των 4km. Το διάστημα τ_i του CCH τέθηκε στα 50ms. Επίσης στα αποτελέσματα της προσομοίωσης δόθηκε ένα διάστημα εμπιστοσύνης 95% στις πλοκές. Έτσι το μοντέλο εντοπίζει τις συγκρούσεις πακέτων αν το radio προσπαθήσει να μεταδώσει την ίδια στιγμή που ένα νέο πακέτο έχει ληφθεί, οδηγώντας σε αναμετάδοση πακέτου.

Σε πρώτη φάση σε μια περιοχή προσομοίωσης των 150m * 150m έχουν διανεμηθεί ένας κόμβος παραλήπτης και από ένας μέχρι είκοσι κόμβοι-αποστολείς. Οι κόμβοι-αποστολείς αρχικοποιήθηκαν με 60 μηνύματα του ίδιου AC. Η προσομοίωση διάρκεσε ένα CCH διάστημα τ_i .

Δεδομένου ότι όλοι οι κόμβοι μοιράζονται το ίδιο κανάλι, οι προσπάθειες μειώνονται εκθετικά καθώς ο αριθμός των κόμβων αυξάνεται. Ακόμα για τα χαμηλής

προτεραιότητας ACs προκλήνονται λιγότερες προσπάθειες αποστολής, κυρίως λόγω των μεγαλύτερων περιόδων ανταγωνισμού.

Πιο σημαντικός όμως από τις προσπάθειες αποστολής παρουσιάζεται να είναι ο αριθμός των ληφθέντων πακέτων. Οι πλοκές έδειξαν ότι για όλες τις κατηγορίες ο αριθμός των ληφθέντων μηνυμάτων μειώνεται γραμμικά. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από τον αυξανόμενο αριθμό συγκρούσεων στο κανάλι. Ένα κάπως απρόσμενο αποτέλεσμα είναι ότι η κατηγορία με την χαμηλότερη προτεραιότητα AC0 δεν επηρεάζεται τόσο από τις συγκρούσεις όσο οι υψηλής προτεραιότητας κατηγορίες. Αυτό το αποτέλεσμα δείχνει ότι το πρότυπο WAVE δεν μπορεί να αντιμετωπίσει μεγάλο αριθμό μηνυμάτων υψηλής προτεραιότητας σε ένα πυκνό σενάριο. Ως εκ τούτου, οι αλγόριθμοι διαμόρφωσης της κυκλοφορίας που χαρτογραφούν τα μηνύματα σε ACs, πρέπει να ενσωματώσουν τον αριθμό των τρέχοντων γειτονικών κόμβων στην απόφαση χαρτογράφησης ή τον αριθμό των ληφθέντων μηνυμάτων ανά AC στο τελευταίο διάστημα του καναλιού.

Έπειτα έγινε προσομοίωση σε ένα σενάριο μεγέθους 2000m * 2000m διαιρεμένο σε ένα πλέγμα μήκους 500m. Ο χρόνος προσομοίωσης τέθηκε στα 15 λεπτά. Στα εσωτερικά σύνορα του πλέγματος οι δρόμοι είναι παράγωγοι ενός πλέγματος στο Manhattan. Οι κόμβοι κινούνται στους δρόμους αυτούς με μέση ταχύτητα 60km/s. Η παραγωγή μηνυμάτων από κάθε κόμβο γίνεται χρησιμοποιώντας εκθετικούς χρόνους ένδον-άφιξης με τις παραμέτρους του Πίνακα 4.3.

	Low Data Traffic		High Data Traffic	
	inter-arrival	packets/sec	inter-arrival	packets/sec
AC3	100 ms	10.0	80 ms	12.5
AC2	100 ms	10.0	60 ms	16.7
AC1	90 ms	11.1	30 ms	33.3
AC0	45 ms	22.2	20 ms	50.0

Πίνακας 4.3 Παράμετροι κίνησης στο WAVE [14]

Έχουν διεξαχθεί προσομοιώσεις με διάφορες πυκνότητες κόμβων, στις οποίες έχουν τεθεί οι εξής ισοδυναμίες: 100 κόμβοι ισοδυναμούν με ένα μέσο όρο 1.9 γείτονες, 200 κόμβοι ισοδυναμούν με 3.8 γείτονες και 300 κόμβοι με 5.9 γείτονες.

Οι παράμετροι παραγωγής πακέτων που διευκρινίζονται στον πίνακα 4.3 είναι έγκυρες για το application layer, ωστόσο δεν ανταποκρίνονται απαραίτητα στον αριθμό των πραγματικών broadcast πακέτων στο κανάλι. Η χωρητικότητα του καναλιού και οι

αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ACs περιορίζουν το throughput, κάτι το οποίο έχει φανεί από τα αποτελέσματα αποστολής και λήψης. Με αύξηση του αριθμού των κόμβων το γενικό φορτίο του δικτύου αυξάνεται, οδηγώντας σε μια πιο ισχυρή έμμεση αλληλεπίδραση μεταξύ των ACs. Μόλις φτάσουμε στη μέγιστη χωρητικότητα του throughput και το φορτίο κυκλοφορίας αυξάνεται περαιτέρω, τα πακέτα της χαμηλότερης κατηγορίας AC0 αρχίζουν να παίρνουν λιγότερες ευκαιρίες για πρόσβαση στο κανάλι. Αυτό οδηγεί στην πτώση τόσο των σταλθέντων όσο και των ληφθέντων AC0 broadcasts. Και καθώς η κυκλοφορία αυξάνεται, η AC1 θα είναι η επόμενη κατηγορία που θα χάσει μερίδιο από την πρόσβαση της στο κανάλι. Από πλευράς αποδεκτών αυτή η αλληλεπίδραση, οδηγεί προφανώς σε μια μείωση στην λήψη μηνυμάτων από το αντίστοιχο AC.

Εκτός από το throughput και την πιθανότητα για πρόσβαση σε ένα κανάλι, η end-to-end καθυστέρηση είναι μια σημαντική παράμετρος για τα διάφορα ACs. Ειδικά τα χαμηλής προτεραιότητας πακέτα δεδομένων υποφέρουν από μια εκθετική αύξηση της end-to-end καθυστέρησης με την αύξηση της πυκνότητας των κόμβων. Παρόλα αυτά η end-to-end καθυστέρηση για τα AC3 ανεβαίνει επίσης.

Σύγκριση σεναρίων: Στις προσομοιώσεις με υψηλή κυκλοφορία δεδομένων, η χρήση των παραμέτρων του Πίνακα 4.3 οδήγησε σε λίγο περισσότερο από διπλάσια υπερφόρτωση πακέτων σε σύγκριση με το σενάριο με χαμηλή κυκλοφορία δεδομένων. Για τον λόγο αυτό, ειδικά για τα σενάρια με υψηλή υπερφόρτωση πακέτων, η κατανομή των μηνυμάτων υψηλής προτεραιότητας αποτελεί πρόκληση. Το πρότυπο WAVE μπορεί να δημιουργεί ομάδες μηνυμάτων που υπερέχουν όσο αφορά την προτεραιότητα από άλλες, χωρίς όμως να είναι εφικτή μια κρίσιμης ώρας κατανομή.

4.6.2.2 ADHOC MAC

Το πρωτόκολλο αυτό συμπεριλαμβάνεται στο ευρωπαϊκό πρόγραμμα CarTALK2000 με σκοπό το σχεδιασμό πρωτοποριακών λύσεων για τα VANETs [20].

Δουλεύει σε μια δομή πλαισίου, ανεξάρτητα από το Physical Layer, και χρησιμοποιεί το δυναμικό μηχανισμό TDMA ο οποίος μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί στο UMTS Terrestrial Radio Access Time Division Duplex (UTRA-TDD), το οποίο επιλέχτηκε ως

το σύστημα φυσικού στόχου στο πρόγραμμα CarTALK2000.

Το πρωτόκολλο Reliable R-ALOHA (RR-ALOHA) [5], το οποίο χρησιμοποιείται στο ADHOC MAC, προτάθηκε από με επέκταση του Reservation ALOHA (R-ALOHA) [10], για επίτευξη του δυναμικού μηχανισμού TDMA με καταναμημένο τρόπο, όπου κάθε ενεργό όχημα χρειάζεται να επιλέξει για τον εαυτό του ένα βασικό κανάλι (BCH), το οποίο είναι ένα πέρασμα στο χρόνο το οποίο επαναλαμβάνεται περιοδικά σε διαδοχικά πλαίσια. Επιπλέον, κάθε όχημα πρέπει να έχει μια σφαιρική όψη των μεταδόσεων σε μια two-hop γειτονιά για να υπερνικήσει το πρόβλημα του εσωτερικού ακραίου. Για τον λόγο αυτό, στο RR-ALOHA κάθε όχημα στέλνει στο BCH του τις πληροφορίες πλαισίου του (FI), οι οποίες είναι ένα διάλυμα με N εισόδους που προσδιορίζουν πώς αισθάνθηκαν την κατάσταση των προηγούμενων N χρονικών περασμάτων στο προηγούμενο πλαίσιο.

Πιο συγκεκριμένα, το μέσο χωρίζεται σε πολλά επαναλαμβανόμενα χρονικά πλαίσια. Κάθε πλαίσιο χωρίζεται σε N χρονικά πλαίσια. Και κάθε όχημα πρέπει να λάβει ένα χρονικό πέρασμα ως το BCH του.

Κατά τη διάρκεια του κάθε χρονικού πλαισίου, όλα τα οχήματα ακούνε την μετάδοση του γείτονα τους, και όταν ακούνε μια επιτυχή μετάδοση από ορισμένα οχήματα σε κάποια χρονικά περάσματα, σημαδεύουν στα FIs τους τις αντίστοιχες εισόδους με τα αντίστοιχα ID των οχημάτων-πομπών. Κάθε όχημα στέλνει το FI του κάθε φορά που ένα πλαίσιο παρουσιάζεται στο BCH του. Όλα τα χρονικά περάσματα τα οποία αντιστοιχούν στις σημαδεμένες εισόδους σε ένα FI θεωρούνται κρατημένα και πολυάσχολα. Όταν φτάσει ένα νέο όχημα, ακούει κατά τη διάρκεια ενός χρονικού πλαισίου προτού επιχειρήσει να μεταδώσει σε ένα επιλεγμένο ελεύθερο χρονικό πέρασμα. Τότε αν στο επόμενο χρονικό πλαίσιο το αντίστοιχο χρονικό πέρασμα είναι σημαδεμένο με το ID του σε όλα τα ληφθέντα FIs, σημαίνει ότι αυτό το χρονικό πέρασμα είναι κρατημένο γι' αυτό στην two-hop γειτονιά, και μπορεί να θεωρείται ως το BCH του.

4.6.2.3 Ποιοτική Σύγκριση των MAC πρωτοκόλλων για VANETs

Βασισμένοι στο CSMA/CA και το σύστημα αλληλεπίδρασης διαστήματος, το 802.11 MAC πρότυπο μπορεί να υπερνικήσει το πρόβλημα του εσωτερικού ακραίου στα VANETs. Όμως δυστυχώς (και καθώς περιμένετε η νέα έκδοση 802.11p), εξαιτίας του CSMA/CA μηχανισμού, το 802.11 δεν μπορεί να εγκυηθεί ένα ντετερμινιστικό πάνω όριο στην καθυστέρηση πρόσβασης καναλιού, κάτι το οποίο κάνει το 802.11 ακατάλληλο για πραγματικού χρόνου κυκλοφορία.

Το πρωτόκολλο ADHOC MAC, το οποίο προσαρμόστηκε για VANETs, βασίζεται σε μια δομή περασματικού πλαισίου, κάτι που επιτρέπεται για μια αξιόπιστη one-hop broadcast υπηρεσία, αποφεύγοντας εύκολα το πρόβλημα του εσωτερικού ακραίου, και εγγυάται ένα σχετικά καλό QoS, κάτι το οποίο είναι σημαντικό για πραγματικού χρόνου κυκλοφορία. Δουλεύει ανεξάρτητα από το Physical Layer, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί πάνω στο 802.11 Physical Layer με παροχή μιας δομής πλαισίου. Όπως και με το IEEE 802.11 πρότυπο, το κύριο μειονέκτημα του ADHOC-MAC είναι ότι το μέσο δεν χρησιμοποιείται αποτελεσματικά, και ο αριθμός των οχημάτων στο ίδιο επικοινωνιακό κάλυμμα δεν πρέπει να ξεπερνά τον αριθμό των χρονικών περασμάτων στο χρονικό πλαίσιο.

4.7 Πρωτόκολλα Δρομολόγησης για VANETs

4.7.1 Εισαγωγή στη Δρομολόγηση στα VANETs

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης για VANETs μπορεί να είναι

- i. Πρωτόκολλα της γενικότερης κατηγορίας των MANETs.
- ii. Πρωτόκολλα της γενικότερης κατηγορίας των MANETs ειδικά τροποποιημένα για να αντεπεξέρχονται στις απαιτήσεις της κατηγορίας των VANETs.
- iii. Πρωτόκολλα ειδικά σχεδιασμένα για VANETs.

Η κλάση των αλγόριθμων περιοχής θεωρείται μια κατανεμημένη ομάδα αλγορίθμων, όπου η συμπεριφορά ενός απλού κόμβου περιοχής επιτυγχάνει ένα γενικό αντικειμενικό αποτέλεσμα. Για το λόγο αυτό οι αλγόριθμοι αυτοί αναφέρονται και ως άπλιστης ακολουθίας αλγόριθμοι, στους οποίους κάθε κόμβος αποφασίζει σε πιο γείτονα ή γείτονες να προωθήσει το μήνυμα βασισμένος στην δική του τοποθεσία, στις τοποθεσίες των γειτονικών του κόμβων και τον προορισμό. Επιπλέον κάθε κόμβος μπορεί και εκτελεί τοπικούς υπολογισμούς.

Από την άλλη οι μη-τοπολογικοί αλγόριθμοι απαιτούν γνώση όλων των κόμβων στο δίκτυο, καθώς επίσης και πληροφόρηση για την ύπαρξη κάθε ακμής στο γράφο. Οι περισσότεροι εξ' αυτών έχουν προταθεί για ανεύρεση των shortest path μονοπατιών. Η συντήρηση των μονοπατιών αυτών απαιτεί πληροφορίες για ακμές (ασύρματες συνδέσεις), καθώς και τοπολογικές πληροφορίες κόμβων, οι οποίες θα αποσταλούν με broadcast σε όλο το δίκτυο, κάτι το οποίο κοστίζει πολύ στην επικοινωνία και προκαλεί σημαντικές καθυστερήσεις στην παράδοση. Κάτι άλλο εξίσου σημαντικό στους αλγόριθμους αυτούς είναι ότι μπορεί να τύχει κάποιοι κόμβοι να είναι προσωρινά ανενεργοί, κάτι το οποίο πρέπει να πληροφορούνται οι γείτονες τους ούτως ώστε να παρθούν οι καλύτερες αποφάσεις δρομολόγησης. Έτσι, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι μη-τοπολογικοί αλγόριθμοι μπορεί να μην αποτελούν την καλύτερη επιλογή για αλγόριθμο δρομολόγησης ακόμα και στην περίπτωση που έχουμε να κάνουμε με στατικά δίκτυα, όπως για παράδειγμα ορισμένοι τύποι sensor δικτύων.

Κάποιες μετρικές που βοηθούν στην απόφαση αν ένα πρωτόκολλο είναι το κατάλληλο για τη δρομολόγηση των πακέτων είναι οι εξής: end-to-end καθυστέρηση δεδομένων, κατανεμημένη λειτουργία, ελευθερία από loops, λειτουργία ανάλογα με την απαίτηση και λειτουργία για sleep περίοδο.

Πιο κάτω παρουσιάζονται ορισμένα από τα πιο σημαντικά πρωτόκολλα που ικανοποιούν το καθένα μια από τις πιο πάνω περιπτώσεις, χωρισμένα στις κατηγορίες proactive/table driven, reactive/on demand και location-based. Αναφορά επίσης γίνεται και στα multi-path πρωτόκολλα.

4.7.2 Proactive/Table Driven Routing

4.7.2.1 Optimized link state routing protocol (OLSR)

4.7.2.1.1 Εισαγωγή στο OLSR

Προκειμένου να διατηρηθεί η συνδεσιμότητα σε ένα VANET δίκτυο, απαιτείται η ύπαρξη ενός πρωτοκόλλου δρομολόγησης [26]. Μια τεχνική λύση είναι η χρήση ενός γεωγραφικού πρωτοκόλλου. Μια λύση η οποία απαιτεί κάθε όχημα να έχει ακριβής πληροφορίες για τη θέση του, για παράδειγμα μέσω ενός GPS. GPS όμως δεν διαθέτουν όλα τα οχήματα, αλλά και αυτά που διαθέτουν αντιμετωπίζουν προβλήματα. Για παράδειγμα, σε περιπτώσεις όπου η διαδρομή περνά από υπόγειους δρόμους (tunnels) δεν υπάρχει καλή λήψη (μπορεί και καθόλου).

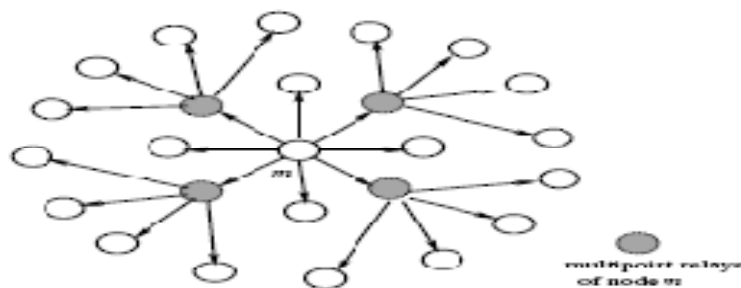
Μια άλλη λύση είναι η χρήση πρωτοκόλλων δρομολόγησης όπως είναι αυτά που έχουν καθοριστεί για MANETs. Ένα τέτοιο πρωτόκολλο είναι το OLSR, ένας proactive αλγόριθμος ο οποίος έχει να κάνει με συχνή ανταλλαγή τοπολογικών πληροφοριών μεταξύ των κόμβων στο δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα το OLSR αποτελείται από δύο κύριες λειτουργίες: την Ανεύρεση Γειτόνων και τη Διάδοση της Τοπολογίας.

4.7.2.1.2 Ανεύρεση των Γειτόνων

Κάθε κόμβος i θέλοντας να εντοπίσει τους κόμβους που βρίσκονται ένα ή δύο hops μακριά αποστέλλει κάθε τακτά χρονικά διαστήματα ("Hello_Interval" περίοδο) με broadcast τρόπο Hello μηνύματα στους 1-hop γείτονες τους. Τα μηνύματα αυτά περιέχουν τη λίστα με τους κόμβους που ο i γνωρίζει ως γείτονες του καθώς και την κατάσταση της σύνδεσής τους. Η κατάσταση αυτή μπορεί να είναι είτε συμμετρική (αν η σύνδεση είναι δυνατή και από τις δύο κατευθύνσεις), ασυμμετρική (αν η σύνδεση είναι δυνατή μόνο από τη μία κατεύθυνση), multipoint relay (αν η σύνδεση είναι συμμετρική και ο αποστολέας του Hello μηνύματος έχει επιλέξει τον κόμβο αυτό ως ένα multipoint relay κόμβο), ή χαμένη (αν η σύνδεση έχει χαθεί).

Κάθε κόμβος διατηρεί και συντηρεί ένα πίνακα με τους γειτονικούς του κόμβους, του οποίου οι καταχωρήσεις αφορούν τους κόμβους που βρίσκονται 1-hop μακριά. Μια καταχώρηση χαρακτηρίζεται από τα εξής πεδία: Naddr (διεύθυνση του 1-hop γείτονα), Nstatus (κατάσταση γραμμής σύνδεσης) και N2hopList (η λίστα με τους 2-hop γείτονες με τους ο 1-hop προσφέρει συμμετρική πρόσβαση). Με τη λήψη ενός Hello μηνύματος, ο παραλήπτης κόμβος δημιουργεί μια καινούργια καταχώρηση ή αναβαθμίζει την ήδη υπάρχουσα καταχώρηση που έχει ως Naddr τη διεύθυνση του κόμβου-αποστολέα. Π.χ. αν στο μήνυμα αυτό στο N2hopList πεδίο, υπάρχει το όνομα του κόμβου αυτού τότε θέτει ή αναβαθμίζει το Nstatus θέτοντας το ως συμμετρικό.

Με βάση τις πληροφορίες που θα πάρει ο κάθε κόμβος από τα Hello μηνύματα επιλέγει το δικό του σύνολο από multipoint relays και δημιουργεί τον δικό του MPR Selector πίνακα, διαλέγοντας ανάμεσα στους γείτονες του που βρίσκονται ένα hop μακριά, εκείνους οι οποίοι θα του προσφέρουν μια έμμεση επικοινωνία με όλους τους κόμβους που βρίσκονται δύο hops μακριά από αυτόν και έχουν συμμετρική σύνδεση με τους multipoint relays του όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.2.



Σχήμα 4.2 Multipoint Relays of node m [26]

Το σύνολο των multipoint relays υπολογίζεται κάθε φορά που παρατηρηθεί αλλαγή στην 1-hop ή 2-hop γειτονιά. Ένας κόμβος ο οποίος δεν ανήκει στο σύνολο των MPRs του κόμβου m (όπως φαίνεται στο πιο πάνω σχήμα), λαμβάνει και επεξεργάζεται τα μηνύματα από τον m, χωρίς όμως να μπορεί να τα αναμεταδώσει. Αντίθετα οι MPRs του m είναι υπεύθυνοι να αναμεταδίδουν με broadcast τρόπο τα μηνύματα που έχει λάβει από τον m. Αυτό βοηθά στον έλεγχο της πλημμύρας (flooding) του δικτύου από

τα broadcast μηνύματα, και όσο πιο μικρό είναι το σύνολο των multipoint relays, τόσο πιο καλός είναι ο έλεγχος.

4.7.2.1.3 Αλγόριθμος επιλογής του συνόλου MPR

Το σύνολο με τους MPRs του κόμβου x αναπαρίσταται ως $MPR(x)$, και το σύνολο με τους κόμβους οι οποίοι έχουν συμμετρική σύνδεση με τον x ως $N(x)$. Όπως καταλαβαίνουμε το $MPR(x)$ είναι υποσύνολο του $N(x)$. Ο αλγόριθμος ξεκινά με κενό το $MPR(x)$. Για όλους τους κόμβους y στο $N(x)$, ο βαθμός $D(x,y)$ του y καθορίζεται ως ο αριθμός των συμμετρικών 1-hop γειτόνων του y , αγνοώντας τον κόμβο x και όλους τους συμμετρικούς 1-hop γείτονες του. Για κάθε κόμβο στο $N(x)$, υπολογίζεται ο αριθμός των κόμβων, που στο σύνολο των 2-hop γειτόνων του x ($N2(x)$) δεν καλύφθηκαν ακόμα από το $MPR(x)$, όμως αυτός ο 1-hop γείτονας μπορεί να τους φτάσει. Ο κόμβος στο $N(x)$ που μπορεί να φτάσει τον μεγαλύτερο αριθμό από μη καλυμμένους κόμβους στο $N2(x)$, επιλέγεται ως MPR. Σε περίπτωση ισοπαλίας, ο κόμβος με τον μεγαλύτερο $D(x,y)$, επιλέγεται ως MPR. Η διαδικασία επιλογής των MPRs συνεχίζεται όσο υπάρχουν κόμβοι στο $N2(x)$ που δεν έχουν καλυφθεί ακόμα από το $MPR(x)$ σύνολο.

Διάδοση της Τοπολογίας: Κάθε κόμβος στο δίκτυο διατηρεί και συντηρεί το δικό του “MPR Selector Set” (MPRSS), το οποίο περιέχει όλους εκείνους τους κόμβους στο $N(x)$ οι οποίοι τον έχουν επιλέξει ως multipoint relay τους. Κάθε MPR είναι υπεύθυνος να αποστέλλει κάθε TC_Interval” (καθορισμένο χρονικό διάστημα) ένα τοπολογικό μήνυμα ελέγχου (TC message), με το οποίο ενημερώνει τους γείτονες του για το MPRSS του. Αν προκληθεί αλλαγή στο MPRSS ενός MPR το επόμενο TC μήνυμα μπορεί να σταλεί νωρίτερα.

Όταν ένας κόμβος λάβει ένα TC μήνυμα, ενημερώνει τον τοπολογικό του πίνακα με τις πληροφορίες που έλαβε. Μια είσοδος στον πίνακα περιέχει πληροφορίες σχετικά με τη διεύθυνση προορισμού (Tdest), και τη διεύθυνση του τελευταίου κόμβου που οδηγεί στον προορισμό (Tlast). Κάθε τέτοια είσοδος δηλώνει ότι ο Tdest (MPRS) έχει επιλέξει τον κόμβο Tlast ως MPR και πως ο Tlast έχει ανακοινώσει την πληροφορία αυτή μέσω του TC μηνύματος. Στην υποδοχή ενός TC μηνύματος σε ένα κόμβο, το μήνυμα αυτό πετιέται αν υπάρχει ήδη μια καταχώρηση στον πίνακα της οποίας το Tlast είναι ο

δημιουργός του TC μηνύματος και της οποίας ο αριθμός ακολουθίας είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό ακολουθίας του ληφθέντος μηνύματος (μεγαλύτερος αριθμός ακολουθίας δείχνει ότι το μήνυμα είναι πιο πρόσφατο). Διαφορετικά όλες οι καταχωρήσεις στον πίνακα τοπολογίας των οποίων ο Tlast αντιστοιχεί στη διεύθυνση του δημιουργού του TC μηνύματος, και που ο αριθμός ακολουθίας του είναι μικρότερος από τον αριθμό ακολουθίας του ληφθέντος μηνύματος αποθηκεύονται. Έτσι, για κάθε νέα διεύθυνση ενός MPRS στο TC μήνυμα, μια νέα καταχώρηση καταγράφεται με Tdest τη διεύθυνση του MPRS και Tlast τη διεύθυνση του δημιουργού του TC μηνύματος.

4.7.2.1.4 Υπολογισμός του πίνακα δρομολόγησης

Ο πίνακας δρομολόγησης αξιολογείται με βάση τις πληροφορίες συνδεσιμότητας που βρίσκονται στον πίνακα γειτόνων και τον τοπολογικό πίνακα. Ένας τρόπος να παίρνουμε τις πιο σύντομες διαδρομές, είναι ο **Shortest Path Algorithm** [9]. Κάθε εξαγόμενη διαδρομή αποτελεί μια νέα καταχώρηση στον πίνακα και αποτελείται από τον κόμβο-προορισμό (Rdest), τον κόμβο που στη διαδρομή είναι ο επόμενος από τον αποστολέα (Rnext), και τον αριθμό των hops για να φτάσουμε στον προορισμό (Rdist).

Προσαρμογή της τοπολογίας δρομολόγησης για OLSR: Η έλλειψη μιας επαρκούς γνώσης για το πλαίσιο κινητικότητας στο OLSR μπορεί ενδεχομένως να οδηγήσει σε προβλήματα στη δρομολόγηση. Παραδείγματος χάριν, ο κόμβος 0 σε μια τοπολογία δικτύου έχει πέντε γείτονες (βρίσκονται ένα hop μακριά του), αριθμημένους από το 1 μέχρι το 5. Αυτοί οι πέντε γείτονες επικοινωνούν με τους κόμβους {6,7,8}, {7,8}, {9,10}, {10,11} και {12,6} αντίστοιχα. Οι κόμβοι 6-12 βρίσκονται σε απόσταση δύο hops από τον κόμβο 0, και διαμέσου των κόμβων 1-5 έρχονται σε έμμεση επικοινωνία μαζί του. Ο πίνακας γειτόνων του κόμβου 0, περιέχει πληροφορίες που αφορούν τους 1-hop γείτονες του, και κάθε καταχώρηση γείτονα συνοδεύεται με μια λίστα με τους γείτονες του γείτονα αυτού, οι οποίοι είναι οι 2-hop γείτονες του κόμβου 0. Μετά την εκτέλεση του αλγόριθμου εύρεσης των MPRs, οι κόμβοι 1,3,4,5 θα επιλεγθούν ως MPRs (οι κόμβοι με τους οποίους επικοινωνεί ο 2 καλύπτονται από τον κόμβο 1). Θα μπορούσε να ήταν το ζευγάρι 2,3,4,5 αφού οι κόμβοι 2,5 καλύπτουν τους κόμβους 6,7,8 με τους οποίους επικοινωνεί άμεσα ο 1. Παρόλα αυτά ο MPR selection algorithm (τον

οποίο είδαμε πιο πάνω), επέλεξε το πιο πάνω σύνολο. Βλέπουμε όμως ότι η απώλεια των συνδέσεων αν χάναμε τον κόμβο 1, θα ήταν μεγαλύτερη από ότι αν χάναμε τον 2, κάτι που σημαίνει ότι το σύνολο 2,3,4,5 θα αποτελούσε καλύτερη επιλογή για MPRs. Το OLSR μπορεί επίσης να υποφέρει από μη αποτελεσματική δρομολόγηση και μη σταθερότητα στον πίνακα δρομολόγησης. Για παράδειγμα ένας γειτονικός κόμβος μπορεί να βρίσκεται στα όρια να σπάσει την γραμμή σύνδεσης με κάποιο κόμβο για κάποιο λόγο όπως για παράδειγμα αυξημένη απόσταση. Αν μεταδοθεί με broadcast τρόπο στο δίκτυο ότι αυτοί οι δύο κόμβοι είναι συνδεδεμένοι, τότε είναι πιθανόν στο άμεσο μέλλον να προκύψουν προβλήματα, όπως απώλεια δεδομένων από χάσιμο πακέτων, εξαιτίας της σύνδεσης που έχει σπάσει. Για τον λόγο αυτό κάθε καταχώρηση ενός γείτονα έχει χρόνο λήξης. Σε περίπτωση λήξης, η καταχώρηση αυτή διαγράφεται και εκτελούνται πάλι ο αλγόριθμος επιλογής MPR και η αξιολόγηση διαδρομής. Οι αναβαθμισμένες πληροφορίες για τον γείτονα και την τοπολογία αποστέλλονται με Hello και TC μηνύματα με broadcast τρόπο, και οι κόμβοι που τις λαμβάνουν αναβαθμίζουν τους τοπολογικούς τους πίνακες γειτόνων και τους πίνακες δρομολόγησης τους.

4.7.2.1.5 Αξιολόγηση της συνδεσιμότητας των γραμμών επικοινωνίας – Εισαγωγή στο SBRS-OLSR

Συγγένεια: Η συγγένεια μεταξύ δύο κόμβων n και m , α_{nm} , καθορίζεται ως ο χρόνος μετά από τον οποίο ο κόμβος m προβλέπεται να κινηθεί εκτός της τροχιάς του κόμβου n .

a. Αλγόριθμος επιλογής MPR

Στη λειτουργία του OLSR κάτω από μια δυναμικά μεταβαλλόμενη τοπολογία, ένας MPR κόμβος μπορεί να απομακρυνθεί από τον MPR επιλογέα παγώνοντας έτσι διάφορες διαδρομές. Αυτό θα έχει ως συνέπεια τα πακέτα δεδομένων που διακινούνται στις διαδρομές αυτές να χαθούν. Για τον λόγο αυτό προτείνεται ένας αλγόριθμος ο οποίος βασίζεται στη συγγένεια μεταξύ των κόμβων. Όπως και στον αλγόριθμο επιλογής ξεκινά με άδειο το σύνολο $MPR(x)$, και έπειτα επαναλαμβάνει την ακόλουθη διαδικασία. Αν υπάρχουν κόμβοι στο $N2(x)$ στους

οποιούς δεν δόθηκε σύνδεση από το $MPR(x)$, τότε για κάθε γείτονα n στο $N(x)$, ο αριθμός των κόμβων στο $N_2(x)$ που δεν καλύφθηκαν ακόμα από το $MPR(x)$ και είναι προσβάσιμοι από τον κόμβο n τίθεται ως το $n.neighbor2nocou$ του n . Έπειτα εκτελείται η διαδικασία που περιγράφεται από τον αλγόριθμο 1. Η διαδικασία επιλογής του MPR επαναλαμβάνεται μέχρι το $MPR(x)$ να είναι σε θέση να παρέχει σύνδεση σε όλους τους κόμβους στο $N_2(x)$.

Στον αλγόριθμο 1, όλοι οι κόμβοι n στο $N(x)$ ελέγχονται για να εκλεγούν ως MPR . Εδώ αν ένας κόμβος n ο οποίος έχει υψηλή συγγένεια με τον x και έχει την $n.neighbor2nocou$ τιμή του μεγαλύτερη από ένα $threshold$, επιλέγεται αμέσως ως ένας MPR . Αυτό δίνει μια προτίμηση στους κόμβους οι οποίοι κινούνται πιο κοντά στον x και έχουν περισσότερες από μια κρίσιμες καλύψεις. Η τιμή του $threshold$ (COV thresh) αποφασίζεται εμπειρικά ανάλογα με την πυκνότητα του δικτύου. Αν όμως δεν υπάρχει κόμβος με υψηλό βαθμό συγγένειας, τότε ο κόμβος n στο $N(x)$ του οποίου το γινόμενο της συγγένειας και του $neighbor2nocou$ είναι το μεγαλύτερο από όλους τους κόμβους στο $N(x)$ επιλέγεται ως MPR .

b. Αλγόριθμος Επιλογής διαδρομής

Όταν γίνει η αξιολόγηση του πίνακα δρομολόγησης από τον πίνακα γειτόνων και τον τοπολογικό πίνακα, είναι πιθανόν ο τοπολογικός πίνακας να παρέχει μια εναλλακτική διαδρομή (R_2) προς κάποιο προορισμό, ο οποίος έχει ήδη εισαχθεί στον πίνακα δρομολόγησης και έχει καταγραφεί ως προσβάσιμος διαμέσου της διαδρομής R_1 διαμέσου ισοδύναμου αριθμού hops με την διαδρομή R_2 . Ωστόσο, η εναλλακτική διαδρομή μπορεί να παρέχει μεγαλύτερης διάρκειας σύνδεση στον προς αναζήτηση προορισμό. Θέτουμε ότι $R.affinity$ και $R.SNR_a$ (όπου SNR -Signal to Noise Ratio- δηλώνει την ποιότητα της γραμμής μέσα από μετρική (ή μετρικές) που καθορίζουν πόσο καθαρό είναι το σήμα που λήφθηκε) δηλώνουν τον ελάχιστο αριθμό σχέσεων (συγγενειών) μεταξύ των κόμβων στην διαδρομή R και το πιο πρόσφατο SNR για το hop με την ελάχιστη σχέση (συγγένεια). Τότε θα επιλεγθεί η R_2 αντί της καταγραμμένης διαδρομής R_1 αν:

1. Το $R_2.affinity$ είναι high και το $R_1.affinity$ δεν είναι high, ή

2. Το R2.affinity και το R1.affinity είναι ψηλά, όμως το R2.SNR_a είναι μεγαλύτερο από το R1.SNR_a, ή

3. Τόσο το R2.affinity όσο και το R1.affinity δεν είναι ψηλά και το R2.SNR_a είναι μεγαλύτερο από το R1.SNR_a.

Όπως βλέπουμε, ο ενισχυμένος αλγόριθμος ανακάλυψης διαδρομής επιλέγει τη διαδρομή, η οποία παρέχει μια μεγαλύτερη ελάχιστη συγγένεια και/ή το μεγαλύτερο SNR μεταξύ των κόμβων της προς τον προορισμό.

c. Κατηγοριοποίηση των γειτόνων για βελτιωμένη απόδοση και σταθερότητα

Η κατηγοριοποίηση αυτή βασίζεται στον μέσο όρο των SNR μετρήσεων. Καθορίζονται δύο SNR threshold levels, ένα upper level SNRU και ένα lower level SNRL. Η σύνδεση με ένα κόμβο μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι στα πρόθυρα να "σπάσει", αν το SNR προς τον κόμβο αυτό είναι πιο κάτω από τη τιμή του SNRL. Από την άλλη με SNR πάνω από το SNRU, οι γείτονες μπορεί να θεωρηθούν έντονα συνδεδεμένοι. Τα threshold levels μπορούν να αξιολογηθούν εμπειρικά, ανάλογα με την τοπολογία και το σενάριο δρομολόγησης.

Όταν ένας κόμβος εντοπιστεί για πρώτη φορά σε ένα Hello μήνυμα, καταχωρείται στον πίνακα γειτόνων κατηγοριοποιείται σαν usable αν το SNR προς αυτό τον κόμβο εντοπιστεί να είναι πάνω από το SNRU, διαφορετικά κατηγοριοποιείται ως unusable. Όταν ένας κόμβος κατηγοριοποιηθεί ως usable μένει έτσι μέχρι το SNR του πέσει κάτω από το SNRL, τότε γίνεται unusable. Όταν ένας unusable λάβει ένα μήνυμα, τότε η κατάσταση του αλλάζει και γίνεται usable αν το SNR προς αυτόν τον κόμβο βρεθεί να είναι μεγαλύτερο από τον μέσο όρο των upper και lower thresholds.

Όλες οι λειτουργίες πρωτοκόλλου σχετιζόμενες με ένα γείτονα στο OLSR χωρίς την κατηγοριοποίηση που βασίζεται στη συγγένεια, εφαρμόζεται σε ένα usable γείτονα. Από την άλλη όταν ένας unusable κόμβος δεν εντοπιστεί από τον πίνακα γειτόνων, δεν μεταδίδεται με broadcast άλλους κόμβους στο Hello μήνυμα και δεν επιλέγεται ως MPR, αποτρέποντας έτσι την ενσωμάτωση της αδύνατης αυτής σύνδεσης σε διάφορες διαδρομές. Όταν ένα μήνυμα ληφθεί από

κάποιο γείτονα, ο οποίος είναι κατηγοριοποιημένος ως unusable, το μήνυμα δεν επεξεργάζεται από τον κόμβο αυτό. Επίσης ένας τέτοιος γείτονας δεν λαμβάνεται υπόψη κατά τη διάρκεια υπολογισμού του πίνακα δρομολόγησης. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται να αποσταλούν πακέτα σε γείτονα του οποίου το SNR είναι πιο κάτω από SNRU, κάτι που θα έβαζε σε κίνδυνο τα πακέτα αυτά, αφού θα ήταν μεγάλη η πιθανότητα να χαθούν.

4.7.2.1.6 SBRS-OLSR (Signal-strength-assessment Based Route Selection for OLSR) Protocol

Το πρωτόκολλο αυτό αξιολογήθηκε με ανάπτυξη ενός test-bed αποτελούμενου από ένα δίκτυο με οχήματα τα οποία υποστηρίζονται από laptops στα οποία τρέχουν Linux και είναι εξοπλισμένα με ORiNOCO IEEE 802.11b WLAN cards (βλέπε Σχήμα 4.3). Οι δοκιμές όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.4 λαμβάνουν χώρα σε ένα χώρο στάθμευσης ο οποίος βρίσκεται τοποθετημένος και περιβάλλεται από κτίρια και φυτείες δέντρων. Η ακτίνα σύνδεσης των ασύρματων καρτών ενισχύεται με αντένες οι οποίες στρέφονται προς όλες τις κατευθύνσεις και οι οποίες βρίσκονται τοποθετημένες στην κορυφή των οχημάτων. Ανάμεσα στους κόμβους του δικτύου, δύο έχουν τεθεί ως UDP sender και receiver.



Σχήμα 4.3 Οργάνωση δικτύου για πειράματα multi-hop δρομολόγησης [26]



Σχήμα 4.4 Επικοινωνία Οχημάτων [26]

Το testbed αποτελείται από τέσσερις κόμβους: ένα σταθερό UDP αποστολέα, ένα εν κίνηση παραλήπτη και δύο αναμεταδότες για βοήθεια στη δρομολόγηση πακέτων. Στο

Σχήμα 4.4 βλέπουμε τοποθετημένους τους κόμβους αυτούς στο δίκτυο. Η τοποθέτηση και η τροχιά τους έχει επιλεγεί με τέτοιο τρόπο ώστε ο εν κίνηση κόμβος να κινείται εντός και εκτός της τροχιάς του UDP sender. Όταν ο receiver δεν βρίσκεται εντός της ακτίνας άμεσης επικοινωνίας με τον sender, τότε οι άλλοι δύο σταθεροί κόμβοι, οι relay 1&2, βοηθούν στη multi-hop δρομολόγηση των δύο αυτών κόμβων. Το σενάριο αυτό επιτρέπει την καλή αξιολόγηση ενός πρωτοκόλλου δρομολόγησης καθώς η διαδρομή μεταξύ του αποστολέα και του παραλήπτη αλλάζει μεταξύ ενός, δύο και τριών κόμβων.

Τα OLSR και SBRS-OLSR βρίσκονται εγκατεστημένα σε κάθε laptop στο δίκτυο. Το Netperf τρέχει στους κόμβους αποστολέα και παραλήπτη για αποστολή και λήψη UDP πακέτων. Κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης ενός test, το όχημα παραλήπτης διασχίζει το σχεδιασμένο κλειστό μονοπάτι στην τοπολογία. Το αρχείο παρακολούθησης κάθε κόμβου περιλαμβάνει εγγραφές του πίνακα δρομολόγησης και των SNR των συνδέσεων μεταξύ γειτονικών κόμβων. Επιπλέον, ο αριθμός των ληφθέντων πακέτων, ο αριθμός των χαμένων πακέτων και το UDP throughput βρίσκονται καταχωρημένα στον receiver.

4.7.2.1.7 Αποτίμηση της απόδοσης του SBRS-OLSR

Το μέγεθος των UDP πακέτων επιλέγεται να είναι 512bytes. Τα SNRU και SNRL thresholds παίρνουν τιμές 14dB και 5dB αντίστοιχα.

Προσαρμογή στην κίνηση: Οι δοκιμές έγιναν και στο OLSR και στο SBRS-OLSR πρωτόκολλο για ένα όχημα παραλήπτη με ταχύτητα κίνησης 5miles/hour. Ο κόμβος αυτός είναι ο μόνος που κινείται στο δίκτυο και τα SNRs του με κάθε ένα από τους σταθερούς κόμβους ποικίλουν καθώς ο χρόνος περνά. Οι πιο κάτω πίνακες (Πίνακας 4.4, Πίνακας 4.5) πάρθηκαν από τα αρχεία για τον πίνακα δρομολόγησης που βρίσκονται στον κόμβο-παραλήπτη του κάθε πρωτοκόλλου.

Time(s)	Next Hop	Number of Hops
1-15	Sender	1
16-19	Relay-1	2
20-28	Sender	1
29-58	Relay-1	2
59	Relay-2	2
60-65	Relay-1	2
66-70	Relay-2	2
71-72	Relay-1	2
73-76	Relay-2	2
76-78	Relay-1	2
79-89	Relay-2	2
90-96	Relay-1	2
97-116	Relay-2	3
117-144	Sender	1

Πίνακας 4.4 Δρομολόγηση από τον παραλήπτη στον αποστολέα στο SBRS-OLSR[26]

Time(s)	Next Hop	Number of Hops
1-38	Sender	1
39-56	Relay-1	2
57-70	Relay-2	2
71-93	Relay-1	2
94-107	Relay-2	3
108-145	Sender	1

Πίνακας 4.5 Δρομολόγηση από τον παραλήπτη στον αποστολέα στο OLSR [26]

Κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης των διαδρομών από το OLSR, η ανταλλαγή από τον ένα relay στον άλλο για να γίνει αυτός ο επόμενος κόμβος στη διαδρομή, παρατηρείται μόνο σε απώλεια σύνδεσης ή λήξη των χρονομετρητών στην τοπολογία, στους γειτονικούς ή τους πίνακες δρομολόγησης. Επίσης δεν δίνεται καμιά προτεραιότητα σε μια καλύτερη διαδρομή όταν εντοπίζονται από τοπολογικές πληροφορίες, περισσότερες από μια διαδρομές με ίσο αριθμό κόμβων. Για παράδειγμα κατά τη διάρκεια του διαστήματος 71-93s, ο relay_1 παραμένει ως ο επόμενος κόμβος για τη διαδρομή από τον παραλήπτη στον αποστολέα. Κανένα κριτήριο όπως η συγγένεια δεν υιοθετείται από το OLSR για να εξακριβώσει ότι η διαδρομή μέσα από τον relay_2 μπορεί να είναι καλύτερη. Μόνο όταν η σύνδεση με τον relay_1 χαθεί, θα γίνει αλλαγή διαδρομής με επόμενο κόμβο τον relay_2. Από την άλλη, οι αλλαγές στις διαδρομές παρουσιάζονται καλύτερα στον πίνακα 1 του SBRS-OLSR.

Απόδοση στο throughput: Ο παραλήπτης τώρα καλύπτει μια ευρύτερη περιοχή του χώρου στάθμευσης, και ταξιδεύει με μέγιστη ταχύτητα τα 15miles/hour. Υπάρχουν τέσσερις διαφορετικές throughput phases. Κατά τη διάρκεια της φάσης 1, υπάρχει μια άμεση επικοινωνία μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη. Έτσι η απόδοση σε throughput των δύο πρωτοκόλλων είναι παρόμοια. Στην πορεία ο παραλήπτης απομακρύνεται από τον αποστολέα (το throughput πέφτει) και πλησιάζει τον relay_1, έτσι επιλέγεται αυτός ως ο επόμενος κόμβος στη δρομολόγηση των πακέτων. Κατά τη διάρκεια της φάσης 2, το SNR από τον παραλήπτη προς τον relay_2 αυξάνεται καθώς ο παραλήπτης τον πλησιάζει (υπονοώντας ότι η συγγένεια των δύο είναι ψηλή). Από την άλλη το SNR προς τον relay_1 μειώνεται. Η αξιοποίηση της συγγένειας στο SBRS-OLSR επιτρέπει στη διαδρομή μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη να προσαρμόζονται στις συνθήκες αλλαγής του δικτύου και να αλλάζουν αναλόγως μεταξύ του relay_1 και του relay_2 σαν ενδιάμεσου κόμβου. Για το OLSR το throughput παραμένει μηδέν κατά τη διάρκεια της φάσης δύο. Το πρωτόκολλο αποτυγχάνει να αντιδράσει όταν ο παραλήπτης απομακρύνεται από τον relay_1. Νέος υπολογισμός διαδρομής προκύπτει μόνο όταν το χρονόμετρο στον πίνακα γειτόνων λήξει για την περίπτωση του παραλήπτη με τον relay_1. Καλύτερη συμπεριφορά συνεχίζει να επιδεικνύει και στην φάση 3 το SBRS-OLSR, ενώ στη φάση 4 όπως και στη φάση 1, τα δύο πρωτόκολλα έχουν όμοια απόδοση.

Συμπέρασμα: Διαμέσου πραγματικών test-runs, έχει φανεί ότι το ενισχυμένο πρωτόκολλο που προτάθηκε ανταποκρίνεται καλύτερα στις παραλλαγές στην συνδεσιμότητα του δικτύου, και μπορεί να προβεί από πριν σε μέτρα για επιλογή σταθερών και ανθεκτικών διαδρομών. Το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιεί τα οφέλη από την αλληλεπίδραση του cross-layer με τα physical, data-link και network layers.

4.7.3 Reactive/On Demand Routing

4.7.3.1 AODV and VANETs (DAODV)

4.7.3.1.1 Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing

Αποτελείται από τρεις φάσεις: αναζήτηση διαδρομής, μετάδοση δεδομένων και συντήρηση διαδρομής [38].

Η φάση της αναζήτηση διαδρομής αρχίζει όταν ένας κόμβος επιθυμεί να μεταδώσει δεδομένα προς ένα προορισμό και δεν έχει διαδρομή για να φτάσει προς τον προορισμό αυτό. Η διαδικασία ανακάλυψης διαδρομής έχει ως εξής: ο κόμβος-πηγή αποστέλλει με broadcast μέθοδο ένα πακέτο αναζήτησης διαδρομής (RREQ) στους γείτονες του. Οι κόμβοι που λαμβάνουν αυτά τα πακέτα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: τον κόμβο που είναι ο τελικός παραλήπτης (προορισμός), τον κόμβο ο οποίος έχει μια διαδρομή προς τον προορισμό, ή κανένας από τους πιο πάνω.

Στις δύο πρώτες περιπτώσεις, ο παραλήπτης απαντά με ένα unicast πακέτο ανεύρεσης διαδρομής (RREP), το οποίο βάζει να ακολουθήσει τη διαδρομή από την οποία προήλθε το RREQ, ώστε να καταλήξει στον κόμβο-πηγή.

Στην τρίτη περίπτωση, ο παραλήπτης δημιουργεί ακόμα ένα RREQ πακέτο και το προωθεί και αυτός με broadcast στους δικούς του γείτονες. Και η περίπτωση αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να οδηγηθούμε σε κάποια από τις δύο πρώτες περιπτώσεις.

Μετά τη φάση της δρομολόγησης, η διαδικασία δρομολόγησης καλεί την φάση μετάδοσης δεδομένων, και τότε μεταδίδει τα πακέτα δεδομένων διαμέσου της επιλεγμένης (από τη προηγούμενη φάση) διαδρομής. Σε αυτή τη φάση είναι πιθανόν να προκύψει απώλεια μιας σύνδεσης επικοινωνίας, με αποτέλεσμα να τερματιστεί η διαδρομή. Ο κόμβος του οποίου η σύνδεση έχει σπάσει, αποστέλλει ένα unicast πακέτο σφάλματος (RERR) στον κόμβο-πηγή. Ο κόμβος-πηγή αφού λάβει το RERR κοιτάζει στον πίνακα δρομολόγησης του και αν βρει εναλλακτική διαδρομή για τον αρχικά προκαθορισμένο προορισμό, επιλέγει την διαδρομή αυτή ως την νέα κύρια διαδρομή

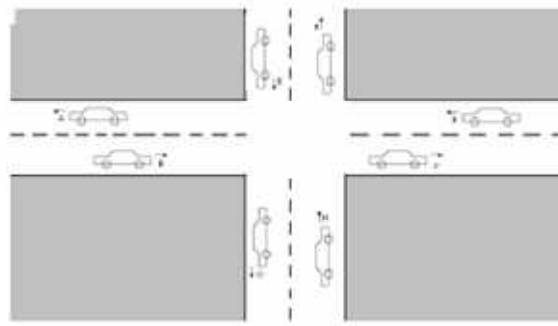
για μεταφορά των δεδομένων, διαφορετικά αναμεταδίδει με broadcast τρόπο ένα καινούργιο RREQ πακέτο αναζητώντας νέα διαδρομή για να μπορέσει να συνεχίσει την μετάδοση των δεδομένων. Αν δεν προκύψει νέα διαδρομή, η διάδοση δεδομένων σταματά και προκύπτει αποτυχία.

Ένα "πλεονέκτημα" του AODV πρωτοκόλλου είναι ότι για κάθε οποιοδήποτε ζευγάρι πηγής-προορισμού βρίσκει περισσότερες της μιας διαδρομές. Αν και αυτό φαντάζει ως πλεονέκτημα συχνά δρα ως μειονέκτημα. Αυτό γιατί για εντοπισμό αυτών των διαδρομών απαιτείται ανταλλαγή περισσότερων πακέτων ελέγχου, κάτι που οδηγεί σε αύξηση του overhead δρομολόγησης. Επιπλέον αυξάνει την κατανάλωση σε bandwidth. Αυτές οι επιπρόσθετες διαδρομές σε ορισμένα σενάρια θα χρειαστούν και όλη αυτή η επιβάρυνση θα αξίζει τον κόπο, σε ορισμένα άλλα όμως όλη αυτή η επιπρόσθετη ταλαιπωρία δε θα χρησιμεύσει σε κάτι, εφόσον η αρχική διαδρομή δεν χαθεί.

4.7.3.1.2 Μοντέλο Διακίνησης

Το Manhattan είναι ένα από τα πιο σημαντικά μοντέλα κινητικότητας για VANETs. Στο μοντέλο αυτό ένας αριθμός από οριζόντιους και κάθετους δρόμους συνυπάρχουν στο πεδίο προσομοίωσης. Κάθε δρόμος έχει πολλές λωρίδες και στις δύο κατευθύνσεις (μπορούν να καθοριστούν και δρόμοι με μια λωρίδα σε κάθε κατεύθυνση). Οι λωρίδες βρίσκονται σε κάποια απόσταση η μια από την άλλη, έτσι ώστε στην σχεδίαση του αρχείου χαρτογράφησης να μην επικαλύψουν η μια την άλλη. Οι κόμβοι κινούνται στους δρόμους και μπορούν είτε να συνεχίσουν σε ευθεία πορεία, είτε να στρίψουν αριστερά ή δεξιά ανάλογα με την εσωτερική δομή του μοντέλου.

Στο Σχήμα 4.5, το Manhattan έχει ένα κάθετο και ένα οριζόντιο δρόμο με μια διατομή. Και κάθε δρόμος έχει δύο κατευθύνσεις με μία γραμμή διακίνησης σε κάθε κατεύθυνση.



Σχήμα 4.5 Χάρτης του Manhattan Μοντέλου δρομολόγησης [38]

4.7.3.1.3 Directional Ad hoc on-demand distance vector (DAODV) routing

Οι Omid Abedi, Mahmood Fathy, Jamshid Taghiloo, οι οποίοι ανήκουν στο τμήμα computer engineering του Πανεπιστημίου Πληροφορικής και Τεχνολογίας του Ιραν, σχεδίασαν και υλοποίησαν ένα πρωτόκολλο, το DAODV, το οποίο αποτελεί μια τροποποίηση του AODV ώστε να μπορεί να λειτουργεί αποδοτικά για VANETs [38].

Στη μέθοδο τους, όπως την αποκαλούν, όταν ένας κόμβος-πηγή επιθυμεί να αποστείλει ένα πακέτο σε ένα κόμβο-προορισμό, το πρωτόκολλο δρομολόγησης πρώτα παίρνει τη διεύθυνση του κόμβου-πηγής και του κόμβου προορισμού, και έπειτα με βάση τη διεύθυνση αυτή αναγνωρίζει τον ενδιάμεσο κόμβο ο οποίος μπορεί να συμμετάσχει στη διαδρομή μεταξύ της πηγής και του προορισμού. Εξαιτίας της χρήσης του manhattan μοντέλου, οι κόμβοι μπορούν να κινηθούν σε τρεις καταστάσεις:

1. Ο κόμβος-πηγή και ο κόμβος-προορισμός κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση.
2. Ο κόμβος-πηγή και ο κόμβος-προορισμός κινούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση.
3. Ο κόμβος-πηγή και ο κόμβος-προορισμός κινούνται ορθογώνια.

Λόγω του ότι τα οχήματα κινούνται με σχετικά μεγάλες ταχύτητες, οι γραμμές επικοινωνίας μεταξύ τους σπάνε σχετικά εύκολα και γρήγορα. Η σταθερότητα δηλαδή μιας διαδρομής δεν είναι τόσο σταθερή όσο και στα MANETs, όπου οι κόμβοι κινούνται με χαμηλότερες ταχύτητες. Με άλλα λόγια, αν δύο οχήματα κινούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση και βρίσκονται σε επικοινωνία, η σύνδεση τους σπάει πιο γρήγορα απ' ό τι θα έσπαζε αν κινούνταν προς την ίδια κατεύθυνση. Για τον λόγο αυτό, αν δύο κόμβοι κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση, το πρωτόκολλο πρέπει μόνο να επιλέξει τους ενδιάμεσους τους κόμβους. Αν όμως δεν κινούνται προς την ίδια

κατεύθυνση, δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός για τους ενδιάμεσους τους κόμβους.

Στην μέθοδο αυτή επιδιώκουν να επιλέξουν ως ενδιάμεσους κόμβους, τα οχήματα εκείνα τα οποία κινούνται προς την κατάλληλη θέση μεταξύ της πηγής και του προορισμού. Για να επιλεγεί ένας κόμβος-όχημα για το επόμενο hop στη δρομολόγηση, πρέπει να πληρεί δύο αναγκαίες συνθήκες:

1. Κινείται προς την ίδια κατεύθυνση με την πηγή και/ή τον προορισμό.
2. Η τοποθεσία του είναι μεταξύ της πηγής και του προορισμού.

Οι διαδρομές που καθιερώνονται χρησιμοποιώντας τη μέθοδο αυτή είναι πιο σταθερές και έχουν λιγότερο overhead από την αρχική μέθοδο δρομολόγησης (AODV). Όμως με αυτούς τους περιορισμούς υπάρχει ο κίνδυνος να μην βρεθεί κάποιος ενδιάμεσος κόμβος.

Για να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα αυτό άλλαξαν τη στρατηγική τους με τον εξής τρόπο: Πρώτα μείωσαν τους περιορισμούς στον αριθμό των ανακαληφθέντων διαδρομών, και έπειτα διαίρεσαν τον αλγόριθμο επιλογής των ενδιάμεσων κόμβων σε δύο βήματα. Στο πρώτο βήμα το πρωτόκολλο αναζητεί κόμβους, οι οποίοι πληρούν τις δύο συνθήκες, την τοποθεσία και την κατεύθυνση. Μετά από αυτό, αν τα αποτελέσματα (αριθμός ενδιάμεσων κόμβων) έχουν αναδείξει ικανοποιητικό αριθμό διαδρομών, σύμφωνα με τους χαμηλότερους περιορισμούς που έχουν τεθεί, τότε ο αλγόριθμος τερματίζει, και προχωρεί στις επόμενες φάσεις δρομολόγησης, όπως η συντήρηση διαδρομής και η μετάδοση δεδομένων.

Διαφορετικά, δεν τερματίζει και προχωρεί στο δεύτερο βήμα. Στο βήμα αυτό ο αλγόριθμος διαγράφει τον περιορισμό τοποθεσίας, και όλοι οι κόμβοι-οχήματα, οι οποίοι βρίσκονται στην ίδια κατεύθυνση με την πηγή και/ή τον προορισμό, μπορούν να επιλεγθούν ως ενδιάμεσοι κόμβοι για κάποια διαδρομή.

4.7.3.1.4 Προσομοίωση

Περιβάλλον Προσομοίωσης: Για την προσομοίωση χρησιμοποίησαν ο Glomosim προσομοιωτής, ο οποίος είναι πολύ γνωστός για τη χρήση του στην αξιολόγηση διάφορων πρωτοκόλλων δρομολόγησης σε ασύρματα δίκτυα. Υλοποιείται μέσα στην GloMoSim βιβλιοθήκη [2], η οποία είναι ένα ιεραρχικό περιβάλλον προσομοίωσης για συστήματα ασύρματων δικτύων χρησιμοποιώντας παραλληλισμό.

Η προσομοίωση έγινε σε χώρο 1000m x 1000m για διάρκεια 700sec. Η περιοχή προσομοίωσης περιλαμβάνει τρεις οριζόντιους δρόμους, τρεις κάθετους δρόμους, και εννιά διατομές. Κάθε δρόμος έχει δύο γραμμές και στις διατομές έγινε η υπόθεση ότι δεν υπάρχουν φώτα ελέγχου της κυκλοφορίας. Η αρχική τοποθέτηση των κόμβων-οχημάτων βασίζεται στο μοντέλο κινητικότητας του Manhattan. Η μέγιστη ταχύτητα όταν ο αριθμός των κόμβων αυξάνεται είναι 20m/s και η επιτάχυνση είναι 5m/s². Όταν η επιτάχυνση των κόμβων ή η ταχύτητα τους αλλάζει, ο αριθμός τους είναι 40 κόμβοι. Η ακτίνα μετάδοσης του κάθε κόμβου είναι 250meters και το 802.11 χρησιμοποιείται ως το πρωτόκολλο του MAC layer. Τα αποτελέσματα αποτελούν τον μέσο όρο δέκα προσομοιώσεων. Για εφαρμογή αποστολής πακέτων επέλεξαν το CBR, και το μέγεθος κάθε πακέτο είναι 5000 bytes. Ο αριθμός των προς μεταφορά πακέτων είναι 10000 πακέτα.

Παράμετροι Προσομοίωσης:

Χρόνος λήξης σύνδεσης (LET): Θέτουμε την ακτίνα μετάδοσης ως R. Για να υπολογίσουμε το LET μεταξύ του κόμβου i και του κόμβου j πρέπει να γνωρίζουμε την απόσταση |d_{i,j}|, και την ταχύτητα του κάθε κόμβου, δηλαδή τα v_i και v_j. Αν οι κόμβοι κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση τότε το LET μπορεί να υπολογιστεί από τον πιο κάτω τύπο:

$$LET = \frac{R + \alpha * |d_{i,j}|}{|v_i - v_j|}$$

Αν οι κόμβοι οχήματα κινούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση, τότε η πιο πάνω εξίσωση τροποποιείται ως εξής:

$$LET = \frac{R + \alpha^* |d_{i,j}|}{|v_i + v_j|}$$

Στην περίπτωση που οι κόμβοι-οχήματα κινούνται ο ένας προς τον άλλο, πρώτα θα φτάσουν ο ένας τον άλλο, και έπειτα θα απομακρυνθούν. Σε αυτή την περίπτωση θέτουμε το α ίσο με +1. Στην περίπτωση όμως που οι κινούνται μακριά ο ένας από τον άλλο, δεν θα φτάσουν ποτέ ο ένας τον άλλο. Τότε το α είναι ίσο με -1.

Μετά τον υπολογισμό του LET, μπορούμε να βρούμε τον χρόνο λήξης μιας διαδρομής (RET), ο οποίος είναι ίσος με το μικρότερο από τα LETs που δημιουργούν την διαδρομή αυτή.

$$RET = \min\{LET_1, LET_2, \dots, LET_n\}$$

Απώλειες γραμμών επικοινωνίας: Μια διαδρομή είναι περισσότερο σταθερή αν έχει λιγότερες απώλειες σε γραμμές επικοινωνίας σε κάθε σύνδεση. Η παράμετρος αυτή χρησιμοποιείται για να φανεί η σταθερότητας των διαδρομών. Αν ο αριθμός των σπασμένων συνδέσεων σε κάθε διαδρομή είναι μικρός, τότε η διαδρομή είναι πιο σταθερή. Διαφορετικά μεγάλος αριθμός χαμένων γραμμών επικοινωνίας οδηγεί σε ανταλλαγή περισσότερων πακέτων ελέγχου, και έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη απώλεια πακέτων.

Μήκος διαδρομής: Το μήκος της διαδρομής καθορίζεται από τον αριθμό των hops τους οποίους χρειαζόμαστε για να ταξιδέψουμε από την πηγή στον προορισμό. Αν ο αριθμός αυτός είναι μικρός, τότε και η διαδρομή θα είναι σύντομη. Διαφορετικά αν είναι μεγάλος, θα είναι και η διαδρομή μεγάλη. Σε ένα ασύρματο δίκτυο, αν μια διαδρομή χρησιμοποιεί μικρό αριθμό κόμβων, τότε οι κόμβοι που θα μπορούν να συμμετέχουν σε άλλες διαδρομές θα είναι περισσότεροι.

Συμπεράσματα Προσομοίωσης: Το DAODV προτάθηκε για να βελτιώσει την απόδοση του AODV. Ο κύριος του στόχος είναι η καθιέρωση περισσότερων σταθερών διαδρομών, ειδικά σε εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη κινητικότητα κόμβων όπως είναι

τα VANETs. Τα πειράματα προσομοίωσης έδειξαν ότι το DAODV πρωτόκολλο δουλεύει καλά σε διάφορες κυκλοφοριακές καταστάσεις, όμως δουλεύει καλύτερα σε καταστάσεις όπου οι κόμβοι έχουν υψηλές ταχύτητες. Το overhead κάθε διαδρομής στο AODV είναι λιγότερο από ότι στο DAODV, αλλά το ολικό overhead του DAODV είναι λιγότερο, γιατί οι ανακαλυφθήσες διαδρομές έχουν μειωθεί.

4.7.3.2 Dynamic Source Routing Protocol (DSR)

4.7.3.2.1 Εισαγωγή στο DSR

Το Dynamic Source Routing Protocol (DSR), προτάθηκε από τον Johnson το 1994, ο οποίος το 1996 επανήλθε προτείνοντας μια πιο αναβαθμισμένη έκδοση του πρωτοκόλλου αυτού [39]. Αργότερα ο Broch το 1999 ήρθε να προτείνω και αυτός με τη σειρά του μια πιο ολοκληρωμένη έκδοση του DSR.

Πρόκειται για ένα απλό και αποδοτικό πρωτόκολλο δρομολόγησης, σχεδιασμένο ειδικά για χρήση σε multi-hop ασύρματα ad-hoc δίκτυα, αποτελούμενα από εν κίνηση κόμβους. Με τη χρήση του οι κόμβοι ανακαλύπτουν δυναμικά μια διαδρομή πηγής, η οποία οδηγεί σε κάποιο προορισμό, μέσα από μια ακολουθία ενδιάμεσων κόμβων. Κάθε πακέτο δεδομένων μεταφέρει στην ετικέτα του την ολοκληρωμένη σειρά των κόμβων οι οποίοι συνθέτουν τη διαδρομή που το πακέτο αυτό θα ακολουθήσει για να φτάσει στον προορισμό. Με αυτό τον τρόπο η δρομολόγηση πακέτων έχει ανθεκτικότητα στους βρόγχους που θα μπορούσαν να προκληθούν κατά τη διάρκεια της δρομολόγησης, και αποφεύγεται η ανάγκη της παροχής πληροφοριών δρομολόγησης στους ενδιάμεσους κόμβους. Η προσθήκη του δρομολογίου ενός πακέτου στην ετικέτα του είναι κάτι το οποίο οι άλλοι κόμβοι μπορούν να εκμεταλλευτούν, αφού προωθώντας το πακέτο αυτό, ή ακούγοντας το να περνά, μπορεί εύκολα να αποθηκεύσει στο cache του το δρομολόγιο του πακέτου για μελλοντική χρήση.

4.7.3.2.2 Λεπτομερής Περίληψη

Το πρωτόκολλο αυτό αποτελείται από δύο μηχανισμούς, οι οποίοι δουλεύουν μαζί για την ανακάλυψη και συντήρηση των διαδρομών πηγής στο δίκτυο.

Η ανακάλυψη διαδρομής είναι ο μηχανισμός με τον οποίον ένας κόμβος S εξασφαλίζει μια διαδρομή για να αποστείλει ένα πακέτο στον προορισμό D (δεδομένου ότι δεν έχει ήδη μια διαδρομή προς τον D).

Η συντήρηση διαδρομών είναι ο μηχανισμός με τον οποίο ο κόμβος S είναι σε θέση (ενώ στέλνει ένα πακέτο δεδομένων) να εντοπίσει τυχόν αλλαγές στην τοπολογία του

δικτύου, οι οποίες έχουν σαν αποτέλεσμα να μην μπορεί πλέον να χρησιμοποιήσει την διαδρομή που χρησιμοποιούσε προς τον D. Αυτό οφείλεται σε απώλεια μιας σύνδεσης που συμμετείχε στην διαδρομή, με αποτέλεσμα η διαδρομή αυτή να μη υφίσταται πλέον. Ο S τότε θα επιχειρήσει να χρησιμοποιήσει μια εναλλακτική διαδρομή προς τον D αν γνωρίζει κάποια, διαφορετικά θα χρησιμοποιήσει τον μηχανισμό ανακάλυψης διαδρομής για εξεύρεση μιας νέας διαδρομής.

Αυτοί οι δύο μηχανισμοί λειτουργούν κατά ζήτηση. Γενικότερα, στο DSR σε αντίθεση με άλλα πρωτόκολλα δεν χρησιμοποιείται κανενός είδους περιοδική διαφήμιση διαδρομών, δεν αποστέλλονται πακέτα που να υποδηλώνουν καταστάσεις συνδέσεων, δεν αποστέλλονται πακέτα αναγνώρισης γειτονικών κόμβων, αλλά παρατηρείται παντού μια κατά αίτηση συμπεριφορά, και η έλλειψη αυτής της περιοδικής δραστηριότητας οδηγεί στην κατακόρυφη μείωση σε πακέτα overhead, μια μείωση που φτάνει μέχρι τα μηδέν πακέτα overhead. Καθώς οι κόμβοι αρχίζουν να κινούνται, ή καθώς οι τρόποι επικοινωνίας αλλάζουν, το overhead στα πακέτα δρομολόγησης στο DSR ανεβαίνει όσο χρειάζεται για να εντοπιστούν οι διαδρομές.

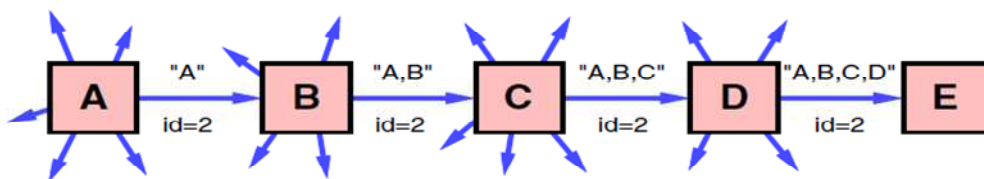
Η ύπαρξη και η χρήση του caching επιτρέπει η αντίδραση στις αλλαγές δρομολόγησης να γίνονται πιο γρήγορα, αφού ένας κόμβος ο οποίος διαθέτει περισσότερες από μια διαδρομές για ένα προορισμό, μπορεί οποιαδήποτε στιγμή παρατηρηθεί σφάλμα στην μέχρι τώρα διαδρομή που χρησιμοποιούσε, να ψάξει στο cached του και να την αντικαταστήσει με μία εναλλακτική διαδρομή. Αυτό βοηθά και στην μείωση του overhead αφού αποφεύγεται η χρήση του μηχανισμού ανακάλυψης διαδρομών.

4.7.3.2.3 DSR Αναζήτηση Διαδρομών

Όταν ο κόμβος S δημιουργεί ένα νέο πακέτο, το οποίο προορίζεται να καταλήξει στον κόμβο D, τοποθετεί στην ετικέτα του πακέτου το δρομολόγιο πηγής (εξού και η ονομασία), δίνοντας έτσι την ακολουθία των hops, την οποία το πακέτο θα ακολουθήσει για να φτάσει στον D. Ο S θα αποκομίσει την κατάλληλη διαδρομή πηγής ψάχνοντας το Route Cache του, το οποίο εμπεριέχει διαδρομές τις οποίες έχει αποκομίσει παλιότερα από άλλους κόμβους. Αν όμως δεν βρει καμία διαδρομή που να οδηγεί στον επιθυμητό προορισμό (D), θα αρχικοποιήσει το πρωτόκολλο ανακάλυψης

διαδρομής, για να εντοπίσει δυναμικά μια νέα διαδρομή η οποία να οδηγεί στο D. Στην περίπτωση αυτή ο S καλείται ιδρυτής και ο D στόχος της διαδικασίας ανεύρεσης διαδρομής.

Στο Σχήμα 4.6, ο κόμβος A επιχειρεί να ανακαλύψει μια διαδρομή που να οδηγεί στον κόμβο E. Ο A για να αρχικοποιήσει την αναζήτηση διαδρομής μεταδίδει με broadcast μέθοδο ένα πακέτο αναζήτησης διαδρομής προς όλους τους κόμβους οι οποίοι βρίσκονται στην ασύρματη ακτίνα μετάδοσης του A. Κάθε πακέτο αναζήτησης διαδρομής αναγνωρίζει τον ιδρυτή και τον στόχο της αναζήτησης διαδρομής, και περιέχει επίσης ένα μοναδικό αριθμό αναζήτησης (id request), το οποίο καθορίζεται από τον ιδρυτή της αναζήτησης. Κάθε αναζήτηση διαδρομής περιλαμβάνει επίσης μια εγγραφή η οποία αναγράφει τη διεύθυνση κάθε ενδιαμέσου κόμβου μέσω του οποίου το πακέτο αυτό έχει προωθηθεί.



Σχήμα 4.6 Αναζήτηση Διαδρομής στο DSR [39]

Όταν ένας άλλος κόμβος λάβει το πακέτο της αναζήτησης διαδρομής, αν είναι αυτός ο στόχος επιστρέφει στον ιδρυτή ένα πακέτο απάντησης διαδρομής, δίνοντας του ένα αντίγραφο της διαδρομής όπως είναι εγγραμμένο στο πακέτο αναζήτησης διαδρομής. Με τη σειρά του ο ιδρυτής όταν λάβει το πακέτο απάντησης διαδρομής, το αποθηκεύει στο cache διαδρομών του, για να το χρησιμοποιήσει για την αποστολή των πακέτων στον προορισμό τους. Αν ο κόμβος που έλαβε το πακέτο αναζήτησης διαδρομής λάβει και δεύτερο πακέτο αναζήτησης διαδρομής το οποίο έχει το ίδιο id αναζήτησης με το πρώτο, ή δει ότι η δική του διεύθυνση είναι εγγεγραμμένη στην ετικέτα του δεύτερου πακέτου, καταλαβαίνει ότι έχει ήδη απάντηση σε αυτό το αίτημα αναζήτησης διαδρομής και απλά αγνοεί το δεύτερο πακέτο. Στην περίπτωση που ο κόμβος αυτός δεν είναι ο τελικός προορισμός του πακέτου, βάζει και την δική του διεύθυνση στην ακολουθία διευθύνσεων που βρίσκεται στην ετικέτα του πακέτου, και υποδηλώνει τη διαδρομή του, και το ξαποστέλνει (με το ίδιο id αναζήτησης) με broadcast τρόπο, στους

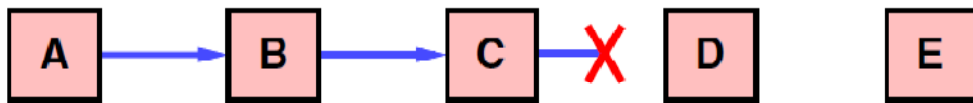
κόμβους που βρίσκονται στην δική του ασύρματη ακτίνα μετάδοσης.

Όταν ο κόμβος E θα αποστείλει στον κόμβο A το πακέτο με την διαδρομή την οποία ζήτησε ο A, θα κοιτάξει τον αποθηκευτικό χώρο διαδρομών του για μια διαδρομή που να οδηγεί στον A. Αν βρει μια θα την χρησιμοποιήσει για να αποστείλει το πακέτο στον A. Αν όμως δεν βρει διαδρομή που να οδηγεί στον A, μπορεί να χρησιμοποιήσει και αυτός τον μηχανισμό ανακάλυψης διαδρομής με ιδρυτή αυτόν και στόχο τον A. Για να αποφύγει όμως προβλήματα ατέρμων αναδρομής, θα πρέπει να βάλει και το πακέτο αναζήτησης διαδρομής που το έστειλε ο A, στο δικό του πακέτο αναζήτησης διαδρομής για τον A. Είναι επίσης πιθανόν να βάλει άλλα μικρά πακέτα δεδομένων, όπως είναι ένα TCP SYN πακέτο, σε πακέτο αναζήτησης διαδρομής, χρησιμοποιώντας τον ίδιο μηχανισμό. Κάτι άλλο πιο απλό όμως που μπορεί να κάνει είναι να αντιστρέψει την ακολουθία με τις διευθύνσεις που βρίσκονται στο πακέτο αναζήτησης, και να τις χρησιμοποιήσει για αποστολή του δικού του πακέτου ανεύρεσης διαδρομής. Σε ορισμένα MAC πρωτόκολλα, όπως το IEEE 802.11, προτιμάται αυτή η αντιστροφή στη διαδρομή για αποφυγή του overhead που θα δημιουργούσε μια δεύτερη χρήση του μηχανισμού Ανακάλυψης Διαδρομής.

Ο κόμβος που καλεί τον μηχανισμό ανακάλυψης διαδρομής, δηλαδή ο ιδρυτής, αποθηκεύει ένα αντίγραφο του αρχικού πακέτου σε ένα τοπικό αποθηκευτικό χώρο, τον καλούμενο Send Buffer. Ο χώρος αυτός περιέχει αντίγραφα πακέτων τα οποία δεν μπορούν να σταλούν από τον κόμβο αυτό εξαιτίας του ότι δεν έχει μια διαδρομή πηγής ακόμα για να στείλει το πακέτο στον προορισμό του. Το κάθε πακέτο δικαιούται να μείνει στο buffer για κάποιο χρονικό διάστημα, γι' αυτό και μόλις μπει σε αυτό του τοποθετείται μια ετικέτα στην οποία καταγράφεται ο χρόνος άφιξης του. Μόλις λήξει ο χρόνος που δικαιούται να βρίσκεται εκεί, το πακέτο αυτό πετιέται, έτσι ώστε να αποτραπεί η πιθανότητα να υπερχειλίσει το Buffer. Ενώ ένα πακέτο περιμένει στο Send Buffer, ο κόμβος περιστασιακά χρησιμοποιεί τον μηχανισμό ανακάλυψης διαδρομής για τη διεύθυνσης προορισμού του πακέτου. Ο ρυθμός με τον οποίο χρησιμοποιείται ο μηχανισμός αυτός δεν πρέπει να είναι συχνός, και αυτό γιατί για το παρόν χρονικό διάστημα ίσως ο κόμβος-προορισμός να μην είναι προσβάσιμος, είτε εξαιτίας της περιορισμένης ακτίνας μετάδοσης ή εξαιτίας της πυκνότητας των κόμβων στο δίκτυο και της ταχύτητας μετακίνησης τους σε αυτό.

4.7.3.2.4 DSR Maintenance

Όταν ένας κόμβος μεταδίδει ένα πακέτο στον επόμενο κόμβο, περιμένει να λάβει επιβεβαίωση από τον κόμβο παραλήπτη για λήψη του πακέτου. Ο κόμβος αποστολέας μπορεί να αναμεταδώσει το πακέτο αυτό μέχρι ένα μέγιστο αριθμό φορών αν δεν έχει λάβει ακόμα την επιβεβαίωση. Για παράδειγμα, όπως βλέπουμε στο Σχήμα 4.7, ο A επιθυμεί να στείλει ένα πακέτο στον E χρησιμοποιώντας τη διαδρομή πηγής η οποία περνά από τους ενδιάμεσους κόμβους B, C, D. Σε αυτή την περίπτωση ο A είναι υπεύθυνος να λάβει επιβεβαίωση ότι το πακέτο έφτασε στον B, ο B για τον C, και ούτω καθεξής μέχρι το πακέτο να φτάσει στον προορισμό του. Η αποστολή αυτών των πακέτων-επιβεβαιώσεων σε πολλές περιπτώσεις δεν έχει κανένα κόστος για το DSR, γιατί συνήθως σε αυτό συμβάλουν είτε το MAC πρωτόκολλο και πιο συγκεκριμένα το IEEE 802.11 το οποίο καθορίζει το link-layer acknowledgement πλαίσιο, ή γίνεται χρήση του passive acknowledgement μηχανισμού.



Σχήμα 4.7. Συντήρηση Διαδρομών στο DSR [39]

Αν το πακέτο αναμεταδοθεί μέγιστο αριθμό αναμεταδόσεων και δεν ληφθεί επιβεβαίωση, τότε ο κόμβος αποστολέας επιστρέφει πίσω στον αρχικό αποστολέα ένα πακέτο σφάλματος διαδρομής (Route Error), προσδιορίζοντας τη σύνδεση από την οποία το πακέτο δεν κατάφερε να περάσει. Για παράδειγμα, στο πιο πάνω σχήμα αν ο C δεν μπορεί να παραδώσει το πακέτο στον επόμενο κόμβο, δηλαδή τον D, τότε θα επιστρέψει στον A ένα μήνυμα σφάλματος, δηλώνοντας ότι η σύνδεση από τον C στον D έχει σπάσει. Ο A τότε θα αφαιρέσει αυτή τη σύνδεση από το cache του, και θα ψάξει σε αυτό να δει αν έχει κάποια άλλη διαδρομή για που να οδηγεί στον E. Αν δεν έχει θα χρησιμοποιήσει το μηχανισμό ανακάλυψης διαδρομής.

4.7.4 Location-Based Routing (Καλούμενο επίσης και ως Geographic Routing ή Georouting ή Position-Based Routing)

4.7.4.1 Εισαγωγή στο Location-Based Routing

Πρόκληση για τους ασύρματους αλγόριθμους δρομολόγησης αποτελεί η αντιμετώπιση των περιορισμών σε bandwidth, καθώς και των υψηλών ποσοστών των γεωγραφικών αλλαγών σε υψηλών ταχυτήτων κίνησης περιβάλλοντα. Στα περιβάλλοντα αυτά η συχνή broadcast αναμετάδοση πληροφοριών δρομολόγησης, είναι απαραίτητη για να διατηρούνται οι πίνακες δρομολόγησης ενημερωμένοι. Ο περιορισμός αυτής της κατανομής πληροφοριών στο δίκτυο είναι ουσιαστικός στην εξελιξημότητα των ασύρματων αλγορίθμων δρομολόγησης.

Για να μπορεί ένα όχημα να χρησιμοποιεί τέτοιου είδους αλγορίθμους, απαραίτητη είναι η ενσωμάτωση στο όχημα, μιας συσκευής π.χ GPS, η οποία θα παρέχει στο όχημα ψηφιακούς χάρτες, αλλά και τοπολογικές πληροφορίες για το ίδιο το όχημα, καθώς και για γειτονικά του οχήματα.

4.7.4.2 GeoTORA [18]

4.7.4.2.1 Εισαγωγή στο GeoTORA

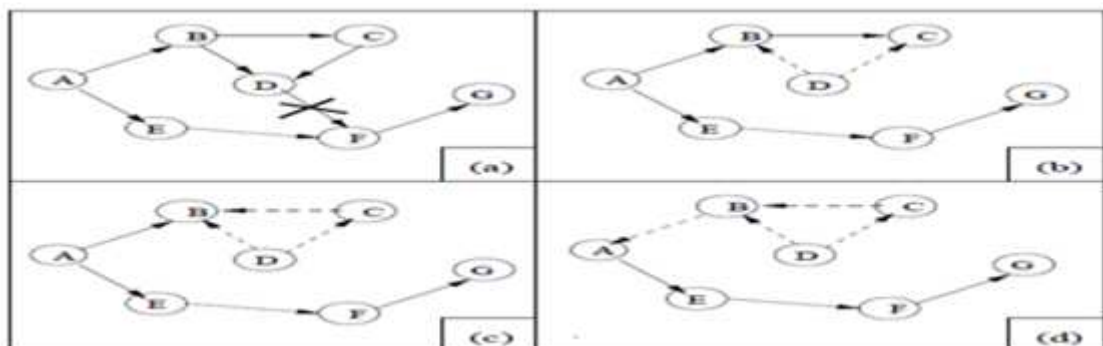
Το geocasting έχει προταθεί σαν ένας μηχανισμός παράδοσης μηνυμάτων, τα οποία ενδιαφέρουν όλους τους κόμβους σε μια γεωγραφική περιοχή. Στο παραδοσιακό multicasting, ένας κόμβος γίνεται μέλος ενός multicast group με την συνένωση του σε αυτό το group. Από την άλλη ένας κόμβος γίνεται αυτόματα μέλος ενός geocast group αν η τοποθεσία του ανήκει στην geocast region. Για να μπορεί ένας κόμβος να καθορίσει αν ανήκει σε ένα geocast group ή όχι, θα πρέπει να γνωρίζει την τοποθεσία του, για παράδειγμα με χρήση του Global Positioning System (GPS).

Το GeoTORA ονομάστηκε έτσι γιατί προέρχεται από το unicast πρωτόκολλο δρομολόγησης TORA. Η μέθοδος της πλημμύρας χρησιμοποιείται στο πρωτόκολλο αυτό, περιορίζεται όμως στα όρια μιας μικρής γεωγραφικής περιοχής. Αυτή η

ενοποίηση του TORA και της μεθόδου της πλημμύρας μπορεί να μειώσει σημαντικά το overhead της geocast παράδοσης, διατηρώντας παράλληλα υψηλή ακρίβεια.

4.7.4.2 Temporally Ordered Routing Algorithm (TORA)

Ο αλγόριθμος αυτός ανήκει στην οικογένεια των link reversal algorithms, για δρομολόγηση σε ad-hoc δίκτυα. Για κάθε πιθανό προορισμό σε ένα τέτοιο δίκτυο, το TORA διατηρεί και συντηρεί ένα κατευθυνόμενο ακυκλικό γράφο (DAG) προσανατολισμένο προς τον προορισμό. Το TORA χρησιμοποιεί τη γνώση του ύψους για να καθορίσει την κατεύθυνση της κάθε γραμμής σύνδεσης. Παρά τις δυναμικές αποτυχίες στις γραμμές σύνδεσης, ο αλγόριθμος αυτός επιχειρεί να διατηρεί και να συντηρεί τον προσανατολισμένο στον προορισμό DAG, έτσι ώστε κάθε κόμβος να μπορεί να φτάσει στον προορισμό, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.8. Όπως βλέπουμε ένα βέλος το οποίο συνδέει ένα ζεύγος κόμβων δείχνει ότι οι δύο αυτοί κόμβοι μπορούν να επικοινωνήσουν ο ένας με τον άλλο, και η σύνδεση τους έχει την δυνατότητα να αντιστραφεί από το TORA (όπως θα δούμε και πιο κάτω) για λόγους συντήρησης διαδρομών. Επίσης φαίνεται στον DAG ότι ο κόμβος G είναι ο προορισμός, στον οποίο μπορούμε να φτάσουμε από οποιονδήποτε κόμβο ακολουθώντας τις κατευθυντήριες γραμμές επικοινωνίας.



Σχήμα 4.8 Συντήρηση Διαδρομών στο TORA

Ας υποθέσουμε ότι η σύνδεση μεταξύ των κόμβων D και F έχει σπάσει (ίσως επειδή ο F έχει αρχίσει να απομακρύνεται από τον D). Ο κόμβος D τώρα όπως βλέπουμε και στο Σχήμα 4.8.(α) δεν έχει κάποια σύνδεση που να φεύγει από αυτόν. Το TORA θα αντιδράσει σε αυτό αντιστρέφοντας την κατεύθυνση της σύνδεσης

των (D,B) και (D,C) όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.8(b). Τώρα αυτός που δεν έχει κάποια γραμμή σύνδεσης να εξέρχεται από αυτόν είναι ο C. Εις απάντηση, η κατεύθυνση της σύνδεσης (B,C) αντιστρέφεται με αποτέλεσμα τον γράφο στο Σχήμα 4.8(c). Τώρα αυτός που δεν έχει κάποια γραμμή σύνδεσης να εξέρχεται από αυτόν είναι ο B. Η σύνδεση που θα αντιστραφεί τώρα είναι η (A,B), με αποτέλεσμα τον γράφο στο Σχήμα 4.8(d). Στην φάση αυτή όλοι οι κόμβοι (εκτός τον προορισμό D) έχουν μια γραμμή σύνδεσης να εξέρχεται από αυτούς και είναι σε θέση να φτάσουν τον προορισμό D ακολουθώντας τις κατευθυντήριες γραμμές.

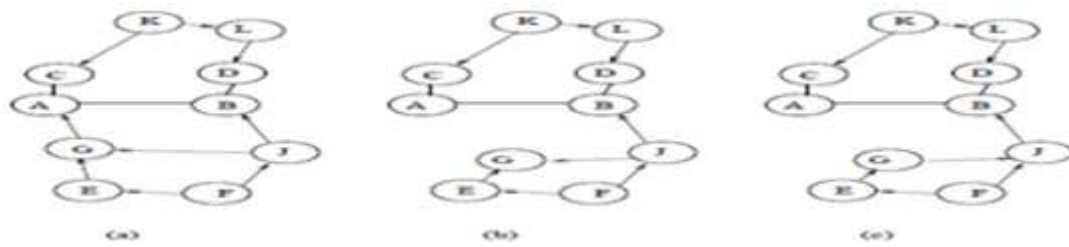
4.7.4.2.3 Anycasting Using Modified TORA

Για να υλοποιήσουμε το GeoTORA αρχικά τροποποιούμε το TORA ώστε να μπορεί να πληρεί τους όρους για anycast. Για να γίνει αυτό πρέπει να οριστεί ένα anycast group, το οποίο αποτελείται από ένα υποδίκτυο από κόμβους του δικτύου. Όταν ένας κόμβος αποστέλλει μήνυμα στο anycast group, το μήνυμα αυτό παραδίδεται σε οποιοδήποτε (any) μέλος του group.

Ενώ το TORA διατηρεί και συντηρεί ένα DAG για κάθε προορισμό, ο anycast αλγόριθμος θα διατηρούσε ένα μόνο DAG για ένα δοθέν anycast group. Επίσης όταν χρησιμοποιούμε TORA σε μια σταθερή κατάσταση, μόνο ο προτεινόμενος κόμβος-προορισμός είναι αυτός που τραβά την προσοχή στο DAG του γιατί είναι ο μόνος από τον οποίο δεν εξέρχεται καμιά γραμμή σύνδεσης. Από την άλλη για να πληρούνται οι όροι για anycasting το TORA τροποποιείται ώστε η δομή του DAG να αλλάξει, και κάθε γραμμή σύνδεσης μεταξύ δύο κόμβων να έχει γενική κατεύθυνση και όχι κατεύθυνση από τον ένα στον άλλο κόμβο.

Το Σχήμα 4.9, παρουσιάζει ένα τέτοιο σκηνικό. Η παρούσα δομή του DAG παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.9(a). Εδώ οι κόμβοι A,B,C,D ανήκουν στο anycast group και όπως βλέπουμε οι συνδέσεις μεταξύ τους είναι πιο γενικές, σε αντίθεση με τους κόμβους που βρίσκονται εκτός του group αυτού, των οποίων οι γραμμές συνδέσεων είναι πιο αναλυτικές και στις οποίες ξεχωρίζει η κατεύθυνση. Αν ο κόμβος G απομακρυνθεί από τον A με αποτέλεσμα η σύνδεση (A,G) να σπάσει, η νέα δομή που θα προκύψει για το DAG είναι αυτή που παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.9(b). Η μή ύπαρξη εξερχόμενης γραμμής σύνδεσης στο G, θα έχει ως αποτέλεσμα την αντιστροφή της λογικής κατεύθυνσης της σύνδεσης (G,J), με αποτέλεσμα τον γράφο στο Σχήμα 4.9(c).

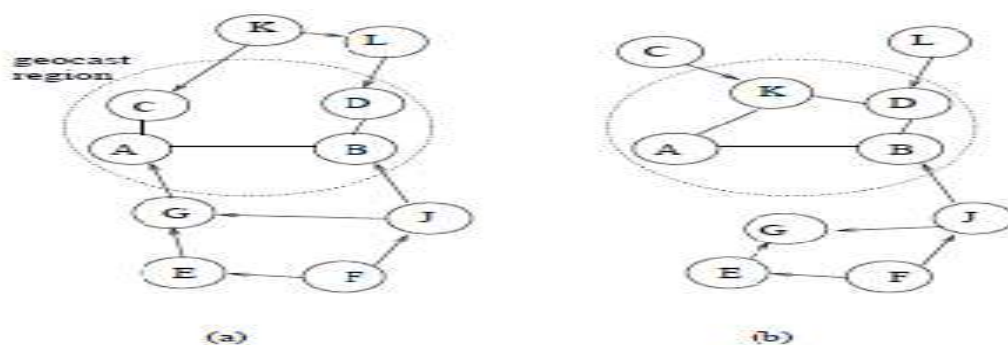
Τώρα και πάλι όλοι οι κόμβοι εκτός του anycast group έχουν μια εξερχόμενη γραμμή σύνδεσης και ένα μονοπάτι για τουλάχιστον ένα κόμβο του anycast group.



Σχήμα 4.9 Anycasting στο τροποποιημένο TORA

4.7.4.2.4 GeoTORA Protocol

Το πρωτόκολλο αυτό προέκυψε από μια μικρή αλλαγή που έγινε στο anycast πρωτόκολλο. Ας πάρουμε για παράδειγμα το σύστημα στο Σχήμα 4.10(a), και ας υποθέσουμε ότι ο κύκλος αντιπροσωπεύει την geocast περιοχή. Έτσι για το παρόν στάδιο το geocast group αποτελείται από το σύνολο των κόμβων {A,B,C,D}. Επίσης το πρωτόκολλο αυτό διατηρεί και συντηρεί ένα μόνο DAG για κάθε geocast group, το οποίο αναβαθμίζεται όταν αλλάζει όταν προστεθούν ή αφαιρεθούν μέλη από το geocast group.



Σχήμα 4.10 Geocasting χρησιμοποιώντας το GeoTORA

Για να μπορέσουμε να αποστείλουμε κάποιο μήνυμα με geocasting χρησιμοποιώντας GeoTORA, πρώτα, ο κόμβος αποστολέας ξαποστέλνει ένα anycast μήνυμα στα μέλη του geocast group. Στο GeoTORA, όπως και στο anycast πρωτόκολλο, οι αναλυτικές κατευθυντήριες γραμμές στήνονται με τέτοιο τρόπο ώστε όταν ένας κόμβος επιθυμεί να

εκτελέσει geocast προώθηση δεδομένων, να μπορεί να φτάσει οποιοδήποτε κόμβο στο geocast group προωθώντας απλά το πακέτο σε οποιαδήποτε γραμμή σύνδεσης που εξέρχεται από αυτόν. Όταν ένας κόμβος που ανήκει στο geocast group λάβει το πακέτο το προωθεί με τη μέθοδο της πλημμύρας όμως ο πλημμυρισμός γίνεται μόνο εντός των ορίων της geocast περιοχής. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο μόνο οι κόμβοι οι οποίοι είναι μέλη του geocast group προωθούν το πακέτο που έλαβαν μέσω flooding. Οι άλλοι κόμβοι όταν το λάβουν απλά το πετάνε. Για να διασφαλιστεί ότι ένας κόμβος δεν προωθεί το πακέτο περισσότερες από μια φορές, υπάρχει ένας αριθμός ακολουθίας στο κάθε πακέτο και αποτελεί το αναγνωριστικό του. Έτσι ένας κόμβος διαβάζει αυτόν τον αριθμό, και αν διαπιστώσει ότι το αυτό το πακέτο το έχει προωθήσει προηγουμένως, δεν το ξαναπροωθεί.

Για παράδειγμα, στο Σχήμα 4.10(a), αν ο κόμβος E στο θέλει να εκτελέσει geocast, προωθεί το πακέτο στον κόμβο G διαμέσου της γραμμής σύνδεσης (E,G) που εξέρχεται από αυτόν. Ο κόμβος G με τη σειρά του προωθεί το πακέτο στον κόμβο A. Ο κόμβος A ο οποίος βρίσκεται στην geocast περιοχή, αρχικοποιεί τη μέθοδο της πλημμύρας, η οποία θα περιοριστεί στους κόμβους εντός της geocast περιοχής. Έτσι οι κόμβοι B και C όταν λάβουν το πακέτο θα το προωθήσουν στους γείτονες τους. Αν ο A ξαναλάβει το πακέτο από κάποιον εκ των B ή C, θα το αναγνωρίσει από τον αριθμό ακολουθίας που φέρει μαζί του και δεν θα το ξαναπροωθήσει. Με αυτό τον τρόπο το πακέτο θα φτάσει στους κόμβους A,B,C,D οι οποίοι είναι οι κόμβοι-μέλη της geocast περιοχής.

Εξαιτίας της κινητικότητας των κόμβων εντός και εκτός της geocast περιοχής, το σύνολο των κόμβων που ανήκουν στην περιοχή αυτή μπορεί να αλλάζει δυναμικά. Για τον λόγο αυτό χρειάζεται ένας μηχανισμός ο οποίος να επιτρέπει σε ένα κόμβο που δεν είναι μέλος του group να γίνει, και το αντίθετο. Για παράδειγμα, στο σύστημα στο Σχήμα 4.10(a), ας υποθέσουμε ότι ο κόμβος C έχει κινηθεί εκτός της geocast περιοχής, ενώ ταυτόχρονα ο κόμβος K έχει κινηθεί εντός της. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα το υφιστάμενο μέχρι και πριν την αλλαγή DAG να αλλάξει, και αφού το GeoTORA δράσει με τις κατάλληλες ενέργειες θα μετατραπεί σε αυτό που βλέπουμε στο Σχήμα 4.10(b). Παρατηρούμε ότι ο κόμβος K έχει γίνει μέλος του group, ενώ ο C έχει πάψει να ανήκει στο group. Έχοντας ο K μετακινηθεί πιο κοντά στον A, έχει δημιουργηθεί μια γραμμή επικοινωνίας μεταξύ των δύο αυτών κόμβων, χωρίς όμως η γραμμή αυτή να πάρει μια πιο αναλυτική κατεύθυνση, αφού και οι δύο ανήκουν στην geocast

περιοχή.

Υπάρχουν όμως ακόμα δύο περιπτώσεις που θα πρέπει να μπορεί να τις χειρίζεται το GeoTORA: Η πρώτη είναι η περίπτωση όλοι οι κόμβοι-μέλη της geocast περιοχής να διαχωριστούν από μερικούς άλλους κόμβους στο δίκτυο, και η δεύτερη είναι η πιθανότητα η geocast περιοχή να είναι κενή. Στη δεύτερη περίπτωση κάποια στιγμή εντέλει κάποιος κόμβος θα εισέλθει στην περιοχή.

4.7.4.2.5 Λεπτομερή ανάλυση του TORA

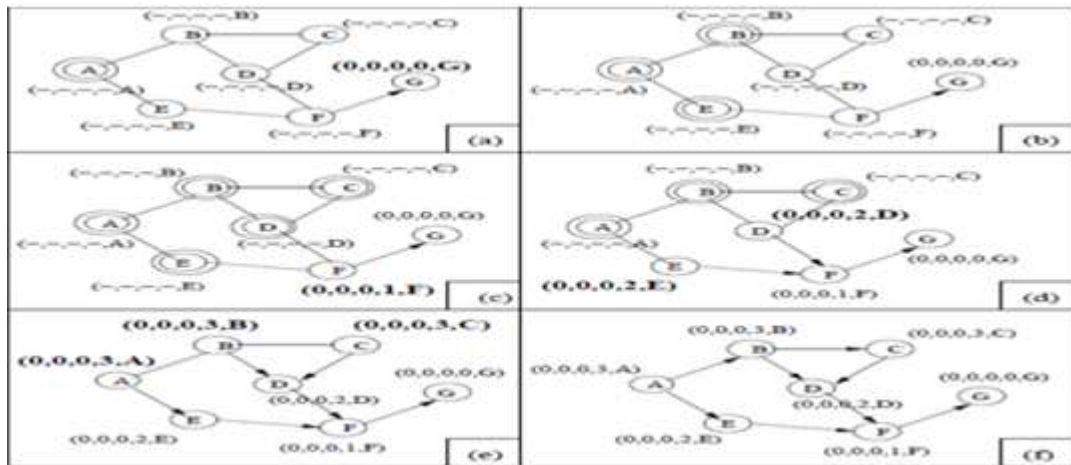
Αφού όπως έχουμε πει το GeoTORA βασίζεται στο TORA, θα πρέπει να κοιτάξουμε το πρωτόκολλο αυτό λίγο πιο αναλυτικά. Το πρωτόκολλο αυτό παρέχει loop-free, πολλαπλές διαδρομές από οποιαδήποτε πηγή προς ένα επιθυμητό προορισμό. Για να φτάσει το πακέτο στον δοθέν προορισμό, ένας κόμβος χρειάζεται να συντηρεί τις κατευθύνσεις των γραμμών σύνδεσης που εξέρχονται από αυτόν. Η λογική (αναλυτική) κατεύθυνση μεταξύ ενός ζευγαριού κόμβων καθορίζεται με την ανάθεση ενός ύψους σε κάθε κόμβο. Πιο συγκεκριμένα η λογική κατεύθυνση έχει κατεύθυνση από τον κόμβο με το μεγαλύτερο ύψος προς τον κόμβο με το μικρότερο ύψος. Το ύψος καθορίζεται από πέντε συστατικά (τ , oid , r , δ , i). Τα πρώτα τρία (τ , oid , r) αποτελούν το reference level (επίπεδο αναφοράς) και τα άλλα δύο (δ , i) το delta. Πιο κάτω ακολουθεί μια λεπτομερή επεξήγηση των πέντε αυτών συστατικών στοιχείων ύψους.

- **τ :** Ένα νέο reference level καθορίζεται κάθε φορά που ένας κόμβος χάσει μια γραμμή σύνδεσης που εξέρχεται από αυτόν. Το τ είναι η ετικέτα (tag) που αντιπροσωπεύει τον χρόνο της αποτυχίας της γραμμής σύνδεσης.
- **oid (originator id):** Είναι το μοναδικό αναγνωριστικό του κόμβου, ο οποίος καθόρισε το νέο reference level.
- **r (reflection indicator bit):** Το bit αυτό είναι αρχικά μηδέν. Όταν ένας κόμβος δεν έχει γραμμές σύνδεσης που να εξέρχονται από αυτόν λόγω αποτυχίας στη γραμμή σύνδεσης, αντιστρέφει κάποιες (ή όλες) από τις εισερχόμενες γραμμές σύνδεσης του. Αυτή η αλλαγή διαδίδεται και στους άλλους κόμβους. Όταν αυτή η διάδοση φτάσει σε κόμβο ο οποίος αρχικά είχε εξερχόμενες γραμμές σύνδεσης, όμως τώρα δεν έχει λόγω της αντιστροφής των γραμμών από τους γείτονες του, ο κόμβος θα "αντανακλάσει" τις αντιστροφές που έγιναν στις γραμμές σύνδεσης, θέτωντας το ύψος του μεγαλύτερο από οποιοδήποτε από τους γείτονες του. Το r bit

χρησιμοποιείται για τον σκοπό αυτό.

- **δ**: Είναι η παράμετρος αποστολής της διάδοσης. Την χρήση της παραμέτρου αυτής στην διάδοση θα την δούμε αργότερα με παράδειγμα.
- **i**: Είναι το μοναδικό αναγνωριστικό (ID) ενός κόμβου.

Το TORA εκτελεί τρεις βασικές συναρτήσεις: δημιουργία διαδρομής, συντήρηση διαδρομής, και διαγραφή διαδρομής. Επίσης χρησιμοποιούνται τρία πακέτα ελέγχου: αναζήτησης (QRY), αναβάθμισης (UPD) και καθαρισμού (CLR) για να επιτευχθεί η ολοκλήρωση αυτών των συναρτήσεων. Μια query/reply διαδικασία με QRY και UPD πακέτα χρησιμοποιείται για δημιουργία του DAG. Στο Σχήμα 4.11 (a μέχρι f) παρουσιάζεται η διαδικασία δημιουργίας διαδρομών ενώ προχωρούμε στο χρόνο.



Σχήμα 4.11 Φάση δημιουργίας διαδρομών στο TORA

Όπως βλέπουμε στο Σχήμα 4.11(a) αρχικά το ύψος H_i κάθε κόμβου i (εξαιρουμένου του προορισμού) έχει τεθεί σαν NULL με τον εξής τρόπο: $H_i = (-,-,-,i)$. Το ύψος του κόμβου-προορισμού G έχει τεθεί ίσο με μηδέν $\{H_G = (0,0,0,0,G)\}$. Όταν ένας κόμβος δεν έχει εξερχόμενες γραμμές συνδέσεων, όπως παράδειγμα ο A , θα αποστείλει με broadcast ένα πακέτο QRY σε όλους του τους γείτονες και θα σηκώσει μια σημαία για route-required, επιδιώκοντας να βρει μια διαδρομή που να οδηγεί στον προορισμό G .

Όταν ένας κόμβος (στην περίπτωση μας οι B και E) λάβει το πακέτο αναζήτησης αντιδρά σύμφωνα με τους ακόλουθους **κανόνες**:

α. Αν δεν έχει αναλυτικές γραμμές σύνδεσης, και η δική του route-required σημαία δεν είναι σηκωμένη, τότε απλά προωθεί το QRY στους γείτονες του και σηκώνει τη σημαία

του. Να επισημάνουμε ότι η γραμμή σύνδεσης μεταξύ δύο κόμβων το ύψος των οποίων είναι NULL, θεωρείται μη κατευθυνόμενη. Από την άλλη ένα ύψος που είναι NULL θεωρείται μεγαλύτερο από ένα ύψος που δεν είναι NULL.

b. Αν ένας κόμβος δεν έχει αναλυτικές γραμμές σύνδεσης όμως έχει την σημαία αναζήτησης διαδρομής σηκωμένη, τότε απλά πετά το ληφθέν QRY πακέτο. Για παράδειγμα όταν ο A λάβει το QRY πακέτο από τους B και E θα το πετάξει, δεν θα το ξαναπροωθήσει, διαφορετικά θα είχε σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ατέρμων βρόγχου αφού αυτό θα επαναλαμβανόταν συνεχώς.

c. Αν έχει τουλάχιστον μια αναλυτική (κατευθυνόμενη) γραμμή σύνδεσης και το ύψος του είναι NULL, τροποποιεί την τιμή του δ στο ύψος του παίρνοντας το ελάχιστο ύψος των γειτονικών του κόμβων που δεν είναι NULL και αυξάνοντας το κατά ένα. Για παράδειγμα στο Σχήμα 4.11(c) ο κόμβος F αναβαθμίζει το ύψος του σε $(0,0,0,1,F)$, αφού ο μόνος κόμβος μεταξύ των γειτόνων του που δεν είναι NULL (ο προορισμός G δηλαδή) έχει δ ίσο με μηδέν. Μετά την αλλαγή στο δ , ο κόμβος F θα πρέπει να αποστέλλει ένα UPD πακέτο στους γείτονες του για να τους ενημερώσει για την αλλαγή στο ύψος του.

d. Αν έχει τουλάχιστον μια αναλυτική (κατευθυνόμενη) γραμμή σύνδεσης και το ύψος του δεν είναι NULL, πρώτα συγκρίνει τον χρόνο που το τελευταίο UPD πακέτο στάλθηκε με broadcast με τον χρόνο που η γραμμή σύνδεσης από την οποία λήφθηκε το QRY πακέτο, έγινε ενεργή. Αν το UPD πακέτο στάλθηκε αφότου η γραμμή έγινε ενεργή, ο κόμβος πετάει το QRY πακέτο, διαφορετικά ο κόμβος αυτός αποστέλλει με broadcast ένα UPD πακέτο για να πληροφορήσει για το ύψος του τους γείτονες του. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 4.11(d) ο F μπορεί να λάβει ένα QRY πακέτο από τον D αφού ο F του είχε στείλει ένα UPD πακέτο (όπως έχουμε δει πιο πάνω). Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα ο F να πετάξει το QRY πακέτο που έλαβε από τον D.

Κάθε κόμβος στο δίκτυο θα πράξει αναλόγως με τον πιο κανόνα πληρεί κάθε φορά που λαμβάνει κάποιο πακέτο αναζήτησης διαδρομών από κάποιο γειτονικό του κόμβο, μέχρι να ολοκληρωθεί η φάση δημιουργίας διαδρομών στο TORA. Σε περίπτωση που η δημιουργία μιας διαδρομής σπάσει εξαιτίας αποτυχίας σε κάποια γραμμή σύνδεσης, οδηγούμαστε αμέσως στη φάση της συντήρησης διαδρομών για να ξανακατασκευάσουμε το DAG και να το προσανατολίσουμε προς τον προορισμό. Το πρωτόκολλο αυτό δεν αντιδρά σε αποτυχίες στις γραμμές σύνδεσης ενός κόμβου, παρά μόνο όταν ο κόμβος μένει χωρίς εξερχόμενες γραμμές σύνδεσης. Αν συμβεί αυτό θα

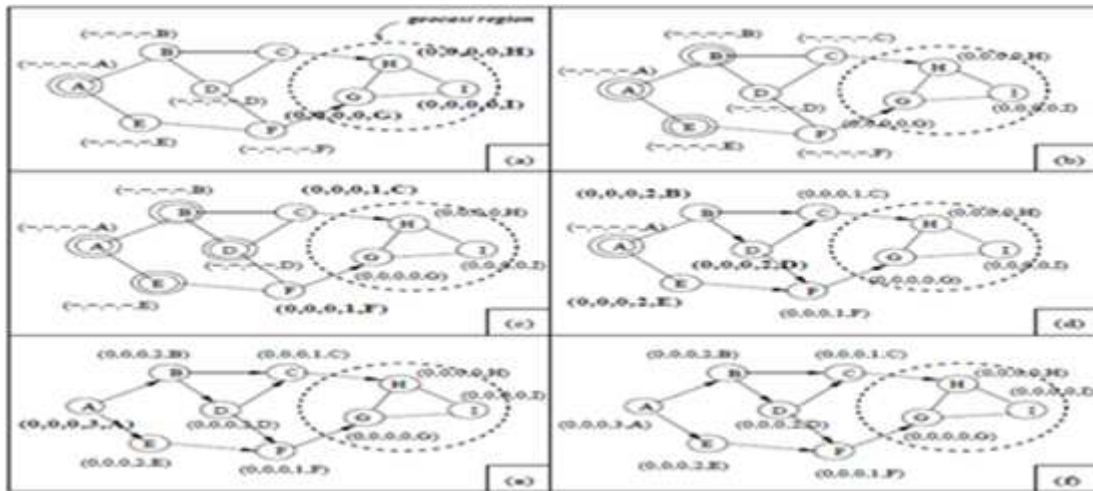
εκτελεστεί η αντιστροφή διαδρομών. Για παράδειγμα, ο κόμβος Z έχει χάσει όλες τις εξερχόμενες γραμμές σύνδεσης του. Θα εκτελέσει την αντιστροφή γραμμών σύνδεσης επιλέγοντας ένα νέο reference level τέτοιο ώστε το ύψος του να γίνει μεγαλύτερο από κάθε άλλο κόμβο στο δίκτυο. Θα αποστείλει τότε ένα UPD πακέτο στους γείτονες του το οποίο θα περιέχει το νέο επίπεδο αναφοράς. Αν με την αντιστροφή ένας άλλος κόμβος π.χ. ο W μείνει τώρα αυτός χωρίς εξερχόμενες γραμμές σύνδεσης, θα προσαρμόσει το ύψος του να είναι μικρότερο από αυτό του αποστολέα του UPD πακέτου και θα στήσει και αυτός ένα UPD. Αυτό θα συνεχιστεί μέχρι όλοι οι κόμβοι να έχουν τουλάχιστο μια εξερχόμενη γραμμή σύνδεσης.

Ένα από τα πλεονεκτήματα του TORA είναι η ανίχνευση σπασμένων γραμμών σύνδεσης κατά τη διάρκεια της συντήρησης διαδρομών. Αυτή η δυνατότητα οδηγεί σε μια διαδικασία που ονομάζεται διαγραφή διαδρομών. Στην διαδικασία αυτή, ένα CLR πακέτο ελέγχου, προωθείται με τη μέθοδο της πλημμύρας στο δίκτυο για να διαγράψει όλες τις μη έγκυρες διαδρομές.

4.7.4.2.6 Λεπτομερή ανάλυση του GeoTORA

Όπως και στο TORA έτσι και το GeoTORA διατηρεί και συντηρεί μόνο ένα DAG, με τη διαφορά όμως ότι εδώ όλοι οι κόμβοι που ανήκουν στην geocast περιοχή έχουν ύψος ίσο με μηδέν, και η γραμμή που συνδέει δύο κόμβους παραμένει ανενεργή αν και οι δύο κόμβοι έχουν ύψος μηδέν.

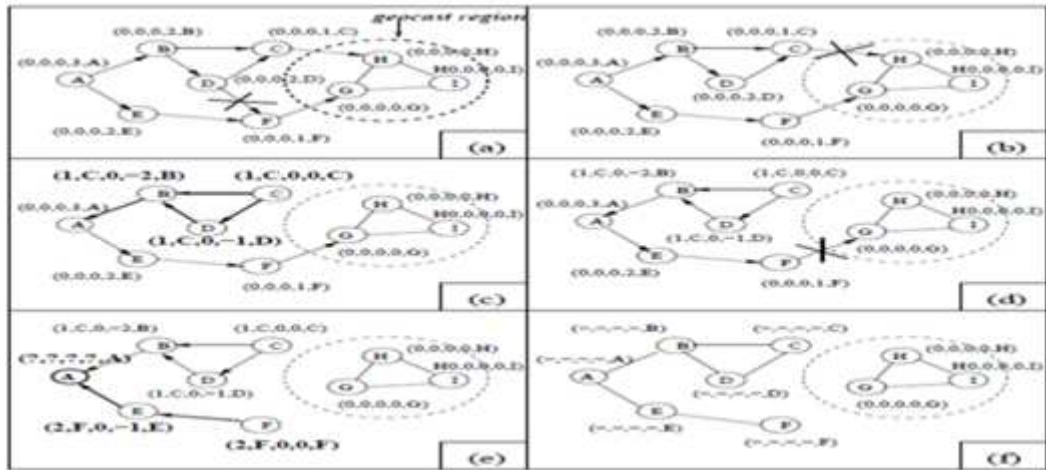
Δημιουργία και συντήρηση διαδρομών στο GeoTORA: Για να μπορέσει να παραδώσει πακέτα σε ένα geocast group μια πηγή, θα πρέπει να έχει μια διαδρομή στην δοθείσα περιοχή. Για να καθιερώσει αρχικά τις διαδρομές το GeoTORA χρησιμοποιεί μια διαδικασία δημιουργίας διαδρομής, η οποία είναι πανομοιότυπη με αυτή που χρησιμοποιείται στο TORA, με μόνη αλλαγή τη διαφορά που επισημάναμε λίγο πιο πάνω. Το Σχήμα 4.12, παρουσιάζει τη διαδικασία αυτή στο GeoTORA.



Σχήμα 4.12 Φάση δημιουργίας διαδρομών στο GeoTORA

Ας υποθέσουμε ότι ο κόμβος A επιθυμεί να εκτελέσει geocast στο geocast group. Αφού δεν έχει εξερχόμενες γραμμές σύνδεσης, θα μεταδώσει ένα QRY πακέτο στους γείτονες του και θα σηκώσει τη σημαία του για αναζήτηση διαδρομής (το σήκωμα της σημαία δηλώνεται με διπλό κύκλο στο σχήμα). Το πακέτο θα μεταβεί από τον A στους B και E, οι οποίοι με τη σειρά τους θα προωθήσουν το πακέτο στους γείτονες τους και θα σηκώσουν και τη δική τους σημαία. Οι κόμβοι C και D θα λάβουν το πακέτο από τον B, ενώ ο F θα το λάβει από τον E. Οι C και F όμως έχουν εξερχόμενες γραμμές προς τα μέλη του geocast group, αντίθετα ο κόμβος D δεν έχει. Αυτός θα προωθήσει το πακέτο προς τους γείτονες του και θα σηκώσει και τη δική του σημαία. Οι C και F όταν λάβουν το QRY πακέτο θα αλλάξουν τα ύψη τους σε $(0,0,0,1,C)$ και $(0,0,0,1,F)$ και θα ενημερώσουν τους γείτονες τους για την αλλαγή αυτή με UPD. Η αντίδραση στην λήψη UPD είναι πανομοιότυπη με το TORA. Στο τέλος παίρνουμε ένα DAG όπου κάθε κόμβος έχει εξερχόμενες γραμμές σύνδεσης όπως βλέπουμε και στο Σχήμα 4.12(f).

Στη φάση της διατήρησης διαδρομής στο GeoTORA το DAG μπορεί να αλλάξει σε περίπτωση αποτυχίας σε κάποια γραμμή σύνδεσης ή όταν ένας κόμβος εισέλθει ή απομακρυνθεί από την geocast περιοχή. Το Σχήμα 4.13, δείχνει πώς τροποποιείται το DAG για διάφορα σενάρια απώλειας γραμμών σύνδεσης.



Σχήμα 4.13 Φάση συντήρησης διαδρομών στο GeoTORA

- Στο Σχήμα 4.13(a), είναι η περίπτωση όπου δεν παρατηρείται καμιά αντίδραση για συντήρηση από τον κόμβο D στην απώλεια της σύνδεσης (D,F), αφού διαθέτει ακόμα την εξερχόμενη σύνδεση (D,C).
- Στο Σχήμα 4.13(b) έχει σπάσει η σύνδεση (C,H) έχει σπάσει και ο κόμβος C έχει μείνει χωρίς εξερχόμενη σύνδεση. Υποθέτοντας ότι η απώλεια της σύνδεσης προκλήθηκε σε χρόνο 1, ο κόμβος C θα αναβαθμίσει το ύψος του θέτοντας το (1,C,0,0,C) όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.13(c). Οι συνδέσεις (B, C) και (C,D) θα αντιστραφούν επίσης σε (C,B) και (C,D). Έπειτα θα δημιουργήσει ένα UDP μήνυμα το οποίο θα περιέχει το νέο του ύψος και θα το μεταδώσει με broadcast στους γειτονικούς του κόμβους. Ως αποτέλεσμα ο D θα πρέπει να αλλάξει το ύψος του σε (1,C,0,-1,D) και να αντιστρέψει την σύνδεση (B,D) που καταλήγει σε αυτόν σε (D,B) και θα στείλει το νέο του ύψος στον B. Αυτός μη έχοντας πια εξερχόμενη σύνδεση θα αλλάξει το δικό του ύψος σε (1,C,0,-2,B) για να είναι μικρότερο από αυτό του D, και θα αντιστρέψει τη σύνδεση (A,B) σε (B,A) και θα ενημερώσει τον γείτονα του, τον κόμβο A. Η συντήρηση θα σταματήσει αφού ο A παρά την απώλεια μιας εξερχόμενης σύνδεσης, έχει ακόμα την (A,E). Η τελική κατάσταση του DAG φαίνεται στο Σχήμα 4.13(c).
- Κάποτε μπορούμε να οδηγηθούμε στην περίπτωση όπου κανένας κόμβος έξω από την geocast περιοχή δεν έχει εξερχόμενη γραμμή σύνδεσης που να κατευθύνεται σε κάποιο κόμβο μέσα στην geocast περιοχή. Για παράδειγμα στο 6d υπάρχει απώλεια της σύνδεσης (F,G). Οπότε καταλήγουμε στο Σχήμα 4.13(e). Όπως βλέπουμε έχει δημιουργηθεί μια ατέρμων κατάσταση στο DAG,

αφού το A έχει καταλήξει να μην έχει εξερχόμενη σύνδεση και αν αλλάξει κάτι θα οδηγηθούμε σε κάποια από τις προηγούμενες περιπτώσεις. Λύση όπως βλέπουμε και στο Σχήμα 4.13(f) είναι η φάση της διαγραφής. Πιο συγκεκριμένα οδηγούμαστε σε μια καινούργια αρχή και περιμένουμε οι κινήσεις των κόμβων να προκαλέσουν νέες καταστάσεις και νέα ύψη σε κάθε κόμβο.

4.7.4.2.7 Παράδοση των Geocast πακέτων

Το GeoTORA αποτελείται από δύο φάσεις παράδοσης μηνυμάτων, την anycasting και την local flooding φάση.

Στην anycasting φάση όταν ένας κόμβος επιθυμεί να αποστείλει ένα πακέτο στο geocast group, προωθεί το πακέτο σε οποιανδήποτε από τις εξερχόμενες γραμμές του. Κάθε κόμβος που θα λάβει το πακέτο θα το προωθήσει σε μια εξερχόμενη σύνδεση. Δεδομένου ότι ο κόμβος-πηγή δεν είναι αποκομμένος από την geocast περιοχή, το πακέτο θα φτάσει τελικά σε κάποιο κόμβο-μέλος της geocast περιοχής.

Εφόσον πετύχει η anycasting φάση και το πακέτο φτάσει σε κάποιο κόμβο-μέλος της geocast περιοχής αναλαμβάνει η local flooding φάση, σκοπός της οποίας είναι η παράδοση του πακέτου στα υπόλοιπα μέλη της geocast περιοχής. Για παράδειγμα, ο κόμβος X βάζει την ετικέτα με την προδιαγραφή της geocast περιοχής στο πακέτο, και το προωθεί στους γείτονες του. Όποιος κόμβος λάβει το πακέτο θα ελέγξει αν βρίσκεται στα πλαίσια της περιοχής που αναφέρεται στο πακέτο, αν όχι θα το πετάξει, διαφορετικά θα το προωθήσει με broadcast στους δικούς του γείτονες μέχρι να φτάσει σε όλους τους κόμβους της περιοχής. Επίσης λαμβάνονται μέτρα ώστε ένας κόμβος να μην προωθήσει το πακέτο περισσότερες από μια φορές.

Συμπέρασμα: Το πρωτόκολλο αυτό προσπαθεί με τις δύο μεθόδους που χρησιμοποιεί να μειώσει την προώθηση πακέτων με την μέθοδο της πλημμύρας μόνο σε μια μικρή περιοχή, με αποτέλεσμα το συνολικό overhead να μειωθεί ως φυσικό επακόλουθο.

4.7.4.3 MORA: a Movement-Based Routing Algorithm for Vehicle Ad Hoc Networks [16]

4.7.4.3.1 Εισαγωγή στο MORA

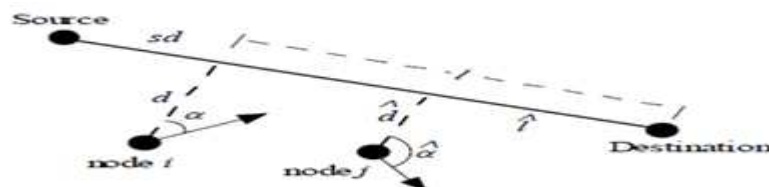
Μια από τις πιο υποσχόμενες προσεγγίσεις δρομολόγησης για τα VANET's είναι η άπληστη προσέγγιση δρομολόγησης που βασίζεται στην περιοχή. Στο Greedy Perimeter Stateless Routing (GPSR) πρωτόκολλο όλα τα πακέτα που προωθούνται στο δίκτυο μεταφέρουν μαζί τους τις περιοχές στις οποίες προορίζονται να πάνε. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένας κόμβος που προωθεί τα πακέτα αυτά να μπορεί να πάρει τοπικά βέλτιστες αποφάσεις δρομολόγησης ώστε να αποστείλει τα πακέτα στους γείτονες εκείνους που βρίσκονται πιο κοντά στον προορισμό. Ως αποτέλεσμα το κύριο πλεονέκτημα της άπληστης προώθησης είναι η εμπιστοσύνη στην γνώση των ενδιάμεσων γειτόνων του κόμβου που προωθεί τα πακέτα. Όταν ένα πακέτο φτάσει στην περιοχή στην οποία η άπληστη προώθηση δεν είναι δυνατή εξαιτίας λεπτομερειών της τοπολογίας, το GPSR αναρρώνει διασχίζοντας τον γράφο τοπολογίας γύρω από την περίμετρο αυτής της περιοχής. Ωστόσο αν χρησιμοποιούνται μόνο οι πληροφορίες της περιοχής είναι πιθανόν να χαθούν κάποιοι υποψήφιοι κόμβοι για προώθηση του πακέτου. Επίσης, η γνώση της θέσης των κόμβων μπορεί να μην είναι επαρκής στο δίκτυο με συχνές τοπολογικές αλλαγές (κάτι που συμβαίνει συχνά στα VANET's). Στην περίπτωση αυτή είναι σημαντικό να εγκυρηθούμε ψηλό βαθμό σταθερότητας στις γραμμές σύνδεσης και συνεπώς ευρωστία στο πρωτόκολλο δρομολόγησης.

Για επίλυση των πιο πάνω προβλημάτων προτείνεται ένας εναλλακτικός αλγόριθμος δρομολόγησης βασισμένος στην κίνηση, ο Movement-Based Routing Algorithm (MORA), ο οποίος εκμεταλλεύεται όχι μόνο την θέση, αλλά και την κατεύθυνση της κίνησης των εν κίνηση κόμβων. Η γνώση της κατεύθυνσης κίνησης των κόμβων που έχει υλοποιηθεί στο MORA αντιπροσωπεύει μια προσπάθεια ανεύρεσης μιας λύσης σε αυτό το κρίσιμο πρόβλημα και αντιστοίχησης των απαιτήσεων της ένδον-οχηματικής επικοινωνίας.

4.7.4.3.2 Συνάρτηση F

Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιεί μια τεχνική γραμμικού συνδυασμού του αριθμού των hops και μιας target συνάρτησης, η οποία μπορεί ανεξάρτητα να υπολογιστεί από κάθε κόμβο. Η κύρια ιδέα αυτής της προσέγγισης είναι η ανάπτυξη μιας συνάρτησης, η οποία εξαρτάται από την απόσταση του προωθούμενου οχήματος από την γραμμή η οποία συνδέει την πηγή και τον προορισμό (sd), καθώς και από την κατεύθυνση κίνησης του κόμβου. Η συνάρτηση αυτή πρέπει να υλοποιηθεί με κατανεμημένο τρόπο επιτρέποντας σε κάθε όχημα να την υπολογίσει.

Η target (F) συνάρτηση θα αυξάνεται όσο απομακρύνεται ο παραλήπτης από τον αποστολέα και θα μικραίνει όσο πλησιάζει ο ένας στον άλλο. Για να καταλάβουμε καλύτερα τη συνάρτηση αυτή ας δούμε το ακόλουθο παράδειγμα: Στο Σχήμα 4.14, θέτουμε ως d_0 μια σταθερά, $X=d/d_0$ την απόσταση του κόμβου από τη γραμμή sd που ενώνει τον αποστολέα με τον παραλήπτη, και ως $y=l/d_0$ την απόσταση από το σημείο της καθέτου του κόμβου στην ευθεία sd και του παραλήπτη. Επίσης θέτουμε την γωνία α ως τη γωνία μεταξύ της κατεύθυνσης του οχήματος και της καθέτου στη ευθεία sd.



Σχήμα 4.14 Γραφική αναπαράσταση των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται στο MORA

Η συνάρτηση F όπως έχει δοθεί είναι η εξής:

$$F_{\delta,\gamma}(x,\alpha) = \sin \frac{|\alpha|}{3} e^{-|x|} + \cos \frac{\alpha}{3} e^{-\frac{(x-\delta)^2}{\gamma}}$$

όπου δ και γ είναι

μεταβλητές που καθορίζουν το βάρος της κατεύθυνσης του οχήματος και αν θα παίρνει μηδενική τιμή η συνάρτηση πιο απότομα ή πιο ομαλά αντίστοιχα. Η συνάρτηση αυτή μπορεί να υπολογιστεί και να τοποθετηθεί σε πίνακες αναζήτησης έτσι κάθε κόμβος δεν

χρειάζεται κάθε φορά να την υπολογίζει, αλλά όταν την ξαναχρειαστεί μπορεί να την βρει από τον πίνακα αναζήτησης.

4.7.4.3.3 Συνάρτηση W και μετρική m

Με τη συνάρτηση W αναθέτουμε βάρη σε κάθε κόμβο και αναπαριστάται ως εξής:

$$W(x, y) = \begin{cases} 1 & 0 \leq w(x, y) < 0.1 \\ -\log_{10} w(x, y) & 0.1 \leq w(x, y) \leq 10 \end{cases}$$

όπου το $w(x, y) \in [0, 10]$ είναι το βάρος του κόμβου i με συντεταγμένες x, y.

Η μετρική $m_{\delta, \gamma}(x, y, \alpha)$ ή m_i αναπαριστάται ως εξής:

$$m_{\delta, \gamma}(x, y, \alpha) = \frac{1}{2} (W(x, y) + F_{\delta, \gamma}(x, \alpha))$$

όπου τόσο το $W(x, y)$ και το $F_{\delta, \gamma}(x, \alpha) \in [-1, 1]$. Όσο πιο ψηλή είναι η τιμή του m_i , τόσο πιο μεγάλη είναι και η πιθανότητα ο κόμβος i να περιληφθεί σε ενεργή διαδρομή από την πηγή στον προορισμό.

4.7.4.3.4 Δρομολόγηση στο MORA

Στο MORA χρησιμοποιείται η μέθοδος του flooding για ανακάλυψη του μονοπατιού που θα οδηγεί στον προορισμό, μια μέθοδος που χρησιμοποιείται στα περισσότερα πρωτόκολλα δρομολόγησης. Ο αποστολέας περιλαμβάνει τις πληροφορίες της περιοχής του στο πακέτο αναζήτησης διαδρομής και το αποστέλλει με flood στο δίκτυο. Κατά την λήψη του πακέτου αυτού, ο κόμβος-προορισμός παράγει ένα πακέτο απάντησης διαδρομής και το προωθεί στον αποστολέα χρησιμοποιώντας την μετρική m που έχουμε αναφέρει προηγουμένως.

Σε κάθε κόμβο όπου περνά το πακέτο, ο κόμβος λαμβάνει υπόψη του από τους γειτονικούς του κόμβους μόνο εκείνους με το ψηλότερο y (το y σχετίζεται με την

απόσταση από τον προορισμό) για να αποφευχθούν κύκλοι. Σε κάθε πακέτο που αποστέλλεται συμπεριλαμβάνονται οι συντεταγμένες του κόμβου-πηγή, του κόμβου-παραλήπτη, η θέση του κόμβου που ήταν ο τελευταίος που προώθησε το πακέτο, καθώς και η κατεύθυνση της κίνησης του. Με αυτό τον τρόπο κάθε κόμβος μπορεί να υπολογίσει τη μετρική m για τον ίδιο και για τους γείτονες του.

Αφού υπολογιστεί η μετρική αυτή για κάθε κόμβο, το πακέτο θα προωθηθεί στον γείτονα με το ψηλότερο m . Επειδή όλοι οι κόμβοι πιθανός να διαθέτουν GPS τεχνολογία στο άμεσο μέλλον, προτείνονται δύο αλγόριθμοι που βασίζονται στην δυνατότητα της up-to-date πληροφόρησης για τις θέσεις και τις κατευθύνσεις κίνησης του κόμβου πηγής, του κόμβου προορισμού, καθώς και των κόμβων που εντοπίζονται κατά μήκος της sd γραμμής και των ενδιάμεσων τους κόμβων. Η συχνότητα των αναβαθμίσεων εξαρτάται από τη λεπτομερή υλοποίηση του πρωτοκόλλου δρομολόγησης.

Δύο πιθανές υλοποιήσεις είναι οι εξής:

1. **Standalone:** Η υλοποίηση (γνωστή και ως “MORA”), χωρίζει το πλαίσιο εργασίας του προτινόμενου πρωτοκόλλου δρομολόγησης σε ένα standalone επίπεδο δρομολόγησης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι πληροφορίες για την τοποθεσία και την κίνηση να μεταφέρονται μόνο από πακέτα δρομολόγησης όπως είναι τα Route Request και Route Reply. Το μοναδικό μειονέκτημα της υλοποίησης αυτής είναι ότι οι πληροφορίες τοποθεσίας δεν αναβαθμίζονται κατά τη διάρκεια ανταλλαγής πακέτων δεδομένων.
2. **Link layer integrated:** Για να αντιμετωπιστούν οι περιορισμοί που προκύπτουν κατά την αναβάθμιση στην standalone προσέγγιση, έγινε ενοποίηση του MORA πρωτοκόλλου με το MAC πρωτόκολλο στο link layer, δημιουργώντας έτσι το MORA+. Εκτός από τις λειτουργίες της standalone υλοποίησης, το MORA περιλαμβάνει στα headers του MAC πρωτοκόλλου τις πληροφορίες τοπολογίας και κίνησης. Αυτή η τεχνική ενεργοποιεί μια δυναμική αναβάθμιση τέτοιων πληροφοριών κατά μήκους ολόκληρου του μονοπατιού δεδομένων για κάθε μεταδιδόμενο πακέτο. Έτσι αποφεύγεται η σπατάλη διαθέσιμων πόρων επικοινωνίας.

4.7.4.3.5 Συμπεράσματα

Ο MORA αλγόριθμος είναι ένας πλήρως κατανεμημένος αλγόριθμος, αφού οι κόμβοι χρειάζονται να επικοινωνήσουν μόνο με άμεσους γείτονες τους που βρίσκονται εντός της ακτίνας μετάδοσης τους. Η κύρια λειτουργία του MORA είναι η χρήση μιας μετρικής δρομολόγησης η οποία ενεργοποιείται για την προώθηση όχι μόνο των πληροφοριών τοπολογίας, αλλά επίσης και της κατεύθυνσης στην οποία κινείται το κάθε όχημα. Το MORA μελετά επίσης τις δυναμικές αλλαγές που συμβαίνουν στο δίκτυο (συχνό φαινόμενο στα VANETs) για την διάθεση των τοπολογικών πληροφοριών.

Εκτεταμένες αξιολογήσεις που έγιναν στο πρωτόκολλο αυτό έδειξαν ότι η συνένωση στην υλοποίηση που έγινε στο link layer επέφερε καλές αποδόσεις σε περιπτώσεις που τα οχήματα κινούνται με ψηλές ταχύτητες ή υπάρχουν συχνές τοπολογικές αλλαγές. Ένα παράδειγμα που παρουσιάζει καλή απόδοση είναι σε highway σενάρια με ασταθείς διαδρομές.

4.7.4.4 TOPO: Routing in Large Scale Vehicular Networks [35]

4.7.4.4.1 Εισαγωγή στο TOPO

Είναι γενικά αποδεκτό ότι τα πρωτόκολλα δρομολόγησης στα VANETs θα έπρεπε να ενσωματώνουν γεωγραφικές πληροφορίες όπως για παράδειγμα πληροφορίες για την τοπολογία ενός δρόμου. Απόπειρες για δημιουργία τέτοιων πρωτοκόλλων έχουν γίνει όμως δεν ανταποκρίνονται εντελώς στις ανάγκες των VANETs. Για παράδειγμα, το GPCR είναι μια επέκταση του GPSR στο οποίο τα μηνύματα μεταφέρονται κατά μήκος του δρόμου, ωστόσο το πρωτόκολλο αυτό αγνοεί την κινητικότητα των οχημάτων και την συντήρηση των διαδρομών. Το GVGrid είναι ένα πρωτόκολλο για VANETs το οποίο βασίζεται στην ποιότητα υπηρεσίας και το οποίο εκμεταλλεύεται τη γεωγραφική πληροφόρηση. Χωρίζει τη γεωγραφική περιοχή σε πλέγματα και προωθεί πακέτα κατά μήκος των δρόμων διασταυρώνοντας διάφορα πλέγματα. Ωστόσο κάνει την υπόθεση ότι η πηγή είναι σταθερή κάτι που δεν ισχύει πάντα στα VANETs.

Οι Wenjing Wang, Fei Xie και Mainak Chatterjee προτίνουν το TwO Phase rOuting (TOPO) πρωτόκολλο για μεγάλης κλίμακας VANETs το οποίο καθορίζεται από δύο φάσεις δρομολόγησης, την routing in access και την routing in overlay. Η overlay φάση περιέχει ένα γράφο από δρόμους με υψηλή πυκνότητα οχημάτων (π.χ highways) και η access τις υπόλοιπες περιοχές ή δρόμους που συνδέονται με τον γράφο στην overlay. Το TOPO χρησιμοποιεί τις πληροφορίες για το δρόμο και την κυκλοφορία στον overlay γράφο και παραδίδει μηνύματα διαμέσου αυτού στην access περιοχή του προορισμού, όπου η δρομολόγηση μπορεί και πάλι να χειριστεί σε μια μικρής κλίμακας περιοχή.

Η κύρια συνεισφορά του πρωτοκόλλου αυτού μπορεί να φανεί μέσα από δύο πτυχές. Πρώτα εξυπηρετεί σαν ένα αποτελεσματικό πρωτόκολλο δρομολόγησης σε μεγάλης κλίμακας VANETs και δεύτερον είναι επίσης ένα πλαίσιο εργασίας το οποίο μπορεί να συνενωθεί με υφιστάμενους αλγόριθμους δρομολόγησης για VANET.

4.7.4.4.2 Γενικές Πληροφορίες

Για να μπορέσει ένα όχημα να χρησιμοποιήσει το πρωτόκολλο αυτό πρέπει να διαθέτει GPS και να το έχει ενεργοποιημένο ώστε να λαμβάνει την τοπολογική του θέση καθώς και άλλες πληροφορίες από τον χάρτη. Επίσης πρέπει να είναι εξοπλισμένο με ασύρματο πομποδέκτη για να επικοινωνεί με άλλα οχήματα που βρίσκονται στην ίδια ακτίνα επικοινωνίας με αυτό.

Ο overlay γράφος μπορεί να περιγραφεί και ως η ραχοκοκαλιά του συστήματος διακίνησης. Μπορούμε γενικά να πούμε ότι η παράδοση ενός μηνύματος εδώ θα έχει λιγότερη καθυστέρηση επειδή ο αριθμός των οχημάτων είναι μεγαλύτερος και κινούνται πιο γρήγορα. Από την άλλη οι access περιοχές είναι οι οικιστικές περιοχές και οι δρόμοι με χαμηλές ταχύτητες. Αυτές οι περιοχές μπορούν να συνδεθούν διαμέσου των overlay δρόμων.

Επίσης στο πρωτόκολλο αυτό υπάρχει η λεγόμενη λίστα γειτόνων την οποία κάθε κόμβος είναι υπεύθυνος να συντηρεί. Οι κόμβοι ανακαλύπτουν και κρατάνε τις πληροφορίες για τους γειτονικούς τους κόμβους στη λίστα αυτή. Τα πεδία της λίστας αυτής είναι τα μοναδικά αναγνωριστικά των γειτονικών κόμβων (ids), τα επόμενα ids διασταύρωσης (μπορούν να εντοπιστούν από το χάρτη) και η τρέχουσα φάση (ο δρόμος στον οποίο κινείται το όχημα). Η λίστα αυτή ενημερώνεται περιοδικά.

4.7.4.4.3 ΤΟΡΟ Δρομολόγηση

Υπάρχουν τέσσερις συνδυασμοί για δρομολόγηση από την πηγή στον προορισμό με βάση την τοπολογία, ο κόμβος-πηγή να βρίσκεται σε access περιοχές, ο κόμβος-προορισμός να βρίσκεται σε access περιοχές, ο κόμβος-πηγή να βρίσκεται σε overlay δρόμους και ο κόμβος-προορισμός να βρίσκεται σε overlay δρόμους. Αν και οι δύο κόμβοι βρίσκονται σε overlay, τότε μόνο η overlay δρομολόγηση είναι αρκετή. Αν μόνο ο ένας εκ των δύο είναι σε overlay, τότε η δρομολόγηση θα συμπεριλάβει και τις δύο φάσεις. Από την άλλη αν και οι δύο βρίσκονται σε access περιοχή, η δρομολόγηση μπορεί να γίνει μόνο με την access φάση ή με συνδυασμό των δύο φάσεων. Όταν

υπάρχει συνδυασμός των δύο φάσεων το TOPO θα αξιολογήσει πρώτα τις σχετικές θέσεις των οχημάτων.

Το TOPO θα επιλέξει να χρησιμοποιήσει μικρής κλίμακας πρωτόκολλο αν ικανοποιούνται οι ακόλουθες συνθήκες:

- i. Τόσο η πηγή όσο και ο προορισμός βρίσκονται σε access περιοχή.
- ii. Συνδέονται χωρίς τη μεσολάβηση overlay δρόμου.
- iii. Δεν βρίσκονται σε απόσταση πέραν του 1.5 km.

4.7.4.4 Περίγραμμα του TOPO

Ο κόμβος-πηγή γνωρίζει την θέση του προορισμού, και έτσι μπορεί να υπολογίσει στον χάρτη το πιο σύντομο μονοπάτι για τον προορισμό, χρησιμοποιώντας αλγόριθμους σχεδιασμού μονοπατιού. Αφού σχεδιαστεί το μονοπάτι, ο κόμβος-πηγή θα αρχίσει το TOPO από την access φάση δρομολόγησης και θα παραδώσει τα μηνύματα στην overlay. Έπειτα, η δρομολόγηση θα μεταφερθεί στην overlay φάση και τα μηνύματα θα παραδοθούν διαμέσου του μονοπατιού στις access περιοχές. Τέλος, το TOPO θα ξαναεπιστρέψει στην access φάση δρομολόγησης και θα αποστείλει το μήνυμα στον κόμβο-προορισμό.

Access Φάση Δρομολόγησης: Υφιστάμενα γνωστά ad-hoc πρωτόκολλα δρομολόγησης όπως τα GPSR και AODV δουλεύουν καλά εντός μιας μικρής περιοχής. Με μικρές τροποποιήσεις δουλεύουν ικανοποιητικά σε access. Το σκεπτικό πίσω από τη σχεδίαση access δρομολόγησης είναι ότι πρέπει να διαθέτει γρήγορη, αξιόπιστη και χαμηλής πολυπλοκότητας παράδοση μηνυμάτων. Για τον λόγο αυτό τροποποιήθηκαν τα GPSR και AODV σε GPSR-m και AODV-m για τη φάση αυτή.

Ωστόσο υπάρχουν ορισμένα θέματα που πρέπει να διευθετηθούν. Πρώτον πρέπει να διαχωριστούν οι καταστάσεις “access to overlay” και “overlay to access”. Οι κόμβοι γνωρίζουν πως να προωθήσουν τα μηνύματα στην overlay, οι προορισμοί όμως μπορεί να είναι εν κίνηση για τον λόγο αυτό θα πρέπει να τους βρούμε και να τους φτάσουμε. Έτσι στην πρώτη κατάσταση το GPSR-like πρωτόκολλο είναι πιο κατάλληλο εφόσον γνωρίζουμε την κατεύθυνση του overlay. Στη δεύτερη κατάσταση το AODV-like

πρωτόκολλο συμπεριφέρεται καλύτερα επειδή περιλαμβάνει ανακάλυψη διαδρομών ενώ οι κόμβοι-προορισμοί μπορεί να είναι εν κίνηση.

Για αποτελεσματική παράδοση των μηνυμάτων στο overlay ένας κόμβος στο access μπορεί να βρει την Ευκλείδεια Απόσταση από την πηγή σε κάθε ενδιαμέσο κόμβο (ελέγχοντας τη λίστα με τους γείτονες της) και να στείλει το μήνυμα με GPSR-m στον κοντινότερο της γείτονα. Αν σύμφωνα με τη λίστα ο γείτονας αυτός βρίσκεται είδη στην overlay, η access φάση δρομολόγησης τελειώνει.

Στη δεύτερη κατάσταση το μήνυμα θα παραδοθεί από την overlay στην access. Πρωτα γίνεται η εύρεση της διαδρομής μέσω του AODV-m. Αν ο κόμβος-προορισμός είναι σταθερός ή κινείται εντός της ίδιας access περιοχής, το AODV-m θα βρει τον προορισμό εύκολα. Στην χειρότερη περίπτωση που ο προορισμός είναι εν κίνηση και κινείται από την access προς την overlay, το TOPO συμβάλει ώστε ο προορισμός να δείχνει στους γείτονες του τις αλλαγές των θέσεων του, αποστέλλοντας τους με broadcast πακέτα που περιέχουν την επόμενη του κατεύθυνση στο overlay (id διασταύρωσης) και μια TTL τιμή. Όταν σε κάποιο από τους γείτονες του σταλεί μήνυμα αναζήτησης διαδρομής για τον συγκεκριμένο προορισμό, αυτός απαντά δίνοντας το id διασταύρωσης του κόμβου-προορισμού.

Overlay φάση δρομολόγησης: Πρόκειται για τη διαδικασία μεταξύ των δύο καταστάσεων της access φάσης. Εδώ υπάρχουν ορισμένοι κανόνες που πρέπει να ακολουθηθούν για την αποδοτική παράδοση και προώθηση του μηνύματος.

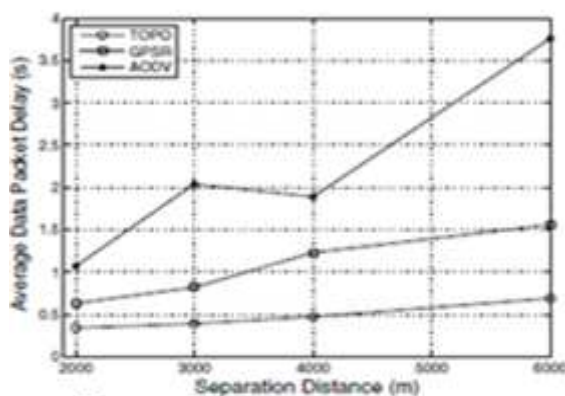
1. Αν δεν υπάρχουν κόμβοι μπροστά από τον τρέχων κόμβο C που μεταφέρει το μήνυμα κατά μήκος του μονοπατιού, και αυτός εξακολουθεί να κινείται στο μονοπάτι αυτό, θα μεταφέρει το μήνυμα μέχρι να βρει κάποιο κόμβο να του το προωθήσει.
2. Σε μια ενδιαμέση διασταύρωση A στην overlay, αν δεν υπάρχει κυκλοφοριακή κίνηση κατά μήκος του μονοπατιού (προς τη διασταύρωση B), και ο C δεν κατευθύνεται προς αυτή την κατεύθυνση, προωθεί το μήνυμα σε οποιοδήποτε κόμβο κατευθύνεται προς τη διασταύρωση A, θέτοντας και ένα TTL σε αυτό το μήνυμα. Ο κόμβος που θα λάβει το μήνυμα αυτό θα το προωθήσει ξανά, και σε περίπτωση που δεν καταφέρει να το στείλει στη διασταύρωση B, θα επαναλάβει

αυτό το βήμα χωρίς να θέσει TTL αυτή τη φορά. Αν η TTL τιμή σε ένα μήνυμα ξεπεράσει ένα προκαθορισμένο κατώφλι, ο κόμβος που το μεταφέρει θα διαγράψει από τον γράφο G την άκρη $e = \langle A, B \rangle$, θα ξαναυπολογίσει το μονοπάτι για το μήνυμα αυτό και θα συνεχίσει να το προωθεί.

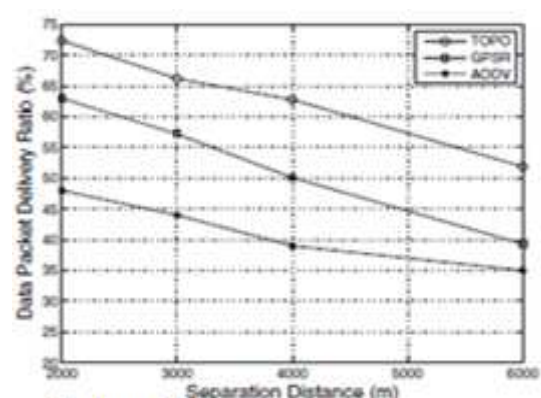
3. Στην τελική διασταύρωση F , όπου το μήνυμα θα έπρεπε να βγει από την overlay και να συνεχίσει στην access, αν δεν υπάρχει κόμβος στην access για να του στείλουμε το μήνυμα, ο C θα το προωθήσει σε όποιο κόμβο κατευθύνεται προς την F , κάνοντας το μήνυμα να κινείται γύρω από την F , μέχρι κάποιος κόμβος στην access είναι σε θέση να το λάβει.

4.7.4.4.5 Συμπέρασμα

Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης του TOPO σε σχέση με τα GPSR και AODV (Σχήμα 4.15, Σχήμα 4.16 [35]) δείχνουν ότι το TOPO παράγει την μικρότερη καθυστέρηση και τη μεγαλύτερη αναλογία παράδοσης μηνυμάτων σε σχέση με την απόσταση. Έτσι λαμβάνοντας υπόψη τα προβλήματα που παρουσιάζουν τα υφιστάμενα πρωτόκολλα σε μεγάλης κλίμακας VANETs, βλέπουμε ότι το TOPO έχει πολύ καλύτερη απόδοση. Επίσης χρησιμοποιώντας κατηγοριοποίηση πακέτων ανάλογα με την προτεραιότητα τους μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο Intelligent Transportation System (ITS).



Σχήμα 4.15 Delay Performance



Σχήμα 4.16 Packet Delivery Ratio

4.7.4.5 Location-Based αλγόριθμος με Cluster-Based Flooding (LORA-CBF) [24]

4.7.4.5.1 Εισαγωγή στο LORA-CBF

Ένας αλγόριθμος δρομολόγησης ο οποίος έχει ήδηξει μεγάλη επιδεξιότητα σε αρκετές προκλήσεις στα VANET είναι ο Location-Based αλγόριθμος με Cluster-Based Flooding (LORA-CBF). Η χρήση τοπολογικών πληροφοριών έχει βελτιώσει τις αποφάσεις προώθησης πακέτων με την παροχή δύο τοπολογικών υπηρεσιών, της simple και της reactive. Για τους γειτονικούς κόμβους έχει υλοποιηθεί η simple τοπολογική υπηρεσία, ενώ για τους κόμβους που βρίσκονται σε απόσταση έχει εφαρμοστεί η reactive τοπολογική υπηρεσία. Επίσης στη γεωγραφική προώθηση πακέτων, ο κόμβος-πηγή προσθέτει σε κάθε πακέτο την τοπολογική θέση του προορισμού. Εδώ το πακέτο κινείται από κόμβο σε κόμβο μέσα στο δίκτυο, περνώντας από ενδιάμεσους κόμβους μέχρι να φτάσει στον τελικό του προορισμό. Οι ενδιάμεσοι κόμβοι αποφασίζουν τον κοντινότερο στον προορισμό γείτονα τους και αποστέλλουν σε αυτόν το πακέτο. Παρόλα αυτά η τοπολογική πληροφορία στο πακέτο δεν εγγυάται την μετάδοση μεταξύ γειτονικών κόμβων στα δίκτυα αυτά. Η κινητικότητα και ο ανταγωνισμός των ασύρματων μέσων μπορεί να προκαλέσει απώλεια πακέτων κατά την μετάδοση τους. Αυτό είναι ένα σημαντικό γεγονός που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη στην ανάπτυξη ασύρματων πρωτοκόλλων δρομολόγησης. Για διευθέτηση του προβλήματος αυτού έχει περιληφθεί ένας αλγόριθμος πρόβλεψης στο LORA-CBF. Τέλος ο αυξανόμενος αριθμός οχημάτων στα VANETs οδήγησε στον σχεδιασμό ενός αλγορίθμου που ικανοποιεί την πυκνότητα των οχημάτων και την υψηλή κινητικότητα στο δίκτυο. Έτσι δημιουργήθηκε ένας αλγόριθμος που διαιρεί το μέγεθος των VANETs σε πολλές ομάδες, και ταυτόχρονα βελτιώνει την εξελιξιμότητα του.

4.7.4.5.2 Λεπτομέρειες Αλγορίθμου

Ο αλγόριθμος αυτός αποτελείται από μια επικεφαλή ομάδα, μηδέν ή περισσότερα μέλη σε κάθε ομάδα και μία ή περισσότερες πύλες για επικοινωνία με άλλες επικεφαλές ομάδες. Κάθε επικεφαλής ομάδα διαχειρίζεται ένα πίνακα ομάδας, ο οποίος ορίζεται ως ο πίνακας ο οποίος περιέχει τις διευθύνσεις και τις γεωγραφικές τοπολογίες των

κόμβων-μελών και των κόμβων-πυλών.

Όταν μια πηγή επιθυμεί να στείλει δεδομένα προς ένα προορισμό, πρώτα ελέγχει τον πίνακα δρομολόγησης της για να δει αν γνωρίζει την τοπολογική θέση του προορισμού. Αν την γνωρίζει τότε μεταδίδει το πακέτο στον πλησιέστερο προς τον προορισμό γείτονα του, διαφορετικά θα το αποθηκεύσει στον αποθηκευτικό της χώρο, θα ξεκινήσει ένα μετρητή και θα μεταδώσει πακέτα αναζήτησης περιοχής (LREQ). Οι πύλες αναμεταδίδουν τα πακέτα από μια πύλη σε μια άλλη, μόνο αν η πύλη ανήκει σε διαφορετική επικεφαλή ομάδα, με σκοπό την ελαχιστοποίηση των αχρειαστων αναμεταδόσεων.

Κατά την λήψη ενός πακέτου αναζήτησης διαδρομής, κάθε επικεφαλής ομάδα ελέγχει αν ο προορισμός είναι μέλος της ομάδας της. Αν ο έλεγχος είναι επιτυχής τότε ένα πακέτο με την τοποθεσία του προορισμού (LREP), θα επιστραφεί πίσω στον αποστολέα χρησιμοποιώντας την γεωγραφική δρομολόγηση, αφού κάθε κόμβος γνωρίσει την τοπολογική θέση της πηγής και τον πιο κοντινό τους γείτονα διαμέσου των πληροφοριών που του παρέχει το LREQ που έλαβε, καθώς και τη βοήθεια που του παρέχει η Simple Location Service (SLS). Από την άλλη αν ο έλεγχος δεν είναι επιτυχής, προκαλούνται αναμεταδόσεις από την επικεφαλή ομάδα στις γειτονικές τις επικεφαλείς ομάδες διαμέσου της Reactive Location Service (RLS). Η διεύθυνση προορισμού καταγράφεται στο πακέτο, έτσι οι επικεφαλείς ομάδες αλλά και οι πύλες πετάνε τα πακέτα αναζήτησης τα οποία έχουν ήδη λάβει.

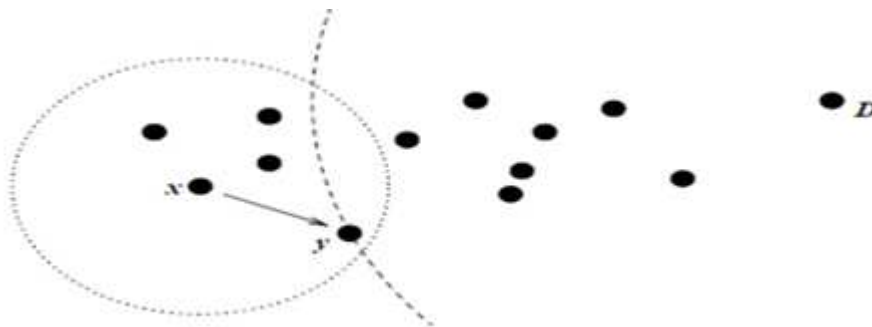
Μόλις η πηγή λάβει την τοπολογική θέση του προορισμού, επανακτά το πακέτο από τον χώρο αποθήκευσης της, και το μεταδίδει στον πλησιέστερο γείτονα μεταξύ αυτής και του προορισμού[25].

4.7.4.6 Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks (GPSR) [40]

4.7.4.6.1 Εισαγωγή στο GPSR

Ο αλγόριθμος αυτός αποτελείται από δύο μεθόδους προώθησης πακέτων, την άπληστη προώθηση η οποία χρησιμοποιείται όποτε είναι δυνατόν, και την προώθηση παραμέτρου, η οποία χρησιμοποιείται στις περιοχές εκείνες όπου η άπληστη προώθηση δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Άπληστη Προώθηση: Στην μέθοδο αυτή τα πακέτα σημαδεύονται από τον κόμβο-πηγή με τις περιοχές-προορισμούς τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο κόμβος που προωθεί ένα πακέτο να κάνει την τοπικά βέλτιστη, άπληστη επιλογή για το ποιος από τους γειτονικούς του κόμβους είναι πιο κοντά στον προορισμό του πακέτου. Για παράδειγμα στο Σχήμα 4.17 [40], ο κόμβος- x έχει λάβει ένα πακέτο που προορίζεται για τον D . Η ακτίνα επικοινωνίας του x περιορίζεται στον κύκλο που βλέπουμε στο σχήμα. Ο x θα επιλέξει να προωθήσει το πακέτο στον κόμβο- y , καθώς η απόσταση του y από τον D είναι η μικρότερη από όλους τους άλλους γείτονες του x . Η ίδια διαδικασία θα επαναληφθεί μέχρι το πακέτο να φτάσει στον D .



Σχήμα 4.17 Παράδειγμα άπληστης προώθησης στο GPSR [40]

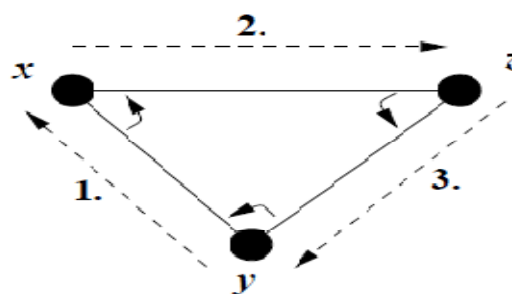
Ένας απλός αλγόριθμος ανεύρεσης γειτόνων παρέχει σε όλους τους κόμβους τις θέσεις των γειτονικών τους κόμβων κάθε τακτά χρονικά διαστήματα. Σε περίπτωση timeout ενώ αναμένουμε τη λήψη ενός beacon μηνύματος από κάποιο γείτονα, GPSR router που το αναμένει κάνει την υπόθεση ότι ο γείτονας του έχει αποτύχει ή έχει βγεί εκτός της

ακτίνας επικοινωνίας του, και ως συνέπεια διαγράφει τον κόμβο αυτό από τον πίνακα του.

Το μεγάλο πλεονέκτημα της άπληστης προώθησης είναι η εμπιστοσύνη μόνο στη γνώση των ενδιάμεσων κόμβων του κόμβου που προωθεί ένα πακέτο. Η κατάσταση που απαιτείται είναι αμελητέα και εξαρτάται από την πυκνότητα των κόμβων στο ασύρματο δίκτυο και όχι το συνολικό αριθμό προορισμών στο δίκτυο. Σε δίκτυα όπου η multi-hop δρομολόγηση είναι χρήσιμη, ο αριθμός των γειτόνων μέσα στην ακτίνα μετάδοσης ενός κόμβου πρέπει να είναι ουσιαστικά μικρότερος από τον συνολικό αριθμό κόμβων στο δίκτυο.

Ο GPSR αλγόριθμος θέλοντας να ελαχιστοποιήσει το κόστος της ανεύρεσης γειτόνων, κουβαλάει μαζί του την τοπική θέση του κόμβου-αποστολέα σε όλα τα πακέτα δεδομένων που προωθεί, και τρέχει τις αλληλοσυνδέσεις δικτύου όλων των κόμβων με αδιάκριτο τρόπο, έτσι ώστε κάθε σταθμός να λαμβάνει ένα αντίγραφο όλων των πακέτων για όλους τους προορισμούς εντός της ακτίνας μετάδοσης/λήψης του.

Κανόνας Δεξιού χεριού: Παράμετροι: Όπως βλέπουμε και στο Σχήμα 4.18, φτάνοντας στον κόμβο x από τον κόμβο y , η επόμενη άκρη που θα διασχίσουμε είναι αυτή που ακολουθεί στα αριστερά της ακμής (x,y) . Ως γνωστόν ο κανόνας του δεξιού χεριού διασχίζει το εσωτερικό μιας κλειστής πολυγωνικής περιοχής αριστερόστροφα. Έτσι στην περίπτωση αυτή το τρίγωνο θα διασχιστεί με την εξής σειρά $(y \rightarrow x \rightarrow z \rightarrow y)$.



Σχήμα 4.18 Κανόνας Δεξιού Χεριού [40]

Ο κανόνας αυτός έχει προταθεί για αποστολή πακέτων. Η κατάσταση η οποία είναι αποθηκευμένη σε αυτά τα πακέτα φυλάγεται από τους κόμβους, οι οποίοι συνέρχονται

από τοπικό μέγιστο στην άπληστη προώθηση, δρομολογώντας προς ένα κόμβο σε μια φυλαγμένη παράμετρο που βρίσκεται πιο κοντά στον προορισμό.

4.7.4.6.2 Πλήρης GPSR αλγόριθμος

Όπως έχουμε αναφέρει προηγουμένως όλοι οι κόμβοι διατηρούν ένα πίνακα γειτόνων, στον οποίο αποθηκεύουν τις διευθύνσεις και τις τοποθεσίες των one-hop γειτονικών τους κόμβων. Ο πίνακας αυτός παρέχει όλες τις πληροφορίες (πέρα από τις πληροφορίες που παρέχει το ίδιο το πακέτο) που χρειάζονται για να ληφθούν οι GPSR αποφάσεις για την επόμενη προώθηση του κάθε πακέτου.

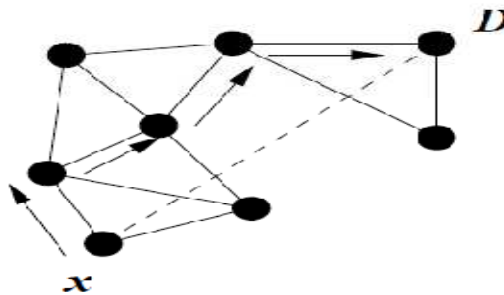
Τα πεδία στην ετικέτα ενός πακέτου, που χρησιμοποιεί ο GPSR στην προώθηση με τη μέθοδο των παραμέτρων παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.6 [40]. Στον πίνακα αυτό υπάρχει ένα πεδίο (M) το οποίο φανερώνει αν πακέτο βρίσκεται στην άπληστη μέθοδο ή τη μέθοδο παραμέτρων. Όλα τα πακέτα σημαδεύονται αρχικά από την πηγή όπως συμβαίνει στην άπληστη μέθοδο. Οι πηγές βάζουν επίσης στα πακέτα την γεωγραφική περιοχή στην οποία βρίσκεται ο προορισμός. Το πεδίο αυτό (D) συμπληρώνεται μόνο από την πηγή και μένει ως έχει σε όλη τη διάρκεια της προώθησης του στο δίκτυο.

Field	Function
<i>D</i>	Destination Location
<i>L_p</i>	Location Packet Entered Perimeter Mode
<i>L_f</i>	Point on $\overline{xV}$ Packet Entered Current Face
<i>e₀</i>	First Edge Traversed on Current Face
<i>M</i>	Packet Mode: Greedy or Perimeter

Πίνακας 4.6 Πεδία στην ετικέτα του πακέτου κατά την χρήση της προώθησης παραμέτρου

Κατά τη λήψη ενός πακέτου στην άπληστη μέθοδο, ο κόμβος θέλοντας να το προωθήσει παρακάτω ελέγχει τον πίνακα γειτόνων του, θέλοντας να βρει τον γείτονα του που είναι πιο κοντά στον προορισμό, και προωθεί το πακέτο στον γείτονα αυτό. Αν δεν εντοπιστεί γείτονας που να είναι πιο κοντά στον προορισμό από αυτόν, βάζει ετικέτα στο πακέτο για να μεταβεί στη μέθοδο παραμέτρων.

Για την προώθηση πακέτων στη μέθοδο παραμέτρων, το GPSR χρησιμοποιεί ένα απλό δυσδιάστατο γράφο διαβίβασης. Ένας τέτοιος γράφος έχει δύο ειδών όψεις, την εσωτερική όψη και την εξωτερική όψη. Οι εσωτερικές όψεις είναι οι κλειστές πολυγωνικές περιοχές που οδηγούν στις άκρες του γράφου. Από την άλλη η εξωτερική όψη είναι η απεριόριστη όψη εξωτερικά του εξωτερικού ορίου του γράφου. Στην ουσία, όταν ένα πακέτο εισέλθει στη κατάσταση παραμέτρων στον κόμβο x ψάχνοντας για τον κόμβο D (βλέπε Σχήμα 4.19), το GPSR προωθεί το πακέτο στις όψεις εκείνες του δυσδιάστατου γράφου κάθε μια από τις οποίες διασταυρώνεται από την γραμμή $\overrightarrow{xD}$ (σε κάθε όψη η διαβίβαση χρησιμοποιεί τον κανόνα του δεξιού χεριού για να φτάσει σε μια άκρη η οποία διασταυρώνει την γραμμή $\overrightarrow{xD}$).



Σχήμα 4.19. Ψάχνοντας από τον κόμβο x για τον κόμβο D [40]

Όπως βλέπουμε στο συγκεκριμένο παράδειγμα για να φτάσει στον τελικό του προορισμό, το πακέτο διαβιβάζεται αρχικά σε δύο εσωτερικές όψεις, έπειτα σε μια εξωτερική και τέλος σε μια εσωτερική όψη.

Όταν ένα πακέτο εισέλθει σε κατάσταση παραμέτρων, ο GPSR καταγράφει στο πακέτο την τοποθεσία L_p , δηλαδή την πλευρά στην οποία η άπληστη προώθηση απέτυχε. Η τοποθεσία αυτή χρησιμοποιείται στα επερχόμενα hops για καθορισμό κατά πόσο το πακέτο μπορεί να επιστρέψει στην άπληστη φάση. Κάθε φορά που το GPSR προωθεί ένα πακέτο σε μια νέα όψη, καταγράφει στο πεδίο L_f το σημείο στην $\overrightarrow{xD}$ γραμμή που διαμοιράζεται μεταξύ των προηγούμενων και των καινούργιων όψεων. Τέλος ο GPSR καταγράφει στο πεδίο e_0 του πακέτου την πρώτη άκρη (τις διευθύνσεις του αποστολέα και του παραλήπτη) την οποία διασχίζει ένα πακέτο σε μια καινούργια όψη.

Κατά τη λήψη ενός πακέτου στην κατάσταση παραμέτρων, θέλοντας να το προωθήσει ο GPSR, πρώτα συγκρίνει την τοποθεσία L_r στο πακέτο, με την τοποθεσία του κόμβου που θα το προωθήσει. Θα επιστρέψει το πακέτο στην άπληστη κατάσταση αν η απόσταση μεταξύ του κόμβου που το κρατά και του D είναι μικρότερη από την απόσταση μεταξύ του L_r και του D . Η προώθηση από την κατάσταση παραμέτρων προτείνεται μόνο για ανάκαμψη από τοπικό μέγιστο.

Σε περίπτωση που ο προορισμός- D δεν είναι προσβάσιμος (π.χ. έχει αποσυνδεθεί από τον γράφο), υπάρχουν δύο περιπτώσεις: ο αποσυνδεδεμένος γράφος να βρίσκεται μέσα σε μια εσωτερική όψη, ή εξωτερικά της εξωτερικής όψης. Ο GPSR θα προωθήσει ένα πακέτο σε κατάσταση παραμέτρων μέχρι το πακέτο να φτάσει στη σχετική όψη. Όταν φτάσει θα καταγράψει την πρώτη άκρη στην παράμετρο e_0 και θα συνεχίσει να ταξιδεύει στην όψη αυτή. Αν φτάσει σε αυτή την άκρη για δεύτερη φορά, ο αλγόριθμος θα προσέξει την επανάληψη και ορθός θα πετάξει το πακέτο, αφού η επανάληψη δείχνει ότι ο προορισμός δεν είναι προσβάσιμος.

Πρέπει να επισημανθεί ότι ο GPSR θα προωθήσει με απληστία για ενδεχομένως πολλά hops πριν το πακέτο περιστραφεί σε μια εξωτερική ή εσωτερική όψη και αναγνωριστεί ως μη παραδοτέο. Αν η πλειοψηφία των μη προσβάσιμων προορισμών συγκεντρώνεται στα όρια μιας μόνο όψης, τα μη παραδοτέα πακέτα μπορεί να συγκεντρωθούν σε αυτή τη συγκεκριμένη όψη του γράφου. Αυτή η συμπεριφορά είναι μια άμεση συνέπεια του GPSR πρωτοκόλλου δρομολόγησης.

4.7.4.6.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης μεταξύ των αλγορίθμων GPSR και DSR

Το GPSR έχει προσομοιωθεί σε ns-2 περιβάλλον, σε εν κίνηση δίκτυα με μέχρι και 200 κόμβους σε μια πλήρη προσομοίωση των IEEE 802.11 MAC και physical επιπέδων, και έχει συγκριθεί στο ίδιο περιβάλλον με το πρωτόκολλο δρομολόγησης DSR [40]. Τα αποτελέσματα έχουν δείξει ότι το GPSR έχει σταθερή τάση στη παράδοση πακέτων, έχει παραδώσει το 94% των πακέτων δεδομένων με επιτυχία. Είναι επίσης ανταγωνιστικό προς το DSR σε αυτό το θέμα, και καθώς ο αριθμός των κόμβων αυξάνεται, αυξάνεται και η επιτυχία του έναντι στην επιτυχία του DSR. Το πρωτόκολλο αυτό, παράγει κυκλοφορία δεδομένων σε μια ποσότητα ανεξάρτητα από το μέγεθος των

διαδρομών στο δίκτυο, και ως αποτέλεσμα παράγει μια σταθερή, χαμηλή ποσότητα μηνυμάτων καθώς η κίνηση των κόμβων αυξάνεται. Επίσης δεν δυσκολεύεται όσο αφορά την ανεύρεση διαδρομών. Τέλος το πρωτόκολλο αυτό πλεονεκτεί έναντι άλλων geocast πρωτοκόλλων τα οποία βασίζονται στην end-to-end κατάσταση, λαμβανομένης υπόψη και της διαδρομής μεταξύ ενός router που προωθεί το πακέτο και του προορισμού του πακέτου (DV και LS αλγόριθμοι), η οποία αλλάζει συνεχώς. Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιεί μόνο τις πληροφορίες από τους άμεσους γείτονες (1-hop) για λήψη αποφάσεων προώθησης. Γεωγραφικά μιλώντας το πρωτόκολλο αυτό αποτελεί ένα ακόμα ισχυρό επίπεδο ιεραρχικής δρομολόγησης.

4.7.4.6.4 Αποτελέσματα που πάρθηκαν από προσομοιώσεις στους αλγόριθμους GPSR και LOLA-CBF [24]

Η ανάπτυξη αλγορίθμων δρομολόγησης για τα VANET αποτελεί πρόκληση εφόσον τέτοια δίκτυα έχουν ένα υψηλό επίπεδο κινητικότητας, και για τον λόγο αυτό είναι πολύ δυναμικά δίκτυα όσο αφορά τις συνδέσεις τους. Σε τέτοια δίκτυα οι κλασικοί αλγόριθμοι όπως ο AODV και ο DSR υποφέρουν από υπό-βέλτιστες διαδρομές και χαμηλές αναλογίες παράδοσης. Από την άλλη οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούν το Geographical Position System (GPS) δεν ικανοποιούν τις απαιτήσεις των multi-hop VANET δικτύων.

Έχει εφαρμοστεί στον αλγόριθμο GPSR ο ίδιος αλγόριθμος πρόβλεψης που χρησιμοποιήθηκε στο LORA-CBF, καθώς και το ίδιο physical και MAC layer.

Αναλογία στην παράδοση: Ο αλγόριθμος πρόβλεψης έχει βελτιώσει την επικοινωνία του GPSR σημαντικά (90%). Τόσο ο GPRS όσο και το LOLA-CBF έχουν δώσει πολύ όμοια αποτελέσματα στα 11Mbps, ενώ ο GPRS έχει δώσει ελαφρώς χαμηλότερη αναλογία στην μετάδοση του 1Mbps. Η ομοιότητα οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι και οι δύο αλγόριθμοι χρησιμοποιούν τον ίδιο μηχανισμό προώθησης (greedy forwarding).

Overhead δρομολόγησης: Εδώ ο LORA-CBF έχει ελαφρώς υψηλότερο overhead στη δρομολόγηση στα 11Mbps σε σύγκριση με τον GPSR. Από την άλλη με ρυθμό

δεδομένων 1Mbps και οι δύο αλγόριθμοι δείχνουν ακριβώς το ίδιο overhead σε μικρές αποστάσεις, ενώ σε μεγαλύτερες αποστάσεις ο LORA-CBF παρουσιάζει χαμηλότερο overhead από τον GPSR.

Χρόνος ανακάλυψης διαδρομής: Και οι δύο αλγόριθμοι έχουν δείξει όμοια συμπεριφορά με ρυθμό δεδομένων 11Mbps, όμως με 1Mbps ο GPSR έχει μεγαλύτερο χρόνο, λόγω των περισσότερων συγκρούσεων στα πακέτα από ότι ο LORA-CBF. Ο LORA-CBF μειώνει τον χρόνο ανακάλυψης διαδρομής χάρη στον cluster-based flooding μηχανισμό που διαθέτει.

Overhead πακέτων: Στο 1Mbps ο GPSR έχει ελαφρώς χαμηλότερο overhead σε σύγκριση με τον LORA-CBF. Στα 11Mbps και οι δύο αλγόριθμοι παρουσιάζουν ίδια απόδοση.

Επιβάρυνση δρομολόγησης: Και πάλι με ρυθμό δεδομένων 11Mbps ο LORA-CBF παρουσιάζει υψηλότερη επιβάρυνση από τον GPSR, όμως στο 1Mbps αρχικά ο LORA-CBF παρουσιάζει υψηλότερη επιβάρυνση όμως μετά από κάποια απόσταση οι δύο αλγόριθμοι παρουσιάζουν ίδια απόδοση, και έπειτα ο LORA-CBF δείχνει λιγότερη επιβάρυνση από τον GPSR.

Γενικά συμπεράσματα: Εξαιτίας του αλγόριθμου πρόβλεψης που χρησιμοποιείται και στους δύο αλγορίθμους, έχει ως αποτέλεσμα να παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά. Η κύρια διαφορά τους όμως βρίσκεται στην ιεραρχική αρχιτεκτονική του LORA-CBF, η οποία απαιτεί λιγότερο χρόνο ανακάλυψης διαδρομής και λιγότερη αναλογία παράδοσης, αυξάνει όμως το overhead στη δρομολόγηση και γενικά το overhead στα πακέτα, καθώς επίσης και την επιβάρυνση στη δρομολόγηση.

4.7.4.7 Position-Based Routing Protocol (PBR protocol) [41]

Δύο σημαντικά δομικά στοιχεία του πρωτοκόλλου αυτού είναι:

1. Η λήψη της περιοχής στην οποία βρίσκεται το όχημα καθώς και των πληροφοριών για την ταχύτητα στην οποία κινείται.
2. Ο αλγόριθμος πρόβλεψης ο οποίος χρησιμοποιεί τις πληροφορίες αυτές για να προβλέψει πότε μια διαδρομή θα "σπάσει".

Η βασική λειτουργία του πρωτοκόλλου αυτού για τη δημιουργία διαδρομών είναι παρόμοια με αυτή ενός reactive πρωτοκόλλου. Όταν ένας κόμβος χρειαστεί να επικοινωνήσει με μια περιοχή στο διαδίκτυο ελέγχει τον πίνακα διαδρομών του για μια διαδρομή. Αν δεν εντοπιστεί διαδρομή, αποστέλνει με broadcast μέθοδο ένα πακέτο αναζήτησης διαδρομής (RREQ) με μια τιμή, τη λεγόμενη διάρκεια ζωής (TTL), η οποία καθορίζει τον αριθμό των hops που θα ελεγχθούν για μια πύλη η οποία θα είχε την απαιτούμενη διαδρομή. Το RREQ πακέτο περιέχει τον αριθμό ακολουθίας, τον αριθμό αναγνώρισης της πηγής (ID), τον αριθμό αναγνώρισης του προορισμού, την κατεύθυνση της κίνησης του κόμβου πηγής, και τη λίστα με τους κόμβους καθώς και την κατεύθυνση κίνησης τους οι οποίοι είναι στο δρομολόγιο του πηγαίου κόμβου.

Όταν ένας γείτονας λάβει το πακέτο αυτό μειώνει το TTL κατά ένα αν ισχύει μια εκ των δύο πιο κάτω συνθηκών:

1. το πακέτο περιέχει ένα μεγαλύτερο αριθμό ακολουθίας για το ίδιο ζευγάρι πηγής και προορισμού και ο TTL αριθμός είναι μεγαλύτερος από ένα ή
2. το πακέτο περιέχει τον ίδιο αριθμό ακολουθίας με ένα πακέτο που έχει ήδη ληφθεί για το ίδιο ζευγάρι πηγής και προορισμού, όμως αυτή τη φορά όλοι οι ενδιάμεσοι κόμβοι στην διαδρομή κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση και το TTL στο πακέτο είναι μεγαλύτερο από ένα. Η συνθήκη αυτή είναι αναγκαία έτσι ώστε να δίνεται προνόμιο στις διαδρομές εκείνες οι οποίες έχουν όλους τους ενδιάμεσους τους κόμβους να κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση παρά σε εκείνες τις διαδρομές στις οι οποίες μπορεί να έχουν ένα ή περισσότερους κόμβους να κινούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση.

Μετά την μείωση του TTL ο κόμβος αυτός προωθεί το πακέτο σε όλους του τους γείτονες.

Όταν ένα τέτοιο πακέτο παραληφθεί από ένα κόμβο, αυτός ελέγχει τον αριθμό ακολουθίας του πακέτου αυτού καθώς και των υπόλοιπων πακέτων που έχει παραλάβει, και αν τα πακέτα αυτά έχουν μικρότερο αριθμό ακολουθίας τα πετά. Με την ένταξη του πιο πάνω όρου στη προώθηση πακέτων μετριάζεται το broadcast storm πρόβλημα στα ασύρματα ad-hoc δίκτυα.

Όταν το RREQ πακέτο φτάσει σε μια πύλη με την επιθυμητή διαδρομή προς τον εν αναζήτηση προορισμό, τότε ένα πακέτο απάντησης διαδρομής (RREP) αποστέλλεται πίσω στον κόμβο-πηγή διαμέσου της πύλης χρησιμοποιώντας την αλυσίδα κόμβων η οποία βρίσκεται στο RREQ πακέτο. Η διαδρομή την οποία ακολουθεί το RREP πακέτο αποθηκεύεται ως η διαδρομή της πύλης του κόμβου-πηγής. Ο κόμβος-πηγή τότε χρησιμοποιεί τη διαδρομή αυτή για αποστολή των πακέτων εφαρμογής του. Αν απαντήσουν περισσότερες από μία πύλες τότε ο κόμβος-πηγή χρησιμοποιεί την τον ακόλουθο τρόπο επιλογής πύλης:

1. Επέλεξε την πύλη η οποία βρίσκεται στην κοντινότερη απόσταση (μετρώντας hops), η οποία έχει όλους τους κόμβους στην διαδρομή να κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση με αυτή και
2. Επέλεξε την πύλη η οποία βρίσκεται κοντινότερα (μετρώντας hops). Αν η πηγή λάβει περισσότερες από μια διαδρομές για την ίδια πύλη, τότε χρησιμοποιεί τη διαδρομή εκείνη η οποία έχει τη μέγιστη προβλεπόμενη διάρκεια ζωής.

Οι ενδιάμεσοι κόμβοι δεν απαντούν στην πηγή ακόμα και αν έχουν μια διαδρομή προς μια πύλη. Η πύλη αποστέλνει πακέτα από το internet στον κόμβο-πηγή χρησιμοποιώντας την καλύτερη διαδρομή από το σύνολο των RREQ πακέτων που έλαβε από τον κόμβο με το μεγαλύτερο αριθμό ακολουθίας (χρησιμοποιώντας τα πιο πάνω κριτήρια). Σε περίπτωση που μια διαδρομή αποτύχει, τότε η πηγή ανακαλύπτει μια νέα διαδρομή προς την πηγή όπως πιο πάνω με τον κόμβο-πηγή να χρησιμοποιείται ως ο προορισμός του RREQ πακέτου.

Το PBR πρωτόκολλο διαφέρει επίσης από reactive πρωτόκολλα όπως τα ad-hoc on demand distance vector και DSR λόγω του ότι δημιουργεί από πριν νέες διαδρομές προτού ήδη υπάρχουσες "σπάσουν". Το RREP πακέτο από μια πύλη προς μια πηγή σε συνεργασία με τον αλγόριθμο πρόβλεψης χρησιμοποιείται για να δώσει στην πηγή μια προβλεπόμενη διάρκεια ζωής για τη διαδρομή. Ένας μετρητής αρχίζει στην πηγή και

ισοδυναμεί με τη διάρκεια ζωής που υπολογίστηκε από τον αλγόριθμο, και προτού λήξει αυτός ο μετρητής η πηγή μεταδίδει ένα νέο RREQ για μια πύλη. Αυτό το καινούργιο RREQ δημιουργεί (αν είναι δυνατόν) μια νέα διαδρομή αντικαθιστώντας με αυτό τον τρόπο την παλιά διαδρομή (αν οι δύο διαδρομές διαφέρουν). Έτσι κάθε κόμβος-πηγή προσπαθεί να αντικαταστήσει την αποτυχία στις διαδρομές χρησιμοποιώντας προβλεπόμενης διάρκειας ζωής δρομολόγηση για να εντοπίσει νέες πιθανώς καλύτερες διαδρομές.

Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να μην μπορεί να βρεθεί κάποιο διαθέσιμο δρομολόγιο. Το κακό σε αυτό είναι ότι γίνεται σπατάλη σε control overhead αν δεν υπάρχουν δεδομένα για αποστολή. Για να αντιμετωπίσει το πρόβλημα αυτό, το PBR προσαρμόζεται βασιζόμενο στο πότε στάλθηκε το τελευταίο πακέτο από τον κόμβο-πηγή. Αν το πακέτο αυτό στάλθηκε πριν από ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (timeout) η διαδικασία αυτή τερματίζεται. Το timeout μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να κάνουμε το πρωτόκολλο αυτό να συμπεριφερθεί σαν ένα reactive πρωτόκολλο σε σενάρια όπου η κυκλοφορία δεδομένων είναι σπάνια.

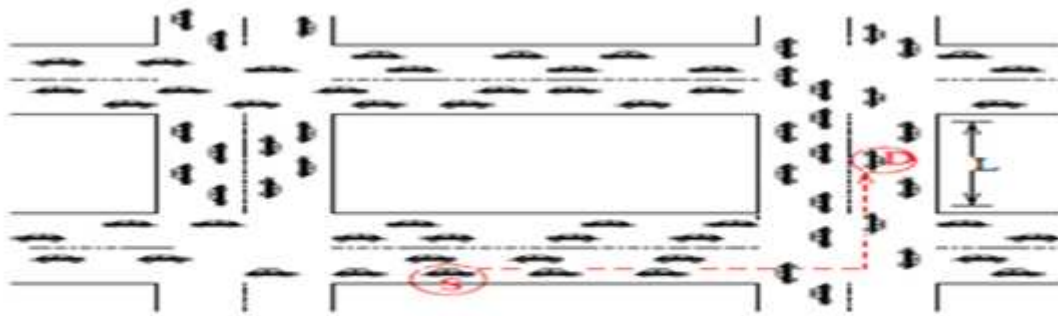
4.7.4.8 Multihop Routing protocol for Urban vehicular ad hoc networks (MURU) [22]

4.7.4.8.1 Εισαγωγή στο Multihop Routing protocol for Urban vehicular ad hoc networks (MURU)

Πρόκειται για ένα πλήρως κατανεμημένο location-based πρωτόκολλο δρομολόγησης που δεν έχει ανάγκη την ύπαρξη καμιάς εγκατεστημένης υποδομής για λειτουργήσει σωστά. Έχει δημιουργηθεί για να καλύπτει τις ανάγκες των VANETs, λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά των δικτύων αυτών. Στο πρωτόκολλο αυτό γίνεται χρήση μιας νέας μετρικής, του λεγόμενου αναμενόμενου βαθμού αποσύνδεσης (EDD) για αξιολόγηση της ποιότητας κάθε υποψήφιου μονοπατιού μεταξύ της πηγής και του προορισμού. Η τιμή που παίρνει η μετρική αυτή αντανακλά την πιθανότητα ότι το μονοπάτι θα σπάσει σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Αυτό καθορίζεται από τις πληροφορίες για την προβλεπόμενη ταχύτητα και την τροχιά κίνησης κάθε κόμβου που ανήκει στο μονοπάτι. Ο αρχικός στόχος της EDD σχεδίασης είναι η εύρεση του μονοπατιού εκείνου που θεωρείται από τους ενδιαμέσους κόμβους ότι έχει σχετικά σταθερή θέση για καθορισμένο χρονικό διάστημα. Ως αποτέλεσμα, παρά τη δυναμική φύση των VANETs, το MURU μπορεί ακόμα να πετύχει υψηλή αναλογία παραδοτέων πακέτων και χαμηλή καθυστέρηση στην παράδοση.

4.7.4.8.2 Λεπτομερή Περιγραφή MURU

A. Μοντέλο Συστήματος: Μια αστική περιοχή, όπως η πόλη του Miami έχει επιλεγθεί να είναι ένα VANET δίκτυο. Όπως βλέπουμε στο Σχήμα 4.20 [22], η περιοχή έχει μοντελοποιηθεί σε Manhattan μοντέλο. Όλοι οι δρόμοι είναι δύο κατευθύνσεων και κάθε κόμβος παρουσιάζει ομοιογενή συμπεριφορά.



Σχήμα 4.20 The network topology

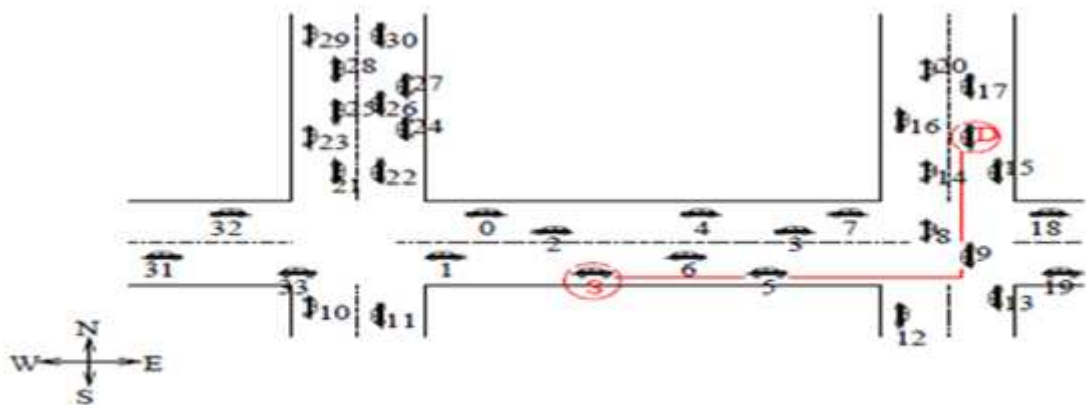
Οι πληροφορίες κινητικότητας για κάθε όχημα μπορούν να χαρακτηριστούν από τη μέση ταχύτητα και την τροχιά κίνησης, η οποία καθορίζεται από τον προορισμό και την γεωμετρία του δρόμου. Τα οχήματα επικοινωνούν μεταξύ τους διαμέσου μικρής ακτίνας ασύρματα κανάλια (100m - 250m) με Wi-Fi διεπαφές δικτύου. Κάθε όχημα θεωρείται ότι είναι εξοπλισμένο με GPS και ψηφιακούς χάρτες, και έτσι μπορεί να γνωρίζει οποιανδήποτε στιγμή την τοποθεσία στην οποία βρίσκεται και το επίπεδο γεωμετρίας του δρόμου.

Β. Περιληπτική Σύνοψη: Με την πληροφορία για την τροχιά μετακίνησης και τη μέση ταχύτητα, μπορούμε να προβλέψουμε την τοποθεσία μιας ομάδας οχημάτων, οι οποίοι μπορεί να είναι οι κόμβοι στο μονοπάτι από την πηγή στον προορισμό για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Με βάση αυτή την πληροφόρηση, για κάθε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα μπορούμε να βρούμε το πιο ισχυρό μονοπάτι από την πηγή στον προορισμό. Έπειτα τα συσσωρευμένα μονοπάτια (σε δομή χρόνου) παρέχουν την γενική end-to-end καθυστέρηση πακέτων στα VANETs.

Όπως και με τα πρωτόκολλα AODV και DSR, έτσι και το MURU είναι και αυτό ένα on-demand πρωτόκολλο δρομολόγησης. Η πηγή αρχικοποιεί τη διαδικασία αναζήτησης διαδρομής στέλλοντας μήνυμα αναζήτησης διαδρομής. Κάθε υποψήφιος ενδιάμεσος κόμβος, ως παραλήπτης του μηνύματος κάνει εκτίμηση της ποιότητας της γραμμής επικοινωνίας μεταξύ του ίδιου και της πηγής, και αναβαθμίζει την τρέχουσα τιμή που υπήρχε στο EDD μονοπάτι με την καινούργια. Ο προορισμός, στο τέλος θα επιλέξει το μονοπάτι με το μικρότερο EDD, δηλαδή με την μικρότερη πιθανότητα να "σπάσει".

Γ. Λεπτομέρειες

1. Μήνυμα Αναζήτησης Περιορισμένης Τροχιάς: Υποθέτοντας ότι η πηγή επιθυμεί να στείλει πακέτα δεδομένων προς ένα κόμβο-προορισμό, η πιο σύντομη τροχιά από την πηγή στον προορισμό μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τη γεωμετρία της επιφάνειας του δρόμου, την τοποθεσία της πηγής και του προορισμού καθώς και τις πληροφορίες κίνησης. Το MURU ψάχνει να βρει το μονοπάτι με την πιο σύντομη διαδρομή όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.21 [22].



Σχήμα 4.21 The trajectory from node *S* to node *D*

Η πληροφορία για την πιο σύντομη διαδρομή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μείωση του control overhead στην δρομολόγηση. Πιο συγκεκριμένα, μια περιορισμένη περιοχή, η οποία ονομάζεται broadcast area, υπολογίζεται βάση της πιο σύντομης διαδρομής θέλοντας να περιορίσει την ακτίνα της broadcast μετάδοσης των πακέτων αναζήτησης διαδρομής. Μόνο οι κόμβοι εντός της συγκεκριμένης περιοχής είναι πιθανοί ενδιάμεσοι κόμβοι στο μονοπάτι. Μια τέτοια περιοχή θα έπρεπε να σχηματίζει τετράγωνο σχήμα και να μπορεί εύκολα να υπολογιστεί με βάση την τοποθεσία του τρέχοντος αποστολέα και του προορισμού.

Μόλις ο κόμβος-παραλήπτης λάβει το πακέτο αναζήτησης διαδρομής στο οποίο περιλαμβάνονται οι πληροφορίες διαδρομής, θα επεξεργαστεί και αυτός το πακέτο αν ανήκει στην broadcast area, διαφορετικά θα το πετάξει. Η διάταξη ενός πακέτου αναζήτησης διαδρομής στο MURU φαίνεται στο Σχήμα 4.22 [22]. Όπως βλέπουμε στο header του πακέτου αναζήτησης περιλαμβάνεται το πεδίο EDDpath, το οποίο χρησιμοποιείται για αναπαράσταση της ποιότητας της διαδρομής από τη διαδρομή στον

τρέχων κόμβο.

Source ID	Destination ID	Sequence No.	Lasthop ID
LastHop Location		LastHop Direc	
LastHop Velocity		EDD _{path}	
Shortest Trajectory			

Σχήμα 4.22 The format of a route request packet in MURU

2. Αξιολόγηση Μονοπατιού: Τα παραδοσιακά πρωτόκολλα δρομολόγησης όπως το AODV, που επιχειρούν να βρουν το πιο σύντομο μονοπάτι, δεν είναι κατάλληλα στα VANETs εξαιτίας της υψηλά δυναμικής τοπολογίας του δικτύου και των συνθηκών επικοινωνίας. Πιο συγκεκριμένα, εξαιτίας της ραγδαίας αλλαγής της τοπολογίας του δικτύου, η πιθανότητα να σπάσει κάποιο μονοπάτι αυξάνεται καθώς ο αριθμός των hops αυξάνεται. Μετά από μαθηματική ανάλυση, εξάχθηκε το συμπέρασμα ότι για να έχουμε την μικρότερη πιθανότητα απώλειας μονοπατιού, η απόσταση μεταξύ των hops δεν πρέπει να είναι ούτε πολύ μικρή, ούτε πολύ μεγάλη.

3. Υπολογισμός του EDD: Το EDD μιας γραμμής υπολογίζεται σύμφωνα με την προβλεπόμενη πληροφορία για την ταχύτητα, την τροχιά κίνησης, την τοποθεσία κάθε οχήματος, καθώς και την γεωμετρία της επιφάνειας του δρόμου. Το μονοπάτι με μικρό συναθροισμένο EDD (EDD_{path}) δείχνει ότι έχει καλή ανθεκτικότητα και δεν θα σπάσει για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα T. Το EDD_{path} (αναφορά πιο πάνω) από ένα κόμβο n0 σε ένα κόμβο ni υπολογίζεται ως εξής:

$$EDD_{path}(0, i) = \begin{cases} 0, \\ EDD_{path}(0, i - 1) + EDD(i - 1, i) \end{cases}$$

όπου το EDD_{path}(0, i - 1) είναι αποθηκευμένο στο πεδίο EDD_{path}.

4. Αυτό-κλάδεμα Διαδρομών Αναζήτησης: Στο MURU, τα πακέτα αναζήτησης διαδρομής παίρνουν κομμάτι του συνολικού control overhead. Θέλοντας να μειώσει αυτό το overhead ένας κόμβος ni, όταν λάβει το μήνυμα αναζήτησης διαδρομής δεν το

προωθεί αμέσως, αλλά το κρατά για ένα μικρό χρονικό διάστημα, το T_i backoff, το οποίο είναι ανάλογο με το $EDD(i-1,i)$. Αν αυτό είναι μεγάλο, το n_i αποδέχεται να στείλει το μήνυμα αναζήτησης διαδρομής για να εξερευνήσει την πιθανότητα εντοπισμού καλύτερου μονοπατιού. Αν πριν λήξει η backoff περίοδος εντοπιστεί ένα άλλο μήνυμα αναζήτησης διαδρομής με το ίδιο SourceID και seqno σταλμένο από ένα κόμβο n_j , ο n_i θα ελέγξει αν το $EDDpath(s,j)$ είναι μικρότερο από το $EDDpath(s,i)$ και ο n_j είναι πιο κοντά στον προορισμό ή αν το άθροισμα του $EDDpath(s,j)$ και του $EDD(j,i)$ είναι μικρότερο από το $EDDpath(s,i)$. Αν ισχύει κάτι τέτοιο, ο n_i κόμβος θα πετάξει το μήνυμα αναζήτησης διαδρομής που κρατά, μειώνοντας έτσι το control overhead. Από την άλλη, ο κόμβος με τη μικρότερη backoff περίοδο θα προωθήσει το μήνυμα αναζήτησης πιο νωρίς από τους κόμβους με μεγαλύτερη backoff περίοδο, και έχει μεγαλύτερη πιθανότητα να επιλεγεί ως ενδιάμεσος κόμβος.

5. Ιδιότητες MURU

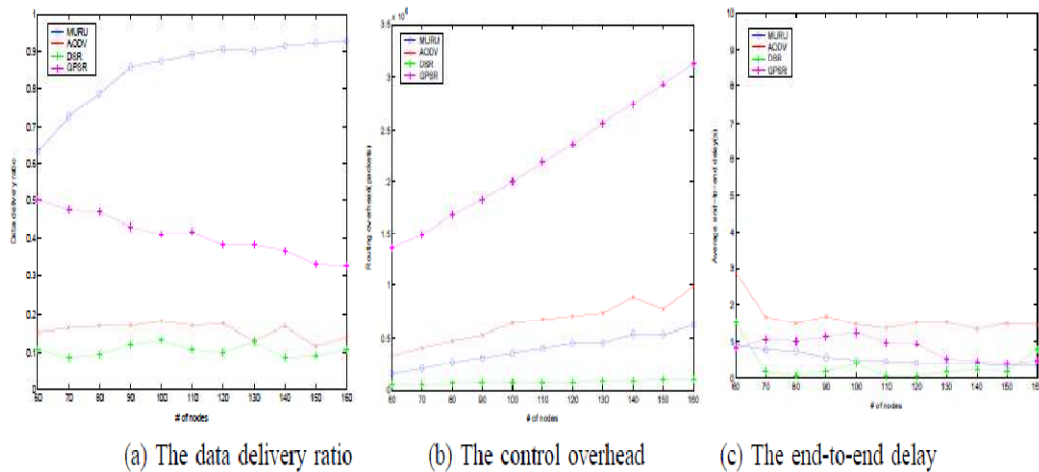
Θεώρημα 1: Το MURU έχει ανθεκτικότητα στους βρόγχους.

Θεώρημα 2: Το MURU πάντα βρίσκει το μονοπάτι από την πηγή S στον προορισμό D με το μικρότερο EDD.

Θεώρημα 3: Ο μηχανισμός επιδιόρθωσης διαδρομής που αρχικοποιήθηκε από τον κόμβο i βρίσκει το μονοπάτι δρομολόγησης με το μικρότερο EDDpath από την πηγή στον προορισμό ανάμεσα από όλα τα μονοπάτια που έχουν τον κόμβο i ως ενδιάμεσο κόμβο.

4.7.4.8.3 Αξιολόγηση της απόδοσης

Τα αποτελέσματα προσομοίωσης του πρωτοκόλλου αυτού και των πρωτοκόλλων AODV, DSR και GPSR σε ένα σενάριο όπου οι κόμβοι πηγής και προορισμού βρίσκονται εν κίνηση, φαίνονται στο Σχήμα 4.23. Όπως βλέπουμε το MURU πετυχαίνει το ψηλότερο data delivery ratio, το δεύτερο χαμηλότερο control overhead (χαμηλότερο πετυχαίνει το DSR), και το δεύτερο χαμηλότερο end-to-end delay (χαμηλότερο πετυχαίνει το DSR).



Σχήμα 4.23 Γραφικές Αξιολόγησης [22]

4.7.5 Multi-path schemes

4.7.5.1 Εισαγωγή στα Multi-path schemes

Τέτοια σενάρια είναι ευρέως γνωστά σε ενσύρματα δίκτυα. Ένα πρωτόκολλο στο οποίο τα έχουμε συναντήσει είναι το OSPF link state πρωτόκολλο δρομολόγησης στο Internet. Έχουν προταθεί και για μη-τοπολογική δρομολόγηση σε ασύρματα δίκτυα για ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης για για QoS (Ποιότητα Υπηρεσίας) στη δρομολόγηση. Η ανεύρεση διαδρομών στα σενάρια αυτά επιτυγχάνεται με την επιλογή δύο ή περισσότερων μονοπατιών από τον προορισμό στη πηγή, τα οποία προέκυψαν από συνδυασμούς των κόμβων που ανακαλύφθηκαν στη διαδικασία αναζήτησης. Το δεύτερο μονοπάτι χρησιμοποιείται για εναλλακτική δρομολόγηση ή για διαμοιρασμό της κυκλοφορίας δεδομένων. Ορισμένα από τα πρωτόκολλα που έχουμε δει πιο πάνω προσφέρουν multi-path δρομολόγηση, όπως για παράδειγμα το AODV πρωτόκολλο δρομολόγησης.

4.7.5.2 Πλεονεκτήματα του Multi-path routing

Ανεκτικότητα στα σφάλματα: Τα πρωτόκολλα αυτά μπορούν να παρέχουν ανεκτικότητα στα σφάλματα παρέχοντας στον προορισμό μεγάλο αριθμό πληροφοριών διαμέσου εναλλακτικών μονοπατιών. Αυτό, μειώνει την πιθανότητα να χαθεί η σύνδεση σε περίπτωση αποτυχίας στις γραμμές επικοινωνίας.

Ισορροπία στο γέμισμα των γραμμών: Όταν μια γραμμή ξεχειλίζει και προκληθεί συμφόρηση, τα πρωτόκολλα αυτά μπορούν να επιλέξουν να καθοδηγήσουν την κυκλοφορία δεδομένων διαμέσου εναλλακτικών διαδρομών για να χαλαρώσουν το βάρος της συμφορημένης γραμμής.

Συσσώρευση Bandwidth: Διαμοιράζοντας τα δεδομένα ενός προορισμού σε πολλαπλές γραμμές, έχει ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση του bandwidth. Αυτό είναι καλό σε περιπτώσεις που το bandwidth των γραμμών είναι πιο χαμηλό από ότι πρέπει. Είναι συνάμα κακό σε περιπτώσεις που το bandwidth των γραμμών είναι πιο ψηλό από ότι πρέπει (τότε δημιουργείται overhead, collisions κτλ.).

Μειωμένη καθυστέρηση: Στα on-demand πρωτόκολλα δρομολόγησης με ένα μονοπάτι προς τον προορισμό, μια αποτυχία στη δρομολόγηση θα είχε ως φυσικό συνεπακόλουθο το κάλεσμα της διαδικασία αναζήτησης διαδρομής, για εντοπισμό μιας καινούργιας διαδρομής. Αυτό συνεπάγεται με καθυστέρηση. Αυτή η καθυστέρηση ελαχιστοποιείται στην multipath δρομολόγηση εξαιτίας των εναλλακτικών διαδρομών που αναγνωρίζονται κατά τη διάρκεια ανακάλυψης διαδρομών.

4.7.6 Άλλοι αρχικά προτεινόμενοι αλγόριθμοι για VANETs

a. Mobility-centric data dissemination algorithm (MDDV)

Ο αλγόριθμος αυτός είναι ένας από τους λίγους αλγόριθμους που παρέχουν μια ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική για VANET δρομολόγηση. Συνδυάζει τις ιδέες για καιροσκοπική προώθηση, προώθηση βασισμένη στη τροχιά και γεωγραφική προώθηση. Διαδίδει δεδομένα σε προτεινόμενους παραλήπτες και διατηρεί κάποιες απαιτήσεις σχεδίασης όπως αναλογία υψηλής μετάδοσης, χαμηλή καθυστέρηση και χαμηλή κατοχή μνήμης. Αν και ο αλγόριθμος αυτός μπορεί να εφαρμοστεί σε υβριδικές αρχιτεκτονικές, μελετάται μόνο σε VANET σενάρια.

Η προώθηση τροχιάς είναι ένα προσδιορισμένο μονοπάτι, που επεκτείνεται από την πηγή στην περιοχή του προορισμού. Πιο συγκεκριμένα το δίκτυο δρόμων μπορεί να θεωρηθεί ως ένας κατευθυνόμενος γράφος με τους κόμβους να αντιπροσωπεύουν τμήματα του δρόμου. Μια προσέγγιση θα ήταν να παρθεί το πιο σύντομο μονοπάτι από την πηγή στον προορισμό. Ωστόσο, αυτό δεν συνεπάγεται με χαμηλή καθυστέρηση, αφού η πυκνότητα των κόμβων οδηγεί συχνά σε γρήγορη μετάδοση. Για το λόγο αυτό μέσα από μια φόρμουλα εντοπίζεται το μήκος της διαδρομής, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί σαν το βάρος της αντίστοιχης γραμμής στο γράφο.

Η διαδικασία διάδοσης αποτελείται από δύο φάσεις, τη φάση προώθησης και τη φάση της διάδοσης. Τα μηνύματα προωθούνται κατά μήκος της τροχιάς προώθησης διαμέσου των ενδιάμεσων κόμβων. Το όχημα που κρατά το μήνυμα και είναι πιο κοντά στην περιοχή του προορισμού ονομάζεται η κεφαλή του μηνύματος. Για να αυξήσει την αξιοπιστία το MDDV επιτρέπει σε ένα σύνολο από κόμβους που βρίσκονται κοντά στη κεφαλή του μηνύματος, να συμμετέχουν ενεργά προωθώντας και αυτοί το μήνυμα, αντί να το προωθεί μόνο η κεφαλή του μηνύματος. Αυτό όμως συνεπάγεται και με αύξηση του overhead. Τα προβλήματα σχεδίασης περιλαμβάνουν την αναγνώριση της ομάδας προώθησης, τη διαδικασία ανταλλαγής δεδομένων, καθώς και την απόφαση αν θα αποθηκευτεί ή θα παταχτεί ένα μήνυμα. Κάθε κόμβος αποφασίζει αν θα συμμετάσχει ή όχι στη προώθηση, βασιζόμενο στις πληροφορίες κυκλοφορίας στην περιοχή, αλλά και με μερική σχετική γνώση για το που βρίσκεται η κεφαλή του μηνύματος. Πιο

συγκεκριμένα η τοποθεσία της κεφαλής του μηνύματος δεν κινείται ποτέ προς τα πίσω, και η τοποθεσία της κάθε φορά είναι πιο κοντά στο προορισμό.

Φάση Προώθησης: Προτού σταλεί το μήνυμα του ανατίθεται ένας κάτοχος. Συνήθως αυτός ο κάτοχος είναι ο ίδιος με την κεφαλή. Μόνο ο κάτοχος του μηνύματος μπορεί να μεταδώσει το συγκεκριμένο μήνυμα, και βρίσκεται σε μια εκ των δύο καταστάσεων: ενεργός ή παθητικός. Στην ενεργή κατάσταση, τρέχει ολόκληρο το πρωτόκολλο για να διαδώσει ενεργά το μήνυμα. Στην παθητική κατάσταση, μεταδίδει το μήνυμα μόνο αν ακούσει μια παλαιότερη έκδοση του.

Φάση Διάδοσης: Αρχικοποιείται μόλις το μήνυμα φτάσει στην περιοχή του προορισμού. Το μήνυμα τώρα διαδίδεται περαιτέρω σε κάθε κόμβο στην περιοχή κυκλικά του προορισμού, προτού η διάρκεια του μηνύματος λήξει. Σε αυτή τη φάση, ο κάτοχος του μηνύματος μπορεί να είναι είτε σε ενεργή κατάσταση ή να μην μεταδίδει καθόλου. Κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής το μήνυμα παραδίδεται στον παραλήπτη ή στους παραλήπτες του.

b. Geographic Source Routing Protocol (GSR)

Το πρωτόκολλο αυτό συνδυάζει position-based δρομολόγηση μαζί με τοπολογικές πληροφορίες. Η πηγή χρησιμοποιεί flooding για αναζήτηση της θέσης του κόμβου-αναγνωριστή. Μόλις ο κόμβος-αναγνωριστής λάβει το αίτημα, στέλλει μια απάντηση με τη θέση πίσω στην πηγή. Έχοντας λάβει τη θέση του παραλήπτη, η πηγή χρησιμοποιεί ένα ψηφιακό χάρτη των δρόμων για να υπολογίσει το σύνολο των διασταυρώσεων (κόμβων) που το πακέτο πρέπει να ακολουθήσει. Το σύνολο αυτό μπορεί να μπει είτε στην ετικέτα του πακέτου, ή να παραδοθεί από κάθε κόμβο που το προωθεί. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να υλοποιηθεί στη βάση της άπληστης προώθησης. Η ανακάλυψη της διαδρομής από την πηγή στον προορισμό γίνεται με χρήση του αλγόριθμου Dijkstra (εύρεση πιο σύντομης διαδρομής). Το πρωτόκολλο αυτό προτάθηκε τρία χρόνια πριν τη ανακοίνωση ενός άλλου position-based πρωτοκόλλου δρομολόγησης, του GPSR.

c. A-STAR

Πρόκειται για ένα anchor-based αλγόριθμο, στο οποίο γίνεται χρήση των πληροφοριών από τις διαδρομές των λεωφορείων της πόλης για αναγνώριση ενός μονοπατιού-άγκυρας με ψηλή συνεκτικότητα για την παράδοση πακέτων. Το μοντέλο αυτό έχει σχεδιαστεί βασισμένο σε position-based δρομολόγηση κυρίως για να διευκολύνει τα VANETs σε αστικές περιοχές. Σε τέτοια περιβάλλοντα, η πυκνότητα των οχημάτων είναι μεγαλύτερη σε κάποιους γνωστούς και ευρέως χρησιμοποιημένους δρόμους παρά σε άλλους. Η συνδεσιμότητα στους δρόμους αυτούς είναι μεγαλύτερη και πιο σταθερή. Επίσης τα κτήρια περιορίζουν τη διάδοση των σημάτων. Έτσι, είναι πιο δύσκολο να καθιερωθεί μια ασύρματη σύνδεση στις αστικές περιοχές, αφού μειώνεται η αποδοτικότητα του δικτύου.

Ο αλγόριθμος A-STAR κατασκευάζει ένα γράφο, βασισμένος στον αριθμό των γραμμών λεωφορείων που διαβαίνουν από συγκεκριμένους δρόμους. Ο αριθμός αυτός καθορίζει το βάρος γραμμής για τη συγκεκριμένη άκρη του γράφου. Όσο περισσότερες είναι οι διαδρομές, τόσο μικρότερο είναι το βάρος. Δεδομένου ότι κάθε κόμβος μπορεί να μάθει για τις πληροφορίες της διαδρομής του λεωφορείου διαμέσου ψηφιακών χαρτών, μια διαδρομή-άγκυρα μπορεί να κατασκευαστεί χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Dijkstra για το μικρότερο βάρος. Οι χάρτες με τις προσχεδιασμένες διαδρομές καλούνται στατικά εκτιμημένοι χάρτες. Αντίθετα, ένας δυναμικά εκτιμημένος χάρτης μπορεί να αξιολογηθεί. Σε ένα τέτοιο ψηφιακό χάρτη, η ανάθεση βάρους εκτελείται δυναμικά με περιοδική παρακολούθηση της κυκλοφορίας στους δρόμους και αναβάθμιση των βαρών του γράφου. Η διάδοση μηνυμάτων από την πηγή στον προορισμό ακολουθεί τη διαδρομή που παράχθηκε από τον αλγόριθμο Dijkstra.

Το πρωτόκολλο περιλαμβάνει τη δική του τοπική ανακάλυψη διαδρομών. Οι τοπικοί μηχανισμοί ανάκαμψης που έχουν υιοθετηθεί από άλλα πρωτόκολλα έχουν αποδειχθεί μη αποτελεσματικοί στις αστικές περιοχές εξαιτίας της φάσης της άπληστης προώθησης. Για να επιλύσει αυτό το πρόβλημα, το A-STAR ανακαλύπτει νέα μονοπάτια-άγκυρας από το τοπικό μέγιστο στο οποίο έχει δρομολογηθεί το πακέτο. Για να αποτρέψει άλλα πακέτα να διασχίσουν την ίδια περιοχή, οι δρόμοι με τα τοπικά μέγιστα σημαδεύονται ως OFF. Αυτή η πληροφορία δρομολόγησης κατανέμεται στο

δίκτυο, έτσι ώστε αυτές οι διαδρομές να μην χρησιμοποιηθούν για ανεύρεση μονοπατιών-άγκυρας. Κατά την προσομοίωση του το πρωτόκολλο αυτό σε σύγκριση με τα GSR και GPSR έδειξε βελτίωση στην απόδοση.

4.7.7 Προβλήματα Ασφαλείας στα VANETs [23]

Γενικά οι επιθέσεις μπορούν να προκαλέσουν ανωμαλίες στη λειτουργικότητα του δικτύου. Τέτοιες επιθέσεις μπορούν να εκμεταλλευτούν τις αλγοριθμικές ιδιότητες των πρωτοκόλλων δρομολόγησης για να βλάψουν το δίκτυο. Υπάρχουν και άλλες στις οποίες κάποιοι κόμβοι διαφημίζουν ψεύτικες τοπολογίες στους γειτονικούς τους κόμβους.

Όσο αφορά την πρώτη κατηγορία επιθέσεων, οι σχεδιαστές των πρωτοκόλλων δρομολόγησης χρειάζεται να ενσωματώσουν μετρικές ασφαλείας στα πρωτόκολλα. Πρέπει να λάβουν υπόψη κάθε πτυχή του αλγόριθμου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους κόμβους με κακόβουλες προθέσεις. Πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη τα χαρακτηριστικά του δικτύου. Για παράδειγμα, οι καταστάσεις κατά τις οποίες αλλάζει η τοπολογία του δικτύου δυναμικά είναι πιο ευάλωτες σε επιθέσεις για διάφορους λόγους. Πρώτα από όλα, η κινητικότητα επιτρέπει την τροποποίηση του πίνακα δρομολόγησης του κόμβου-θύματος με την απλή μετακίνηση στην ακτίνα κάλυψής του. Οι υπεύθυνοι της επίθεσης μπορούν να απομακρυνθούν μόλις επιτύχουν αυτό που θέλουν και χωρίς να γίνουν αντιληπτοί. Επιπρόσθετα, η κινητικότητα των νόμιμων κόμβων μπορεί να βοηθήσει αυτόν που επιτίθεται να διασκορπίσει τις επιβλαβείς πληροφορίες του (επιδημική διάδοση). Ακόμα, το σύνολο των συσκευών εντός της ακτίνας διάδοσης ενός κόμβου αλλάζει συνεχώς δυναμικά. Οι επιθέσεις από τη δεύτερη κατηγορία είναι ακόμα πιο δύσκολο να αντιμετωπιστούν.

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα

5.1 Κριτήρια Αξιολόγησης

Πιο πάνω είδαμε ένα σύνολο πρωτοκόλλων, διαχωρισμένα σε κατηγορίες. Ακολουθεί ο πίνακας αξιολόγησης των πρωτοκόλλων αυτών με βάση τα πιο κάτω κριτήρια αξιολόγησης:

Proactive/table driven routing: Τα πρωτόκολλα αυτά επιχειρούν μια συνεχή αξιολόγηση όλων των δρομολογίων του δικτύου έτσι ώστε όταν χρειαστεί να μεταφερθεί ένα πακέτο, το δρομολόγιο του να είναι γνωστό και έτοιμο να χρησιμοποιηθεί. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται αποστολή μηνυμάτων δρομολόγησης κάθε φορά που παρατηρείται μια αλλαγή στις καταστάσεις δρομολόγησης καταναλώνει bandwidth δικτύου, ωστόσο κρατά το δίκτυο καλά συνδεδεμένο.

Reactive/on demand routing: Στους αλγόριθμους αυτούς αν δεν υπάρχει καμία ενεργή διαδρομή, τα πακέτα πρέπει να περιμένουν στον κόμβο μέχρι να εκτελεστεί μια διαδικασία εξεύρεσης διαδρομής και μια ενεργή διαδρομή γίνει διαθέσιμη. Αυτό προκαλεί κάποια καθυστέρηση δεδομένων, ειδικά όταν αρχικοποιείται μια διαδρομή. Ωστόσο οι αλγόριθμοι αυτοί εξοικονομούν bandwidth δικτύου, περιορίζοντας την broadcast προώθηση μηνυμάτων δρομολόγησης μόνο στις αναγκαίες διαδρομές, ώστε τα πακέτα δεδομένων να φτάσουν στον προορισμό τους.

Location-Based routing: Πρόκειται για multicast μέθοδο δρομολόγησης η οποία βασίζεται στην αποστολή μηνυμάτων τοπικά. Μεταφέρει πακέτα από την πηγή σε όλους τους άλλους κόμβους οι οποίοι βρίσκονται εκτός των ορίων μιας περιοχής (Zone of Relevance, ZOR). Πολλές VANET εφαρμογές έχουν πολλά οφέλη από τη συγκεκριμένη μέθοδο δρομολόγησης.

Unicast transmission: Είναι αποστολή πακέτων δεδομένων σε ένα προορισμό στο δίκτυο.

Multicast transmission: Αποστολή του ίδιου πακέτου δεδομένων σε ορισμένους προορισμούς στο δίκτυο, όχι όλους.

Use of broadcast flooding: Αποστολή του ίδιου πακέτου δεδομένων σε όλους τους κόμβους του δικτύου.

Georouting: Αποστολή του ίδιου πακέτου δεδομένων σε μια συγκεκριμένη τοπολογία στο δίκτυο.

Multi-path: Η ανεύρεση διαδρομών επιτυγχάνεται με την επιλογή δύο ή περισσότερων μονοπατιών από τον προορισμό στη πηγή, τα οποία προέκυψαν από συνδυασμούς των κόμβων που ανακαλύφθηκαν στη διαδικασία αναζήτησης.

Proposed for high mobility (low density-highways): Έλεγχος αν ο αλγόριθμος μπορεί να αντεπεξέλθει στις απαιτήσεις ενός σεναρίου, όπως για παράδειγμα σε highway δρόμο, όπου η κινητικότητα των οχημάτων είναι πολύ ψηλή, όμως η πυκνότητα τους μπορεί να είναι χαμηλή.

Proposed for low mobility(high density-urban areas): Έλεγχος αν ο αλγόριθμος μπορεί να αντεπεξέλθει στις απαιτήσεις ενός σεναρίου, όπως για παράδειγμα σε ένα αστικό δρόμο, όπου η κινητικότητα των οχημάτων δεν είναι πολύ ψηλή, όμως η πυκνότητα τους συνήθως είναι μεγάλη.

Created for MANETs: Έλεγχος αν ο αλγόριθμος έχει κατασκευαστεί για MANET δίκτυα.

Created for VANETs: Έλεγχος αν ο αλγόριθμος έχει κατασκευαστεί για VANET δίκτυα.

5.2 Πίνακας Αξιολόγηση Πρωτοκόλλων

Name	Proactive	Reactive	Location-Based	Unicast	Multicast	Broadcast	Georouting	Multi-path	For high mobility	For low mobility	For MANETs	For VANETs
OLSR	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι	Ναι, δημιουργείται ένα είδος multicast group	Ναι, για αναμετάδοση ή αποστολή ενημερωτικών μηνυμάτων.	Ναι, στην επιλογή των MPRs.	Ναι, είναι πιθανόν ο τοπολογικός πίνακας να παρέχει μια εναλλακτική διαδρομή (R2) προς κάποιο προορισμό.	Όχι	Ναι, η βελτιστοποίηση που επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας τους MPRs δουλεύει καλά σε ένα τέτοιο σενάριο.	Ναι	Όχι
SBRS-OLSR	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι	Ναι, δημιουργείται ένα είδος multicast group	Ναι, για αναμεταδίδοση ή αποστολή ενημερωτικών μηνυμάτων.	Ναι, στην επιλογή των MPRs.	Ναι, είναι πιθανόν ο τοπολογικός πίνακας να παρέχει μια εναλλακτική διαδρομή (R2) προς κάποιο προορισμό.	Όχι	Ναι, η βελτιστοποίηση που επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας τους MPRs δουλεύει καλά σε ένα τέτοιο σενάριο.	Όχι	Ναι
AODV	Όχι	Ναι	Όχι	Ναι, ο παραλήπτης ενός RREQ απαντά με ένα unicast πακέτο ανεύρεσης διαδρομής	Ναι	Ναι, όταν στέλλεται PREQ μήνυμα για εντοπισμό διαδρομής για τον νέο προορισμό	Όχι	Ναι, για κάθε οποιοδήποτε ζευγάρι πηγής-προορισμού βρίσκεται περισσότερες της μιας	Όχι	Ναι	Ναι	Όχι

				(RREP).		.		διαδρομής (μειον: control overflow και αύξηση του bandwidth)				
DAODV	Όχι	Ναι	Όχι	Ναι, ο παραλήπτης ενός RREQ απαντά με ένα unicast πακέτο ανεύρεσης διαδρομής (RREP).	Ναι	Ναι, όταν στέλλεται PREQ μήνυμα για εντοπισμό διαδρομής για τον νέο προορισμό .	Όχι	Ναι, για κάθε οποιοδήποτε ζευγάρι πηγής- προορισμού βρίσκει περισσότερες της μιας διαδρομής (μειον: control overflow και αύξηση του bandwidth)	Ναι	Ναι	Όχι	Ναι
DSR	Όχι	Ναι	Όχι	Ναι	Όχι	Ναι, όταν κάνει αναζήτηση διαδρομής	Όχι	Ναι, ένας κόμβος μπορεί να ψάξει στο cached του και να αντικαταστήσ ει μια χαμένη διαδρομή με μία εναλλακτική διαδρομή.	Όχι	Ναι	Ναι	Όχι
TORA	Ναι, αρχικά εγκαθιδρ ίεται με proactive διαδρομέ ς.	Ναι, στην πορεία μετά την εγκαθίδρ υσης του, οι διαδρομέ	Ναι	Ναι	Ναι, πιο συγκεκρι μένα πρόκειτα ι για ένα είδος anycast group.	Ναι, κατά την αποστολή με ενός πακέτου QRY σε όλους του τους	Όχι	Ναι, είναι πιθανόν.	Όχι	Ναι	Ναι	Όχι

		ς γίνονται on- demand.				γείτονες ενός κόμβου.						
GeoTOR A	Ναι, αρχικά εγκαθιδρ ύεται με proactive διαδρομέ ς.	Ναι, στην πορεία μετά την εγκαθιδρ υση του, οι διαδρομέ ς γίνονται on- demand.	Ναι	Όχι	Ναι, πρόκειτα ι για ένα πρωτόκο λλο που ανήκει στην οικογένει α των geocast (geograp hical multicast) πρωτοκό λλων.	Ναι, κατά τη διάρκεια της local flooding φάσης.	Ναι, κατά την προώθηση πακέτων στο geocast group.	Ναι	Ναι	Ναι	Όχι	Ναι
MORA	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι, κατά την προώθηση του πακέτου απάντησης πίσω στην πηγή από τον προορισμό.	Όχι	Ναι, για ανακάλυψ η του μονοπατιο ύ που θα οδηγεί στον προορισμό .	Ναι, οι κόμβοι χρειάζοντα ι να επικοινωνή σουν μόνο με άμεσους γείτονες τους.	Όχι	Ναι	Όχι	Όχι	Ναι
TOPO	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι, κατά την αποστολή από την πηγή στον προορισμό.	Όχι	Ναι, για συμπλήρω ση της λίστας γειτονικών κόμβων ενός	Ναι	Όχι	Ναι, στην overlay φάση.	Ναι, στην access φάση.	Όχι	Ναι

						κόμβου.						
LORA-CBF	Yes for local nodes	Yes for distance nodes	Ναι	Ναι, κατά την αποστολή του πακέτου από την πηγή στον προορισμό (LREP)	Όχι	Ναι, για συμπλήρωση του πίνακα γειτόνων και κατά την αποστολή πακέτων αναζήτησης περιοχής (LREQ)	Ναι, κατά την αναζήτηση του προορισμού.	Όχι	Ναι	Ναι	Όχι	Ναι
GPSR	Όχι	Όχι	Ναι	Ναι, κατά την αποστολή από την πηγή στον προορισμό.	Όχι	Ναι, κατά την αναζήτηση των γειτονικών κόμβων.	Όχι	Ναι	Όχι	Ναι	Ναι	Όχι
PBR PROTOCOL	Όχι	Όχι	Ναι	Ναι, κατά την αποστολή από την πηγή στον προορισμό.	Όχι	Ναι, κατά την αναζήτηση .	Όχι	Όχι	Ναι	Ναι	Όχι	Ναι
MURU	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι, κατά την αποστολή από την πηγή στον προορισμό.	Όχι	Ναι, εντός της broadcast area.	Ναι	Ναι	Όχι	Ναι	Όχι	Ναι

5.3 Γενικά Συμπεράσματα

Έχουν αναπτυχθεί και αναπτύσσονται πρωτόκολλα δρομολόγησης για τα Mobile Ad Hoc Networks (MANETs) και για τα Vehicular Ad-Hoc Networks (VANETs), με στόχο την ανακάλυψη ενός αλγορίθμου που θα μεταφέρει τα πακέτα από μια πηγή (όχημα) στον επιθυμητό ή στους επιθυμητούς προορισμούς (όχημα ή οχήματα) στον ελάχιστο δυνατό χρόνο με την ελάχιστη κατανάλωση δικτυακών πόρων, συνδυάζοντας τα πλεονεκτήματα είδη υπάρχοντων πρωτοκόλλων και μηδενίζοντας έτσι τα μειονεκτήματά τους.

Πιο πάνω μελετήσαμε διάφορους τύπους αλγορίθμων για VANETs, οι οποίοι όπως έχουμε πει μπορούν να χαρακτηριστούν σε

- i. Πρωτόκολλα της γενικότερης κατηγορίας των MANETs.
- ii. Πρωτόκολλα της γενικότερης κατηγορίας των MANETs ειδικά τροποποιημένα για να αντεπεξέρχονται στις απαιτήσεις της κατηγορίας των VANETs.
- iii. Πρωτόκολλα ειδικά σχεδιασμένα για VANETs.

Οι δύο πρώτες περιπτώσεις αλγορίθμων, δεν είναι σε θέση να προσφέρουν στα VANET δίκτυα, εξαιτίας του γεγονότος ότι δεν μπορούν να αντεπεξέλθουν στις δυναμικές συνθήκες που συναντούνται σε VANET σενάρια. Αποτελούν όμως, ένα ισχυρό σύνολο αλγορίθμων, έξυπνα σχεδιασμένων, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ένα καλάθι ιδεών για κατασκευή καινούργιων πρωτοκόλλων ειδικά σχεδιασμένων για να καλύπτουν τις ανάγκες των VANET δικτύων.

Την τρίτη περίπτωση πρωτοκόλλων, μπορούμε να την χωρίσουμε σε δύο υπο-περιπτώσεις, τους τοπολογικούς (reactive, location-based) και τους μη τοπολογικούς (proactive) αλγόριθμους.

Η κλάση των αλγορίθμων περιοχής θεωρείται μια κατανεμημένη ομάδα αλγορίθμων, όπου η συμπεριφορά ενός απλού κόμβου περιοχής επιτυγχάνει ένα γενικό αντικειμενικό αποτέλεσμα. Για το λόγο αυτό οι αλγόριθμοι αυτοί αναφέρονται και ως άπληστης ακολουθίας αλγόριθμοι, στους οποίους κάθε κόμβος αποφασίζει σε πιο γείτονα ή γείτονες να προωθήσει το μήνυμα βασισμένος στην δική του τοποθεσία, στις τοποθεσίες των γειτονικών του κόμβων και τον προορισμό. Επιπλέον κάθε κόμβος μπορεί και εκτελεί τοπικούς υπολογισμούς.

Από την άλλη, οι μη-τοπολογικοί αλγόριθμοι απαιτούν γνώση όλων των κόμβων στο δίκτυο, καθώς επίσης και πληροφόρηση για την ύπαρξη κάθε ακμής στο γράφο. Οι

περισσότεροι εξ' αυτών έχουν προταθεί για ανεύρεση των shortest path μονοπατιών. Η συντήρηση των μονοπατιών αυτών απαιτεί πληροφορίες για ακμές (ασύρματες συνδέσεις), καθώς και τοπολογικές πληροφορίες κόμβων, οι οποίες θα αποσταλούν με broadcast σε όλο το δίκτυο, κάτι το οποίο κοστίζει πολύ στην επικοινωνία και προκαλεί σημαντικές καθυστερήσεις στην παράδοση. Κάτι άλλο εξίσου σημαντικό στους αλγόριθμους αυτούς είναι ότι μπορεί να τύχει κάποιοι κόμβοι να είναι προσωρινά ανενεργοί, κάτι το οποίο πρέπει να πληροφορούνται οι γείτονες τους ούτως ώστε να παρθούν οι καλύτερες αποφάσεις δρομολόγησης.

Έτσι, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι μη-τοπολογικοί αλγόριθμοι μπορεί να μην αποτελούν την καλύτερη επιλογή για αλγόριθμο δρομολόγησης ακόμα και στην περίπτωση που έχουμε να κάνουμε με στατικά δίκτυα, όπως για παράδειγμα ορισμένοι τύποι sensor δικτύων.

Η κατασκευή του πίνακα αξιολόγησης πρωτοκόλλων (βλέπε υποκεφάλαιο 5.1), έγινε με σκοπό να μας βοηθήσει (ιδίως σε περιπτώσεις απειρίας) να επιλέξουμε τον κατάλληλο αλγόριθμο δρομολόγησης στα VANETs, ανάλογα με τις συνθήκες τις οποίες έχουμε να αντιμετωπίσουμε.

Παρόλα αυτά όμως (μελέτες και προσπάθειες), μέχρι και σήμερα όμως, ο στόχος της ανεύρεσης ενός πρωτοκόλλου που να καλύπτει όλες τις ανάγκες ενός VANET δικτύου δεν έχει επιτευχθεί, και αποτελεί γεγονός το ότι δεν μπορεί να κατασκευαστεί ένα πρωτόκολλο χωρίς λάθη και ατέλειες (τα περισσότερα δεν έχουν καν υλοποιηθεί, έχουν σταματήσει στην σχεδίαση αφού η προσομοίωση φανέρωσε την ακαταλληλότητα τους).

5.4 Μελλοντική Εργασία

Μετά από μια επιμέρους ανασκόπηση στα διάφορα πρωτόκολλα που έχουν προταθεί, είδαμε ότι κανένα δεν παρουσιάζεται αλάνθαστο ούτως ώστε να εφαρμοστεί άμεσα σε ένα VANET δίκτυο. Όλα παρουσιάζουν τις ατέλειες τους, κάτι που σε θέματα που αφορούν ανθρώπινες ζωές αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα για να απορριφθεί κάποιο πρωτόκολλο.

Αυτό που είδα εγώ ότι τα περισσότερα πρωτόκολλα προσπαθούν να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα δίνοντας γενικούς αλγορίθμους (π.χ ασχολούνται με την κατεύθυνση ενός οχήματος και την τοποθέτηση του σε σχέση με την πηγή και τον προορισμό). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα πρωτόκολλα να μην μπορούν να αντεπεξέλθουν σε όλα τα σενάρια που θα κληθούν να αντιμετωπίσουν.

Η λύση κατά την άποψη μου, είναι η κατασκευή ενός πρωτοκόλλου-πλαίσιου εργασίας, χωρισμένου σε δύο μέρη, το ένα θα αφορά αστικούς δρόμους και το άλλο highways, και το καθένα θα τηρεί τους δικούς του κανόνες. Αφού γίνει αυτό, στο κάθε πλαίσιο θα έρθουμε να ενσωματώσουμε ένα πρωτόκολλο ειδικά σχεσιασμένο για να λειτουργεί σε αντίστοιχα σενάρια (μπορεί κάποιο είδη υφιστάμενο πρωτόκολλο σχεδιασμένο ή τροποποιημένο για VANETs).

Αφού γίνει αυτό, θα πρέπει να αποφασιστούν οι μετρικές αξιολόγησης του συγκεκριμένου πλαισίου εργασίας, και να γίνει η προσομοίωση του σε διάφορα σενάρια (αστικούς δρόμους, highways, με λίγα οχήματα, με μεγάλης πυκνότητας οχήματα, κτλ.).

Επίσης, κάτι άλλο που πρέπει να γίνει είναι η αξιολόγηση κατά πόσο θα βοηθούσε στη σχεδίαση αλγορίθμων δρομολόγησης, η ύπαρξη υποδομών στους δρόμους μεγαλύτερης εμβέλειας, για λήψη, αποθήκευση, επεξεργασία (έλεγχο από απειλές) και αναμετάδοση πακέτων δεδομένων σε οχήματα ή άλλες υποδομές. Αν η αξιολόγηση δείξει ότι πράγματι θα βοηθούσαν, τότε θα έπρεπε να περάσουμε στην μελέτη νομοθεσιών που θα επέτρεπαν την καθιέρωση τέτοιων συσκευών στους δρόμους κτλ.

Τέλος, θα πρέπει να μελετηθεί περισσότερο η ανταπόκριση των διάφορων αυτοβιομηχανικών ή άλλων οργανισμών όσο αφορά τα VANETs, με αξιολόγηση της μέχρι στιγμής δουλειάς τους στον τομέα αυτό (τι προτείνουν, διάφορα οχήματα που έχουν προσαρμόσει για ενδοεπικοινωνιακούς σκοπούς κτλ.).

Βιβλιογραφία

- [1] B. Adamson, "Tactical Radio Frequency Communication Requirements for IPng", RFC 1677, August 1994.
- [2] R. Bagrodia et al., "PARSEC: A Parallel Simulation Environment for Complex Systems", IEEE Computer, 1998.
- [3] A. Banchsa and L. Voller, "Throughput analysis and optimal configuration of 802.11e EDCA," *Computer Networks*, vol. 50, no. 11, pp.1749–1768, Aug. 2006.
- [4] C. Bisdikian, An overview of the Bluetooth wireless technology, IEEE Communication Magazine, December 2001.
- [5] F. Borgonovo et al., "ADHOC MAC: A New MAC Architecture for Ad Hoc Networks Providing Efficient and Reliable Point-to-Point and Broadcast Services," *Wireless Networks*, July 2004.
- [6] I. Chakeres and C. Perkins, "Dynamic MANET On-Demand (DYMO) Routing," Internet-Draft, draft-ietf-manet-dymo-06.txt, October 2006. [Online]. Available: <http://tools.ietf.org/wg/manet/draft-ietf-manet-dymo/draft-ietf-manet-dymo-06.txt>
- [7] I. Chlamtac, A. Lerner, Fair algorithms for maximal link activation in multi-hop radio networks, IEEE Transactions on Communications COM-35 (7) (1987).
- [8] I. Chlamtac, A. Lerner, Link allocation in mobile radio networks with noisy channel, in: IEEE INFOCOM, Bar Harbour, FL, April 1986. I. Chlamtac et al. / Ad Hoc Networks 1 (2003) 13–64 55
- [9] T. Clausen and P. Jacquet, "Optimized link state routing protocol (OLSR)," RFC 3626, Oct. 2003.
- [10] W. Crowther et al., "A System for Broadcast Communications: Reservation

ALOHA,” *Proc. Hawaii Int’l. Conf. Sys. Sci.*, Jan. 1973, pp. 596–603.

[11] “DSRC Application Layer” CEN TC 278 ENV 12834, February 96, CEN Brussels

[12] DSRC Physical Layer using Microwave at 5.8 GHz”, CEN TC 278 ENV 12253, CEN Brussels

[13] N. Elloumi, H. Haj-Salem, and M. Papageorgiou, “METACOR: A macroscopic modeling tool for urban corridors,” *Triennial Symposium on Transportation Analysis*, vol. 1, pp. 135–150, 1994.

[14] S. Eichler, “Performance Evaluation of the IEEE 802.11p WAVE Communication Standard”, *Vehicular Technology Conference*, 2007. VTC-2007 Fall. 2007 IEEE 66th Volume , Issue , Sept. 30 2007-Oct. 3 2007 Page(s):2199 – 2203.

[15] James A. Freebersyser, Barry Leiner, A DoD perspective on mobile ad hoc networks, in: Charles E. Perkins (Ed.), *Ad Hoc Networking*, Addison Wesley, Reading, MA, 2001, pp. 29–51.

[16] Fabrizio Granelli, Senior Member, Giulia Boato, Member, and Dzmitry Kliazovich, Student Member, “MORA: a Movement-Based Routing Algorithm for Vehicle Ad Hoc Networks”.

[17] Brad Karp, H. T. Kung. “GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks”. *Proceedings of the 6th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom 2000)*.

[18] Y. Ko and Vaidya, “*Geotora: a Protocol for Geocasting in Mobile Ad Hoc Networks*. Technical Report”. UMI Order Number: TR00-010., Texas A & M University, N. H. 2000.

[19] A. Mahajan, “Urban mobility models for vehicular ad hoc networks,” *Master’s Thesis*, Department of Computer Science, Florida State University, 2006.

[20] H. Menouar, F. Filali, M. Lenardi, “A survey and qualitative analysis of mac protocols for vehicular ad hoc networks” Wireless Communications, Vol. 13, No. 5. (2006), pp. 30-35.

[21] B.A. Miller, C. Bisdikian, Bluetooth Revealed, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 2000.

[22] Zhaomin Mo; Hao Zhu; Kia Makki; Niki Pissinou, “MURU: A Multi-Hop Routing Protocol for Urban Vehicular Ad Hoc Networks”, Telecommun. & Inf. Technol. Inst., Florida Int. Univ., Miami, FL, 2006.

[23] “Routing in Vehicular Networks: Feasibility, Modeling, and Security”, International Journal of Vehicular Technology, Volume 2008 (2008), Article ID 267513, 8 pages.

[24] R.A. Santos, O. Alvarez, A. Edwards, “Performance evaluation of two location-based routing protocols in vehicular Ad-Hoc networks”, Vehicular Technology Conference, 2005. VTC-2005-Fall. 2005 IEEE 62nd, Volume 4, Issue , 25-28 Sept., 2005 Page(s): 2287 – 2291.

[25] R. A Santos, R. M. Edwards, N. L. Seed and A. Edwards. A Location-Based Routing Algorithm for Vehicle to Vehicle Communication. The 13th IEEE International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN 2004), pp. 221-226, October 11-15, Chicago IL, USA.

[26] J.P. Singh; N. Bambos; B. Srinivasan; D. Clawin, “Cross-layer multi-hop wireless routing for inter-vehicle communication” Deutsche Telekom Lab., Berlin, 2006.

[27] Sommer, C.; Dietrich, I.; Dressler, F., “Realistic Simulation of Network Protocols in VANET Scenarios”, 2007 Mobile Networking for Vehicular Environments, Volume, Issue , 11-11 May 2007 Page(s):139 – 143.

[28] Specification of the Bluetooth System, Version 1.1, February 2001.

[29] W. Stallings, *Local & Metropolitan Area Networks*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1996.

[30] Standards Committee, *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical layer (PHY) specifications: Amendment 8: Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements*, IEEE Computer Society, 2005.

[31] N. B. Taylor, "The CONTRAM dynamic traffic assignment model," *Networks and Spatial Economics*, vol. 3, pp. 297–322, 2003.

[32] A. Varga, "The OMNeT++ discrete event simulation system," in *Proceedings of the European Simulation Multiconference (ESM2001)*, 2001.

[33] Web site of the Bluetooth Special Interest Group: <http://www.bluetooth.com/>.

[34] Web site of the IEEE 802.11 WLAN: <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/main.html>.

[35] Wenjing Wang; Fei Xie; Chatterjee, M., "TOPO: Routing in Large Scale Vehicular Networks", *Vehicular Technology Conference, 2007. VTC-2007 Fall. 2007 IEEE 66th Volume , Issue , Sept. 30 2007-Oct. 3 2007* Page(s):2106 – 2110.

[36] Chung-Ping Young; Bao Rong Chang; Shiou-Yu Chen; Li-Chang Wang, "A highway traffic simulator with Dedicated Short Range Communications based cooperative collision prediction and warning mechanism", *Intelligent Vehicles Symposium, 2008 IEEE, Volume , Issue , 4-6 June 2008* Page(s):114 – 119.

[37] Jianjun Zhang; Gong Zhang; Ling Liu, "GeoGrid: A Scalable Location Service Network", *Distributed Computing Systems, 2007. ICDCS apos;07. 27th International Conference on Volume , Issue , 25-27 June 2007* Page(s):60 – 60.

[38] Abedi, O.; Fathy, M.; Taghiloo, J. "Enhancing AODV routing protocol using mobility parameters in VANET", *Computer Systems and Applications, 2008. AICCSA*

[39] David B. Johnson David A. Maltz Josh Broch, “DSR: The Dynamic Source Routing Protocol for Multi-Hop Wireless Ad Hoc Networks”, Computer Science Department Carnegie Mellon University Pittsburgh, PA 15213-3891.

[40] Brad Karp; H. T. Kung, “GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks”, Boston, Massachusetts, United States, Year of Publication: 2000, Pages: 243 – 254.

[41] Namboodiri, V.; Lixin Gao, “Prediction-Based Routing for Vehicular Ad Hoc Networks”, Vehicular Technology, IEEE Transactions on Volume 56, Issue 4, July 2007 Page(s):2332 – 2345.