



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ
ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΗ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ

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

«Εξελίξεις σε Δίκτυα MANET & VANET»

Χαλεπλής Δ. Αλέξανδρος
Α.Μ.: 00388

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επιβλέπων

[Γεώργιος Σταμούλης](#)

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 δύνανται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Ο/Η ΔΗΛΩΝ/-ΟΥΣΑ

Ημερομηνία

Υπογραφή

«Εξελίξεις σε Δίκτυα MANET & VANET»

Χαλεπλής Δ. Αλέξανδρος

Τριμελής Επιτροπή:

[Γεώργιος Σταμούλης, Επιβλέπων Καθηγητής](#) Ονοματεπώνυμο, (επιβλέπων/σα)

[Αντώνιος Δαδαλιάρης, Επίκουρος Καθηγητής](#) Ονοματεπώνυμο,

[Γεώργιος Δημητρίου, Επίκουρος Καθηγητής](#) Ονοματεπώνυμο,

Επιστημονικός Σύμβουλος:

Ονοματεπώνυμο: Δρ. Ιωάννης Κορίνθιος, Ηλεκτρολόγος Μηχανικός ΕΜΠ

Περίληψη

Η επέκταση της προσβασιμότητας και της δημοτικότητας των ευέλικτων ασύρματων φορητών συσκευών, οδήγησε τους επιστήμονες να δημιουργήσουν ένα ευρύ φάσμα πρωτοκόλλων δικτύων MANET. Τα αδόμητα φορητά δίκτυα (Mobile Ad-hoc Network, MANET) αποτελούν μια υποκατηγορία των ασύρματων αδόμητων δικτύων (Wireless Ad-hoc Networks, WANET), τα οποία διαθέτουν εξαιρετικές ιδιότητες υποστήριξης της δυναμικής τοπολογίας και των κινούμενων κόμβων. Αντίθετα, τα δίκτυα MANET είναι εξ ορισμού συστήματα με δυναμικές δυνατότητες αναδιάρθρωσης, όσον αφορά την υποστήριξη της κινητικότητας οι οποίες όμως ενίοτε περιορίζονται εξαιτίας της κίνησης των κόμβων. Ένα δίκτυο MANET αποτελεί μια συσσωρευση ασύρματων φορητών κόμβων, που επικοινωνούν μεταξύ τους χωρίς ενσωματωμένο έλεγχο ή κάποιο συγκεκριμένο πλαίσιο. Οι ασύρματες συνδέσεις σε ένα τέτοιο σύστημα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες και μπορούν να διακόπτονται για μεγάλα χρονικά διαστήματα, λόγω της φορητότητας των κόμβων, της ύπαρξης εμποδίων και της έλλειψης υποδομών. Συνεπώς, η δρομολόγηση στα δίκτυα MANET αποτελεί αναγκαία συνθήκη λόγω του δυναμικού περιβάλλοντος. Λόγω της κινητικότητάς τους, τα MANET είναι δίκτυα που χρησιμοποιούνται σε στρατιωτικές εφαρμογές, σε δίκτυα αισθητήρων και σε λειτουργίες διάσωσης.

Τα αδόμητα δίκτυα οχημάτων (Vehicular Ad-hoc Network, VANET) αποτελούν με τη σειρά τους υποκατηγορία των δικτύων MANET και χρησιμοποιούνται για την παροχή επικοινωνίας μεταξύ γειτονικών οχημάτων (Vehicle-to-vehicle, V2V), καθώς και μεταξύ των οχημάτων και της σταθερής οδικής υποδομής (Vehicle-to-Infrastructure, V2I). Μεγάλο πλεονέκτημα των δικτύων VANET αποτελεί η χρήση τους σε πολλές επικοινωνιακές εφαρμογές, χωρίς την ανάγκη τροποποίησης της υπάρχουσας υποδομής. Η επικοινωνία στις εφαρμογές αυτές γίνεται μέσω πολλαπλών αλμάτων. Παρόλα αυτά, ο σχεδιασμός μιας αποτελεσματικής μεθόδου δρομολόγησης στα δίκτυα VANET είναι εξαιρετικά δύσκολος.

Αν και το δίκτυο VANET αποτελεί μέρος του δικτύου MANET, τα Πρωτόκολλα Δρομολόγησης (Routing Protocols) του δικτύου MANET, δεν μπορούν να λειτουργήσουν έτσι ώστε να παρέχουν την βέλτιστη απόδοση που απαιτείται σε ένα γρήγορα μεταβαλλόμενο δίκτυο VANET. Η βασική διαφορά μεταξύ των δύο δικτύων έγκειται στο γεγονός ότι η κινητικότητα των κόμβων στα δίκτυα VANET γίνεται αυστηρά εντός των οδικών ορίων, σε αντίθεση με την τυχαία κινητικότητα των κόμβων των δικτύων MANET. Επομένως τα πρωτόκολλα δρομολόγησης των δικτύων VANET θα πρέπει να υποστηρίζουν την υψηλή κινητικότητα καθώς και τις γρήγορες και μεταβαλλόμενες χωρικές αλλαγές των κόμβων.

Η ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων πέμπτης γενιάς (5G), η υιοθέτηση των οποίων δεν προβλέπεται να γίνει πριν από το 2020, πρόκειται να αντιμετωπίσει πολλά από τα υφιστάμενα ζητήματα των δικτύων WAN. Κάτι τέτοιο πρόκειται να επιφέρει αλλαγές και στα δίκτυα MANET και VANET.

Στο παραπάνω πλαίσιο αναπτύσσεται η παρούσα εργασία. Στόχος της είναι η των διαφορών στην αρχιτεκτονική δομή και στα χαρακτηριστικά των δικτύων MANET και VANET. Αρχικά λοιπόν τοποθετούνται δύο κεφάλαια που περιγράφουν τα δίκτυα MANET και VANET. Στο πρώτο περιγράφονται τα δίκτυα MANET και παρουσιάζεται η ιστορική εξέλιξή τους τα χαρακτηριστικά τους τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους και οι εφαρμογές τους. Αντίστοιχα το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στα δίκτυα VANET παρουσιάζοντας τα χαρακτηριστικά, τις αρχιτεκτονικές και τις εφαρμογές τους. Τα επόμενα δύο κεφάλαια αναφέρονται στα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν τα δίκτυα MANET και VANET αντίστοιχα έτσι ώστε εν τέλει να εξαχθεί ένα συμπέρασμα σχετικά με τα πρωτόκολλα που μπορούν να δώσουν την βέλτιστη απόδοση. Μάλιστα επεξηγείται για ποιο λόγο τα πρωτόκολλα των MANET δεν μπορούν να εφαρμοστούν στα VANET. Τέλος, στο 5^ο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στις εξελίξεις των δικτύων αυτών όσον αφορά τη χρήση τους στα ασύρματα δίκτυα πέμπτης γενιάς (5G).

Λέξεις κλειδιά: Αδόμητα δίκτυα οχημάτων (VANET), αδόμητα φορητά δίκτυα (MANET), πρωτόκολλα δρομολόγησης, 5G

Abstract

The advance in accessibility and popularity of flexible wireless portable devices has led scientists to create a wide range of MANETs network protocols. Mobile Ad-hoc Networks (MANETs) are subcategory of Wireless Ad-hoc Networks (WANETs), which support a dynamic topology as well as mobility. On the contrary, MANETs are, by definition, less resilient systems in terms of supporting mobility. MANET is an accumulation of wireless portable nodes that communicate with each other without built-in control or a specific context. Wireless connections to such a system are particularly sensitive and can be interrupted for long periods due to nodes mobility, the presence of obstacles and the lack of infrastructure. Therefore, routing protocols play a significant role in MANETs. Because of their mobility, MANETs are used in military applications, sensor networks and rescue operations.

Vehicle Ad-hoc Networks (VANETs) are a subcategory of MANETs and are used to provide vehicle-to-vehicle (V2V) communication as well as vehicles to road infrastructure communication (Vehicle-to-Infrastructure - V2I). A great advantage of VANETs is their use in many communication applications without the need to modify the existing infrastructure. Communication in these applications is made through multiple hops. However, designing an efficient routing method for VANETs is extremely difficult.

Although VANET is part of MANET, MANET routing protocols can not work to provide the optimum performance required in a rapidly changing VANET. The main difference between the two networks lies in the fact that the mobility of the nodes in the VANET is strictly within the road boundaries, as opposed to the random mobility of the nodes of MANET. Therefore, routing protocols of VANETs should support high mobility as well as fast and changing spatial changes of nodes.

The deployment of fifth-generation (5G) wireless networks, which are not expected to be adopted before 2020, will address many of the existing issues of WAN networks. This will also bring changes in MANETs and VANETs, as well.

This paper presents the differences in the architectural structure and characteristics of MANETs and VANETs, as well as various routing protocols they use, in order to identify those that can provide the best performance in both types of networks. Also, reference is made to developments in these networks with regard to their use in fifth generation wireless networks (5G).

This paper aims to distinguish between the architectural structure and the characteristics of the MANET and VANET networks. Initially, two chapters, the first two of the paper describing the MANET and VANET networks. The first describes the MANET networks. Actually presents their historical evolution of their features, their advantages and disadvantages and their applications. After that, the second chapter, refers to VANET networks presenting their features, architectures and applications. The next two chapters, 3rd and 4th chapter refer to the protocols used by the MANET and VANET networks respectively, so that a conclusion can finally be drawn about the protocols that can give the best performance. Indeed, it is explained why MANET protocols cannot be applied to VANET networks. Finally, in Chapter 5 a reference is made to developments in these networks with regard to their use in fifth generation wireless networks (5G).

Keywords: Mobile Ad-hoc Network (MANET), routing protocols, Vehicle Ad-hoc Network (VANET), 5G

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	444
Abstract.....	555
Κατάλογος συντομογραφιών.....	888
Εισαγωγή.....	11111
1 Δίκτυα MANET.....	151515
1.1 Σύνοψη της τεχνολογίας.....	151515
1.2 Εξέλιξη των δικτύων MANET.....	161616
1.3 Χαρακτηριστικά των δικτύων MANET.....	171717
1.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των δικτύων MANET.....	171717
1.5 Εφαρμογές των δικτύων MANET.....	191919
2 Δίκτυα VANET.....	202020
2.1 Σύνοψη της τεχνολογίας.....	202020
2.2 Χαρακτηριστικά των δικτύων VANET.....	212121
2.3 Αρχιτεκτονικές δικτύων VANET.....	212121
2.3.1 Επικοινωνία εντός του Οχήματος.....	222222
2.3.2 Επικοινωνία V2V.....	232323
2.3.3 Επικοινωνία V2I.....	242424
2.3.4 Υβριδική επικοινωνία.....	252525
2.4 Εφαρμογές δικτύων VANET.....	252525
3 Πρωτόκολλα δρομολόγησης δικτύων MANET.....	272727
3.1 Ταξινόμηση βασικών πρωτοκόλλων.....	272727
3.2 Προνοητικά πρωτόκολλα δρομολόγησης.....	282828
3.3 Πρωτόκολλα Δρομολόγησης Αντίδρασης ή Κατ' Απαίτηση.....	292929
3.4 Πρωτόκολλα ιεραρχικής/υβριδικής δρομολόγησης.....	313131
3.5 Εξελίξεις στα πρωτόκολλα δρομολόγησης MANET.....	313131
3.5.1 Πρωτόκολλα προσανατολισμένα στην ποιότητα QoS.....	313131
3.5.2 Πρωτόκολλα ενεργειακά αποδοτικής δρομολόγησης.....	323232
3.5.3 Πρωτόκολλα που αφορούν την κινητικότητα.....	333333
3.5.4 Πρωτόκολλα προσανατολισμένα στην ασφάλεια.....	343434
4 Πρωτόκολλα δρομολόγησης δικτύων VANET.....	353535
4.1 Ταξινόμηση πρωτοκόλλων.....	353535
4.2 Χρήση πρωτοκόλλων δρομολόγησης δικτύων MANET σε δίκτυα VANET.....	363636
4.3 Πρωτόκολλα δρομολόγησης βάσει GeoCast.....	363737
4.4 Πρωτόκολλα δρομολόγησης βάσει εκπομπής.....	373737
4.5 Πρωτόκολλα δρομολόγησης βάσει ομάδων.....	383838
4.6 Εξελίξεις στα πρωτόκολλα δρομολόγησης VANET.....	393939
4.6.1 Πρωτόκολλο δρομολόγησης GPGR.....	393939
4.6.2 Πρωτόκολλο δρομολόγησης HLAR.....	393939
4.6.3 Πρωτόκολλο δρομολόγησης iCAR.....	404040
4.6.4 Βελτίωση του πρωτοκόλλου κινητικότητας δικτύου NEMO.....	404040
4.6.5 Πρωτόκολλο δρομολόγησης EG-RAODV.....	414141
4.6.6 Πρωτόκολλο δρομολόγησης MAZACORNET.....	414141
5 Ρόλος των MANET και VANET στα δίκτυα 5G.....	434343

5.1 Βελτιώσεις στις σύγχρονες ασύρματες τεχνολογίες	434343
5.2 Η τεχνολογία 5G	444444
5.3 Οχηματική υπολογιστική νέφους	454545
5.4 Υπολογιστική ομίχλης	464646
5.5 Δικτύωση καθοριζόμενη από λογισμικό	474747
5.6 Διαδίκτυο οχημάτων.....	484848
Συμπεράσματα	494949
Βιβλιογραφία	525252

Κατάλογος συντομογραφιών

Συντομογραφία	Αγγλική Ονομασία	Ελληνική ονομασία (όπου είναι διαθέσιμη)
ABC	Artificial Bee Colony	
ABTE	Agent Based Trust Estimation	
ACO	Ant Colony Optimization	
AMAAODV	Adaptive Mobility Aware Ad-hoc On-demand Distance Vector	
AODV	Ad-hoc On-demand Distance Vector	
AOMDV	Ad-hoc On-demand Multipath Distance Vector	
AP	Access Point	Σημείο Πρόσβασης
BATMAN	Better Approach To Mobile Ad-hoc Networking	
BS	Base Stations	Σταθμοί Βάσης
CBDRP	Cluster Based Directional Routing Protocol	
CBQRP	Cluster Based QoS Routing Protocol	
CBR	Cluster Based Routing	
CBZA	Cluster Based Zone Allocation	
CC	Cloud Computing	Υπολογιστική Νέφους
CGSRP	Cluster-head Gateway Switch Routing Protocol	
COIN	Clustering for Open IVC Network	
CSI-RP	Combined Swarm Intelligence - Routing Protocol	
D2D	Device to Device	Συσκευή προς Συσκευή
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency	
DBRT	Driven Backup Routing Table	
DoS	Deny of Service	Άρνηση Εξυπηρέτησης
DREAM	Distance Routing Effect Algorithm for Mobility	
DRG	Distributed Robust Geocast	
DSDV	Destination Sequenced Distance Vector	
DSR	Dynamic Source Routing	
DSRC	Dedicated Short Range Communication	Αποκλειστική Επικοινωνία Μικρής Εμβέλειας
DV	Distance Vector	Διανύσματα Απόστασης
DV-CAST	Distributed Vehicular Broadcast	
EG-RAODV	Evolving Graph - Reliable Ad-hoc On-Demand Distance Vector	
ERBOR	Effective Routing Based on Overhead Reduction	
FCMQR	Fuzzy Cost-based Multi-constrained QoS Routing	
FSR	Fisheye State Routing	
GPGR	Grid-based Predictive Geographical Routing	
GPSR	Greedy Perimeter Stateless Routing	
GROOV	Geography Routing Over VANET	
HetNet	Heterogeneous Network	Ετερογενές Δίκτυο
HLAR	Hybrid Location-based Ad-hoc Routing	
HYDI	Hybrid Data Dissemination	
IoT	Internet of Things	Διαδίκτυο των Πραγμάτων
IoV	Internet of Vehicles	Διαδίκτυο των Οχημάτων

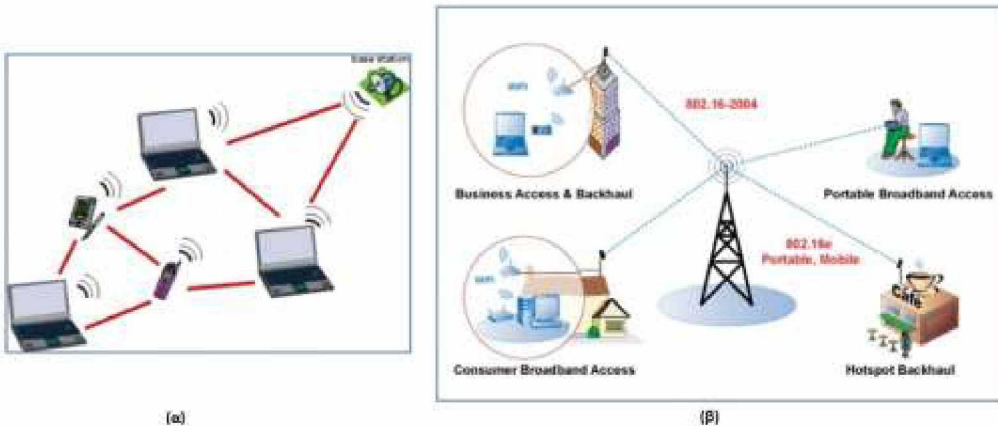
ITS	Intelligent Transport System	Ευφυή Συστήματα Μεταφορών
LAR	Location Aided Routing	
LBAOMDV	Load Balancing Ad-hoc On-demand Multipath Distance Vector	
LLFR	Local Link Failure Recovery	
LORA-CBF	Location-based Routing Algorithm with Cluster Based Flooding	
LS	Link State	Κατάσταση Ζεύξης
MAC	Medium Access Control	Έλεγχος Προσπέλασης Μέσου
MACA	Mobility Adoptive Clustering Algorithm	
MANET	Mobile Ad-hoc Network	Αδόμητο Φορητό Δίκτυο
MAR	Mobility Adjustment Routing	
MAZACORNET	Mobility Aware Zone-based Ant Colony Optimization Routing for VANET	
MEC	Mobile Edge Computing	Υπολογιστική Παρυφής Κινητού Δικτύου
MOAODV	Multi Object Ad-Hoc On-demand Distance Vector	
MOBICAST	Mobile Just In Time Multicasting	
MPR	Multi Point Relays	
NFV	Network Function Visualization	Εικονικοποίηση Λειτουργιών Δικτύων
NPPB	Nth Powered P-persistent Broadcast	
NUNBC	Novel Unique Node Based Clustering	
OBSUR	On-demand Bandwidth and Stability-based Unicast Routing	
OGM	Originator Messages	
OLSR	Optimized Link State Routing	
PCAODV	Power Control Ad-hoc On-demand Distance Vector	
PDR	Packet Delivery Ratio	Ρυθμός Παροχής Πακέτων
PRNET	Packet Radio Network	Ραδιοδίκτυο Πακέτων
PRP	Parallel Routing Protocol	
PSR	Proactive Source Routing	
QoS	Quality of Service	Ποιότητα Εξυπηρέτησης
RERR	Route Error	Λάθος Διαδρομής
ROVER	Robust Vehicular Routing	
RRAODV	Randomized Reversed Ad-hoc On-demand Distance Vector	
RREP	Route Reply	Απάντηση Διαδρομής
RREQ	Route Request	Αναζήτηση Διαδρομής
RSU	Road Side Units	
RTBD	Record and Trust Based Detection	
RTT	Round Trip Time	Χρόνος μετ' Επιστροφής
SDN	Software Defined Networking	Δικτύωση Καθοριζόμενη από Λογισμικό
SURAN	Survivable Radio Network	
UWB	Ultra-Wide Band	Υπέρ-Ευρεία Ζώνη
V2I	Vehicle to Infrastructure	Όχημα προς Υποδομή
V2V	Vehicle to Vehicle	Όχημα προς Όχημα

V2X	Vehicle to X	Όχημα προς Οτιδήποτε
VADD	Vehicle Assisted Data Delivery in VANET	
VANET	Vehicular Ad-hoc Network	Αδόμετο Δίκτυο Οχημάτων
VCC	Vehicular Cloud Computing	Οχηματική Υπολογιστική Νέφους
VoEG	VANET oriented Evolving Graph	
VSN	Vehicular Sensor Network	Δίκτυο Αισθητήρων Οχημάτων
WAN	Wireless Access Network	Ασύρματο Δίκτυο Πρόσβασης
WANET	Wireless Ad-hoc Network	Ασύρματο Αδόμετο Δίκτυο
WLAN	Wireless Local Area Network	Ασύρματο Τοπικό Δίκτυο
WPAN	Wireless Personal Area Network	Ασύρματο Δίκτυο Προσωπικής Περιοχής
WSN	Wireless Sensor Network	Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων
ZHLS	Zone-based Hierarchical Link State	
ZPR	Zone Routing Protocol	

Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες, η δημοτικότητα των Ασύρματων Δικτύων Πρόσβασης (Wireless Access Networks, WAN) έχει ενισχυθεί κυρίως λόγω της ευρείας διαθεσιμότητας και της ταχείας εισαγωγής ασύρματων πομποδεκτών σε μια ποικιλία υπολογιστικών συσκευών, όπως τα PDA, οι φορητοί και οι επιτραπέζιοι υπολογιστές [1]. Η ασύρματη επικοινωνία φέρνει ουσιαστικές αλλαγές στις τηλεπικοινωνίες και στη δικτύωση δεδομένων. Η ευελιξία των ασύρματων δικτύων είναι τόσο μεγάλη, που επιτρέπει την ταχεία ανάπτυξή τους ακόμα και σε περιοχές όπου η εγκατάσταση ενσύρματων δικτύων είναι ανέφικτη. Η καλή απόδοση και το χαμηλότερο κόστος υλοποίησης ενθαρρύνουν προοδευτικά ολοένα και περισσότερους οικιακούς χρήστες αλλά και εταιρείες στο να επιλέξουν αυτά τα είδη δικτύων. Οι ασύρματες επικοινωνίες θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν τις ενσύρματες σε πολλές περιπτώσεις. Οι φορητοί χρήστες σήμερα μπορούν να έχουν πρόσβαση στο Διαδίκτυο σε μέρη όπως το γραφείο και το σπίτι ή ακόμα και σε δημόσιους χώρους, όπως τα αεροδρόμια, τα συνέδρια, τα εμπορικά κέντρα, τα ξενοδοχεία και οι βιβλιοθήκες.

Τα δίκτυα WAN μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες [1]. Η πρώτη, και πιο κοινή, κατηγορία αφορά δίκτυα με σταθερές και ενσύρματες πύλες (ασύρματο δίκτυο που αναπτύσσεται βασιζόμενο στην υποδομή ενός ενσύρματου Κυρίως Δικτύου (Core Network)). Σε αυτό το είδος δικτύου, οι κινητοί κόμβοι συνδέονται με το δίκτυο μέσω ενός Σημείου Πρόσβασης (Access Point, AP), το οποίο βρίσκεται εντός της εμβέλειας κάλυψης του δικτύου, με χρήση της τεχνικής επικοινωνίας Μονού Άλματος (Single Hop). Αυτό συνεπάγεται ότι μόνο με ένα άλμα, με ένα βήμα, είναι δυνατή η διασύνδεση του κινητού κόμβου με το AP, χωρίς την ανάγκη ύπαρξης ενδιάμεσων βημάτων (Εικ. 1 – δεξί σκέλος). Η δεύτερη κατηγορία ασύρματων δικτύων αφορά συνήθως φορητά δίκτυα χωρίς υποδομή, που είναι πιο γνωστά με τον όρο αδόμητα φορητά δίκτυα (Mobile Ad-hoc Network, MANET). Ένα δίκτυο MANET μπορεί να αναπτυχθεί μέσω ασύρματων τεχνολογιών, για παράδειγμα Bluetooth ή πρότυπα IEEE 802.11, οι οποίες παρέχουν τη δυνατότητα στα κινητά τηλέφωνα να δημιουργήσουν ένα Αδόμητο Φορητό Δίκτυο, χρησιμοποιώντας το χρησιμοποιούμενο φάσμα ραδιοσυχνοτήτων για την προοδευτική διασύνδεσή τους, χωρίς απαραίτητα την ανάγκη ύπαρξης κάποιας σταθερής υποδομής και χωρίς την παρουσία κάποιου κεντρικού ελέγχου. Στην δεύτερη κατηγορία συνήθως απαιτείται η ύπαρξη πολλών αλμάτων – βημάτων για την σύνδεση της κινητής συσκευής με το AP σε μια τεχνική επικοινωνίας Πολλαπλών Αλμάτων (Multi Hop) κατά την οποία απαιτείται η ύπαρξη ενδιάμεσων κόμβων (Εικ. 2 – αριστερό σκέλος). Μάλιστα τα βήματα αυτά δύναται να είναι διαφορετικά ανά περίπτωση, να μεταβάλλονται δυναμικά, αναλόγως της θέσης των διάφορων κόμβων του δικτύου [2].



ΕΙΚΟΝΑ 1: Παράδειγμα ασύρματων δικτύων (α) χωρίς υποδομή και (β) με υποδομή [3]

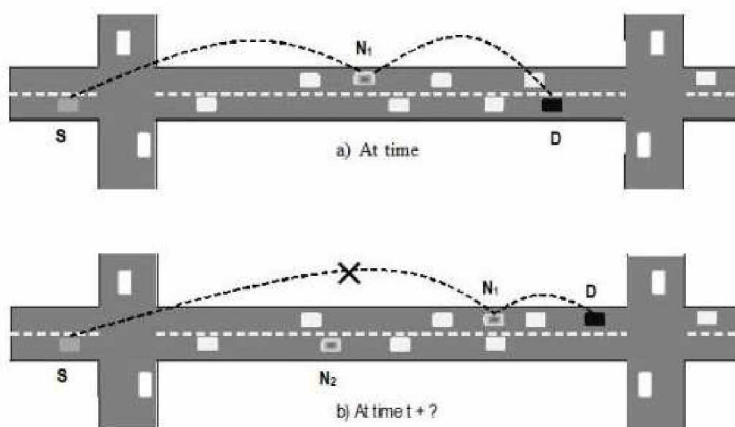
Ένα πλεονέκτημα των δικτύων WAN είναι ότι οι χρήστες ενός κοινού χώρου έχουν τη δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων, ενώ μπορούν να είναι εν κινήσει. Ωστόσο, η απόσταση που μπορούν να έχουν οι χρήστες μεταξύ τους περιορίζεται από την εμβέλεια των πομπών ή την εγγύτητά τους στα σημεία AP. Τα δίκτυα MANET παρέχουν τη δυνατότητα επίλυσης αυτού του ζητήματος, επιτρέποντας στους κόμβους εκτός εμβέλειας να δρομολογούν δεδομένα μέσω ενδιάμεσων κόμβων [1]. Οι κόμβοι των δικτύων MANET έχουν τη δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας και δικτύωσης. Σε αντίθεση με τα ασύρματα δίκτυα με υποδομή, όπου η διατήρηση της σύνδεσης εξασφαλίζεται από συγκεκριμένο εξοπλισμό, στα ασύρματα δίκτυα χωρίς υποδομή, κάθε κόμβος πρέπει να υπολογίζει και να διατηρεί μια λίστα διαδρομών, που θα του επιτρέψει την πρόσβαση στους γειτονικούς πιθανούς προορισμούς. Επιπλέον, κάθε κόμβος χρησιμοποιεί ενδιάμεσους κόμβους, όχι μόνο για να μπορέσει να προσεγγίσει τους γειτονικούς προορισμούς, αλλά και για να αναμεταδώσει την κυκλοφορία δεδομένων σε αυτούς. Με τον τρόπο αυτό κάθε κόμβος του δικτύου λειτουργεί και ως δρομολογητής [3].

Κάποια από τα πλεονεκτήματα των δικτύων MANET σε σύγκριση με τα πιο κοινά χρησιμοποιούμενα δίκτυα WAN, που είναι τα WAN με υποδομή, είναι το μειωμένο κόστος πλαισίου, η απλότητα ανάπτυξης και η προσαρμοστικότητα σε πιθανή εσωτερική αποτυχία λειτουργίας, καθώς η δρομολόγηση πραγματοποιείται αποκλειστικά από κόμβους που χρησιμοποιούν άλλους μεταβατικούς κόμβους συστήματος, για την προώθηση των πακέτων. Επιπλέον, με τη δυνατότητα που έχει κάθε κόμβος να μεταβάλλει τις συνδέσεις του και, για το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα που βρίσκεται εντός του δικτύου, να συνδέεται με διαφορετικούς κόμβους, δημιουργείται ένα δίκτυο εξαιρετικής δυναμικής και αυτόνομης τοπολογίας [4]. Τα δίκτυα MANET αποτελούν τη μόνη επιλογή υποστήριξης της φορητότητας σε περιοχές ή χώρους όπου δεν υπάρχει υποδομή, λόγω αδυναμίας ή υπερβολικού κόστους εγκατάστασης. Ορισμένοι από τους τομείς εφαρμογής των δικτύων MANET είναι οι στρατιωτικές δραστηριότητες, οι ιδιαίτερα απομακρυσμένες περιοχές και οι καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.

Οι τεχνολογικές εξελίξεις των ασύρματων δικτύων οδήγησαν στη χρήση των επικοινωνιακών συστημάτων και σε άλλους τομείς. Εκμεταλλευόμενοι αυτές τις εξελίξεις, οι ακαδημαϊκοί κύκλοι, οι κυβερνήσεις και οι αυτοκινητοβιομηχανίες μπήκαν στη διαδικασία σχεδιασμού, ανάπτυξης, υλοποίησης και εφαρμογής της επικοινωνίας και της δυνατότητας άμεσης ανταλλαγής κινηματικών δεδομένων μεταξύ οχημάτων [5]. Η επικοινωνία αυτή πραγματοποιείται μέσω αδόμητων δικτύων, γνωστών ως Αδόμητα Δίκτυα Οχημάτων (Vehicular Ad-hoc Network, VANET), τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν εντός των Ευφών Συστημάτων Μεταφορών (Intelligent Transportation System, ITS), παρέχοντας μεγαλύτερη ασφάλεια στις οδικές αρτηρίες και ενισχύοντας την αποδοτικότητα των συστημάτων αυτών. Αποτελούν κατανεμημένα δίκτυα επικοινωνίας με δυνατότητα αυτο-οργάνωσης, που δημιουργούνται από τα κινούμενα οχήματα και χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλό βαθμό κινητικότητας, με περιορισμένο όμως βαθμό ελευθερίας [6]. Τα δίκτυα VANET, εφόσον είναι υποκατηγορία των δικτύων MANET, έχουν την ίδια φιλοσοφία λειτουργίας με αυτά, με τη διαφορά ότι το ρόλο των κόμβων, σε αυτή την περίπτωση, παίζουν τα κινούμενα οχήματα. Τα αδόμητα δίκτυα VANET χρησιμοποιούνται για την παροχή επικοινωνίας μεταξύ γειτονικών οχημάτων (Vehicle-to-vehicle - V2V), καθώς και μεταξύ των οχημάτων και της σταθερής οδικής υποδομής (Vehicle-to-Infrastructure - V2I). Μεγάλο πλεονέκτημα τους αποτελεί η χρήση τους σε πλήθος επικοινωνιακών εφαρμογών, χωρίς την ανάγκη τροποποίησης της υπάρχουσας υποδομής καθώς τα σύγχρονα οχήματα ήδη έχουν υποδομές δημιουργίας δικτύου. Μάλιστα φέρουν μεγάλο αριθμός και ποικιλία αισθητήρων τους οποίους χρησιμοποιούν σε διάφορες εφαρμογές και δεδομένα τους θα μπορούσαν να αποσταλούν μέσω των δικτύων VANET σε γειτονικά οχήματα (π.χ. κατάσταση οδοστρώματος) [7]. Η σύγκριση των δικτύων VANET με τα δίκτυα MANET και με άλλα είδη κυψελωιδών δικτύων, δίνει στα δίκτυα αυτά ακόμα τέσσερα πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα [5]: την ευρεία περιοχή κάλυψης, τη σχετικά μικρή καθυστέρηση μετάδοσης δεδομένων λόγω της άμεσης ασύρματης επικοινωνίας, την εξαιρετικά μηδαμινή κατανάλωση ισχύος και τις δωρεάν παρεχόμενες υπηρεσίες. Η περιοχή κάλυψης των δικτύων αυτών μπορεί να είναι σημαντικά μεγαλύτερη καθώς υπάρχουν πολλοί κινούμενοι κόμβοι οι οποίοι μπορούν να μεταδώσουν τα δεδομένα σε

μια σημαντική απόσταση. Η καθυστέρηση της μεταφοράς των δεδομένων είναι πολύ μικρή καθώς τα γειτονικά οχήματα συνδέονται άμεσα μεταξύ τους χωρίς να απαιτείται δρομολόγηση σε Κυρίως Δίκτυο (Core Network) μέσω ενός AP και μετά επαναδρομολόγηση πίσω στο γειτονικό αυτοκίνητο. Η κατανάλωση ισχύος του δικτύου είναι πολύ μικρή καθώς δεν απαιτείται μόνιμος εξοπλισμός ο οποίος θα βρίσκεται συνεχώς εν λειτουργία και μάλιστα θα πρέπει να έχει την απαιτούμενη ισχύ ώστε να του προσδίδει μια ικανοποιητική εμβέλεια. Τέλος οι παρεχόμενες υπηρεσίες διασύνδεσης VANET είναι δωρεάν μέσω συγκεκριμένων πρωτοκόλλων σύνδεσης καθώς δεν απαιτείται συνδρομή σε συγκεκριμένο πάροχο ο οποίος έχει τον έλεγχο της υποδομής, του Κυρίως Δικτύου (Core Network).

Αν και τα δύο είδη δικτύων, MANET και VANET, μοιάζουν ως προς τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό τους (είναι και τα δύο ασύρματα δίκτυα πολλαπλών αλμάτων με δυναμική τοπολογία), το στοιχείο της υψηλής κινητικότητας με περιορισμένο βαθμό ελευθερίας που χαρακτηρίζει τα δίκτυα VANET, καθιστά τα πρότυπα πρωτόκολλα δικτύωσης ανεπαρκή, επηρεάζοντας την απόδοση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης [6]. Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης των δικτύων VANET θα πρέπει να προσαρμόζονται συνεχώς στις εκάστοτε επικρατούσες οδικές συνθήκες (υψηλές ή χαμηλές ταχύτητες κίνησης, μεγάλος ή μικρός, ακόμη και καθόλου φόρτος οχημάτων, κακές καιρικές συνθήκες, τροχαία ατυχήματα, εργασίες συντήρησης οδών κλπ), γεγονός που τα καθιστά τελείως αναξιόπιστα. Ως εκ τούτου, ο σχεδιασμός μιας αποτελεσματικής μεθόδου δρομολόγησης στα δίκτυα VANET είναι εξαιρετικά δύσκολος, γεγονός που αποδεικνύεται από την πλούσια έρευνα πάνω στην ανάπτυξη πρωτοκόλλων δρομολόγησης που αφορούν ειδικά τα δίκτυα αυτά. Η απευθείας χρήση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης που έχουν σχεδιαστεί για τα δίκτυα MANET στα δίκτυα VANET δεν είναι αποτελεσματική. Η ανάλυση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης των δικτύων MANET απέδειξε ότι παρουσιάζουν προβλήματα στο θέμα των επιδόσεων, όταν εφαρμοστούν στα δίκτυα VANET [8]. Το κύριο πρόβλημα που παρουσιάζουν τα πρωτόκολλα των δικτύων MANET σε περιβάλλοντα VANET, είναι η αστάθεια δρομολόγησης. Όταν στα δίκτυα VANET εφαρμοστεί η παραδοσιακή κομβο-κεντρική άποψη των δρομολογήσεων (δηλαδή μια καθιερωμένη δρομολόγηση αποτελείται από μια σταθερή διαδοχή κόμβων μεταξύ της πηγής και του προορισμού), το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι αδυναμία δρομολόγησης των δεδομένων, λόγω του χαρακτηριστικού στοιχείου της υψηλής κινητικότητας που παρουσιάζουν τα εν λόγω δίκτυα (π.χ. Εικ. 2). Κατά συνέπεια, πολλά πακέτα χάνονται και η κεφαλίδα των πακέτων που τελικά αποστέλλονται αυξάνεται σημαντικά, λόγω των προσπαθειών αναδρομολόγησης ή των ειδοποιήσεων αποτυχημένης παράδοσης πακέτων. Για το λόγο αυτό, η αναλογία επιτυχημένης παράδοσης πακέτων μικραίνει σημαντικά, ενώ παράλληλα παρουσιάζονται υψηλές καθυστερήσεις μετάδοσης.



ΕΙΚΟΝΑ 2: Οι δρομολογήσεις που δημιουργούνται από τη σταθερή διαδοχή κόμβων, συχνά «χάνονται» στα υψηλής κινητικότητας δίκτυα VANET [9]

Οι τρέχουσες εξελίξεις στις επικοινωνίες και στα υπολογιστικά συστήματα έχουν συνεισφέρει στη διαμόρφωση έξυπνων συσκευών, που είναι εξοπλισμένες με δυνατότητες ασύρματης επικοινωνίας και επεξεργαστές υψηλής απόδοσης [10]. Η ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων πέμπτης γενιάς (5G), η υιοθέτηση των οποίων δεν προβλέπεται να γίνει πριν από το 2020, πρόκειται να αντιμετωπίσει πολλά από τα υφιστάμενα ζητήματα των δικτύων WAN. Κάτι τέτοιο προβλέπεται να επιφέρει αλλαγές και στα δίκτυα MANET και VANET. Ιδιαίτερα για τα δίκτυα VANET οι αλλαγές αυτές δείχνουν να είναι ριζικές. Με την ταχεία ανάπτυξη της τηλεματικής στον τομέα των αυτοκινήτων, τα σύγχρονα οχήματα αναμένεται να μπορούν να συνδέονται μεταξύ τους μέσω ετερογενών τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης, καθώς και να ανταλλάσσουν μαζικά πληροφορίες με το γύρω περιβάλλον τους. Αυτή η σημαντική επέκταση της κλίμακας του δικτύου αλλά και η επεξεργασία των πληροφοριών, τόσο σε πραγματικό χρόνο όσο και μακροπρόθεσμα, τείνουν να εξελίσσουν τα παραδοσιακά δίκτυα VANET στο λεγόμενο Διαδίκτυο των Οχημάτων (Internet of Vehicles, IoV), το οποίο θα αποτελέσει μια αποτελεσματική και ευφυή προοπτική των μελλοντικών συστημάτων ITS [11]. Τα ζητήματα που αντιμετωπίζουν τα σύγχρονα δίκτυα VANET, όπως η έλλειψη ευελιξίας, η σύντομη συνδεσιμότητα και η έλλειψη ευφυϊών πληροφοριών, μπορούν να ξεπεραστούν με την εξέλιξη αυτή. Σημαντική προβλέπεται να είναι η συνεισφορά στην εξέλιξη αυτή νέων αναδυόμενων τεχνολογιών, όπως η Οχηματική Υπολογιστική Νέφος (Vehicular Cloud Computing, VCC), η Υπολογιστική Ομίχλης (Fog computing), η Εικονικοποίηση Λειτουργιών Δικτύων (Network Function Virtualization, NFV), η Υπολογιστική Παρυφής Κινητού Δικτύου (Mobile Edge Computing, MEC) και η Δικτύωση Καθοριζόμενη από Λογισμικό (Software Defined Networking, SDN). Όλες αυτές οι τεχνολογίες έχουν σχεδιαστεί για την υποστήριξη των ασύρματων δικτύων πέμπτης γενιάς (5G) [10]. Οι τεχνολογίες αυτές μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην οικοδόμηση ενός εξελιγμένου συστήματος ITS.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση των εξελίξεων στα δίκτυα MANET και VANET. Για το λόγο αυτό η εργασία είναι διαρθρωμένη σε 3 μέρη. Στο πρώτο μέρος γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση των δικτύων MANET και VANET. Στο δεύτερο μέρος γίνεται μια παρουσίαση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης που χρησιμοποιούν τα δίκτυα αυτά, με σκοπό τον εντοπισμό αυτών που μπορούν να παρέχουν τη βέλτιστη απόδοση και στα δύο είδη δικτύων. Στο τρίτο και τελευταίο μέρος γίνεται μια αναφορά στις εξελίξεις των δικτύων αυτών, όσον αφορά τη χρήση τους στα δίκτυα 5G, με ιδιαίτερη αναφορά στην εξέλιξη του δικτύου VANET σε IoV. Τέλος, η εργασία ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα που προκύπτουν.

1 Δίκτυα MANET

1.1 Σύνοψη της τεχνολογίας

Ένα δίκτυο MANET αποτελείται από φορητούς ή κινητούς κόμβους χωρίς καμία υποδομή [3]. Οι κινητοί κόμβοι έχουν τη δυνατότητα αυτο-οργάνωσης, με σκοπό το σχηματισμό ενός δικτύου μέσω ραδιοευξέων. Στόχος των MANET είναι η επέκταση της κινητικότητας των κόμβων των δικτύων στους αυτόνομους, κινητούς και ασύρματους τομείς, χρησιμοποιώντας κάποιο είδος υποδομής δρομολόγησης με αδόμητο (ad-hoc) τρόπο. Η πλειοψηφία των εφαρμογών των δικτύων MANET αφορά περιοχές όπου απαιτείται γρήγορη και δυναμική αναδιάταξη και το ενσύρματο δίκτυο δεν είναι υλοποιήσιμο. Τα δίκτυα MANET δεν απαιτούν την ύπαρξη υποδομής όπως τα παραδοσιακά ασύρματα δίκτυα.

Σε τέτοιου είδους δίκτυα, σκοπός του πρωτοκόλλου Ελέγχου Προσπέλασης Μέσου (Medium Access Control – MAC protocol) είναι η παροχή διευθυνσιοδότησης και μηχανισμών πρόσβασης καναλιού στους κόμβους του δικτύου. Ο σχεδιασμός των πρωτοκόλλων MAC για τα δίκτυα MANET θα πρέπει να εξασφαλίζει την πρόσβαση των κόμβων στα ασύρματα κανάλια επικοινωνίας και να μειώνει αποτελεσματικά τις πιθανότητες εμφάνισης συγκρούσεων κατά τη διαδικασία μετάδοσης δεδομένων [12].

Οι κόμβοι σε ένα δίκτυο MANET μπορούν να επικοινωνούν μέσω ενός συνδυασμού υφιστάμενων ασύρματων τεχνολογιών, όπως [13]:

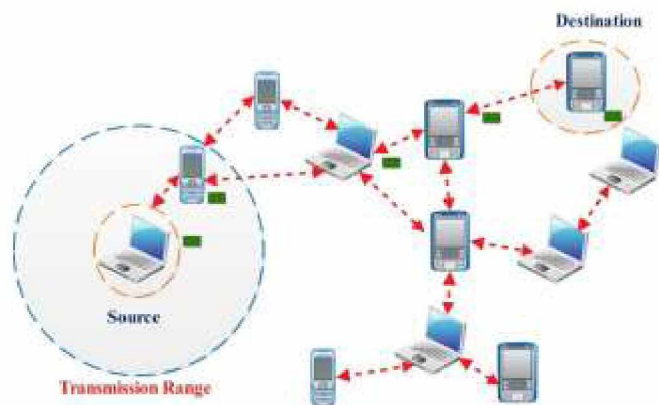
- Bluetooth (IEEE802.15.1) [13],
- Ασύρματο Δίκτυο Προσωπικής Περιοχής (Wireless Personal Area Network, WPAN) [13],
- Wi-Fi (IEEE 802.11) [13],
- Αποκλειστική Επικοινωνία Μικρής εμβέλειας (5,9GHz Dedicated Short Range Communication, DSRC) [13],
- Ασύρματο Τοπικό Δίκτυο (Wireless Local Area Network, WLAN) [13],
- Τεχνολογία Υπερ-Ευρείας Ζώνης (Ultra-Wide Band, UWB) [13],
- ZigBee-802.15.4 [13].

Η χρήση αυτή πολλών ασύρματων πρωτοκόλλων επιτρέπει στους κόμβους διαφορετικών τύπων (και κατασκευαστών), να επικοινωνούν απρόσκοπτα μέσα σε ένα δίκτυο MANET και χωρίς κάποια υποδομή δικτύου. Όταν όλοι οι συμμετέχοντες κόμβοι λειτουργούν με την ίδια συχνότητα, χρησιμοποιούν την ίδια ασύρματη τεχνολογία και τα ίδια πρωτόκολλα δικτύωσης, είναι πολύ πιθανόν οι κρίσιμες επικοινωνίες να είναι διαλειτωργικές και να μεταφέρονται με πολύ χαμηλή καθυστέρηση από άκρο σε άκρο.

Ένα δίκτυο WAN αποτελείται από τερματικά και δρομολογητές οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τη δρομολόγηση των πακέτων. Αντίθετα, ένα αδόμητο δίκτυο δεν περιλαμβάνει αποκλειστικούς δρομολογητές, καθώς οποιοσδήποτε κόμβος μπορεί να λειτουργήσει ως τερματικό και δρομολογητής [1]. Επομένως, δύο κόμβοι ενός αδόμητου δικτύου μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους χωρίς να είναι απαραίτητη η ρύθμιση, ή ακόμα και η ύπαρξη, της υποδομής όπως σε ένα συμβατικό δίκτυο.

Βασικό χαρακτηριστικό ενός αδόμητου δικτύου αποτελεί ο βαθμός κινητικότητάς του. Για το λόγο αυτό τα πρωτόκολλα δρομολόγησης ενός τέτοιου δικτύου θα πρέπει να υποστηρίζουν την κινητικότητα των κόμβων και να προσαρμόζονται στο βαθμό κινητικότητας του δικτύου, εν αντιθέσει με αντίστοιχα πρωτόκολλα δρομολόγησης που χρησιμοποιούνται στα παραδοσιακά ασύρματα δίκτυα, τα οποία δεν προσαρμόζονται στην αλλαγή τοπολογίας του δικτύου. Η δρομολόγηση κίνησης πραγματοποιείται μέσω Κόμβων Προώθησης (Relay Nodes), ή Ενδιάμεσων Κόμβων (Intermediate Nodes), όπως είναι αλλιώς γνωστοί. Κατά τη διαδικασία ανταλλαγής δεδομένων, ο κόμβος εκκίνησης της ανταλλαγής, η Πηγή, (Source) μεταδίδει πακέτα στους γειτονικούς του κόμβους. Εάν κανένας από αυτούς δεν είναι ο προορισμός των

πακέτων, τότε αναμεταδίδουν με τη σειρά τους τα πακέτα στους δικούς τους γειτονικούς κόμβους και η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι αυτά να φτάσουν στον τελικό Προορισμό τους (Destination) (Εικ. 3).



ΕΙΚΟΝΑ 3: Αρχιτεκτονική δομή - Διαδικασία δρομολόγησης σε δίκτυα MANET [14]

Κατά τη διαδικασία αυτή, ο ρόλος των πρωτοκόλλων δρομολόγησης είναι η λήψη αποφάσεων σχετικά με την τύχη των πακέτων που λαμβάνονται από κάποιον κόμβο. Αν ο κόμβος που λαμβάνει τα πακέτα, αποτελεί και τον τελικό προορισμό τους, τότε τα πακέτα προωθούνται προς το Στρώμα Εφαρμογών (Application Layer). Αν ο κόμβος αυτός είναι κόμβος αναμετάδοσης, τότε τα πακέτα προωθούνται προς τους γειτονικούς του κόμβους. Σε διαφορετική περίπτωση τα πακέτα αγνοούνται.

Κάθε κόμβος εκτελεί το πρωτόκολλο δρομολόγησης για τον υπολογισμό του επόμενου κόμβου αναμετάδοσης. Σύμφωνα με αυτό το πρωτόκολλο, οι κόμβοι ανταλλάσσουν μεταξύ τους μηνύματα σηματοδότησης για να γνωρίζουν την τοπολογία του δικτύου, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό ένα γράφημα του δικτύου ή μια διαδρομή προς τον τελικό προορισμό.

1.2 Εξέλιξη των δικτύων MANET

Η έννοια των αδόμητων δικτύων υφίσταται από τη δεκαετία του 1970, όταν αναπτύχθηκαν για πρώτη φορά τα αδόμητα ΡαδιοΔίκτυα Πακέτων PRNET (Packet Radio Network) για στρατιωτικές επιχειρήσεις από το αμερικανικό στρατιωτικό πρόγραμμα DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) [15]. Τα δίκτυα αυτά είχαν κατακεκολλημένη αρχιτεκτονική, με διαμοιρασμό του καναλιού εκπομπής και λειτουργούσαν με επανάληψη της αποστολής των πακέτων, με σκοπό την επέκταση της περιοχής κάλυψης.

Το 1983, το DARPA ανέπτυξε τα δίκτυα SURAN (Survivable Radio Network). Στόχος των δικτύων αυτών ήταν να ξεπεραστούν οι περιορισμοί του αριθμού των κόμβων, της ασφάλειας και της ενέργειας. Η έρευνα πάνω στα αδόμητα δίκτυα συνέχισε να παραμένει αποκλειστικά στρατιωτική, μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1990, όταν η κοινότητα IEEE 802.11 υιοθέτησε τον όρο Αδόμητα (Ad hoc) Δίκτυα και ξεκίνησε την επιστημονική έρευνα για την εξέλιξη τους.

Το πεδίο έρευνας των αδόμητων δικτύων είναι αρκετά ευρύ και αφορά την εφαρμογή τους, εκτός από στρατιωτικές επιχειρήσεις, στη διαχείριση καταστροφών και σε περιοχές όπου δεν υπάρχει υποστηρικτική υποδομή για κυψελοειδή επικοινωνία, καθώς τα Αδόμητα (Ad-hoc) δίκτυα δεν απαιτούν καμία υποδομή. Το όραμα της ασύρματης αδόμητης δικτύωσης είναι να υποστηρίξει την ισχυρή και αποτελεσματική λειτουργία των φορητών ασύρματων δικτύων, ενσωματώνοντας τη λειτουργικότητα δρομολόγησης στους κινητούς κόμβους, μεγάλο μέρος των οποίων θα μπορεί να κάνει χρήση της σουίτας πρωτοκόλλων του Διαδικτύου. Για το λόγο αυτό, εντός του πλαισίου της ομάδας εργασίας για την τεχνολογία του Διαδικτύου (IETF),

δημιουργήθηκε μια νέα ομάδα εργασίας για τα δίκτυα MANET. Σκοπός αυτής της ομάδας εργασίας είναι να διερευνήσει και να αναπτύξει την τυπική υποστήριξη δρομολόγησης μέσω Διαδικτύου για την κινητή επικοινωνία και να αναπτύξει ένα πλαίσιο εκτέλεσης της στοίβας IP πρωτοκόλλων στα αδόμητα δίκτυα.

1.3 Χαρακτηριστικά των δικτύων MANET

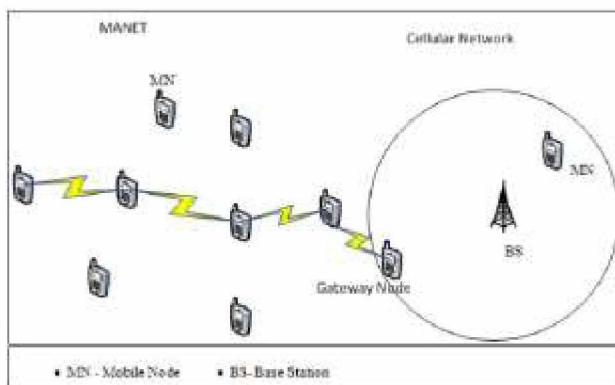
Τα δίκτυα MANET παρουσιάζουν πολλούς περιορισμούς όσον αφορά τα χαρακτηριστικά τους. Για να μπορούν να υποστηρίξουν εφαρμογές ροών πολυμέσων και πραγματικού χρόνου, η εξεύρεση λύσεων σε κάποιους από τους περιορισμούς αυτούς είναι απαραίτητη. Σε σύγκριση με άλλα ασύρματα δίκτυα, τα δίκτυα MANET έχουν κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, τα οποία τα ξεχωρίζουν από τα υπόλοιπα ασύρματα και ενσύρματα δίκτυα [1, 3]. Πιο συγκεκριμένα, τα χαρακτηριστικά αυτά είναι τα εξής:

- **Περιορισμένοι πόροι:** Οι περισσότερες συσκευές MANET είναι μικρές φορητές συσκευές, όπως προσωπικοί ψηφιακοί βοηθοί (PDA), φορητοί υπολογιστές και κινητά τηλέφωνα. Αυτές οι συσκευές παρουσιάζουν περιορισμούς χωρητικότητας της μπαταρίας, μικρής επεξεργαστικής ισχύος και μνήμης (αποθήκευση δεδομένων). Επομένως η κατανάλωση ενέργειας αποτελεί σημαντικό κριτήριο κατά το σχεδιασμό ενός δικτύου MANET.
- **Αυτονομία (χωρίς υποδομές):** Η λειτουργία των δικτύων MANET βασίζεται στην επικοινωνία ανεξάρτητων ομότιμων (P2P) κόμβων. Χωρίς την παρουσία κάποιου σταθμού βάσης, όλοι οι κόμβοι έχουν τον ίδιο ρόλο στο δίκτυο. Ο ρόλος αυτός μπορεί να είναι αυτός του δρομολογητή, του διακομιστή ή των πυλών.
- **Χαμηλό και μεταβλητό εύρος ζώνης:** Οι ασύρματες συνδέσεις των κόμβων MANET έχουν χαμηλότερο εύρος ζώνης από τις ενσύρματες. Η επίδραση των παρεμβολών, της κυκλοφοριακής συμφόρησης και του θορύβου, στοιχεία πολύ κοινά στα δίκτυα MANET, αποτελούν σημαντικότατο παράγοντα στην μεταβολή του εύρους αυτού.
- **Δυναμική Τοπολογία:** Οι κόμβοι MANET μπορούν να κινούνται αυθαίρετα. Αυτό συνεπάγεται δυναμική είσοδο και έξοδο των κόμβων, καθώς και συνεχή μεταβολή των συνδέσεων των κόμβων αλλά και της τοπολογίας του δικτύου. Όλα αυτά τα στοιχεία οδηγούν σε συχνές αλλαγές στις πληροφορίες δρομολόγησης.
- **Επικοινωνίες πολλαπλών αλμάτων:** Η επικοινωνία σε ένα δίκτυο MANET μεταξύ δύο οποιονδήποτε κόμβων πραγματοποιείται μέσω πολλαριθμών ενδιάμεσων κόμβων, των οποίων η λειτουργία είναι η αναμετάδοση πακέτων δεδομένων.
- **Περιορισμένη ασφάλεια συσκευών:** Οι συσκευές MANET είναι συνήθως μικρές και μπορούν να μεταφερθούν παντού, κάτι που δυστυχώς έχει ως αποτέλεσμα την εύκολη απώλεια, κλοπή ή καταστροφή τους.
- **Περιορισμένη ασφάλεια φυσικού στρώματος:** Τα δίκτυα MANET είναι γενικά πιο ευάλωτα σε επιθέσεις φυσικών στρωμάτων, σε σύγκριση με τα ενσύρματα δίκτυα. Επομένως κατά το σχεδιασμό τους θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η δυνατότητα αντιμετώπισης επιθέσεων, όπως πλαστογράφησης, υποκλοπής, παρεμβολής και Άρνησης Εξυπηρέτησης (Deny of Service, DoS). Ωστόσο, η φύση αυτονομίας των δικτύων MANET, τα καθιστά πιο ισχυρά απέναντι σε περιπτώσεις μεμονωμένων περιστατικών αποτυχίας λειτουργίας.
- **Συνδεσιμότητα μικρής εμβέλειας:** Η σύνδεση των κόμβων στα δίκτυα MANET γίνεται μέσω τεχνολογιών ραδιοσυχνότητας (RF), οι οποίες θεωρούνται επικοινωνίες μικρής εμβέλειας. Για το λόγο αυτό, η απευθείας επικοινωνία των κόμβων απαιτεί την ύπαρξη μεταξύ τους εγγύτητας

1.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των δικτύων MANET

Η σύγκριση των δικτύων MANET με τα συμβατικά δίκτυα, αναδεικνύει κάποια πλεονεκτήματα των δικτύων MANET, μερικά από τα οποία είναι τα εξής [1, 2]:

- Παρουσιάζουν μεγαλύτερη κινητικότητα και ευελιξία, καθώς μπορούν να αναπτυχθούν και να τερματιστούν σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα.
- Είναι πιο ισχυρά από τα παραδοσιακά ασύρματα δίκτυα, καθώς η λειτουργία των MANET δεν βασίζεται στην ύπαρξη κάποιου κεντρικού σταθμού βάσης.
- Είναι πιο οικονομικά από τα παραδοσιακά δίκτυα, καθώς εξαλείφεται το κόστος ανάπτυξης υποδομών.
- Μειώνουν την κατανάλωση ισχύος των συσκευών μεταδίδοντας τα δεδομένα με χρήση του μηχανισμού *πολλαπλών αλμάτων*. Όλοι οι κόμβοι μπορούν να είναι σταθμοί αναμετάδοσης που λαμβάνουν και στέλνουν πακέτα προς/από τον τελικό προορισμό, αντί η μετάδοση των πακέτων να γίνεται με ένα μεμονωμένο και μεγάλης απόστασης άλμα.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επέκταση της περιοχής κάλυψης ενός σημείου AP. Με αυτή τη μέθοδο, οι χρήστες που συνδέονται σε ένα σημείο AP μπορούν να παρέχουν συνδέσεις σε άλλους που είναι εκτός εμβέλειας (Εικ. 4).



ΕΙΚΟΝΑ 4: Επέκταση περιοχής κάλυψης με δίκτυο MANET [16]

Τα δίκτυα MANET όμως έχουν και συγκεκριμένα μειονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά δίκτυα. Τα κυριότερα είναι τα ακόλουθα [96]:

- Λόγω της συνεχούς κινητικότητας των κόμβων των απαιτείται συνεχής αλλαγή της διαδρομής δρομολόγησης. Αυτό οδηγεί συχνά σε αποσυνδέσεις και σε απώλειες πακέτων. Αυτό οδηγεί σε μείωση της αξιοπιστίας του δικτύου και χαμηλότερη ποιότητα εξυπηρέτησης των χρηστών.
- Η λειτουργία του δικτύου βασίζεται σε εκπομπή ραδιοκυμάτων. Τα κύματα αυτά υπάρχει το ενδεχόμενο να απολεσθούν κατά την πορεία τους έτσι τα πακέτα να χαθούν. Απώλειες κυμάτων συχνά οφείλονται σε φαινόμενα ανάκλασης, σκέδασης, φραγής της πορείας τους κλπ.
- Τα δίκτυα MANET παρουσιάζουν μικρότερο Ρυθμό Μετάδοσης Δεδομένων (Data Rate) κάτι που οφείλεται στα χαρακτηριστικά της κυματομορφής που μεταφέρει τα πακέτα. Ο ρυθμός αυτός αυξάνεται για σε υψηλές συχνότητες όμως τα κύματα σε αυτή την περίπτωση είναι πιο εύλωτα σε παρεμβολές. Υψηλές συχνότητες λοιπόν χρησιμοποιούνται μόνο σε δίκτυα MANET μικρών αποστάσεων.
- Τα δίκτυα MANET βασίζονται κατά βάση σε κινητές συσκευές των οποίων η διάρκεια λειτουργίας είναι περιορισμένη και εξαρτημένη από την χωρητικότητα των συσσωρευτών που φέρουν.
- Τα δεδομένα που μετακινούνται διαμέσου των δικτύων MANET δεν προστατεύονται από απειλές έτσι η ασφάλεια των δικτύων αυτών είναι περιορισμένη.
- Οι συσκευές που αποτελούν τους κόμβους του δικτύου χρησιμοποιούν διαφορετικά λογισμικά και έχουν διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά (συχνότητες, ταχύτητες μετάδοσης και λήψης) κάτι που

καθιστά τους συνδέσμους μεταξύ των κόμβων ασύμμετρους και δυσκολεύει την σχεδίαση ενός πρωτοκόλλου δικτύου.

1.5 Εφαρμογές των δικτύων MANET

Η παγκόσμια αύξηση του αριθμού των φορητών συσκευών και η αυξανόμενη ανάγκη για επικοινωνία, έδωσαν ώθηση στην σημασία της αδόμητης δικτύωσης και αύξησαν τον αριθμό των εφαρμογών της με ευρεία χρήση. Η αδόμητη δικτύωση μπορεί να εφαρμοστεί οπουδήποτε υπάρχει μικρή ή καθόλου επικοινωνιακή υποδομή ή η υπάρχουσα υποδομή είναι δαπανηρή ή άβολη για χρήση. Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό της είναι η δυνατότητα που δίνει στις συσκευές εντός δικτύου να διατηρούν τις μεταξύ τους συνδέσεις καθώς και η ευκολία με την οποία οι συσκευές μπορούν να συνδεθούν και να αποσυνδεθούν με/από αυτό. Επιπλέον, οι εφαρμογές παλαιού τύπου που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στο αδόμητο πλαίσιο, μπορούν να εμπλουτιστούν με πολλές νέες υπηρεσίες για το νέο περιβάλλον που χρησιμοποιούνται. Τυπικές εφαρμογές των δικτύων MANET είναι οι εξής [3]:

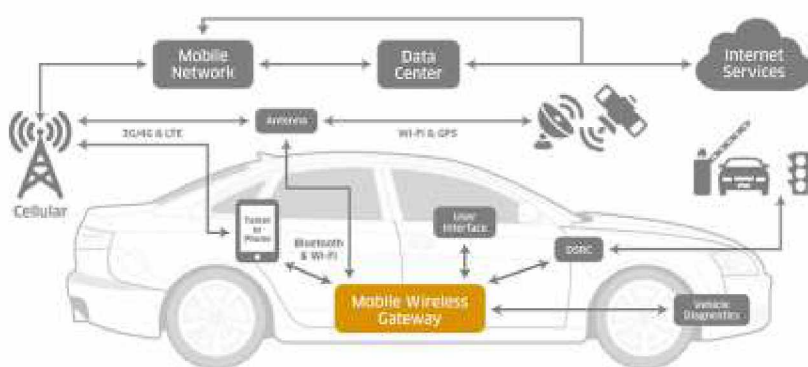
- **Στρατιωτικές επιχειρήσεις:** Ο στρατιωτικός τομέας ήταν από τους πρώτους που υιοθέτησαν τη χρήση δικτύων MANET ως μέρος των τακτικών του δικτύων, με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας και της διάρκειας των επικοινωνιών κατά τις στρατιωτικές επιχειρήσεις. Οι εξελίξεις των τεχνολογιών ασύρματης επικοινωνίας επιτρέπουν τη διατήρηση ενός δικτύου πληροφοριών που καλύπτει όλους τους συμμετέχοντες στις στρατιωτικές επιχειρήσεις συμπεριλαμβανομένων και των στρατιωτικών οχημάτων.
- **Διαδραστική εργασία:** Σε μερικά επιχειρηματικά περιβάλλοντα, η ανάγκη χρήσης της Διαδραστικής Πληροφορικής (Collaborative Computing) μπορεί να είναι πιο σημαντική εκτός του εργασιακού χώρου παρά εντός, έτσι ώστε οι εργαζόμενοι να μπορούν να έχουν συναντήσεις εκτός έδρας για συνεργασία και ανταλλαγή πληροφοριών πάνω σε ένα συγκεκριμένο έργο.
- **Τοπικό επίπεδο:** Ένα αδόμητο δίκτυο πολυμέσων μπορεί να υλοποιηθεί άμεσα και για σύντομο χρονικό διάστημα χρησιμοποιώντας φορητούς υπολογιστές, tablet και smartphone με σκοπό τη διάδοση και ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ για παράδειγμα, των συμμετεχόντων σε ένα συνέδριο ή μια σχολική τάξη. Μια άλλη εφαρμογή τοπικού επιπέδου αφορά οικιακά δίκτυα, όπου οι συσκευές μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους απευθείας για την ανταλλαγή πληροφοριών.
- **Δίκτυο PAN και Bluetooth:** Ένα δίκτυο PAN είναι ένα τοπικό δίκτυο μικρής εμβέλειας, όπου οι κόμβοι συσχετίζονται συνήθως με ένα συγκεκριμένο άτομο. Ένα δίκτυο MANET μικρής εμβέλειας, όπως το Bluetooth, μπορεί να απλοποιήσει την ενδοεπικοινωνία μεταξύ των διαφόρων φορητών συσκευών, όπως των φορητών υπολογιστών και των κινητών τηλεφώνων.
- **Εμπορικός Τομέας:** Τα αδόμητα δίκτυα μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε επιχειρήσεις έκτακτης ανάγκης, διάσωσης ή παροχής βοήθειας σε φυσικές καταστροφές, όπως πυρκαγιά, πλημμύρα ή σεισμό. Οι επιχειρήσεις διάσωσης μπορεί να είναι αναγκαίο να πραγματοποιηθούν σε περιοχές που κάποια υποδομή επικοινωνιών είτε δεν υπάρχει είτε έχει καταστραφεί και επομένως είναι απαραίτητη η ταχεία ανάπτυξη ενός δικτύου επικοινωνίας.

Όπως είναι αντιληπτό από τα παραπάνω η εμπορική χρήση των δικτύων MANET εμφανίζεται μόνο σε περιπτώσεις εκτάκτων καταστάσεων, σε περιπτώσεις όπου είτε δεν υπάρχουν είτε έχουν καταστραφεί τα δίκτυα με υποδομή. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις τα δίκτυα με υποδομή έχουν κυριαρχήσει στην αγορά καθώς τα μειονεκτήματα των δικτύων MANET στους τομείς της αξιοπιστίας, της ποιότητας εξυπηρέτησης των χρηστών και της ασφάλειας είναι πολύ μεγάλα όπως αυτά αναφέρθηκαν σε προηγούμενες ενότητες. Έτσι, πλην περιπτώσεων εκτάκτου ανάγκης η χρήση δικτύων MANET είναι αμελητέα.

2 Δίκτυα VANET

2.1 Σύνοψη της τεχνολογίας

Τα δίκτυα VANET αποτελούν υποκατηγορία των δικτύων MANET όπου οι κινητοί κόμβοι είναι οχήματα, (έξυπνα) εξοπλισμένα με υπολογιστικούς εγκεφάλους, κάρτες δικτύου και αισθητήρες. Όπως και σε κάθε άλλο αδόμητο δίκτυο, τα οχήματα μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους (για την ανταλλαγή πληροφοριών κυκλοφορίας για παράδειγμα) ή με σταθμούς βάσης τοποθετημένους κατά μήκος του οδικού δικτύου (για την αίτηση πληροφοριών ή την πρόσβαση στο Διαδίκτυο).



ΕΙΚΟΝΑ 5: Ευφυΐα ενός σύγχρονου οχήματος [17]

Η εισαγωγή της έννοιας της ευφυΐας στον τομέα των αυτοκινήτων (Εικ. 5) στοχεύει κυρίως στη βελτίωση των συνθηκών οδήγησης αλλά ταυτόχρονα βελτιώνει και τον χρόνο που περνάει κάποιος σε ένα όχημα ως επιβάτης. Για το λόγο αυτό, οι εφαρμογές που αναπτύχθηκαν είναι αμέτρητες και κυμαίνονται από την ασφάλεια έως και την άνεση των επιβατών μέσω ψυχαγωγίας και λαμβανόμενων υπηρεσιών. Το σύνολο αυτών των εφαρμογών αποτελεί αντικείμενο ενδιαφέροντος των κοινά λεγόμενων Ευφυών Συστημάτων Μεταφορών (Intelligent Transport Systems, ITS).

Η ιδέα της εισαγωγής νοημοσύνης ενός ορισμένου επιπέδου στα οχήματα, υλοποιείται με τον εξοπλισμό τους, με Αισθητήρες (Sensors), Ενεργοποιητές (Actuators) και Επεξεργαστές (Processors). Σε αυτό το επίπεδο, η νοημοσύνη του οχήματος θεωρείται τοπική, καθώς αφορά μόνο την εποπτεία του οχήματος και του γύρω περιβάλλοντός του. Τα δίκτυα περιλαμβάνουν δύο κατηγορίες εφαρμογών: τις εφαρμογές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από ένα σύστημα ITS και εκείνες που σχετίζονται με την άνεση ή την προειδοποίηση για ενδεχόμενο κίνδυνο του οδηγού και των επιβατών.

Πέρα από την χρήση νοημοσύνης στα οχήματα, τα συστήματα VANET μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στις υποδομές του οδικού δικτύου όπως για παράδειγμα τα συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας. Τα συμβατικά συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας βασίζονται σε μια κεντρική υποδομή όπου κάμερες και αισθητήρες, που είναι εγκατεστημένα σε διάφορα σημεία του οδικού δικτύου, συλλέγουν πληροφορίες σχετικά με τις κυκλοφοριακές συνθήκες. Αυτές οι πληροφορίες μεταδίδονται σε μια κεντρική μονάδα για επεξεργασία και λήψη των εκάστοτε καταλληλότερων αποφάσεων. Τέτοια συστήματα παρουσιάζουν σχετικά μεγάλο κόστος ανάπτυξης και χαρακτηρίζονται από έναν χρόνο αντίδρασης της τάξης του ενός λεπτού όσον αφορά την επεξεργασία και τη μεταφορά πληροφοριών. Σε ένα πλαίσιο όπου ο χρόνος μετάδοσης των πληροφοριών είναι μεγάλης και ζωτικής σημασίας, αυτή η καθυστέρηση είναι απαράδεκτη [1].

Επιπλέον, ο εξοπλισμός που έχει εγκατασταθεί στο οδικό δίκτυο απαιτεί περιοδική και δαπανηρή συντήρηση. Ως εκ τούτου, προκειμένου να αναπτυχθεί ένα σύστημα μεγάλης κλίμακας, απαιτείται μια

σημαντική επένδυση για την υποδομή επικοινωνίας και τους αισθητήρες. Ωστόσο, με την ταχεία ανάπτυξη των συστημάτων παρακολούθησης τεχνολογιών ασύρματης επικοινωνίας και της συλλογής πληροφοριών από τους αισθητήρες, τα τελευταία χρόνια αναπτύχθηκε μια νέα αποκεντρωμένη (ή ημι-κεντρικοποιημένη) αρχιτεκτονική που βασίζεται στις επικοινωνίες μεταξύ των οχημάτων (Vehicle-to-Vehicle, V2V), η οποία κέντρισε το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας, των αυτοκινητοβιομηχανιών και των φορέων εκμετάλλευσης τηλεπικοινωνιών. Αυτός ο τύπος αρχιτεκτονικής βασίζεται σε ένα διανεμημένο, αυτόνομο σύστημα και διαμορφώνεται από τα ίδια τα οχήματα χωρίς τη βοήθεια μίας σταθερής υποδομής που να μεταδίδει δεδομένα και μηνύματα.

2.2 Χαρακτηριστικά των δικτύων VANET

Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός δικτύου VANET είναι τα εξής [18]:

- **Δυναμική τοπολογία:** Η ταχύτητα και η κατεύθυνση των οχημάτων αλλάζουν διαρκώς, οδηγώντας έτσι σε υψηλή δυναμική τοπολογία.
- **Διαλείπουσα συνδεσιμότητα:** Η συνδεσιμότητα των οχημάτων αλλάζει πολύ συχνά, όπως η σύνδεση μεταξύ δύο συσκευών ανταλλαγής πληροφοριών, που μπορεί να αποσυνδεθεί ανά πάσα στιγμή. Η ύπαρξη συνεχών αποσυνδέσεων οφείλεται στην υψηλή δυναμική τοπολογία.
- **Χαρακτηριστικά κινητικότητας:** Ένα μεγάλο τμήμα των οχημάτων ακολουθεί ένα συγκεκριμένο μοτίβο κινητικότητας το οποίο γενικά αποτελεί συνάρτηση των σημάτων οδικής κυκλοφορίας, των ορίων ταχύτητας, των αυτοκινητοδρόμων, των οδικών συνθηκών κλπ. Η σωστή κατανόηση αυτού του μοτίβου μπορεί να βοηθήσει στο σωστό σχεδιασμό των πρωτοκόλλων δρομολόγησης.
- **Απεριόριστη ισχύς και αποθήκευση:** Υποτίθεται ότι οι κόμβοι των δικτύων VANET έχουν τη δυνατότητα απεριόριστης ισχύος και χωρητικότητας αποθήκευσης. Επομένως, είναι ελεύθεροι να ανταλλάσσουν δεδομένα χωρίς περιορισμούς κατανάλωσης ενέργειας ή χώρων αποθήκευσης.
- **Αισθητήρες επί του οχήματος:** Η φιλοσοφία των δικτύων VANET βασίζεται στον εξοπλισμό των οχημάτων με αισθητήρες, οι οποίοι είναι ικανοί να μεταδίδουν πληροφορίες σε άλλες συσκευές ή κόμβους.

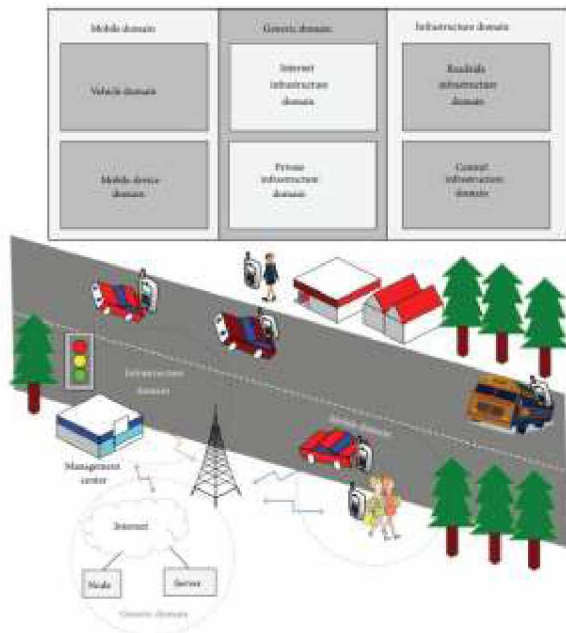
Τα δίκτυα VANET αποτελούν επίσης ένα πολύ σημαντικό κομμάτι των συστημάτων ITS, καθώς οι πληροφορίες του συστήματος προκύπτουν από τα δεδομένα που ανταλλάσσονται μεταξύ των οχημάτων και του υπόλοιπου εξοπλισμού που περιλαμβάνει ένα δίκτυο VANET.

2.3 Αρχιτεκτονική δικτύων VANET

Στόχος των δικτύων VANET είναι η παροχή επικοινωνίας μεταξύ γειτονικών οχημάτων. Σύμφωνα με τις οδηγίες των IEEE 1471-2000 [18] και ISO/IEC 42010 [18], οι οντότητες ενός δικτύου VANET μπορούν να χωριστούν σε τρεις Τομείς (Domains) (Εικ. 6) [18, 19]:

- **Τομέας Κινητικότητας (Mobile Domain):** Ο τομέας αυτός αποτελείται από δύο μέρη, τον Τομέα των Οχημάτων (Vehicle Domain) που περιλαμβάνει όλα τα συνεχώς κινούμενα οχήματα, όπως λεωφορεία, αυτοκίνητα, φορτηγά κλπ. και τον Τομέα Φορητών Συσκευών (Mobile Device Domain), ο οποίος περιλαμβάνει όλες τις φορητές συσκευές, όπως PDA, laptop, GPS, smartphone, κ.λ.π.
- **Τομέας Υποδομής (Infrastructure Domain):** Και αυτός ο τομέας αποτελείται από δύο μέρη, τον Τομέα των Οδικών Υποδομών (Roadside Infrastructure Domain) που περιλαμβάνει τον σταθερό οδικό εξοπλισμό, όπως φανάρια, σήματα σηματοδότησης, κλπ. και τον Κεντρικό Τομέα Υποδομής (Central Infrastructure Domain) που περιλαμβάνει όλα τα κέντρα διαχείρισης, όπως το κέντρο διαχείρισης οχημάτων, το κέντρο διαχείρισης της κυκλοφορίας κλπ.
- **Γενικός Τομέας (Generic Domain):** Περιλαμβάνει τον Τομέα Υποδομής του Διαδικτύου (Internet Infrastructure Domain) και τον Τομέα Ιδιωτικής Υποδομής (Private Infrastructure Domain), όπως για

παράδειγμα, διάφορους κόμβους, διακομιστές και άλλους υπολογιστικούς πόρους που εργάζονται άμεσα ή έμμεσα για ένα δίκτυο VANET.



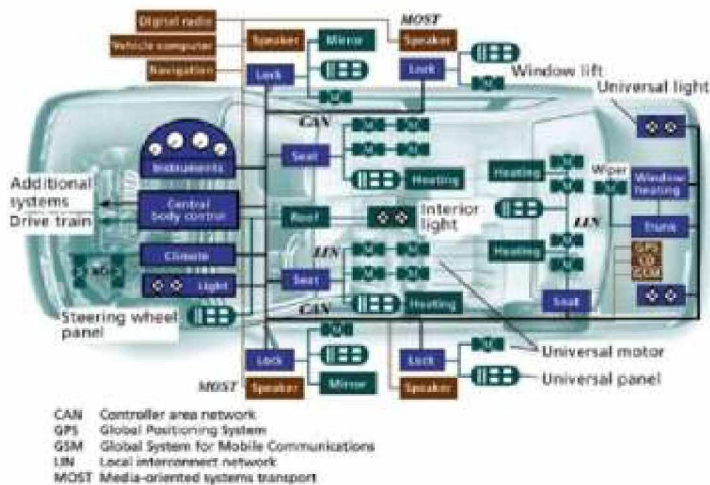
ΕΙΚΟΝΑ 6: Τομείς δικτύου VANET [19]

Σε αυτή την αρχιτεκτονική δομή, ο Τομέας Κινητικότητας ανταλλάσσει πληροφορίες και επικοινωνεί με τον Τομέα Υποδομής που επεξεργάζεται τα δεδομένα. Στη συνέχεια, ο Τομέας Υποδομής με τη σειρά του επικοινωνεί με τον Γενικό Τομέα με τον οποίο και ανταλλάσσει πληροφορίες. Αποτέλεσμα της ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ των σταθερών και των κινητών τομέων του δικτύου VANET είναι η συνεχής «γνώση» της κατάστασης του οδικού δικτύου κάτι που συνεπάγεται αποδοτικότερη και αποτελεσματικότερη χρήση του (τόσο σε τομείς διάρκειας ταξιδιού όσο και σε τομείς ασφάλειας).

Μια άλλη μορφή αρχιτεκτονικής VANET είναι η Αρχιτεκτονική Επικοινωνίας (Communication Architecture) που επικεντρώνει στους τύπους επικοινωνίας που μπορεί να συνυπάρξουν σε ένα VANET. Οι τύποι αυτοί μπορούν να χωριστούν σε 4 κατηγορίες, που περιγράφονται στις επόμενες υποενότητες. Όλοι αυτοί οι τύποι επικοινωνίας (με εξαίρεση τον πρώτο) έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό: η ανταλλαγή των πληροφοριών ξεκινάει τη στιγμή που το όχημα βρίσκεται εντός του δικτύου VANET και μπορεί να λειτουργεί ως κόμβος και να αξιοποιηθεί από το δίκτυο για όσο χρόνο παραμένει εντός του.

2.3.1 Επικοινωνία εντός του Οχήματος

Η Επικοινωνία εντός του Οχήματος (In-vehicle Communication) ανιχνεύει τα δεδομένα του συστήματος ή τις επιδόσεις του οχήματος και υπολογίζει παράγοντες, όπως η εξάντληση του οδηγού ή η υπνηλία κλπ. Ο προσδιορισμός τέτοιων παραγόντων και η επέκτασή τους είναι ζωτικής σημασίας για τη δημόσια ασφάλεια καθώς και για την ασφάλεια των οδηγών [19]. Αυτός ο τρόπος επικοινωνίας ουσιαστικά αρχίζει τη στιγμή που ο οδηγός βάζει το κλειδί στη μίζα και τερματίζεται όταν σβήσει η μηχανή. Τα δεδομένα που ανταλλάσσονται χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σε τοπικό επίπεδο, από την ηλεκτρονικό εγκέφαλο του οχήματος, αλλά μπορεί να αποσταλούν και σε γειτονικά οχήματα ως δεδομένα προειδοποίησης αν κάτι στο όχημα δεν πάει καλά.



ΕΙΚΟΝΑ 7: Επικοινωνία εντός του οχήματος [1]

2.3.2 Επικοινωνία V2V

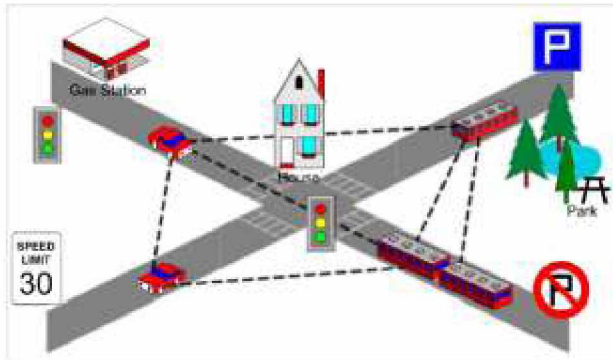
Η Επικοινωνία μεταξύ Οχημάτων (Vehicle-to-Vehicle, V2V) αφορά την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των διαφόρων οχημάτων με σκοπό την πληροφόρηση του οδηγού σχετικά με προειδοποιήσεις και άλλες κρίσιμες πληροφορίες [18]. Κατά την επικοινωνία V2V, τα δίκτυα οχημάτων θεωρούνται ως ειδική περίπτωση των δικτύων MANET όπου οι περιορισμοί της ενέργειας και η χωρητικότητα μνήμης είναι πιο χαλαροί και όπου το μοντέλο κινητικότητας δεν είναι τυχαίο αλλά προβλέψιμο (μεγάλη κινητικότητα). Αυτή η αρχιτεκτονική μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις διάδοσης προειδοποιήσεων (πέδηση έκτακτης ανάγκης, σύγκρουση, επιβράδυνση κ.λπ.) ή σε διαδραστική συμπεριφορά.

Στην περίπτωση της επικοινωνίας V2V, δεν χρησιμοποιείται υποδομή, δεν απαιτείται καμία εγκατάσταση στο οδικό δίκτυο και όλα τα οχήματα περιλαμβάνουν εξοπλισμό για απευθείας μεταξύ τους επικοινωνία, ανεξαρτήτως οδικού δικτύου (αυτοκινητόδρομους, επαρχιακές οδούς ή αστικούς δρόμους), ο οποίος μπορεί να παρέχει μια λιγότερο δαπανηρή και πιο ευέλικτη επικοινωνία. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένα αμιγώς αδόμητο δίκτυο. Σε αυτού του είδους την αρχιτεκτονική, τα οχήματα κινούνται ελεύθερα στο οδικό δίκτυο και αυτή η υψηλή κινητικότητα των οχημάτων δημιουργεί συνεχείς μεταβολές στην τοπολογία του δικτύου, γεγονός που τελικά έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση κενών στο δίκτυο. Αυτός είναι άλλωστε και ο λόγος που η δρομολόγηση των δεδομένων στα αμιγώς αδόμητα δίκτυα αποτελεί πραγματική πρόκληση.

Μεγάλο πλεονέκτημα των αμιγώς αδόμετων δικτύων είναι η εξάλειψη του κόστους ανάπτυξης σταθμών βάσης [20]. Όμως ο τρόπος επικοινωνίας V2V παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα, όπως [1]:

- Ο χρόνος που απαιτείται για την επικοινωνία είναι μεγάλος λόγω της χρήσης της τεχνολογίας πολλαπλών αλμάτων.
- Συχνές αποσυνδέσεις λόγω της κινητικότητας των οχημάτων.
- Η ασφάλεια του δικτύου είναι πολύ περιορισμένη.

Στην εικόνα 8 απεικονίζεται ένα αμιγώς αδόμητο δίκτυο, στο οποίο η επικοινωνία είναι V2V.



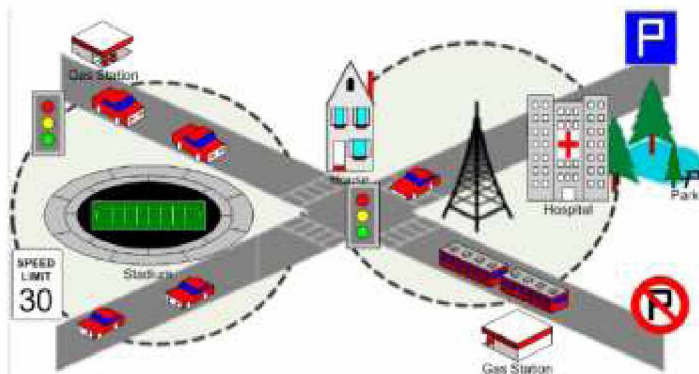
EIKONA 8: Αμιγώς αδόμητο δίκτυο επικοινωνίας V2V [20]

2.3.3 Επικοινωνία V2I

Η επικοινωνία μεταξύ Οχημάτων και Υποδομής Οδικού Δικτύου (Vehicle-to-Infrastructure, V2I) αφορά τη συλλογή δεδομένων με σκοπό την παροχή σχετικών ενημερώσεων, όσον αφορά τις συνθήκες που επικρατούν σε τοπικό επίπεδο [18]. Στην περίπτωση αυτή αναπτύσσεται ένα αμιγώς κυψελοειδές ασύρματο δίκτυο (Εικ. 9). Τα οχήματα μπορούν να έχουν πρόσβαση στο Διαδίκτυο μέσω κυψελοειδών πυλών και σημείων AP του ασύρματου τοπικού δικτύου.

Αυτή η προσέγγιση βασίζεται στο μοντέλο πελάτη/διακομιστή όπου τα οχήματα παίζουν το ρόλο των πελατών, ενώ οι σταθμοί που είναι εγκατεστημένοι κατά μήκος του οδικού δικτύου είναι οι διακομιστές. Αυτοί οι διακομιστές συνδέονται μεταξύ τους μέσω ενσύρματης ή ασύρματης διασύνδεσης. Όλη η επικοινωνία πρέπει να περάσει από αυτούς [1]. Οι παρεχόμενες υπηρεσίες της επικοινωνίας V2I αφορά πληροφορίες σχετικά με τις κυκλοφοριακές συνθήκες της περιοχής που βρίσκονται, σύνδεση με το Διαδίκτυο, δυνατότητα επικοινωνίας του οχήματος με την οικία του οδηγού, όπως επίσης και επικοινωνίας του οχήματος με το συνεργείο για απομακρυσμένη διάγνωση. Επίσης, ένα τέτοιου είδους δίκτυο παρέχει στα οχήματα υπηρεσίες infotainment, όπως λήψη δεδομένων, τελευταία νέα, πληροφορίες χώρων στάθμευσης και διαφημίσεις.

Το κύριο μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι η εγκατάσταση των σταθμών βάσης και των ασύρματων σημείων AP κατά μήκος των οδικών αρτηριών είναι δαπανηρή και χρονοβόρα και το κόστος συντήρησης των σταθμών αυτών εξαιρετικά υψηλό [20].

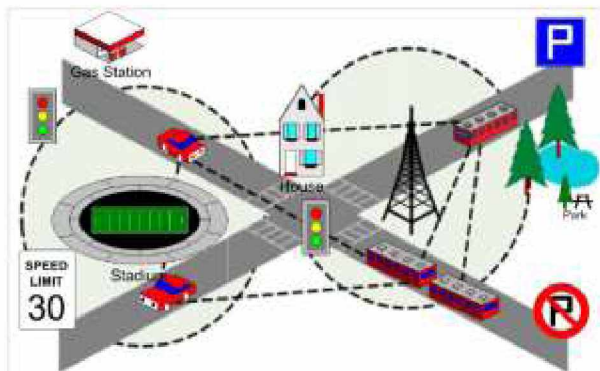


EIKONA 9: Αμιγώς κυψελοειδές ασύρματο τοπικό δίκτυο επικοινωνίας V2I [20]

2.3.4 Υβριδική επικοινωνία

Ο συνδυασμός των δύο τύπων αρχιτεκτονικής επικοινωνίας V2V και V2I δημιουργεί μια ενδιαφέρουσα υβριδική αρχιτεκτονική. Στην περίπτωση του υβριδικού τρόπου επικοινωνίας, η απαιτούμενη υποδομή είναι περιορισμένη και η χρήση των οχημάτων ως αναμεταδότες δεδομένων επεκτείνει την εμβέλεια κάλυψης του δικτύου (Εικ. 10). Παρόλα αυτά, οι επικοινωνίες μεταξύ των οχημάτων αντιμετωπίζουν προβλήματα δρομολόγησης λόγω της μετάδοσης σε μεγάλες αποστάσεις. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η πρόσβαση στην υποδομή μπορεί να βελτιώσει την απόδοση του δικτύου. Για την αποφυγή ύπαρξης μεγάλου αριθμού σταθμών βάσης, η χρήση των οχημάτων ως ενδιάμεσοι κόμβοι αποτελεί σημαντικό στοιχείο που καθορίζει την απόδοση του δικτύου.

Μια ειδική περίπτωση υβριδικής αρχιτεκτονικής είναι το Δίκτυο Αισθητήρων Οχημάτων (Vehicular Sensor Network, VSN) [1]. Πράγματι, αυτός ο τύπος δικτύου αναδύεται ως νέα αρχιτεκτονική δικτύου οχημάτων, στην οποία τα οχήματα περιέχουν μεγαλύτερο αριθμό αισθητήρων όλων των κατηγοριών (κάμερες, αισθητήρες ρύπανσης, αισθητήρες βροχής, αισθητήρες κατάστασης ελαστικών, αισθητήρες συστήματος ηλεκτρονικού συστήματος ευστάθειας ESP, αισθητήρες συστήματος αντιμπλοκαρίσματος φρένων ABS, δορυφορική γεωγραφική θέση κ.λπ.). Οι πληροφορίες που παρέχονται από αυτό τον εξοπλισμό μπορεί να είναι χρήσιμες για τη λήψη δεδομένων σχετικά με τις κυκλοφοριακές συνθήκες (συμφόρηση, καθυστερήσεις, μέση ταχύτητα κυκλοφορίας κ.λπ.), τους διαθέσιμους χώρους στάθμευσης, γενικότερες πληροφορίες, όπως η μέση κατανάλωση καυσίμου και ο ρυθμός ρύπανσης, καθώς και εφαρμογές παρακολούθησης (μέσω των καμερών των οχημάτων).



ΕΙΚΟΝΑ 10: Υβριδική αρχιτεκτονική με υβριδική επικοινωνία [20]

2.4 Εφαρμογές δικτύων VANET

Τα δίκτυα VANET μπορούν να βρουν πολλές εφαρμογές στην σύγχρονη αυτοκίνηση. Οι σημαντικότερες από τις εφαρμογές τους εστιάζουν στους παρακάτω τομείς [7, 97, 98]:

- **Συστήματα Διαχείρισης Κυκλοφορίας:** Διαμέσου των δικτύων VANET ο οδηγός μπορεί να ενημερωθεί αυτόματα για τα επερχόμενα φώτα τροχαίας, την ένδειξή τους και μάλιστα θα μπορούσε να ξεκινήσει αυτόματα το φρενάρισμα αν είναι απαιτούμενο. Ταυτόχρονα μπορούν να ενημερωθούν τα γειτονικά οχήματα ότι το όχημα άρχισε να φρενάρει. Ο οδηγός με την χρήση εφαρμογών δικτύου VANET μπορεί να ενημερωθεί για την κίνηση που επικρατεί στον δρόμο σε πραγματικό χρόνο ώστε να επιλέξει εναλλακτικές διαδρομές. Επιπλέον ένα όχημα το οποίο έχει εμπλακεί σε ατύχημα μπορεί να ενημερώσει αμέσως όλα τα γειτονικά οχήματα ώστε να μεταβάλουν την διαδρομή τους ή να φρενάρουν ώστε να αποφύγουν την σύγκρουση μαζί του. Τέλος μπορεί να ενημερωθεί για ύπαρξη

διοδίων και μάλιστα διαμέσου του δικτύου VANET να πληρωθούν αυτόματα από τον τραπεζικό του λογαριασμό χωρίς να χρειαστεί να σταματήσει το όχημα.

- **Συστήματα Υποβοήθησης Οδηγού:** Εφαρμογές οι οποίες υποβοηθούν τον οδηγό να αντιληφθεί δεδομένα τα οποία ο ίδιος δεν έχει δει κατά την οδήγηση μπορούν να έχουν πρόσβαση διαμέσου των δικτύων VANET είτε σε δεδομένα από άλλα οχήματα είτε σε δεδομένα του δικτύου υποδομής. Έτσι ο οδηγός μπορεί να πληροφορείται στοιχεία, η ολισθηρότητα, η ύπαρξη επικίνδυνων αντικειμένων στον δρόμο που πρέπει να αποφευχθούν. Ακόμη μπορεί να ενημερώνεται για την απόσταση στην οποία θα αλλάξει κατεύθυνση, για την μορφή του οδικού άξονα στην πορεία και αν απαιτείται να επιλέξει συγκεκριμένη λωρίδα. Μπορεί να ενημερωθεί για αλλαγές στους κανόνες κίνησης όπως για παράδειγμα απαγορεύσεις προσπέρασης ή μεταβολές στα όρια ταχύτητας.
- **Ενίσχυση Όρασης:** Η μεταφορά πληροφοριών διαμέσου των δικτύων VANET από γειτονικά οχήματα ή από το δίκτυο υποδομής αυξάνει την «όραση» του οδηγού σε συνθήκες περιορισμένης όρασης όπως η οδήγηση υπό ομίχλη ή η ύπαρξη οχημάτων πίσω από φυσικά εμπόδια όπως τα κτίρια και τα οχήματα μεγάλου όγκου. Επί της ουσίας βελτιώνει την αντίληψη του οδηγού.
- **Εφαρμογές Ασφάλειας:** Τα πλεονεκτήματα αυτής της κατηγορίας εφαρμογών ενισχύουν την ασφάλεια των ταξιδιωτών μέσω της ανταλλαγής δεδομένων με την υποδομή του οδικού δικτύου που αφορούν την ασφάλεια (επικοινωνία V2I). Οι πληροφορίες δίνονται απευθείας στον οδηγό είτε χρησιμοποιούνται για την εκκίνηση ενός ενεργοποιητή που σχετίζεται με το δυναμικό σύστημα ασφαλείας του οχήματος. Την ίδια στιγμή, η ανταλλαγή δεδομένων με άλλα οχήματα (επικοινωνία V2V) επιτρέπει την άμεση ενημέρωση για θέματα όπως η κατάσταση του οδοστρώματος, η άμεση ενημέρωση για ύπαρξη ατυχήματος ή η επιλογή της διατήρησης μιας συγκεκριμένης λωρίδας ώστε να αποφευχθεί η μεταξύ τους σύγκρουση. Και σε αυτή την περίπτωση οι πληροφορίες μπορούν να δοθούν στον οδηγό ή κατευθείαν να μεταφερθούν στα ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου του οχήματος.
- **Συστήματα Αυτόματης Στάθμευσης:** Τα δίκτυα VANET χρησιμοποιούνται ως μέρος των συστημάτων αυτόματης στάθμευσης των οχημάτων χωρίς την παρεμβολή του οδηγού. Λαμβάνοντας το σύστημα αυτόματης στάθμευσης δεδομένα από μετρητές που βρίσκονται τόσο στο όχημα όσο και στην υποδομή του δικτύου σταθμεύει το όχημα χωρίς σύγκρουση και χωρίς την παρεμβολή του οδηγού.
- **Εφαρμογές άνεσης και διασκέδασης:** Οι εφαρμογές αυτές ενισχύουν την άνεση ταξιδιού και αφορούν κυρίως τους επιβάτες ενός οχήματος και λιγότερο τους οδηγούς. Μερικά παραδείγματα εφαρμογών άνεσης είναι η εφαρμογή κλιματικών συνθηκών του οχήματος, η εφαρμογή παροχής πληροφοριών (τοποθεσία, τιμές, κλπ.) ευρέσεως κοντινότερου βενζινάδικου ή σταθμού ανάπαυσης και εφαρμογές συνδέσεων διασκέδασης (π.χ. Διαδίκτυο και λήψη τραγουδιών). Ταυτόχρονα τα δίκτυα VANET επιτρέπουν σε άτομα μεταξύ γειτονικών οχημάτων να επικοινωνούν μεταξύ τους, ακόμη και να παίζουν παιχνίδια κατά την διάρκεια του ταξιδιού κάνοντας τα μεγάλης διάρκειας ταξίδια πιο ευχάριστα για τους επιβάτες.

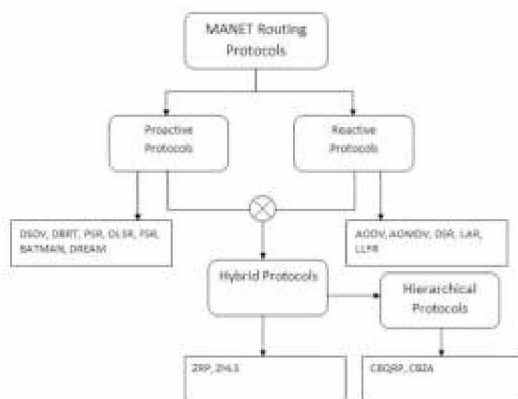
3 Πρωτόκολλα δρομολόγησης δικτύων MANET

3.1 Ταξινόμηση βασικών πρωτοκόλλων

Ως Δρομολόγηση (Routing) ονομάζεται η διαδρομή που ακολουθούν τα πακέτα δεδομένων από τον κόμβο προέλευσης (πηγή) προς τον κόμβο προορισμού (τελικός προορισμός). Το χαρακτηριστικό της σχεδόν συνεχόμενης μεταβολής της τοπολογίας των αδόμητων δικτύων, δημιουργεί προβλήματα στη δρομολόγηση αυτή. Επομένως, βασικός σκοπός των πρωτοκόλλων δρομολόγησης είναι ο έλεγχος της ροής των πληροφοριών που αφορούν την εκάστοτε τοπολογία των δικτύων και η επιλογή της αποτελεσματικότερης δρομολόγησης των πακέτων, ώστε να φτάσουν στον τελικό προορισμό τους χωρίς προβλήματα. Για το σκοπό αυτό, τα πρωτόκολλα δρομολόγησης ορίζουν ένα σύνολο κανόνων που διέπουν τη στρατηγική μεταφοράς των πακέτων δεδομένων από την πηγή στον τελικό προορισμό σε ένα δίκτυο [21].

Σε γενικές γραμμές, τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα MANET μπορούν να ταξινομηθούν με βάση την στρατηγική σχεδιασμού τους. Με βάση αυτή τη φιλοσοφία ταξινόμησης, τα Πρωτόκολλα Δρομολόγησης των δικτύων MANET (MANET Routing Protocols) μπορούν να χωριστούν στις εξής κατηγορίες (Εικ. 11) [22]:

- **Προνοητικά Πρωτόκολλα Αρομολόγησης (Proactive Routing Protocols):** Τα προνοητικά πρωτόκολλα δρομολόγησης ήταν η πρώτη κατηγορία πρωτοκόλλων που σχεδιάστηκε για χρήση στα δίκτυα MANET και χρησιμοποιούνται για τη διατήρηση της διαδρομής προς κάθε εφικτό προορισμό.
- **Πρωτόκολλα Αρομολόγησης Αντίδρασης ή Κατ' Απαίτηση (Reactive Routing Protocols):** Σχεδιάστηκαν μετά τα προνοητικά πρωτόκολλα, με σκοπό την απλοποίηση των διαδικασιών δρομολόγησης και δημιουργούν μια διαδρομή μόνο Κατ' Απαίτηση (On Demand), δηλαδή κατόπιν αιτήματος.
- **Υβριδικά Πρωτόκολλα Αρομολόγησης (Hybrid Routing Protocols):** Συνδυάζουν τα δύο προαναφερθέντα είδη πρωτοκόλλων δρομολόγησης με σκοπό την επιτάχυνση της δημιουργίας διαδρομών σε μεγάλα δίκτυα.
- **Ιεραρχικά Πρωτόκολλα Αρομολόγησης (Hierarchical Routing Protocols):** Έχουν την ίδια φιλοσοφία λειτουργίας με τα υβριδικά πρωτόκολλα, με μόνη διαφορά ότι οργανώνουν το δίκτυο σε ομάδες, επιλέγοντας μόνο συγκεκριμένους κόμβους για τη διαχείριση των λειτουργιών του δικτύου.



ΕΙΚΟΝΑ 11: Ταξινόμηση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης των δικτύων MANET [22]

3.2 Προνοητικά πρωτόκολλα δρομολόγησης

Στα Προνοητικά Πρωτόκολλα Δρομολόγησης (Proactive Routing Protocols), κάθε κόμβος διατηρεί συνεχώς ενημερωμένους πίνακες δρομολόγησης με πλήρη στοιχεία δρομολόγησης του δικτύου, τους οποίους και στέλνει περιοδικά προς το υπόλοιπο δίκτυο. Για το λόγο αυτό, τα προνοητικά πρωτόκολλα δρομολόγησης είναι επίσης γνωστά και ως πρωτόκολλα δρομολόγησης βάσει του πίνακα δρομολόγησης. Οι πίνακες δρομολόγησης μεταβάλλονται περιοδικά με πληροφορίες που αφορούν την τρέχουσα κατάσταση των δεδομένων. Τα συνήθη πρωτόκολλα δρομολόγησης, για να ανακτήσουν την συντομότερη διαδρομή προς τον τελικό προορισμό, χρησιμοποιούν αλγόριθμους Διανυσμάτων Απόστασης (Distance Vector, DV) ή Κατάστασης Ζεύξης (Link State, LS), οι οποίοι όμως δεν είναι κατάλληλοι για περιβάλλοντα κινητών δικτύων.

Το πρωτόκολλο δρομολόγησης **DSDV** (Destination Sequenced Distance Vector) σχεδιάστηκε με σκοπό την εξάλειψη των προβλημάτων Μέτρησης στο Άπειρο (Count to Infinity) και Βρόγχου Δρομολόγησης (Routing Loop) που παρουσιάζει το πρωτόκολλο DV, προτιμώντας τις νεότερες σε σχέση με τις συντομότερες διαδρομές [23]. Για να γίνει κάτι τέτοιο, οι διαδρομές ανακοινώνονται μέσω μηνυμάτων, αφού επισημανθούν με έναν αριθμό ακολουθίας προορισμού. Στη συνέχεια, επιλέγεται η διαδρομή με τον υψηλότερο αριθμό ακολουθίας, αντί αυτής με το μικρότερο αριθμό αλμάτων (συντομότερης). Στην περίπτωση ανίχνευσης κάποιας σημαντικής μεταβολής στην τοπολογία του δικτύου, γίνεται άμεση αποστολή μηνυμάτων που αφορούν τις νέες διαδρομές. Μη σημαντικές μεταβολές της τοπολογίας δεν τροποποιούν τις διαδρομές έτσι δεν υπάρχει αποστολή μηνυμάτων. Το πρωτόκολλο **DBRT** (Driven Backup Routing Table) σχεδιάστηκε με σκοπό τη διατήρηση εναλλακτικών διαδρομών σε ένα πίνακα που χρησιμοποιείται ως αντίγραφο ασφαλείας [22]. Επί της ουσίας στο πρωτόκολλο αυτό δημιουργείται ένας πίνακας ο οποίος εκτός από την διαδρομή δρομολόγησης εμπεριέχει και τις εναλλακτικές διαδρομές έτσι σε περίπτωση αστοχίας δρομολόγησης μπορεί να χρησιμοποιήσει κάποια από τις εναλλακτικές διαδρομές. Με αυτό τον τρόπο οι πιθανότητες αστοχίας της δρομολόγησης μειώνονται. Ενώ οι δοκιμές αυτού του πρωτοκόλλου έδειξαν μια σαφή βελτίωση στη δρομολόγηση σε σχέση με το πρωτόκολλο DSDV, η διατήρηση πρόσθετων διαδρομών για κάθε προορισμό αυξάνει την πολυπλοκότητα, όσον αφορά την επεξεργασία, ειδικά σε ένα μεγάλο/πυκνό δίκτυο. Το πρωτόκολλο **PSR** (Proactive Source Routing) σχεδιάστηκε ώστε να μειωθεί ο αριθμός των μηνυμάτων ενημέρωσης και καθυστερεί την εκπομπή των μηνυμάτων δρομολόγησης σε περίπτωση νέων ενημερώσεων, έτσι ώστε όλες οι ενημερώσεις να συγχωνευθούν σε ένα μήνυμα [24]. Επιπλέον, το πρωτόκολλο PSR σχεδιάστηκε για τη διάρθρωση των πληροφοριών δρομολόγησης με τρόπο που να περιορίζει τις αλλαγές στην τοπολογία των κόμβων και επομένως να περιορίζεται το μέγεθος των μηνυμάτων ενημέρωσης.

Το **OLSR** (Optimized Link State Routing), βασισμένο στον αλγόριθμο LS, είναι ένα προνοητικό πρωτόκολλο που δημιουργεί διαδρομές οι οποίες σχηματίζονται από ζεύξεις με ορισμένους γειτονικούς κόμβους [25]. Σύμφωνα με αυτό το πρωτόκολλο, κάθε κόμβος του δικτύου αποστέλλει μηνύματα δρομολόγησης και δεδομένων μόνο σε κάποιους από τους γειτονικούς του κόμβους, που ονομάζονται MPR (Multi-Point Relays). Στην ιδανική περίπτωση, οι κόμβοι MPR αποτελούν το ελάχιστο σύνολο γειτόνων, που συνδέει έναν κόμβο με όλους του τους γείτονες σε ακτίνα δύο αλμάτων. Έτσι, οι περιττοί γείτονες αποκλείονται από τη λίστα των κόμβων MPR και επομένως μειώνεται ο αριθμός των ζεύξεων που μπορεί να αποτελέσουν πιθανές διαδρομές. Το πρωτόκολλο δρομολόγησης **FSR** (Fisheye State Routing), βασισμένο στον αλγόριθμο Fisheye, σχεδιάστηκε με σκοπό την μείωση του Έμμεσου Κόστους Δρομολόγησης (Routing Overhead) [26]. Ουσιαστικά, αυτό το πρωτόκολλο εκπέμπει τις διαδρομές που οδηγούν σε απομακρυσμένους προορισμούς, λιγότερο συχνά από εκείνους που οδηγούν στους πιο κοντινούς. Συνεπώς, αυτός ο αλγόριθμος μειώνει το Έμμεσο Κόστος Δρομολόγησης (Routing Overhead) κυρίως σε μεγάλα δίκτυα. Το πρωτόκολλο **BATMAN** (Better Approach To Mobile Ad-hoc Networking) δεν ασχολείται με μείωση του Έμμεσου Κόστους Δρομολόγησης (Routing Overhead), αλλά δημιουργεί διαδρομές από ζεύξεις υψηλής ποιότητας [27]. Ο υπολογισμός της ποιότητας της διαδρομής, γίνεται μέσω μηνυμάτων OGM (Originator Messages), τα οποία είναι μηνύματα ελέγχου και αποστέλλονται τακτικά από τους κόμβους, είτε απευθείας είτε μέσω

αναμετάδοσης. Η τελική επιλογή της διαδρομής προς τον τελικό προορισμό γίνεται με βάση τον μεγαλύτερο αριθμό μηνυμάτων OGM. Αν και αυτή η προσέγγιση αυξάνει σε τελική ανάλυση το Έμμεσο Κόστος Δρομολόγησης (Routing Overhead), επίσης έχει σαν αποτέλεσμα να δημιουργούνται διαδρομές υψηλής ποιότητας.

Το πρωτόκολλο **DREAM** (Distance Routing Effect Algorithm for Mobility) είναι παρόμοιο του FSR αλλά περιλαμβάνει επιπρόσθετες μεθόδους βελτίωσης της απόδοσης δρομολόγησης [28]. Σε αντίθεση με τα προηγούμενα πρωτόκολλα, το DREAM στα πακέτα ελέγχου περιλαμβάνει τις γεωγραφικές συντεταγμένες των κόμβων και όχι τον αριθμό των αλμάτων. Κατά πρώτον, το πρωτόκολλο εκπέμπει τις διαδρομές που οδηγούν σε απομακρυσμένους προορισμούς, λιγότερο συχνά από εκείνους που οδηγούν στους πιο κοντινούς και κατά δεύτερον, η συχνότητα εκπομπής των μηνυμάτων δρομολόγησης εξαρτάται από την κατάσταση κινητικότητας του κόμβου. Με τον τρόπο αυτό, οι κόμβοι που κινούνται αργά παράγουν λιγότερα πακέτα δρομολόγησης από αυτούς που κινούνται γρήγορα. Επίσης, για να διατηρηθεί μια διαδρομή μετάδοσης και να διευκολυνθεί η ανάκτηση διαδρομής, η θέση του προορισμού διαβιβάζεται τακτικά στην πηγή μετάδοσης.

Το **GPSR** (Greedy Perimeter Stateless Routing) είναι επίσης ένα πρωτόκολλο γεωγραφικής μεθόδου που βασίζεται στην Άπληστη Δρομολόγηση (Greedy Routing). Στο πρωτόκολλο αυτό, τα πακέτα που αποστέλλονται στον τελικό προορισμό από την πηγή προωθούνται μέσω ενδιάμεσων κόμβων. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο περιέχει έναν αλγόριθμο δρομολόγησης Χωρίς Κατάσταση (Stateless), μέσω του οποίου κάθε κόμβος μπορεί να λαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τους γείτονές του που έχουν απόσταση ενός άλματος [29].

3.3 Πρωτόκολλα Δρομολόγησης Αντίδρασης ή Κατ' Απαίτηση

Τα Πρωτόκολλα Δρομολόγησης Αντίδρασης (Reactive Routing Protocols) σχεδιάστηκαν με σκοπό την αντιμετώπιση του προβλήματος του Έμμεσου Κόστους Δρομολόγησης (Routing Overhead) που δημιουργείται από τα Προνοητικά Πρωτόκολλα Δρομολόγησης (Proactive Routing Protocols), στην περίπτωση των εξαιρετικά δυναμικών, από άποψη τοπολογίας, δικτύων. Στα Πρωτόκολλα Δρομολόγησης Αντίδρασης (Reactive Routing Protocols) κάθε κόμβος διατηρεί δεδομένα μόνο για τις ενεργές διαδρομές προς τον κόμβο τελικού προορισμού. Για κάθε νέο προορισμό, απαιτείται η πραγματοποίηση σάρωσης διαδρομών, γεγονός που μειώνει το Έμμεσο Κόστος Δρομολόγησης (Routing Overhead) με ταυτόχρονη αύξηση όμως του χρόνου καθυστέρησης, για την αναζήτηση της διαδρομής. Η γρήγορη μεταβολή της τοπολογίας του ασύρματου δικτύου δημιουργεί αλλαγές στις υφιστάμενες ενεργές διαδρομές και επομένως απαιτεί συνεχόμενες σαρώσεις διαδρομών. Τα Πρωτόκολλα Δρομολόγησης Αντίδρασης (Reactive Routing Protocols) είναι επίσης γνωστά και ως Πρωτόκολλα Δρομολόγησης κατ' Απαίτηση (On Demand Routing Protocols), καθώς τα ειδικά πακέτα ελέγχου δρομολόγησης αποστέλλονται μόνο αν κάτι τέτοιο απαιτείται [4].

Το πρωτόκολλο **DSR** (Dynamic Source Routing) είναι ένα Πρωτόκολλο Δρομολόγησης Αντίδρασης (Reactive Routing Protocol) το οποίο χρησιμοποιεί δρομολόγηση πηγής. Αυτό σημαίνει ότι η πηγή γνωρίζει εξ αρχής την διαδρομή προς τον προορισμό την οποία και εισάγει στα πακέτα δρομολόγησης. Αυτό συνεπάγεται ότι όλοι οι ενδιάμεσοι κόμβοι δεν χρειάζεται να συγκρατούν οποιαδήποτε πληροφορία δρομολόγησης καθώς την διαδρομή την φέρει ήδη το πακέτο. Και φυσικά ως ένα πρωτόκολλο αντίδρασης λειτουργεί κατ' απαίτηση οπότε δεν είναι αναγκαία η περιοδική αποστολή μηνυμάτων μεταξύ των κόμβων. Η διαδικασία αποστολής ξεκινάει με την αναζήτηση της διαδρομής μέσω ενός αιτήματος Αναζήτησης Διαδρομής RREQ (Route Request) που πλημμυρίζει το δίκτυο. Το RREQ μεταδίδεται από την πηγή προς όλους τους γειτονικούς κόμβους. Όποιος από αυτούς το λαμβάνει για πρώτη φορά το αποστέλλει στους δικούς του γειτονικούς κόμβους προσθέτοντας και την διεύθυνσή του μέσα. Αυτό γίνεται διαδοχικά μέχρι να φτάσει στον παραλήπτη. Ο παραλήπτης αφού λάβει το RREQ ανταπαντάει με ένα μήνυμα Απάντησης Διαδρομής RREP (Route Reply) στο οποίο καταγράφονται όλοι οι διαδοχικοί κόμβοι που διαμεσολάβησαν ώστε να λάβει το

μήνυμα. Αυτή την διαδρομή αποθηκεύει ο κόμβος πηγής και την εντάσσει στα πακέτα ώστε να την ακολουθήσουν και να φτάσουν στον τελικό προορισμό. Η συντήρηση εν συνεχεία της διαδρομής γίνεται με αναφορές που λαμβάνει κάθε κόμβος ότι το πακέτο που έχει αποσταλεί έχει παραληφθεί από τους γειτονικούς κόμβους της διαδρομής. Σε περίπτωση που διαπιστώνει ότι δεν λαμβάνεται από τους γειτονικούς κόμβους τότε αποστέλλει ένα μήνυμα Λάθους Διαδρομής RERR (Route Error) στον αρχικό κόμβο, στην πηγή, ώστε να επαναζητήσει νέα διαδρομή.

Όπως και σε οποιοδήποτε άλλο Πρωτόκολλο Δρομολόγησης Αντίδρασης (Reactive Routing Protocol), στο **AODV** (Ad-hoc On-demand Distance Vector), ο εντοπισμός της διαδρομής από την πηγή έως τον τελικό προορισμό γίνεται μόνο κατόπιν παροχής αιτήματος [29]. Κατά την επικοινωνία αυτή, η πηγή αποστέλλει μηνύματα RREQ, στα οποία περιέχονται στοιχεία, όπως η διεύθυνση πηγής, η διεύθυνση προορισμού, ο αριθμός ακολουθίας πηγής, ο αριθμός διαδοχής προορισμού, η ταυτότητα επικοινωνίας και ο χρόνος TTL [2]. Κατά την αναζήτηση του προορισμού, οι ενδιάμεσοι κόμβοι εκπέμπουν εκ νέου μηνύματα RREQ, μόνο μία όμως φορά, και απομνημονεύουν την αντίστροφη διαδρομή προς την πηγή. Στη συνέχεια, μόλις βρεθεί ο τελικός προορισμός ή μια διαδρομή προς αυτόν, η πηγή λαμβάνει μήνυμα απάντησης RREP. Βασικά, το πρωτόκολλο AODV αποτελεί μια αναβαθμισμένη συγχώνευση του DSDV και του DSR συνδυάζοντας την χρήση της νεότερης διαδρομής με την εξεύρεση διαδρομής διαμέσου μηνυμάτων [30]. Αν και η φιλοσοφία λειτουργίας των πρωτοκόλλων DSR και AODV είναι η ίδια, αντί για την αποθήκευση της αντίστροφης προς την πηγή διαδρομής στους ενδιάμεσους κόμβους, το DSR, όπως παρουσιάστηκε προηγουμένως, περιλαμβάνει ολόκληρη την καθορισμένη διαδρομή στα μηνύματα RREQ και RREP καθώς και στα πακέτα δεδομένων. Με αυτή τη μέθοδο, οι κόμβοι αποφορτίζονται από την απομνημόνευση των διαδρομών μετάδοσης, αλλά το Έμμεσο Κόστος Δρομολόγησης (Routing Overhead) αυξάνεται εν συγκρίσει με το AODV.

Το **LAR** (Location Aided Routing) είναι ένα Πρωτόκολλο Δρομολόγησης Αντίδρασης (Reactive Routing Protocol) που βασίζεται στη γεωγραφική θέση των κόμβων παρά στον αριθμό των αλμάτων [31]. Το πρωτόκολλο LAR ομοιάζει στη λειτουργία του DSR, ωστόσο, περιορίζει την εύρεση της διαδρομής σε συγκεκριμένες τοπογραφικές περιοχές, μειώνοντας με τον τρόπο αυτό την περιοχή αναζήτησης για μια επιθυμητή διαδρομή. Ο χώρος αναζήτησης καθορίζεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, η πηγή εκτιμά μία κυκλική, Αναμενόμενη Περιοχή (Expected Zone), εντός της οποίας αναμένεται να βρίσκεται ο τελικός προορισμός. Το μικρότερο ορθογώνιο που περικλείει αυτή την κυκλική περιοχή, αποτελεί την Περιοχή Αναζήτησης (Request Zone). Στο δεύτερο στάδιο, η πηγή στέλνει πακέτα RREQ στους γειτονικούς κόμβους της, τα οποία περιέχουν πληροφορίες για την απόσταση μέχρι τον τελικό προορισμό και τη γεωγραφική του θέση. Οι κόμβοι αυτοί προωθούν τα πακέτα αυτά μόνο στην περίπτωση που βρίσκονται πιο κοντά στον τελικό προορισμό, ενημερώνοντας παράλληλα το πακέτο με το περιεχόμενο του πεδίου της απόστασης. Σαν αποτέλεσμα, η μέθοδος αυτή αποφεύγει την υπερχείλιση του δικτύου με αιτήματα διαδρομής και συνήθως μειώνει την καθυστέρηση μετάδοσης.

Το πρωτόκολλο **AOMDV** (Ad-hoc On-demand Multipath Distance Vector) σχεδιάστηκε με σκοπό τη μείωση της επίδρασης των “αποτυχιών” διαδρομής και για το λόγο αυτό διατηρεί όλες τις ανενεργές διαδρομές που βρέθηκαν κατά την αναζήτηση του προορισμού [32]. Στη συνέχεια, αντί για επανεκκίνηση της αναζήτησης του προορισμού σε περίπτωση αποτυχίας διαδρομής, το πρωτόκολλο ενεργοποιεί μια εναλλακτική διαδρομή. Για παρόμοιο σκοπό, το πρωτόκολλο **LLFR** (Local Link Failure Recovery) εφαρμόζει μια μέθοδο επισκευής διαδρομής, σύμφωνα με την οποία, οι ενδιάμεσοι κόμβοι προσπαθούν να εντοπίσουν τον προορισμό και να επιδιορθώσουν τη σύνδεση, χρησιμοποιώντας άλλους κόμβους της ίδιας γειτονιάς με αυτήν που εμφανίστηκε η αποτυχία διαδρομής [33]. Παρόλο που η μέθοδος αυτή είναι επωφελής όσον αφορά το Έμμεσο Κόστος Δρομολόγησης (Routing Overhead) και την εξασφαλισμένη μεταφορά των πακέτων, δεν εγγυάται την εύρεση της μικρότερης διαδρομής. Κατά συνέπεια, η χρησιμοποίηση μεγαλύτερων διαδρομών μπορεί να επηρεάσει αρνητικά άλλους σημαντικούς παράγοντες απόδοσης του πρωτοκόλλου, όπως η συνολική καθυστέρηση μεταφοράς των δεδομένων.

3.4 Πρωτόκολλα ιεραρχικής/υβριδικής δρομολόγησης

Τα **ZRP** (Zone Routing Protocol) και **ZHLS** (Zone-based Hierarchical Link State) είναι δύο διαφορετικά υβριδικά πρωτόκολλα. Ενώ το ZHLS οργανώνει το δίκτυο σε ζώνες δρομολόγησης με βάση τις γεωγραφικές θέσεις των κόμβων, το ZRP διατηρεί μια περιφερειακή ζώνη δρομολόγησης για κάθε κόμβο [34]. Στη συνέχεια, όταν είναι επιθυμητή η διαδρομή προς έναν απομακρυσμένο κόμβο, το αίτημα μετάδοσης μεταφέρεται από ζώνη σε ζώνη, μέχρι να βρεθεί η ζώνη δρομολόγησης στην οποία βρίσκεται ο προορισμός. Παρόλο που και οι δύο αλγόριθμοι εφαρμόζουν παρόμοια προσέγγιση για την επιτάχυνση της αναζήτησης του προορισμού, το ZHLS δημιουργεί αμετάβλητες ζώνες δρομολόγησης.

Όμοια, σκοπός της ιεραρχικής στρατηγικής είναι η επιτάχυνση της αναζήτησης του προορισμού. Η διαφορά υβριδικών και ιεραρχικών πρωτοκόλλων έγκειται στο διαμοιρασμό των υπευθυνοτήτων δρομολόγησης. Έτσι, ενώ στα υβριδικά πρωτόκολλα ο διαμοιρασμός αυτός γίνεται εξίσου σε όλους τους κόμβους, στα πρωτόκολλα ιεράρχησης, ο χειρισμός των διαδικασιών δρομολόγησης γίνεται από επιλεγμένους κόμβους. Αυτό το υποσύνολο κόμβων μπορεί να εκλεγεί με βάση διαφορετικές παραμέτρους όπως η διαθέσιμη ενέργεια της συσκευής, η κατάσταση κινητικότητας και η πυκνότητα μιας γειτονιάς [22]. Το πρωτόκολλο **CBQRP** (Cluster-Based QoS Routing Protocol) σχεδιάστηκε για να ενισχύσει την ποιότητα QoS των δικτύων. Για να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός, τα μηνύματα RREQ περιέχουν το ελάχιστο απαιτούμενο εύρος ζώνης των μεταδόσεων. Στη συνέχεια, μόνο οι πύλες ή οι επικεφαλής των ομάδων, που μπορούν να υποστηρίξουν τις νέες απαιτήσεις μετάδοσης, συμμετέχουν στις αντίστοιχες συνεδρίες. Επίσης, για τον περιορισμό της απώλειας πακέτων λόγω της χαμηλής ποιότητας σήματος, το πρωτόκολλο **CBZA** (Cluster Based Zone Allocation) επιλέγει τους επικεφαλής των ομάδων με βάση τη γεωγραφική τους θέση [35].

3.5 Εξειδίξεις στα πρωτόκολλα δρομολόγησης MANET

3.5.1 Πρωτόκολλα προσανατολισμένα στην ποιότητα QoS

Τα τελευταία χρόνια, πολλοί ερευνητές ασχολήθηκαν με την αναβάθμιση και εξέλιξη των βασικών πρωτοκόλλων δρομολόγησης των δικτύων MANET. Τα εξελιγμένα αυτά πρωτόκολλα βασισμένα σε μεθόδους, όπως οι ACO (Ant Colony Optimization) και ABC (Artificial Bee Colony), στοχεύουν στην επίτευξη καλύτερης Ποιότητας Εξυπηρέτησης (Quality of Service, QoS) δρομολόγησης [22]. Για παράδειγμα, το πρωτόκολλο **MOAODV** (Multi-Objective AODV) βασισμένο στον αλγόριθμο ACO, αποτελεί επέκταση του AODV και λαμβάνει υπόψη πολλαπλές μετρικές παραμέτρους (όπως καθυστέρηση, φορτίο και αξιοπιστία διαδρομής), εκτός από τον αριθμό των αλμάτων [36]. Στο Πρωτόκολλο Δρομολόγησης Αντίδρασης (Reactive Routing Protocol) **ANTALG** (Innovative ACO based Routing Algorithm), η συνολική καθυστέρηση της διαδρομής υπολογίζεται βάσει του χρόνου μετακίνησης των τεχνητών “μυρμηγκιών” (πρακτόρων) μεταξύ της πηγής και του προορισμού. Εκτός από τη βελτίωση της συνολικής καθυστέρησης, το συγκεκριμένο πρωτόκολλο βελτιώνει το ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων, αποφεύγοντας διαδρομές με μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης κυκλοφοριακής συμφόρησης [37]. Το **CSI-RP** (Combined Swarm Intelligence Routing Protocol) είναι ένα ιεραρχικό πρωτόκολλο που εφαρμόζει και τις δύο μεθόδους ACO και ABC. Αρχικά οι τεχνητές “μέλισσες” (πράκτορες) αποστέλλονται μέσω μηνυμάτων Hello, με σκοπό τον εντοπισμό του επικεφαλής της ομάδας που διαθέτει το υψηλότερο επίπεδο ισχύος μπαταρίας. Στη συνέχεια, εφαρμόζεται η μέθοδος ACO για τον υπολογισμό της βέλτιστης διαδρομής προς τον επικεφαλής της ομάδας. Οι δοκιμές έδειξαν ότι εκτός από την αποτελεσματική επιλογή του επικεφαλής ομάδας, το συγκεκριμένο πρωτόκολλο είχε μεγαλύτερη απόδοση δρομολόγησης σε σύγκριση με το βασικό πρωτόκολλο AODV [38].

Το **FCMQR** (Fuzzy cost based Multi constrained Quality of service Routing) είναι ένα πρωτόκολλο βασισμένο στο AODV που συγκεντρώνει τις διαθέσιμες μετρήσεις QoS κατά τη διάρκεια της συνεδρίας ανακάλυψης διαδρομής. Στη συνέχεια, ο προορισμός εφαρμόζει κανόνες ασαφούς συμπερασματολογίας (fuzzy inference rules), που πρώτα ευνοούν τις διαδρομές με μικρή συνολική καθυστέρηση και στη συνέχεια

μεγιστοποιούν το εύρος ζώνης, ως επακόλουθη προτεραιότητα. Στη συνέχεια, το αποκτώμενο ασαφές κόστος συνδυάζεται με τον εκτιμώμενο χρόνο που η διαδρομή θα είναι ενεργής (ανθεκτικότητα της διαδρομής), για την επιλογή της καταλληλότερης. Το πρωτόκολλο FCMQR αποδείχθηκε ότι παρουσιάζει αισθητή βελτίωση σε σχέση με άλλα fuzzy-based πρωτόκολλα, ειδικά όσον αφορά την συνολική καθυστέρηση και τον Ρυθμό Παροχής Πακέτων (Packet Delivery Ratio - PDR) [39].

Λόγω της αυτο-οργανωμένης φύσης τους, η απόδοση των δικτύων MANET εξαρτάται προφανώς από την προθυμία των κόμβων να συμβάλλουν στην κυκλοφορία του δικτύου, κάτι που επηρεάζει και την ποιότητα QoS. Η διαχείριση των “απόρθημων” κόμβων είναι ένα σημαντικό ζήτημα που πολλοί ερευνητές επιχείρησαν να επιλύσουν. Για παράδειγμα, ο **ICARUS**, ένας βοηθητικός μηχανισμός που βασίζεται στη φήμη, επαναλαμβάνει/συγκεντρώνει τους κόμβους με βάση τη συνεταιριστικότητά τους. Όταν ο μηχανισμός αυτός εφαρμοστεί σε ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης, οι “απόρθημοι” κόμβοι απομονώνονται κατά τη διάρκεια της δημιουργίας της διαδρομής [40]. Ίδιας λογικής είναι και η προσέγγιση **ABTE** (Agent Based Trust Estimation) που σχεδιάστηκε για ιεραρχικά πρωτόκολλα δρομολόγησης δικτύων MANET [41]. Η αποφυγή της υποβάθμισης της ποιότητας QoS επιτυγχάνεται μέσω δύο πρακτόρων, σκοπός των οποίων είναι η ανίχνευση των ανώμαλων συμπεριφορών και των απορρίψεων των πακέτων. Στη συνέχεια, με βάση την εκτίμηση αξιοπιστίας, οι ενδεχομένως “απόρθημοι” κόμβοι εξαιρούνται από τις διαδρομές μετάδοσης. Το **RTBD** (Record and Trust-Based Detection) είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης αντίδρασης που περιλαμβάνει έναν μηχανισμό εκτίμησης της αξιοπιστίας, ο οποίος λαμβάνει υπόψη τη συμπεριφορά των κόμβων κατά τη διάρκεια της συνεδρίας ανακάλυψης διαδρομής [42]. Με σκοπό την ανίχνευση των “απόρθημων” κόμβων και την απόρριψη της συνεργασίας με αυτούς, ο συγκεκριμένος αλγόριθμος παρατηρεί την καθυστέρηση προώθησης των μηνυμάτων RREQ, καθώς και το ποσοστό απόρριψης των πακέτων.

3.5.2 Πρωτόκολλα ενεργειακά αποδοτικής δρομολόγησης

Με δεδομένο ότι οι συσκευές που δημιουργούν ένα δίκτυο MANET συνήθως αντιμετωπίζουν θέματα περιορισμένων πόρων ενέργειας, πολλοί αλγόριθμοι προσανατολίζονται προς την αύξηση της διάρκειας ζωής του δικτύου [43]. Η βασικά στρατηγική ενίσχυσης της διάρκειας ζωής του δικτύου, είναι ο εντοπισμός της διαδρομής με την μεγαλύτερη διαθέσιμη ισχύ μπαταρίας, καθώς και η προσπάθεια εξισορρόπησης των φορτίων του δικτύου. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί με αποφυγή χρήσης δρομολόγησης των κόμβων με ελάχιστη εναπομένονσα ισχύ, οι οποίοι βρίσκονται στην συντομότερη διαδρομή, καθώς και με τη διατήρηση των συνδέσεων του δικτύου, για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Για το σκοπό αυτό σχεδιάστηκαν πρωτόκολλα ως επεκτάσεις των AODV και AOMDV, που επιλέγουν διαδρομές με βάση τους εναπομείναντες ενεργειακούς πόρους των ενδιάμεσων κόμβων. Εκτός από τη βελτίωση της διάρκειας ζωής του δικτύου, λαμβάνοντας υπόψη το επίπεδο ισχύος των ενδιάμεσων κόμβων, το πρωτόκολλο **PCAODV** (Power Control AODV) δεν χρησιμοποιεί συνεχώς τη μέγιστη ισχύ μετάδοσης (πακέτων δεδομένων και μηνυμάτων RREQ), αλλά τη ρυθμίζει ανάλογα με τις ενεργειακές ανάγκες του δικτύου [44]. Η ρύθμιση της ισχύος μετάδοσης, εκτός από την φυσική αύξηση της διάρκειας ζωής του δικτύου, μειώνει και τις πιθανότητες συγκρούσεων/παρεμβολών μεταδόσεων. Ως εκ τούτου, αποδείχθηκε ότι το πρωτόκολλο PCAODV σε σύγκριση με το AODV παρουσίασε σημαντική βελτίωση όσον αφορά το ρυθμό PDR και την συνολική καθυστέρηση.

Τα **LBAOMDV** (Load Balancing AOMDV) και **PRP** (Parallel Routing Protocol) είναι πρωτόκολλα δρομολόγησης αντίδρασης, που εκτός από την βελτίωση της ποιότητας QoS, αυξάνουν τη διάρκεια ζωής του δικτύου, χρησιμοποιώντας μεθόδους εξισορρόπησης του φορτίου μέσω παράλληλης προσέγγισης δρομολόγησης [45, 46]. Τα πρωτόκολλα αυτά παρέχουν ίσης κατανομής ροή δεδομένων, ακόμα και σε μη ενεργές διαδρομές, γεγονός που αυξάνει το ρυθμό μεταφοράς του δικτύου αλλά, σε τελική ανάλυση, δημιουργεί ισοκατανομές επιπέδων ισχύος. Ωστόσο, η παράλληλη δρομολόγηση εισάγει αρκετά σύνθετα ζητήματα, όπως η αναδιάταξη των πακέτων.

Μια άλλη πτυχή που μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας, είναι το Έμμεσο Κόστος Δρομολόγησης (Routing Overhead). Μια παραλλαγή του πρωτοκόλλου OLSR, ενσωματώνει μια μέθοδο επιλογής MPR για να περιορίσει τον αριθμό των μηνυμάτων TC, τα οποία αποστέλλονται για τον έλεγχο της κίνησης του δικτύου, με απώτερο σκοπό τη μείωση του Έμμεσου Κόστους Δρομολόγησης (Routing Overhead) του OLSR [47]. Επίσης, το **ERBOR** (Effective Routing Based on Overhead Reduction) είναι ένα Προνοητικό Πρωτόκολλο Δρομολόγησης (Proactive Routing Protocol) που περιορίζει το μέγεθος των μηνυμάτων ελέγχου [48]. Επιπλέον, το εν λόγω πρωτόκολλο ενσωματώνει έναν αλγόριθμο επεξεργασίας μηνυμάτων δρομολόγησης, ο οποίος αποφεύγει τη διαχείριση των περιττών πληροφοριών δρομολόγησης, ώστε να μειωθεί η πολυπλοκότητα των λειτουργιών της.

3.5.3 Πρωτόκολλα που αφορούν την κινητικότητα

Λόγω της απρόβλεπτης φύσης της τοπολογίας των δικτύων MANET, οι απώλειες των διαδρομών που προκλήθηκαν από την κινητικότητα των κόμβων, επηρεάζουν σημαντικά τις επιδόσεις των πρωτοκόλλων δρομολόγησης. Έτσι, πολλοί αλγόριθμοι δρομολόγησης σχεδιάστηκαν ειδικά για τη δημιουργία σταθερών διαδρομών [49]. Το **MAR** (Mobility Adjustment Routing) είναι ένα ιεραρχικό πρωτόκολλο που σχεδιάστηκε για τον περιορισμό της πιθανότητας εμφάνισης αποτυχίας διαδρομής, το οποίο επιλέγει μια διαδρομή με βάση την κατάσταση κινητικότητας των ενδιάμεσων κόμβων [50]. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας δημιουργίας μιας διαδρομής, αποστέλλονται μηνύματα στα οποία περιέχονται πληροφορίες που αφορούν την κατάσταση μέγιστης κινητικότητας των ενδιάμεσων κόμβων. Τα μηνύματα αυτά σε συνδυασμό με την εκλογή των πωλών και των επικεφαλής των ομάδων με κριτήρια την εναπομείνουσα ενέργεια και την κινητικότητα, δίνουν τη δυνατότητα επιλογής της διαδρομής με την υψηλότερη σταθερότητα καθώς και απόρριψης διαδρομών που σχηματίζονται από κόμβους με χαμηλή ισχύ μπαταρίας. Έχοντας τον ίδιο σκοπό, αναπτύχθηκε μια επέκταση του πρωτοκόλλου AODV που βασίζεται στην ασαφή (fuzzy) λογική και συνδυάζει την εναπομείνουσα ενέργεια με τη σχετική κινητικότητα των κόμβων, για τον υπολογισμό μιας τιμής σταθερότητας κατά τη διάρκεια της φάσης εύρεσης της διαδρομής [51].

Το **OBSUR** (On-demand Bandwidth and Stability-based Unicast Routing) είναι ένα Πρωτόκολλο Δρομολόγησης Αντίδρασης (Reactive Routing Protocol) που σχεδιάστηκε με βάση το DSR και αποσκοπεί στη δημιουργία σταθερών διαδρομών [52]. Το πρωτόκολλο κάνει συνεχείς εκτιμήσεις της σχετικής κινητικότητας, του εναπομείναντος εύρους ζώνης και του buffer των γειτόνων. Στη συνέχεια, κατά τη διαδικασία δημιουργίας της διαδρομής, οι ιδιότητες των διερευνημένων ζεύξεων ελέγχονται από το DSR για την επιλογή της καταλληλότερης διαδρομής, λαμβάνοντας υπόψη και την ποιότητα QoS. Παρέχοντας σταθερότητα της διαδρομής, το συγκεκριμένο πρωτόκολλο μειώνει επίσης το Έμμεσο Κόστος Δρομολόγησης (Routing Overhead) που προκαλείται από τις αστοχίες διαδρομής. Αντίστοιχα, το πρωτόκολλο **AMAODV** (Adaptive Mobility Aware AODV) αποτελεί μια αναβαθμισμένη έκδοση του AODV που βασίζεται σε πολλαπλές μετρήσεις (σχετικής απόστασης, ταχύτητας και απομείνοντος buffer) με σκοπό την αποφυγή των απωλειών πακέτων, που προκαλούνται από την κατάρρευση διαδρομής [53]. Έτσι, εξετάζοντας τη σχετική κατάσταση κινητικότητας των ενδιάμεσων κόμβων και τις ετερογενείς τους ικανότητες, το πρωτόκολλο αυτό βελτιώνει σημαντικά το ρυθμό PDR.

Μια παραλλαγή του πρωτοκόλλου OLSR λαμβάνει υπόψη την MPR κατάσταση κινητικότητας των κόμβων, κατά τη διαδικασία επιλογής διαδρομής με τη μέθοδο MPR [54]. Αποτέλεσμα αυτής της παραλλαγής είναι η βελτίωση της ανθεκτικότητας των διαδρομών που ανακοινώνονται μέσω των MPR. Κάτι ανάλογο πραγματοποιεί μια επέκταση του πρωτοκόλλου AOMDV, το **BAT AOMDV**, το οποίο υπολογίζει τη σχετική κινητικότητα αλλά και τη διαθεσιμότητα της εκάστοτε ζεύξης [55]. Εκτός από την επίτευξη ισορροπίας φορτίου, το BAT AOMDV παρέχει και μια καλύτερη εκτίμηση της αντοχής της διαδρομής, με σκοπό τον περιορισμό των απωλειών πακέτων.

3.5.4 Πρωτόκολλα προσανατολισμένα στην ασφάλεια

Ο συνεργατικός χαρακτήρας των δικτύων MANET εισάγει την πιθανότητα εσωτερικών επιθέσεων. Για παράδειγμα, κακόβουλοι κόμβοι μπορούν να ξεκινήσουν τη διαδικασία δημιουργίας ψευδών διαδρομών, με σκοπό την υποκλοπή των επικοινωνιών ή να προσπαθήσουν να εισχωρήσουν σε μια εκπομπή μεταδίδοντας μηνύματα RREQ με υψηλότερη ισχύ μετάδοσης, για να εξασφαλίσουν ότι θα αποτελέσουν μέρος της πιο σύντομης διαδρομής. Ως εκ τούτου, όσον αφορά την ασφάλεια, μεγάλος αριθμός μελετών κατευθύνθηκαν για την καλύτερη προστασία της ιδιωτικότητας των χρηστών των δικτύων MANET [56]. Για παράδειγμα, υποθέτοντας ότι ο πιο λογικός τρόπος υποκλοπής των δεδομένων είναι ο εντοπισμός της συντομότερης διαδρομής από τον εισβολέα, το πρωτόκολλο **RRAODV** (Randomised Reverse AODV) μειώνει την πιθανότητα υποκλοπών, επιλέγοντας μια τυχαία διαδρομή μεταφοράς των πακέτων [57].

Ορισμένα ιεραρχικά πρωτόκολλα δρομολόγησης, χρησιμοποιούν μεθόδους ανίχνευσης μη κανονικής συμπεριφοράς των κόμβων. Για παράδειγμα, το πρωτόκολλο **NUNBC** (Novel Unique Node-Based Clustering) εφαρμόζει μια προσέγγιση ομαδοποίησης και εκχωρεί ένα κλειδί βάσει θέσης σε κάθε κόμβο [58]. Στη συνέχεια, ένας κόμβος είναι σε θέση να επικοινωνήσει με το δίκτυο μόνο εάν το κλειδί που παρέχει, δεν περιέχει σφάλματα.

Μία παραλλαγή του πρωτοκόλλου DSR βασισμένη στον Χρόνο Μετ' Επιστροφής (Round Trip Time, RTT) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση Επιθέσεων Σκουληκότρυπας (Wormhole Attacks) [59]. Κατά την αναζήτηση του προορισμού, αυτό το πρωτόκολλο καταγράφει το χρόνο λήψης των μηνυμάτων RREQ σε κάθε ενδιάμεσο κόμβο. Στη συνέχεια, μόλις τα δεδομένα φτάσουν στον τελικό προορισμό, οι ενδιάμεσοι κόμβοι προωθούν μηνύματα RREP, στα οποία περιλαμβάνεται ο χρόνος λήψης των RREQ και RREP. Κατόπιν, η πηγή είναι σε θέση να υπολογίσει το χρόνο επεξεργασίας και το χρόνο RTT για κάθε ενδιάμεσο κόμβο. Η ανίχνευση της ύπαρξης σκουληκότρυπας στο δίκτυο πραγματοποιείται στην περίπτωση που ο χρόνος RTT που υπολογίζεται είναι υψηλότερος από ένα καθορισμένο όριο. Ένα άλλο χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτού του πρωτοκόλλου, είναι ο έλεγχος που πραγματοποιείται από τους ενδιάμεσους κόμβους, καθώς παρακολουθούν τα μηνύματα RREP/RREQ που προωθούνται από τους γειτονικούς κόμβους. Επομένως, έχουν τη δυνατότητα να ανιχνεύσουν και να αναφέρουν οποιαδήποτε προσπάθεια παραποίησης των χρονικών σφραγίδων που περιλαμβάνονται στα πακέτα δρομολόγησης.

4 Πρωτόκολλα δρομολόγησης δικτύων VANET

4.1 Ταξινόμηση πρωτοκόλλων

Σε αντίθεση με τα δίκτυα MANET, η ταξινόμηση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης των δικτύων VANET είναι πολύ πιο πολύπλοκη, επειδή τα πρωτόκολλα που έχουν εμφανιστεί είναι πάρα πολλά και πολύ διαφορετικά μεταξύ τους, βασισμένα σε πλήθος παραγόντων, όπως για παράδειγμα οι εφαρμοζόμενες στρατηγικές, οι λεπτομέρειες δρομολόγησης, η ποιότητα QoS, η δομή του δικτύου, οι μέθοδοι δρομολόγησης, κ.ο.κ. [60]. Στην παρούσα εργασία, τα πρωτόκολλα δρομολόγησης των δικτύων VANET ταξινομούνται με βάση τα χαρακτηριστικά και τις τεχνικές που χρησιμοποιούν. Με τον τρόπο αυτό προκύπτουν οι εξής κατηγορίες (Εικ. 12):

- Πρωτόκολλα δρομολόγησης βάσει τοπολογίας.
- Πρωτόκολλα δρομολόγησης βάσει θέσης.
- Πρωτόκολλα δρομολόγησης βάσει Geocast.
- Πρωτόκολλα δρομολόγησης βάσει Εκπομπής (Broadcast).
- Πρωτόκολλα δρομολόγησης βάσει ομάδων.



ΕΙΚΟΝΑ 12: Ταξινόμηση πρωτοκόλλων δρομολόγησης δικτύων VANET [60]

Από τις κατηγορίες αυτές, οι δύο πρώτες περιέχουν πρωτόκολλα τα οποία χρησιμοποιούνται και στα δίκτυα MANET. Για το λόγο αυτό, οι κατηγορίες αυτές δεν θα εξεταστούν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας. Θα γίνει όμως μια βιβλιογραφική αναφορά των αποτελεσμάτων που είχαν διάφορες μελέτες πάνω στη χρήση των πρωτοκόλλων αυτών στα δίκτυα VANET.

4.2 Χρήση πρωτοκόλλων δρομολόγησης δικτύων MANET σε δίκτυα VANET

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, τα δίκτυα VANET αποτελούν μια υποκατηγορία των δικτύων MANET, όμως η εξαιρετικά δυναμική τοπολογία που χαρακτηρίζει τα πρώτα, παίζει καθοριστικό παράγοντα στο σχεδιασμό των πρωτοκόλλων δρομολόγησης και στη χρήση των ήδη υφιστάμενων (για τα δίκτυα MANET) σε αυτά. Στόχος όλων των πρωτοκόλλων δρομολόγησης των δικτύων VANET θα πρέπει να είναι η δημιουργία αποτελεσματικών διαδρομών μεταξύ των κόμβων του δικτύου. Η αποτελεσματικότητα στα δίκτυα VANET των πρωτοκόλλων δρομολόγησης που έχουν σχεδιαστεί για δίκτυα MANET, έχει αποτελέσει αντικείμενο πολλών μελετών [61].

Οι E. Sraho και συν. [99], αξιολόγησαν τις επιδόσεις των πρωτοκόλλων OLSR και AODV σε σενάριο διασταύρωσης οδικού δικτύου, στο οποίο το στρώμα MAC του χρησιμοποιούμενου δικτύου VANET είχε σχεδιαστεί σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 802.11p. Η ανάλυση της απόδοσης του δικτύου έδειξε ότι όταν ο αριθμός των συνδέσεων είναι μεγάλος, το OLSR αποδίδει καλύτερα από το πρωτόκολλο AODV.

Οι B. Paul και συν. [100], ανέλυσαν τις διαφορές των πρωτοκόλλων AODV, DSR και DSDV με βάση τη σύνδεση TCP και αποστέλλοντας πακέτα με συνεχή ρυθμό με διάφορες παραμέτρους του δικτύου VANET. Η απόδοση αυτών των τριών πρωτοκόλλων εμφάνισε διαφορές σε μεγάλες και μικρές πυκνότητες κόμβων. Πιο συγκεκριμένα, σε μικρή πυκνότητα κόμβων, το PDR για συνεχή αποστολή πακέτων δεδομένων είναι χαμηλό, ενώ σε μεγάλη πυκνότητα, το PDR είναι υψηλό για το DSR και μέσης τιμής για το DSDV.

Οι περισσότερες από τις μελέτες αναλύουν τις επιδόσεις των πρωτοκόλλων δρομολόγησης που βασίζονται στην τοπολογία του δικτύου. Οι A. Husain και S. Sharma [101] ανέλυσαν την απόδοση των πρωτοκόλλων DREAM και LAR σε δίκτυα VANET που είχαν αναπτυχθεί σε περιβάλλοντα αστικών οδών και αυτοκινητοδρόμων. Οι μετρήσεις ανάλυσης των επιδόσεων αφορούσαν το PDR, το overhead των δρομολογήσεων, την καθυστέρηση, τη συνολική απόδοση και τον αριθμό των χαμένων πακέτων. Οι μετρήσεις αυτές απέδειξαν ότι το πρωτόκολλο LAR υπερτερεί του DREAM στην χρήση σε δίκτυα VANET.

Οι Z. S. Houssaini και συν. [61], ανέλυσαν τις επιδόσεις οκτώ (8) ευρέως αναγνωρισμένων πρωτοκόλλων δρομολόγησης των δικτύων MANET που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα VANET, όπως τα AODV, DSDV, DSR, FSR, OLSR, GPSR, ZRP και DYMO. Στη συγκεκριμένη ανάλυση χρησιμοποιήθηκε αστικό περιβάλλον ευρείας κλίμακας με ρεαλιστική κινητικότητα οχημάτων. Οι μετρήσεις ανάλυσης ποιότητας QoS που επιλέχθηκαν, αφορούσαν το ρυθμό παράδοσης πακέτων, την απόδοση, τη συνολική καθυστέρηση και το κόστος δρομολόγησης. Σύμφωνα με την ανάλυση των αποτελεσμάτων, αποδείχθηκε ότι τα πρωτόκολλα δρομολόγησης βάσει γεωγραφικής θέσης λειτουργούν καλύτερα στα δίκτυα VANET.

Από τα παραδείγματα των αναλύσεων που αναφέρθηκαν γίνεται σαφές ότι η χρήση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης που σχεδιάστηκαν αρχικά για δίκτυα MANET, δεν έχουν την απαιτούμενη απόδοση και στα δίκτυα VANET. Τέτοιες μελέτες έδειξαν ότι η εξέλιξη των ήδη υφιστάμενων πρωτοκόλλων αλλά και η σχεδίαση νέων για τα δίκτυα VANET, είναι απαραίτητη.

4.3 Πρωτόκολλα δρομολόγησης βάσει GeoCast

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που εμπίπτουν στην κατηγορία αυτή βασίζονται στην προώθηση ή τη διάδοση πληροφοριών σε μια περιοχή που σχετίζεται με τις πληροφορίες μεταδίδονται. Για την προώθηση

των δεδομένων, τα πρωτόκολλα αυτά χρησιμοποιούν υπηρεσίες multicast με βάση τη γεωγραφική θέση της ζώνης ενδιαφέροντος, στην οποία βρίσκονται οχήματα που μπορούν να λάβουν μηνύματα geocast. Με άλλα λόγια, τα συγκεκριμένα πρωτόκολλα δρομολογούν τα πακέτα δεδομένων του κόμβου πηγής προς όλους τους κόμβους που έχουν συνάφεια με τη ζώνη ενδιαφέροντος [62]. Κύριο μειονέκτημα των πρωτοκόλλων βάσει geocast αποτελεί ο διαμερισμός του δικτύου, που θα επηρεάσει την ορθή προώθηση των μηνυμάτων.

Το πρωτόκολλο ROVER (RObust VEhicular Routing) βασίζεται στη χρήση πλημμυρών για τη διάδοση των πακέτων ελέγχου. Η δρομολόγηση των μηνυμάτων δεδομένων γίνεται με χρήση unicast. Το πρωτόκολλο βασίζεται στη διαίρεση του δικτύου σε συναφείς ζώνες. Με τον τρόπο αυτό, ένα όχημα θα δεχτεί κάποιο μήνυμα μόνο όταν βρίσκεται εντός συγκεκριμένης ζώνης [63].

Το MOBICAST (Mobile Just in Time Multicasting) είναι ένα γεωγραφικό χωροχρονικό multicast πρωτόκολλο. Με συνδυασμό των γεωγραφικών και χωροχρονικών δεδομένων, τα μηνύματα μεταδίδονται κατά τη διάρκεια συγκεκριμένου χρόνου "t" σε όλα τα οχήματα που βρίσκονται εντός μιας συγκεκριμένης γεωγραφικής περιοχής, που ονομάζεται ZOR. Όλα τα οχήματα γνωρίζουν ότι η μετάδοση των δεδομένων πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια αυτής της χρονικής περιόδου και επομένως για να τα λάβουν θα πρέπει να παραμείνουν συνδεδεμένα. Η τοποθεσία των οχημάτων βρίσκεται μέσω GPS [63].

Το πρωτόκολλο DRG (Distributed Robust Geocast) αναπτύχθηκε με βάση τον Αλγόριθμο Back-Off Απόστασης (Distance Based Back-Off Algorithm). Επομένως, είναι προσαρμόσιμο σε δυναμικά περιβάλλοντα, μπορεί να χειριστεί συχνές μεταβολές της τοπολογίας και μειώνει τον αριθμό των αλλαγών. Βασίζεται σε μια πλήρως κατανομημένη προσέγγιση, στην οποία τα μηνύματα διατηρούνται μέχρι να φτάσουν στον τελικό προορισμό, εξασφαλίζοντας έτσι την αξιόπιστη παράδοση τους. Ως εκ τούτου, οι κόμβοι που εισέρχονται στο δίκτυο για πρώτη φορά μπορούν επίσης να λαμβάνουν μηνύματα [63]. Το DRG μειώνει τον αριθμό των περιττών μεταδόσεων, επειδή οι κόμβοι δεν αναμεταδίδουν τα μηνύματα μέχρι η απόσταση τους από τον αποστολέα να υπερβαίνει μια καθορισμένη τιμή. Η μετάδοση χωρίζεται σε δύο περιοχές που ονομάζονται ZOR και ZOF. Η περιοχή κάλυψης του αποστολέα, στην οποία τα οχήματα μπορούν να λαμβάνουν τα μηνύματα του, ονομάζεται ZOR. Η περιοχή ZOF αποτελείται από εκείνους τους κόμβους που μπορούν να προωθήσουν αξιόπιστα μηνύματα geocast στους επόμενους κόμβους που βρίσκονται εντός της περιοχής ενδιαφέροντος (ROI), διαφορετικά τα μηνύματα απορρίπτονται.

Το πρωτόκολλο VADD (Vehicle Assisted Data Delivery in Vehicular Ad-hoc Network) βασίζεται στην ιδέα της στρατηγικής μεταφοράς και προώθησης και στη χρήση της προβλέψιμης κινητικότητα των οχημάτων, η οποία περιορίζεται από το μοντέλο οδικής κυκλοφορίας και τη δομή του οδικού δικτύου. Με βάση το υπάρχον μοντέλο οδικής κυκλοφορίας και λόγω του δυναμικού χαρακτήρα των δικτύων VANET και την πυκνότητα της οδικής κυκλοφορίας, η μετάδοση των δεδομένων μπορεί να γίνει με μεγάλη καθυστέρηση [64].

Το πρωτόκολλο GROOV (Geographic Routing Over VANET) βασίζεται στην ιδέα της εύρεσης του πλέον κατάλληλου κόμβου αναμετάδοσης και όχι σε κάποια Άπληστα (Greedy) κριτήρια επιλογής. Τα περισσότερα greedy σχήματα επιλογής, βασίζονται στη βελτίωση της μέσης συνολικής καθυστέρησης, χωρίς να ασχολούνται με το PDR. Αντίθετα, το GROOV επιτυγχάνει υψηλότερο PDR σε σύγκριση με άλλους αλγόριθμους δρομολόγησης που έχουν εφαρμοστεί σε αστικά περιβάλλοντα [65].

4.4 Πρωτόκολλα δρομολόγησης βάσει εκπομπής

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης broadcast βασίζονται στις πλημμύρες και θεωρούνται από τις παραδοσιακές τεχνικές δρομολόγησης πληροφοριών στα δίκτυα VANET. Τα πρωτόκολλα αυτά χρησιμοποιούνται όταν υπάρχει ανάγκη για κοινή χρήση πληροφοριών, που αφορούν οδικές συνθήκες και καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, με οχήματα που βρίσκονται εκτός της εμβέλειας του κόμβου πηγής. Σε όλες τις περιπτώσεις τα πακέτα αποστέλλονται και προωθούνται σε όλους τους κόμβους στο δίκτυο.

Το πρωτόκολλο BROADCAST βασίζεται στη διαίρεση της περιοχής σε κυψέλες. Στη συνέχεια τα μέλη των κυψελών επιλέγουν έναν κόμβο, ο οποίος είναι γνωστός με την ονομασία Ανακλαστήρας Κυψέλης (Cell Reflector). Ο κόμβος αυτός είναι υπεύθυνος για τη συλλογή μηνυμάτων από γείτονες και την προώθησή τους σε όλα τα οχήματα της κυψέλης. Με άλλα λόγια, ο ανακλαστήρας κυψέλης λειτουργεί ως σταθμός βάσης για όλους τους άλλους κόμβους εντός της κυψέλης [66].

Το πρωτόκολλο DV-CAST (Distributed Vehicular broadcast) βασίζεται στη συνδεσιμότητα. Στην περίπτωση αυτή, το δίκτυο χωρίζεται σε τρεις (3) ομάδες: της πλήρους σύνδεσης, της απλής σύνδεσης και της πλήρους αποσύνδεσης. Στην περίπτωση της πλήρους σύνδεσης χρησιμοποιείται το σχήμα εμμονής. Στην περίπτωση της απλής σύνδεσης, τα οχήματα είναι σε θέση να αναμεταδίδουν αμέσως μετά τη λήψη του μηνύματος εκπομπής, μόνο προς τα οχήματα που κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση με αυτά. Στην περίπτωση της πλήρους αποσύνδεσης, τα οχήματα αποθηκεύουν το μήνυμα εκπομπής μέχρι κάποιο άλλο όχημα βρεθεί εντός εμβέλειας εκπομπής. Αν το όχημα βγει εκτός εμβέλειας δικτύου, τότε τα πακέτα δεδομένων απορρίπτονται [67].

Άλλα παραδείγματα συχνά χρησιμοποιούμενων broadcast πρωτοκόλλων δρομολόγησης αποτελούν τα NPPB (Nth-Powered P-persistent Broadcast protocol) και HYDI (Hybrid Data Dissemination Protocol) [62].

4.5 Πρωτόκολλα δρομολόγησης βάσει ομάδων

Έρευνες πάνω στα δίκτυα VANET ανέδειξαν μια νέα κατηγορία πρωτοκόλλων δρομολόγησης, που είναι γνωστή με την ονομασία Δρομολόγηση Βασισμένη σε Ομάδες (Cluster Based Routing) [60]. Τα συγκεκριμένα πρωτόκολλα βασίζονται στη διαίρεση των κόμβων του δικτύου σε Ομάδες (Clusters). Με τον τρόπο αυτό, μια ομάδα αποτελείται από κοντινούς κόμβους, ενώ ένα όχημα επιλέγεται ως επικεφαλής της ομάδας. Το μέγεθος της ομάδας ποικίλλει ανάλογα με τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για τη διαμόρφωσή της. Ως κριτήρια μπορούν να οριστούν ο αριθμός, η γεωγραφική θέση, η κατεύθυνση αλλά και η ταχύτητα κίνησης των οχημάτων. Ο επικεφαλής είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση της επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων της ομάδας.

Το LORA-CBF (Location-Based Routing Algorithm with Cluster-Based Flooding) είναι ένα πρωτόκολλο που βασίζεται στη διαίρεση των κόμβων του δικτύου σε ομάδες. Στο συγκεκριμένο πρωτόκολλο, οι επικεφαλής των ομάδων αποστέλλουν περιοδικά μηνύματα τύπου beacon, με σκοπό την ενημέρωση των παραμέτρων. Επιπροσθέτως, οι επικεφαλής αποστέλλουν πακέτα αιτήματος θέσης για τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με τη θέση άλλων ομάδων. Το εν λόγω πρωτόκολλο δρομολόγησης είναι Πρωτόκολλο Δρομολόγησης Αντίδρασης (Reactive Routing Protocol) και αναπτύχθηκε για να διευκολύνει την επικοινωνία V2V [65].

Το πρωτόκολλο δρομολόγησης CBR (Cluster Based Routing Protocol), είναι ιδιαίτερα διαδεδομένο λόγω της χαμηλότερης κατανάλωσης ενέργειας και της ευελιξίας στην επεκτασιμότητα του δικτύου. Στο CBR, οι κόμβοι των οχημάτων μοιράζονται σε δύο κατηγορίες: τους επικεφαλής των ομάδων και στα μέλη των ομάδων. Οι επικεφαλής των ομάδων συγκεντρώνουν πληροφορίες και συναφή δεδομένα, ενώ τα μέλη λαμβάνουν δεδομένα σχετικά με τις περιβαλλοντικές παραμέτρους, τα οποία και προωθούν προς τους αντίστοιχους επικεφαλής. Τα δεδομένα, όμως, αποθηκεύονται μόνο στο σταθμό βάσης (BS). Η διαθεσιμότητα των δεδομένων είναι μία από τις κύριες ανησυχίες του πρωτοκόλλου CBR, καθώς εάν οι επικεφαλής, τα μέλη ή οι σταθμοί BS πάθουν κάποια ζημιά ή μείνουν ανενεργοί λόγω έλλειψης ενέργειας, τα δεδομένα του δικτύου θα χαθούν [68].

Το πρωτόκολλο COIN (Clustering for Open IVC Network Routing Protocol), εκλέγει τον επικεφαλής μιας ομάδας με βάση τη δυναμική των οχημάτων και τις προθέσεις του οδηγού. Ο αλγόριθμος COIN υποστηρίζει όλους τους τρόπους επικοινωνίας μεταξύ των οχημάτων. Κύριος στόχος του είναι η βελτίωση της

σταθερότητας των ομάδων. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο CGSRP (Cluster head Gateway Switch Routing Protocol) και τον αλγόριθμο MACA (Mobility Adoptive Clustering Algorithm) [69].

Το πρωτόκολλο CBDRP (Cluster-Based Directional Routing Protocol) σχεδιάστηκε ειδικά για συνθήκες αυτοκινητοδρόμων. Στο συγκεκριμένο πρωτόκολλο, ο επικεφαλής της ομάδας επιλέγει έναν ακόμη επικεφαλής με βάση την κατεύθυνση του οχήματος. Ένας κόμβος της ομάδας εκπέμπει πακέτα “apply”, στα οποία περιέχονται πληροφορίες σχετικά με τη θέση της ομάδας, καθώς και τη θέση και την ταχύτητα του ίδιου του κόμβου. Τα πακέτα αυτά λαμβάνονται από κάθε κόμβο της ομάδας συμπεριλαμβανομένου του τρέχοντος επικεφαλής της ομάδας. Ο επικεφαλής απαντά με άλλο πακέτο “apply” που περιέχει πληροφορίες, όπως η θέση της ομάδας, η θέση και η ταχύτητα ενός άλλου κόμβου που βρίσκεται στο κέντρο της ομάδας, αλλά δεν είναι ο επικεφαλής. Αν ο αρχικός κόμβος δεν λάβει πακέτο “apply”, τότε γίνεται ο ίδιος επικεφαλής. Σε σύγκριση με άλλα πρωτόκολλα δρομολόγησης, το CBDRP έχει παρουσιάσει καλύτερα αποτελέσματα, όσον αφορά την υψηλή αναλογία παράδοσης πακέτων, τα ελάχιστα σφάλματα παράδοσης και την υψηλή σταθερότητα σύνδεσης [70].

4.6 Εξελίξεις στα πρωτόκολλα δρομολόγησης VANET

Η έρευνα πάνω στη βελτίωση της δρομολόγησης των δικτύων VANET συνεχίζεται με αμείωτο ρυθμό, λαμβάνοντας υπόψη τις διάφορες πτυχές και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους. Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται κάποια από τα πιο πρόσφατα πρωτόκολλα που έχουν σχεδιαστεί για τα δίκτυα VANET, με αναφορά στην στρατηγική που υιοθετείται σε κάθε ένα από αυτά, αλλά και στους περιορισμούς τους.

4.6.1 Πρωτόκολλο δρομολόγησης GPGR

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που έχουν σχεδιαστεί για τα δίκτυα MANET δεν είναι κατάλληλα για τα δίκτυα VANET. Η χρησιμοποίηση πρωτοκόλλων γεωγραφικής δρομολόγησης, όπως είναι το GPSR, έδειξε ότι μπορεί να καλυτερέψει την απόδοση σε συνθήκες διαρκούς μεταβλητότητας, καθώς τα πρωτόκολλα αυτά διατηρούν πληροφορίες σε τοπικό επίπεδο μόνο για τους γειτονικούς κόμβους. Το ζήτημα με τα πρωτόκολλα γεωγραφικής δρομολόγησης, είναι το τοπικό μέγιστο που προκαλείται από τα κριτήρια επιλογής του πλησιέστερου προς τον κόμβο προορισμού ως κόμβο αναμετάδοσης [71].

Το πρωτόκολλο GPGR (Grid based Predictive Geographical Routing) σχεδιάστηκε ειδικά για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων. Το GPGR διαχωρίζει τον δρόμο σε δισδιάστατο πλέγμα χρησιμοποιώντας χάρτη. Το πλέγμα αυτό χρησιμοποιείται κατά τη διαδικασία επιλογής του κόμβου αναμετάδοσης, στην οποία γίνεται πρόβλεψη της μεταβολής της θέσης του κόμβου, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις πιθανές κινήσεις του. Η πρόβλεψη της επόμενης θέσης του κόμβου μπορεί να οδηγήσει στην επιλογή του βέλτιστου κόμβου αναμετάδοσης.

Η ανάλυση της απόδοσης του πρωτοκόλλου όσον αφορά την αποτυχία της ζεύξης και το ρυθμό παράδοσης των πακέτων, έδειξε ότι το GPGR αυξάνει το χρόνο επεξεργασίας των δεδομένων και επομένως τη συνολική καθυστέρηση του δικτύου [72].

4.6.2 Πρωτόκολλο δρομολόγησης HLAR

Η μεταβολή της πυκνότητας των οχημάτων, η δυνατότητα κλιμάκωσης και η εξασθένιση της ασύρματης ζεύξης, είναι ζητήματα που έχουν καταστήσει την αποτελεσματική δρομολόγηση στα δίκτυα VANET μια πραγματική πρόκληση. Τα ζητήματα αυτά απορρέουν από την υψηλή ταχύτητα κίνησης των κόμβων αλλά και από την ύπαρξη φυσικών εμποδίων στα αστικά περιβάλλοντα. Για το λόγο αυτό ένα αρκετά μεγάλο μέρος των ερευνών εστιάζεται πάνω σε ρεαλιστικά μοντέλα κινητικότητας και διάδοσης [71].

Δύο από τις κύριες κατηγορίες των πρωτοκόλλων δρομολόγησης στα δίκτυα VANET, τα πρωτόκολλα βάσει τοπολογίας και βάσει γεωγραφικής θέσης, προσπαθούν να λύσουν το ζήτημα της επεκτασιμότητας, δημιουργώντας άλλα ζητήματα, όπως αυτό του μεγαλύτερου Έμμεσου Κόστους Δρομολόγησης (Routing Overhead) [73].

Το πρωτόκολλο δρομολόγησης HLLAR (Hybrid Location based Ad-hoc Routing) έχει σχεδιαστεί για να αντιμετωπίσει το πρόβλημα της επεκτασιμότητας, συνδυάζοντας τα αξιολογικά χαρακτηριστικά των πρωτοκόλλων δρομολόγησης αντίδρασης βάσει τοπολογίας και γεωγραφικής θέσης. Το HLLAR είναι ένα πρωτόκολλο το οποίο μεταβαίνει σε πρωτόκολλο δρομολόγησης αντίδρασης όταν δεν έχει δεδομένα γεωγραφικών πληροφοριών. Κατά το στάδιο προσομοίωσης και κατά την ανάλυση της απόδοσης, όσον αφορά παραμέτρους, όπως το Έμμεσο Κόστος Δρομολόγησης (Routing Overhead), η επεκτασιμότητα, η απώλεια πακέτων και τα σφάλματα δρομολόγησης, το πρωτόκολλο έδειξε ότι μπορεί να λύσει τα θέματα επεκτασιμότητας και υψηλού έμμεσου κόστους δρομολόγησης [74].

4.6.3 Πρωτόκολλο δρομολόγησης iCAR

Οι εφαρμογές των συστημάτων ITS μπορούν να ταξινομηθούν σε: απλού άλματος (για τη μετάδοση πληροφοριών σε οχήματα που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση), πολλαπλών αλμάτων (που απαιτούν πρόσβαση στο Διαδίκτυο), επικοινωνίας V2V και επικοινωνίας V2I. Οι εφαρμογές πολλαπλών αλμάτων απαιτούν ιδιαίτερα αποτελεσματική δρομολόγηση. Η εξαιρετικά δυναμική τοπολογία των δικτύων VANET αποτελεί πραγματική πρόκληση για το σχεδιασμό πρωτοκόλλων αποτελεσματικής δρομολόγησης πολλαπλών αλμάτων. Κατά καιρούς πολλές ερευνητικές ομάδες έχουν αναπτύξει διάφορα σχήματα δρομολόγησης, όπως τα CarTalk, GRS (Geographic Source Routing), GPSR, A-STAR, GyTAR, E-GyTAR, STAR και NoW, με σκοπό την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών [71].

Στα πρωτόκολλα δρομολόγησης των δικτύων VANET που συμπεριλαμβάνουν κριτήριο επιλογής οδικής αρτηρίας, δίνεται κυρίως προτεραιότητα στους δρόμους πυκνής κυκλοφοριακής συμπεριφοράς, καθώς στις οδικές αρτηρίες αυτού του είδους, η ύπαρξη συμφόρησης κατά τη δρομολόγηση δεδομένων και η εμφάνιση αποτυχιών στη μετάδοση των δεδομένων είναι ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Το πρωτόκολλο iCAR (Intersection Based Traffic Aware Protocol) έχει σχεδιαστεί με σκοπό τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης των δικτύων VANET σε αστικά σενάρια, όπου απαιτείται η offline χρήση χάρτη και πληροφοριών κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο [75]. Η δρομολόγηση στο iCAR βασίζεται στην πυκνότητα των οχημάτων σε συνδυασμό με τη μέση καθυστέρηση επικοινωνίας. Το πρωτόκολλο πραγματοποιεί διανομή πακέτων δεδομένων στο δίκτυο, αποφεύγοντας να επιλέξει ως διαδρομές προώθησης των δεδομένων αυτών τις οδικές αρτηρίες υψηλής πυκνότητας οχημάτων, όπου ο όγκος δεδομένων είναι μεγάλος.

Ο μεγάλος όγκος κυκλοφορίας των οδικών αρτηριών μπορεί να επηρεάσει την επικοινωνία πολλαπλών αλμάτων των δικτύων VANET και να οδηγήσει σε συχνές αποσυνδέσεις. Η προσομοίωση του πρωτοκόλλου έδειξε ότι το iCAR βελτιώνει σημαντικά την απόδοση του δικτύου, όσον αφορά το ρυθμό μεταφοράς πακέτων και τη συνολική καθυστέρηση, με αμελητέα επιβάρυνση του Έμμεσου Κόστους Δρομολόγησης (Routing Overhead).

4.6.4 Βελτίωση του πρωτοκόλλου κινητικότητας δικτύου NEMO

Οι Απρόσκοπτες Διαπομπές (Seamless Handoff) στα δίκτυα IP είναι εφικτές μόνο όταν οι διαδικασίες εκχώρησης και επεκχώρησης διευθύνσεων IP στους κινητούς κόμβους είναι αποτελεσματικές. Το στοιχείο αυτό είναι ιδιαίτερα απαραίτητο στην επικοινωνία V2I των δικτύων VANET, όπου τα οχήματα θα πρέπει να μπορεί να συνδέονται στο Διαδίκτυο. Οι υψηλές ταχύτητες όμως που αναπτύσσονται τα οχήματα στις εθνικές οδούς, δημιουργούν προβλήματα τόσο στις απρόσκοπτες διαπομπές όσο και στη σταθερότητα σύνδεσης των οχημάτων με το Διαδίκτυο. Για το λόγο αυτό, αναπτύχθηκε μια σειρά πρωτοκόλλων, όπως τα MIPv4, MIPv6 και HMIPv6, από τα οποία το MIPv6 χειρίζεται μόνο την κινητικότητα των τερματικών ενός δικτύου. Για τη

βελτίωση της κινητικότητας των δικτύων VANET που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο MIPv6, η ομάδα ITEF ανέπτυξε μια επέκταση του βασικού πρωτοκόλλου υποστήριξης NEMO [71].

Η προτεινόμενη βελτίωση του πρωτοκόλλου NEMO στοχεύει στη μείωση της καθυστέρησης που παρατηρείται κατά τη διαδικασία της κάθετης διαπομπής. Σύμφωνα με τη βελτίωση αυτή, μετά την έναρξη της διαδικασίας διαπομπής με χρήση της επικοινωνίας V2V, τα οχήματα παίζουν το ρόλο των μεταξύ τους ενδιάμεσων κόμβων, γεγονός που μειώνει τη συνολική καθυστέρηση του δικτύου κατά τη διαδικασία διαπομπής με τη σταθερή υποδομή. Κάτι τέτοιο αποδείχθηκε κατά την προσομοίωση του βελτιωμένου πρωτοκόλλου σε δίκτυα WiMAX και Wi-Fi. Τα κριτήρια ελέγχου του πρωτοκόλλου κατά την προσομοίωση ήταν η καθυστέρηση μετάδοσης, το έμμεσο κόστος δρομολόγησης των μηνυμάτων, η απόλεια πακέτων και η συνολική απόδοση του δικτύου [76].

4.6.5 Πρωτόκολλο δρομολόγησης EG-RAODV

Η τοπολογία ενός δικτύου VANET μεταβάλλεται συνεχώς σε συνάρτηση με τις οδικές συνθήκες, που συνήθως δεν είναι δυνατόν να προβλεφθούν εκ των προτέρων. Για την ανάλυση της δυναμικής τοπολογίας των δικτύων VANET, η θεωρία των γραφημάτων θεωρείται ότι είναι πολύ αποτελεσματική. Το εξελισσόμενο γράφημα είναι ένα θεωρητικό μοντέλο γραφημάτων, ικανό να καταγράφει τη δυναμική συμπεριφορά ενός δικτύου, του οποίου η κινητικότητα είναι προβλέψιμη. Η δυναμική των δικτύων VANET μπορεί να εκτιμηθεί μέσω χρήσης των πληροφοριών που αντλούνται από τα οχήματα, αλλά και από την υποδομή του οδικού δικτύου. Ως εκ τούτου, θεωρώντας το VANET ως ένα προβλεπόμενο δυναμικό μοντέλο δικτύου, το μοντέλο του εξελισσόμενου γραφήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο σχεδιασμό ενός αποτελεσματικού σχεδίου δρομολόγησης [71].

Το πρωτόκολλο δρομολόγησης EG-RAODV (Evolving Graph Reliable Ad Hoc On-Demand Distance Vector) σχεδιάστηκε με βάση το μοντέλο VoEG (VANET oriented Evolving Graph). Στο πρωτόκολλο αυτός, ένας αλγόριθμος που βασίζεται στο VoEG, δημιουργεί την πιο αξιόπιστη διαδρομή μεταξύ πηγής και τελικού προορισμού, με σκοπό τη διατήρηση της συνολικής ποιότητας QoS του δικτύου VANET [77]. Ο σχεδιασμός του πρωτοκόλλου EG-RAODV βασίστηκε στον ισχυρισμό ότι η τοπολογία ενός δικτύου VANET είναι προβλέψιμη, όμως, η θεωρία ότι το VANET μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως σταθερό προγραμματισμένο δυναμικό δίκτυο (FSDN) δεν είναι δικαιολογημένη. Η ανάλυση προσομοίωσης του πρωτοκόλλου έδειξε ότι ο αλγόριθμος παρουσιάζει έναν αποτελεσματικό τρόπο δρομολόγησης μηνυμάτων σε πραγματικές συνθήκες δικτύου VANET, που φτάνει το 100% σε μια περιοχή κάλυψης της τάξης των 700 μέτρων [77].

4.6.6 Πρωτόκολλο δρομολόγησης MAZACORNET

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης των δικτύων VANET μπορούν να αναγνωριστούν και ως ενιαίας διαδρομής, διαδρομής μεταφοράς και προώθησης καθώς και πολλαπλών διαδρομών δρομολόγησης. Οι αλγόριθμοι δρομολόγησης AOMDV, S-AOMDV και AOMDV πολλαπλών διαδρομών αποτελούν βελτιωμένες εκδόσεις του βασικού πρωτοκόλλου AODV. Τα εν λόγω πρωτόκολλα μπορούν να χαρακτηριστούν ως μη κλιμακούμενα Πρωτόκολλα Δρομολόγησης Αντίδρασης (Reactive Routing Protocol) και παρουσιάζουν αρκετά μειονεκτήματα. Για παράδειγμα, το S-AOMDV χρησιμοποιεί επιπλέον πακέτα για τη βελτίωση της ανίχνευσης διαδρομών και των αποτυχιών διαδρομής, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία κυκλοφοριακής συμφόρησης δεδομένων και μερική χρήση του εύρους ζώνης [71].

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, διάφορες εργασίες πάνω στα δίκτυα MANET έχουν δείξει ότι αλγόριθμοι εμπνευσμένοι από τη φύση, όπως η βελτιστοποίηση πρωτοκόλλων βάσει του αλγορίθμου ACO, μπορούν να χρησιμοποιηθούν με επιτυχία στο σχεδιασμό αποτελεσματικών αλγορίθμων δρομολόγησης. Η σύγκριση αυτών των αλγορίθμων με άλλους αλγορίθμους δρομολόγησης, ανέδειξε σε πλήθος αναλύσεων τους αλγορίθμους που είναι εμπνευσμένοι από τη φύση, ως πιο αποτελεσματικούς στη βελτίωση της απόδοσης των δικτύων. Κάτι ανάλογο μπορεί να πραγματοποιηθεί και για τα δίκτυα VANET.

Το πρωτόκολλο MAZACORNET (Mobility Aware Zone based Ant Colony Optimization Routing for VANET) είναι ένας υβριδικός αλγόριθμος δρομολόγησης, που χωρίζει τους κόμβους σε ζώνες οι οποίες κάνουν αποτελεσματικότερη χρήση του εύρους ζώνης. Το MAZACORNET, για την εύρεση διαδρομών, χρησιμοποιεί μια Προνοητική (Proactive) προσέγγιση εντός μιας ζώνης και μια προσέγγιση Αντίδρασης (Reactive) μεταξύ των ζωνών. Χρησιμοποιεί τοπικές πληροφορίες που είναι αποθηκευμένες σε κάθε ζώνη, οι οποίες μειώνουν την ανταλλαγή μηνυμάτων και την κυκλοφοριακή συμφόρηση δεδομένων. Τα πρότυπα κίνησης του οχήματος, η πυκνότητα, η ταχύτητα και οι συνθήκες εξασθένησης της σύνδεσης, χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ενός αλγορίθμου πολλαπλών διαδρομών [78].

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος τείνει να μοιάζει με πρωτόκολλο δρομολόγησης βάσει ομάδων, αλλά η απόδοσή του δεν έχει συγκριθεί με άλλους αλγόριθμους της ίδιας κατηγορίας. Επίσης, δεν υπάρχει πουθενά αναφορά για τον τρόπο δημιουργίας των ζωνών σε ένα γρήγορα μεταβαλλόμενο δίκτυο VANET, αλλά ούτε και για την ταχύτητα των κόμβων καθώς και για την περιοχή μετάδοσής τους.

5 Ρόλος των MANET και VANET στα δίκτυα 5G

5.1 Βελτιώσεις στις σύγχρονες ασύρματες τεχνολογίες

Η συνεχής εξέλιξη και βελτίωση των ασύρματων τεχνολογιών έχει δημιουργήσει τις προϋποθέσεις για εξέλιξη της έρευνας πάνω στα δίκτυα MANET. Στο φυσικό στρώμα, οι βελτιώσεις αυτές περιλαμβάνουν πιο προηγμένους κόμβους, όπως πιο ισχυρά και αποδοτικά έξυπνα τηλέφωνα και συνολικά πιο ανθεκτικές συσκευές. Επιπλέον, οι βελτιώσεις στην τεχνολογία μπαταριών επέτρεψαν σε όλους τους τύπους συσκευών να έχουν τη δυνατότητα δημιουργίας και διατήρησης αδόμητων δικτύων, για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Οι τεχνολογικές εξελίξεις της τελευταίας δεκαετίας έχουν δημιουργήσει βελτιωμένους αισθητήρες που μπορούν να ενσωματωθούν σε πλήθος συσκευών διαφορετικού τύπου, όπως για παράδειγμα, οι ασύρματοι δέκτες των smartphone [13, 79].

Εκτός από τις τεχνολογικές βελτιώσεις των αισθητήρων και των κόμβων, σημαντικές προσπάθειες έχουν πραγματοποιηθεί με στόχο την αποδοτικότητα, την ποσότητα και την ποιότητα της μετάδοσης δεδομένων μεταξύ των κόμβων, καθώς και την παροχή ασφάλειας στα μεταδιδόμενα δεδομένα. Όσον αφορά τα οχήματα, η επικοινωνία DSRC έχει γίνει πρότυπο επικοινωνίας μεταξύ των οχημάτων, ιδιαίτερα στις Επικοινωνίες Οχήματος με Οτιδήποτε (Vehicle to X, V2X) (όχημα, υποδομή, κλπ). Η DSRC είναι ένα κανάλι half ή full duplex ασύρματης επικοινωνίας, μικρής έως μεσαίας εμβέλειας. Ο συγκεκριμένος τύπος μέσου σχεδιάστηκε κυρίως για συστήματα επικοινωνίας οχημάτων και μπορεί να απαντηθεί σε τύπους επικοινωνιών V2X. Η τεχνολογία DSRC χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλες ασύρματες τεχνολογίες στα συστήματα ITS, με σκοπό την εξασφάλιση ασφαλούς και διαλειτουργικής συνδεσιμότητας σε όλους τους τρόπους μεταφοράς, αν και μέχρι σήμερα η μεγαλύτερη μελέτη και έρευνα επικεντρώνεται στην ανάπτυξη συστημάτων με αυτοκίνητα. Στα συστήματα αυτά πρώτη προτεραιότητα έναντι άλλων εφαρμογών, έχουν οι εφαρμογές που αφορούν την ασφάλεια [13, 80].

Η χρήση της DSRC ως τύπος επικοινωνίας κατά την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ κόμβων, δημιουργεί μια μικρή καθυστέρηση. Αιτία αυτής της καθυστέρησης είναι η ύπαρξη ενός υψηλού επιπέδου λειτουργικότητας με τα πρότυπα που έχουν υιοθετηθεί από τους κατασκευαστές, συμπεριλαμβανομένου ενός ορισμένου επιπέδου ασφαλείας ιδιωτικότητας, μέσω της αποστολής μηνυμάτων εξακρίβωσης της ταυτότητας. Η ασφάλεια που παρέχεται όμως, δίνει τη δυνατότητα στην DSRC να αποτελέσει ένα δυνητικά μέσο ανάπτυξης δικτύων VANET [13, 81].

Μία από τις πιο διαδεδομένες βελτιώσεις των ασύρματων προτύπων, αφορά την πέμπτη γενιά κινητής τεχνολογίας (5G), η οποία βασίζεται σε όλες τις προηγούμενες γενιές (1, 2, 3 και 4), στην τεχνολογία LTE/LTE-A και σε άλλες τεχνολογίες ραδιοεπικοινωνίας. Το 5G στοχεύει να είναι ένα Ετερογενές Δίκτυο (Heterogeneous Network, HetNet) που να συνδέεται με το LTE και με άλλα ασύρματα δίκτυα, ως ένα ενιαίο σύστημα. Μεταξύ άλλων χαρακτηριστικών, η τεχνολογία 5G συνδυάζει την υπάρχουσα τεχνολογία, για να υποστηρίξει λειτουργίες με φάσματα μικρότερου μήκους κύματος (χιλιοστομετρικά κύματα) με μεγαλύτερο εύρος ζώνης, που μπορεί να παράγουν δεδομένα δεκάδων Mbit/sec (Mbps) για δεκάδες χιλιάδες χρήστες. Αυτή η ασύρματη τεχνολογία νέας γενιάς αναμένεται να προσφέρει υψηλότερη αξιοπιστία, μικρότερη καθυστέρηση και καλύτερα αποτελέσματα σε προβλήματα επεκτασιμότητας, σε σχέση με τα προηγούμενα πρότυπα [79, 80].

Ιδιαίτερα για τα δίκτυα VANET, η υιοθέτηση της τεχνολογίας 5G δείχνει να δημιουργεί ριζικές αλλαγές. Με την ταχεία ανάπτυξη της τηλεματικής στον τομέα των αυτοκινήτων, τα σύγχρονα οχήματα αναμένεται να μπορούν να συνδέονται μεταξύ τους μέσω ετερογενών τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης, καθώς και να ανταλλάσσουν μαζικά, πληροφορίες με το γύρω περιβάλλον τους. Αυτή η σημαντική επέκταση της κλίμακας του δικτύου αλλά και η επεξεργασία των πληροφοριών, τόσο σε πραγματικό χρόνο όσο και μακροπρόθεσμα,

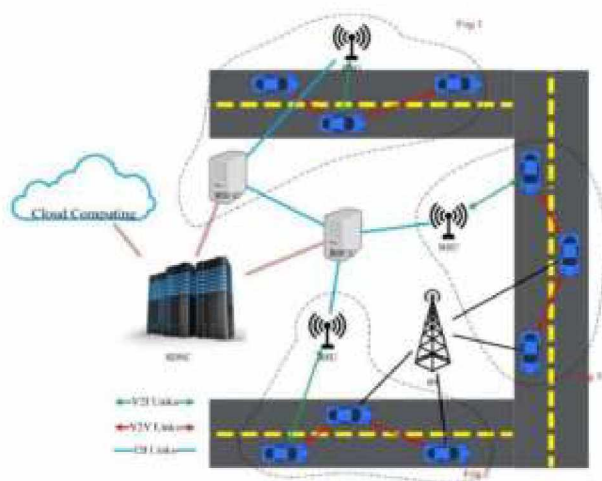
τείνουν να εξελίξουν τα παραδοσιακά δίκτυα VANET στο λεγόμενο Διαδίκτυο των Οχημάτων (IoV), το οποίο θα αποτελέσει μια αποτελεσματική και ευφυή προοπτική των μελλοντικών συστημάτων ITS. Τα ζητήματα που αντιμετωπίζουν τα σύγχρονα δίκτυα VANET, όπως η έλλειψη ευελιξίας, η μικρής διάρκειας συνδεσιμότητα εξαιτίας απόλλειας της διαδρομής σύνδεσης και η έλλειψη ευφυών πληροφοριών, μπορούν να ξεπεραστούν με την εξέλιξη αυτή. Σημαντική προβλέπεται να είναι η συνεισφορά, στην εξέλιξη αυτή, νέων αναδυόμενων τεχνολογιών, όπως η Οχηματική Υπολογιστική Νέφος (Vehicular Cloud Computing, VCC), η Υπολογιστική Ομίχλης (Fog Computing), η Εικονικοποίηση Λειτουργιών Δικτύων (Network Function Virtualization, NFV), η Υπολογιστική Υποδομή Παρυφής (Mobile Edge Computing, MEC) και η Δικτύωση Καθοριζόμενη από Λογισμικό (Software Defined Networking, SDN). Όλες αυτές οι τεχνολογίες έχουν σχεδιαστεί για την υποστήριξη των ασύρματων δικτύων 5G. Οι τεχνολογίες αυτές μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην οικοδόμηση ενός εξελιγμένου συστήματος ITS [10].

5.2 Η τεχνολογία 5G

Η τεχνολογία 5G παρέχει ανώτατα επίπεδα αποδοτικότητας, επεκτασιμότητας και υψηλών ταχυτήτων μεταφοράς δεδομένων, χρησιμοποιώντας το φάσμα των χιλιοστών μήκους κύματος (κύμα mm) ως φέρουσα συχνότητα (με εύρος 3-300GHz), σε συνδυασμό με προσαρμόσιμη μετατόπιση της κίνησης δεδομένων στο μη αδειοδοτημένο φάσμα των 5 GHz (Wi-Fi) [81].

Με την εφαρμογή τους, τα δίκτυα 5G θα είναι σε θέση να παρέχουν επικοινωνίες με ευέλικτες απαιτήσεις μεγαλύτερης χωρητικότητας χαμηλής ισχύος, καθώς και επικοινωνίες ενισχυμένης ευρυζωνικής σύνδεσης, με εξαιρετική αξιοπιστία και χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση. Τα δίκτυα 5G μπορούν επίσης να περιλαμβάνουν Μαζική Τεχνική Πολλαπλών Εισόδων και Πολλαπλών Εξόδων (Massive MIMO), επικοινωνίες Συσκευής προς Συσκευή (Device to Device, D2D) και ενσωματωμένους αναμεταδότες. Αυτά τα εργαλεία μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση των ζωνών συχνότητας των υπηρεσιών, της χωρητικότητας καθώς και να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις οικονομικά αποδοτικών κλιμακώσεων [82].

Το 5G μπορεί να παρέχει ταχεία και έγκαιρη πρόσβαση στις πληροφορίες με οποιονδήποτε ρυθμό και ανά πάσα στιγμή. Έχει την ικανότητα να υποστηρίζει υπηρεσίες και εφαρμογές πραγματικού χρόνου με πολύ μικρή καθυστέρηση. Με τον τρόπο αυτό, μπορεί να υποστηρίξει περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, όπου η καθυστέρηση μετάδοσης δεδομένων αποτελεί βασική πρόκληση και απαίτηση για κάθε αξιόπιστο δίκτυο οχημάτων και σύστημα ITS [83].



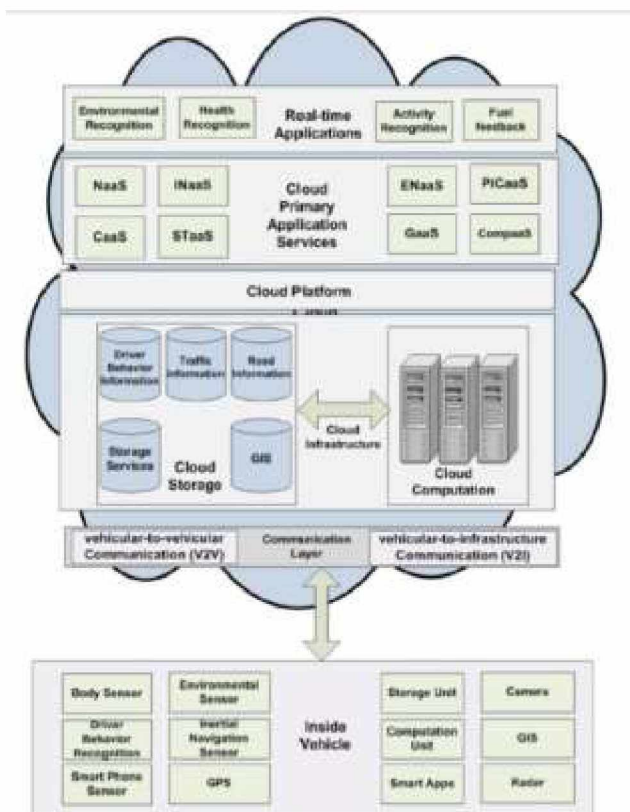
ΕΙΚΟΝΑ 13: Τοπολογική δομή ενός 5G – SDN δικτύου οχημάτων [10]

Οι σύγχρονες τεχνικές υπολογιστικής ομίχλης και νέφους έχουν τροποποιηθεί ώστε να μπορούν να υποστηρίξουν εφαρμογές δικτύων οχημάτων 5G. Ομοίως, η δικτύωση SDN θεωρείται ως ένα ευέλικτο εργαλείο για την ένταξη των δικτύων υπολογιστικού νέφους και ασύρματης πρόσβασης (WAN) σε δίκτυα 5G. Στην εικόνα 13 παρουσιάζεται η τοπολογική δομή των 5G – SDN δικτύων οχημάτων. Τέτοια δίκτυα περιλαμβάνουν κέντρα υπολογιστικού νέφους, ελεγκτές SDN (SDNC), υπολογιστική ομίχλης, μονάδες RSU (Road Side Units), Σταθμούς Βάσης (Base Stations, BS), χρήστες και οχήματα [10, 84].

Το 5G χρησιμοποιεί την επικοινωνία τύπου μηχανής ώστε να θέσει τα βασικά θεμέλια του IoT και να επιτευχθεί με αυτόν τον τρόπο ένας πλήρως διασυνδεδεμένος κόσμος, κάτι που θα ανοίξει την πόρτα για πολλές μελλοντικές χρήσιμες εφαρμογές ευφών υπηρεσιών. Ένα ενιαίο δίκτυο υπηρεσιών μπορεί να είναι σε θέση να επιτύχει την ικανοποίηση πολλών διαφορετικών απαιτήσεων στην εποχή 5G.

5.3 Οχηματική υπολογιστική νέφους

Η Υπολογιστική Νέφος (Cloud Computing, CC) είναι μια τεχνολογία που παρέχει κατ' απαίτηση πρόσβαση σε μια ομάδα διαμορφωμένων πόρων, με σκοπό την ανταλλαγή πληροφοριών. Τα πλεονεκτήματά της στην κινητή κυψελοειδή επικοινωνία μπορούν να βρουν εφαρμογή στον τομέα των συστημάτων επικοινωνιών [85]. Το νέφος γενικότερα παρουσιάζει δύο κύρια χαρακτηριστικά: την κεντρικοποιημένη αρχιτεκτονική καθώς και τη συγκέντρωση πόρων με δυνατότητα κλιμάκωσης και αξιοποίησης στο μέγιστο βαθμό.



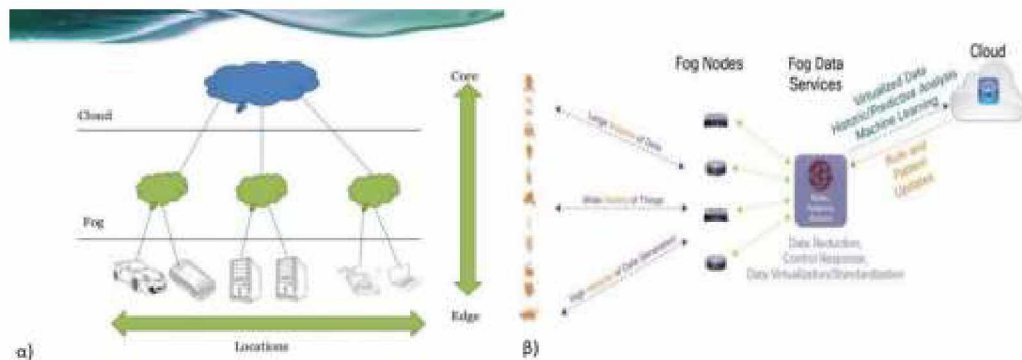
ΕΙΚΟΝΑ 14: Αρχιτεκτονική τεχνολογίας VCC [86]

Η Οχηματική Υπολογιστική Νέφους (Vehicular Cloud Computing, VCC) είναι μια νέα τεχνική που χρησιμοποιεί τα πλεονεκτήματα του cloud computing, με σκοπό την ενίσχυση των δικτύων VANET σε διάφορες υπολογιστικές εφαρμογές. Τέτοιες εφαρμογές μπορούν να βελτιώσουν τον έλεγχο της κυκλοφορίας μειώνοντας τα οδικά ατυχήματα, την κυκλοφοριακή συμφόρηση και τον χρόνο ταξιδιού. Η VCC στοχεύει στην κατ' απαίτηση παροχή λύσεων για τις περισσότερες απρόβλεπτες κυκλοφοριακές διεργασίες σε ένα δυναμικό περιβάλλον. Η συγκεκριμένη τεχνική μπορεί να σχηματίσει ένα νέφος εντός των παραγόμενων υπηρεσιών με αποτελεσματικό τρόπο, ώστε να παρέχει ένα αυτο-οργανωμένο μοντέλο οχημάτων. Ως κόμβος σε ένα σύννεφο μπορεί να είναι οποιοδήποτε όχημα που κινείται σε κάποιο οδικό δίκτυο, όντας εφοδιασμένο με αισθητήρες και έχοντας δυνατότητες υπολογιστικής ισχύος και μόνιμης πρόσβασης στο Διαδίκτυο. Στην εικόνα 14 παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική δομή της τεχνικής VCC [86, 87].

Σε ένα μελλοντικό σύστημα μεταφορών αναμένεται η ύπαρξη σημαντικών αλλαγών σε σχέση με το υφιστάμενο σύστημα, λόγω των τεχνολογικών εξελίξεων στις συσκευές που κατέχουν οχήματα, οδηγοί και ταξιδιώτες αλλά και στην δημιουργία νέων τεχνολογιών, όπως το υπολογιστικό νέφος, το Διαδίκτυο IoT, οι ασύρματες επικοινωνίες 5G, τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (Wireless Sensor Network, WSN), το Big Data, κλπ. Στόχος των συστημάτων αυτών, με τη συγχώνευση διαφορετικών συστημάτων και τεχνικών, είναι η βελτιστοποίηση του τρόπου λήψης ολοκληρωμένων αποφάσεων, καθώς και η δυνατότητα πρόβλεψης των συνθηκών που μπορεί να επικρατήσουν σε ένα οδικό δίκτυο, όπως για παράδειγμα η πρόβλεψη της ροής κυκλοφορίας [88, 89].

5.4 Υπολογιστική ομίχλης

Η Υπολογιστική Ομίχλης (Fog Computing), δεν αντικαθιστά αλλά συμπληρώνει την υπολογιστική νέφους επεκτείνοντάς την ακόμα και στις παρυφές ενός δικτύου. Για το λόγο αυτό είναι γνωστή και ως Υπολογιστική Παρυφών (Edge Computing). Η ομίχλη σχηματίζει ένα μεσαίο στρώμα μεταξύ του νέφους και του υπόλοιπου έξυπνου εξοπλισμού ενός δικτύου, με σκοπό την επεξεργασία όλων των απαιτούμενων λειτουργιών σύνδεσης. Σε αντίθεση με την κεντροκοιμημένη αρχιτεκτονική του cloud, η ομίχλη υλοποιείται στις παρυφές ενός δικτύου, παρουσιάζοντας εξαιρετικά χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση [90].



ΕΙΚΟΝΑ 15: Αρχιτεκτονικές ομίχλης (α) ιεραρχίας τριών στρωμάτων, (β) πρόταση της Cisco [91]

Η υπολογιστική ομίχλης μπορεί να εφαρμοστεί σε ευρέως καταναμημένα αναπτύγματα, παρέχοντας πλήθος εφαρμογών, όπως υπολογισμό, παροχή δεδομένων, αποθήκευση και υπηρεσίες στους τελικούς χρήστες. Η εφαρμογή του στα δίκτυα VANET, μπορεί να ικανοποιήσει πολλές από τις απαιτήσεις τους, όπως η μείωση του φορτίου του νέφους, η γρήγορη απόκριση στις βασικές συσκευές και η ικανότητα ανάλυσης των δεδομένων ροής σε πραγματικό χρόνο. Οποιαδήποτε συσκευή της υποδομής του οδικού δικτύου αλλά και των οχημάτων, εάν διαθέτει μονάδες σύνδεσης δικτύου, αποθήκευσης και υπολογιστικής ικανότητας, μπορεί να λειτουργήσει ως κόμβος ομίχλης [90].

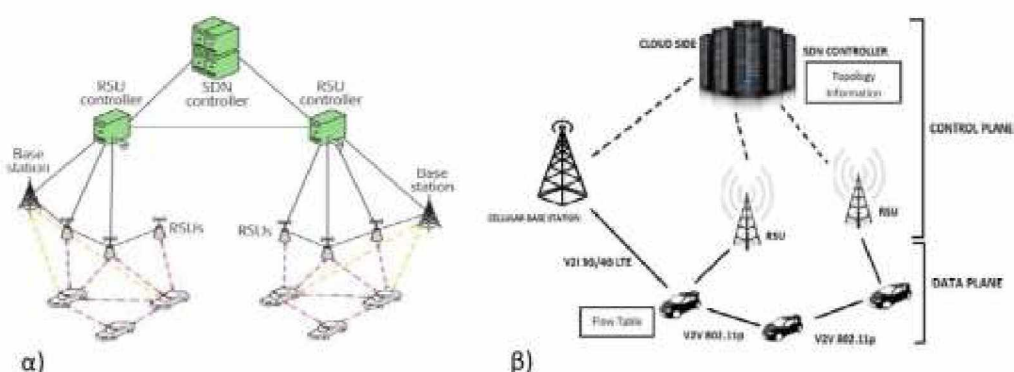
Η υπολογιστική ομίχλης είναι μια νέα τεχνολογία και βρίσκεται ακόμη υπό ανάπτυξη. Ως επέκταση του cloud computing, ενισχύει τη χρήση εικονικών στοιχείων και ασχολείται με υπηρεσίες βάσει τοποθεσίας στις παρυφές των κινητών δικτύων, στοιχεία που τις δίνουν τη δυνατότητα να δώσει ώθηση στις κινητές επικοινωνίες. Επί του παρόντος, δεν υπάρχουν πολλές εφαρμογές των δικτύων VANET που να βασίζονται στην τεχνολογία ομίχλης, όμως πολλές από τις εφαρμογές που προορίζονται για δίκτυα WSN, διασυνδεδεμένα οχήματα, IoT και SDN, μπορούν να εφαρμοστούν σε αυτά, εκμεταλλευόμενες τη δυναμική συνδεσιμότητα που παρουσιάζουν τα δίκτυα VANET. Στην εικόνα 15(α) παρουσιάζεται μια απλή αναπαράσταση της αρχιτεκτονικής ιεραρχίας τριών στρωμάτων (cloud, ομίχλης και παρυφών) ενός δικτύου VANET, ενώ στην εικόνα 15(β) παρουσιάζεται μια προτεινόμενη αρχιτεκτονική της Cisco [91].

5.5 Δικτύωση καθοριζόμενη από λογισμικό

Η Δικτύωση που Καθορίζεται από Λογισμικό (Software Defined Networking, SDN) αντιπροσωπεύει μία από τις νέες αναδυόμενες προγραμματιζόμενες τεχνολογίες δικτύωσης της 5G εποχής, αν και είχε σχεδιαστεί νωρίτερα για ενσύρματες εφαρμογές. Η φιλοσοφία χρήσης της στα αδόμητα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας MANET και VANET αφορά την προσαρμογή των μεταβολών τοπολογίας των εν λόγω δικτύων. Η χρήση της τεχνολογίας SDN, ιδιαίτερα στα δίκτυα VANET, μέσω της εισαγωγής στοιχείων προγραμματισμού στο Επίπεδο Ελέγχου (Control Plane), δίνει τη δυνατότητα παροχής νέων υπηρεσιών, όπως η εικονικοποίηση της δικτυακής υποδομής, τα μέτρα ασφαλείας και η επιτήρηση [92].

Η δικτύωση SDN μπορεί να υποστηρίξει την απόδοση διαμόρφωσης στην υπολογιστική ικανότητα του δικτύου, καθώς και την απλότητα και καινοτομία στη διαχείρισή του. Τα παλιά δίκτυα συχνά παρουσίαζαν έλλειψη ευελιξίας όσον αφορά την απόκριση στις άμεσες αλλαγές. Το SDN μπορεί να συνδυάσει το επίπεδο δεδομένων με το επίπεδο ελέγχου και να μεταφέρει τη λογική ελέγχου από τον κόμβο σε έναν κεντρικό ελεγκτή [84]. Το SDN μπορεί επίσης να υποστηρίξει το IoV, ενσωματώνοντας το χαρακτηριστικό του προγραμματισμού του στο νέφος των οχημάτων.

Ο συνδυασμός υπολογιστικής ομίχλης και SDN θα βοηθήσει στην αντιμετώπιση των προκλήσεων των δικτύων VANET, όπως η έλλειψη ευελιξίας, η μη νοημοσύνη και η σύντομη συνδεσιμότητα. Κατά τον συγκεκριμένο συνδυασμό, το SDN μπορεί να επιτρέπει τον έλεγχο της συμπεριφοράς του δικτύου, ενώ η υπολογιστική ομίχλης μεταφέρει τις υπηρεσίες τοποθεσίας και χρόνου. Η ενσωμάτωση των δύο τεχνολογιών μπορεί επίσης να συμβάλει στη μείωση της καθυστέρησης επικοινωνίας και στη βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων [93].



ΕΙΚΟΝΑ 16: Εφαρμογή (α) και αρχιτεκτονική της (β) της τεχνολογίας SDN στα δίκτυα VANET [92, 95]

Η συγχώνευση του SDN με το IoT είναι πολύτιμη για δίκτυα οχημάτων στα οποία, το SDN μπορεί να προσφέρει αυτοματοποίηση, ενώ το IoT μπορεί να ενεργοποιήσει τη σύνδεση πόρων σε ένα δίκτυο. Επιπλέον,

το SDN προσφέρει στους παρόχους δικτύου τη δυνατότητα να αναπτύξουν ουσιαστικά τα στοιχεία του δικτύου τους. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί στη διαδικασία εικονικοποίησης του cloud computing. Στην εικόνα 16 παρουσιάζονται η εφαρμογή του SDN στα δίκτυα VANET και η αρχιτεκτονική της εφαρμογής αυτής [92, 95].

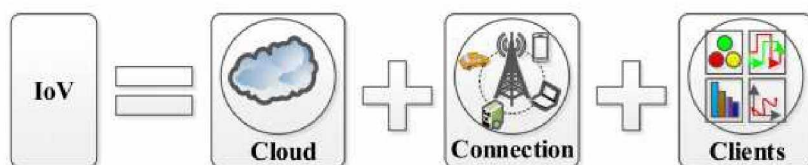
Το SDN έχει τη δυνατότητα να επιτρέπει τη διαμόρφωση και τη διαχείριση των δικτύων λόγω του ξεχωριστού πίνακα ελέγχου. Μπορεί επίσης να παρέχει πρόσθετες διευκολύνσεις διαχείρισης στη δυναμική τοπολογία των δικτύων οχημάτων [92]. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά του SDN δείχνουν ότι η ενσωμάτωσή του με άλλες αναπτυγμένες τεχνολογίες λογισμικού, όπως το VCC και το NFV (Network Function Virtualization), θα δημιουργήσει τις κατάλληλες προϋποθέσεις για την ανάπτυξη ευέλικτων δικτύων οδικών μεταφορών 5G, προκειμένου να ξεπεραστούν οι προκλήσεις κυκλοφορίας και κυκλοφοριακής συμμόρφωσης των σύγχρονων οχηματικών μοντέλων (Vehicular Models).

5.6 Διαδίκτυο οχημάτων

Το Διαδίκτυο Οχημάτων (Internet of Vehicles, IoV) είναι μια τεχνολογία που επιτρέπει την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των οχημάτων και των υποδομών του περιβάλλοντός τους μέσω ασύρματης επικοινωνίας [88]. Το IoV αντιπροσωπεύει έναν ολοκληρωμένο συνδυασμό οδικών συνθηκών και ασύρματου δικτύου οχημάτων. Η εφαρμογή του IoT θα επιτρέψει την εξέλιξη των σύγχρονων δικτύων VANET σε IoV. Οι κύριες πτυχές του IoV στοχεύουν στη συλλογή, τη διανομή, τη μεταφορά, τον υπολογισμό, τη διεκπεραίωση και την προστασία των λαμβανόμενων δεδομένων, με σκοπό την ενίσχυση των συστημάτων ITS. Η εφαρμογή του IoV θα θεμελιώσει τις προϋποθέσεις για νέες υπηρεσίες και εποπτεία στους οδηγούς, ενσωματώνοντας αισθητήρες, οχήματα, κέντρα επικοινωνίας και κινητά τηλέφωνα στο παγκόσμιο σύστημα [86].

Η χρήση νέων τεχνικών στα δίκτυα πέμπτης γενιάς, όπως η VCC, η προηγμένη επεξεργασία σήματος, το NFV και το SDN, μπορούν να παρέχουν αξιόπιστα συστήματα για την επίτευξη των περισσότερων απαιτήσεων ITS. Αυτά τα συστήματα, που θα αποτελέσουν τα ITS της επόμενης γενιάς, θα έχουν την ικανότητα βελτίωσης των λειτουργιών αντίληψης, της εσωτερικής δικτύωσης, του ελέγχου και της επεξεργασίας. Τα μελλοντικά ITS θα βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα των μεταφορών, θα μειώσουν τις συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης και θα έχουν τη δυνατότητα ελέγχου και πρόβλεψης των οδικών ατυχημάτων και των καταστάσεων έκτακτης ανάγκης.

Στην εικόνα 17 παρουσιάζονται τα τρία βασικά στοιχεία του δικτύου IoV (πελάτες, σύνδεση και νέφος) [95].



ΕΙΚΟΝΑ 17: Τα τρία βασικά στοιχεία του δικτύου IoV [95]

Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία μελέτησε τα αδόμητα δίκτυα και ειδικότερα τα φορητά αδόμητα δίκτυα MANET και τα αδόμητα δίκτυα οχημάτων VANET. Παρουσίασε τα κυριότερα χαρακτηριστικά του κάθε δικτύου και ακολούθως τα πρωτόκολλα δρομολόγησης δεδομένων. Εν τέλει ολοκληρώθηκε με την καταγραφή των σύγχρονων εξελίξεων στα δίκτυα αυτά και πως αυτά μπορούν να εξελιχθούν με την ανάπτυξη των δικτύων 5^{ης} γενεάς. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα εργασία μπορούν να συμπυκνωθούν στα παρακάτω σημεία.

- Τα αδόμητα φορητά δίκτυα MANET είναι εξ ορισμού συστήματα με δυναμικές δυνατότητες αναδιάρθρωσης, όσον αφορά την υποστήριξη της φορητότητας. Εξαιτίας έλλειψης υποδομής όμως σε ορισμένες περιπτώσεις μειώνεται η δυνατότητα αναδιάρθρωσης ώστε να υποστηρίξει την φορητότητα.
- Ένα δίκτυο MANET αποτελεί ένα σύνολο ασύρματων φορητών κόμβων, που επικοινωνούν μεταξύ τους χωρίς ενσωματωμένο έλεγχο. Οι ασύρματες συνδέσεις σε ένα τέτοιο σύστημα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες και μπορούν να διακόπτονται για μεγάλα χρονικά διαστήματα, λόγω της φορητότητας των κόμβων, της ύπαρξης εμποδίων και της έλλειψης υποδομής.
- Η δυναμική δρομολόγηση στα δίκτυα MANET αποτελεί αναγκαία συνθήκη ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη δυνατή συνδεσιμότητα, λόγω του δυναμικού περιβάλλοντος.
- Η επικοινωνία στα δίκτυα MANET γίνεται διαμέσου πολλαπλών αλμάτων (Multiple Hop) κατά τα οποία το πακέτο διέρχεται από πολλές συσκευές μέχρι να καταλήξει από την πηγή στον προορισμό.
- Η φορητότητα των δικτύων MANET είναι το κύριο πλεονέκτημά τους σε σχέση με τα δίκτυα με υποδομή. Έχουν όμως σειρά μειονεκτημάτων για αυτό και στην αγορά, σε εμπορική χρήση, έχουν επικρατήσει τα δίκτυα με υποδομή.
- Λόγω της φορητότητας τους, τα MANET είναι δίκτυα που χρησιμοποιούνται σε περιοχές οι οποίες είτε δεν έχουν τις απαραίτητες υποδομές (απομακρυσμένες περιοχές) είτε οι υποδομές τους έχουν καταστραφεί (μετά από μαζικές καταστροφές). Για αυτό τον λόγο βρίσκουν χρήση σε στρατιωτικές εφαρμογές, σε δίκτυα αισθητήρων, σε λειτουργίες διάσωσης, σε τοπικές εφαρμογές μικρής κλίμακας και σε διαδραστικά περιβάλλοντα όπως λόγου χάρη ένα εργασιακό περιβάλλον.
- Τα αδόμητα δίκτυα οχημάτων VANET αποτελούν υποκατηγορία των δικτύων MANET τα οποία χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σε εφαρμογές οχημάτων για την παροχή επικοινωνίας μεταξύ οχήματος και οτιδήποτε (V2X).
- Κυρίως οι χρήσεις τους διακρίνονται στην παροχή επικοινωνίας μεταξύ γειτονικών οχημάτων (V2V), και μεταξύ των οχημάτων και της σταθερής οδικής υποδομής (V2I).
- Το κυριότερο πλεονέκτημα των δικτύων VANET είναι η χρήση τους σε πολλές επικοινωνιακές εφαρμογές, χωρίς την ανάγκη τροποποίησης της υπάρχουσας υποδομής καθώς ήδη υπάρχει πλειονότητα αισθητήρων στα οχήματα οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο δίκτυο. Ταυτόχρονα τα σύγχρονα οχήματα φέρουν ήδη εξοπλισμό δικτύου και διάφορες άλλες τεχνολογικά προηγμένες συσκευές (οθόνες, κάμερες, ραντάρ, GPS) τα οποία μπορούν να αποτελέσουν πηγές ή προορισμούς σε ένα δίκτυο VANET.
- Τα δίκτυα VANET είναι εξαιρετικά δυναμικά δίκτυα κάτι που οφείλεται στην ταχύτητα κίνησης των κόμβων τους.
- Η επικοινωνία στα δίκτυα VANET γίνεται μέσω Πολλαπλών Αλμάτων (Multi Hop) αλλά, εξαιτίας της μεγάλης ταχύτητας των κόμβων του δικτύου, ο σχεδιασμός μιας αποτελεσματικής μεθόδου δρομολόγησης είναι εξαιρετικά δύσκολος.
- Οι σημαντικότερες διαφορές των δικτύων VANET από τα δίκτυα MANET είναι δύο. Η πρώτη αφορά στο ότι οι κόμβοι των δικτύων VANET κινούνται εντός καθορισμένων ορίων και διευθύνσεων, εντός των οδών. Η δεύτερη είναι ότι οι κόμβοι τους ενίοτε μπορούν να έχουν μεγάλη ταχύτητα και ενίοτε

μικρή, μπορεί σε κάποιες περιπτώσεις να είναι πολλοί στον αριθμό και σε κάποιες άλλες ελάχιστοι κάτι που τα καθιστά εξαιρετικά δυναμικά δίκτυα. Τα MANET είναι και αυτά δυναμικά δίκτυα η μεταβλητότητα όμως της θέσης των κόμβων είναι τυχαία και η μεταβλητότητα του αριθμού των κόμβων κατά την διάρκεια λειτουργίας είναι πολύ μικρότερη.

- Τα δίκτυα VANET, αν και τεχνολογικά πρόσφατα, βρίσκουν πολλές εφαρμογές στην αυτοκίνηση με κυριότερες τα συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας, τα συστήματα υποβοήθησης οδηγού, τα συστήματα ενίσχυσης όρασης, τα συστήματα ασφαλείας, τα συστήματα αυτόματης στάθμευσης και τα συστήματα άνεσης και διασκέδασης των επιβατών.
- Για την λειτουργία των δικτύων MANET έχουν αναπτυχθεί πολλά δυναμικά πρωτόκολλα δρομολόγησης δεδομένων. Διακρίνονται κυρίως σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες. Είναι τα προνοητικά πρωτόκολλα δρομολόγησης, τα πρωτόκολλα δρομολόγησης αντίδρασης ή κατ' απαίτηση, τα υβριδικά πρωτόκολλα δρομολόγησης και τα ιεραρχικά πρωτόκολλα δρομολόγησης. Κάθε κατηγορία έχει συγκεκριμένα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα που αφορούν τον φόρτο των κόμβων, το κόστος δρομολόγησης, τον χρόνο δρομολόγησης, την αξιοπιστία στην παράδοση των δεδομένων, την ασφάλεια και άλλα.
- Παρά την ύπαρξη τόσων πρωτοκόλλων η ανάπτυξη νέων πρωτοκόλλων είναι συνεχής και αυτό οφείλεται κυρίως στις πολλές προκλήσεις που υπάρχουν για την βελτίωση της επικοινωνίας μεταξύ των φορητών κόμβων. Έτσι συνεχώς αναπτύσσονται νέα πρωτόκολλα που στοχεύουν στην βελτίωση της ποιότητας εξυπηρέτησης QoS, στην βελτίωση της ασφάλειας, στην βελτίωση της απόδοσης που προκύπτει από την κινητικότητα των κόμβων και στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης ώστε να αυξάνεται η διάρκεια λειτουργίας του δικτύου (καθότι πολλές συσκευές λειτουργούν με συσσωρευτές και ο χρόνος χρήσης τους είναι δεδομένος).
- Αν και τα δίκτυα VANET αποτελούν υποκατηγορία των δικτύων MANET, τα πρωτόκολλα δρομολόγησης του δικτύου MANET, δεν μπορούν να λειτουργήσουν έτσι ώστε να παρέχουν την βέλτιστη απόδοση που απαιτείται σε ένα γρήγορα και έντονα μεταβαλλόμενο δίκτυο VANET.
- Λαμβάνοντας υπόψη τις δύο κύριες διαφορές μεταξύ δικτύων MANET και VANET, και ειδικότερα της κίνησης των κόμβων των δύο δικτύων, που έχουν αναφερθεί λίγο παραπάνω τα δυναμικά πρωτόκολλα δρομολόγησης των δικτύων VANET πρέπει αντιλαμβάνονται την εντός ορίων κίνηση των οχημάτων, την ταχύτητα κίνησης τους και τον αριθμό τους. Για τον λόγο αυτό αναπτύχθηκαν νέα πρωτόκολλα δρομολόγησης για τα δίκτυα VANET.
- Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που έχουν αναπτυχθεί για τα δίκτυα VANET είναι πολύ περισσότερα από αυτά των δικτύων MANET εξαιτίας των πολύ περισσότερων προκλήσεων που έχουν να αντιμετωπίσουν και η ιεράρχηση τους καθίσταται περιπλοκότερη. Εντούτοις μπορούν να διακριθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, στα πρωτόκολλα δρομολόγησης Geocast, στα πρωτόκολλα δρομολόγησης εκπομπής και στα πρωτόκολλα δρομολόγησης ομάδων.
- Παρά τον ήδη μεγάλο αριθμό πρωτοκόλλων δρομολόγησης των δικτύων VANET οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα δίκτυα αυτά είναι πολλές για αυτό και συνεχίζεται η παρουσίαση νέων πρωτοκόλλων. Τα νέα πρωτόκολλα στοχεύουν σε βελτίωση στοιχείων των δικτύων VANET όπως η γεωγραφική δρομολόγηση, η επεκτασιμότητα του δικτύου, η δημιουργία δικτύου βάσει οδικής αρτηρίας, η αύξηση της ποιότητας εξυπηρέτησης QoS και η μεγιστοποίηση της συνδεσιμότητας.
- Τα αδόμητα δίκτυα αποτελούν τεχνολογία αιχμής για αυτό και είναι ένα συνεχώς εξελιζόμενο πεδίο. Στο πλαίσιο αυτό η ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων πέμπτης γενιάς (5G), η υιοθέτηση των οποίων προβλέπεται να γίνει το 2020, πρόκειται να αντιμετωπίσει πολλά από τα υφιστάμενα ζητήματα των δικτύων WAN. Κάτι τέτοιο πρόκειται να επιφέρει αλλαγές και στα δίκτυα MANET και VANET καθώς θα περιορίσει τα μειονεκτηματά τους αυξάνοντας την συνδεσιμότητα, την δυνατότητα μεταφοράς μεγάλου όγκου δεδομένων και την ποιότητα εξυπηρέτησης.
- Πέραν της τεχνολογίας δικτύων πέμπτης γενιάς τα αδόμητα δίκτυα μπορούν να εκμεταλλευτούν και άλλες τεχνολογίες της υπολογιστικής επιστήμης οι οποίες επίσης συνεχώς αναπτύσσονται και δίνουν

νέες δυνατότητες. Τέτοιες τεχνολογίες είναι η Οχηματική Υπολογιστική Νέφος, η υπολογιστική ομίχλης και η καθοριζόμενη από λογισμικό δικτύωση.

- Τέλος, η ανάπτυξη του διαδικτύου των πραγμάτων IoT αναμένεται να οδηγήσει και στην εμφάνιση του διαδικτύου των οχημάτων IoV. Επί της ουσίας το IoT θα εξελίξει τα δίκτυα VANET σε IoV το οποίο πλέον είναι ένας ολοκληρωμένος συνδυασμός οδικών συνθηκών και ασύρματου δικτύου οχημάτων.
- Η κύρια λειτουργία ενός σύγχρονου IoT θα είναι η συλλογή, η διανομή, η μεταφορά, ο υπολογισμός, η διεκπεραίωση και η προστασία οποιονδήποτε λαμβανομένων δεδομένων στο όχημα έτσι ώστε να οδηγήσει στην βελτιστοποίηση των συστημάτων ευφυούς μεταφοράς ITS.

Βιβλιογραφία

- [1] Arab D. K. M. S. (2016) "Quality of service and security in future mobile technologies" PhD Thesis in Informatics Engineering, Universidade do Algarve <https://sapientia.ualg.pt/bitstream/10400.1/10831/1/Thesis%202-3-2016.pdf>
- [2] Verma N. & Soni S. (2017) "A Review of Different Routing Protocols in MANET" International Journal of Advanced Research in Computer Science, Vol.8, No3, pp: 338-342 <http://www.ijarcs.info/index.php/Ijarcs/article/viewFile/3010/2993>
- [3] Saini P., Rawat D. S., Rao D. K. & Alam J. (2015) "MOBILE AD HOC NETWORKING FOR PERVASIVE COMPUTING" Computing, Vol.1, No3, pp: 110-118 http://jtasr.com/data_pdf/2_dinesh%20kumar%20rao-2--sandy-2-Final.pdf
- [4] Grover D. & Saini S. (2015) "A Survey on Unicast Routing Protocols in Mobile Ad-Hoc Networks" International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering Research, Vol.5, No5, pp: 697-702 <https://pdfs.semanticscholar.org/7e5f/a1f229df4f83926efc171f69cff3e164419.pdf>
- [5] Eze E. C., Zhang S. J., Liu E. J. & Eze J. C. (2016) "Advances in vehicular ad-hoc networks (VANETs): Challenges and road-map for future development" International Journal of Automation and Computing, Vol.13, No1, pp: 1-18 <http://uobrep.openrepository.com/uobrep/bitstream/10547/622070/3/szhangadvancesinvehicularadhocnetworks.pdf>
- [6] Phouthone V. & Dong W. (2015) "Simulation based and analysis of routing protocols for vanet using vanetmobisim and NS-2" International Journal of Computer Engineering & Technology, Vol.6, Issue 9, pp: 32-41 <https://pdfs.semanticscholar.org/a1bb/ff4804eac594d4831d7c1473f8264cf4aabd.pdf>
- [7] Vats J., Tejpal G. & Sharma S. (2017) "Review of Various Routing Protocols in VANETs" International Journal of Advanced Research in Computer Science, Vol.8, No5, pp: 348-353 <http://www.ijarcs.info/index.php/Ijarcs/article/viewFile/3305/3337>
- [8] Harrabi S., Jaafar I. B. & Ghedira K. (2017) "Message dissemination in vehicular networks on the basis of agent technology" Wireless Personal Communications, Vol.96, Issue 4, pp: 6129-6146 <https://link.springer.com/article/10.1007/s11277-017-4467-x> (Ανακτήθηκε την 22ΙΑΝ2019)
- [9] Omar N., Yaakob N., Farook R. S., Husin Z., Zain A. S. M., Elshaikh M. & Halim A. H. A. (2018) "A Network Coding-Aware Directional Broadcast Routing Scheme for VANET" MATEC Web of Conferences, Vol.150, pp: 1-6 https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/09/mateconf_mucet2018_06012.pdf
- [10] Talib M. S., Hussin B. & Hassan A. (2017) "Converging VANET with Vehicular Cloud Networks to reduce the Traffic Congestions: A review" International Journal of Applied Engineering Research, Vol.12, No 21, pp: 10646-10654 <https://pdfs.semanticscholar.org/1474/5c868a0b958b1eb86c95c0452e7bbab5e621.pdf>
- [11] Xu W., Zhou H., Cheng N., Lyu F., Shi W., Chen J. & Shen X. (2018) "Internet of vehicles in big data era" IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, Vol.5, No 1, pp: 19-35 <http://bber.uwaterloo.ca/~xshen/paper/2017/ivbde.pdf>
- [12] Kumar R. (2017) "A comprehensive analysis of MAC protocols for MANET" IEEE 2017 International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer, and Optimization Techniques (ICEECCOT), pp: 56-58 <https://ieeexplore.ieee.org/document/8284553> (Ανακτήθηκε την 23ΙΑΝ2019)

- [13] U.S. Department of Transportation (2018) "FHWA White Paper On Mobile Ad Hoc Networks" Federal Highway Administration Research and Technology Coordinating, Developing, and Delivering Highway Transportation Innovations, Report <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/ear/18027/index.cfm>
- [14] Papaj J. & Dobos L. (2016) "Cooperation between trust and routing mechanisms for relay node selection in hybrid MANET-DTN" Hindawi Publishing Corporation, Mobile Information Systems, Vol.2016 <http://dx.doi.org/10.1155/2016/7353691>
- [15] Sarkar S. K., Basavaraju T. G. & Puttamadappa C. (2016) "Ad hoc mobile wireless networks: principles, protocols, and applications" CRC Press, 2nd Edition, ISBN: 9781466514478
- [16] Jisha G., Samuel P. & Paul V. (2016) "Role of gateways in MANET integration scenarios" Indian Journal of Science and Technology, Vol. 9, No 3, pp: 1-19 <http://www.indjst.org/index.php/indjst/article/viewFile/84263/67073>
- [17] Mathawan R. (2018) "7 ways AI is impacting the Automotive Industry" Techstory, Future Tech, AI <https://techstory.in/7-ways-ai-is-impacting-the-automotive-industry/> (Ανακτήθηκε την 27ΙΑΝ2019)
- [18] Tomar R., Prateek M. & Sastry G. H. (2016) "Vehicular Adhoc Network (VANET)-An Introduction" International Journal of Control Theory and Applications, Vol. 9, No 18, pp: 8883-8888 <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01496806/document>
- [19] Liang W., Li Z., Zhang H., Wang S. & Bie R. (2015) "Vehicular ad hoc networks: architectures, research issues, methodologies, challenges, and trends" International Journal of Distributed Sensor Networks, Vol. 11, No 8, pp: 1-11 <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1155/2015/745303> (Ανακτήθηκε την 27ΙΑΝ2019)
- [20] Abbasi I. & Shahid Khan A. (2018) "A review of vehicle to vehicle communication protocols for VANETs in the urban environment" Future Internet, Vol. 10, No 2, pp: 1-15 <https://www.mdpi.com/1999-5903/10/2/14> (Ανακτήθηκε την 27ΙΑΝ2019)
- [21] Gupta P. (2016) "A Literature Survey of MANET" International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Vol. 3, Issue 2, pp: 95-99 <https://www.irjet.net/archives/V3/i2/IRJET-V3I217.pdf>
- [22] Ilyas B. & Fedoua D. (2017) "A survey on the fundamental and advanced mobile ad hoc network routing protocols" International Journal of Systems, Control and Communications, Vol. 8, No 2, pp: 150-176 https://www.researchgate.net/profile/Ilyas_Bambrik/publication/316611701_A_survey_on_the_fundamental_and_advanced_mobile_ad_hoc_network_routing_protocols/links/59dcd1f6458515656b0333dec/A-survey-on-the-fundamental-and-advanced-mobile-ad-hoc-network-routing-protocols.pdf
- [23] Naaz S. (2014) "Routing in Vehicular Ad Hoc Network (VANET)" International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering https://www.researchgate.net/publication/316877390_Routing_in_Vehicular_Ad_Hoc_Network_VANET (Ανακτήθηκε την 29ΙΑΝ2019)
- [24] Wang Z., Chen Y. & Li C. (2014) "PSR: A lightweight proactive source routing protocol for mobile ad hoc networks" IEEE transactions on Vehicular Technology, Vol. 63, No 2, pp: 859-868 <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.444.3185&rep=rep1&type=pdf>
- [25] Madhu & Sarika (2015) "Performance Evaluation of AODV, DSR, OLSR Routing Protocol in Ad hoc Networks" International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR), Vol. 4, Issue 6, pp: 2040-2045 <http://ijsetr.org/wp-content/uploads/2015/06/IJSETR-VOL-4-ISSUE-6-2039-2045.pdf>

- [26] Chandrasekar C. (2013) "An enhanced flooding in fisheye state routing FSR protocol for Manet Grid using fuzzy and rough set approaches" Doctor of Philosophy in Computer Science, DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE, PERIYAR UNIVERSITY, TAMILNADU, INDIA <http://shodhganga.inflibnet.ac.in:8080/jspui/handle/10603/40505> (Ανακτήθηκε την 30ΙΑΝ2019)
- [27] Chaudhary K., Fehnker A. & Mehta V. (2017) "Modelling, verification, and comparative performance analysis of the BATMAN protocol" Models for Formal Analysis of Real Systems (MARS 2017), pp: 53–65, doi:10.4204/EPTCS.244.3 <https://arxiv.org/pdf/1703.06570.pdf>
- [28] Ramesh V. (2015) "Routing Protocol for Ad Hoc Network Based on Location Information" International Journal of Computer Science and Mobile Applications, Vol.3, Issue 5, pp: 9-14 <http://ijcsma.com/publications/may2015/V3I503.pdf>
- [29] N. Kumar & S. Kumar (2016) "Performance Comparison of AODV and DSR routing protocols in MANET: A study" Elsevier <https://pdfs.semanticscholar.org/b09c/3e507267fef312e81b2d828fac4f082b02db.pdf>
- [30] Roy A. & Deb T. (2018) "Performance Comparison of Mobile Ad-hoc Network Routing Protocol" Proceedings of the International Conference on Computing and Communication Systems, pp:33-48 https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-6890-4_4 (Ανακτήθηκε την 29ΙΑΝ2019)
- [31] Abdallah A. E., Abdallah E. E., Bsoul M. & Otoom A. F. (2016) "Randomized geographic-based routing with nearly guaranteed delivery for three-dimensional ad hoc network" International journal of distributed sensor networks, Vol. 12, No 10, pp: 1-11 <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1550147716671255>
- [32] Varshney A. & Maheshwari P. (2016) "Ad Hoc On-Demand Multipath Distance Vector Routing Protocol with Route Repair for MANET" International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS), Vol. 14, No. 8, pp: 244-251 https://www.academia.edu/29043562/Ad_Hoc_On-Demand_Multipath_Distance_Vector_Routing_Protocol_with_Route_Repair_for_MANET
- [33] Kavitha T. & Muthaiah R. (2017) "REVIEW ON LINK RE-ROUTE MECHANISMS IN MOBILE AD HOC NETWORKS" International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET), Vol. 8, Issue 8, pp: 400-405 http://www.iaeme.com/MasterAdmin/UploadFolder/IJMET_08_08_044/IJMET_08_08_044.pdf
- [34] Alshaer N. & El-Rabaie E. (2016) "A Survey on Ad Hoc Networks" https://www.researchgate.net/publication/310516691_A_Survey_on_Ad_Hoc_Networks (Ανακτήθηκε την 30ΙΑΝ2019)
- [35] Muneeswari S. & Venkatesan N. (2018) "An Efficient Routing and Security Based on CBZA Algorithm" International Journal of Engineering Research in Computer Science and Engineering (IJERCSE), Vol. 5, Issue 6, pp: 1-5 https://www.technoarete.org/common_abstract/pdf/IJERCSE/v5/i6/Ext_57968.pdf
- [36] Persis D. J. & Robert T. P. (2015) "Ant based multi-objective routing optimization in mobile ad-hoc network. Indian Journal of Science and Technology", Vol. 8, No 9, pp: 875-888 <http://www.indjst.org/index.php/indjst/article/viewFile/59369/54994> (Ανακτήθηκε την 31ΙΑΝ2019)
- [37] Sharma C. R., Suthar A. C. & Karkhanawala Y. (2016) "Energy constrained routing in MANET using ACO" INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATIVE RESEARCH IN TECHNOLOGY (IJIRT), Vol. 2, Issue 12, pp: 208-213 http://ijirt.org/master/publishedpaper/IJIRT143627_PAPER.pdf
- [38] Zade A. V. & Tugnayat R. M. (2015) "A HONEY BEE SWARM INTELLIGENCE ALGORITHM FOR COMMUNICATION NETWORKS" International Journal of Engineering Sciences & Research Technology (IJESRT), Vol. 4, Issue 1, pp: 644-647 <http://www.ijesrt.com/issues%20pdf%20file/Archives-2015/January->

2015/93_A%20HONEY%20BEE%20SWARM%20INTELLIGENCE%20ALGORITHM%20FOR%20COMMUNICATION%20NETWORKS.pdf

[39] Khanpara P. (2014) "A review on fuzzy logic based routing in ad hoc networks" International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET), Vol. 5, Issue 5, pp: 75-81 https://www.academia.edu/7323168/A_REVIEW_ON_FUZZY_LOGIC_BASED_ROUTING_IN_AD_HOC_NETWORKS (Ανακτήθηκε την 31ΙΑΝ2019)

[40] Samian N., Zukarnain Z. A., Seah W. K., Abdullah A. & Hanapi Z. M. (2015) "Cooperation stimulation mechanisms for wireless multihop networks: A survey" Journal of Network and Computer Applications, Vol. 54, pp: 88-106 https://ecs.victoria.ac.nz/foswiki/pub/Groups/WiNe/ResearchPublications/Submitted_Manuscript_-_Survey_Paper_JNCA_-_Normalia_et_al.pdf

[41] Krishnan M. M., Balachander T. & Rajasekar P. (2015) "Agent based trust estimation for mobile ad hoc network. Indian Journal of Science and Technology", Vol. 8(S9), pp: 223-227 <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.906.8767&rep=rep1&type=pdf>

[42] Prasath P. & Scholar P. G. (2016) "Detecting Selfish nodes in MANET using RecordTrust based- Detection with Collaborative Watchdog" International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol. 4, Issue 11, pp: 1-5 <https://www.ijert.org/research/detecting-selfish-nodes-in-manet-using-record-trust-based-detection-with-collaborative-watchdog-IJERTCONV4IS11024.pdf>

[43] Arya V. & Gandhi C. (2015) "Energy aware routing protocols for mobile ad hoc networks-a survey" International Journal of Information and Communication Technology (IJERT), Vol. 7, Issue 6, pp: 662-675 https://www.researchgate.net/publication/283745010_Energy_aware_routing_protocols_for_mobile_ad_hoc_networks-a_survey (Ανακτήθηκε την 01ΦΕΒ2019)

[44] Boujaada S., Qaraai Y., Agoujil S. & Hajar M. (2016) "Protector Control PC-AODV-BH in The Ad Hoc Networks" International Journal of Information Technology, Modeling and Computing (IJITMC), Vol. 4, No.2, pp: 1-15 <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1606/1606.02534.pdf>

[45] Alghamdi S. A. (2015) "Load balancing ad hoc on-demand multipath distance vector (LBAOMDV) routing protocol" EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, Vol. 1 <https://link.springer.com/article/10.1186/s13638-015-0453-8> (Ανακτήθηκε την 01ΦΕΒ2019)

[46] Aljumaily M. S. (2018) "Routing Protocols Performance in Mobile Ad-Hoc Networks Using Millimeter Wave" International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC) Vol.10, No.4, pp: 23-36 <http://aireconline.com/ijcnc/V10N4/10418cnc02.pdf>

[47] Boushaba A., Benabbou A., Benabbou R., Zahi A. & Oumsis M. (2015) "Multi-point relay selection strategies to reduce topology control traffic for OLSR protocol in MANETs" Journal of Network and Computer Applications, Vol. 53, pp: 91-102 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1084804515000636> (Ανακτήθηκε την 01ΦΕΒ2019)

[48] Ilyas B. & Fedoua D. (2015) "A Novel Proactive Routing Method for Mobile Ad Hoc Networks" American Journal of Applied Sciences, Vol. 12, No. 6, pp: 382-402 https://www.researchgate.net/profile/Ilyas_Bambrik/publication/282742197_A_Novel_Proactive_Routing_Method_for_Mobile_Ad_Hoc_Networks/links/56b0a15e08ae9c1968b83827.pdf

[49] Moussaoui A. & Boukeream A. (2015) "A survey of routing protocols based on link-stability in mobile ad hoc networks" Journal of Network and Computer Applications, Vol. 47, pp: 1-10 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1084804514002148> (Ανακτήθηκε την 01ΦΕΒ2019)

- [50] Alagiri I., Madhuviswanatham V. & VenkataKrishna P. (2014) "Efficient Data Transfer by Mobility Adjustment Algorithm for Clustered Mobile Ad-Hoc Networks" *Cybernetics and Information Technologies*, Vol. 14, No.2, pp: 50-64 <https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/cait.2014.14.issue-2/cait-2014-0019/cait-2014-0019.pdf>
- [51] Abbas N. I., Ilkan M. & Ozen E. (2015) "Fuzzy approach to improving route stability of the AODV routing protocol" *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, Vol. 1 <https://link.springer.com/article/10.1186/s13638-015-0464-5> (Ανακτήθηκε την 01ΦΕΒ2019)
- [52] Gin-Xian K. O. K., Chee-Onn C. H. O. W., Yi-Han X. U. & Ishii H. (2016) "Sensor-free route stability metric for mobile ad hoc networks" *Computer Networks*, Vol. 100, pp: 166-178 <http://isiarticles.com/bundles/Article/pre/pdf/70542.pdf>
- [53] Bambrik I. & Fedoua D. (2016) "A Mobility Aware Schema To Lower Packet Losses For Reactive Ad Hoc Routing Protocols" *Journal of Telematics and Informatics*, Vol. 4, No 1, pp: 1-11 <https://media.neliti.com/media/publications/92754-EN-a-mobility-aware-schema-to-lower-packet.pdf>
- [54] Moussaoui A., Semchedine F. & Boukerram A. (2014) "A link-state QoS routing protocol based on link stability for Mobile Ad hoc Networks" *Journal of Network and Computer Applications*, Vol. 39, pp: 117-125 <http://programstore.ir/wp-content/uploads/2018/03/A-link-state-QoS-routing-protocol-based-on-link-stability-for-Mobile-Ad.pdf>
- [55] Prabha R. & Ramaraj N. (2015) "An improved multipath MANET routing using link estimation and swarm intelligence" *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, Vol. 1 <https://link.springer.com/article/10.1186/s13638-015-0385-3> (Ανακτήθηκε την 01ΦΕΒ2019)
- [56] Dahiya M. (2017) "MANET's: Security Attacks and Securing Routing Protocols" *Advances in Wireless and Mobile Communications*, Vol. 10, No 4, pp: 693-697 https://www.ripublication.com/awmc17/awmfv10n4_16.pdf
- [57] Santhi K. & Parvathavarthini B. (2014) "PERFORMANCE ANALYSIS OF RANDOMIZED REVERSE AD HOC ON DEMAND DISTANCE VECTOR ROUTING PROTOCOL IN MANET" *Journal of Computer Science*, Vol. 10, No 11, pp: 1850-1858 <https://pdfs.semanticscholar.org/545f/77c698cf5ef16058b366ab89f95c7bfc550c.pdf>
- [58] Vedhavathy T. R. & Manikandan M. S. K. (2015) "A Novel Unique Node Based Clustering and Location-Key Pair Based Security for Wireless Networks" *Journal of Computer Science*, Vol. 11, No 3, pp: 534- 539 <https://thescipub.com/pdf/10.3844/jcssp.2015.534.539>
- [59] Qazi S., Raad R., Mu Y. & Susilo W. (2018) "Multirate DelPHI to secure multirate ad hoc networks against wormhole attacks" *Journal of Information Security and Applications*, Vol. 39, pp: 31-40 https://www.researchgate.net/profile/Shams_Qazi/publication/323570584_Multirate_DelPHI_to_secure_multirate_ad_hoc_networks_against_wormhole_attacks/links/5a9df39faca272cd09c22750/Multirate-DelPHI-to-secure-multirate-ad-hoc-networks-against-wormhole-attacks.pdf
- [60] Taleb A. A. (2018) "VANET Routing Protocols and Architectures: An Overview" *Journal of Computer Science*, Vol. 14, No 3, pp: 423-434 <https://thescipub.com/pdf/10.3844/jcssp.2018.423.434>
- [61] Houssaini Z. S., Zaimi I., Oumsis M. & Ouatik S. E. A. (2017) "Comparative Study of Routing Protocols Performance for Vehicular Ad-hoc Networks" *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol. 12, No 13, pp: 3867-3878 https://www.ripublication.com/ijaer17/ijaerv12n13_43.pdf
- [62] Gayathri N. and Kumar S. R. (2015) "Critical analysis of various routing protocols in VANET" *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, Vol. 5, Issue 9, pp: 619-623 http://ijarcsse.com/Before_August_2017/docs/papers/Volume_5_9_September2015/V5I9-0295.pdf

- [63] Farooq W., Khan M. A., Rehman S. & Saqib N. A. (2015) "A survey of multicast routing protocols for vehicular ad hoc networks" *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Vol. 11, No 8, ID: 923086 <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1155/2015/923086>
- [64] Boussoufa-Lahlah S., Semchedine F. & Bouallouche-Medjkoune L. (2015) "A position-based routing protocol for vehicular ad hoc networks in a city environment" *Procedia Computer Science*, Vol. 73, pp: 102-108 https://ac.els-cdn.com/S1877050915035152/1-s2.0-S1877050915035152-main.pdf?_tid=9aa54589-f627-49e1-b72d-52afc74462a0&acdnat=1549314800_ce2b17745dbc4e5ecec6686813ff9d4e2
- [65] Sabih ur Rehman (2016) "CONSTRAINT DRIVEN - MULTI OBJECTIVE CROSS-LAYER ROUTING PROTOCOLS FOR VANETS" Dissertation submitted in fulfilment of the requirements for the degree of DOCTOR OF PHILOSOPHY, School of Computing and Mathematics, Charles Sturt University <https://researchoutput.csu.edu.au/ws/portalfiles/portal/9317209/87484>
- [66] Malagar V. & Kumar M. (2017) "A Comparative Analysis of Routing Protocols in Vehicular Ad-Hoc Network" *International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering (IJARECE)*, Vol. 6, Issue 5, pp: 378-389 <http://ijarece.org/wp-content/uploads/2017/05/IJARECE-VOL-6-ISSUE-5-378-389.pdf>
- [67] Nere R. & Nagaraj U. (2015) "Scrutiny of Broadcasting Protocols in VANET" *International Journal of Grid Computing Application*, Vol. 4, No 3, pp: 13-25 <http://airece.org/journal/ijci/papers/4315ijci01.pdf>
- [68] Tabassum M. & Zen K. (2017) "Evaluation and Improvement of Data Availability in WSNs Cluster Base Routing Protocol" *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)*, Vol. 9, No 2-9, pp: 111-116 <http://journal.utem.edu.my/index.php/jtec/article/viewFile/2684/1733>
- [69] Khan Z. & Fan P. (2016) "A novel triple cluster based routing protocol (TCRP) for VANETS" 2016 IEEE 83rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring), pp: 1-5 https://www.researchgate.net/profile/Zahid_Khan64/publication/305027192_A_Novel_Triple_Cluster_Base_d_Routing_Protocol_TCRP_for_VANETS/links/5aa730e2a6fdccdc46a92f9/A-Novel-Triple-Cluster-Based-Routing-Protocol-TCRP-for-VANETS.pdf
- [70] Satyajeet D., Deshmukh A. R. & Dorle S. S. (2016) "Heterogeneous approaches for cluster based routing protocol in vehicular ad hoc network (vanet)" *International Journal of Computer Applications*, Vol. 134, No 12, pp: 1-8 <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.741.1100&rep=rep1&type=pdf>
- [71] Wahid I., Ikram A. A., Ahmad M., Ali S. & Ali A. (2018) "State of the art routing protocols in VANETS: A review" *Procedia Computer Science*, Vol. 130, pp: 689-694 https://www.researchgate.net/profile/Arshad_Ali50/publication/324742446_State_of_the_Art_Routing_Protocols_in_VANETS_A_Review/links/5b51c21ca6fdcc8dae301aa2/State-of-the-Art-Routing-Protocols-in-VANETS-A-Review.pdf
- [72] Hassan M. U., Karim S., Shah S. K., Abbas S., Yasin M., Shahzaib M. & Umair M. (2018) "A Comparative Study on Frequent Link Disconnection problems in VANETS" Vol. 5, Issue 7, pp: 1-6 <http://eudl.eu/doi/10.4108/eai.10-4-2018.154444>
- [73] Duduku V., Chekima V. A., Wong F. & Dargham J. A. (2015) "A Survey on Routing Protocols in Vehicular Ad Hoc Networks" *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, Vol. 3, Issue 12, pp:12071-12079 <https://pdfs.semanticscholar.org/5eab/bc2e85ce79c877350edbd73afa25afe25f00.pdf>

- [74] Stalin J., Rajesh R. S. & Arun Mozhi Selvi S. (2018) "A Survey on Topology and Geography based Routing Protocols in VANETs" *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol. 13, No 20, pp: 14813-14822 https://www.ripublication.com/ijaer18/ijaerv13n20_49.pdf
- [75] Al-Mayouf Y. R. B., Abdullah N. F., Mahdi O. A., Khan S., Ismail M., Guizani M. & Ahmed S. H. (2018) "Real-Time Intersection-Based Segment Aware Routing Algorithm for Urban Vehicular Networks" *IEEE Transactions on Nuclear Science* <http://1eroreprojects.com/ns2basepapers/Real-Time%20Intersection-based%20Segment%20Aware%20Routing%20Algorithm%20for%20Urban%20Vehicular%20Networks.pdf>
- [76] Jebaseeli Samuelraj A. & Jayapal S. (2015) "Efficient mobility management signalling in network mobility supported pmIPv6" *The Scientific World Journal*, Vol. 2015, pp: 1-14 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4553189/pdf/TSWJ2015-539394.pdf>
- [77] Tanida M. & Wugofski D. (2017) "Clustering-based Scalable Evolving Graphs for Vehicular Ad Hoc Networks" CS224W 2017 Project Final Report <http://snap.stanford.edu/class/cs224w-2017/projects/cs224w-45-final.pdf>
- [78] Zhang H., Wang X., Memarmoshrefi P. & Hogrefe D. (2017) "A Survey of Ant Colony Optimization Based Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks" *IEEE Access*, Vol. 5, pp: 24139-24161 <https://goedoc.uni-goettingen.de/bitstream/handle/1/14991/08066299.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [79] Mahiddin N. A. & Sarkar N. I. (2016) "Improving the Performance of MANET Gateway Selection Scheme for Disaster Recovery" *IEEE 18th International Conference on High Performance Computing and Communications, IEEE 14th International Conference on Smart City, IEEE 2nd International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS)*, pp: 907-912 <http://aut.researchgateway.ac.nz/bitstream/handle/10292/10287/Updated%20Aida%20paper%20conferences%20Hpcc%202016.pdf?sequence=7>
- [80] Ministeri G. (2016) "Internet of things and vehicles in the context of 5G" *Scuola di Dottorato in Ingegneria dell'Informazione, Indirizzo in Scienza e Tecnologia dell'Informazione, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, UNIVERSIT A DI PADOVA* <http://paduaresearch.cab.unipd.it/9557/>
- [81] Mitra R. N. & Agrawal D. P. (2015) "5G mobile technology: A survey" *ICT Express*, Vol. 1, Issue 3, pp: 132-137 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959515300503> (Ανακρίθηκε την 08ΦΕΒ2019)
- [82] Ghebleh R. & Ghaffari A. (2018) "A comprehensive survey on 5G: The prospect of future communications" *Journal of Network and Computer Applications*, Vol. 94, pp: 1-32 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1084804517302291> (Ανακρίθηκε την 08ΦΕΒ2019)
- [83] Ge X., Li Z. & Li S. (2017) "5G software defined vehicular networks" *IEEE Communications Magazine*, Vol. 55, No 7, pp: 87-93 <https://arxiv.org/pdf/1702.03675.pdf>
- [84] Kobo H. I., Abu-Mahfouz A. M. & Hancke G. P. (2017) "A Survey on Software-Defined Wireless Sensor Networks: Challenges and Design Requirements" *IEEE Access*, Vol. 5, No 1, pp: 1872-1899 https://repository.up.ac.za/bitstream/handle/2263/60161/Kobo_Survey_2017.pdf?sequence=3
- [85] Shrestha R., Bajracharya R. & Nam S. Y. (2018) "Challenges of Future VANET and Cloud-Based Approaches" *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2018. https://scholar.google.com/scholar_url?url=http://downloads.hindawi.com/journals/wcmc/2018/5603518.pdf&hl=en&sa=T&oi=gsb-gga&ct=res&cd=0&d=14931843402057893683&ei=jIZcXIapJJXkmAHYubKgDg&scisig=AAGBfm1xDCXawXUz0fCM5swgRsdY0cuwGg

[86] Chaqfeh M., Mohamed N., Jawhar I. & Wu J. (2016) "Vehicular cloud data collection for intelligent transportation systems" IEEE 3rd Smart cloud networks & systems (SCNS), pp: 1-6 <https://ieeexplore.ieee.org/document/7870555> (Ανακτήθηκε την 08ΦΕΒ2019)

[87] Soy Turk M., Muhammad K. N., Avcil M. N., Kantarci B. & Matthews J. (2016) "From vehicular networks to vehicular clouds in smart cities" Smart Cities and Homes, pp: 149-171 https://www.researchgate.net/profile/Mujdat_Soyturk/publication/303002818_From_Vehicular_Networks_to_Vehicular_Clouds_in_Smart_Cities/links/59dfd7ecaca272386b633ce7/From-Vehicular-Networks-to-Vehicular-Clouds-in-Smart-Cities.pdf

[88] Contreras-Castillo J., Zeadally S. & Guerrero-Ibañez J. A. (2018) "Internet of vehicles: Architecture, protocols, and security" IEEE Internet of Things Journal, Vol. 5, Issue 5, pp: 3701-3709 https://www.researchgate.net/publication/315971071_Internet_of_Vehicles_Architecture_Protocols_and_Security (Ανακτήθηκε την 10ΦΕΒ2019)

[89] Fernández-Ares A. J., Mora A. M., Odeh S. M., García-Sánchez P. & Arenas M. G. (2017) "Wireless monitoring and tracking system for vehicles: A study case in an urban scenario" Simulation Modelling Practice and Theory, Vol. 73, pp: 22-42 https://www.researchgate.net/publication/310783475_Wireless_monitoring_and_tracking_system_for_vehicles_A_study_case_in_an_urban_scenario

[90] Kai K., Cong W. & Tao L. (2016) "Fog computing for vehicular ad-hoc networks: paradigms, scenarios, and issues" The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, Vol. 23, No 2, pp: 56-96 <http://jcupt.bupt.edu.cn/fileup/PDF/2015wz-086.pdf>

[91] Gupta M. (2017) "Fog Computing Pushing Intelligence to the Edge" International Journal of Science Technology & Engineering (IJSTE), Vol. 3, Issue 8, pp: 42-46 <https://pdfs.semanticscholar.org/dfda/1b0137384c4edb7ac2e4c4b3dd9b6bfb38cf.pdf>

[92] Yaqoob I., Ahmad I., Ahmed E., Gani A., Imran M. & Guizani N. (2017) "Overcoming the key challenges to establishing vehicular communication: Is SDN the answer?" IEEE Communications Magazine, Vol. 55, No 7, pp: 128-134 <https://www.semanticscholar.org/paper/Overcoming-the-Key-Challenges-to-Establishing-Is-Yaqoob-Ahmad/3c5b5a31daef55e49985157bb6e334b58a7a25b7> (Ανακτήθηκε την 11ΦΕΒ2019)

[93] Truong N. B., Lee G. M. & Ghamri-Doudane Y. (2015) "Software defined networking-based vehicular adhoc network with fog computing" 2015 IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM), pp: 1202-1207 https://www.researchgate.net/profile/Truong17/publication/283466671_Software_defined_networking-based_vehicular_Adhoc_Network_with_Fog_Computing/links/56fbc4e308ae8239f6dc3cf8/Software-defined-networking-based-vehicular-Adhoc-Network-with-Fog-Computing.pdf

[94] Chahal M., Harit S., Mishra K. K., Sangaiah A. K. & Zheng Z. (2017) "A survey on software-defined networking in vehicular ad hoc networks: Challenges, applications and use cases" Sustainable cities and society, Vol. 35, pp: 830-840 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221067071730361X>

[95] Kaiwartya O., Abdullah A. H., Cao Y., Altameem A., Prasad M., Lin C. T. & Liu X. (2016) "Internet of vehicles: Motivation, layered architecture, network model, challenges, and future aspects" IEEE Access, Vol. 4, pp: 5356-5373 <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7562526>

[96] Sampada G. D., Taha A. (2015) "Mobile Ad-Hoc Networks Its Advantages and Challenges" International Journal of Electrical and Electronics Research, Vol. 3, Issue 2, pp: 491-496. https://www.google.com/url?sa=t&ret=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwj_7KuQqo3jAhVEI1AKHUF6BrsQFjAAegQIBRAC&url=http%3A%2F%2Fwww.researchpublish.com%2Fdownload.php%2F

Αλλαγή κωδικού πεδίου

3file%3DMobile%2520Ad-Hoc%2520Networks%2520Its%2520Advantages%2520and%2520Challenges-1736.pdf%26act%3Dbook&usg=A0vVaw2fosf1Nw8rZoVrXDfDTXjh.

[97] Kamini K., Kumar R. (2010) "VANET Parameters and Applications: A Review" Global Journal of Computer Science and Technology (GJCST), Vol. 10, Issue 7, pp 72-77. https://globaljournals.org/GJCST_Volume10/12-VANET-Parameters-and-Applications-A-Review.pdf

[98] Kumar V., Mishra S., Chand N. (2013) "Applications of VANETs: Present & Future" Communication and Network, Vol.5, pp 12-15. https://www.researchgate.net/publication/260459800_Applications_of_VANETs_Present_future.

[99] Spaho E., Ikeda M., Barolli E., Xhafa F., 2013, "Performance Comparison of OLSR and AODV protocols in VANET Crossroad Scenario", Lecture Notes in Electrical Engineering (LNEE), Vol. 253, pp 37-45. https://www.researchgate.net/publication/290328165_Performance_comparison_of_OLSR_and_AODV_protocols_in_a_VANET_crossroad_scenario.

[100] Paul B., Roy A., Islam M. J. (2014) "Comparison of DSR, AODV, and DSDV Routing Protocols with varying pause time & node density over TCP & CBR Connections in VANET", IEEE. <http://www.open-science-repository.com/computer-and-information-sciences-23050469.html>.

[101] Husain A., Sharma S. C. (2015) "Simulated Analysis of Location and Distance Based Routing in VANET with IEEE802.11p" Procedia Computer Science Vol. 57, pp 323-331. <https://core.ac.uk/download/pdf/82815277.pdf>.