



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ
ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΗΣ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ

**«ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑ,
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΜΕΓΑΛΟΥ ΟΓΚΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ»**

**«ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ
ΣΕ ΜΟΝΤΕΡΝΑ ΟΔΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ»**

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΤΣΙΟΓΚΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επιβλέπων

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ

Λαμία, 2019

«Υπεύθυνη Δήλωση μη λογοκλοπής και ανάληψης προσωπικής ευθύνης»

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, και γνωρίζοντας τις συνέπειες της λογοκλοπής, δηλώνω υπεύθυνα και ενυπογράφως ότι η παρούσα εργασία με τίτλο [«τίτλος εργασίας»] αποτελεί προϊόν αυστηρά προσωπικής εργασίας και όλες οι πηγές από τις οποίες χρησιμοποίησα δεδομένα, ιδέες, φράσεις, προτάσεις ή λέξεις, είτε επακριβώς (όπως υπάρχουν στο πρωτότυπο ή μεταφρασμένες) είτε με παράφραση, έχουν δηλωθεί κατάλληλα και ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Ο ΔΗΛΩΝ

Ημερομηνία

Υπογραφή

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΣΕ ΜΟΝΤΕΡΝΑ ΟΔΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΤΣΙΟΓΚΑΣ

Τριμελής Επιτροπή:

ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΚΟΖΥΡΗ ΜΑΡΙΑ

ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Επιστημονικός Σύμβουλος:

ΙΩΑΝΝΗΣ ΚΟΡΙΝΘΙΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι μια μελέτη για τα ασύρματα ad hoc δίκτυα, ως ένα αποκεντρωμένο τύπο ασύρματου δικτύου. Γίνεται αναφορά στα χαρακτηριστικά των ασύρματων δικτύων για ότι αφορά την κατανάλωση ενέργειας, τη μετάδοση δεδομένων, την επικοινωνία την επεκτασιμότητα, την ασφάλεια και την ασυνδεσιμότητα. Γίνεται μια περιγραφή των ασύρματων κινητών δικτύων MANET και των δικτύων οχημάτων VANET και των χαρακτηριστικών τους, καθώς και των προσαρμοστικών μεταβλητών δικτύων που βασίζονται στο διαδίκτυο iMANET και των ευφυών InVANET. Επίσης γίνεται μια περιγραφή των εφαρμογών των ασύρματων ad hoc δικτύων, σε ότι αφορά την οδική ασφάλεια, τη διαχείριση της κυκλοφορίας και την άνεση των μετακινήσεων. Γίνεται μια εκτενής περιγραφή των προληπτικών και των αντιδραστικών πρωτοκόλλων δρομολόγησης που χρησιμοποιούνται στα ασύρματα ad hoc δίκτυα, η οποία ακολουθείται από μια συγκριτική τους παράθεση. Η εργασία ολοκληρώνεται με αναφορές για τις μελλοντικές τάσεις στα ασύρματα δίκτυα και τα έξυπνα αυτοκίνητα.

ΛΕΞΙΚΟ ΟΡΩΝ-ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ		
Συντομογραφία	Πλήρης ορολογία	Μετάφραση
Ad hoc	From Latin "for this purpose"	
Manet	Mobile Ad hoc NETwork	
Vanet	Vehicular Ad-hoc NETwork	
Invanet	Intelligent Vehicular Ad-hoc NETwork	
MMS	Mobile Support Station	Σταθμός υποστήριξης κινητής τηλεφωνίας
MAC	Media Access Control	
CDMA	Code-Division Multiple Access	
MCCDMA	Multi-Carrier Code-Division Multiple Access	
RACE 2		
ACTS	Advanced Communications Technology Satellite	
SAMBA		
MEDIA		
IP	Internet Protocol	Πρωτόκολλο Internet
Wep	Wired Equivalent Privacy	
HR WLAN	High Rate Wireless Local Access Network	Υψηλής απόδοσης ασύρματο τοπικό δίκτυο
LAN	Local Access Network	Τοπικό δίκτυο
Ipssec	Internet Protocol Security	
Crc	Cyclic Redundancy Check	Κυκλικός έλεγχος πλεονασμού
API	Application Programming Interface	
	Decibels	Μονάδα μέτρησης ισχύος σήματος
Ietf	Internet Engineering Task Force	
	Hopping	Η διαδικασία "άλματος" πακέτου σε δρομολογητή
	Router	Δρομολογητής
	Host	Τερματικό συνδεδεμένο σε δίκτυο
V2V	Vehicle to Vehicle	Όχημα με όχημα
V2I	Vehicle to Infrastructure	Όχημα με υποδομή
V2R	Vehicle to Roadside	Όχημα με εξοπλισμό πλησίον σε οδικό δίκτυο
	Intervehicle Communication	Επικοινωνία μεταξύ οχημάτων
OEM	Original Equipment Manufacturer	Επίσημος εξοπλισμός κατασκευαστή
WiFi		
Wimax	Worldwide Interoperability for Microwave Access	
Obu's	On Board units	Μονάδες εγκατεστημένες σε όχημα
Rsu's	Roadside units	Μονάδες εγκατεστημένες πλησίον σε οδικό δίκτυο
Km/h	Kilometers per Hour	Χιλιόμετρα ανά ώρα
GPS	Global Positioning System	

FSR	Fisheye State Routing	
	Link State Protocol	
	Broadcast	Αποστολή σε όλους
	On Demand	Κατά απαίτηση
	Refresh Rate	Ρυθμός ανανέωσης
	Broken Link	Χαλασμένη σύνδεση
DREAM	Distance Routing Effect Algorithm for Mobility	
	Distance Effect	Αντίληψη/Αποτέλεσμα απόστασης
	Directional Flooding	Κατευθυνόμενη μαζική προώθηση
	Destination	Προορισμός
ER	Expected Region	Αναμενόμενη Περιοχή
OLSR	Optimized Link State Routing Protocol	
	Hop by Hop	Άλμα με άλμα (μεταξύ διαδοχικών δρομολογητών)
	Link state algorithm	
	Source	Πηγή
	Sleep Mode	Κατάσταση ύπνου
DSDV	Destination Sequenced Distance Vector	
	Multicast	Αποστολή σε πολλούς
	Loop Free	Χωρίς κλειστούς βρόγχους
BABEL		
	Black Holes	Μαύρες τρύπες
GC time	Garbage collection time	
	Multiple network-layer protocols	Υποστήριξη πολλαπλών πρωτοκόλλων δικτύου
IPv4	Internet Protocol version 4	
IPv6	Internet Protocol version 6	
AODV	Adhoc on Demand Distance Vector	
RREQ	Route Request	Αίτηση δρομολόγησης
RREP	Route Reply	Απάντηση δρομολόγησης
RERR	Route Error	Σφάλμα δρομολόγησης
	Cache	Προσωρινός (για μνήμη)
DSR	Dynamic Source Routing	
	Route Discovery	Εύρεση δρομολόγησης
	Route Maintenance	Συντήρηση δρομολόγησης
RDMR	Relative distance micro-discoveryad hoc routing	
	Flooding Mechanism	Μηχανισμός πλημμύρας (για μηνύματα σε δίκτυο)
	Heuristics	Ευρετικές (για μεθόδους)
RDM	Relative distance micro-discovery	
	Bandwidth Efficient	Αποτελεσματικός στη διαχείριση του εύρους ζώνης

	Robust	Εύρωστος
	Scalable	Κλιμακωτός (σε μελλοντικές αναβαθμίσεις)
	Reactive	Αντιδραστικός
	Default Router	Προκαθορισμένος Δρομολογητής
TLU	Time Last Update	Τελευταία χρονική ενημέρωση
RT Timeout	Response Time Timeout	Τέλος χρόνου σε αναμενόμενη απάντηση
	Route flag	Σημαφόρος δρομολόγησης
	Route Discovery Algorithm	Αλγόριθμος εύρεσης δρομολόγησης
	Route Maintenance Algorithm	Αλγόριθμος συντήρησης δρομολόγησης
TORA	Temporally - Ordered Routing Algorhythm	
	Hybrid Protocols	Υβριδικά πρωτόκολλα
HARP	Hybrid Ad-hoc Routing Protocols	
ZRP	Zone Routing Protocol	
	Proactive	Ενεργός
IAPR	Intra Zone Routing Protocol	
IERP	Inter Zone Routing Protocol	
	Bordercasting	Αποστολή μηνυμάτων σε γειτονική συστάδα
DDR	Distributed Dynamic Routing	
	Zone Level stability	Επίπεδο σταθερότητας ζώνης
	Early route maintenance	Προληπτική συντήρηση δρομολόγησης
	Gateway	Πύλη
	Cluster	Συστάδα
	Clustering	Διαδικασία δημιουργίας συστάδας
	Cluster head	Αρχηγός συστάδας
HSR	Hierarchically Segmented Routing Protocol	
VSR	Virtual structure routing protocol	
	Backbone	Ραχοκοκαλιά (για δίκτυα)
GLONASS	Global Navigation Satellite System	
	Position-based Greedy V2V Protocols	
	Delay Tolerant Protocols	Πρωτόκολλα ανεκτικά στην καθυστέρηση
Greedy		
GPSR	Greedy Perimeter Stateless Routing	
GPCR	Greedy Perimeter Coordinator Routing	
VGPR	Vertex-Based Predictive Greedy Routing	
PDGR	Predictive Directional Greedy Routing	
MIBR	Mobile Infrastructure Based VANET Routing Protocol	
GYTAR	Greedy Traffic Aware Routing Protocol	
DIR	Diagonal-Intersection-Based Routing Protocol	
MOVE	Motion Vector Routing Algorithm	

VADD	Vehicle Assisted Data Delivery	
SADV	Static Node Assisted Adaptive Routing Protocol	
LAR	Location Aided Routing	
ZHLS	Zone-Based Hierarchical Link State Routing Protocol	
ID	Identification	
ITS	Intelligent Transportation System	
	Authentication	Αυθεντικοποίηση
	Unicast	Αποστολή σε έναν μόνο
MD	Mobile Device	Κινητή συσκευή
	End-to-End Service	Υπηρεσία από άκρο σε άκρο
	Mesh Architecture	Αρχιτεκτονική δικτύωσης όλοι προς όλους
	Bluetooth	
CPU	Central Processing Unit	Κεντρική επεξεργαστική μονάδα
RFID	Radio-Frequency Identification	
	Smartphones	Έξυπνα τηλέφωνα

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1- Σχεδιασμός ad-hoc δικτύων.....	3
1.1. Κατανάλωση Ενέργειας.....	3
1.2. Ρυθμοί Ασύρματης Μετάδοσης Δεδομένων.....	3
1.3. Ασύμμετρη Επικοινωνία.....	4
1.4. Κλιμάκωση.....	5
1.5. Ασφάλεια.....	6
1.6. Ασυνδεσιμότητα.....	6
1.7 Μοντέλα Ad-hoc Δικτύων.....	7
1.8 Ασύρματη διάδοση και παρεμβολή.....	9
1.9 Αναφορά στα Δίκτυα MANET.....	11
1.10 Χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα των MANET.....	13
1.11 Αναφορά στα Δίκτυα VANET.....	14
1.12 Απαιτήσεις επικοινωνίας στα VANET.....	18
1.13 Χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα των VANET.....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2- Εφαρμογές δικτύων MANET-VANET.....	21
2.1 Εφαρμογές Οδικής Ασφάλειας.....	21
2.1.1 Εφαρμογές Ασφάλειας Υψηλής Προτεραιότητας.....	22
2.1.2 Εφαρμογές Ασφάλειας Χαμηλής Προτεραιότητας.....	24
2.2 Εφαρμογές Διαχείρισης της Κυκλοφορίας.....	25
2.3 Εφαρμογές Διευκόλυνσης και Άνεσης.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3- Αναφορά σε Πρωτόκολλα.....	29
3.1 Πρωτόκολλα δρομολόγησης καθοδηγούμενα από πίνακα.....	29
3.1.1 FSR.....	29
3.1.2 DREAM.....	30

3.1.3 OLSR.....	32
3.1.4 DSDV.....	34
3.1.5 BABEL.....	35
3.2 Αντιδραστικά πρωτόκολλα : Κατασκευή δρομολόγησης κατά απαίτηση.....	37
3.2.1 AODV.....	38
3.2.2 DSR.....	41
3.2.3 RDMR.....	42
3.2.4 TORA.....	45
3.3 Υβριδικά Πρωτόκολλα.....	46
3.3.1 ZRP.....	46
3.3.2 HARP.....	48
3.4 Ιεραρχικά Πρωτόκολλα.....	49
3.4.1 HSR.....	50
3.4.2 VSR.....	53
3.5 Γεωγραφικά Πρωτόκολλα.....	53
3.5.1 Άπληστα Πρωτόκολλα (Greedy).....	54
3.5.2 Πρωτόκολλα ανεκτικά στην Καθυστέρηση.....	57
3.5.3 LAR.....	58
3.5.4 ZHLS.....	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4- Σύγκριση AD-HOC δικτύων και Πρωτοκόλλων Δρομολόγησης.....	61
4.1 Συγκριτική παρουσίαση μεταξύ MANET και VANET.....	61
4.2 Σύγκριση πρωτοκόλλων δρομολόγησης.....	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- Ανοικτά θέματα και Μελλοντική χρήση της τεχνολογίας.....	69
5.1 Προκλήσεις για τα AD-HOC δίκτυα.....	69
5.2 Μελλοντικές τάσεις.....	71
5.3 Ευφυή αυτοκίνητα και συστήματα κυκλοφορίας.....	72

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από τότε που έκαναν την εμφάνισή του τη δεκαετία του 1970, τα ασύρματα δίκτυα απέκτησαν αυξανόμενη δημοτικότητα στην βιομηχανία των υπολογιστών. Η γοργή ανάπτυξη της τεχνολογίας των ασύρματων ψηφιακών επικοινωνιών και η εκπληκτική άνοδος της διαθέσιμης υπολογιστικής ισχύς των φορητών υπολογιστών δημιούργησαν δυνατότητες που τα συστήματα λογισμικού μόλις αρχίζουν να εκμεταλλεύονται. Ο κινητός υπολογισμός είναι ένας πολύ γενικός όρος που περιγράφει τον υπολογισμό εν κινήσει. Οι χρήστες των υπολογιστών δεν είναι πια καθηλωμένοι σε μια συγκεκριμένη συσκευή ή σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία ή σε ορισμένη χρονική στιγμή [1].

Έως σήμερα, χρησιμοποιούνταν το μοντέλο κινητού συστήματος "σταθερής υποδομής", το οποίο εξελίχθηκε σε ένα αρκετά σταθερό σύστημα που παρέχει μια ποικιλία ευρέως διαθέσιμων υπηρεσιών. Η βασική ιδέα είναι ότι η περιοχή κάλυψης υποδιαιρείται σε κυψέλες με μεγέθη που κυμαίνονται από 50-100 km στα πρώτα κυψελωτά συστήματα. Κάθε κυψέλη έχει ένα σταθμό βάσης (ο οποίος αναφέρεται και ως *Mobile Support Station, MSS*) που διασυνδέεται με τους γειτονικούς σταθμούς με τη χρήση ενός σταθερού δικτύου υποδομής υψηλού εύρους ζώνης επικοινωνίας. Πρόσφατα έγιναν εκτεταμένες εργασίες για την ενσωμάτωση των κυψελοειδών δικτύων σε παραδοσιακά δίκτυα, όπως είναι το διαδίκτυο.

Ωστόσο, υπάρχουν σημαντικά σενάρια στα οποία δεν διατίθεται μια σταθερή ασύρματη υποδομή όπως αυτά των κυψελωτών συστημάτων, είτε γιατί μπορεί να είναι οικονομικά ασύμφορο ή φυσικώς αδύνατο να παρασχεθεί η απαραίτητη υποδομή, είτε γιατί η υφιστάμενη κατάσταση δεν προσφέρεται για την εγκατάστασή της (παραδείγματος χάρη δίκτυα που σχηματίζονται από δορυφόρους, πλοία ή αεροπλάνα, ή δίκτυα που συνδέουν ομάδες διάσωσης σε περίπτωση σεισμού ή πλημμύρας). Σε τέτοιες περιπτώσεις, μια συλλογή από γεωγραφικά κατανεμημένους κινητούς σταθμούς με εξοπλισμό ασύρματης επικοινωνίας μπορεί να διαμορφώσει ένα δίκτυο χωρίς τη

βοήθεια οποιοσδήποτε προϋπάρχουσας επιδομής ή κεντροποιημένης διαχείρισης. Αυτό το είδος ασύρματου δικτύου είναι γνωστό ως *ad-hoc δίκτυο*. [1].

Πρωταρχικό κίνητρο της ανάπτυξης των *ad-hoc* δικτύων ήταν οι στρατιωτικές εφαρμογές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα *ad-hoc* δικτύωσης αποτελεί το δίκτυο των πολεμιστών και των κινητών υπολογιστών στα πεδία της μάχης. Πράγματι, ένα μεγάλο μέρος των αρχικών ερευνών σε αυτό το πεδίο αφορούσε την ανάπτυξη Δικτύων Ραδιομετάδοσης Πακέτων και βιώσιμων δικτύων ραδιομετάδοσης. Η πρόσφατη ταχεία πρόοδος της κινητής τηλεφωνίας και η πληθώρα των προσωπικών ψηφιακών συσκευών έφερε στο προσκήνιο αρκετές πιθανές εμπορικές εφαρμογές των *ad-hoc* δικτύων. Παραδείγματα αποτελούν η αντιμετώπιση καταστροφών, οι τηλεδιασκέψεις, η οικιακή δικτύωση, τα δίκτυα έξυπνης σκόνης, τα δίκτυα μικρής εμβέλειας και οι ενσωματωμένες υπολογιστικές εφαρμογές.

Η έλλειψη σταθερής υποδομής στα *ad-hoc* δίκτυα συνεπάγεται ότι οποιοσδήποτε υπολογισμός στο δίκτυο πρέπει να λαμβάνει χώρα με μη κεντροποιημένο τρόπο. Έτσι, πολλά από τα βασικά προβλήματα των *ad-hoc* δικτύων μπορούν να διατυπωθούν ως προβλήματα του κατανεμημένου υπολογισμού. Ωστόσο, ορισμένα χαρακτηριστικά των *ad-hoc* δικτύων καθιστούν αυτή τη μελέτη πολύ διαφορετική από τις παραδοσιακές εργασίες στα κατανεμημένα συστήματα. Σε αντίθεση με τα σταθερά δίκτυα, τα κινητά υπολογιστικά συστήματα πρέπει να αντιμετωπίσουν νέα προβλήματα όπως είναι τα ζητήματα διατήρησης ενέργειας, λόγω χαμηλής διαθεσιμότητας πηγών ενέργειας και οι χαμηλοί ρυθμοί μεταφοράς δεδομένων των ασύρματων μέσων επικοινωνίας (σε σχέση με τα ενσύρματα δίκτυα υψηλού εύρους ζώνης επικοινωνίας). Ωστόσο, ακόμα και για τα προβλήματα που εμφανίζονται στα ενσύρματα δίκτυα, όπως είναι η κλιμάκωση, η ασφάλεια και η διασυνδεσιμότητα. Στην ανάπτυξη του κινητού υπολογιστικού συστήματος η επίλυση αυτών των προβλημάτων παρουσιάζει περισσότερες δυσκολίες και η εύρεση αποτελεσματικών λύσεων αποτελεί πρόκληση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Σχεδιασμός ad-hoc δικτύων

Επί του παρόντος, ο σχεδιασμός αποτελεσματικών και ανεκτικών σε λάθη κινητών ad-hoc δικτύων αποτελεί ένα εξαιρετικά ενεργό πεδίο έρευνας. Στις ακόλουθες παραγράφους παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν με κρίσιμο τρόπο τις αποφάσεις σχεδιασμού των πρωτοκόλλων για τα ad-hoc δίκτυα.

1.1 Κατανάλωση Ενέργειας

Η διάρκεια ζωής ενός ασύρματου δικτύου περιορίζεται από τα ενεργειακά αποθέματα που φέρουν οι συσκευές. Για την επίτευξη μεγάλης διάρκειας ζωής αυτών των δικτύων και κατ' επέκταση την αύξηση της λειτουργικότητας τους, είναι μεγάλης σημασίας είτε να αυξηθεί η ισχύς των ενεργειακών αποθεμάτων (εξέλιξη της τεχνολογίας μπαταρίας) είτε να βρεθούν εναλλακτικές πηγές ενέργειας που να μπορούν να χρησιμοποιήσουν οι σταθμοί του δικτύου. Μια συμπληρωματική προσέγγιση για την αντιμετώπιση του προβλήματος της μακροβιότητας των δικτύων είναι η ανάπτυξη αποτελεσματικών αλγορίθμων και μηχανισμών από την άποψη της ενέργειας, οι οποίοι βελτιστοποιούν τη χρήση των ενεργειακών αποθεμάτων ενώ παράλληλα διατηρούν τη διασυνδεσιμότητα του δικτύου. Οι λύσεις που εξετάζονται στη βιβλιογραφία περιλαμβάνουν τους κώδικες ελέγχου σφαλμάτων και τα πρωτόκολλα επιπέδου MAC. [1].

1.2 Ρυθμοί Ασύρματης Μετάδοσης Δεδομένων

Στην Ιαπωνία και την Ευρώπη οι έρευνες για νέες συσκευές ασύρματης επικοινωνίας έχουν ήδη ξεκινήσει, με σκοπό την αύξηση των ρυθμών μετάδοσης των

δεδομένων που είναι διαθέσιμοι στα ασύρματα δίκτυα. Η Ιαπωνία προτείνει την επίτευξη τουλάχιστον 10-20 Mbps σε κυψελοειδές περιβάλλον και 2 Mbps για κινούμενα οχήματα, έχοντας τα πολυφέροντα συστήματα CDMA (MC-CDMA) ως μια από τις υποψήφιες τεχνικές πολλαπλής προσπέλασης. Το 1992 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ξεκίνησε να υποστηρίζει αυτού του είδους τις πρωτοβουλίες, με το πρόγραμμα του Κινητού Συστήματος Ευρείας Ζώνης (MBS), αρχικά στα πλαίσια του RACE II και αργότερα στα πλαίσια του ACTS, κυρίως μέσω) των προγραμμάτων SAMBA και MEDIA. Ενώ το πρόγραμμα MEDIA είχε ως στόχο την ασύρματη πρόσβαση στα 150 Mbit/s. τα άλλα δύο προγράμματα εστίαζαν την προσοχή τους στις κινητές κυψελοειδείς εφαρμογές, επίσης στα 150 Mbit/s. Το πρόγραμμα SAMBA παρήγαγε μια δοκιμαστική πλατφόρμα με δύο σταθμούς βάσης και δυο κινητά τερματικά, επιτρέποντας την παρουσίαση των βασικών λειτουργιών ενός κυψελοειδούς συστήματος ευρείας ζώνης, συμπεριλαμβανομένης και της μεταγωγής, σε ρυθμούς μετάδοσης 34 Mbit/s ανά φορέα.

1.3 Ασύμμετρη Επικοινωνία

Δεδομένου ότι οι κινητοί σταθμοί ενδέχεται να μην έχουν πομπούς και δέκτες με την ίδια ισχύ και τις ίδιες δυνατότητες, σημειώνεται ότι οι συνδέσεις μεταξύ των σταθμών συνήθως δεν είναι παρόμοιες και προς τις δύο κατευθύνσεις, αλλά σε μεγάλο βαθμό είναι ασύμμετρες. Η ασυμμετρία μπορεί να προκαλείται από τις παρεμβολές, τις διαφορετικές δυνατότητες της κεραίας και της ασύρματης συσκευής, ή την ρύθμιση των παραμέτρων μετάδοσης και παραλαβής, όπως είναι η ισχύς. Επομένως, συχνά οι συνδέσεις γίνονται μονής κατεύθυνσης - γεγονός που σημαίνει ότι ένας σταθμός είναι σε θέση να λάβει μεταδόσεις από τον άλλο, χωρίς όμως να ισχύει και το αντίθετο.

1.4 Κλιμάκωση

Δεδομένου ότι τα ad-hoc δίκτυα συνήθως δεν επιτρέπουν τους ίδιους τρόπους άθροισης πληροφοριών που προσφέρονται στα συνήθη πρωτόκολλα δρομολόγησης του διαδικτύου, είναι ευάλωτα σε προβλήματα κλιμάκωσης. Η άθροιση πληροφοριών και η διευθυνσιοδότηση που χρησιμοποιούνται για τη δρομολόγηση εντός της δομής του δικτύου δεν είναι βασισμένα στο IP. Συνεπώς, τα ad-hoc πρωτόκολλα που είναι βασισμένα στο IP πρέπει να χρησιμοποιούν πρόσθετη μνήμη για την αποθήκευση των πινάκων δρομολόγησης και κύκλους επεξεργαστή για την αναζήτησή τους.

Δεδομένου ότι με την κίνηση των σταθμών η δρομολόγηση μεταβάλλεται, θα πρέπει να αποστέλλονται μηνύματα ελέγχου σε όλο το δίκτυο για την αναπαράσταση των τρεχουσών πληροφοριών διασυνδεσιμότητας. Αυτά τα μηνύματα ελέγχου είναι πιθανό να μεταδίδονται με μεγαλύτερη συχνότητα εάν οι σταθμοί κινούνται ταχύτερα ο ένας σε σχέση με τον άλλο, επειδή τότε οι συνδέσεις μεταξύ των σταθμών θα χάνονται ή θα δημιουργούνται συχνότερα. Ο αυξημένος αριθμός μηνυμάτων ελέγχου δημιουργεί πρόσθετο φορτίο στο διαθέσιμο εύρος ζώνης επικοινωνίας, γεγονός που συνήθως αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα για την επικοινωνία μεταξύ των ασύρματων σταθμών.

Παραδείγματος χάρη, τα πρωτόκολλα που υπολογίζουν εξ' αρχής ολόκληρη την τοπολογία του δικτύου κάθε φορά που λαμβάνεται μια καινούρια ενημέρωση διαδρομής δρομολόγησης, ενδέχεται να απαιτούν μεγάλους χρόνους σύγκλισης κάθε φορά που ένας σταθμός δημιουργεί ή διακόπτει μια σύνδεση με έναν από τους γείτονές του. Η επεξεργασία των δεδομένων σε μια τέτοια ενημέρωση των στοιχείων δρομολόγησης πρέπει να γίνεται σε πολύ λιγότερο χρόνο από το μέσο χρόνο μεταξύ των γεγονότων που προκαλούνται από την κινητικότητα των σταθμών. Αλλιώς, το ad-hoc δίκτυο μπορεί να μην σταθεροποιηθεί ποτέ. Η αστάθεια της διαδρομής είναι πιθανή αιτία βρόχων στις διαδρομές δρομολόγησης, οι οποίοι μπορεί να προκαλέσουν άσκοπη κατανάλωση του εύρους ζώνης επικοινωνίας [2].

1.5 Ασφάλεια

Όταν οι μεταδόσεις εκπέμπονται μέσω ραδιοφωνικών κυμάτων, η υποκλοπή και η ψευδοπροσωπία είναι πολύ εύκολο να γίνει από κάποιον σταθμό που διαθέτει έναν πομπό και για το λόγο αυτό πρέπει να γίνει χρήση πρόσθετων μηχανισμών για την προστασία των επικοινωνιών. Το πρότυπο 802.11 για ασύρματες επικοινωνίες LAN εισήγαγε το πρωτόκολλο Wired Equivalent Privacy (WEP). σε μια προσπάθεια να αντιμετωπίσει αυτά τα νέα προβλήματα και να φέρει το επίπεδο ασφαλείας των ασύρματων συστημάτων πιο κοντά στο αντίστοιχο των ενσύρματων. Πέρα από το επίπεδο 2. τα δίκτυα 802.11 HR WLAN υποστηρίζουν τα ίδια πρότυπα ασφαλείας με αυτά που υποστηρίζονται από άλλα δίκτυα 802 LAN για έλεγχο πρόσβασης (όπως είναι οι προσβάσεις λειτουργικών συστημάτων δικτύου) και κρυπτογράφηση (όπως είναι το IPSec ή η κρυπτογράφηση σε επίπεδο εφαρμογής). [2].

Το πρωτόκολλο WEP κάνει χρήση ενός πεδίου άθροισματος ελέγχου ακεραιότητας προκειμένου να διασφαλίσει ότι τα πακέτα δεν τροποποιούνται κατά την μεταφορά. Το άθροισμα ελέγχου εφαρμόζεται ως άθροισμα ελέγχου CRC-32, το οποίο είναι μέρος ενός κρυπτογραφημένου φορτίου του πακέτου. Ωστόσο, ένα άθροισμα ελέγχου CRC δεν επαρκεί για να διασφαλίσει ότι ένας εισβολέας δεν μπορεί να παρέμβει σε ένα μήνυμα: δεν είναι κρυπτογραφικά ασφαλής κώδικας αυθεντικότητας. Τα CRC είναι σχεδιασμένα για να ανιχνεύουν τα τυχαία σφάλματα σε ένα μήνυμα και δεν είναι ανθεκτικά σε εσκεμμένες επιθέσεις. Όπως φαίνεται, η αδυναμία αυτή του CRC επιβαρύνεται περαιτέρω από το γεγονός ότι το φορτίο μηνύματος κρυπτογραφείται με τη χρήση κρυπτογραφήματος στοιχείοσειράς.

1.6 Ασυνδεσιμότητα

Η καθολική διασυνδετικότητα ασύρματων δικτύων που προκύπτει από τα τωρινά κινητά συστήματα που συνδέονται με το διαδίκτυο είναι ένα σημαντικό έργο και η

προσφορά κατάλληλου επιπέδου υποστήριξης για τις ποικίλες συσκευές ασύρματης επικοινωνίας είναι πολύ σημαντική. Η αναπροσαρμογή ενός ασύρματου δικτύου είναι πλέον πολύ σημαντική διαδικασία καθώς επίσης και η αναζήτηση τρόπων παροχής υπηρεσιών περιαγωγής μεταξύ μη συμβατών δικτύων. Πολλοί πιστεύουν ότι μια αναγκαία κατεύθυνση για την επίλυση αυτών των προβλημάτων είναι η ανάπτυξη ενός επιπέδου σύγκλισης για τις ασύρματες συσκευές παράλληλα με την δημιουργία μιας σειράς API πέρα από τα επίπεδα μεταφοράς και δικτύωσης του IP. Η εξέλιξη της διασυνδεσιμότητας των επιπέδων ενός ασύρματου δικτύου θα προσφέρει δυνατότητες πρόωθησης πληροφοριών για την κατάσταση του ασύρματου μέσου επικοινωνίας στα υψηλότερα επίπεδα των εφαρμογών και θα επιτρέψει την εναρμονισμένη ενσωμάτωση συγχρονισμένων υπηρεσιών επικοινωνίας με αντίστοιχες ασύγχρονες υπηρεσίες [2].

1.7 Μοντέλα Ad-hoc Δικτύων

Έχουν χρησιμοποιηθεί ποικίλα (διαφορετικά μεταξύ τους) μοντέλα για τη μελέτη καταναμημένων αλγορίθμων στο περιβάλλον κινητού υπολογισμού. Η επιλογή ενός ιδιαίτερου μοντέλου εξαρτάται συνήθως από το πρόβλημα που μελετάται και τον τύπο του αλγορίθμου που παρουσιάζεται. Εξετάζουμε καταναμημένους αλγόριθμους για το πρόβλημα της βασικής επικοινωνίας σε ad-hoc κινητά δίκτυα, εστιάζουμε όσο το δυνατόν περισσότερο σε συγκεκριμένα μοντέλα για τέτοιου είδους δίκτυα [4].

Ένα ad-hoc δίκτυο εξαρτάται από τις ανάγκες επικοινωνίας. Έτσι δε χρειάζεται απαραίτητα βοήθεια κάποιας προϋπάρχουσας δικτυακής υποδομής ή κεντροποιημένης διαχείρισης. Για παράδειγμα, κάποιος θα μπορούσε να ενεργοποιήσει 10 φορητούς υπολογιστές, καθένα με το ίδιο είδος ασύρματου εξοπλισμού μεταδόσεων δεδομένων, ευελπιστώντας ότι θα μπορέσουν να σχηματίσουν μεταξύ τους ένα δίκτυο. Στην πραγματικότητα, μια τέτοια δυνατότητα είναι χρήσιμη ακόμα και την περίπτωση που οι εν λόγω (φορητοί) υπολογιστές είναι στατικοί.

Μια άλλη πτυχή ενός τέτοιου δικτύου αφορά την εξέταση της εμβέλειας

ασύρματης μετάδοσης, εάν δηλαδή αυτή πρέπει να είναι μεγάλη ή μικρή σε σχέση με τη γεωγραφική κατανομή των φορητών συσκευών. Στην περίπτωση που κάθε ασύρματος σταθμός βρίσκεται εντός της εμβέλειας μετάδοσης όλων των άλλων, δεν απαιτείται κανενός είδους δρομολόγηση καθώς το δίκτυο είναι συνεκτικό. Παρόλο που αυτή η κατάσταση φαίνεται να είναι η πιο επιτυχής, ωστόσο δεν παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον όσον αφορά στο πρόβλημα της δρομολόγησης. [4].

Επιπρόσθετα, προκύπτουν ζητήματα κατανάλωσης ισχύος, καθώς η ισχύς που απαιτείται για την διατήρηση πλήρους συνεκτικότητας μπορεί να είναι μη πρακτική και στην πραγματικότητα να γίνεται μεγάλη σπατάλη των αποθεμάτων ενέργειας των σταθμών. Κατά συνέπεια, επικεντρωνόμαστε στα μοντέλα που προσφέρουν λύσεις σε περιπτώσεις όπου κάποιοι από τους ασύρματος σταθμούς βρίσκονται εκτός της ακτίνας μετάδοσης κάποιων άλλων. Σε συνδυασμό με την έλλειψη συσκευών δρομολόγησης ενός δικτύου υποδομής, η περιορισμένη εμβέλεια των ασύρματων συσκευών δημιουργεί την ανάγκη για δρομολόγηση σε πολλαπλά βήματα.

Θα μπορούσαμε να μοντελοποιήσουμε ένα ad-hoc δίκτυο ως μια συλλογή από σημεία στον 2-διάστατο (ή 3-δι άστατο) Ευκλείδειο χώρο, όπου κάθε σημείο αντιπροσωπεύει έναν σταθμό του δικτύου. Κάθε σταθμός χαρακτηρίζεται από την υπολογιστική και επικοινωνιακή του ισχύ. Η υπολογιστική δύναμη ενός σταθμού καθορίζει τα δύο βασικά ζητήματα της ασύρματης επικοινωνίας: το επίπεδο κωδικοποίησης και κρυπτογράφησης. Τα επίπεδα επικοινωνίας του δικτύου καθορίζονται από τα χαρακτηριστικά διάδοσης του ασύρματος καναλιού και του περιβάλλοντος, καθώς και από την ισχύ της μπαταρίας και τις ικανότητες ελέγχου ισχύος που διαθέτει κάθε σταθμός. Η μοντελοποίηση του ασύρματος ράδιο καναλιού είναι ένα σύνθετο ζήτημα καθώς το ασύρματο μέσο είναι ευαίσθητο σε απώλεια σήματος, θόρυβο, παρεμβολή και ανακοπή μετάδοσης λόγω φυσικών εμποδίων. Στην ενότητα αυτή εξετάζουμε μοντέλα που προσεγγίζουν το ασύρματο ράδιο-κανάλι αφαιρετικά και επομένως απομονώνουν το επίπεδο ελέγχου πολλαπλής πρόσβασης (MAC) από του δικτύου [53].

1.8 Ασύρματη διάδοση και παρεμβολή

Η μοντελοποίηση του ασύρματου ράδιο καναλιού είναι ένα σύνθετο ζήτημα καθώς το ασύρματο μέσο παρουσιάζεται ευαίσθητο στην απώλεια σήματος, στο θόρυβο, στη παρεμβολή και ανακοπή μετάδοσης λόγω των φυσικών εμποδίων. Η απώλεια σήματος είναι ο λόγος της λαμβανόμενης ισχύος προς την εκπεμπόμενη ισχύ και επηρεάζει την ποιότητα του λαμβανόμενου σήματος ενώ αποτελεί συνάρτηση της απόστασης διάδοσης. Εάν P_R είναι η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος, και P_T είναι η εκπεμπόμενη ισχύς, τότε υπό συνθήκες ελεύθερου χώρου (καθαρή, συνεχής οπτική επαφή), έχουμε

$$P_R = \mathcal{O}\left(\frac{P_T}{d^\alpha}\right) \quad (1.1.)$$

Η παραπάνω εξίσωση εξαρτάται από την απόδοση της κεραίας και τη συχνότητα μετάδοσης, και συνήθως $\alpha = 2$.

Σημειώνουμε, επίσης, ότι οι τιμές αυτών των σταθερών εξαρτώνται ακόμη από τις μονάδες που χρησιμοποιούνται για την έκφραση των διαφορετικών παραμέτρων (όπως P_R , P_T και d). Όμως, σε πραγματικά περιβάλλοντα, οι συνθήκες είναι διαφορετικές και το σήμα αντιμετωπίζει ανακλάσεις, διασπορά, και διάθλαση από τα κτήρια, από το έδαφος και από άλλα φυσικά εφόδια. Συχνά, για την μοντελοποίηση τέτοιων συνθηκών που απεικονίζουν την πραγματικότητα, σε αυτό το απλό εκθετικό μοντέλο διάδοσης, το α κυμαίνεται από 2 ως 4. Εκτός από την απώλεια σήματος, ο ρυθμός σφάλματος ανά bit μιας μετάδοσης και η ποιότητα της λήψης σε οποιοδήποτε σταθμό, εξαρτάται από την ισχύ του θορύβου καθώς και από την ισχύ μετάδοσης που χρησιμοποιούν οι γειτονικοί σταθμοί που μπορεί να μεταδίδουν ταυτόχρονα με τον σταθμό u (υποθέτοντας ότι όλοι οι σταθμοί μεταδίδουν στην ίδια ζώνη συχνοτήτων). Παρουσιάζουμε τρία απλά μοντέλα που περιγράφουν τις συνθήκες για την επίτευξη μιας επιτυχημένης μετάδοσης. Έστω ότι $\{X_k, k \in T\}$ ένα σύνολο σταθμών που μεταδίδουν ταυτόχρονα σε κάποια χρονική στιγμή. [53].

Έστω ότι P_k είναι το επίπεδο ισχύος που επιλέγεται από τον σταθμό X_k , για κάθε $k \in T$. Τότε, σύμφωνα με το φυσικό μοντέλο, η μετάδοση από έναν σταθμό X , παραλαμβάνεται επιτυχώς από έναν σταθμό Y αν

$$\frac{P_i}{d(X_i, Y)^\alpha} \geq N + \sum_{k \in T, k \neq i} \frac{P_k}{d(X_k, Y)^\alpha} \geq \beta \quad (1.2.)$$

όπου το β καθορίζει τη κατωφλιακή τιμή του λόγου παρεμβολής για τις επιτυχείς λήψεις, και N είναι το επίπεδο ισχύος θορύβου (ο θόρυβος μοντελοποιείται συνήθως ως "λευκό" σήμα Gauss), κανονικοποιημένο στις κατάλληλες μονάδες. Η παράμετρος β τυπικά παίρνει τιμές μεταξύ 0,1 και 10, ανάλογα με την τεχνολογία ασύρματης μετάδοσης που χρησιμοποιείται. Συχνά, επίσης, εκφράζεται σε decibels. Σε αυτήν την περίπτωση, το β είναι ένα κάτω όριο για το ένα δέκατο του λογαρίθμου του αριστερού μέρους της εξίσωσης (1.2). Η τιμή του β εξαρτάται από τα σχήματα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που χρησιμοποιούνται.

Η εξίσωση (1.2) αντιπροσωπεύει ένα κάπως απαισιόδοξο μοντέλο μετάδοσης. Υποθέτει ότι τα σήματα από όλες τις πηγές

$$\{X_k : k \neq i\}$$

επιδρούν αρνητικά στο σήμα του X_k . Στην πράξη, οι παρεμβολές μεταξύ των σημάτων ακυρώνουν το ένα το άλλο. με αποτέλεσμα η επίδραση της παρεμβολής τους να είναι μικρή, συγκρινόμενη ακόμα και με το σήμα θορύβου.

Ένα πιο αισιόδοξο υψηλού επιπέδου μοντέλο που θεωρεί μόνο ανά ζεύγη παρεμβολές είναι το ακόλουθο. Κάτω από το μοντέλο πρωτοκόλλου, η μετάδοση από έναν σταθμό X , λαμβάνεται από έναν σταθμό Y εάν:

$$\frac{P_t}{d(X_i, Y)^\alpha} \geq (1 + \Delta) \frac{P_t}{d(X_k, Y)^\alpha} \quad (1.3.)$$

για κάθε άλλο σταθμό X_k που μεταδίδει ταυτόχρονα πάνω από το ίδιο εύρος ζώνης μετάδοσης, όπου $\Delta > 0$ είναι μια ουδέτερη ζώνη, που εξασφαλίζει το πρωτόκολλο, για την αποτροπή παρεμβολής κατά την μετάδοση. Εάν υποθέσουμε ότι η ισχύς μετάδοσης όλων των σταθμών είναι ίδια και σταθερή, τότε η εξίσωση (1.3) μπορεί να διατυπωθεί ως ένα ελάχιστο απαιτούμενο όριο στον λόγο του $d(X_k, Y)$ και $d(X_i, Y)$. Σε μια άλλη παραλλαγή της εξίσωσης (1.3). υποθέτουμε ότι η μετάδοση από έναν σταθμό X , με ισχύ P , εμποδίζει όλους τους σταθμούς που επικοινωνούν' με τον X , με ισχύ $(1 + \Delta)P_i$ [1].

1.9 Αναφορά στα Δίκτυα MANET

Τα αδόμητα ασύρματα κινητά δίκτυα (Mobile ad hoc networks) MANETs είναι δίκτυα ad hoc στα οποία οι συσκευές που αποτελούν του κόμβους είναι κινητές. Υπάρχουν και αναφορές σε αυτά ως «Multihop Wireless Ad Hoc Networks», που σημαίνει κινητά ad hoc ασύρματα δίκτυα πολλαπλών αλμάτων, καθώς οι διαδρομές μεταξύ των κόμβων χρειάζονται συνήθως περισσότερα από ένα άλματα, κάτι που δεν συμβαίνει στα απλά ασύρματα δίκτυα.

Η έννοια των δικτύων MANET αποτελεί μια προσπάθεια να επεκταθεί η έννοια της κινητικότητας σε όλα τα μέρη του περιβάλλοντος. Αντίθετα με τα δίκτυα που βασίζονται στην κυψελοειδή επικοινωνία, σε αυτά τα δίκτυα δεν υπάρχει κεντρικός συντονισμός, αλλά οι κινητοί κόμβοι παρέχουν από μόνοι τους την υποδομή του δικτύου σε μια βάση «κατά παραγγελία» (ad hoc) [7].

Τα δίκτυα MANET είναι στην ουσία το όνομα μιας ομάδας εργασίας του διαδικτύου (IETF) που δημιουργήθηκε το 1998 με σκοπό να τυποποιήσει πρωτόκολλα

δρομολόγησης βασισμένα στην τεχνολογία πρωτοκόλλου του Internet, για ad hoc, δίκτυα, κινητά δίκτυα και άλλα. Σύμφωνα με αυτό το όνομα MANET χρησιμοποιείται έκτοτε για να περιγράψει κάθε είδους ad hoc και κινητά δίκτυα.

Γενικά ένα δίκτυο MANET δημιουργείται με έναν δυναμικό τρόπο από ένα αυτόνομο σύστημα κινητών κόμβων που συνδέονται με ασύρματες συνδέσεις, χωρίς την ανάγκη μιας εξωτερικής υποδομής ή μιας κεντρικής οργάνωσης. Για να επιτευχθεί αυτό, χρησιμοποιείται μια τεχνική άλματος («hopping»). Επομένως, ο προσανατολισμός ενός δικτύου MANET εξαρτάται από τη συνεργασία όλων των στοιχείων του.

Ο ορισμός για ένα δίκτυο MANET αναφέρει ότι «είναι ένα αυτόνομο σύστημα κινητών στοιχείων (routers) και αντίστοιχων κόμβων (hosts) που συνδέονται με ασύρματους συνδέσμους. Οι κόμβοι είναι ελεύθεροι να κινούνται τυχαία και να αυτό-οργανώνονται αυθαίρετα, πράγμα που σημαίνει ότι η τοπολογία του δικτύου μπορεί να αλλάζει ραγδαία και με μη προβλέψιμο τρόπο» [7]. Ένα δίκτυο αυτού του τύπου μπορεί να λειτουργεί αυτόνομα ή μπορεί να συνδέεται στο διαδίκτυο. Πρόκειται για έναν τύπο δικτύου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές, καθώς δεν χρειάζεται να υπάρχει υποδομή. Ένα MANET αποτελείται από κινητούς κόμβους συνδεδεμένους μέσω ραδιοσυνδέσεων χωρίς να διαθέτει σταθερή ή κεντρική υποδομή και διαχείριση. Η επικοινωνία πραγματοποιείται απευθείας μεταξύ κόμβων ή μέσω ενδιάμεσων κόμβων που λειτουργούν ως δρομολογητές. Το βασικό πλεονέκτημα αυτού του τύπου δικτύου είναι η ταχύτητα με την οποία μπορεί να αναπτυχθεί, η αξιοπιστία του, η ευελιξία και την ικανότητά του να αντιμετωπίζει την κινητικότητα των κόμβων.

Σε ορισμένα περιβάλλοντα όπου χρησιμοποιούνται τα δίκτυα MANET η χρήση αφορά για παράδειγμα, στρατιωτικές επικοινωνίες, εθνικές κρίσεις, ή φυσικές καταστροφές, και γενικότερα καταστάσεις όπου τα ενσύρματα δίκτυα δεν είναι διαθέσιμα. Σε τέτοιες περιπτώσεις, τα ad hoc δίκτυα είναι τα μόνα διαθέσιμα μέσα για την επικοινωνία και την πρόσβαση στις πληροφορίες. Επιπλέον, τα ad hoc δίκτυα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο σε περιστάσεις όπως είναι πολιτικά φόρουμ διασκέψεις και συνέδρια, ή ηλεκτρονικές τάξεις. Τα ad hoc δίκτυα μπορούν να θεωρηθούν ως ασύρματο Internet όπου οι χρήστες είναι ελεύθεροι να κινούνται

γεωγραφικά ενώ συγχρόνως διατηρούν τη δυνατότητα σύνδεσης με τον υπόλοιπο κόσμο.

Η επιτυχής υλοποίηση του ad hoc ασύρματου δικτύου είναι μια τεχνολογία που αποτελεί πρόκληση με διαφορετικές απαιτήσεις από εκείνες των παραδοσιακών ασύρματων ή ενσύρματων δικτύων [7].

1.10 Χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα των MANET

Τα ad hoc δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οποιαδήποτε εξωτερικό περιβάλλον. Από την άποψη αυτή, η ανάπτυξη ενός ad hoc δικτύου είναι απλή: η μόνη απαίτηση είναι ένας ορισμένος αριθμός τερματικών σε ένα συγκεκριμένο χώρο. Επίσης είναι γρήγορο και γίνεται λειτουργικό τη στιγμή που όλα τα τερματικά είναι παρόντα.

Τα χαρακτηριστικά ενός τέτοιου δικτύου περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

Απουσία υποδομής. Τα δίκτυα ad hoc διακρίνονται από άλλους τύπους κινητών δικτύων από την απουσία προϋπάρχουσας υποδομής και οποιασδήποτε μορφής κεντρικής διαχείρισης. Οι κόμβοι του ad hoc κινητού δικτύου είναι υπεύθυνοι για τη δημιουργία και τη συντήρηση της συνδεσιμότητας μέσω του δικτύου σε συνεχή βάση.

Δυναμική τοπολογία. Οι κινητές μονάδες που απαρτίζουν το δίκτυο μετακινούνται ελεύθερα και αυθαίρετα, με τη δυνατότητα να ενταχθούν ή να εγκαταλείψουν το δίκτυο ανά πάσα στιγμή. Ως αποτέλεσμα, στο δίκτυο η τοπολογία μπορεί να αλλάξει γρήγορα και τυχαία σε κάθε περίπτωση. Μέσα στην τοπολογία του δικτύου, οι συνδέσεις μπορούν να είναι μονόδρομες ή αμφίδρομες.

Περιορισμένο εύρος ζώνης, μεταβλητή χωρητικότητα συνδέσεων: Το εύρος ζώνης είναι περιορισμένο σε σύγκριση με αυτό που προσφέρεται από το ενσύρματο δίκτυο, καθώς το εύρος του καναλιού μετάδοσης διαμοιράζεται. Η συμφόρηση είναι μια

σημαντική συνέπεια του περιορισμένου εύρους ζώνης, ένα πρόβλημα που δεν υποστηρίζεται από τη διάχυση. Στην πραγματικότητα, κάθε πακέτο που μεταδίδεται σε σταθμό που βρίσκεται ήδη στη διαδρομή επικοινωνίας θα μεταβάλει την επικοινωνία αυτού του σταθμού.

Περιορισμοί ενέργειας. Οι φορητοί κόμβοι τροφοδοτούνται από αυτόνομες πηγές ενέργειας, για παράδειγμα, μπαταρίες ή άλλες αναλώσιμες πηγές. Η παράμετρος ενέργειας είναι αρκετά σημαντική δεδομένου ότι επηρεάζει το προσδόκιμο ζωής του δικτύου: οι κόμβοι πρέπει να προσαρμόσουν την κατανάλωση ενέργειας τους για να φτάσουν σε γειτονικούς κόμβους ή σε κάποιο προορισμό. Για το λόγο αυτό, η παράμετρος της ενέργειας πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε όλες τις παραμέτρους παρακολούθησης στο σύστημα.

Περιορισμένη ασφάλεια. Τα MANETs επηρεάζονται περισσότερο από τις παραμέτρους της ασφάλειας από τα κλασικά ενσύρματα δίκτυα. Στην περίπτωση των ενσύρματων δικτύων το δίκτυο μπορεί να έχει εύκολα ασφάλεια, χάρη στην παρουσία μιας κεντρικής οργάνωσης. Αντίθετα, στα ad hoc δίκτυα δεν υπάρχει ο ρόλος του κεντρικού διαχειριστή και δεν έχουν τέτοιου είδους ασφάλεια. Για να αντισταθμιστεί αυτό το πρόβλημα, - η παρακολούθηση των μεταφερθέντων δεδομένων πρέπει να ελαχιστοποιείται.

1.11 Αναφορά στα Δίκτυα VANET

Τα δίκτυα VANET είναι ad hoc ασύρματα δίκτυα που σχηματίζονται από αυτοκίνητα (κινούμενα οχήματα) τα οποία επικοινωνούν μεταξύ τους και ανταλλάσσουν πληροφορίες. Ο ονομασία VANET αποτελεί ένα ακρωνύμιο των λέξεων vehicular ad-hoc networks που στην ουσία ερμηνεύεται ως αδόμητο δίκτυο οχημάτων. Τα VANETs, παρόμοια όπως τα MANETs, περιλαμβάνουν έναν μεταβλητό αριθμό κινούμενων κόμβων. Σχηματίζεται έτσι ένα ad hoc δίκτυο, στο οποίο οι κόμβοι/οχήματα επικοινωνούν χωρίς να έχουν κάποια εξάρτηση στην υποδομή ή σε σταθμό βάσης.

Παρόλα αυτά, σε ένα VANET συμπεριλαμβάνονται και σταθεροί σταθμοί βάσης (RSUs) οι οποίοι παρέχουν υποστήριξη προκειμένου να γίνει εφικτός ο σχηματισμός του δικτύου, όπως και για την εγκαθίδρυση επικοινωνίας με την υποδομή. Οι μονάδες της βάσης βρίσκονται εγκατεστημένες σε καθορισμένα σημεία στο δρόμο κι έχουν επικοινωνία με τους κινητούς κόμβους (αυτοκίνητα) και μεταξύ τους [10].

Το πεδίο των εφαρμογών κινητών δικτύων και των τεχνολογιών μεταξύ δικτύων (VANET) μέσω άμεσης επικοινωνία όχημα-με-όχημα (vehicle-to-vehicle) και οχήματος-υποδομής (vehicle-to-infrastructure) προσπαθεί να αξιοποιήσει τη δύναμη της πανταχού παρούσας επικοινωνίας προς όφελος της ασφάλειας της κυκλοφορίας και της αποδοτικότητας των μεταφορών [10]. Η έννοια του κόμβου σε ένα VANET είναι η έννοια ενός οχήματος σε μια αστική ή μη περιοχή. Στην πραγματικότητα, ένα δίκτυο VANET είναι μια υποπερίπτωση του δικτύου MANET, που έχει μια περισσότερο προβλέψιμη κίνηση και περισσότερες απαιτήσεις αναφορικά με την αξιοπιστία της επικοινωνίας και της ασφάλειας και που αφορά μια κατηγορία εφαρμογών.

Υπάρχουν διαφορές μεταξύ του VANET και του MANET που αφορούν, μεταξύ άλλων, το μέγεθος και την ταχύτητα κίνησης των κόμβων. Σε ένα VANET οι κόμβοι έχουν μεγαλύτερο μέγεθος και μεγαλύτερη ταχύτητα [8][9]. Επιπλέον, ενώ σε ένα δίκτυο MANET οι κόμβοι κινούνται σε τυχαίες κατευθύνσεις, σε να VANET υπάρχουν μοντέλα κίνησης για τους κόμβους και οι τροχιές δεν είναι δυνατόν να παρεκκλίνουν από αυτά. Παραδείγματα τέτοιων μοντέλων είναι το οδικό δίκτυο και ο σχεδιασμός του, οι κανόνες που διέπουν την κυκλοφορία, η ροή της κίνησης κ.α. Μια άλλη διαφορά είναι η ενεργειακή εξάρτηση των κινούμενων κόμβων, καθώς τα οχήματα στα VANET διαθέτουν μπαταρία για τις ενεργειακές τους ανάγκες.

Στα VANET υπάρχουν τρεις τύποι επικοινωνιών:

A. V2V (Vehicle to Vehicle communication): (όχημα με όχημα). Επικοινωνία μεταξύ οχημάτων.

B. V2R (Vehicle to Roadside communication / Vehicle to infrastructure communication): Επικοινωνία μεταξύ οχημάτων - υποδομών στο δρόμο.

C. Intervehicle communication: Επικοινωνία που περιλαμβάνει τους δύο

προηγούμενους τύπους (V2V και V2R).

Σε μια απλοϊκή αναπαράσταση, η βασική ιδέα σε ένα δίκτυο VANET προσομοιάζει με αυτήν ενός απλού δικτύου ευρείας περιοχής WLAN, το οποίο συνδέει υπολογιστές διαφόρων ειδών και μεγεθών μεταξύ τους και με το διαδίκτυο, με αρκετές, βέβαια βελτιώσεις. Αν και είναι εννοιολογικά απλός, ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη του VANET, αποτελεί, από τεχνική και οικονομική άποψη μια πρόκληση. Τα βασικά σημεία που χρήζουν προσοχής και αποτελούν προκλήσεις για τα δίκτυα VANET είναι τα ακόλουθα [10]:

Το πρώτο από αυτά είναι τα χαρακτηριστικά που κληρονομεί το δίκτυο από το κανάλι ραδιομετάδοσης. Ένα δίκτυο VANET παρουσιάζει σενάρια με χαρακτηριστικά που δυσχεραίνουν τις ασύρματες επικοινωνίες, όπως είναι πολλαπλά αντανακλώντα αντικείμενα ικανά να υποβαθμίσουν τη δύναμη και την ποιότητα του λαμβανόμενου σήματος. Επιπλέον, λόγω της κινητικότητας των γύρω αντικειμένων και του αποστολέα και του λήπτη, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα φαινόμενα εξασθένησης του σήματος.

Ένα ακόμα χαρακτηριστικό, είναι η έλλειψη μιας κεντρικής διαχείρισης και συντονισμού. Η ισομερής και αποτελεσματική χρήση του διαθέσιμου εύρους ζώνης του ασύρματου καναλιού είναι δύσκολο έργο σε ένα απολύτως αποκεντρωμένο και αυτόνομο δίκτυο. Η έλλειψη μιας οντότητας που είναι σε θέση να συγχρονίζει και να διαχειρίζεται τα συμβάντα μετάδοσης των διαφορετικών κόμβων ενδέχεται να έχει ως αποτέλεσμα μια λιγότερο αποτελεσματική χρήση του καναλιού και ένα μεγάλο αριθμό συγκρούσεων μεταξύ πακέτων.

Μια τρίτη πρόκληση που πρέπει να αντιμετωπίσουν τα δίκτυα VANET είναι η υψηλή κινητικότητα, απαιτήσεις επεκτασιμότητας, και η μεγάλη ποικιλία περιβαλλοντικών συνθηκών. Οι προκλήσεις ενός αποκεντρωμένου δικτύου αυτο-οργάνωσης δοκιμάζονται ιδιαίτερα από τις υψηλές ταχύτητες που μπορούν να έχουν οι κόμβοι στο VANET. Η μεγάλη τους κινητικότητα αποτελεί μεγάλη πρόκληση για τους περισσότερους επαναληπτικούς αλγόριθμους βελτιστοποίησης που στοχεύουν την καλύτερη αξιοποίηση του εύρους ζώνης του καναλιού ή της χρήσης προκαθορισμένων διαδρομών για την προώθηση δεδομένων.

Επιπλέον, υπάρχουν ανάγκες ασφάλειας και ιδιωτικότητας. Υπάρχει η δυσκολία να ισορροπήσει κάποιος τις ανάγκες της ασφάλειας με αυτές της προστασίας της ιδιωτικότητας: Από τη μια πλευρά οι λήπτες επιθυμούν να έχουν την επιβεβαίωση ότι μπορούν να εμπιστευτούν την πηγή της λαμβανόμενης πληροφορίας και από την άλλη η διαθεσιμότητα της πληροφορίας της ταυτότητας του αποστολέα για λόγους ασφάλειας, μπορεί να έρχεται σε σύγκρουση με τις απαιτήσεις μυστικότητας του ίδιου του αποστολέα.

Η τυποποίηση έναντι της ευελιξίας είναι ένα ακόμα ζήτημα που εξετάζεται στα δίκτυα VANET. Χωρίς αμφιβολία, υπάρχει ανάγκη για τυποποίηση των επικοινωνιών ώστε να καταστεί δυνατόν στα VANET να λειτουργούν με ποικίλους κατασκευαστές και μοντέλα εξοπλισμού. Οι κατασκευαστές, από την άλλη ενδέχεται να επιθυμούν να δημιουργήσουν κάποια διαφοροποίηση προϊόντων για περισσότερη ευελιξία, κάτι που δημιουργεί δυσκολίες.

Από κοινωνικο-οικονομικής πλευράς, υπάρχουν επίσης κάποιες προκλήσεις όπως το ότι η ενσωμάτωση των VANET σε αρχιτεκτονικές έξυπνων συστημάτων μεταφοράς θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη και άλλα στοιχεία που υπάρχουν στα συστήματα μεταφοράς, όπως είναι οι φωτεινοί σηματοδότες και η ιδιωτική συμπεριφορά στην κίνηση, κάτι που κάνει απαραίτητη την ανάπτυξη πραγματικά συνεργατικών συστημάτων. Επίσης, μια οικονομική διάσταση του θέματος είναι το ιδιοκτησιακό καθεστώς ενός δικτύου VANET, καθώς δεν είναι απλό να πειστεί κάποιος να επενδύσει σε ένα δίκτυο ή μέρος δικτύου και επίσης θα έχει δυσκολίες στο να βρει έναν συνεργάτη επικοινωνίας.

1.12 Απαιτήσεις επικοινωνίας στα VANET

Στο πιο βασικό επίπεδο, ο στόχος των ασύρματων επικοινωνιών μεταξύ των οχημάτων για τις εφαρμογές ασφάλειας είναι να μοιράζονται τις τρέχουσες θέσεις των οχημάτων, τις ταχύτητες και τις επιταχύνσεις. Τα περισσότερα οχήματα εξοπλίζονται στις μέρες μας με αισθητήρες για τη μέτρηση της ταχύτητας και της επιτάχυνσης. Για τις εφαρμογές ασφαλείας των οχημάτων η εγκατάσταση της ασύρματης επικοινωνίας που είναι ικανή να υποστηρίζει ανταλλαγή μηνυμάτων ευρείας ζώνης και χαμηλού σφάλματος θα εναπόκειται στους κατασκευαστές των οχημάτων, γνωστών ως κατασκευαστές αυθεντικού εξοπλισμού (original equipment manufacturers OEMs)[10].

Για την επικοινωνία που σχετίζεται με θέματα που δεν είναι κρίσιμα σε σχέση με το χρόνο όπως είναι αυτά που αφορούν την άνεση, την κινητικότητα ή το περιβάλλον, είναι πιθανό οι OEMs να ανταγωνίζονται εταιρείες τηλεπικοινωνιών που χρησιμοποιούν Wi-Fi, WiMAX, και κυψελοειδείς ασύρματες τεχνολογίες. Οι απαιτήσεις επικοινωνίας για τον εφαρμογές συνεργατικής ασφάλειας (ασφάλειας που από κοινού επιδιώκουν οι κινούμενοι κόμβοι) είναι το πιο σοβαρό σημείο για τα VANET. Αυτές αναφέρονται σε χαμηλού σφάλματος διάδοση των μηνυμάτων μεταξύ οχημάτων και μεταξύ οχημάτων και υποδομής. Δεδομένου ότι ο χρόνος είναι καίριας σημασίας για αυτά τα συστήματα η καθυστέρηση της πληροφορίας την καθιστά πολύ λιγότερο χρήσιμη. Έτσι, ο χρόνος απόκρισης του συστήματος θα πρέπει να είναι της τάξης του χιλιοστού του δευτερολέπτου (milliseconds). Επίσης, όλες οι επικοινωνίες πρέπει να είναι αυθεντικές. Η έλλειψη ασφαλών επικοινωνιών μειώνει την αξιοπιστία του συστήματος, κάνοντας με αυτόν τον τρόπο συμβιβασμούς για την ασφάλεια χάριν του διαμοιρασμού της πληροφορίας. Τέλος, οι εφαρμογές ασφάλειας απαιτούν ευέλικτη σύνθεση μηνυμάτων για την ικανοποίηση των απαιτήσεων για πληροφόρηση πολλαπλών εφαρμογών που εκτελούνται ταυτόχρονα [10].

1.13 Χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα των VANET

Τα χαρακτηριστικά των VANET συνοψίζονται στα ακόλουθα [11][12]:

Μεγάλη κλίμακα: Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα δίκτυα VANET είναι το υπόβαθρο για τα Ευφυή Συστήματα Μεταφορών, περιλαμβάνουν ένα μεγάλο πλήθος οχημάτων. Τα οχήματα αυτά είναι απαραίτητο να εξοπλιστούν με τις κατάλληλες συσκευές (On Board Units - OBUs) προκειμένου να πετύχουν την επικοινωνία μεταξύ τους. Επίσης θα χρειαστεί να εγκατασταθεί και ένα πλήθος σταθερών μονάδων (Roadside Units - RSUs) προκειμένου να έχουν επικοινωνία με την υποδομή και να δημιουργηθεί ένα ad hoc δίκτυο.

Υψηλή κινητικότητα: Καθώς οι κινούμενοι κόμβοι των δικτύων VANET είναι αυτοκίνητα, αυτοί αναπτύσσουν μεγάλες ταχύτητες που μπορεί να φτάσουν τα 50 Km/h εντός πόλεων και ενδεχομένως πάνω από 100 Km/h εκτός πόλης, σε αυτοκινητόδρομους.

Δυναμική τοπολογία: Η τοπολογία ενός δικτύου VANET μπορεί να αλλάξει συνεχώς και με γρήγορους ρυθμούς, λόγω της μεγάλης κινητικότητας των κόμβων και της αλλαγής στην κατεύθυνσή τους. Τα οχήματα σε ένα τέτοιο δίκτυο μπορούν να συνδεθούν ή αποσυνδεθούν σε μικρά χρονικά περιθώρια πολλές φορές μέσα στο δίκτυο. Αυτό κάνει την τοπολογία του δικτύου να είναι δυναμική, καθώς δεν μπορεί να έχει στατικά στοιχεία.

Προβλέψιμη κινητικότητα: Παρόλο που τα δίκτυα VANET παρουσιάζουν μεγάλη κινητικότητα των κόμβων, εν τούτοις, η κίνηση και η μελλοντική θέση των κόμβων είναι σε μεγάλο βαθμό προβλέψιμη. Αυτό, διότι μέσα στο δίκτυο τα οχήματα κινούνται σύμφωνα με ένα προκαθορισμένο σχέδιο και οι κινήσεις τους διέπεται από κανόνες. Παραδείγματα τέτοιων κανόνων και περιορισμών είναι τα όρια ταχύτητας, οι φωτεινοί σηματοδότες, και οι γενικότερες συνθήκες κυκλοφορίας που επικρατούν στο δίκτυο.

Απαιτήσεις για πληροφορίες τοποθεσίας: Στα δίκτυα VANET η μετάδοση των δεδομένων σχετίζεται με την τοποθεσία στην οποία αυτό βρίσκεται το δίκτυο και τα οχήματα. Τα

οχήματα, πέραν των OBU με τα οποία είναι εξοπλισμένα, διαθέτουν επίσης και ένα σύστημα GPS, το οποίο έχει τοποθετηθεί στο όχημα ή στην συσκευή OBU συσκευή που φέρει το όχημα και μέσω αυτού παρέχονται πληροφορίες για την τοποθεσία που βρίσκεται.

Απαιτήσεις σε ενέργεια: Ο σχεδιασμός των δικτύων VANET περιλαμβάνει τον εξοπλισμό των οχημάτων με μπαταρία η οποία παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια για την επικοινωνία και για την κατανάλωση λόγω των υπολογιστικών διεργασιών που συνεπάγεται η επεξεργασία των πληροφοριών στο δίκτυο. Συνεπώς, σε ένα τέτοιο δίκτυο δεν υπάρχουν απαιτήσεις σε ενέργεια.

Αλληλεπίδραση με ενσωματωμένους αισθητήρες: Οι κόμβοι στα δίκτυα VANET περιλαμβάνουν αισθητήρες, όπως και σύστημα GPS. Αυτά αξιοποιούνται για να παρέχουν τις απαραίτητες πληροφορίες προκειμένου να γίνει ο σχηματισμός των συνδέσεων επικοινωνίας και για τη μετάδοση των πληροφοριών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Εφαρμογές δικτύων MANET-VANET

Ένα κινητό δίκτυο και ένα δίκτυο οχημάτων μπορεί να βρει πλήθος εφαρμογών. Οι εφαρμογές αυτές αναφέρονται από παροχή υπηρεσιών, όπως είναι εντοπισμός σημείων ενδιαφέροντος (εστιατόρια, βενζινάδικα, ξενοδοχεία) ανταλλαγή μηνυμάτων, ενημέρωση, πρόγνωση του καιρού μέχρι εφαρμογές ασφαλείας και διαχείριση της κυκλοφορίας ή πλοήγηση και υπολογισμός βέλτιστης διαδρομής, και αυτόματη ηλεκτρονική πληρωμή διοδίων.

Οι πιο σημαντικές εφαρμογές αναφέρονται στον τομέα της ασφάλειας με κεντρικό σκοπό την αποφυγή των τροχαίων ατυχημάτων. Οι εφαρμογές μπορούν να παρέχουν έγκαιρη ενημέρωση στους οδηγούς για θέματα κυκλοφοριακής συμφόρησης, για απότομη μείωση της ταχύτητας των προπορευόμενων οχημάτων, για δυσχερείς συνθήκες καιρού ή οδοστρώματος, όπως και για εμπόδια που ενδεχομένως να υπάρχουν στη διαδρομή. Τέτοιου είδους πληροφορίες είναι δυνατόν να διαμοιραστούν στο δίκτυο των οχημάτων, που αποτελεί ένα κινητό δίκτυο, μέσω των τεχνολογιών V2V και V2I (ή V2R).

2.1 Εφαρμογές Οδικής Ασφάλειας

Οι εφαρμογές οδικής ασφάλειας επικεντρώνονται στην ελάττωση των τροχαίων ατυχημάτων και στην εξασφάλιση μιας περισσότερο ασφαλούς οδήγησης. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της διανομής πληροφοριών στο δίκτυο που αναφέρονται σε κινδύνους και εμπόδια. Το σκεπτικό στις εφαρμογές αυτές είναι να υποστηρίξουν τον οδηγό και να επεκτείνουν την αντίληψή του, δίνοντάς του τη δυνατότητα να αντιδράσει γρηγορότερα, καθώς έχει γνώση διαφόρων δεδομένων από το οδικό δίκτυο.

2.1.1 Εφαρμογές Ασφάλειας Υψηλής Προτεραιότητας

Οι εφαρμογές ασφάλειας που κατατάσσονται σε υψηλής προτεραιότητας περιλαμβάνουν μηνύματα και πληροφορίες σχετικές με αιφνίδια γεγονότα και προβλήματα που παρατηρήθηκαν στο δίκτυο και θα μπορούσαν να προκαλέσουν ατύχημα. Ο στόχος τους είναι να μεταδώσουν έγκαιρα την απαραίτητη πληροφόρηση στον οδηγό, έτσι ώστε να είναι σε θέση να αντιδράσει άμεσα και αποτελεσματικά. Σε κάποιες περιπτώσεις μπορούν επίσης να δράσουν με τέτοιο τρόπο ώστε να ενεργοποιήσουν το σύστημα αποφυγή ατυχήματος. Οι πιο γνωστές εφαρμογές αναφέρονται στη συνέχεια [17][18]:

Προειδοποίηση Παραβίασης Φωτεινού Σηματοδότη: Η εφαρμογή δίνει τη δυνατότητα σε ένα όχημα που είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο και προσεγγίζει μία διασταύρωση με φωτεινό σηματοδότη να λάβει τις απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με το χρόνο εναλλαγής του φωτεινού σήματος, όπως και την τοπολογία της διασταύρωσης. Τα δεδομένα αυτά, συνδυάζονται με τα στοιχεία που έχει το όχημα για την ταχύτητα και την επιτάχυνση του οχήματος και μπορούν να οδηγήσουν στον προσδιορισμό του αν το όχημα θα φτάσει στη διασταύρωση παραβιάζοντας τον κόκκινο σηματοδότη. Σε ανάλογη περίπτωση, αποστέλλεται προειδοποιητικό μήνυμα στον οδηγό.

Προειδοποίηση Παραβίασης Πινακίδας για Υποχρεωτική Διακοπή Πορείας: Η εν λόγω εφαρμογή είναι σχεδιασμένη ώστε να προειδοποιεί τους οδηγούς ότι ενδέχεται να παραβιάσουν μία πινακίδα που πληροφορεί ότι η πορεία πρέπει να διακοπεί. Βασίζεται στη τρέχουσα ταχύτητα του οχήματος και την απόστασή που έχει από την πινακίδα – και το τέλος της επιτρεπόμενης διαδρομής. Λαμβάνει υπόψη της τη λεπτομερή τοπολογία της διασταύρωσης (ή του σημείου διακοπής κυκλοφορίας) και αξιοποιείται σε περιπτώσεις που δεν υπάρχουν φωτεινοί σηματοδότες.

Προειδοποίησης Εμπρόσθιας Σύγκρουσης: Η εφαρμογή αυτή χρησιμοποιείται για την προειδοποίηση των οδηγών για πιθανή σύγκρουση με προπορευόμενο όχημα, το οποίο έχει την ίδια φορά και κινείται στην ίδια λωρίδα κυκλοφορίας. Η εφαρμογή κάνει χρήση πληροφοριών από άλλα οχήματα και, όποτε αυτό είναι απαραίτητο, ενημερώνει τον οδηγό για την αποφυγή της σύγκρουσης.

Προειδοποίηση Μη Ασφαλούς Προσπέρασης: Η εφαρμογή προειδοποιεί τον οδηγό ενός οχήματος, στην περίπτωση που αποπειραθεί προσπέραση προπορευόμενου οχήματος, ότι η ζώνη προσπεράσματος δεν είναι ασφαλής, σε περιπτώσεις που υπάρχει πληροφορία για όχημα που κινείται σε επικίνδυνη απόσταση, στην αντίθετη λωρίδα κυκλοφορίας.

Προειδοποίηση Επείγουσας Πέδησης: Η εφαρμογή αυτή ενεργοποιεί τη μετάδοση μηνύματος από το όχημα σε περίπτωση που μειωθεί απότομα η ταχύτητά του. Το όχημα λήπτης του μηνύματος, αναλόγως αν εκτιμηθεί ότι επηρεάζεται η πορεία του, ενημερώνει την οδηγό. Η μεταφορά του πακέτου μηνύματος γίνεται είτε σε συνεργασία με τα άλλα συνδεδεμένα οχήματα, είτε μέσω των RSUs.

Προειδοποίηση Αλλαγής Λωρίδας: Η εφαρμογή αυτή αποσκοπεί στο να στείλει προειδοποίηση στον οδηγό σχετικά με οχήματα που βρίσκονται σε περιοχή με μηδενική ορατότητα, σε περιπτώσεις που επιχειρείται αλλαγή λωρίδας κυκλοφορίας.

Προειδοποίηση Απώλειας Ελέγχου: Είναι εφαρμογή σύμφωνα με την οποία, το αποστέλλει ένα προειδοποιητικό μήνυμα προς τα γειτονικά οχήματα σε περίπτωση που έχει υπολογίσει ότι υπάρχει απώλεια ελέγχου του οχήματος. Τα άλλα συνδεδεμένα οχήματα, όταν λάβουν το μήνυμα θα ελέγξουν αν επηρεάζονται από το συμβάν και ανάλογα θα ενημερώσουν τους οδηγούς.

Υποστήριξη Κίνησης σε Διασταύρωση: Η εφαρμογή έχει σχεδιαστεί ώστε να ενημερώνει τον οδηγό σε καταστάσεις που δεν είναι ασφαλές να εισέλθει σε μία διασταύρωση όταν υπάρχει μεγάλη πιθανότητα σύγκρουσης με άλλα οχήματα. Επίσης ενημερώνει τον

οδηγό για ταυτόχρονη εισερχόμενη κίνηση άλλων οχημάτων στη διασταύρωση. Τα δεδομένα για την κυκλοφορία συλλέγονται με χρήση επικοινωνιών V2V και V2I.

Ενέργειες πριν τη Σύγκρουση: Είναι εφαρμογή που σχεδιάζει ενέργειες όταν μια σύγκρουση με άλλο όχημα διαφαίνεται αναπόφευκτη. Η εφαρμογή δίνει τις απαραίτητες πληροφορίες/εντολές στο όχημα, ώστε να γίνουν ενέργειες που θα ελαχιστοποιήσουν τους τραυματισμούς, μέσω ενεργοποίησης συστημάτων ασφαλείας όπως αερόσακοι, ζώνες ασφαλείας, ή και μερική ή ολική πέδηση.

2.1.2 Εφαρμογές Ασφάλειας Χαμηλής Προτεραιότητας

Οι εφαρμογές χαμηλής προτεραιότητας για την οδική ασφάλεια αναφέρονται κατά κύριο λόγο στις πληροφορίες και ενημερώσεις μπορούν να λαμβάνουν οι οδηγοί των συνδεδεμένων οχημάτων για ένα τροχάιο συμβάν ή για επικίνδυνες καταστάσεις σε ότι αφορά τις καιρικές συνθήκες και το οδόστρωμα. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών αναφέρονται στη συνέχεια [18][19]:

Προειδοποίηση Ταχύτητας σε Στροφή: Η εφαρμογή αυτή δίνει τη δυνατότητα στα οχήματα που έχουν συνδεθεί να λαμβάνουν ενημερώσεις όταν προσεγγίζουν επικίνδυνη στροφή και σχετικές πληροφορίες για την προτεινόμενη ταχύτητα που πρέπει να έχουν για να μπορέσουν να οδηγήσουν στη στροφή με ασφάλεια. Επίσης, σε περίπτωση που ο οδηγός εισέλθει στη στροφή με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτή της ασφαλούς, θα λάβει μια ειδοποίηση (ακουστική ή οπτική) προκειμένου να μειώσει ταχύτητα. Οι εφαρμογές αυτές κάνουν GPS και ψηφιακών χαρτών.

Προειδοποίηση για πραγματοποιούμενα έργα: Πρόκειται για μια εφαρμογή που αποστέλλει ενημέρωση στα οχήματα, σε περιπτώσεις που εκτελούνται έργα στο οδικό δίκτυο και πληροφορεί για τις συνθήκες της διαδρομής. Σχετικές πληροφορίες μπορεί να περιλαμβάνουν προειδοποιήσεις για εμπόδια ή αποκλεισμό της λωρίδας ή αλλαγή λωρίδας και ανάγκη ελάττωσης ταχύτητας.

Προειδοποίηση για Όχημα Μεγάλων Διαστάσεων: Η εφαρμογή αυτή παρέχει ενημέρωση σε ογκώδη οχήματα ότι πλησιάζουν σε γέφυρα ή τούνελ με συγκεκριμένες δυνατότητες μεγέθους (πχ χαμηλό ύψος). Η εφαρμογή λαμβάνει πληροφορίες από την υποδομή, και επίσης γίνεται υπολογισμός ανάλογα με τις διαστάσεις του οχήματος και αν κριθεί απαραίτητο, ενημερώνει τον οδηγό με προειδοποιητικό μήνυμα.

Προειδοποίηση μετά από Ατύχημα: Η εφαρμογή αυτή ενημερώνει τον οδηγό ότι υπάρχει εμπόδιο μετά τον εντοπισμό οχήματος που έχει ακινητοποιηθεί λόγω βλάβης ή ατυχήματος.

2.2 Εφαρμογές Διαχείρισης της Κυκλοφορίας

Οι εφαρμογές αυτές επικεντρώνονται στην βελτιστοποίηση της ροής της κυκλοφορίας των οχημάτων. Το βασικό μέλημα στην σχεδίαση είναι η μείωση του χρόνου ταξιδιού και η αποφυγή της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Ο διαμοιρασμός των δεδομένων από τις εφαρμογές διαχείρισης της κυκλοφορίας γίνεται μεταξύ της υποδομής, των οχημάτων και ενός κεντρικού συστήματος διαχείρισης της κυκλοφορίας. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να παρέχουν αποτελεσματικότερη διαχείριση της κυκλοφοριακής ροής και να πετύχουν τον βέλτιστο αριθμό των οχημάτων που κινούνται στο οδικό δίκτυο. Παραδείγματα εφαρμογών διαχείρισης της κυκλοφορίας αναφέρονται στη συνέχεια [18][19]:

Συνεργατικός και Προσαρμοστικός Έλεγχος Ταξιδιού: Πρόκειται για εφαρμογή που εστιάζει αναβάθμιση των συστημάτων προσαρμοστικού ελέγχου ταξιδιού (Adaptive Cruise Control) που ήδη υπάρχουν εγκατεστημένα στα οχήματα, κάτι που γίνεται μέσω των V2V επικοινωνιών μεταξύ ομάδων οχημάτων.

Αυτόματη Ηλεκτρονική Πληρωμή Διοδίων: Πρόκειται για εφαρμογή που επιτρέπει την αυτόματη πληρωμή διοδίων, μέσω V2I επικοινωνιών, χωρίς σταθμούς διοδίων ή ανθρώπινο προσωπικό.

Ευφυής Έλεγχος Κυκλοφοριακής Ροής: Η εφαρμογή αποσκοπεί στη βελτίωση της λειτουργίας των φωτεινών σηματοδοτών στις διασταυρώσεις, μέσω δεδομένων που λαμβάνει από οχήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο και από μετρήσεις της υποδομής.

Εναρμόνιση Ταχύτητας: Η εφαρμογή αυτή υπολογίζει και προτείνει τη καλύτερη ταχύτητα πορείας ανάλογα με τις καιρικές και κυκλοφοριακές συνθήκες. Οι προτεινόμενες τιμές ταχύτητας ενδέχεται να έχουν συμβουλευτικό ή υποχρεωτικό χαρακτήρα. Γίνεται χρήση V2I επικοινωνιών με απώτερο σκοπό την βέλτιστη οργάνωση της κυκλοφοριακής ροής, τη μέγιστη δυνατή μείωση των παραβάσεων των ορίων ταχύτητας, όπως και την ελαχιστοποίηση των εναλλαγών στην ταχύτητα των οχημάτων .

2.3 Εφαρμογές Διευκόλυνσης και Άνεσης

Η τελευταία κατηγορία εφαρμογών είναι αυτή της διευκόλυνσης και της άνεσης. Αν και βασικός στόχος των τεχνολογιών των κινητών δικτύων οχημάτων είναι η ασφάλεια οδήγησης και μετακινήσεων, υπάρχουν επίσης και εφαρμογές που αξιοποιούνται πέρα από την ασφάλεια στοχεύοντας σε επιπρόσθετες εμπορικές ευκαιρίες και δυνατότητες αύξησης του αριθμού των οχημάτων που χρησιμοποιούν ασύρματο εξοπλισμό και συνδέονται στις υποδομές. Παρακάτω αναφέρονται παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών [18][19]:

Βελτιωμένη Δρομολόγηση και Πλοήγηση: Η εφαρμογή κάνει χρήση δεδομένων που έχουν συλλεχθεί από την υποδομή και αποστέλλει στα οχήματα μέσω των RSUs μηνύματα με στοιχεία για καλύτερη πλοήγηση και δρομολόγηση. Τα δεδομένα συλλέγονται διαρκώς και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παράδειγμα, για την εκτίμηση της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Τα συνδεδεμένα οχήματα που είναι στην εμβέλεια ενός RSU λαμβάνουν την ενημέρωση για την τρέχουσα κυκλοφοριακή ροή και για άλλες συνθήκες στην περιοχή.

Ενημέρωση για Σημεία Ενδιαφέροντος: Πρόκειται για εφαρμογή που αποστέλλει στοιχεία για σημεία ενδιαφέροντος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για α διαφημιστικούς σκοπούς.

Εντοπισμός Θέσης Στάθμευσης: Πρόκειται για εφαρμογή που εντοπίζει θέσεις στάθμευσης σε μια ακτίνα από το όχημα και αποστέλλει στοιχεία στον οδηγό που αναφέρονται στην τοποθεσία, τη διαθεσιμότητα και τον τιμοκατάλογο (αν υπάρχει) της θέσης στάθμευσης.

Μεταφόρτωση κι Ενημέρωση Χαρτών: Πρόκειται για εφαρμογή που καθιστά δυνατή την εγκατάσταση χαρτών πλοήγησης στα οχήματα, ή ενημέρωση των ήδη εγκατεστημένων χωρίς φυσική σύνδεση.

Απομακρυσμένη Διάγνωση Οχήματος: Η εφαρμογή αυτή επιτρέπει στο όχημα να έρθει σε επαφή μέσω σύνδεσης με ένα συνεργείο οχημάτων, τα οποία μπορεί να κάνει διάγνωση της κατάστασης του οχήματος. Επιπλέον, όταν το όχημα εισέρχεται στην περιοχή ενός συνεργείου τότε μπορεί να υπάρξει επικοινωνία, αυτόματη λήψη του ιστορικού του οχήματος και ενδεχόμενη συμφωνία για ανάληψη των εργασιών από το συνεργείο. Να εντοπίσει το πρόβλημα που έχει αναφερθεί από τον πελάτη, να λάβει το ιστορικό του οχήματος και του πελάτη από τη βάση δεδομένων του και να αναθέσει άμεσα τεχνικό για τη διεκπεραίωση των απαιτούμενων εργασιών. Επίσης, μπορεί να γίνει απομακρυσμένη εγκατάσταση ενημερώσεων λογισμικού όταν αυτό κριθεί απαραίτητο.

Άμεσα Μηνύματα: Πρόκειται για εφαρμογή που επιτρέπει στα οχήματα να ανταλλάσσουν άμεσα μηνύματα μεταξύ τους. Παράδειγμα τέτοιας επικοινωνίας είναι αν λόγου χάρη, ένας οδηγός εντοπίσει ότι υπάρχει κάποιο πρόβλημα με κάποιο άλλο όχημα εντός του οπτικού του πεδίου τότε μπορεί να αποστείλει ενημερωτικό μήνυμα στον οδηγό του άλλου οχήματος, που μπορεί να συνθέσει μόνος τους ή να επιλέξει από μια λίστα έτοιμων μηνυμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Αναφορά σε Πρωτόκολλα

3.1 Προληπτικά: Περιοδική συντήρηση της δρομολόγησης

3.1.1 FSR

Η λειτουργία Routing State Fisheye (FSR) είναι ένα πρωτόκολλο για μια δρομολόγηση καθοδηγούμενη από πίνακες ή προληπτικό πρωτόκολλο δρομολόγησης. Βασίζεται στο πρωτόκολλο σύνδεσης (link state protocol) και έχει τη δυνατότητα να παρέχει αμέσως πληροφορίες διαδρομής όταν χρειάζεται. Η τεχνική του εμβέλειας του FSR επιτρέπει την ανταλλαγή μηνυμάτων κατάστασης σύνδεσης σε διαφορετικά διαστήματα για κόμβους σε διαφορετική απόσταση κάτι που μειώνει το μέγεθος του μηνύματος κατάστασης του συνδέσμου. Περαιτέρω βελτιστοποίηση επιτρέπει στο FSR στέλνει μόνο (broadcast) μήνυμα τοπολογίας σε γειτονικά σημεία, προκειμένου να μειώσει την κίνηση [20]. Έτσι γίνεται εφικτό με το FSR να μειωθεί σημαντικά η επιβάρυνση ανταλλαγής τοπολογίας και πετυχαίνεται κλιμάκωση για δίκτυα μεγάλου μεγέθους.

Το FSR δρομολογεί κάθε πακέτο δεδομένων σύμφωνα με πίνακα τοπικά υπολογισμένης δρομολόγησης. Ο πίνακας δρομολόγησης χρησιμοποιεί τις πιο πρόσφατες πληροφορίες τοπολογίας.

Το σύστημα ενημέρωσης μηνυμάτων πεδίου εφαρμογής fisheye δεν θα χάσει την ακρίβεια της δρομολόγησης για κόμβους εσωτερικού εύρους. Για κόμβους εξωτερικού εύρους, τα δεδομένα στις καταχωρήσεις δρομολόγησης μπορεί να μην είναι απόλυτα ευκρινή εξ' αιτίας του μεγαλύτερου διαστήματος ανταλλαγής μηνυμάτων, αλλά αυτό δεν είναι απαραίτητο επιπλέον έργο για "εξεύρεση" του προορισμού (όπως στην on-demand δρομολόγηση). Με αυτόν τον τρόπο το σφάλμα μετάδοσης ενός μεμονωμένου πακέτου μπορεί να παραμείνει χαμηλό. . Σε ένα κινητό περιβάλλον, αυτή η ανακρίβεια

για απομακρυσμένους κόμβους θα αυξηθεί. Ωστόσο, όταν α ένα πακέτο προσεγγίζει τον προορισμό του, βρίσκει όλο και πιο ακριβείς οδηγίες δρομολόγησης επειδή εισέρχεται σε τομείς με υψηλότερη συχνότητα ανανέωσης [21].

Το FSR δεν ενεργοποιεί μηνύματα ελέγχου όταν έχει αναφερθεί βλάβη σύνδεσης και έτσι είναι κατάλληλο για περιβάλλον υψηλής μεταβολής τοπολογίας. Ο όποιος "σπασμένος" σύνδεσμος (*brokenlink*) δεν θα συμπεριληφθεί από τη διαδικασία στην επόμενη ανταλλαγή μηνυμάτων κατάστασης. Ο αριθμός σειράς και η ανανέωση των πινάκων επιτρέπει στο FSR να διατηρήσει τις τελευταίες πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση σύνδεσης σε ένα μέσο διάδοσης χαμηλής αξιοπιστίας και σε ένα πολύ μεταβαλλόμενο δίκτυο.

Το πρωτόκολλο λειτουργεί ανεξάρτητα από τη μορφή της IP των πακέτων και είναι ένα κατανεμημένο πρωτόκολλο. Μπορεί να εφαρμοστεί είτε στο επίπεδο δικτύου, είτε σε επίπεδο εφαρμογών. Η κύρια λειτουργία του είναι η διαχείριση των πινάκων του συστήματος του δικτύου.

3.1.2 DREAM

Το πρωτόκολλο DREAM (Distance Routing Effect Algorithm for Mobility), είναι ένα πρωτόκολλο για τα ad hoc ασύρματα δίκτυα που έχει μια λογική δρομολόγησης που βασίζεται σε πληροφορίες σχετικής θέσης. Χαρακτηρίζεται από δυο τεχνικές, Η πρώτη που σχετίζεται με την απόσταση (*distance effect*), αξιοποιεί το χαρακτηριστικό του ότι όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση που χωρίζει δυο κόμβους τόσο αυτοί εμφανίζονται να κινούνται με μικρότερη ταχύτητα ο ένας σε σχέση με τον άλλο. Η δεύτερη σχετίζεται με το ποσοστό κινητικότητας κάθε κόμβου και κάνει χρήση της αυτόματης αποστολής πληροφοριών για τις αναπροσαρμογές θέσεων των κόμβων [22].

Κάθε κόμβος διατηρεί έναν πίνακα θέσεων, στον οποίο αποθηκεύει τις πληροφορίες θέσης των άλλων κόμβων του δικτύου. Κάθε κόμβος επίσης, σε τακτά χρονικά

διαστήματα, τροφοδοτεί με πληροφορίες θέσης το πακέτο θέσης ή πακέτο ελέγχου (τις πληροφορίες για τη θέση του) και ενημερώνει τη βάση πληροφοριών των γειτονικών του κόμβων. Έτσι, ο κόμβος βρίσκει τη διαδρομή μέσω της χρήσης των πληροφοριών θέσης των άλλων κόμβων στο δίκτυο. Ο κόμβος πρέπει να γνωρίζει τη θέση του άμεσου γείτονα του και του κόμβου προορισμού για να μεταφέρει το πακέτο δεδομένων στον προορισμό [23].

Στα πρωτόκολλα DREAM υλοποιούνται δυο αλγόριθμοι. Στον πρώτο αλγόριθμο διανέμονται τα πακέτα με την πληροφορία της θέσης και στον δεύτερο τα δεδομένα (μηνύματα). Ο πρώτος είναι βασισμένος στην ιδέα του περιορισμένου συνωστισμού. Προκειμένου να περιοριστεί ο συνωστισμός, ορίζεται η μέγιστη απόσταση στην οποία μπορεί να ταξιδέψει ένα πακέτο. Όπως αναφέρθηκε, χρησιμοποιείται η αρχή της απόστασης (distance effect), κατά τη οποία η συχνότητα ενημέρωσης του πίνακα των θέσεων καθορίζεται από την απόσταση των κόμβων. Όσο πιο κοντά βρίσκονται οι κόμβοι μεταξύ τους τόσο πιο συχνά ενημερώνονται οι πίνακες με τις διευθύνσεις τους. Σύμφωνα με αυτό, οι κόμβοι που απομακρύνονται συνήθως έχουν μια πιο σταθερή σχέση σχετικής θέσης, καθώς, η αρχή της απόστασης έχει σαν αποτέλεσμα όταν ένας κόμβος διατηρεί πληροφορίες τοποθεσίας για έναν άλλο κόμβο ο οποίος απομακρύνεται, τότε χρησιμοποιεί λιγότερο συχνές ενημερώσεις [22][24].

Ο δεύτερος αλγόριθμος αφορά την διάδοση των πακέτων με τη χρήση κατευθυνόμενης προώθησης (directional flooding) κατά την οποία η αφετηρία (source S) προωθεί το πακέτο σε όλους τους γείτονες που βρίσκονται προς την κατεύθυνση του προορισμού D (destination). Για να καθορίσει τη ζώνη προώθησης προς την κατεύθυνση D ο κόμβος S υπολογίζει την περιοχή που έχει την πιθανότητα να περιλαμβάνει το D και ονομάζεται «αναμενόμενη περιοχή» (Expected Region -ER). Στο πρωτόκολλο DREAM, με τη χρήση των δυο αλγορίθμων και των πινάκων οι κόμβοι μπορούν να βελτιστοποιούν την επίδοση μέσω της βέλτιστης συχνότητας αποστολής μηνυμάτων προς τους άλλους κόμβους και τη μείωση του εύρους ζώνης και της δαπανώμενης ενέργειας. Οι πίνακες δρομολόγησης που διατηρούν οι κόμβοι για την τοποθεσία των άλλων κόμβων

εγγυώνται την παράδοση των πακέτων δεδομένων στην κατεύθυνση προορισμού D με μια συγκεκριμένη πιθανότητα.

3.1.3 OLSR

Το OLSR είναι ένα προληπτικό πρωτόκολλο δρομολόγησης που χρησιμοποιείται σε κινητά ad hoc δίκτυα. Χρησιμοποιεί πίνακες δρομολόγησης προκειμένου να αποθηκεύει τις βέλτιστες διαδρομές ανάμεσα στους κόμβους. Είναι ένα πρωτόκολλο που έχει καλή εφαρμογή σε μεγάλα και πυκνά κινητά δίκτυα. Όσο μεγαλύτερο και πιο πυκνό είναι το δίκτυο, τόσο περισσότερο το πρωτόκολλο OLSR μπορεί να πετύχει βελτιστοποίηση του δικτύου σε σχέση με κλασικούς αλγόριθμους. Χρησιμοποιεί δρομολόγηση hop-by-hop, δηλαδή κάθε κόμβος χρησιμοποιεί τις δικές του τοπικές πληροφορίες για τη δρομολόγηση πακέτων.

Το πρωτόκολλο OLSR είναι επίσης κατάλληλο για δίκτυα όπου η κίνηση είναι τυχαία και σποραδική ανάμεσα σε ένα μεγάλο αριθμό κόμβων, παρά για ένα μικρό και συγκεκριμένο σύνολο κόμβων [25]. Ως προληπτικό πρωτόκολλο είναι κατάλληλο για σενάρια όπου τα επικοινωνούντα ζεύγη κόμβων αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου. Δεν δημιουργείται καμία πρόσθετη κυκλοφορία ελέγχου σε αυτή την κατάσταση, καθώς διατηρούνται οι διαδρομές για όλους τους γνωστούς προορισμούς ανά πάσα στιγμή.

Ένα από τα χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου OLSR είναι ότι κληρονομεί τη σταθερότητα ενός αλγόριθμου link state algorithm και έχει το πλεονέκτημα της ύπαρξης διαδρομών αμέσως διαθέσιμων όταν χρειαστεί λόγω της προληπτικής φύσης του.

Το OLSR ελαχιστοποιεί την κυκλοφορία πληροφοριών ελέγχου στο δίκτυο με το να χρησιμοποιεί μόνο επιλεγμένους κόμβους που ονομάζονται MPR για την αναμετάδοση των μηνυμάτων ελέγχου. Αυτή η τεχνική ελαττώνει σημαντικά τον αριθμό των απαιτούμενων αναμεταδόσεων για τη μεταφορά ενός μηνύματος προς όλους τους κόμβους του δικτύου. Επιπλέον, το OLSR χρειάζεται κατάσταση μερικής (και όχι

απαραίτητα ολικής) σύνδεσης προκειμένου να παρέχει τη συντομότερη διαδρομή δρομολόγησης. Το ελάχιστο ζητούμενο αναφορικά με την πληροφορία κατάστασης είναι όλοι οι κόμβοι που έχουν επιλεχτεί ως MPR πρέπει να αναφέρουν τους συνδέσμους στους επιλογείς τους (σε εκείνους τους κόμβους που τους έχουν επιλέξει ως MPR).

Το πρωτόκολλο OLSR μπορεί να βελτιστοποιήσει την απόκριση σε τοπολογικές μεταβολές του δικτύου με το να μειώνει το μέγιστο χρόνο για περιοδικό έλεγχο μετάδοσης του μηνύματος. Επιπλέον, καθώς διατηρεί διαρκώς τις διαδρομές για όλους τους προορισμούς στο δίκτυο το πρωτόκολλο είναι κατάλληλο για καταστάσεις όπου η κυκλοφορία στο δίκτυο χαρακτηρίζεται από ένα μεγάλο υποσύνολο κόμβων που επικοινωνούν με ένα άλλο μεγάλο υποσύνολο κόμβων και όπου τα ζεύγη αφετηρίας - προορισμού (source – destination) αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου.

Το πρωτόκολλο OLSR έχει σχεδιαστεί να λειτουργεί με έναν απολύτως διανεμημένο τρόπο και δεν βασίζεται σε καμιά κεντρική οντότητα. Επίσης, το πρωτόκολλο δεν απαιτεί μετάδοση μηνυμάτων ελέγχου. Κάθε κόμβος αποστέλλει μηνύματα ελέγχου περιοδικά και με αυτόν τον τρόπο μπορεί να είναι λειτουργικό σε απώλεια ενός λογικού αριθμού τέτοιων μηνυμάτων, που μπορεί να οφείλονται σε προβλήματα μετάδοσης. Επιπλέον, ένα πρωτόκολλο OLSR δεν απαιτεί τα μεταδιδόμενα μηνύματα να είναι σε μια σειρά. Κάθε μήνυμα ελέγχου περιλαμβάνει έναν σειριακό αριθμό ο οποίος αυξάνεται για κάθε μήνυμα. Έτσι, ο παραλήπτης ενός μηνύματος ελέγχου σε περίπτωση που χρειαστεί μπορεί να αναγνωρίσει ποιο μέρος της πληροφορίας είναι το πιο πρόσφατο ακόμα και στην περίπτωση που η σειρά των μηνυμάτων έχει αλλάξει κατά τη μετάδοση. Τα OLSR πρωτόκολλα υποστηρίζουν επεκτάσεις για το δίκτυο, όπως για παράδειγμα είναι κατάσταση αναμονής (sleep mode) και δρομολόγηση πολλαπλών μεταδόσεων. Τέτοιες επεκτάσεις μπορούν να εισαχθούν ως πρόσθετα στο πρωτόκολλο χωρίς να βλάπτεται η συμβατότητα με παλιότερες εκδόσεις [25].

3.1.4 DSDV

Το πρωτόκολλο DSDV (Destination Sequenced Distance Vector) είναι ένα προληπτικό πρωτόκολλο δρομολόγησης που αποτελεί μια διαφοροποίηση του συμβατικού αλγόριθμου δρομολόγησης Bellman-Ford. Ο κάθε κόμβος διατηρεί μια διαδρομή προς κάθε άλλο κόμβο του δικτύου και με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένας πίνακας διαδρομών. Επίσης, το πρωτόκολλο προσθέτει ένα νέο χαρακτηριστικό αριθμό ακολουθίας σε κάθε καταχώρηση του πίνακα δρομολόγησης σε κάθε κόμβο. Ο πίνακας διατηρείται σε κάθε κόμβο και με αυτόν τον πίνακα ο κόμβος μεταδίδει τα πακέτα σε άλλους κόμβους του δικτύου. Αυτό το πρωτόκολλο είναι κατάλληλο για ανταλλαγής δεδομένων, κατά μήκος μεταβαλλόμενων και αυθαίρετων διαδρομών διασύνδεσης που μπορεί να μην είναι κοντά σε κανένα σταθμός βάσης.

Ο τρόπος λειτουργίας έχει ως ακολούθως: Κάθε κόμβος στο δίκτυο διατηρεί πίνακα δρομολόγησης για τη μετάδοση των πακέτων καθώς και για τη σύνδεση με διαφορετικούς σταθμούς στο δίκτυο. Αυτοί οι σταθμοί απαριθμούνται για όλους τους διαθέσιμους προορισμούς και επίσης αναφέρεται στον πίνακα δρομολόγησης ο αριθμός των βημάτων που απαιτείται για να φτάσει σε κάθε προορισμό. Η καταχώρηση δρομολόγησης επισημαίνεται με έναν αριθμό ακολουθίας που εκκινεί από τον σταθμό προορισμού. Για να διατηρηθεί η συνέπεια, κάθε σταθμός μεταδίδει και ενημερώνει περιοδικά τον πίνακα δρομολόγησης. Τα πακέτα που ανακοινώνονται μεταξύ των σταθμών δείχνουν ποιοι σταθμοί είναι προσβάσιμοι και πόσα βήματα απαιτούνται για να φτάσει ένας κόμβος στον συγκεκριμένο σταθμό.

Οι πληροφορίες δρομολόγησης γίνονται γνωστές με την εκπομπή (broadcasting) ή την πολυεκπομπή (multicasting) των πακέτων τα οποία μεταδίδονται περιοδικά όταν οι κόμβοι κινούνται μέσα στο δίκτυο. Το πρωτόκολλο DSDV απαιτεί ότι κάθε κινητός σταθμός στο δίκτυο πρέπει συνεχώς να γνωστοποιεί σε καθένα από τους γειτονικούς του κόμβους το δικό του πίνακα δρομολόγησης. Δεδομένου ότι, οι καταχωρήσεις στον πίνακα μπορεί να μεταβληθούν πολύ γρήγορα, η γνωστοποίηση αυτή θα πρέπει να

γίνεται συχνά για να εξασφαλιστεί ότι κάθε κόμβος μπορεί να εντοπίσει τους γείτονές του στο δίκτυο. Αυτή η συμφωνία τίθεται, για να εξασφαλιστεί ο ελάχιστος αριθμός βημάτων για μια διαδρομή προς τον προορισμό. Με αυτόν τον τρόπο ο κόμβος μπορεί να ανταλλάξει τα δεδομένα του, ακόμη και αν δεν υπάρχει άμεσος σύνδεσμος επικοινωνίας.

Τα στοιχεία που εκπέμπονται από τον κόμβο περιλαμβάνουν τον νέο σειριακό αριθμό του και πληροφορίες για κάθε νέα δρομολόγηση που περιλαμβάνει τη διεύθυνση προορισμού, τον αριθμό βημάτων που χρειάζεται για να φτάσει στον προορισμό, και έναν νέο σειριακό αριθμό που αποδίδεται από τον προορισμό.

Οι μεταφερόμενοι πίνακες δρομολόγησης θα περιέχουν επίσης τη διεύθυνση υλικού (hardware) και τη διεύθυνση δικτύου του κινητού φορέα που κάνει τη μετάδοση. Οι πίνακες δρομολόγησης περιέχουν τον σειριακό αριθμό που δημιουργείται από τον πομπό και επομένως ο πιο νέος σειριακός αριθμός προορισμού είναι αυτός που επιλέγεται προκειμένου να παρθούν αποφάσεις διαβίβασης. Αυτός ο νέος σειριακός αριθμός ενημερώνεται επίσης σε όλους τους hosts του δικτύου που μπορούν να αποφασίσουν για το πώς θα ενημερωθούν τα στοιχεία της εγγραφής του πίνακα που αφορούν τον αρχικό κόμβο. Μετά τη λήψη των πληροφοριών διαδρομής, ο κόμβος που τα λαμβάνει αυξάνει το μετρητή και μεταδίδει πληροφορίες μέσω εκπομπής. Η αύξηση της μέτρησης γίνεται πριν από τη μετάδοση επειδή, το εισερχόμενο πακέτο θα πρέπει να ταξιδέψει ακόμη ένα βήμα για να φτάσει στον προορισμό του.

3.1.5 Babel

Το Babel είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης διανύσματος απόστασης αποφυγής βρόγχων (loop-avoiding distance-vector routing protocol) που είναι ισχυρό και αποδοτικό τόσο σε συνηθισμένα ενσύρματα δίκτυα όσο και σε ασύρματα δίκτυα.

Η κύρια ιδιότητα που κάνει το πρωτόκολλο Babel κατάλληλο για ασταθή δίκτυα είναι ότι, σε αντίθεση με άλλα πρωτόκολλα δρομολόγησης διανύσματος απόστασης το Babel περιορίζει σε μεγάλο βαθμό τη συχνότητα και τη διάρκεια των προβλημάτων δρομολόγησης, όπως είναι οι βρόχοι δρομολόγησης και οι λεγόμενες μαύρες τρύπες (black holes) κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σύγκλισης. Ακόμη και μετά την ανίχνευση ενός γεγονότος κινητικότητας, συνήθως ένα δίκτυο Babel μπορεί να αποφύγει τους βρόγχους. Στη συνέχεια, και με ταχείς ρυθμούς το πρωτόκολλο Babel ξαναμετατρέπει τη διαμόρφωση δικτύου σε μια που μπορεί να διατηρήσει την κατάσταση χωρίς βρόγχους (loop free) και τη συνδεσιμότητα του δικτύου, όχι απαραίτητα στο βέλτιστο βαθμό. Σε πολλές περιπτώσεις, αυτή η ενέργεια δεν απαιτεί καμία ανταλλαγή πακέτων. Στη συνέχεια, το Babel συγκλίνει αργά, σε χρόνο της τάξης λεπτών της ώρας σε μια βέλτιστη διαμόρφωση. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας διαδοχικές διαδρομές, μια τεχνική που έχει πάρει από το πρωτόκολλο DSDV (Destination Sequenced Distance-Vector) [26].

Το πρωτόκολλο έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά [26]:

- Όταν κάθε πρόθεμα προέρχεται από το πολύ ένα δρομολογητή, το πρωτόκολλο δεν έχει ποτέ πρόβλημα από βρόχους δρομολόγησης.
- Όταν ένα πρόθεμα προέρχεται από πολλούς δρομολογητές, το πρωτόκολλο Babel ενδέχεται περιστασιακά δημιουργήσει έναν παροδικό βρόχο δρομολόγησης για αυτό το συγκεκριμένο πρόθεμα. Αυτός ο βρόχος εξαφανίζεται σε χρόνο ανάλογο της διαμέτρου του δικτύου και ποτέ ξανά (μέχρι τον χρόνο αυθαίρετης συλλογή άχρηστων – (garbage-collection –GC-time) οι δρομολογητές που συμμετέχουν δεν θα εμπλακούν σε ένα βρόχο δρομολόγησης για το ίδιο πρόθεμα.
- Υποθέτοντας λογικά ποσοστά απώλειας πακέτων, τυχόν μαύρες οπές (black – holes) δρομολόγησης που μπορεί να εμφανιστούν μετά από προβλήματα κινητικότητας, διορθώνονται σε χρόνο που είναι ο πλέον ανάλογος της διαμέτρου του δικτύου.

Το πρωτόκολλο Babel έχει προβλέψεις για την εκτίμηση της ποιότητας των συνδέσεων και για αρκετά αυθαίρετες μετρήσεις. Όταν έχει ρυθμιστεί κατάλληλα, μπορεί να υλοποιήσει δρομολόγηση ελάχιστης διαδρομής ή μπορεί να χρησιμοποιήσει μια μέτρηση που βασίζεται, για παράδειγμα, σε απώλεια πακέτων. Οι κόμβοι στο πρωτόκολλο Babel μπορούν να δημιουργήσουν επιτυχώς έναν σύνδεσμο ακόμη και όταν αυτοί έχουν διαμορφωθεί με διαφορετικές παραμέτρους. Για παράδειγμα, ένας κινητός κόμβος που έχει χαμηλή μπαταρία μπορεί να επιλέξει να χρησιμοποιήσει μεγαλύτερες σταθερές χρόνου από έναν κόμβο που έχει πρόσβαση σε παροχή ενέργειας (πχ από σταθερό σταθμό). Ένας κόμβος που διαπιστώνει μεγάλη κινητικότητα μπορεί να χρησιμοποιήσει μικρότερες σταθερές χρόνου. Η δυνατότητα να δομηθούν τέτοιου είδους ανομοιογενή δίκτυα καθιστά το πρωτόκολλο Babel ιδιαίτερα προσφιλές και εφαρμοζόμενο σε ασύρματα περιβάλλοντα.

Τέλος, το πρωτόκολλο Babel είναι ένα υβριδικό πρωτόκολλο δρομολόγησης, με την έννοια ότι μπορεί να μεταφέρει δρομολογήσεις για πολλαπλά επίπεδα του δικτύου (multiple network-layer protocols IPv4 and IPv6), με οποιοδήποτε πρωτόκολλο μεταφέρεται από τα πακέτα.

3.2 Αντιδραστικά πρωτόκολλα : Κατασκευή δρομολόγησης κατά απαίτηση

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης στα κινητά Mobile Ad Hoc δίκτυα, χωρίζονται σε δυο κύριες κατηγορίες. Τα προληπτικά, που περιγράφηκαν στις προηγούμενες παραγράφους και τα κατ' απαίτηση που θα περιγραφούν στην παρούσα ενότητα.

Τα αντιδραστικά ή αλλιώς κατ' απαίτηση πρωτόκολλα έχουν σχεδιαστεί για να ξεπεράσουν το αυξανόμενο πρόβλημα κυκλοφορίας που μπορεί να αντιμετωπίζουν τα προληπτικά πρωτόκολλα.

Σε αντίθεση με τα προληπτικά πρωτόκολλα, τα αντιδραστικά πρωτόκολλα δημιουργούν μόνο μια διαδρομή μόνο όταν είναι απαραίτητο . Εάν ένας κόμβος επιθυμεί να στείλει

ένα μήνυμα σε έναν κόμβο προορισμού για τον οποίο δεν έχει μια έγκυρη διαδρομή ξεκινά μια διερεύνηση διαδρομής για να εντοπίσει το κόμβο προορισμού. Η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν ένας κόμβος προέλευσης εντοπίζει τη διαδρομή προς τον προορισμό. Επίσης, εφαρμόζεται μια διαδικασία συντήρησης / ενημέρωσης της διαδρομής μέχρι τον προορισμό μέχρι η απαιτούμενη διαδρομή δεν είναι πλέον διαθέσιμη ή δεν είναι επιθυμητή.

Παρά το γεγονός ότι αντιδραστικά πρωτόκολλα ξεπερνούν το πρόβλημα της αυξημένης κινητικότητας παρουσιάζουν καθυστέρηση από άκρο σε άκρο, καθώς οι διαδρομές δημιουργούνται κατόπιν απαίτησης.

3.2.1 AODV

Το πρωτόκολλο AODV (Ad Hoc On-Demand Distance Vector) είναι, όπως δηλώνει και το όνομά του ένα κατ'απαίτηση πρωτόκολλο δρομολόγησης .

Τα πρωτόκολλα αυτού του είδους είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν για κινητά ad hoc δίκτυα για να ξεπεραστούν τα πρόβλημα αυξημένης κινητικότητας στα προληπτικά πρωτόκολλα [27][28].

Αυτού του είδους τα πρωτόκολλα (κατ'απαίτηση – On Demand) χρησιμοποιούν μια διαδικασία εντοπισμού διαδρομής, από την οποία ένας κόμβος προέλευσης ανακαλύπτει μια διαδρομή προς έναν προορισμό, για τον οποίο δεν συμβαίνει ήδη υπάρχει μια διαδρομή αποθηκευμένη στην μνήμη. Η διαδικασία μεταδίδει ένα πακέτο με «αίτημα διαδρομής» (ROUTE REQUEST – RREQ) το οποίο διαχέεται σε όλο το δίκτυο. Επιπρόσθετα της διεύθυνσης του κόμβου προέλευσης και της διεύθυνσης του κόμβου προορισμού, το πακέτο της αίτησης διαδρομής περιλαμβάνει μια εγγραφή διαδρομής, η οποία καταγράφει την ακολουθία των βημάτων που κάνει το πακέτο αίτησης καθώς αυτό διαδίδεται μέσω του δικτύου. Τα πακέτα RREQ χρησιμοποιούν σειριακούς αριθμούς για να αποτρέψουν διπλές εγγραφές. Η αίτηση απαντάται από ένα πακέτο

απάντησης (ROUTE REPLY) είτε από το κόμβο προορισμού ή από έναν ενδιάμεσο κόμβο που έχει μια αποθηκευμένη διαδρομή προς τον προορισμό.

Διατήρηση της δρομολόγησης: Το AODV χρησιμοποιεί επίσης μια διαδικασία συντήρησης της διαδρομής, όπου οι κόμβοι παρακολουθούν τη λειτουργία της διαδρομής και ενημερώνουν τον αποστολέα για οποιοδήποτε σφάλμα δρομολόγησης. Αν μια διαδρομή διακοπεί λόγω μιας αποτυχίας σύνδεσης, ο κόμβος που εντοπίζει τη βλάβη στέλνει ένα πακέτο με το Σφάλμα Διαδρομής (ROUTE ERROR) στην αφετηρία, η οποία με τη λήψη του, καταργεί όλες τις διαδρομές που έχουν καταγραφεί και χρησιμοποιούν κάποιο βήμα που περιλαμβάνει το σφάλμα και εκκινεί μια νέα διαδικασία εντοπισμού διαδρομής.

Το AODV ελαχιστοποιεί τον αριθμό των μεταδόσεων μέσω της δημιουργίας διαδρομών κατά παραγγελία σε αντίθεση με την DSDV που διατηρεί μια λίστα όλων των διαδρομών. Το πρωτόκολλο βασίζεται σε δύο φάσεις, την ανακάλυψη / διερεύνηση της δρομολόγησης και τη συντήρηση της διαδρομής. Ένας κόμβος δεν εκτελεί κάποια από τις δυο διαδικασίες μέχρι να ολοκληρωθεί μια δρομολόγηση προς έναν άλλο κόμβο ή προσφέρει τις υπηρεσίες του ως ενδιάμεσος κόμβος.

Χρησιμοποιούνται τα τοπικά μηνύματα (Hello) προκειμένου να ελεγχθεί η τοπική συνδεσιμότητα, κάτι που μπορεί να μειώσει το χρόνο απόκρισης στις αιτήσεις δρομολόγησης και μπορεί να ενεργοποιήσει τις ενημερώσεις όταν είναι απαραίτητο.

Σειριακοί αριθμοί αντιστοιχίζονται στις διαδρομές και στις εγγραφές του πίνακα δρομολόγησης ο οποίος χρησιμοποιείται για να αντικαταστήσει τις καταχωρήσεις δρομολόγησης που είναι στην προσωρινή μνήμη (cache). Κάθε κόμβος διατηρεί δύο μετρητές, έναν για τους σειριακούς αριθμούς των κόμβων και έναν για την ταυτότητα της εκπομπής (broadcast ID). Όταν ένας κόμβος επιθυμεί να επικοινωνήσει με έναν άλλο κόμβο, αλλά δεν έχει κατάλληλη διαδρομή προς αυτόν τον κόμβο, εκπέμπει ένα πακέτο με αίτημα διαδρομής (RREQ) στους γειτονικούς του κόμβους.

Κάθε γειτονικός κόμβος που λαμβάνει το RREQ, προβαίνει σε κάποια ενέργεια - είτε:

(α) Επιστρέφει ένα πακέτο απάντησης διαδρομής (εάν υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με τον προορισμό στην μνήμη του cache), ή

(β) Προωθεί το RREQ στους γειτονικούς του κόμβους (σε περίπτωση που δεν διαθέτει πληροφορίες)

Εάν ένας κόμβος δεν μπορεί να ανταποκριθεί στο RREQ, ο κόμβος αυξάνει τον μετρητή για τη διαδρομή και αποθηκεύει πληροφορίες για την εφαρμογή μιας αντίστροφης πορείας (χρησιμοποιεί συμμετρικές συνδέσεις επειδή το πακέτο απάντησης διαδρομής ακολουθεί το αντίστροφο διαδρομή του πακέτου αιτήματος). Η πληροφορία που αποθηκεύεται είναι: Η ταυτότητα του γειτονικού κόμβου που έστειλε το πακέτο RREQ, διεύθυνση IP προορισμού, η διεύθυνση IP προέλευσης, αναγνωριστικό IP εκπομπής, σειριακό αριθμό του κόμβου αφετηρίας και χρόνο λήξης για την καταχώρηση της αντίστροφης διαδρομής.

Εάν ένας κόμβος λάβει ένα πακέτο RREQ και κατέχει μια τρέχουσα διαδρομή προς τον προορισμό, τότε αποστέλλει μια απάντηση δρομολόγησης πακέτου (RREP) στον γειτονικό κόμβο που έστειλε την αίτηση RREQ.

Οι ενδιαμέσοι κόμβοι διαδίδουν το πρώτο αίτημα RREP προς την αφετηρία με χρήση προσωρινής μνήμης και χρησιμοποιώντας αντίστροφες εγγραφές διαδρομής (όπως αναφέρθηκε παραπάνω). Αν υπάρχουν άλλα αιτήματα για δρομολογήσεις αυτά αγνοούνται, εκτός και αν έχουν υψηλότερο σειριακό αριθμό, άρα και προτεραιότητα. Το αίτημα με αυτόν τον τρόπο φτάνει στον αρχικό κόμβο, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιήσει τους γειτονικούς για αποστολή της δρομολόγησης. Επίσης, οι αποθηκευμένες αντιστραμμένες δρομολογήσεις θα λήξουν χρονικά, μετά από ένα διάστημα σε εκείνους τους κόμβους που δεν βλέπουν ένα αίτημα [27].

3.2.2 DSR

Το πρωτόκολλο δυναμικής δρομολόγησης πηγής (Dynamic Source Routing – DSR) είναι ένα αυτορυθμιζόμενο πρωτόκολλο δρομολόγησης για χρήση σε ασύρματα δίκτυα. Το πρωτόκολλο μπορεί επίσης να λειτουργήσει με συστήματα κυψελοειδούς τηλεφωνίας και κινητά δίκτυα με έως και 200 κόμβους. Ένα δίκτυο δυναμικής δρομολόγησης πηγής μπορεί να διαμορφωθεί ανεξάρτητα, χωρίς την παρέμβαση διαχειριστών ανθρώπων. Δημιουργεί μια διαδρομή κατόπιν απαίτησης όταν ζητηθεί από έναν κόμβο μετάδοσης.

Χρησιμοποιεί τη δρομολόγηση πηγής αντί να στηρίζεται στον πίνακα δρομολόγησης σε κάθε ενδιάμεσο κόμβο. Ο προσδιορισμός της δρομολόγησης πηγής απαιτεί τη συγκέντρωση της διεύθυνσης κάθε κόμβου μεταξύ της πηγής και του προορισμού κατά την διερεύνηση / ανεύρεση της διαδρομής. Οι συγκεντρωμένες πληροφορίες χρησιμοποιούνται από τους κόμβους που επεξεργάζονται τα πακέτα εντοπισμού διαδρομής. Οι αποκτηθείσες διαδρομές χρησιμοποιούνται για τη δρομολόγηση πακέτων. Τα δρομολογημένα πακέτα περιέχουν τη διεύθυνση κάθε συσκευής που θα μεταφέρει το πακέτο [29].

Λειτουργία: Προκειμένου να στείλει ένα πακέτο από την αφετηρία στον κόμβο προορισμού, ο αποστολέας κατασκευάζει μια διαδρομή πηγής / αφετηρίας στην κεφαλίδα του πακέτου. Αυτή η διαδρομή έχει τη διεύθυνση κάθε κόμβου στο δίκτυο μέσω του οποίου θα προωθηθεί το πακέτο προκειμένου να φτάσει στον κόμβο προορισμού. Ο αποστολέας μεταδίδει το πακέτο μέσω του δικτύου εντοπίζοντας τον πρώτο κόμβο στη διαδρομή προέλευσης. Όταν ένα πακέτο λαμβάνεται από έναν κόμβο, αυτός ελέγχει την κεφαλίδα του και αν αυτός ο κόμβος δεν είναι ο τελικός προορισμός του πακέτου, μεταδίδει απλά το πακέτο στον επόμενο κόμβο που βρίσκεται στη διαδρομή που έθεσε ο κόμβος αφετηρίας στην κεφαλίδα του πακέτου. Καθώς φτάνει στον τελικό του προορισμό, το πακέτο παραδίδεται στο επίπεδο δικτύου που ανήκει ο τερματικός κόμβος. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα μεγάλη κυκλοφορία για μεγάλες διαδρομές ή μεγάλες διευθύνσεις. Για να αποφευχθεί η χρήση της

δρομολόγησης πηγής, το πρωτόκολλο DSR χρησιμοποιεί επίσης μια επιλογή id ροής που επιτρέπει την προώθηση των πακέτων, με μια μέθοδο βήμα-βήμα.

Σε συνδυασμό με τα παραπάνω, το DSR πρωτόκολλο λειτουργεί σε δυο κύριες φάσεις: Τη φάση όπου αναζητεί / ανακαλύπτει δρομολόγηση (Route Discovery) και τη φάση όπου συντηρεί τη δρομολόγηση (Route Maintenance) [29].

3.2.3 RDMR

Το RDMR (Relative distance micro-discovery ad hoc routing) είναι ένα πρωτόκολλο που επιχειρεί να ελαχιστοποιήσει τη δρομολόγηση υπολογίζοντας την απόσταση μεταξύ των κόμβων αφετηρίας και προορισμού, οπότε να επιτύχει τον περιορισμό των αιτημάτων [30]. Σύμφωνα με αυτόν τον μηχανισμό, το πρωτόκολλο δρομολόγησης περιορίζει το εύρος της αναζήτησης δρομολογήσεων, ώστε να εξοικονομήσει το κόστος της μετάδοσης των μηνυμάτων αίτησης διαδρομής σε ολόκληρη την περιοχή ασύρματου δικτύου.

Έτσι, σε αντίθεση με τον αμιγή μηχανισμό ανακοινώσεων μηνυμάτων (flooding mechanism), κατά τον οποίο ένα αίτημα διαδρομής θα φτάσει σε κάθε κόμβο που είναι προσβάσιμος στο ασύρματο δίκτυο, στο RDMAR ένα τέτοιο αίτημα μεταδίδεται μόνο σε μια περιορισμένη περιοχή του δικτύου, προκειμένου να ανακαλυφθεί επιτυχώς ο τερματικός προορισμός. Αυτό επιτυγχάνεται με την εκτίμηση της σχετικής απόστασης μεταξύ του κόμβου αφετηρίας και του κόμβου προορισμού, της αιτούμενης διαδρομής, περιορίζοντας έτσι το εύρος εντοπισμού διαδρομής μέσα σε μια περιοχή που έχει κέντρο τον κόμβο προέλευσης της ανίχνευσης της διαδρομής και μέγιστη ακτίνα που ισούται με την εκτίμηση της σχετικής απόστασης.

Επιπλέον, η πρόταση που έκαναν οι δημιουργοί του πρωτοκόλλου (Aggelou, & Tafazolli, 1999), περιλαμβάνει έναν κατανεμημένο αλγόριθμο για τη συντήρηση ενεργών διαδρομών (δηλαδή διαδρομών που φέρουν ενεργές συνδέσεις). Ο αλγόριθμος

εκμεταλλεύεται τη χωροταξική σχέση των κόμβων σε περίπτωση αποτυχίας κατά μήκος μιας ενεργής διαδρομής και ανάλογα με τη σχετική απόσταση του κόμβου που αναφέρει την αποτυχία από τον κόμβο που κάνει την κλήση και τους κόμβους που δέχονται την κλήση επιστρατεύει δύο ευρετικές μεθόδους (heuristics):

A) Αν η σχετική του απόσταση από τον κόμβο που δέχεται την κλήση είναι μικρότερη ή ίση από την απόστασή του από τον κόμβο που κάνει την κλήση, τότε υλοποιείται ο αλγόριθμος RDM (Relative distance micro-discovery) προκειμένου να εντοπίσει την επισκευή της αποτυχημένης διαδρομής στην περιοχή του δικτύου που αυτή συμβαίνει

Διαφορετικά

B) ο κόμβος προβαίνει σε ενημέρωση του κόμβου που έκανε την κλήση για την αποτυχία μετάδοσης της κλήσης στην επιθυμητή διαδρομή.

Το πρωτόκολλο RDMAR έχει τις ακόλουθες ιδιότητες:

- Είναι αποδοτικό σε σχέση με το εύρος διάυλου (bandwidth-efficient): Η διαδικασία κατασκευής μιας δρομολόγησης επιστρατεύει έναν νέο αλγόριθμο ο οποίος μπορεί να ασκήσει έλεγχο πάνω στην βελτιστότητα της δρομολόγησης.
- Είναι ισχυρό (robust): αντιδρά γρήγορα, δημιουργώντας νέες διαδρομές όταν η τοπολογική αλλαγή καταστρέφει τις υπάρχουσες διαδρομές.
- Είναι απαλλαγμένο από βρόγχους (loop-free) : ο εντοπισμός της διαδρομής εγγυάται διαδρομές χωρίς βρόχο, σε όλες οι περιπτώσεις, λόγω της τεχνικής αρίθμησης ακολουθιών, η οποία είναι παρόμοια με αυτήν που χρησιμοποιείται σε αλγόριθμους AODV .
- Είναι κλιμακούμενο (scalable): : Προκειμένου το πρωτόκολλο να αυξήσει τη δυνατότητα επέκτασης έχει ένα μηχανισμό εντοπισμού ο οποίος ελέγχει την ένταση της κυκλοφορίας στο δίκτυο και ως εκ τούτου αποσυνδέει τη διάδοση του ελέγχου από το ρυθμό των τοπολογικών αλλαγών.
- Έχει αντιδραστική χρήση (reactive), δηλαδή, ενεργοποιείται για την εξεύρεση δρομολογήσεων, μόνο όταν είναι απαραίτητο και ζητηθεί.

Στο RDMAR, οι κλήσεις δρομολογούνται μεταξύ των σταθμών του δικτύου χρησιμοποιώντας πίνακες δρομολόγησης που αποθηκεύονται σε κάθε σταθμό του δικτύου. Με αυτόν τον τρόπο κάθε κόμβος αντιμετωπίζεται ως κεντρικός υπολογιστής καθώς και ως κόμβος αποθήκευσης-και-επαναπροώθησης. Κάθε πίνακας δρομολόγησης παραθέτει όλους τους προσπελάσιμους προορισμούς, όπου για κάθε προορισμό *i*, υπάρχουν πρόσθετες πληροφορίες δρομολόγησης.

Αυτό περιλαμβάνει:

- Το πεδίο "Προεπιλεγμένος δρομολογητής" (Default Router), που δείχνει τον επόμενο κόμβο (στο βηματισμό – hop),μέσω του οποίου μπορεί ο τρέχων κόμβος να φτάσει τον κόμβο *i*,
- Το πεδίο "RD" που δείχνει μια εκτίμηση της σχετικής απόστασης (σε βήματα) μεταξύ του τρέχοντος κόμβου και του κόμβου *i*,
- Το πεδίο "Time_Last_Update" (TLU) που υποδεικνύει το χρόνο από την τελευταία ενημέρωση, όταν ο κόμβος έλαβε τις τελευταίες πληροφορίες δρομολόγησης για τον *i*,
- Ένα πεδίο "RT_Timeout" στο οποίο καταγράφεται το υπόλοιπο χρονικό διάστημα πριν από τη στιγμή που η διαδρομή «λήγει» και θεωρείται άκυρη και
- Ένα πεδίο "Route Flag" που δηλώνει αν η διαδρομή προς το *i* είναι ενεργή.

Το RDMAR περιλαμβάνει δύο κύριους αλγόριθμους. Τον αλγόριθμο για τον εντοπισμό/ανακάλυψη της Διαδρομής (Route Discovery algorithm) και τον αλγόριθμο για τη συντήρηση της διαδρομής ο οποίος είναι υπεύθυνος για να ανακαλύψει μια διαδρομή και ο αλγόριθμος συντήρησης διαδρομής (Route Maintenance algorithm),με βασικό σκοπό το να ανιχνεύει, κατά τη διάρκεια χρήσης μιας δρομολόγησης, αν η τοπολογία του δικτύου έχει αλλάξει, έτσι ώστε η δρομολόγηση αυτή δεν μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί.

Συμπερασματικά, όπως αναφέρεται από τους δημιουργούς, ο αλγόριθμος RDMAR σχεδιάστηκε έτσι ώστε να ελαχιστοποιεί την αντίδραση και τη λειτουργία σε τοπολογικές αλλαγές του δικτύου. Μια κεντρική ιδέα στο σχεδιασμό του είναι ότι τα μηνύματα ελέγχου συνήθως εντοπίζονται σε μια μικρή περιοχή κοντά στο σημείο που πραγματοποιείται η αλλαγή στο δίκτυο. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μιας διαδικασίας που αναφέρεται ως σχετική απόσταση (Relative distance – εξ ου και το όνομα της μεθόδου), και εκμεταλλεύεται τις χωρικές και χρονικές σχέσεις ad-hoc τερματικών σταθμών, κατασκευάζοντας μια διαδικασία εντοπισμού διαδρομής μικρής εμβέλειας, με αποτέλεσμα λιγότερες ανακατασκευές των διαδρομών και, ως εκ τούτου, την επίτευξη υψηλότερης δυναμικότητας.

3.2.4 Tora

Το Πρωτόκολλο TORA Temporally-Ordered Routing Algorithm είναι ένα αναδραστικό, προσαρμοστικό, κατανεμημένο, πρωτόκολλο δρομολόγησης χωρίς βρόχους, που αναπτύχθηκε για δίκτυα πολλών αλμάτων [31][32][33]. Είναι σχεδιασμένο ώστε να ελαχιστοποιεί την αντίδραση στις τοπολογικές αλλαγές. Βασική ιδέα στο σχεδιασμό του είναι ότι αποσυνδέει τη δημιουργία δυνητικά εκτεταμένης μετάδοσης μηνύματος ελέγχου από τον ρυθμό των τοπολογικών αλλαγών. Τα μηνύματα ελέγχου συνήθως εντοπίζονται σε πολύ μικρό σύνολο των κόμβων κοντά στην αλλαγή χωρίς να χρειάζεται να καταφύγει η δομή σε μια δυναμική, ιεραρχική λύση δρομολόγησης με τη σχετική πολυπλοκότητά της. Το TORA περιλαμβάνει έναν δευτερεύοντα μηχανισμό, ο οποίος επιτρέπει εκτεταμένο έλεγχο - διάδοση μηνυμάτων ως μέσο βελτιστοποίησης της διαδρομής και - επαλήθευσης δρομολόγησης. Αυτό συμβαίνει περιοδικά σε πολύ χαμηλό ρυθμό και είναι ανεξάρτητο από την τοπολογία του δικτύου.

Όταν ένας κόμβος λαμβάνει ένα αίτημα για δρομολόγηση και ξέρει τη διαδρομή, τότε αποστέλλει μια απάντηση στο μήνυμα, σε διαφορετική περίπτωση, το απορρίπτει.

Ο κόμβος που λαμβάνει το μήνυμα-αίτημα για δρομολόγηση το αποθηκεύει σε έναν κατευθυνόμενο γράφο, σε περίπτωση που αυτό περιλαμβάνει την πιο σύντομη διαδρομή. Έτσι, δημιουργούνται πολλαπλές διαδρομές προς τον κόμβο προορισμού, οι οποίες δεν περιλαμβάνουν βρόγχους.

3.3 Υβριδικά Πρωτόκολλα

Τα υβριδικά πρωτόκολλα (Hybrid Protocols) είναι πρωτόκολλα δρομολόγησης για ασύρματα δίκτυα που συνδυάζουν την τεχνική των προληπτικών πρωτοκόλλων με εκείνη των αντιδραστικών, που περιγράφηκαν στις προηγούμενες ενότητες.

Ο σχεδιασμός τους έγινε με σκοπό να μειωθεί η επιβάρυνση που δημιουργείται σε ένα κινητό δίκτυο από την ανταλλαγή των μηνυμάτων ελέγχου που προορίζονται για τον προσδιορισμό της τοπολογίας που χαρακτηρίζει τα προληπτικά πρωτόκολλα. Παράλληλα, ο σχεδιασμός τους κατευθύνθηκε επίσης στο να μειώσει την καθυστέρηση που υπάρχει στην εύρεση της δρομολόγησης, κάτι που υπάρχει στα αναδραστικά πρωτόκολλα. Στη συνέχεια θα περιγραφούν δύο από τα πιο γνωστά υβριδικά πρωτόκολλα: το Zone Routing Protocol (ZRP) και το Hybrid Ad-hoc Routing Protocol (HARP).

3.3.1 ZRP

Το ZRP είναι ένα υβριδικό πρωτόκολλο δρομολόγησης, που έχει λάβει χαρακτηριστικά τόσο από τα προληπτικά (proactive), όσο και από τα αντιδραστικά (reactive) πρωτόκολλα (με άλλα λόγια λειτουργεί με πίνακες αλλά και με κλήσεις) [34]. Το πρωτόκολλο είναι βασισμένο σε μια λογική σύμφωνα με την οποία το δίκτυο διαιρείται σε πολλές ζώνες δρομολόγησης και κάνει χρήση δύο διαφορετικών πρωτοκόλλων για λειτουργία εντός των ζωνών και μεταξύ τους.

Οι κόμβοι που είναι γειτονικοί σε έναν κόμβο, αποτελούν τη ζώνη δρομολόγησής του. Έτσι, ο κάθε κόμβος έχει ξεχωριστή ζώνη και σε αυτήν ανήκουν ένα σύνολο κόμβων. Σε αυτό το σύνολο κόμβων, η ζώνη δρομολόγησης είναι η ελάχιστη απόσταση σε βήματα (παράδειγμα ένας κεντρικός κόμβος και όλοι όσοι είναι σε απόσταση ενός βήματος από αυτόν), και δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την ακτίνα της ζώνης [35]. Ο κόμβος διατηρεί έναν πίνακα (με παρόμοιο σκεπτικό που είναι στα προληπτικά πρωτόκολλα), και σε αυτόν είναι αποθηκευμένες οι διευθύνσεις των άλλων κόμβων εντός της ζώνης.

Η επικοινωνία εντός της ζώνης του κόμβου πραγματοποιείται άμεσα, αν είναι σε απόσταση άμεσης επικοινωνίας, ενώ αν είναι εκτός εμβέλειας του χρησιμοποιείται ένα προληπτικό πρωτόκολλο (Intra Zone Routing Protocol - IAPR) για την εύρεση της διαδρομής. Στην περίπτωση της επικοινωνίας μεταξύ διαφορετικών ζωνών, γίνεται χρήση ενός αναδραστικού πρωτόκολλου (Inter Zone Routing Protocol - IERP).

Προκειμένου να καθορίζει μια ζώνη δρομολόγησης, ο κόμβος θα πρέπει πρώτα να αναγνωρίσει όλους τους γειτονικούς κόμβους με τους οποίους δεν μπορεί να έχει άμεση επικοινωνία. Ακόμα, το πρωτόκολλο ZRP επιστρατεύει τη μέθοδο της περιφερειακής εκπομπής (bordercasting), μέσω της οποίας ένας κόμβος έχει τη δυνατότητα να στείλει μήνυμα στους περιφερειακούς του κόμβους. Αυτό γίνεται εφικτό στο ZRP μέσω της υπηρεσίας Border-cast Resolution Protocol (BRP) που δημιουργεί δενδροειδείς δομές πολυεκπομπής για τη μεταφορά των μηνυμάτων. Οι κόμβοι που βρίσκονται στην περίμετρο της ζώνης αναζητούν στην τοπική τους περιοχή τον κόμβο προορισμού. Στην περίπτωση που δεν βρεθεί, αποστέλλουν μήνυμα ελέγχου στους κόμβους της δικής τους ζώνης με ένδειξη της διεύθυνσής τους. Εάν βρεθεί, τότε αποστέλλουν την απάντηση στον κόμβο αφετηρίας που είχε εκκινήσει το ερώτημα.

Ένα σημαντικό στοιχείο στο πρωτόκολλο ZRP είναι ότι μια κλήση δρομολόγησης μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα πολλές απαντήσεις για δρομολογήσεις.

3.3.2 HARP

Το πρωτόκολλο HARP (Hybrid Ad-hoc Routing Protocol) είναι ένα υβριδικό πρωτόκολλο, το οποίο ακολουθεί τη λογική της διαίρεσης του δικτύου σε ζώνες. Χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο κατανεμημένης δυναμικής δρομολόγησης - distributed dynamic routing (DDR) [36][37]. Η λειτουργία του πρωτοκόλλου βασίζεται στη διαίρεση του δικτύου σε ζώνες που δεν αλληλοκαλύπτονται, στην προσπάθεια να βρεθεί μια σταθερή διαδρομή. Όπως και στο ZRP γίνεται χρήση προληπτικών πρωτοκόλλων, για επικοινωνίες μεταξύ κόμβων που είναι μέσα στην ίδια ζώνη και αναδραστικών πρωτοκόλλων για επικοινωνίες μεταξύ των ζωνών.

Στο HARP κάθε κόμβος διατηρεί πληροφορίες δρομολόγησης μόνο για τους κόμβους που βρίσκονται εντός της ίδιας ζώνης με αυτόν και τις γειτονικές ζώνες. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η πλεονάζουσα πληροφορία για τους υπόλοιπους κόμβους.

Στο HARP, η δημιουργία των ζωνών και η προληπτική συμπεριφορά σε σχέση με τις ιδιότητες του δικτύου παρέχονται από τον αλγόριθμο DDR. Το HARP είναι υπεύθυνο για την ανεύρεση και τη συντήρηση της δρομολόγησης, προκειμένου να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Δημιουργεί και επιλέγει τη διαδρομή σύμφωνα με την έννοια της σταθερότητας σε επίπεδο ζώνης, (zone level stability), η οποία αποτελεί επέκταση της έννοιας της σταθερότητας του κόμβου.

Η σταθερότητα επιπέδου ζώνης ορίζεται από τη σταθερότητα σύνδεσης μιας ζώνης με μια γειτονική της. Το HARP εφαρμόζει προληπτική συντήρηση διαδρομής (early route maintenance), όσον αφορά το βαθμό σταθερότητας της ζώνης. Με άλλα λόγια, το HARP αποφεύγει την πρόσθετη καθυστέρηση που προκαλείται από την αποτυχία της δρομολόγησης κατά τη μετάδοση δεδομένων και ανανεώνει τη διαδρομή, πριν το χρόνο που το σύστημα θα βρεθεί σε κατάσταση αστάθειας.

Το αίτημα για την αναζήτηση δρομολόγησης μεταδίδεται μεταξύ διαφορετικών ζωνών μέσω κόμβων που έχουν το ρόλο πύλης (gateway), ενώ ταυτοχρόνως γίνεται και χρήση

πινάκων δρομολόγησης εντός κι εκτός των περιοχών. Προκειμένου να μεταδοθούν τα μηνύματα εντός της ίδιας ζώνης, γίνεται χρήση προκαθορισμένων δομών και δεν χρησιμοποιούνται όλοι οι κόμβοι. Γνώμονας για το σχεδιασμό του πρωτοκόλλου ήταν η βελτίωση της αξιοπιστίας στη δρομολόγηση. Ο κόμβος που θα λάβει το ερώτημα (προορισμού), αποστέλλει απάντηση με την επιλογή της διαδρομής που θεωρεί ως πιο σταθερή, ενώ αν λήξει ο χρόνος της επικοινωνίας, τότε η δρομολόγηση ενημερώνεται από την αρχή.

3.4 Ιεραρχικά Πρωτόκολλα

Στην περίπτωση των αλγορίθμων επίπεδης δρομολόγησης, όλοι οι συμμετέχοντες κόμβοι έχουν ίσα δικαιώματα και ευθύνες ως προς το δίκτυο. Αυτοί οι αλγόριθμοι δρομολόγησης είναι κατάλληλοι για μικρά δίκτυα όπου το δίκτυο μπορεί εύκολα να διαχειρίζεται, έχοντας κόμβους με την ίδια λειτουργικότητα. Αλλά, καθώς το μέγεθος του δικτύου αυξάνει, οι επίπεδοι αλγόριθμοι δρομολόγησης δεν μπορούν να συνεχίσουν με την ίδια αποδοτικότητα και η απόδοση τους υποβαθμίζεται, όταν αυξάνεται ο αριθμός των κόμβων. Αυτό συμβαίνει επειδή με την αύξηση του το μέγεθος του δικτύου γίνεται όλο και πιο δύσκολο να υπάρξει ενημέρωση στους πίνακες δρομολόγησης [38].

Αντίθετα, τα ιεραρχικά δίκτυα ταξινομούν κόμβους με βάση την προτεραιότητα. Το όλο δίκτυο διαιρείται σε τομείς, που είναι παρόμοιοι με τους κύκλους σε ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας [38]. Τα ιεραρχικά πρωτόκολλα δρομολόγησης των ασύρματων δικτύων είναι ένα είδος πρωτοκόλλου που βασίζεται πάνω στην ιδέα της διαίρεσης των κόμβων σε μια σειρά επικαλυπτόμενων ή διαφορετικών συστάδων [39]. Στην ουσία, η βάση στο σκεπτικό της ιεραρχικής δρομολόγησης είναι η διαίρεση των κόμβων των αυτο-οργανωμένων δικτύων.

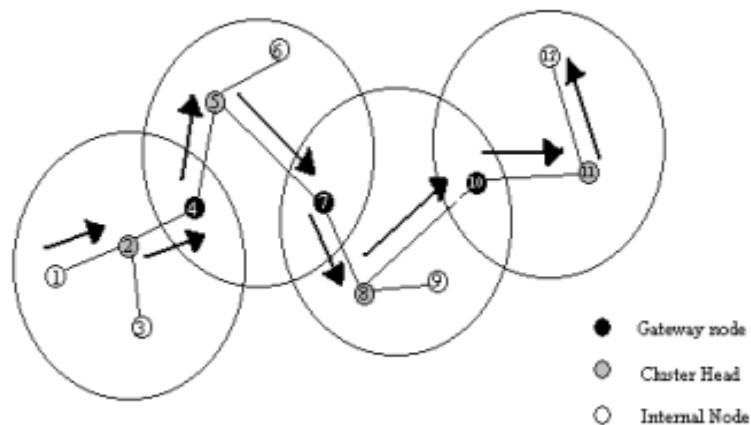
Το ιεραρχικό δίκτυο χρησιμοποιείται όταν το μέγεθος του δικτύου μέσα σε ένα MANET αυξάνεται υπερβολικά [40]. Τα πρωτόκολλα ιεραρχικής δρομολόγησης οργανώνουν το

δίκτυο ως ένα δέντρο συστάδων, όπου οι ρόλοι και οι λειτουργίες των κόμβων είναι διαφορετικοί σε διάφορα επίπεδα της ιεραρχίας. Οι διαδρομές κατασκευάζονται σύμφωνα με τη θέση του κόμβου στην εικονική ιεραρχία [41].

Ένα άλλο πλεονέκτημα των ιεραρχικών πρωτοκόλλων είναι ότι σε περίπτωση αποτυχίας δρομολόγησης δεν χρειάζεται να επαναυπολογιστεί ολόκληρη η διαδρομή. Μόνο το τμήμα της διαδρομής στον τομέα όπου η διαδρομή έχει διακοπεί πρέπει να υπολογιστεί εκ νέου. Αντιθέτως, στην περίπτωση επίπεδων πρωτοκόλλων σε περίπτωση αποτυχίας μιας διαδρομής, τότε ολόκληρη η διαδρομή πρέπει να υπολογιστεί εκ νέου από την πηγή έως τον προορισμό. Κάτι τέτοιο δεν είναι μόνο χρονοβόρο, αλλά επιπλέον προσθέτει πολύ μεγάλο φόρτο δίκτυο. Επομένως, τα ιεραρχικά δίκτυα είναι κατάλληλα για να αντιμετωπίσουν, όχι μόνο μόνο το πρόβλημα της επεκτασιμότητας, αλλά και της αποτυχία διαδρομής [38].

3.4.1 HSR

Η συνοχή του δικτύου αναφέρεται στη διατήρηση των μερών του δικτύου μαζί, την έκδοση ενημερώσεων δρομολόγησης, την παρακολούθηση των κόμβων που εισέρχονται και εξέρχεται από το δίκτυο κλπ. Καθώς το μέγεθος ενός MANET αυξάνεται, συγχρόνως αυξάνεται και η κυκλοφορία ελέγχου. Όταν οι κόμβοι αναλαμβάνουν το έργο της συνοχής του δικτύου αλλά και τη μεταφορά δεδομένων, τότε δημιουργούνται σημεία συμφόρησης στο δίκτυο οδηγώντας όχι μόνο στην αποστράγγιση της μπαταρίας των κόμβων, αλλά και στην αργή λειτουργία του δικτύου. Ως εκ τούτου, είναι εξαιρετικά σημαντικό να διαχωριστούν οι δύο αυτές λειτουργίες για να αποτραπούν τα προβλήματα συμφόρησης και περιπτώσεις χαμηλής ισχύος και κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει στα ιεραρχικά μοντέλα. Η μέθοδος είναι διαιρώντας το MANET σε τομείς/συστοιχίες/συστάδες/συμπλέγματα (clusters) έναν επικεφαλή σε κάθε συστάδα (cluster-head) που έχει ευθύνες συνοχής του δικτύου. Ένα πρωτόκολλο που υποστηρίζει αυτό το σκεπτικό είναι το HSR (Hierarchically Segmented Routing Protocol) [38].

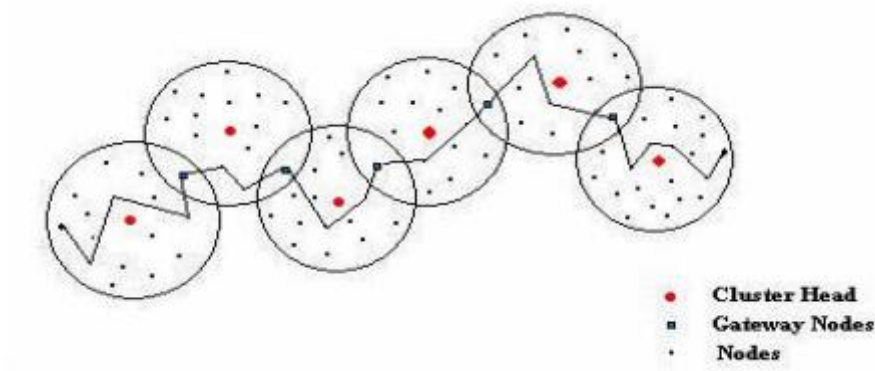


Τομείς σε ένα ιεραρχικό δίκτυο με κόμβους πύλης (●), επικεφαλής (●), και εσωτερικούς (○) – Πηγή Sarosh, Syed & Khaled, 2009

Σύμφωνα με αυτό το σκεπτικό, η συσταδοποίηση (clustering) ενός δικτύου MANET είναι απαραίτητη, καθώς αποφεύγει τους μεγάλους πίνακες δρομολόγησης. Κάθε τομέας μπορεί να έχει μόνο έναν περιορισμένο αριθμό κινητών κόμβων που μπορεί να υποστηρίξει ο επικεφαλής (cluster-head). Εάν ο αριθμός ξεπεραστεί, τότε δημιουργείται ένας νέος τομέας, με έναν επικεφαλής κόμβο. Αυτό επίσης περιορίζει την κυκλοφορία ελέγχου εντός του τομέα. Ο επικεφαλής του τομέα συνδέεται με τον αντίστοιχο clusterhead των άμεσων γειτονικών συμπλεγμάτων του μέσω ενός κόμβου πύλης (βλ. Εικόνα 3). Το εύρος επικοινωνίας των άλλων κόμβων μέσα στον τομέα εκτός από τον επικεφαλής κόμβο και τους κόμβους πύλης περιορίζονται εντός του τομέα.

Οι επικεφαλής δεν συμμετέχουν στη μεταφορά δεδομένων, καθώς η κύρια ευθύνη τους είναι να επιβλέπουν τη συστάδα και να διατηρούν ενημερωμένους τους πίνακες δρομολόγησης. Αυτό εξοικονομεί επίσης τον επικεφαλής από την κατανάλωση ενέργειας και αποφεύγεται η δημιουργία σημείων. Ωστόσο, ο επικεφαλής μπορεί να συμμετέχει μόνο κάτω από ειδικές συνθήκες, όπως όταν είναι αφετηρία ή προορισμός ή κανένας άλλος κόμβος δεν είναι ενεργός μέσα στον τομέα ή επίσης, όταν ο συμμετέχων κόμβος μέσα στη διαδρομή καθίσταται ανενεργός για τη μεταφορά των δεδομένων.

Σε περίπτωση διαδρομών που εκτείνονται σε πολλαπλούς τομείς, η διαδρομή διαιρείται σε τμήματα (το τμήμα θεωρείται υποδιαίρεση του τομέα). Η διαχείριση της δρομολόγησης γίνεται ιεραρχικά χρησιμοποιώντας δύο πρωτόκολλα δρομολόγησης. Ένα σε επίπεδο εντός των τμημάτων και το άλλο σε επίπεδο μεταξύ των τμημάτων. Ολόκληρη η διαδρομή από την αφετηρία στον προορισμό έχει κόμβους που ανήκουν σε πολλαπλά τμήματα. Ένα τμήμα είναι μέρος μιας διαδρομής που αποτελεί μέρος ενός συγκεκριμένου τομέα. Είναι η διαδρομή μεταξύ δύο κόμβων πύλης και η διαδρομή μεταξύ του κόμβου πύλης και του κόμβου προέλευσης ή του κόμβου προορισμού. Με άλλα λόγια, η διαδρομή είναι μια σύνδεση ενός ή περισσότερων τμημάτων και το κάθε τμήμα έχει μια κεφαλή. Οι πληροφορίες δρομολόγησης που απαιτούνται για τη διατήρηση της διαδρομής, παρέχονται στον κόμβο-κεφαλή του τμήματος από την κεφαλή τομέα αυτού του συμπλέγματος. Η συνολική διαδρομή διαμορφώνεται σε μία μονοδιάστατη σύνδεση τμημάτων που εκτείνονται σε πολλούς τομείς από την πηγή έως τον προορισμό.



Διαίρεση διαδρομής σε ιεραρχικά δίκτυα. Πηγή Sarosh, Syed & Khaled, 2009

3.4.2 VSR

Τα VSR (Virtual Structure Routing Protocol) είναι πρωτόκολλα εικονικής δομής δρομολόγησης του δικτύου. Μια εικονική δομή μπορεί να βοηθήσει στην δόμηση και την οργάνωση του δικτύου και μετά την αρχική οργάνωση, ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης είναι ευκολότερο να εφαρμοστεί, κάνοντας τη δομή περισσότερο αποδοτική. Το VSR συνδέει τη δομή κεντρικού συστήματος (backbone) με αυτή των τομέων (clusters) [42].

Οι αλγόριθμοι τόσο για την κατασκευή όσο και για τη συντήρηση απαιτούν τη γνώση του k_{cds} -neighborhood (k_{cds} είναι μια παράμετρος του πρωτοκόλλου. Κάθε κόμβος αποστέλλει hello πακέτα (broadcast) που περιέχουν τον κατάλογο των γειτονικών του. Αυτά προωθούνται σε $k_{cds}-1$ άλματα μακριά. Ένας κόμβος θα προωθήσει το πακέτο hello εάν αυτό προέρχεται από έναν αμφίδρομο γείτονα. Έτσι, αποφεύγουμε τη δημιουργία και τη χρήση των συνδέσεων μιας κατεύθυνσης.

3.5 Γεωγραφικά Πρωτόκολλα

Τα γεωγραφικά πρωτόκολλα είναι αυτά που δρομολόγηση προϋποθέτει τη δυνατότητα των κινητών κόμβων να γνωρίζουν τη γεωγραφική τους θέση μέσω κάποιου συστήματος GPS/GLONASS (Global Navigation Satellite System) [32][43]. Η βασική ιδέα πάνω στην οποία βασίζονται είναι ότι κάθε πακέτο πληροφορίας στέλνεται στον κοντινότερο γεωγραφικά κόμβο προς την κατεύθυνση του προορισμού. Το σκεπτικό σε αυτά τα πρωτόκολλα είναι ότι δεν χρειάζεται απαραίτητα η διατήρηση πληροφοριών για τη δρομολόγηση μεταξύ του κόμβου προέλευσης και του κόμβου προορισμού. Κάτι τέτοιο μεταφράζεται στο ότι δεν είναι απαραίτητης πλήρεις πληροφορίες για την τοπολογία του δικτύου[44][45].

Απαντώνται δύο τύποι γεωγραφικών πρωτοκόλλων δρομολόγησης: τα «άπληστα» πρωτόκολλα V2V που βασίζονται στη θέση (Position-based Greedy V2V Protocols) και τα πρωτόκολλα με ανεκτικότητα στην καθυστέρηση (Delay Tolerant Protocols).

3.5.1 Άπληστα Πρωτόκολλα (Greedy)

Σύμφωνα με τα «άπληστα» (Greedy) πρωτόκολλα, κάθε κόμβος προωθεί το πακέτο στον κόμβο που βρίσκεται πιο μακριά και προς την κατεύθυνση του επόμενου κόμβου μέχρι τον τελικό προορισμό. Κάτι τέτοιο προϋποθέτει ότι ο κόμβος- αποστολέας έχει γνώση της γεωγραφικής θέσης του επόμενου κόμβου στον οποίο θα αποστείλει (δρομολογήσει) το πακέτο, όπως επίσης και του κόμβου προορισμού.

Λόγω του ότι η αποστολή των πακέτων πραγματοποιείται με τη μικρότερη δυνατή καθυστέρηση, τα Greedy πρωτόκολλα ονομάζονται επίσης και πρωτόκολλα δρομολόγησης ελάχιστης καθυστέρησης. Ένα από τα αρνητικά σημεία των «άπληστων» πρωτοκόλλων δρομολόγησης V2V είναι ότι ενδέχεται να παρουσιάσουν βρόγχους δρομολόγησης οι οποίοι μπορεί να οδηγήσουν σε διαφορετική κατεύθυνση από εκείνη στην οποία βρίσκεται ο κόμβος προορισμού [32].

Πρωτόκολλα που συγκαταλέγονται στα «άπληστα» είναι:

Greedy Perimeter Stateless Routing (GPSR): Σε αυτό οι κόμβοι εκπέμπουν σε τακτά/περιοδικά χρονικά διαστήματα ένα μήνυμα που περιλαμβάνει την ταυτότητά τους και τη γεωγραφική τους θέση [32]. Αν για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα ένα κόμβος δεν λάβει πληροφορίες θέσης από ένα άλλο γειτονικό κόμβο, τότε θεωρεί ότι ο άλλος κόμβος δεν βρίσκεται εντός της εμβέλειας του, τον διαγράφει από τη λίστα των γειτονικών του κόμβων, και έτσι διατηρεί έναν πίνακα γειτονικών κόμβων οι οποίοι βρίσκονται σε απόσταση ενός άλματος από αυτόν. Χρησιμοποιώντας «άπληστους»

αλγόριθμους ο κόμβος προωθεί τη δρομολόγηση, όχι στον κοντινότερο σε αυτόν κόμβο, αλλά στον κόμβο που βρίσκεται γεωγραφικά πλησιέστερα στον κόμβο προορισμού.

Greedy Perimeter Coordinator Routing (GPCR): Το πρωτόκολλο δρομολόγησης GPCR αποτελείται από δύο κύρια συστατικά. Το πρώτο είναι ένας «άπληστος» αλγόριθμος που ορίζει μια διαδικασία προώθησης των πακέτων και το δεύτερο είναι μια στρατηγική επιδιόρθωσης του αλγορίθμου δρομολόγησης. Για την εφαρμογή του πρωτοκόλλου δεν είναι απαραίτητος εξωτερικός χάρτης, επειδή η δομή του βασίζεται στο οι δρόμοι αποτελούν ένα γράφο. Τα πακέτα δρομολογούνται σε κόμβους που βρίσκονται εντός των σημείων τομής των τομέων που σχηματίζονται από τους κόμβους του δικτύου. Οι κόμβοι αυτοί αναφέρονται ως συντονιστές και δεν είναι εύκολο να εντοπιστούν καθώς δεν γίνεται χρήση κάποιου στατικού χάρτη. Ο προσδιορισμός τους γίνεται με χρήση ευρετικών μεθόδων (heuristics). Οι κόμβοι αυτοί μπορούν να παίρνουν αποφάσεις δρομολόγησης, δηλαδή, να αποφασίσουν για τη δρομολόγηση σε κόμβους που μπορεί να μην βρίσκονται κοντά στον κόμβο προορισμού, όμως βρίσκονται στη διαδρομή που τελικά καταλήγει στον κόμβο προορισμού.

Vertex-Based Predictive Greedy Routing (VGPR): Το πρωτόκολλο δρομολόγησης VGPR έχει κατασκευαστεί με σκοπό να χρησιμοποιείται σε αστικά περιβάλλοντα και αξιοποιεί την υποδομή του δικτύου (RSUs) [32][46]. Οι πληροφορίες για τους κόμβους, όπως η θέση, η ταχύτητα και η κατεύθυνση αξιοποιούνται για τον υπολογισμό της συντομότερης διαδρομής προκειμένου να δρομολογηθεί ένα πακέτο από τον κόμβο προέλευσης προς το κοντινότερο σημείο της υποδομής. Αν υπάρχουν περισσότερες από μια διαδρομές με τον ελάχιστο αριθμό κόμβων/βημάτων, τότε επιλέγεται μια εξ αυτών, με τυχαίο τρόπο.. Η προώθηση προς το πλησιέστερο RSU γίνεται με τη χρήση του Predictive Directional Greedy Routing (PDGR).

Κάθε κόμβος σε αυτή τη δομή διατηρεί έναν πίνακα που περιλαμβάνει τους γειτονικούς κόμβους που απέχουν δυο άλματα και τα στοιχεία της θέσης τους. Η ενημέρωση του πίνακα πραγματοποιείται μέσω ανταλλαγής περιοδικών μηνυμάτων ελέγχου. Το

πρωτόκολλο VGPR παρουσιάζει μικρότερη καθυστέρηση στη μεταφορά του μηνύματος, καθώς περιορίζει τις άσκοπες εκπομπές. Επίσης αυξάνει την αξιοπιστία δρομολόγησης.

Mobile Infrastructure Based VANET Routing Protocol (MIBR): Το πρωτόκολλο MIBR αξιοποιεί τα λεωφορεία ως υποδομή, για κύριο μέρος των κόμβων και είναι κατάλληλο για αστικό περιβάλλον. Η πυκνότητα των κόμβων σε περιοχές του δικτύου σχετίζεται με την ταχύτητα που κινείται το λεωφορείο [32]. Η προτεραιότητα στη δρομολόγηση δίνεται στα λεωφορεία, καθώς έχουν σταθερά χαρακτηριστικά κίνησης και εγγύτητας μεταξύ τους.

Greedy Traffic Aware Routing Protocol (GYTAR): Το GYTAR αποτελεί μια βελτίωση του «άπληστου» πρωτοκόλλου δρομολόγησης για δίκτυα VANET. Το χαρακτηριστικό του είναι ότι έχει επίγνωση της κυκλοφορίας όταν πρόκειται για αστικά περιβάλλοντα. Χρησιμοποιεί εξωτερικό χάρτη και η δρομολόγηση πακέτων γίνεται μέσω επιλογής της κατάλληλης διασταύρωσης. Αυτή η επιλογή βασίζεται στην πυκνότητα της κυκλοφορίας, κάθε φορά, και στην απόσταση της διασταύρωσης από τον κόμβο προορισμού. Οι κόμβοι έχουν τη δυνατότητα να εκτιμήσουν τη θέση τους λίγο πριν την εκπομπή του επόμενου μηνύματος, με χρήση πληροφοριών που έχουν από τα δεδομένα της κίνησης για τους γειτονικούς κόμβους.

Diagonal-Intersection-Based Routing Protocol (DIR): Τα πρωτόκολλα DIR βασίζονται στην δημιουργία διαγώνιων μεταξύ των κόμβων αφετηρίας και προορισμού [44]. Η μεταφορά των πακέτων δρομολόγησης γίνεται προς τον κοντινότερο κόμβο. Κατόπιν, τα πακέτα μεταδίδονται στις διαγώνιους μέχρι να φτάσουν στον τελικό προορισμό. Χαρακτηριστικό των πρωτοκόλλων DIR είναι ότι κάνουν αυτόματη επιλογή της διαδρομής που έχει τη μικρότερη καθυστέρηση στη διάδοση των πακέτων. Η τεχνική αυτή παρέχει στο δίκτυο μια μορφή αυτόματης δυναμικής ρύθμισης, αφού η διαδρομή που επιλέγεται είναι αυτή που επιτρέπει τη ταχύτερη μετάδοση των μηνυμάτων.

3.5.2 Πρωτόκολλα ανεκτικά στην Καθυστέρηση

Η ονομασία αυτού του τύπου πρωτοκόλλων οφείλεται στο ότι το χαρακτηριστικό τους είναι ότι η εκπομπή ενός μηνύματος μπορεί να καθυστερήσει μέχρις ότου η αναμετάδοσή του από άλλον κόμβο να είναι εφικτή. Τα πρωτόκολλα αυτά, δεν χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα σε αστικό περιβάλλον, όμως μπορούν να αξιοποιηθούν κυρίως εκτός αστικού περιβάλλοντος, καθώς εκεί τα οχήματα δεν έχουν μεγάλη, ούτε ομοιόμορφη πυκνότητα. Τέτοια πρωτόκολλα είναι το Motion Vector Routing Algorithm (MOVE), το Vehicle Assisted Data Delivery (VADD) και το Static Node Assisted Adaptive Routing Protocol (SADV).

Motion Vector Routing Algorithm (MOVE): Σε δίκτυα που έχουν μικρή πυκνότητα κόμβων υπάρχουν λιγότερες πιθανότητες επιτυχούς μετάδοσης του μηνύματος. Στο πρωτόκολλο MOVE οι κόμβοι αναλαμβάνουν δράση ως δρομολογητές με ασταθή σύνδεση. Έτσι υπάρχει η ανάγκη πρόβλεψης της πιθανότητας το μήνυμα να μεταφερθεί προς την κατεύθυνση του προορισμού. Ο αλγόριθμος MOVE λειτουργεί με βάση την υπόθεση ότι κάθε όχημα γνωρίζει τη θέση, την κατεύθυνση και τον προορισμό του, οπότε έχει τη δυνατότητα να υπολογίσει την ελάχιστη απόσταση μεταξύ εαυτού και του προορισμού του μηνύματος [44]. Ο σχεδιασμός του MOVE είναι για δίκτυα με χαμηλή πυκνότητα και για οχήματα που μεταφέρουν μηνύματα από το δίκτυο σε σταθμούς βάσεις. Έχει χαμηλό ρυθμό μετάδοσης, καθώς δημιουργεί πολλά πλεονάζοντα μηνύματα.

Vehicle Assisted Data Delivery (VADD): Αποτελούν πρωτόκολλα που σχεδιάστηκαν για δίκτυα με μικρή πυκνότητα. Το πρωτόκολλο VADD προϋποθέτει ότι κάθε όχημα γνωρίζει τη θέση του σε έναν εξωτερικό χάρτη [44]. Σύμφωνα με αυτό το πρωτόκολλο ο κάθε κόμβος δεν μεταδίδει το πακέτο δεδομένων και το διατηρεί έως ότου βρεθεί εντός της ακτίνα εκπομπής και τότε θα το προωθήσει. Με άλλα λόγια, τα μηνύματα μεταδίδονται με δύο τρόπους: Με προώθηση μέσω αλμάτων και με κίνηση των οχημάτων. Κάθε πακέτο μπορεί να έχει τρεις καταστάσεις αναφορικά με τη θέση του κόμβου εκπομπής και τη θέση του κόμβου προορισμού. (α) Κατάσταση Ευθείας, όπου το όχημα βρίσκεται

στο δρόμο και το πακέτο μπορεί να κινηθεί προς τον κόμβο προορισμού χωρίς να αλλάξει η φορά. (α) Κατάσταση Διασταύρωσης, όπου η διαδρομή του πακέτου είναι σε διασταύρωση και πρέπει να ληφθούν αποφάσεις για την πορεία που θα ακολουθήσει, ώστε να φτάσει στον κόμβο προορισμό και (γ) Κατάσταση Προορισμού, κατά την οποία το πακέτο βρίσκεται κοντά στον τελικό προορισμό.

Static Node Assisted Adaptive Routing Protocol (SADV): Σε αυτό το πρωτόκολλο, προϋπόθεση είναι η γνώση της θέσης του οχήματος μέσω GPS, καθώς και η πρόσβαση σε εξωτερικό χάρτη. Το πρωτόκολλο SADV είναι σχεδιασμένο, ώστε να μπορεί να μειώσει την καθυστέρηση στη διάδοση των μηνυμάτων σε αραιά δίκτυα [44]. Η λογική του είναι ότι τα πακέτα παραμένουν αποθηκευμένα σε στατικούς κόμβους μέχρι να βρεθεί διερχόμενος κόμβος που φέρει τα κατάλληλα χαρακτηριστικά κατεύθυνσης και ταχύτητας, ώστε να τα παραλάβει.

3.5.3 LAR

Το LAR (Location Aided Routing) είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης που χρησιμοποιεί πληροφορίες θέσης των κινητών κόμβων για να μειώσει την υπερφόρτωση της δρομολόγησης. Χρησιμοποιεί μια μέθοδο ανακοινώσεων τύπου «πλημμύρας» όπως το DSR για να ανακαλύψει τη διαδρομή, αλλά η τεχνική αυτή περιορίζεται σε μια συγκεκριμένη περιοχή που ονομάζεται "Ζώνη αιτήματος". Χρησιμοποιεί πληροφορίες τοποθεσίας στο πακέτο αίτησης διαδρομής για προορισμό σε μια ζώνη αίτησης αντί για ολόκληρο το ad hoc δίκτυο [47]. Σε ένα υποτιθέμενο παράδειγμα ο κόμβος S χρειάζεται να βρει μια διαδρομή που οδηγεί στον κόμβο D. Ένας κόμβος προωθεί ένα αίτημα διαδρομής μόνο αν ανήκει στη Ζώνη αίτησης. Ένας κόμβος που δεν βρίσκεται στη ζώνη αιτήματος δεν διαβιβάζει την αίτηση διαδρομής προς τους γείτονες [47][48].

Για να αυξηθεί η πιθανότητα ότι το αίτημα διαδρομής θα φτάσει στον κόμβο D, η ζώνη του αιτήματος θα πρέπει να περιλαμβάνει την "αναμενόμενη ζώνη" (expected zone). Ας

υποθέσουμε ότι ο κόμβος S ξέρει ότι ο κόμβος D ήταν σε η θέση L στο χρόνο t_0 και η τρέχουσα ώρα είναι t_1 . Έτσι, η "αναμενόμενη ζώνη" του κόμβου D, από η οπτική γωνία του κόμβου S στην χρόνο t_1 είναι η περιοχή που ο κόμβος S αναμένει βρίσκεται ο κόμβος D στην χρόνο t_1 . Με αυτόν τον τρόπο ο κόμβος S μπορεί να καθορίσει την αναμενόμενη ζώνη με βάση τη γνώση που έχει ότι ο κόμβος D ήταν στη θέση L σε χρόνο t_0 . Για παράδειγμα, αν ο κόμβος S ξέρει ότι ο κόμβος D ταξιδεύει με μέση ταχύτητα v , τότε S μπορεί υποθέσει ότι η αναμενόμενη ζώνη είναι ο κύκλος ακτίνας $v(t_1 - t_0)$, με κέντρο τη θέση L.

Εάν η πραγματική ταχύτητα είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό, τότε ο κόμβος προορισμού μπορεί να είναι τελικά εκτός από την αναμενόμενη ζώνη σε χρόνο t_1 . Επομένως, η αναμενόμενη ζώνη είναι μόνο μια εκτίμηση που γίνεται από τον κόμβο S για τον προσδιορισμό μιας περιοχής που περιέχει δυνητικά το D στο χρόνο t_1 . Γενικά, είναι επίσης δυνατό να ορίσουμε το v να είναι η μέγιστη ταχύτητα (αντί του μέσου όρου) ή κάποια άλλη μέτρηση της κατανομής της ταχύτητας. Επιπλέον, η ζώνη αιτήματος μπορεί επίσης να περιλαμβάνει άλλες περιοχές γύρω από τη ζώνη αιτήματος. Εάν ο κόμβος S δεν γνωρίζει μια προηγούμενη θέση του κόμβου D, τότε ο κόμβος S δεν μπορεί εύλογα να καθορίσει την αναμενόμενη ζώνη. Σε αυτή την περίπτωση, το σύνολο του δικτύου θεωρείται ότι είναι η αναμενόμενη ζώνη [47].

Έτσι, ο αλγόριθμος LAR προϋποθέτει ότι ένας κόμβος είναι ικανός να καθορίσει αν βρίσκεται στη ζώνη αιτήματος για ένα συγκεκριμένο αίτημα διαδρομής.

3.5.4 ZHLS

Το ZHLS είναι ένα πρωτόκολλο το οποίο βασίζεται σε γεωγραφικές θέσεις των κόμβων για να καθορίσει μη επικαλυπτόμενες περιοχές. Έχει μια ιεραρχική μέθοδο απόδοσης ταυτότητας στην περιοχή και στον κόμβο. Κάθε κόμβος χρειάζεται τις πληροφορίες θέσης με βάση την ζώνη από την οποία τις παίρνει. Η τοπολογία της ζώνης διατηρείται

σε κάθε κόμβο της ζώνης για την ζώνη στην οποία ανήκει, ενώ για περιοχές εκτός ζώνης διατηρείται μόνο η συνδεσιμότητα μεταξύ των ζωνών. Το πρωτόκολλο ZHLS χρησιμοποιεί προληπτική μέθοδο εντός της ζώνης και αντιδραστική κατά απαίτηση εκτός της ζώνης. Για την εφαρμογή του είναι απαραίτητη η χρήση συστημάτων GPS ή παρόμοιων προκειμένου ένας κόμβος να ταυτοποιήσει τον εαυτό του σε μια ζώνη.

Η λειτουργία του πρωτοκόλλου είναι ως ακολούθως: Κάθε κόμβος δομεί μια τοπολογία ενός άλματος σε επίπεδο κόμβου και την ανακοινώνει στους άλλους κόμβους εντός της ζώνης τους χρησιμοποιώντας ένα πακέτο δεδομένων που περιλαμβάνει: τα ID όλων των ζωνών εντός ζώνης, το ID του κόμβου, και τα ID της ζώνης για τους άλλους κόμβους. Οι κόμβοι που λαμβάνουν αποκρίσεις από κόμβους που ανήκουν σε άλλες ζώνες είναι οι κόμβοι πύλης. Όταν δημιουργηθεί η τοπολογία σε επίπεδο κόμβου, οι κόμβοι αποκτούν πληροφορία για την τοπολογία της ζώνης στέλνοντας πακέτα μέσω των κόμβων πύλης. Αν ο προορισμός είναι εντός της ζώνης, τα πακέτα προωθούνται άμεσα, ενώ αν είναι εκτός ο κόμβος αφετηρίας αποστέλλει ένα αίτημα θέσης σε κάθε άλλη ζώνη, μέσω της πύλης. Κάθε κόμβος πύλης ελέγχει για τον προορισμό στους πίνακες δρομολόγησης που διατηρεί και απαντάει με μια απόκριση δρομολόγησης (RouteReply).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Σύγκριση Ad-hoc δικτύων και πρωτοκόλλων δρομολόγησης

4.1 Μια συγκριτική παρουσίαση μεταξύ MANET και VANET

Σε αυτήν την ενότητα θα γίνει μια συγκριτική παρουσίαση των χαρακτηριστικών των ad hoc ασύρματων δικτύων MANET και VANET.

Τα μοναδικά χαρακτηριστικά των VANET

Παρόλο που ένα ασύρματο δίκτυο των οχημάτων έχει κοινά χαρακτηριστικά με ένα συμβατικό ad hoc δίκτυο αισθητήρων (χαρακτηριστικά όπως είναι αυτοοργάνωση και έλλειψη κεντρικού ελέγχου) ένα δίκτυο VANET έχει ιδιαίτερα, μοναδικά χαρακτηριστικά και προκλήσεις που δεν απαντώνται σε συνηθισμένα δίκτυα και που επηρεάζουν το σχεδιασμό του συστήματος επικοινωνίας και την ασφάλεια του δικτύου. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι τα ακόλουθα [9][49]:

1. Δυνητικά μεγάλος αριθμός κόμβων:

Σχετικά με το VANET ως την τεχνική βάση για τον οραματισμό των ευφυών συστημάτων μεταφορών (Intelligent Transportation System ITS) αναμένεται ότι ένα μεγάλο μέρος των οχημάτων θα είναι εξοπλισμένα με δυνατότητες επικοινωνίας για οχήματα. Λαμβάνοντας υπόψη και τον δυνητικό αριθμό σταθμών σταθερών συστημάτων βάσης στο δρόμο, το VANET πρέπει να έχει κλιμακωτές δυνατότητες επέκτασης με πιθανό πολύ μεγάλο αριθμό κόμβων.

2. Υψηλή κινητικότητα και συχνές αλλαγές στην τοπολογία

Οι κόμβοι μπορούν να κινούνται με μεγάλη ταχύτητα, επομένως σε ορισμένα σενάρια, όπως όταν το όχημα προσπεράσουν το ένα το άλλο, η του διάρκειας του χρόνου που απομένει για την ανταλλαγή πακέτων δεδομένων είναι ιδιαίτερα μικρή.

Επίσης, οι ενδιάμεσοι κόμβοι σε ένα ασύρματο δίκτυο πολλαπλών αλμάτων μπορούν να κινούνται με μεγάλη ταχύτητα.

3. Υψηλές απαιτήσεις των εφαρμογών για δεδομένα

Οι σημαντικές εφαρμογές στα VANET έχουν σχεδιαστεί για την ασφάλεια της κυκλοφορίας και την αποφυγή τροχαίων ατυχημάτων, ενδεχομένως, συμπεριλαμβανομένης και της ασφάλειας για τη ζωή των ατόμων στα οχήματα. Αυτές οι εφαρμογές έχουν υψηλές απαιτήσεις (για μεταφορά δεδομένων) σε σχέση με το πραγματικό χρόνο και την αξιοπιστία. Μια καθυστέρηση της τάξεως δευτερολέπτων από άκρο σε άκρο μπορεί καταστήσει τις πληροφορίες ασφαλείας άχρηστες (καθώς θα είναι πλέον αργά για την χρήση τους).

4. Δεν υπάρχει εμπιστευτικότητα των πληροφοριών ασφαλείας

Αυτό συμβαίνει επειδή οι πληροφορίες που αφορούν την ασφάλεια των οχημάτων προσελκύουν το ενδιαφέρον όλων των χρηστών (οδηγών) του δικτύου, και είναι απαραίτητες, ως εκ τούτου δεν μπορούν παρά να είναι διαθέσιμες για όλους.

5. Ιδιωτικότητα

Οι δυνατότητες επικοινωνίας στα οχήματα ενδέχεται να αποκαλύψουν πληροφορίες σχετικά με τον οδηγό / χρήστη, όπως αναγνωριστικά στοιχεία, ταχύτητα, θέση και μοτίβο κίνησης. Παρά την ανάγκη εξακρίβωσης της γνησιότητας του μηνύματος (authentication) και τη μη άρνηση της ασφάλειας, εν τούτοις, το απόρρητο των χρηστών και των οδηγών θα πρέπει να είναι σεβαστό, ιδίως της ιδιωτικής ζωής και της τοποθεσίας.

Έτσι, αν και τα ad-hoc κινητά δίκτυα MANET έχουν πολλές ομοιότητες με τα VANET σε πολλά τεχνικά θέματα, υπάρχουν αρκετές διαφοροποιήσεις που αναφέρονται στη συνέχεια, στον πίνακα 1.

Πίνακας 1 : Βασικές διαφορές MANET και VANET

Παράμετρος	MANET	VANET
Κόστος παραγωγής	Φθηνό	Ακριβό
Αλλαγές στην τοπολογία του δικτύου	Αργές	Συχνές και πολύ γρήγορες
Κινητικότητα	Χαμηλή	Υψηλή
Πυκνότητα θορύβου	Αραιή	Πυκνή και συχνά μεταβαλλόμενη
Εύρος ζώνης (bandwidth)	εκατοντάδες kbps	Χιλιάδες kbps
Εμβέλεια (Range)	Έως 100 μ	Έως 500 μ
Χρόνος ζωής του κόμβου	Εξαρτάται από την πηγή ενέργειας	Εξαρτάται από το χρόνο ζωής του οχήματος
Δρομολόγηση πολλαπλών αλμάτων	Διαθέσιμη	Μερικώς (αδύναμα) διαθέσιμη
Αξιοπιστία	Μέση	Υψηλή
Μοτίβο κίνησης κόμβων	Τυχαίο	Κανονικό
Σχήμα εύρεσης διεύθυνσης	Βάσει χαρακτηριστικών	Βάσει θέσης
Ανάκτηση θέσης	Με χρήση υπερήχων	Με χρήση GPS,RADAR

Πηγή: Dahiya, & Chauhan, 2010, διαμόρφωση και μετάφραση από συγγραφέα

4.2 Σύγκριση πρωτοκόλλων δρομολόγησης

Τα MANETs έχουν πολλές εφαρμογές, η κάθε μια από τις οποίες περιλαμβάνει διαφορετικά σενάρια με μοτίβα κίνησης, ρυθμό και πυκνότητα κίνησης, στοιχεία που σχετίζονται επίσης με τη φύση της αλληλεπίδρασης μεταξύ των συμμετεχόντων και του περιβάλλοντος. Υπάρχει μια συνεχιζόμενη έρευνα στον τομέα της αξιοποίησης της

δρομολόγησης για τα κινητά δίκτυα, αλλά με βάση τις διαφορετικές περιοχές εφαρμογής η ταξινόμηση είναι πολύ μεγάλη.

Οι τεχνικές δρομολόγησης μπορεί να ταξινομούνται σύμφωνα με το αν βασίζονται σε απλές μεταδόσεις με έναν παραλήπτη ή πολλαπλές εκπομπές (unicast or multicast), ή αν βασίζονται στην εκάστοτε τοπολογία, ή αν βασίζονται σε ενεργειακά κριτήρια. Η βασική τεχνολογία, όπως αναφέρθηκε των δυο ειδών δικτύων έχει αρκετά κοινά, και κάποιες από τις στρατηγικές των VANET έχουν κληρονομηθεί από τα MANET, αλλά, λόγω της πολύ υψηλής κινητικότητας και της απρόβλεπτης συμπεριφοράς δρομολόγησης των κόμβων των VANET, τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται για τα MANET δεν είναι κατάλληλα για περιβάλλοντα επικοινωνίας οχημάτων.

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια τα πρωτόκολλα δρομολόγησης των ασύρματων δικτύων διαχωρίζονται σε επίπεδα (προληπτικά με πίνακες δρομολόγησης και αντιδραστικά κατ' απαίτηση) και ιεραρχικά, με βάση τη θέση και υπάρχουν ακόμα αυτά που είναι με βάση την ενέργεια, την σταθερότητα του σήματος, την πολλαπλή εκπομπή και άλλα.

Στα επίπεδα προληπτικά πρωτόκολλα δρομολόγησης, όπως είναι το DSDV, οι ενημερώσεις διαδρομών είναι περιοδικές, ανεξάρτητα από το φορτίο δικτύου, το μέγεθος του δικτύου και το εύρος ζώνης. Σημαντικό σημείο αυτών των πρωτοκόλλων είναι ότι οι κόμβοι διατηρούν ένα συνεχώς ενημερωμένο πίνακα για την κατανόηση της τοπολογίας του δικτύου. Η κατ' απαίτηση ή αντιδραστική δρομολόγηση περιλαμβάνει πρωτόκολλα που έχουν σχεδιαστεί με γνώμονα τη μείωση της επιβάρυνσης του δικτύου, με τη διατήρηση πληροφοριών για ενεργές διαδρομές μόνο σε βάρος της καθυστέρησης λόγω ανίχνευσης της διαδρομής. Αυτό σημαίνει ότι οι διαδρομές καθορίζονται και διατηρούνται για τους κόμβους που απαιτούν την αποστολή δεδομένων σε συγκεκριμένο προορισμό (και όχι γενικά αποθήκευση και συντήρηση των πληροφοριών διαδρομής). Η ανακάλυψη της διαδρομής γίνεται από ανακοίνωση ενός αιτήματος εύρεσης διαδρομής (RREQ) και μια απόκριση (RREP) μέσω του δικτύου. Αυτό το σχήμα είναι σημαντικό για περιβάλλον ad hoc, δεδομένου ότι η ισχύς της μπαταρίας

διατηρείται τόσο από την μη αποστολή ανακοινώσεων όσο και από την μη ανάγκη λήψης τους. Όμως, επειδή οι δρομολογήσεις σε δίκτυα οχημάτων είναι ευμετάβλητες, τέτοια πρωτόκολλα ξοδεύουν πολύ χρόνο στην ανακάλυψη των δρομολογήσεων, οπότε, δεν είναι κατάλληλα για δίκτυα VANET [9].

Μια άλλη κατηγορία που είναι τα ιεραρχικά ή τα υβριδικά, όπως είναι το Zone Routing Protocol (ZRP), διαιρεί το δίκτυο σε διαφορετικές ζώνες. Μεταξύ των ζωνών η δρομολόγηση εκτελείται με προληπτικά πρωτόκολλα, ενώ εντός των ζωνών με αντιδραστικά. Το πλεονέκτημα ενός τέτοιου σχεδιασμού είναι ότι μειώνει την επιβάρυνση που προκαλείται από την επικοινωνία, αν το συγκρίνουμε με παραδοσιακά προληπτικά πρωτόκολλα. Αν και αυτή η κατηγορία παρουσιάζει μια κλιμακούμενη στρατηγική δρομολόγησης για μεγάλου μεγέθους περιβάλλοντα, δεν έχει κερδίσει την ανάλογη δημοτικότητα και δεν θεωρείται κατάλληλη για τα VANET [9].

Η δρομολόγηση βάσει θέσης, όπως είναι το πρωτόκολλο Location Aided Routing (LAR) απαιτούν πληροφορίες σχετικά με τη φυσική θέση των συμμετεχόντων κόμβων στο δίκτυο μειώνοντας έτσι το φόρτο της κυκλοφορίας της παραδοσιακής τεχνικής ανακοινώσεων (με «πλημμύρες»). Το πλεονέκτημα μιας τέτοιας τεχνικής είναι ότι διατηρούν το εύρος ζώνης, αλλά το μειονέκτημα είναι ότι κάθε κόμβος πρέπει να μεταφέρει μια συσκευή GPS.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα κυριότερα πρωτόκολλα ανά κατηγορία και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που έχει το καθένα (πίνακας 2). Στον πίνακα 3, αντί των ενημερώσεων αναφέρεται ο τρόπος αξιολόγησης της διαδρομής και ως χαρακτηριστικό αναφέρεται το που διατηρούνται τα στοιχεία της δρομολόγησης.

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά πρωτοκόλλων δρομολόγησης με ενημέρωσεις

Πρωτόκολλο	Δομή δρομολόγησης	Συχνότητα ενημερώσεων	Χαρακτηριστικό	Πλεονέκτημα / μειονέκτημα
DSDV	Επίπεδο	Περιοδικές ενημερώσεις	Χωρίς βρόγχους	Χωρίς βρόγχους / Μεγάλος φόρτος
WRP	Επίπεδο	Περιοδικές ενημερώσεις	Χωρίς βρόγχους	Χωρίς βρόγχους / φόρτος μνήμης
GSR	Επίπεδο	Περιοδικές και τοπικές ενημερώσεις	Τοπικές ενημερώσεις	Τοπικές ενημερώσεις / φόρτος μνήμης
FSR	Επίπεδο	Περιοδικές και τοπικές ενημερώσεις	Ελεγχόμενη συχνότητα ενημερώσεων	Ελαττώνει τον φόρτο / Ελαττώνει την ακρίβεια
STAR	Ιεραρχικό	Ενημερώσεις υπό συνθήκες	Ελαχιστοποιεί το φόρτο ελέγχου	Μικρός φόρτος μνήμης / χρειάζεται GPS
DREAM	Επίπεδο	Ενημερώσεις ανάλογα με κινητικότητα	Ελεγχόμενες ενημερώσεις	Μικρός φόρτος ελέγχου / συντήρηση τομέων
HSR	Ιεραρχικό	Περιοδικές ενημερώσεις	Μικρός φόρτος ελέγχου	Μικρός φόρτος ελέγχου / Διαχείριση τοποθεσίας

Πηγή: Dahiya, & Chauhan, 2010, διαμόρφωση και μετάφραση από συγγραφέα

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά πρωτοκόλλων δρομολόγησης με διαδρομές

Πρωτόκολλο	Δομή δρομολόγησης	Διαδρομή	Αποθήκευση διαδρομής	Πλεονέκτημα / μειονέκτημα
AODV	Επίπεδο	Πιο πρόσφατη και μικρότερη διαδρομή	Πίνακας	Προσαρμοστική προς δυναμική τοπολογία / Πρόβλημα κλιμάκωσης
DSR	Επίπεδο	μικρότερη διαδρομή	Μνήμη cache	Πολλαπλές διαδρομές / μεγάλες καθυστερήσεις
TORA	Επίπεδο	μικρότερη διαδρομή	Πίνακας	Πολλαπλές διαδρομές / Προσωρινοί βρόγχοι
ABR	Επίπεδο	Ισχυρότερη συνάφεια	Πίνακας	Σταθερότητα διαδρομής / Πρόβλημα κλιμάκωσης
SSA	Επίπεδο	Ένταση σήματος	Πίνακας	Σταθερότητα διαδρομής / μεγάλες καθυστερήσεις
LAR	Επίπεδο	μικρότερη διαδρομή	Μνήμη cache	Τοπική εύρεση διαδρομής / βασίζεται στην

				δρομολόγηση αφετηρίας
ZRP	Επίπεδο	μικρότερη διαδρομή	Πίνακες για εντός / εκτός ζώνης	Μικρός φόρτος επικοινωνίας / επικαλυπτόμενες ζώνες

Πηγή: Dahiya, & Chauhan, 2010, **διαμόρφωση και μετάφραση από συγγραφέα**

Από τους παραπάνω συγκριτικούς πίνακες γίνεται αντιληπτό ότι κάποια πρωτόκολλα υπερτερούν σε κάποια σημεία, ενώ υπολείπονται σε κάποια άλλα. Έτσι παρατηρείται ότι τα πρωτόκολλα που για παράδειγμα ελαχιστοποιούν την μεταφερόμενη πληροφορία, ώστε να ελαττώνουν το φόρτο επικοινωνίας, το πετυχαίνουν αυτό με διαφορετικές τεχνικές εντός και εκτός ζώνης και επικαλυπτόμενες περιοχές (ZRP), ή η ελάττωση του φόρτου μπορεί να γίνεται σε βάρος της ακρίβειας (FSR).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Ανοικτά Θέματα και Μελλοντική Χρήση της Τεχνολογίας

5.1 Προκλήσεις για τα Ad-Hoc Δίκτυα

Τα ad hoc κινητά δίκτυα επικοινωνιών έχουν ποικίλες δυσκολίες τόσο σε ότι αφορά την υλοποίησή τους, όσο και στην συντήρηση και την λειτουργία τους. Στον τομέα αυτό η έρευνα είναι συνεχής και οι εξελίξεις γρήγορες, δίνοντας συνεχώς λύσεις σε θέματα που παλιότερα θεωρούνταν δυσκολότερα αλλά και ανοίγοντας νέους ορίζοντες για την εφαρμογή αυτών των δικτύων σε πολλαπλούς τομείς.

Καθώς η δημοφιλία των φορητών συσκευών (mobile devices -MDs) αυξάνεται με πολύ μεγάλους ρυθμούς τα τελευταία χρόνια, η τεχνολογία των ασύρματων δικτύων έχει καταστεί ένας από τους πιο δυναμικούς και ενεργούς τομείς έρευνας για τις επικοινωνίες και τα δίκτυα. Βεβαίως, υπάρχουν (και συνεχώς θα προκύπτουν) πολλά ζητήματα προς επίλυση και βελτίωση στα ασύρματα δίκτυα και πολλές προκλήσεις που καλούν προς αντιμετώπιση, στις μέρες μας και στο μέλλον.

Οι προκλήσεις για τα MANET σχετίζονται με την αρχιτεκτονική του διαδικτύου και μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στα ακόλουθα [50].

(α) Η ενσωμάτωση στοιχείων της τελευταίας ανερχόμενης τεχνολογίας ασύρματης δικτύωσης όπως είναι οι φορητές συσκευές (MD), οι ad-hoc δρομολογητές, οι αισθητήρες στα υπάρχοντα πρωτόκολλα.

(β) Η παροχή συνολικών (end-to-end service) υπηρεσιών που θα διευκολύνουν την ανάπτυξη των εφαρμογών.

Οι παραπάνω προκλήσεις τίθενται από ένα ευρύ φάσμα από περιβάλλοντα που περιλαμβάνει τις κυψελοειδείς υπηρεσίες δεδομένων, τα WiFi hot-spots, τους σταθμούς πληροφοριών, τα ad hoc δίκτυα ευρυζωνικής πρόσβασης, τα δίκτυα οχημάτων και άλλα.

Τα παραπάνω οδηγούν σε μια σειρά από ζητούμενες υπηρεσίες διαδικτύου που συνοψίζονται στα παρακάτω [50]:

1. Ευελιξία στην ονοματολογία και στις διευθύνσεις
2. Υποστήριξη κινητικότητας για δυναμική μετάβαση (μεταξύ τεχνολογιών και συσκευών) των τελικών χρηστών και των δικτυακών συσκευών.
3. Υπηρεσίες αναζήτησης τοποθεσίας που παρέχουν πληροφορίες για τη γεωγραφική θέση.
4. Αυτο-οργάνωση και ανακάλυψη για κατανεμημένο έλεγχο της τοπολογίας του δικτύου.
5. Ζητήματα ασφάλειας και προστασίας προσωπικών δεδομένων για κινητούς κόμβους και ανοιχτά ασύρματα κανάλια.
6. Αποκεντρωμένη διαχείριση για απομακρυσμένη παρακολούθηση και έλεγχο.
7. Υποστήριξη πολλαπλών επιπέδων για βελτιστοποίηση της απόδοσης πρωτοκόλλου.
8. Χαρακτηριστικά δικτύου αισθητήρων όπως συσσώρευση, δρομολόγηση περιεχομένου και επεξεργασία στο δίκτυο.
9. Γνωστική υποστήριξη ραδιοεκπομπής για δίκτυα με προσαρμογή φυσικής στρώσης.
10. Οικονομικά κίνητρα για την ενθάρρυνση της αποτελεσματικής κατανομής των πόρων.

Συνολικά, οι παραπάνω απαιτήσεις των δικτύων MANET αντιπροσωπεύουν ένα φάσμα δικτυακών προκλήσεων. Τα τελευταία χρόνια, σχεδόν όλες οι πτυχές των ασύρματων δικτύων έχουν εξερευνηθεί σε κάποιο επίπεδο λεπτομέρειας. Ωστόσο, έχουν προκύψει περισσότερα ερωτήματα προς απάντηση από όσα έχουν ήδη απαντηθεί. Τα κύρια ανοικτά προβλήματα (κάποια από τα οποία αποτελούν χαρακτηριστικά των κινητών δικτύων που έχουν ήδη αναφερθεί σε προηγούμενα κεφάλαια) να φέρονται ως ακολούθως:

1. Αυτονομία: Δεν υπάρχει κεντρικός έλεγχος για την διαχείριση και τη λειτουργία των κινητών κόμβων.
2. Δυναμική τοπολογία: Η τοπολογία του δικτύου αλλάζει συνεχώς και με τυχαίο τρόπο.
3. Ανακάλυψη συσκευών: Αναγνώριση νέων κόμβων που εισέρχονται στο δίκτυο και πληροφόρηση για την ύπαρξή τους – ανάγκη για δυναμική ενημέρωση του δικτύου για τη διευκόλυνση της εύρεσης της βέλτιστης διαδρομής.
4. Βελτιστοποίηση του εύρους ζώνης, καθώς οι ασύρματες συνδέσεις έχουν σημαντικά μικρότερο εύρος
5. Περιορισμένοι πόροι από άποψης μπαταρίας των κινούμενων κόμβων – επίσης πολύ περιορισμένες δυνατότητες αποθήκευσης ενέργειας.
6. Κλιμακούμενα μεγέθη – δυνατότητα επέκτασης: αναφέρεται στο κατά πόσο το δίκτυο μπορεί να συνεχίσει να παρέχει το ίδιο επίπεδο υπηρεσίας όταν αυξηθούν σημαντικά οι κόμβοι.
7. Περιορισμένη φυσική ασφάλεια.
8. Ιδιότητες αυτό-επαναφοράς κόμβων που φεύγουν εκτός εμβέλειας
9. Φτωχό σήμα μετάδοσης
10. Διευθύνσεις κατ' απαίτηση
11. Δομή του δικτύου (δυναμική) και αποθήκευση (διατήρηση) τοπολογίας – κάτι που αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο οι κόμβοι καταγράφουν την τοπολογία του δικτύου και τους συνδέσμους και είναι μια από τις βασικές προκλήσεις.

5.2 Μελλοντικές τάσεις

Τα δίκτυα ad hoc τείνουν να είναι μια από τις δεσπόζουσες περιοχές έρευνας και ανάπτυξης για το μέλλον προτάσσοντας το όραμα «οποτεδήποτε, οπουδήποτε» για τις επικοινωνίες. Την σήμερα ημέρα, η γενική τάση είναι προς την κατεύθυνση της διασυνδετικότητας (mesh architecture) και του μεγάλου μεγέθους των δικτύων. Οι νέες εφαρμογές προτείνουν την ανάγκη για μεγάλος εύρος ζώνης, αλλά και για

δυναμικότητες, κάτι που οδηγεί στην ανάγκη για υψηλότερες συχνότητες και καλύτερη χωροταξική διαχείριση και χωρική φασματική επαναχρησιμοποίηση. Τα στοιχεία της διεπικοινωνίας (με την έννοια γενικών πολυεκπομπών) απομακρύνουν από την έννοια της μονής μακράς σύνδεσης (όπως για παράδειγμα του κινητού τηλεφώνου) σε ένα πλέγμα βραχέων συνδέσμων, όπως τα MANET.

Η έρευνα στην αρχιτεκτονική πολλαπλών αλμάτων δείχνει να είναι μια υποσχόμενη λύση για τις εφαρμογές των ad hoc δικτύων και με την εξέλιξη της ταχυβολίας και των αναγκών για πυκνά δίκτυα, οι κόμβοι θα είναι μικρότεροι, οικονομικότεροι και περισσότερο αποτελεσματικοί.

5.3 Ευφυή αυτοκίνητα και συστήματα κυκλοφορίας

Η εφαρμογή των ad hoc δικτύων στην κυκλοφορία οχημάτων και τα δίκτυα VANET έχουν ως κύριο σκοπό την ασφάλεια των μετακινήσεων και την άνεση των επιβατών σε μια διαδρομή [51]. Στοιχεία και εφαρμογές γύρω από τα ασύρματα δίκτυα αναλύθηκαν ήδη στο κεφάλαιο για τα εφαρμογές των κινητών δικτύων. Οι εφαρμογές αυτές περιλαμβάνουν επίσης τα έξυπνα αυτοκίνητα και τα έξυπνα συστήματα ελέγχου κυκλοφορίας, θέματα που απασχολούν και την μελλοντική έρευνα.

Το έξυπνο αυτοκίνητο είναι μια συνολική εφαρμογή που αναφέρεται σε υπηρεσίες και τεχνολογίες που αποσκοπούν στη σύνδεση του οχήματος με το περιβάλλον του. Σε αυτήν την κατεύθυνση έχει συσκευές επικοινωνίας που μπορεί να είναι ενσωματωμένες ή φορητές οι οποίες επικοινωνούν με άλλες συσκευές του οχήματος και με το περιβάλλον.

Έχει αντικείμενα όπως αισθητήρες, Bluetooth, κάμερες, δορυφορικές επικοινωνίες, τεχνολογίες τηλεματικής και τεχνητής νοημοσύνης για την παροχή μεγαλύτερης ασφάλειας, άνεσης, ψυχαγωγίας και για επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο.

Τα επόμενα χρόνια, τα οχήματα θα είναι εξοπλισμένα με κάρτες πολλαπλών διεπαφών, καθώς και αισθητήρες, τόσο εσωτερικά όσο και εξωτερικά. Με την αύξηση του αριθμού των οχημάτων που διαθέτουν ενσωματωμένες ασύρματες συσκευές και αισθητήρες οι εφαρμογές μετακινήσεων και διαχείρισης της κυκλοφορίας επικεντρώνονται στη βελτιστοποίηση της κίνησης των οχημάτων μειώνοντας το χρόνο ταξιδιού και αποφεύγοντας οποιοσδήποτε κυκλοφοριακές συμφορήσεις. Για παράδειγμα, το ραντάρ οχήματος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να ανιχνεύσει κυκλοφοριακή συμφόρηση και να επιβραδύνει αυτόματα το όχημα. Σε άλλα συστήματα προειδοποίησης ατυχημάτων, οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για να διαπιστωθεί ότι έχει συμβεί σύγκρουση και αν αναπτύχθηκαν οι αερόσακοι. Αυτές οι πληροφορίες μεταδίδονται κατόπιν μέσω V2V ή V2I εντός του δικτύου οχημάτων.

Τα παραδοσιακά αυτοκίνητα θα περάσουν στο παρελθόν και τα επόμενα χρόνια θα οδηγήσουμε έξυπνα οχήματα με ένα σύνολο νέων λειτουργιών (π.χ. επικοινωνίες δεδομένων και ανταλλαγή πληροφοριών, πληροφορίες θέσης, εξοπλισμός αισθητήρων κλπ.).

Το έξυπνο όχημα είναι εξοπλισμένο με τις ακόλουθες συσκευές και τεχνολογίες: (i) μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) που υλοποιεί τις εφαρμογές και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας, (ii) ασύρματο πομποδέκτη για μετάδοση δεδομένων μεταξύ οχημάτων (V2V) και από οχήματα σε RSU (V2I) · (iii) δέκτη υπηρεσίας παγκόσμιας τοποθέτησης (GPS) για υπηρεσίες εντοπισμού θέσης και πλοήγησης · (iv) διαφορετικοί αισθητήρες που τοποθετούνται εντός και εκτός του οχήματος για τη μέτρηση διαφόρων παραμέτρων (δηλ. ταχύτητα, επιτάχυνση, απόσταση από γειτονικά οχήματα κλπ.) · (v) μια διεπαφή εισόδου / εξόδου για ανθρώπινη αλληλεπίδραση με το σύστημα.

Αναφορικά με τα ευφυή συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας, τα αναπτυσσόμενα μοντέλα, βασίζονται κυρίως στην τεχνολογία νέφους, για την έξυπνη εκπομπή μηνυμάτων κλπ. Πολλές ακόμα εφαρμογές όπως η λήψη βίντεο με πληροφορίες σχετικά με την κυκλοφορία [52][53] είναι τα νέα στοιχεία στην τεχνολογία. Επιπλέον, τα

συστήματα GPS θεωρούνται ως τα πιο ακριβή και αξιόπιστα για τις υπηρεσίες με βάση την τοποθεσία, αν και απαιτούν μια σαφή οπτική επαφή για την ακρίβεια των πληροφοριών. Τα συστήματα RFID αναγνώρισης ραδιοσυχνότητας έχουν επίσης προταθεί για σκοπούς πλοήγησης σε VANET, είτε μόνα τους είτε σε συνδυασμό με τα GPS.

Οι εφαρμογές έξυπνης ρύθμισης της κυκλοφορίας, που όπως αναφέρθηκε αποσκοπούν στη μέγιστη ασφάλεια αλλά και στην άνεση, αναφέρονται σε:

- Δρομολόγηση: ανταπόκριση στις αλλαγές της τοπολογίας του δικτύου
- Πολλαπλή επικοινωνία μεταξύ των χρηστών και ανά ομάδες
- Εντοπισμός τοποθεσίας οχημάτων
- Ομαδοποίηση οχημάτων
- Διαχείριση της κινητικότητας
- Διαχείριση της κυκλοφοριακής συμφόρησης
- Διαχείριση της ενέργειας

Επίλογος

Το μέλλον στις ασύρματες επικοινωνίες και στα κινητά δίκτυα, αναπόφευκτα θα επηρεάσει το μέλλον των ανθρώπων. Τόσο οι έξυπνες μετακινήσεις, όσο και οι άλλες πτυχές της ζωής των ανθρώπων αλλάζουν με γρήγορους ρυθμούς.

Χωρίς αμφιβολία, ο πλανήτης έχει ήδη μπει σε μια νέα τροχιά και κινείται σε «ασύρματες» συχνότητες. Περισσότερο από το 85 τοις εκατό του πληθυσμού έχει πλέον πρόσβαση σε κινητό τηλέφωνο. Σε 105 χώρες σε όλο τον κόσμο οι κινητές συσκευές είναι πολυπληθέστερες από τους κατοίκους και ο αριθμός των smartphones που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως έχει ξεπεράσει το 1 δισεκατομμύριο. Η ψυχαγωγία έχει μετατοπιστεί στις παλάμες των χεριών μας, καθώς σχεδόν το ήμισυ όλων των χρηστών κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούν βίντεο, μουσική, βιβλία, και παιχνίδια στις κινητές συσκευές τους σε τακτική βάση.

Η χρήση των κινητών/ασύρματων δικτύων νέας γενιάς θα φέρει ακόμα περισσότερες αλλαγές στη ζωή των ανθρώπων. Τα ασύρματα δίκτυα οχημάτων θα οδηγήσει σε νέα μοντέλα αστικού ιστού, με έξυπνες μετακινήσεις και ευφυή αυτοκίνητα. Η εξέλιξη στην ασύρματη επικοινωνία και τα δίκτυα δείχνει να μπορεί να περιοριστεί μόνο από την φαντασία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Wang, K., & Wu, M., g & Shen, S.,. (2008). A Trust Evaluation Method for Node Cooperation in Mobile Ad Hoc Networks. 1000-1005. 10.1109/ITNG.2008.43.
- [2] Muller, I., Winter, J.M., Pereira, C.E., Netto, J.C., and Eckard, D. (2014). Automatic RF power adjustment for wireless field devices. In Industrial Technology (ICIT), 2014 IEEE International Conference on, 749– 753. IEEE.
- [3] Arash, H., L., Farnaz, T. &, Raheleh, S.. (2009). Wired Equivalent Privacy (WEP). 10.1109/ICFCC.2009.32.
- [4] Bakht, H., (2011), “Survey of Routing Protocols for Mobile Ad-hoc Network” *International Journal of Information and Communication Technology Research Volume-1 No. 6*,
- [5] Johnson, D., Y. Hu and D. Maltz, 2007. The Dynamic Source Routing protocol (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4. *Internet Engineering Task Force (IETF)*, RCF 4728.
- [6] Hong, M. Gerla, G. Pei, and C.-C. Chiang. (1999). A group mobility model for ad hoc wireless networks. *In Proc. Intern. Workshop on Modeling, Analysis, and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, Seattle, USA, 1999. J. Broch, D. A. Maltz, D. B. Johnson,
- [7] Frikha, M., (2011), *Ad Hoc Networks: Routing, QoS and Optimization*, ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc.
- [8] Bhattacharyya, D. and M.A. Bhattacharyya, (2010). *Architecture of vehicular ad hoc network*. *Advances in Vehicular Ad-Hoc Networks: Developments and Challenges*, 2010: p. 19-36.
- [9] Dahiya, A. & R. Chauhan, (2010) *A comparative study of MANET and VANET environment*. *Journal of computing*, 2010. **2**(7): p. 87-92.

- [10] Hartenstein, H., Laberteaux, K.P., (2010), *VANET: Vehicular Applications and Inter-Networking Technologies*, Wiley.
- [11] Kumar, R. and M. Dave, (2012), *A review of various VANET data dissemination protocols*. *International Journal of U-and E-Service, Science and Technology (IJUNESST)*, 2012. 5(3): p. 27-44.
- [12] Lee, K.C., U. Lee, and M. Gerla, (2010), *Survey of routing protocols in vehicular ad hoc networks*. *Advances in vehicular ad-hoc networks: Developments and challenges*,: p. 149-170.
- [14] Tomar, N. & Chaudhary, A. (2015), *Notion of Black Hole in Wireless Networks targeting on iMANET*, *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, Vol. 6 (3) , 2561-2565
- [15] Ahirwar Gajendra Kumar, Shrivastava Sonu & Ahirwar Mahendra Kumar (2017). *An Overview of Mobile Ad hoc Network (MANET): Features & Challenges*, *IJSRD - International Journal for Scientific Research & Development* Vol. 5, Issue 05.
- [16] Verma, V & Sharma, V., (2015). *INTELLIGENT VEHICULAR COMMUNICATION SYSTEM FOR COLLISION AVOIDANCE AND EVALUATION METRICS*, *International Journal of Advance Research In Science And Engineering, IJARSE*, Vol. No.4, Special Issue (01)
- [17] Administration, N.H.T.S., (2011). *Vehicle safety communications-applications VSC-A*. second annual report, 2011.
- [18] Office of the Assistant Secretary for Research and Technology. (2015). *Connected Vehicle Reference Implementation Architecture: Applications*. 2015
- [19] Consortium, C.V.S.C.,(2005) *Vehicle safety communications project: task 3 final report: identify intelligent vehicle safety applications enabled by DSRC*. National Highway Traffic Safety Administration, US Department of Transportation, Washington DC.

- [20] Chen T.-W. and Gerla, M. (1998) "Global State Routing: A New Routing Scheme for Ad-hoc Wireless Networks," In Proceedings of IEEE ICC'98, Atlanta, GA, Jun. pp. 171-175.
- [21] Pei, G. Gerla, M. and Chen, T.-W (2000) "Fisheye State Routing in Mobile Ad Hoc Networks", Proceedings of Workshop on Wireless Networks and Mobile Computing, Taipei, Taiwan.
- [22] Manoj Kumar Singh, Anil Kumar Singh, Brajesh Kumar, (2012), Survey and Analysis of DREAM Protocol in the Vehicular Ad-Hoc Network, MIT International Journal of Computer Science & Information Technology, Vol. 2, No. 2, Aug. 2012, pp. (80-84)
- [23] Basagni, S., et al. (1998) "*A distance routing effect algorithm for mobility (DREAM).*" Proceedings of the 4th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking. ACM.
- [24] Shanthi, H.J. & Mary E.A., (2018), A Review and Implementation of Modified DREAM Protocol in VANET, International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 13, Number 15 (2018) pp. 11765-11769
- [25] Clausen, T. & Jacquet, P. (2003), Optimized Link State Routing Protocol (OLSR), The Internet Society
- [26] Chroboczek, J. (2011) The Babel Routing Protocol, experimental version, PPS, University of Paris
- [27] Farid, T., & Prahladachar, A., (2006) Secure Routing with AODV Protocol for Mobile Ad Hoc Networks, University of Windsor
- [28] Perkins, C.E.; Royer, E.M., (1999) "Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing," in proceedings of the Second IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, WMCSA.

- [29] Ghuman, S,S, (2016) Dynamic Source Routing (DSR) Protocol in Wireless Networks International Journal of Computer Science and Mobile Computing, Vol.5 Issue.6, June- 2016, pg. 251-254
- [30] Aggelou G., Tafazolli R., (1999). RDMAR: a bandwidth-efficient routing protocol for mobile ad hoc networks, in: ACM International Workshop on Wireless Mobile Multimedia (WoWMoM), 1999, pp. 26–33.
- [31] Pandey, Dr. Anand, Kumar, Dinesh, Kumar Singh, Shailendra. (2013). Performance Evaluation of TORA Protocol with Reference to Varying Number of Mobile Nodes. International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management. 2. 203-209.
- [32] Kakarla, J., S.S. Sathya, and B.G. Laxmi, (2011). *A Survey on Routing Protocols and its Issues in VANET*. 2011.
- [33] Park, V. and M.S. Corson, *Temporally-ordered routing algorithm (TORA) version 1 functional specification*, 1997, Internet-Draft, draft-ietf-manet-tora-spec-00. txt.
- [34] Ben Haj Frej, Mohamed & Mandalapa Bhoopathy, Vignesh & Ebenezer Amalorpavaraj, Steve Richard & Bhoopathy, Aishwarya. (2016). *Zone Routing Protocol (ZRP) - A Novel Routing Protocol for Vehicular Ad-hoc Networks*.
- [35] Zhang, X. and L. Jacob. (2003). *Adapting zone routing protocol for heterogeneous scenarios in ad hoc networks*. in *Parallel Processing, 2003. Proceedings. 2003 International Conference on*. 2003. IEEE.
- [36] Nikaein, Na., Labiod H., and Bonnet, C., (2000). "DDRdistributed dynamic routing algorithm for mobile ad hoc networks," in *MobiHOC 2000*. IEEE, August 2000, pp. 19–27.

- [37] Nikaein, N., Bonnet, C., & Nikaein, N., (2001). Harp - Hybrid Ad Hoc Routing Protocol. *in proceeding of IST 2001: International Symposium on Telecommunications.* Iran/Tehran.
- [38] Sarosh, P., Syed, R., & Khaled, E. (2009). Hierarchically Segmented Routing (HSR) Protocol for MANET.
- [39] Sarkar, S. K. Basavaraju, T., & Puttamadappa, C., (2007). Ad hoc mobile wireless networks: principles, protocols and applications: CRC Press.
- [40] Muhit, D. (2012) "Performance Evaluation Of Aodv, Dsr, Dsdv Mobile Ad-Hoc Protocols On Different Scenarios: An Analytical Review," *International Journal of Advances in Computing and Information Technology.*
- [41] Boukerche, A. (2005). Handbook of algorithms for wireless networking and mobile computing: CRC Press, 2005.
- [42] Theoleyre Fabrice & Valois. Fabrice (2008). VSR: A Routing Protocol based on a Structure of Self-Organisation. *Stud. Inform. Univ.* 6. 40-69.
- [43] Allal, S. & Boudjit, S. (2013) *Geocast Routing Protocols for VANETs: Survey and Geometry-Driven Scheme Proposal.* Journal of Internet Services and Information Security (JISIS). **3**(1/2): p. 20-36.
- [44] Kumar, R. & Dave, M (2011). *A comparative study of Various Routing Protocols in VANET.* arXiv preprint arXiv:1108.2094.
- [45] Paul, B., et al., (2012). *Vanet routing protocols: Pros and cons.* arXiv preprint arXiv:1204.1201.
- [46] Shrestha, R.K., et al. (2010). *Vertex-based multihop vehicle-to-infrastructure routing for vehicular ad hoc networks.* in *System Sciences (HICSS), 43rd Hawaii International Conference on.* 2010. IEEE.

- [47] Akhtar H., Brajesh K., & Amit D., (2010). A Study of Location Aided Routing (LAR) Protocol for Vehicular Ad Hoc Networks in Highway Scenario. *International Journal of Engineering and Information Technology*. 2. 118-124.
- [48] Camp, T. Boleng, J., Williams, B., Wilcox, L., & W. Navidi, (2002) "Performance Comparison of Two Location Based Routing Protocols for Ad Hoc Networks", Proceedings of the IEEE INFOCOM, vol.3, pp.1678- 1687, 23-27.
- [49] Fonseca, E., & Festag, A., (2006). "A survey of Existing approaches for secure ad-hoc routing and their applicability to VANET", NEC Network Laboratories, March 2006.
- [50] Taneja, Kavita & Patel, Rb. (2019). An Overview of Mobile Ad hoc Networks: Challenges and Future.
- [51] Nyambo, B., M., Mavata, G., Janssens, G., K. (2012), Application of Vehicle Ad-hoc Networks in Traffic Control Systems, EUROMEDIA'2012
- [52] Joshi, J., Jain, K., Agarwal, Y., (2015). CVMS: cloud based vehicle monitoring system in VANETs. Proceedings of the IEEE 4th International Conference on Connected Vehicles and Expo, ICCVE
- [53] Abduljalil, F.M., 2014. Video capture service in the intelligent transportation system based on cloud computing. *Int J Comput Appl* 97(5).
- [54] Lochert, C., et al., *Geographic routing in city scenarios*. ACM SIGMOBILE mobile computing and communications review, 2005. 9(1): p. 69-72.
- [55] Young-Bae Ko and Nitin H. Vaidya (2000), Location-Aided Routing (LAR) in mobile ad hoc networks, *ACM journal of Wireless Networks*, vol. 6, no. 4, pp 307-321

<https://newsroom.cisco.com/feature-content?articleId=1724437>

<https://www.enisa.europa.eu/publications/cyber-security-and-resilience-of-smart-cars>

“What Do Consumers Want from Wi-Fi? Insights from Cisco IBSG Consumer Research,” Cisco IBSG, May 2012, http://www.cisco.com/web/about/ac79/docs/sp/SP_Wi-Fi_Consumers.pdf