



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

« Μελέτη επίδοσης δικτύων οχημάτων »

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

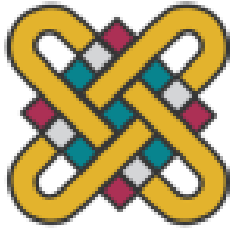
Τσαουσίδα Στυλιανού

(ΑΕΜ: 2748)

Επιβλέπων : Δημήτριος Βέργαδος
Επίκουρος Καθηγητής

Καστοριά Σεπτέμβριος 2022

Η παρούσα σελίδα σκοπίμως παραμένει λευκή



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

«Μελέτη επίδοσης δικτύων οχημάτων.»

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Τσαουσίδης Στυλιανός

(ΑΕΜ: 2748)

Επιβλέπων : Βέργαδος Δημήτριος
Επίκουρος Καθηγητής

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την

.....
Δημήτριος Βέργαδος
Επίκουρος Καθηγητής

.....
Νικόλαος Δημόκας
Επίκουρος Καθηγητής

.....
Σπυρίδων Νικολάου
Λέκτορας

Καστοριά Σεπτέμβριος 2022

Copyright © 2021 – Τσαουσίδης Στυλιανός

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν αποκλειστικά τον συγγραφέα και δεν αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας.

Ως συγγραφέας της παρούσας εργασίας δηλώνω πως η παρούσα εργασία δεν αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και δεν περιέχει υλικό από μη αναφερόμενες πηγές.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την στήριξη της, καθώς και τους καθηγητές μου για την προσφορά τους στην ανάπτυξη μου ως φοιτητή αλλά και ως άνθρωπο κατά την διάρκεια του προπτυχιακού κύκλου σπουδών μου.

Περίληψη

Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας να είναι ακμάζουσα τα τελευταία χρόνια έχουμε δημιουργήσει την τεχνολογία των δικτύων οχημάτων. Η συγκεκριμένη τεχνολογία αναπτύσσεται με γοργούς ρυθμούς καθώς η επέκταση της μπορεί να βοηθήσει τον άνθρωπο σε πολλές πτυχές της ζωής του.

Με βάση την ανάπτυξη τη συγκεκριμένης τεχνολογίας στην παρούσα έρευνα γίνεται μία αναλυτική εισαγωγή στην συγκεκριμένη τεχνολογία. Αναλύεται σε βάθος το θεωρητικό υπόβαθρο της λειτουργίας της, ενώ ταυτοχρόνως γίνεται μεγάλη αναφορά στα πρωτόκολλα που την καθιστούν ικανή να υπάρχει και να μελετάται.

Αναλύεται επίσης το φυσικό επίπεδο εφαρμογών, τα πρωτόκολλα IEEE 802.11 και σχετικά τεχνολογίες όπως το 3GPP-LTE και το 5G.

Τέλος δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στην παρουσίαση εργαλείων προσομοίωσης, και, εν συνεχεία σε μία προσομοίωση η οποία έχει ως στόχο την ανάλυση της μετάδοσης ενός βίντεο σε ένα πρωτότυπο δίκτυο οχημάτων. Αφού παρουσιάζονται σε βάθος οι κώδικες που την απαρτίζουν δημιουργούνται τα κατάλληλα αποτελέσματα ώστε να γίνει η ανάλυση της μετάδοσης στο δίκτυο και βάσει αυτής να φτάσουμε σε κάποια συμπεράσματα τα οποία θα είναι ικανά να βοηθήσουν ιδιαίτερος σε μελλοντικές έρευνες.

Λέξεις Κλειδιά: VANETS, AODV, OLSR, DSR, DSDV, IEEE, SUMO, NS3, EVALVID

Abstract

With the development of technology being thriving in recent years we have created the technology of adhoc vehicular networks. The rapid development of this technology can help man in many aspects of his life.

Based on the development of this technology in this research, an analytical introduction is made to this technology. The theoretical background of its operation is analyzed in depth, whilst at the same there are great references taking place towards the protocols that make it capable of existing and being studied.

It also analyzes the physical level of applications (MAC-PHY level), IEEE 802.11 protocols and new technologies such as 3GPP-LTE and 5G. Finally, special emphasis is given to the presentation of simulation tools, and then to a simulation which aims to analyze the transmission of a video in an adhoc vehicular network.

After the analyzation of the source codes for the simulation is presented in depth, the results of it are created in order for them to be analyzed. Analyzing them can give as an in depth approach to the video transmission over the vehicular network that we have created. After careful analyzation of these results we are able to reach some conclusions which could be vital for future research in the field.

Key Words: VANETS, AODV, OLSR, DSR, DSDV, IEEE, SUMO, NS3, EVALVID

Πίνακας Περιεχομένων

Εισαγωγή.....	1
1. Vehicular Ad-Hoc Networks (VANETs).....	2
1.1 Εισαγωγή στα VANETs	2
1.2 Αρχιτεκτονική των VANETs	3
1.3 Χαρακτηριστικά των VANETs	4
1.4 Επικοινωνία Vehicle to Everything (V2X)	6
1.4.1 Vehicle to Vehicle (V2V)	7
1.4.2 Vehicle to Infrastructure (V2I)	9
1.4.3 Vehicle to Cloud (V2C)	13
1.5 Εφαρμογές των VANETs	16
1.6 Ασφάλεια στα VANETs	19
2. Πρωτόκολλα δρομολόγησης στα VANETs.....	22
2.1 Reactive (On Demand) δρομολόγηση	23
2.2 Proactive (Table Driven) δρομολόγηση	23
2.3 Υβριδική δρομολόγηση	23
2.4 Περισσότεροι τρόποι δρομολόγησης	24
2.5 Περιγραφή συγκεκριμένων πρωτοκόλλων	26
2.5.1 Destination Sequenced Distance Vector, DSDV	26
2.5.2 Optimized Link Stat Routing, OLSR	27
2.5.3 Ad-hoc on Demand Distance Vector routing, AODV	27
2.5.4 Ad-hoc on Demand Multipath Distance Vector, AOMDV	28
2.5.5 Dynamic Source Routing, DSR	29
2.5.6 Location Aided Routing, LAR	29
2.5.7 Greedy Perimeter Stateless Routing, GPSR	30
2.5.8 Greedy Perimeter Coordinator Routing, GPCR	30
3. Το επίπεδο MAC-PHY στα VANETs.....	31
3.1 Η οικογένεια πρωτοκόλλων IEEE 802.11	31
3.1.1 802.11 Legacy	32
3.1.2 802.11b	32
3.1.3 802.11a	33
3.1.4 802.11g	33
3.1.5 802.11n	33

3.2	Το φυσικό επίπεδο	34
3.3	Το MAC επίπεδο	34
3.4	Το IEEE 1609 (WAVE)	36
3.5	Το IEEE 802.11p	37
3.6	Το IEEE 802.11p MAC πρωτόκολλο	37
3.7	Η περίπτωση του 3GPP-LTE στα VANETs	38
3.8	Η περίπτωση του 5G στα VANETs	39
3.8.1	Δομικά στοιχεία του 5G	40
3.8.2	Το 5G στα VANETs	41
4.	Εργαλεία προσομοιώσεων	42
4.1	Network Simulator 3 (NS.3)	42
4.2	Simulation of Urban Mobility (SUMO)	43
4.3	NetAnim (A Video Quality Evaluation Tool-set)	43
4.4	Evalvid	43
4.5	Gnuplot	43
5.	Προσομοίωση και αποτελέσματα	44
5.1	Σκοπός τη προσομοίωσης	44
5.2	Σενάριο προσομοίωσης	45
5.2.1	Δημιουργία τοπολογίας βάσει πραγματικού χάρτη	45
5.2.2	Δημιουργία τοπολογίας δικτύου βάσει trace.xml	47
5.2.3	Αποτελέσματα προσομοίωσης τοπολογία δικτύου	51
5.2.4	Επιλογή πρωτοκόλλου και προσομοίωση με Evalvid	54
5.3	Αποτελέσματα	59
5.4	Προβλήματα κατά την εκτέλεση σεναρίων	63
	Συμπεράσματα	64
	Βιβλιογραφία	65

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1 : Επικοινωνιακά επίπεδα VANET	3
Εικόνα 2: Δίκτυο Οχημάτων Ad-Hoc.....	4
Εικόνα 3 : Παράδειγμα V2V επικοινωνίας.....	7
Εικόνα 4 : Παράδειγμα EEBL.....	9
Εικόνα 5 : Μοντέλο επικοινωνίας V2I	10
Εικόνα 6 : Παράδειγμα λειτουργία RSU – OBE σε V2I.....	11
Εικόνα 7 : Υβριδικό VANET Cloud	15
Εικόνα 8 : Διόδια Μαλαγάρων.....	18
Εικόνα 9 : Πρωτόκολλα δρομολόγησης VANET.....	22
Εικόνα 10 : Παράδειγμα τύπου και πρωτοκόλλου δρομολόγησης.....	26
Εικόνα 11 : Πρωτόκολλο AODV	27
Εικόνα 12 : Πρωτόκολλο AOMDV	28
Εικόνα 13 : Κάποια από τα πρωτόκολλα 802.11	32
Εικόνα 14 : Το πρωτόκολλο IEEE 1609 (.1-.4)	36
Εικόνα 15 : Beaconsing στο 3GPP-LTE.....	39
Εικόνα 16 : Χάρτης Κατερίνης στο osmWebwizard.....	46
Εικόνα 17 : Αποτέλεσμα δημιουργίας trace.....	47
Εικόνα 18 : Εισαγωγή στον κώδικα Vanet-Routing-Compare	48
Εικόνα 19 : Εισαγωγή Evalvid στο Vanet-Routing-Compare	49
Εικόνα 20 : Σενάριο πραγματοποίησης Vanet-Routing-Compare.....	50
Εικόνα 21 : Receive Rate μετάδοσης για τα πρωτόκολλα.....	51
Εικόνα 22 : Πακέτα που έχουν ληφθεί κατά την προσομοίωση	52
Εικόνα 23 : MAC/PHY Overhead προσομοίωσης	52
Εικόνα 24 : Script για την δημιουργία των σχηματικών.....	53
Εικόνα 25 : Δήλωση και αρχικοποίηση μεταβλητών wave-simple-80211p-evalvid	55
Εικόνα 26 : Βοηθεί, λειτουργία στο φυσικό επίπεδο και αρχεία pcap.....	56

Εικόνα 27 : Tracing και τύποι λειτουργίας προσομοίωσης.....	56
Εικόνα 28 : Ρουτίνες για τη μετάδοση βίντεο	57
Εικόνα 29 : Πεδίο δηλώσεων μεταβλητών Adhoc.....	58
Εικόνα 30 : Εισαγωγή Adhoc στον κώδικα	59
Εικόνα 31 : Script απόδοσης αποτελεσμάτων προσομοίωσης	60
Εικόνα 32 : Sender Dump Simple 802.11p.....	60
Εικόνα 33 : Received Dump Simple 802.11p	61
Εικόνα 34 : Sender Dump Adhoc	62
Εικόνα 35 : Received Dump Adhoc	62

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1 : Αντιστοιχία αρίθμησης με πρωτόκολλο	50
---	----

Εισαγωγή

Η εξέλιξη της τεχνολογία στον τομέα των δικτύων συνεχώς φέρνει στην επιφάνεια νέες τεχνολογίες. Μία από αυτές είναι τα VANETS. Στην παρούσα μελέτη θα γίνει μία εκτενής θεωρητική ανάλυση της συγκεκριμένης τεχνολογίας.

Ξεκινώντας με μία εισαγωγή στα βασικά σημεία των VANETS, αναλύοντας τι είναι αυτά, ποια είναι η αρχιτεκτονική τους, ποια είναι τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και γνωρίσματα τους. Πως γίνεται η επικοινωνία μεταξύ οχημάτων, συστημάτων εκτός δρόμου και πολλών άλλων ειδικών περιπτώσεων.

Έπειτα θα γίνει ανάλυση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης της συγκεκριμένης τεχνολογίας. Θα εντυπώσουμε και στα τρία είδη των πρωτοκόλλων αυτών, ενώ σε μερικά θα γίνει ιδιαίτερη ανάλυση καθώς θα μας απασχολήσουν ιδιαίτερα στην συνέχεια ανάγνωσης της μελέτης.

Συνεχίζοντας θα ξεκινήσει μία ανάλυση από το επίπεδο MAC-PHY, και, αφού μαζί με αυτό γνωρίσουμε την οικογένεια των πρωτοκόλλων IEEE 802.11, θα γίνει μία ιδιαίτερη αναφορά στην τεχνολογία 3GPP-LTE και 5G. Ταυτοχρόνως θα παρουσιαστεί η σχέση των τεχνολογιών αυτών με τα VANETS.

Επιπροσθέτως θα γίνει μία παρουσίαση διαφόρων εργαλείων που χρησιμοποιούνται κατά την εκπόνηση μελετών σαν τη συγκεκριμένη αφού στη συνέχεια θα ρίξουμε μία ματιά σε κάποια ιδιαίτερα σενάρια προσομοίωσης. Τα σενάρια αυτά έχουν μία λογική πορεία κατά την οποία θα αναλυθεί ο τρόπος μελέτης και προετοιμασίας για την δημιουργία μιας προσομοίωσης με πραγματικούς παράγοντας πάνω στο αντικείμενο. Εν συνεχεία θα γίνει εκτενής αναφορά σε διάφορους κώδικες που χρησιμοποιήθηκαν, πρωτόκολλα που εκτελέσαμε και πως αυτά οδήγησαν σε συγκεκριμένα συμπεράσματα και τέλος θα παρουσιαστεί μία συγκεκριμένη προσομοίωση.

Η τελική προσομοίωση θα έχει να κάνει με την μετάδοση ενός βίντεο σε ένα δίκτυο οχημάτων με δύο διαφορετικούς τρόπους. Θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα αυτής και θα γίνει ανάλυση αυτών η οποία θα μας οδηγήσει σε κάποια ενδιαφέρον συμπεράσματα.

1. Vehicular Ad-Hoc Networks (VANETs)

1.1 Εισαγωγή στα VANETs

Η χρήση ενός οχήματος έχει γίνει καθημερινή ανάγκη για κάθε άνθρωπο. Είναι δεδομένο πλέον ότι η κάθε οικογένεια σε οποιοδήποτε μέρος του κόσμου διαθέτει τουλάχιστον ένα όχημα για τις καθημερινές της ανάγκες. Αυτή η κατάσταση δημιουργεί μία αυξητική τάση στην κυκλοφοριακή συμφόρηση σε πολλές περιοχές και κυρίως τα αστικά κέντρα. Επιπροσθέτως δημιουργείται και μία αύξηση στον μέσο όρο τροχαίων, καθώς η αυξημένη κίνηση συνεπάγεται μεγαλύτερες πιθανότητες πρόκλησης τροχαίων. (Lim et al., 2017)

Στην Ελλάδα το 2019, σύμφωνα με έρευνα της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛΣΤΑΤ), υπήρξαν 10.712 ατυχήματα από τα οποία 5.682 λάβαν χώρα στην Αττική, ποσοστό που ξεπερνά το 50%. Το μεγαλύτερο μέρος των ατυχημάτων στο δρόμο συνήθως είναι αποτέλεσμα ανθρωπίνου λάθους, όπως εν παραδείγματι μία στιγμή απροσεξίας, κακή σωματική κατάσταση, απειρία οδηγού, κατανάλωση αλκοόλ κλπ. ((ΕΛΣΤΑΤ), 2021)

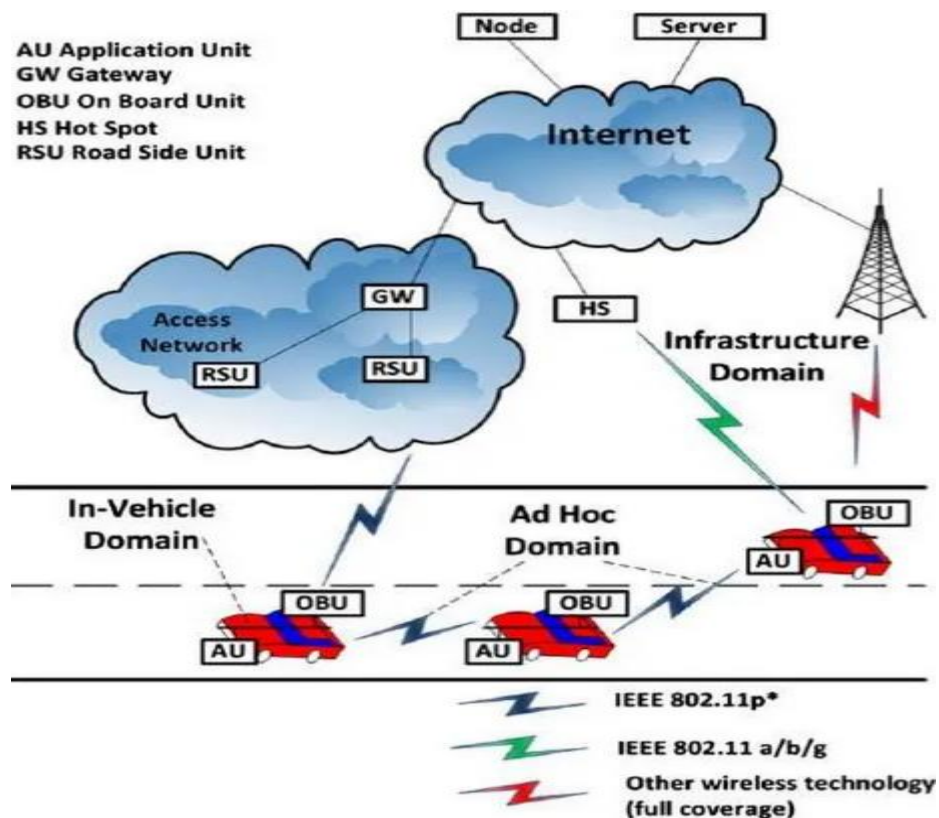
Δεν μπορούμε να αρνηθούμε σε καμία περίπτωση πως η κατάσταση του οδηγού κατά την διάρκεια οδήγησης, ειδικότερα όταν αυτή είναι κακή μπορεί να προκαλέσει αυξημένη κυκλοφοριακή συμφόρηση. Τις τελευταίες δεκαετίες το συγκεκριμένο θέμα παράλληλα με το θέμα της ασφαλούς οδήγησης αποτελούν ένα πολύ θερμό θέμα συζήτησης. Οι λύσεις που δίνονται από πολλούς ερευνητές και επιστήμονες ποικίλουν. Μία αρκετά επικρατούσα λύση αποτελούν τα οδικά ad-hoc δίκτυα (VANETs), με τα οποία πραγματοποιείται μία προσπάθεια να γίνουν τα οχήματα πιο “έξυπνα”, προκειμένου να αντιδρούν αυτόματα και αυτόνομα ενάντια σε κάθε περίπτωση. (Lim et al., 2017)

Τα VANETs είναι βασισμένα στις αρχές των Mobile Ad-Hoc Networks (MANETs), δημιουργούν δηλαδή αυτόνομα δίκτυα είτε μεταξύ οχημάτων, είτε μεταξύ οχημάτων και υπόλοιπων βιομηχανικών προϊόντων, προκειμένου να αυξήσουν την ασφάλεια κατά τη διάρκεια της οδήγησης και να αποτελέσουν τη λύση σε προβλήματα κυκλοφοριακής συμφόρησης. Επιπλέον με τη χρήση των VANETs μπορούμε να συλλέξουμε και να διαχειριστούμε διάφορα σημαντικά δεδομένα, με την χρήση των οποίων δίνεται η δυνατότητα να στέλνονται σε οδηγούς, ή σε αυτόνομα οχήματα του δικτύου πολλές ειδοποιήσεις και συναγερμοί ώστε να αυξηθεί έτσι η γενική οδική ασφάλεια. Τα VANETs αποτελούν μία έξυπνη προσέγγιση στα “έξυπνα” δίκτυα μεταφορών (Intelligent Transportation Systems – ITS), όπου τα οχήματα απαρτίζουν ένα σύστημα ασύρματης επικοινωνίας μικρής και μεσαίας εμβέλειας με τη δυνατότητα συλλογής και επεξεργασίας συμβάντων του δρόμου, ενώ ταυτόχρονα η μελέτη των VANETs δεν παύει να εμπεριέχει διάφορες δυσκολίες λόγω της υψηλής κινητικής τάσης των διάφορων οχημάτων. (Dixit et al., 2017)

1.2 Αρχιτεκτονική των VANETs

Στα Vanets η επικοινωνία μεταξύ οχημάτων (Vehicle to Vehicle – V2V), καθώς και η επικοινωνία με τη “μονάδα δρόμου” (Road Side Unit – RSU), κατορθώνονται με τη χρήση της ασύρματης τεχνολογίας WAVE (Wireless Access in the Vehicular Environment). Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική βασίζεται κατά κόρον στο IEEE 802.11 standard πρωτόκολλο και χρησιμοποιείται σε συστήματα - εφαρμογές “έξυπνων” μεταφορών, ως προς την επικοινωνία μεταξύ αυτοκινούμενων οχημάτων, είτε με την τεχνολογία V2V (Vehicle to Vehicle), είτε με την V2I (Vehicle to Infrastructure). Με το τρόπο αυτό γίνεται μία προσπάθεια για να υπάρξει περισσότερη ασφάλεια, πιο ιδιαίτερη εμπειρία οδήγησης για τον οδηγό – επιβάτη. Τα VANETs αποτελούνται από μονάδα εφαρμογής (Application Unit - AU), την μονάδα που βρίσκεται πάνω στο όχημα (On-Board Unit - OBU), και, τη μονάδα δρόμου (Road Side Unit - RSU). Η αρχιτεκτονική ενός VANET θα μπορούσαμε να πούμε ότι θα μπορούσε να καταταχθεί σε μία από τις εξής κατηγορίες :

- Αμιγώς αδόμητο ίδιο-οργανωμένο δίκτυο (Ad-Hoc).
- Αμιγώς κυψελωτό ή μέσω WLAN (Ασύρματο δίκτυο).
- Υβριδικό δίκτυο όπου έχουν συνδυαστεί οι δύο παραπάνω αρχιτεκτονικές



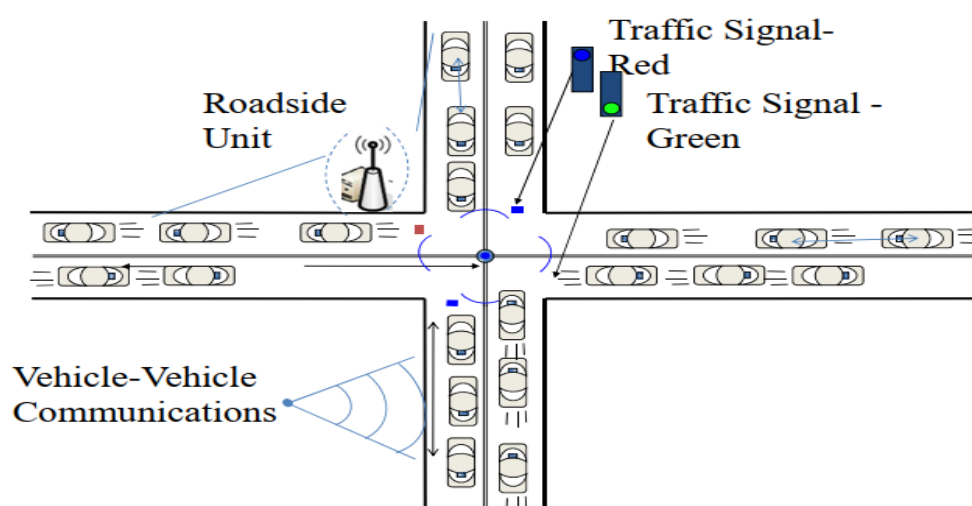
Εικόνα 1. : Επικοινωνιακά επίπεδα VANET

πηγή: (Kabir, 2013)

- **Μονάδα οχήματος (OBU):** Κύριες λειτουργίες της είναι η επικοινωνία με τις υπόλοιπες μονάδες οχήματος (OBU) ή την επικοινωνία με τις μονάδες δρόμου (RSU). Ασύρματο ράδιο, γεωγραφική και δικτυακή δρομολόγηση, έλεγχος συμφόρησης, έλεγχος δεδομένων και ασφάλειας και τέλος την κινητικότητα της IP.
- **Μονάδα εφαρμογής (AU):** Κύρια λειτουργία της είναι η επικοινωνία μόνον μέσω της μονάδας οχήματος (OBU), η οποία είναι υπεύθυνη για όλες τις λειτουργίες κίνησης και δικτύωσης.
- **Μονάδα δρόμου (RSU):** Η συγκεκριμένη αποτελεί μία δικτυακή μονάδα η οποία λειτουργεί παρέχοντας σύνδεση στο δίκτυο για κάθε μονάδα οχήματος (OBU), που βρίσκεται σε μικρή εμβέλεια καθώς χρησιμοποιεί την ραδιοτεχνολογία IEEE 802.11p. Αυτή η διασύνδεση που προσφέρει η μονάδα δρόμου γίνεται για διάφορους λόγους μέσα σε ένα δίκτυο VANET.(Dixit et al., 2017)

1.3 Χαρακτηριστικά των VANETs

Πολλοί διαφορετικοί και συνάμα ανταγωνιστικοί στόχοι ως προς τη σχεδίαση των δικτύων VANET θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν προκειμένου αυτή η τεχνολογία να έχει κάποια δυνατή παρουσία ως προς την εμπορική της χρήση. Όταν ένα VANET λειτουργεί με την τεχνολογία WAVE (Wireless Access in the Vehicular Environment), τότε σχηματίζεται ένα δυναμικό δίκτυο.



Εικόνα 2: Δίκτυο Οχημάτων Ad-Hoc
πηγή: (Kumar et al., 2013)

Παρά το γεγονός πως πολλά χαρακτηριστικά των VANETs είναι παραπλήσια με αυτά των MANETs, μπορούμε να δούμε ότι κάποια συγκεκριμένα τα οποία διαφέρουν αρκετά και θα κατηγοριοποιηθούν παρακάτω, ως εξής. :

1. **Περιβάλλον επικοινωνίας :** Η δημιουργία ενός μοντέλου κινητικότητας δεν είναι η μοναδική έγνοια που πρέπει να υπάρχει. Πέραν της δημιουργίας θα πρέπει να δίνεται προσοχή στις διαφορές που θα πρέπει να έχει το εκάστοτε μοντέλο ως προς την αρχιτεκτονική των δρόμων, των δρόμων υψηλών ταχυτήτων, ή τα αστικά κέντρα. Η συνεχής επικοινωνία σε όλες τις διάφορες αυτές περιπτώσεις θα πρέπει να βεβαιώνεται ότι υπάρχει.
2. **Πολύ υψηλή δυναμική δρομολόγηση :** Η μεγάλη ταχύτητα που μπορούν να αναπτύξουν τα οχήματα, καθώς και οι δυνατότητα να πάρουν διάφορες πορείες, ομολογεί την ανάγκη για μία δυναμική τοπολογία VANET.
3. **Συχνές αποσυνδέσεις :** Η υψηλή ταχύτητα στην οποία μπορεί να κινηθεί το κάθε όχημα μέσα σε έναν δρόμο από τη μία δικαιολογεί την δυναμικότητα του δικτύου, ωστόσο η ταχύτητα αυτή επιβάλλει την ύπαρξη πολλών μονάδων δρόμου (RSU), όπου αν υπάρχει έλλειψη αυτών είναι επόμενες οι συχνές αποσυνδέσεις των οχημάτων από το δίκτυο.
4. **Μοντέλο κινητικότητας και πρόβλεψης :** Η προσπάθεια πρόβλεψης της θέσης αλλά και της πορείας ενός οχήματος είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Στα VANETs, η συγκεκριμένη διεργασία γίνεται βάσει μοντέλων και χαρτών που ήδη υπάρχουν από διάφορους δρόμους, συναρτήσει της ευκαιρίας που εμφανίζει η συνέχεια της πορεία τους οχήματος στο συγκεκριμένο δρόμο.
5. **Απεριόριστη ενέργεια και αποθηκευτικός χώρος :** Οι πομποί σε ένα δίκτυο VANET δεν μπορούν να υποστούν μείωση παροχής ενέργεια ή αποθηκευτικού χώρου, αυτό το γεγονός δείχνει ότι η προσαρμογή των κύκλων λειτουργίας τους δεν είναι τόσο δύσκολη όσο σε δίκτυα αισθητήρων.
6. **Περιθώρια καθυστερήσεων :** Σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης η προώθηση συγκεκριμένων μηνυμάτων μέσα στο δίκτυο σε συγκεκριμένο χρόνο αποτελεί ένα πρόβλημα. Γι' αυτό τον λόγο πρέπει να βρεθούν λύσεις σε αυτό το πρόβλημα αντί να γίνεται κουβέντα απλά για μεγάλο όγκο δεδομένων.
7. **Συνεργασία με τους αισθητήρες :** Οι αισθητήρες αποτελούν τον τρόπο επικοινωνίας μεταξύ κάθε κομματιού της τοπολογίας. Μπορούν να αναγνωρίσουν δεδομένα που περιέχουν το μήκος του οχήματος, την ταχύτητα, την πορεία και μπορούν να επικοινωνήσουν με το κέντρο δεδομένων. Επομένως οι αισθητήρες μπορούν να εργαστούν συνδυαστικά και πρωτόκολλα δικτύωσης.(Kumar et al., 2013)

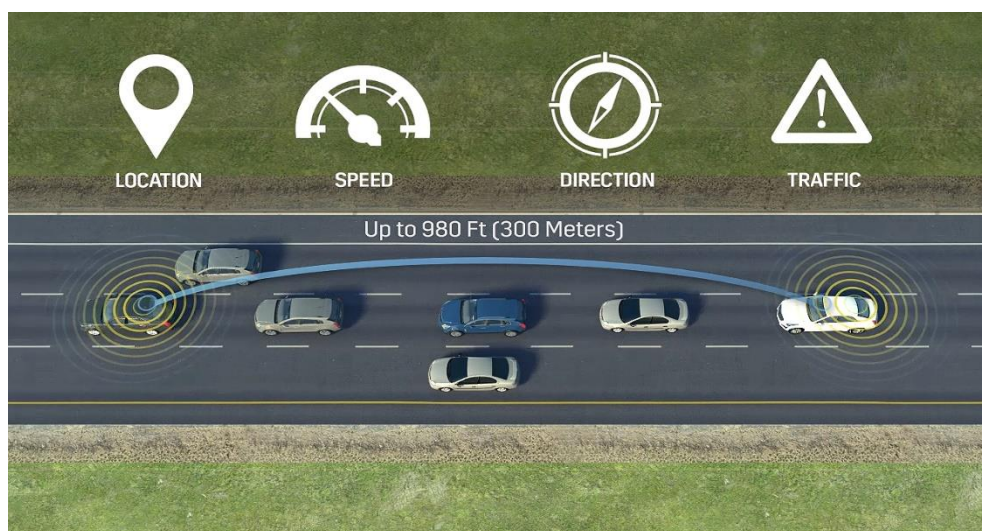
1.4 Επικοινωνία Vehicle to Everything (V2X)

Η καινοτομία των δικτυακά συνδεδεμένων οχημάτων είναι πρόσφατη, προσφέρει ιδιαίτερα νέα χαρακτηριστικά στους οδηγούς και αποτελεί την επικρατούσα τάση ως προς το πως θα πρέπει να είναι τα αυτοκίνητα νέας γενιάς. Οχήματα δηλαδή ασύρματα συνδεδεμένα είτε με άλλα οχήματα, είτε με πεζούς, είτε με διάφορα αντικείμενα σε έναν δρόμο, με τα οποία ανταλλάσσουν πληροφορίες όπως ταχύτητα, τύπο πορείας και τοποθεσία. Έχοντας τα οχήματα σύνδεση με τα παραπάνω άτομα ή αντικείμενα που φέρουν αισθητήρες μπορούν ταυτόχρονα να ενημερώνονται για διάφορες άλλες λεπτομέρειες. Όπως παραδείγματος χάριν ο καιρός, τυχόν έργα ή εμπόδια σε δρόμους, ή ακόμα να λαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με το μέγεθος της κίνησης στον δρόμο, την ταχύτητα που επιτρέπεται να αναπτύξουν αλλά και την πορεία που πρέπει να ακολουθήσουν.

Η αρχή που έχει βοηθήσει αυτή την καινοτομία είναι η επικοινωνία Vehicle to Everything (V2X), η οποία επιτρέπει στα οχήματα να επικοινωνήσουν με τον περίγυρο τους (άλλα οχήματα, πεζούς, εξοπλισμό δρόμων όπως φανάρια και το διαδίκτυο). Με τη χρήση του V2X μπορούν να μεταφερθούν σημαντικές πληροφορίες, προκειμένου να υπάρχει άμεση ενημέρωση των επιβαινόντων για τυχόν εμπόδια και κινδύνους στο δρόμο με αποτέλεσμα τη μείωση των ατυχημάτων. Επιπλέον, μέσω του V2X υπάρχει πρόσβαση από τα αυτοκίνητα σε cloud. Δηλαδή σε πληροφορίες όπως ποσοστά κίνησης σε οποιοδήποτε δρόμο, μετρήσεις αισθητήρων, και ακριβείς χάρτες οποιασδήποτε περιοχής, οι οποίοι μπορούν να διαμοιραστούν η να έχει ο ίδιος ο επιβάτης πρόσβαση σε αυτούς. Πράγματα τα οποία όχι μόνο είναι σημαντικά για μία καλύτερη εμπειρία οδήγησης, αλλά αποτελούν σημαντικό πυλώνα και για την εξέλιξη των αυτοκινούμενων οχημάτων του μέλλοντος. (Ahmadi, 2019)

1.4.1 Vehicle to Vehicle (V2V)

Η τεχνολογία στην οποία επιτρέπεται σε οχήματα που υπάρχουν σε έναν δρόμο να επικοινωνούν μεταξύ τους ονομάζεται επικοινωνία Vehicle to Vehicle (V2V). Ο συγκεκριμένος τύπος επικοινωνίας πληροί πολλά από τα προαπαιτούμενα, προκειμένου να αποτελέσει το μέλλον της αυτοκινητοβιομηχανίας ως προς την παρουσία οχημάτων στην κυκλοφορία, επηρεάζοντας θετικά σε πολλές παραμέτρους την οδική ασφάλεια, και, σε μελλοντικό χρόνο με την χρήση της να σωθούν χιλιάδες ζωές που χάνονται σε ατυχήματα ετησίως. Το κύριο χαρακτηριστικό της είναι η ασύρματη μεταφορά δεδομένων μεταξύ οχημάτων σε αρκετά γρήγορους χρόνους, κάτι το οποίο κάνει πιο εύκολη την αποφυγή διαφόρων ατυχημάτων τα οποία μπορούν να συμβούν για πολλούς λόγους κατά την πορεία ενός οχήματος. Πέραν αυτού με την υιοθέτηση της τεχνολογίας αυτής μπορούμε να πούμε ότι θα μειωθεί δραστικά και η κυκλοφορική συμφόρηση η οποία μπορεί να επικρατήσει σε μεγάλα αυτοκινητιστικά δίκτυα, κυρίως σε αστικά κέντρα και εθνικές οδούς. Σε κάθε περίπτωση με τη χρήση της οδικής επικοινωνίας θα μπορέσουν τα ‘έξυπνα’ συστήματα μεταφοράς (ITS) να βρουν το βήμα ώστε να επιτραπεί ένα αποδεκτό μέγεθος δεδομένων να μεταφέρεται, προκειμένου να επιτρέψουν στα αυτόματα οχήματα να συλλέγουν και να αποστέλλουν δεδομένα όπως την θέση τους στον δρόμο, την ταχύτητα που έχουν αναπτύξει, το μέγεθος του οχήματος, την κατάσταση κίνησης στον δρόμο με την βοήθεια των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί από τα υπόλοιπα αυτοκινούμενα οχήματα γύρω τους. Βέβαια μπορεί η συγκεκριμένη τεχνολογία να έχει αναπτυχθεί εξαιρετικά τα τελευταία χρόνια, ωστόσο χρειάζεται ακόμα να εξελιχθεί παραπάνω και να ξεπεράσει συγκεκριμένα εμπόδια, όπως η σταθερή επικοινωνία αλλά και η ασφάλεια των δεδομένων των οχημάτων προκειμένου να υιοθετηθεί στην καθημερινή ζωή. (Soumaya D., Dardouri S., 2020)



Εικόνα 3 : Παράδειγμα V2V επικοινωνίας.

πηγή : <https://media.cadillac.com/media/us/en/cadillac/news.detail.html>

Από τη συγκεκριμένη τεχνολογία χρησιμοποιείται μία αφιερωμένη μικρού εύρους επικοινωνία (Dedicated short-range communication, DSRC), η οποία είναι διπλής κατεύθυνσης και επιτρέπει τη γρήγορη και ασφαλή μεταφορά δεδομένων για να λειτουργήσουν οι εφαρμογές ασφαλείας, όπου το μικρό εύρος ανταποκρίνεται σε μία απόσταση περίπου τριακοσίων μέτρων (300m), λαμβάνοντας υπόψιν και το περιβάλλον γύρω. Οι επικοινωνίες αυτές συμβαίνουν σε μία ζώνη 75MHz του φάσματος των 5,9GHz, το οποίο έχει καθορισθεί για τη συγκεκριμένη χρήση προκειμένου να εξελιχθούν και να αρχίζουν να χρησιμοποιούνται τα “έξυπνα” συστήματα μεταφοράς (ITS). (NHTSA, 2014)

Οι συσκευές DSRC μπορούν να εγκατασταθούν απευθείας στα οχήματα κατά την κατασκευή τους, μετά την αγορά του οχήματος σαν μία προσθήκη, ή ακόμα και να την διαχειρίζονται οι οδηγοί σε μορφή εφαρμογής παραδείγματος χάρη στο κινητό τους τηλέφωνο. Έως τώρα τα μηνύματα που μπορούν να δοθούν σε ένα όχημα ή κάποιον επιβαίνων είναι :

- **Βασικό μήνυμα ασφαλείας (Basic Safety Message, BSM)**

Το βασικό μήνυμα ασφαλείας ανταλλάσσεται μεταξύ οχημάτων και περιέχει πληροφορίες όπως ταχύτητα οχήματος, κατεύθυνση οχήματος, και, τοποθεσία οχήματος. Το μήνυμα αυτό ανανεώνεται και μεταδίδεται κάθε δέκα δευτερόλεπτα (10s) στα γύρω οχήματα. Τα οχήματα δέκτες με τη σειρά τους αναλύουν τα δεδομένα και αποφασίζουν αν υπάρχουν κίνδυνοι πρόσκρουσης. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα θα μπορούσε να δοθεί κάποια ειδοποίηση στον οδηγό, ώστε να λάβει τα απαραίτητα μέτρα για την αποφυγή κάποιου δυστυχήματος.

- **Βοήθεια ανοιχτής στροφής (Left Turn Assist, LTA)**

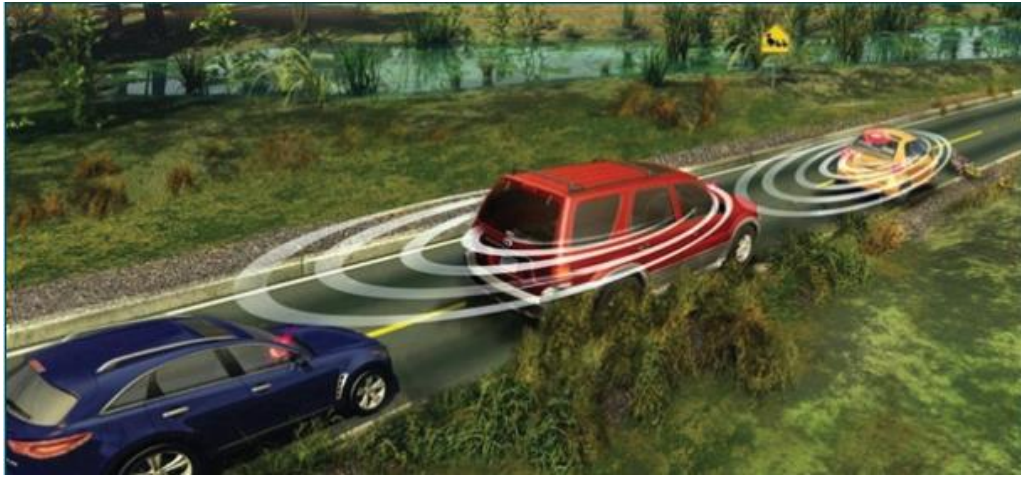
Η βοήθεια ανοιχτής στροφής προειδοποιεί τον οδηγό όταν αυτός επρόκειτο να πάρει μία κατεύθυνση στην οποία πλησιάζει κάποιο όχημα το οποίο δεν έχει αντιληφθεί. Είναι ειδικότερα σημαντική η συγκεκριμένη υποβοήθηση οδήγησης όταν ο οδηγός δεν έχει καλό οπτικό πεδίο προς την κινούμενη σε αυτόν κίνηση.

- **Βοήθεια εισόδου αυτοκινητοδρόμου (Intersection Movement Assist, IMA)**

Δίνεται στον οδηγό με την συγκεκριμένη υποβοήθηση κάποια ειδοποίηση για το κατά πόσο είναι ασφαλής η είσοδος σε κάποιον αυτοκινητόδρομο ταχείας η απλής κυκλοφορίας, ώστε να αποφευχθούν τυχόν συγκρούσεις λόγω μίας κακής απόφασης.

- **Επείγον φρενάρισμα (Emergency Electronic Brake Light, EEBL)**

Το επείγον φρενάρισμα προειδοποιεί τον οδηγό, προκειμένου να είναι έτοιμος να φρενάρει. Και σε ποιο ειδικές περιπτώσεις σε οχήματα που απέχουν μικρή απόσταση, λόγω της τεχνολογίας V2V αν για παράδειγμα υπάρχουν τα οχήματα α,β,γ και φρενάρει απότομα το όχημα α, το όχημα γ που δεν έχει οπτική επαφή θα μπορεί να ενημερωθεί άμεσα και είτε ο οδηγός είτε κάποιο αυτόματο φρένο ασφαλείας να ενημερωθεί – ενεργοποιηθεί.



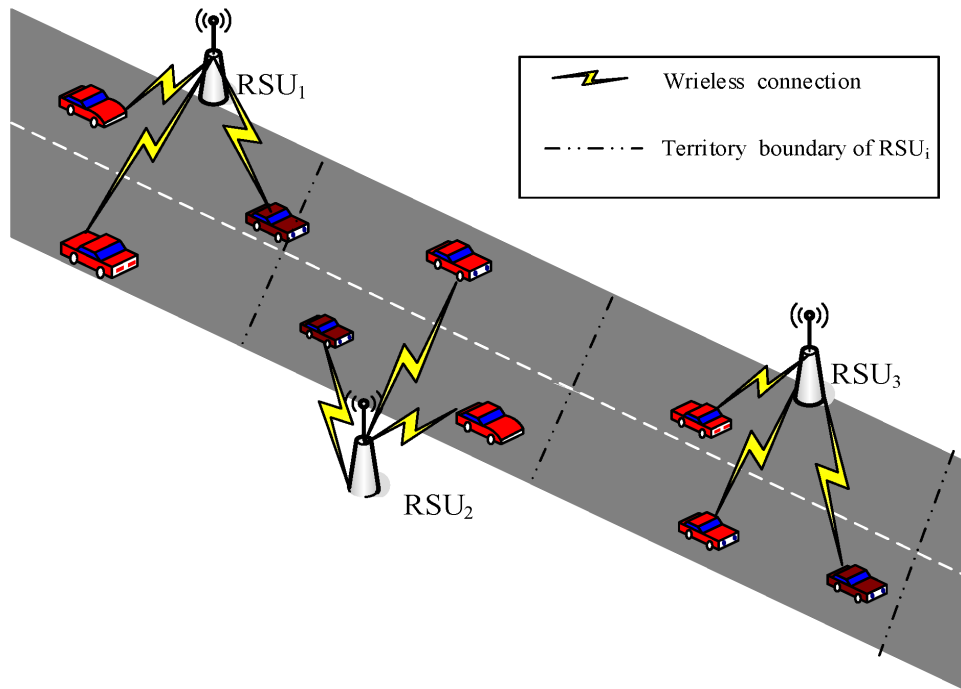
Εικόνα 4 : Παράδειγμα ΕΕΒΛ
πηγή : (NHTSA, 2014)

Το V2V έχει πολλά να προσφέρει σαν τεχνολογία και με την μεγέθυνση και συνεχή ανάπτυξη του μεγέθους του και της τεχνογνωσίας πάνω σε αυτό τα πρώτα μελλοντικά μέτρα που μπορούν να εφαρμοστούν και να δοθούν ως νέα εργαλεία στους οδηγούς θα μπορούσαν να είναι :

- Προειδοποίηση εμπρόσθιας κρούσης σε άλλο όχημα.
- Ειδοποιήσεις σχετικά με το πίσω μέρος του οχήματος (Τυφλά σημεία).
- Προειδοποίηση για αλλαγή λωρίδας σε μεγάλους δρόμους
- Προειδοποίηση αποφυγής προσπέρασης
(NHTSA, 2014)

1.4.2 Vehicle to Infrastructure (V2I)

Η επικοινωνία Vehicle to Infrastructure (V2I), αποτελεί μία τεχνολογία με την οποία μπορούν τα οχήματα να ανταλλάσσουν και να συλλέγουν δεδομένα με τον εξοπλισμό του εκάστοτε δρόμου. Ο εξοπλισμός αυτός αποτελείται από αισθητήρες RFID, όπως κάμερες, δημιουργητές γραμμών, φανάρια, παρκόμετρα κ.α. Αποτελούμενη από τον απαραίτητο υλικό εξοπλισμό και λογισμικό, η τεχνολογία V2I, είναι ασύρματη και πολλών κατευθύνσεων (οι πληροφορίες από τις συσκευές δρόμου μεταφέρεται εύκολα προς τα οχήματα του δικτύου, ενώ αντιστοίχως οι πληροφορίες που συλλέγουν τα οχήματα μεταφέρονται εύκολα προς τις συσκευές του δικτύου V2I.). Ομοίως με την τεχνολογία V2V, η τεχνολογία V2I βασίζεται σε μικρής εμβέλειας επικοινωνία (Dedicated short-range communication, DSCR). Οι αισθητήρες V2I χρησιμοποιούνται προκειμένου να συλλέξουν δεδομένα και να μπορούν έτσι να πληροφορήσουν τους οδηγούς για τις συνθήκες που επικρατούν σε αυτοκινητοδρόμους (έργα, κατάσταση δρόμου, πάρκινγκ και κατάσταση κίνησης), βοηθώντας έτσι τη λειτουργία των “έξυπνων” συστημάτων μεταφοράς (ITS). Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη συλλογή και επεξεργασία πληροφοριών, καθώς και τη διαχείριση των διάφορων συστημάτων (όπως να ορίσει όρια ταχυτήτων), ονομάζεται SPaT (Signal Phase and Timing).(Stephens et al., 2015)



Εικόνα 5 : Μοντέλο επικοινωνίας V2I
πηγή : (Zhou et al., 2019)

Με την εφαρμογή της V2I τεχνολογίας μπορούν να έρθουν πολλά θετικά σε διάφορους τομείς, όπως της ασφάλειας στην οδική ζωή, σε θέματα κίνησης, αλλά και στο περιβάλλον.

Ως προς την οδική ζωή, η χρήση του V2I δίνει την ευκαιρία στους οδηγούς και τους πεζούς μέσω των δεδομένων που συλλέγει να ενημερώνονται σχετικά με καθυστερήσεις σε συγκοινωνίες, εργοτάξια στους δρόμους, ορθές ταχύτητες οδήγησης. Πέραν αυτών μπορούν να δοθούν μηνύματα προσοχής ως προς παραβιάσεις κόκκινων σε φανάρια, εμπόδια που μπορούν να εμφανιστούν στην πορεία οχημάτων, ύπαρξη πάγου σε πτυχές κάποιου δρόμου, χαμηλό ύψος γεφυρών κ.α. Επιπροσθέτως θα μπορεί να ενημερώνεται η πολιτεία με τρόπο τέτοιο ώστε να υπάρχει πιο γρήγορη πρόσβαση για κάποιο επειγών σε σημεία πόλεων, απομάκρυνση εμποδίων ή επιδιορθώσεις αυτοκινητοδρόμων.

Όσον αφορά τα θέματα κίνησης, γίνεται αναφορά στα δεδομένα που αποστέλλουν τα οχήματα στον εξοπλισμό του V2I, βάσει των οποίων υπάρχει γνώση θέσης οχημάτων πραγματικού χρόνου σε δρόμους, ενώ στον αντίποδα με τη βοήθεια των δεδομένων που αποστέλλονται στα οχήματα έχουμε συγκεντρωμένες και επαρκείς για ασφαλή οδήγηση οδηγίες προς τους οδηγούς.

Τέλος για τον περιβαλλοντικό παράγοντα, οι λεπτομερείς πληροφορίες που συλλέγουν τα μέσα μεταφοράς και τα οχήματα, βοηθούν στην δημιουργία πραγματικών δεδομένων προκειμένου να στηριχτεί η χρήση πιο “πράσινων” επιλογών ως προς τη συγκοινωνία. Μπορούν επιπλέον να επιλεγούν καλύτερες στρατηγικές διαχείρισης κίνησης με αποτέλεσμα θετικό για το περιβάλλον, ενώ παράλληλα να βελτιωθεί η πληροφόρηση και η διαχείριση διάφορων καιρικών φαινομένων που επιδρούν στην οδική κυκλοφορία. Από τα δεδομένα που στέλνουν οι συσκευές δρόμου προς τα οχήματα βέβαια δίνει την δυνατότητα σε αυτά να καθορίζουν καλύτερες πορείες και επιλογές ταχυτήτων για κάθε ταξίδι. (United States Department of Transportation, 2014)

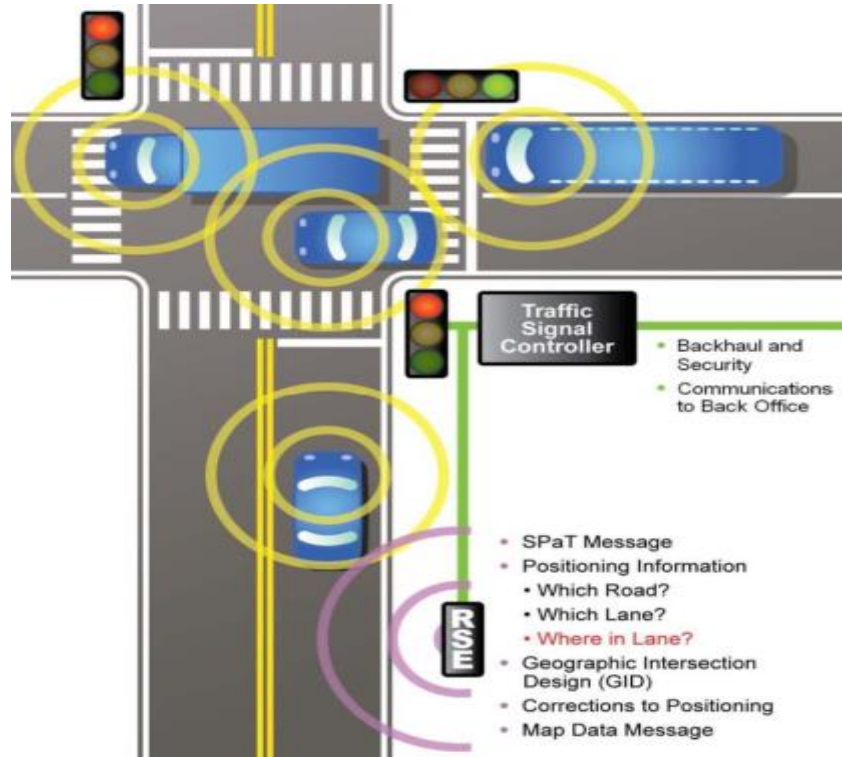
Ένα περιβάλλον τύπου V2I εμπεριέχει προ απαιτούμενη εγκατάσταση υλικού. Η λίστα του υλικού αυτού εξοπλισμού είναι η εξής.

Μονάδα Οχήματος (On-Board Equipment, OBE):

- Εκπέμπει ένα συγκεκριμένο σετ βασικών δεδομένων, όπως η ταχύτητα οχήματος, η τοποθεσία οχήματος και η κατεύθυνση που ακολουθεί το όχημα.
- Λαμβάνει πληροφορίες από άλλα οχήματα του δικτύου.

Μονάδα δρόμου (Roadside Unit, RSU):

- Λαμβάνει το δεδομένο σετ δεδομένων από τις μονάδες οχημάτων (OBE).
- Προωθεί πληροφορίες σε οχήματα ή κινητές συσκευές



Εικόνα 6 : Παράδειγμα λειτουργία RSU – OBE σε V2I
πηγή : (United States Department of Transportation, 2014)

Η τεχνολογία που χρησιμοποιεί η επικοινωνία V2I ομοίως με την τεχνολογία V2V στην οποία έγινε αναφορά στο προηγούμενο υπό-κεφάλαιο είναι η DSRC (Dedicated Short-Range Communication). Τα θετικά της χρήσης της συγκεκριμένης είναι οι μικρές καθυστερήσεις (low latency), οπότε υπάρχει μεγαλύτερος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, είναι σημαντικός παράγοντας για τις εφαρμογές ασφαλείας και τα δεδομένα μπορούν να εκπέμπονται περίπου 10 φορές το δευτερόλεπτο. Περαιτέρω, η DSRC τεχνολογία καλύπτει ένα εύρος 300 μέτρων αξιόπιστα, καθώς ενδιαφέρεται μόνο για μηνύματα από κοντινές συσκευές του δικτύου και έτσι μπορεί να δοθεί περισσότερη εμβέλεια για τα οχήματα έκτακτων αναγκών (αποστάσεις έως 1 χιλιόμετρο). Πέραν της τεχνολογία DSRC γίνονται δοκιμές προκειμένου να χρησιμοποιηθούν και τεχνολογίες τύπου WWAN (Wireless Wide Area Network), όπως το LTE, LTE-Advanced και 5G. Με την πιλοτική χρήση αυτών υπάρχουν θετικά αλλά και αρνητικά. Στα θετικά θα μπορούσαν να καταταγούν, το μεγαλύτερο εύρος-ζώνης για τη μεταφορά δεδομένων, το γεγονός ότι είναι τεχνολογίες που καλύπτουν μεγάλες εκτάσεις και το τελευταίο χρονικό διάστημα είναι αυξητικά πιο εύχρηστες και από τα οχήματα. Ενώ στα αρνητικά θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν το γεγονός ότι η χρήση τέτοιων δικτύων μπορεί να προϋποθέτει τη συνεργασία (αγορά συνδρομών), με κάποια εταιρεία κινητής, και, δεν είναι άκρως εύχρηστα σε εφαρμογές low latency. (United States Department of Transportation, 2014)

Με βάση τις τεχνολογίες που εμπλέκονται και τον υλικό εξοπλισμό που χρειάζεται για την δημιουργία δικτύων επικοινωνίας V2I προκύπτουν εφαρμογές μέσω των οποίων θα υπήρχε θετικός αντίκτυπος στην καθημερινή οδική ζωή και θα μπορούσε αυτός ο αντίκτυπος να αντικατοπτριστεί σε τρεις κατηγορίες. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι εφαρμογές ασφαλείας, της εύκολης μεταφοράς και αυτές της περιβαλλοντικής φροντίδας.

- Εφαρμογές ασφαλείας :

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται εφαρμογές όπως οι προειδοποίηση παράβασης κόκκινου (Red light Violation Warning, RLVW), ύπαρξη μεγάλου οχήματος (Oversize Vehicle Warning, OVW), ύπαρξη πεζού σε διάβαση και προειδοποίηση ύπαρξης απότομων στροφών. Αντιστοίχως αναφερόμαστε σε περιπτώσεις που ενημερώνεται ο οδηγός σε έναν κόμβο για το αν κάποιο άλλο όχημα έχει παραβιάσει τον φωτεινό σηματοδότη, την ύπαρξη μεγάλου οχήματος σε μικρή απόσταση κυρίως σε αυτοκινητοδρόμους με βάσει μετρήσεις που αποστέλλονται μεταξύ των οχημάτων, την περίπτωση να περνάει πεζός διάβαση ενώ δεν τον έχει παρατηρήσει ο οδηγός και την αναφορά της εφαρμογής σε στροφή που ακολουθεί στον δρόμο ώστε να μειωθεί κατάλληλα η ταχύτητα ή να ληφθεί το οποιοδήποτε άλλο μέτρο.

Αξιοσημείωτες είναι βέβαια και άλλες εφαρμογές ασφαλείας όπως η παραβίαση ή η απόσταση από πινακίδα STOP, κόμβος με ράγες τρένων, δρόμος με μικρό όριο ταχύτητας, περιορισμένες λωρίδες κυκλοφορίας, ύπαρξη ακραίων καιρικών φαινομένων κ.α.

- Εφαρμογές εύκολης κυκλοφορίας

Στη συγκεκριμένη κατηγορία μπορούν να εισέλθουν εφαρμογές όπως ένα σύστημα ειδοποίησης ύπαρξης τροχαίου (Advanced Automatic Crash Notification Relay, AACNR) και ειδοποίηση σκηνής τροχαίου (Incident Scene Work Zone Alerts for Drivers and Workers, INC-ZONE), όπου τα οχήματα στα οποία μπορεί να επέλθει ένα ατύχημα μπορούν να ενημερώσουν το δίκτυο τους ώστε να μη επέλθουν παραπάνω ζημιές και κόστος σε ζωές. Η δημιουργία ‘έξυπνων’ φωτεινών σηματοδοτών (Intelligent Traffic Signal System), ‘έξυπνοι’ χώροι στάθμευσης και συστήματα ‘έξυπνων’ κόμβων.

- Εφαρμογές προστασίας περιβάλλοντος

Τέλος στη κατηγορία αυτή υπάρχουν εφαρμογές οι οποίες κοιτούν την περιβαλλοντική προστασία ή την προστασία των οδηγών από καιρικά φαινόμενα με την χρήση εφαρμογών όπως οικολογικό αυτοματισμό φαναριών, διαχείριση σταθμών ηλεκτρικής φόρτισης οχημάτων, εφαρμογές προειδοποίησης οδηγών για συγκεκριμένα καιρικά φαινόμενα σε αυτοκινητοδρόμους και εξελιγμένο σύστημα υποστήριξης λήψης έκτακτων αποφάσεων (Enhanced Maintenance Decision Support System, EMDSS). (United States Department of Transportation, 2014)

1.4.3 Vehicle to Cloud (V2C)

Έχουν υπάρξει πολλές προτάσεις ως προς την αρχιτεκτονική των VANET Clouds, όπου η κάθε μία προτείνει μία διαφορετική δομή. Η επικρατούσα δομή αρχιτεκτονικής είναι μπορούμε να πούμε ότι είναι μία και αποτελείται από 3 υπό-αρχιτεκτονικές, οι οποίες είναι :

- Οχήματα που αποτελούν υποδομή Cloud (Vehicles as Cloud Infrastructure, VaC).
- Οχήματα προς εγκαταστάσεις Cloud (Vehicles to Cloud Infrastructure, VtC).
- Οχήματα με Cloud (Vehicles with Clouds, VWC).

1. Οχήματα που αποτελούν υποδομή Cloud

Τα οχήματα αποτελούν τον θεμέλιο λίθο των οχηματικών Cloud καθώς οι αναμεταδώσεις μεταξύ αυτών δημιουργούν τα δεδομένα τα οποία κυκλοφορούν σε αυτό. Μπορούν να υπάρξουν δύο είδη VANET Cloud και αυτά είναι το στατικό και το δυναμικό. Σε αυτό το είδος αρχιτεκτονικής τα δεδομένα που δημιουργεί το όχημα είναι ευκόλως προσβάσιμα και διαμοιραζόμενα στο δίκτυο. Το γεγονός αυτό προωθεί την καλύτερη και πιο σταθερή λειτουργία αυτού. Η βλέψη του VaC είναι να δημιουργεί σταθερές και αξιόπιστες διασυνδέσεις μικρών αποστάσεων (σε τοπικό επίπεδο), χρησιμοποιώντας δεδομένα που έχει δημιουργήσει η διασύνδεση V2V, καθώς τα μέσα μεταφορών λειτουργούν ως πομποί αλλά και ως δέκτες.

Το μοντέλο VaC μπορεί και αυτό με τη σειρά του να χωριστεί σε δύο κατηγορίες (στατική και δυναμική δρομολόγηση). Και οι δύο κατηγορίες προσφέρουν θετικές και αρνητικές επιπτώσεις στην διασύνδεση V2C. Για παράδειγμα η στατική του μορφή έχει μεγαλύτερη διάρκεια, ενώ στον αντίποδα σε σενάρια όπου υπάρχει μεγάλη κυκλοφοριακή συμφόρηση η δυναμική δρομολόγηση μπορεί να λύσει το θέμα, με τη ρύθμιση παραδείγματος χάριν των φωτεινών σηματοδοτών να είναι ανάλογη των απαιτήσεων του οδικού δικτύου.

Το VaC σχηματίζεται από ομάδες μέσων μεταφοράς, ιδιωτικών οχημάτων ή και επιβαινόντων, όπου οι πληροφορίες που συλλέγονται είτε στα οχήματα είτε στις εφαρμογές που χρησιμοποιούν οδηγούν στην δημιουργία κέντρων δεδομένων αυτοκίνησης. Αυτό φέρεται σε πέρας με την χρήση του επιπέδου επικοινωνίας των δικτύων VANET.

2. Οχήματα προς εγκαταστάσεις Cloud (Vehicles to Cloud Infrastructure, VtC).

Στη τεχνολογία Vehicle to Cloud (VtC), τα οχήματα χρησιμοποιούν εφαρμογές cloud κατά την διάρκεια οδήγησης-πορείας. Συνδέονται με το cloud της υποδομής το οποία χρησιμοποιεί τα δεδομένα που συλλέγονται για την ορθή λήψη αποφάσεων. Σε αυτή τη περίπτωση η διασύνδεση γίνεται μέσω των μονάδων δρόμου (RSU), τα οποία λειτουργούν ως διαμεσολαβητής ανάμεσα σε οχήματα και υπηρεσίες cloud.

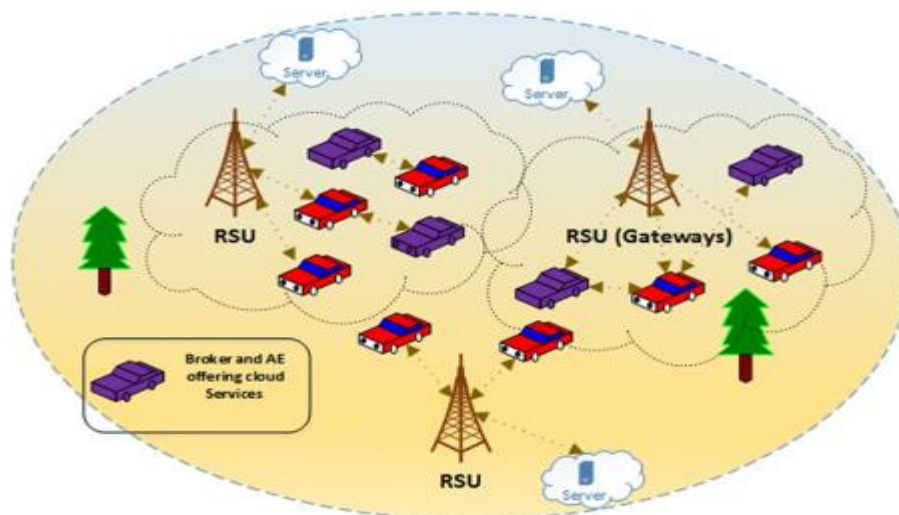
Εκτός αυτής της διασύνδεσης, χρήσιμη θα μπορούσε να ήτα και η χρήση κινητών τηλεφώνων ως ενδιάμεσο κρίκο, λόγω της συνεχούς σύνδεσης αυτών στο διαδίκτυο και λόγω των επικοινωνιακών τους προτερημάτων.

Η χρήση των RSU δημιουργεί την ανάγκη διαμόρφωσης ενός “σύννεφου” εγκαταστάσεων δρόμου (Infrastructure Cloud, IC). Το IC έχει τύπο κάλυψης τοπικό δηλαδή ένα μικρό γεωγραφικό μήκος το οποίο καλύπτεται από RSUs. Τοπικοί servers επιτρέπουν την επικοινωνία μεταξύ δύο ICs. Καθώς σε μία περιοχή η οποία εμπεριέχει πολλές RSU, όπως επίσης διάφορα οχήματα δύναται η δυνατότητα σχηματισμού ενός IC. Ωστόσο λαμβάνοντας υπόψιν την δυναμικότητα της κίνησης δεδομένων αυτό το cloud μπορεί να σχηματιστεί για μικρά χρονικά περιθώρια μόνο.

3. Οχήματα με Cloud (Vehicles with Clouds, VWC).

Η αρχιτεκτονική αυτή είναι ένας συνδυασμός των τεχνολογιών VtC και VaC (Vehicles as Clouds), το οποίο επιτρέπει στα οχήματα να αποτελούν και την υποδομή αλλά και τον τελικό χρήστη ταυτόχρονα. Στη συγκεκριμένη αρχιτεκτονική το VtC λειτουργεί ταυτόχρονα ως προμηθευτής αλλά και αποδέκτης δεδομένων στο δίκτυο. Τα οχήματα που κινούνται μπορούν να παρέχουν ή να ζητήσουν δεδομένα από συγκεκριμένα clouds την ίδια στιγμή. Αυτά τα Clouds μπορούν να θεωρηθούν μία σύμπτυξη στατικής και δυναμικής λειτουργίας cloud.

Το στατικό μπορεί να εμπεριέχει ομάδες από servers που υπάρχουν μέσα σε κέντρα δεδομένων ενώ τα δυναμικά αποτελούνται από αυτοκίνητους οχηματικούς πομπούς οι οποίοι λειτουργώντας μαζί πληρούν τις προϋποθέσεις δημιουργίας ενός cloud. (Sharma & Kaul, 2021)



Εικόνα 7 : Υβριδικό VANET Cloud
πηγή : (Sharma & Kaul, 2021)

Στα cloud οδικών δικτύων, χρειάζεται συνήθως να υπάρχει ο “αρχηγός” του cloud, προκειμένου να ενεργοποιήσει το cloud του δικτύου VANET. Το κάθε όχημα υπάγεται σε έναν “αρχηγό” και επικοινωνεί με αυτόν, όπως και όλα τα υπόλοιπα οχήματα που συγκαταλέγονται στη συγκεκριμένη δομή. Αν το μέσο με το οποίο δημιουργείται το cloud είναι όχημα τότε μιλάμε για ένα VC (Vehicle Cloud), ενώ αν το έναυσμα έχει δώσει ένα eNodeBs τότε το δομημένο νέο είναι τύπου IC (Infrastructure Cloud). Ο “αρχηγός” καλεί στο cloud άλλα οχήματα με μετάδοση αιτήσεων. Κάθε όχημα που θα θελήσει να υπάρξει κομμάτι αυτού πρέπει να απαντήσει στο αίτημα. Εφόσον ολοκληρωθεί η διαδικασία, τα στοιχεία του νέου μέλους αποθηκεύονται και του δίνεται μία εργασία. Το μέλος επικοινωνεί συνεχώς με τον επικαλεστή του, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την ορθή λειτουργία της σύνδεσης. Αν κάποιο μέλος θελήσει να αποχωρήσει από το cloud μπορεί απλά να κάνει αίτημα αποχώρησης προς τον “αρχηγό”.(M. Syfullah and J. M. Lim, 2017)

Τέλος υπάρχει το σενάριο των ψηφιακών διδύμων (Digital Twins), η βασική ιδέα είναι ότι το digital twin αποτελεί μία αντιγραφή των οντοτήτων του φυσικού κόσμου σε έναν ψηφιακό. Η τεχνολογία αυτή ανοίγει τον δρόμο στην παρακολούθηση και συγχρονισμό αληθινών σεναρίων σε πραγματικό χρόνο. Η τεχνολογία αυτή χωρίζεται σε δύο επίπεδα, το φυσικό και το ψηφιακό. Το φυσικό επίπεδο μπορεί να περιέχει όλες τις φυσικές οντότητες που αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους όπως, οχήματα, οδηγούν και συνεπιβάτες, υποδομή δρόμων, μετεωρολογικά δεδομένα, λοιπούς χρήστες του δρόμου κ.α. . Ενώ το ψηφιακό δημιουργεί με βάση τα δεδομένα μία ρέπλικα του φυσικού και παράλληλα τρέχει και κάποιες σημαντικές διαδικασίες. Αρχικά τα δεδομένα που παίρνει από τον φυσικό κόσμο φιλτράρονται και ομαδοποιούνται. Έπειτα τα δεδομένα ή θα αποθηκευτούν ή θα

σταλούν για ανάλυση σε βάσεις δεδομένων. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων αυτών με τη χρήση Data Mining ή άλλων τεχνικών, χρησιμοποιούνται έτσι ώστε να δημιουργηθεί με ακρίβεια το μοντέλο του φυσικού επιπέδου. Για την δημιουργία του αντιγράφου αυτού χρησιμοποιούνται εργαλεία προσομοιώσεων. Στην καρδιά του ψηφιακού επιπέδου υπάρχει το ιστορικό των δεδομένων που συλλέγονται διότι η προσομοίωση δημιουργείται αλλά ταυτόχρονα ενημερώνεται συνεχώς για νέες αλλαγές βάσει των δεδομένων που μεταφέρονται. Όλα αυτά μπορούν να αποτελέσουν υποβοήθηση στην αποτροπή τραγωδιών, καθώς και στην ανακάλυψη ή υποστήριξη των μηχανισμών λήψης αποφάσεων. Αφού ολοκληρωθεί η όλη διαδικασία τα αποτελέσματα στέλνονται στα μέλη του φυσικού επιπέδου, προκειμένου να υπάρξει καλύτερη λειτουργία του συστήματος. (Wang et al., 2020)

1.5 Εφαρμογές των VANETs

Εκτός των ήδη προαναφερόμενων εφαρμογών σε υπό-ενότητες οι οποίες εμπεριείχαν και μικρούς παραδειγματισμούς λειτουργίας, οι εφαρμογές των VANET είναι πολλές και διέπουν κάθε πτυχή της καθημερινής οδικής ζωής. Μπορούν λοιπόν βάσει αρχιτεκτονικής και σχεδιασμού να υπάρξουν πολλές διασυνδέσεις από οχήματα σε RSUs, σε σπίτια σε πεζούς κ.α. , καθώς με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται οι εφαρμογές τις οποίες μπορεί να προσφέρει ένα τέτοιο δίκτυο. Οι εφαρμογές αυτές μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις κατηγορίες , τις εφαρμογές ασφαλείας, τις εφαρμογές εμπορικής χρήσης, τις εφαρμογές άνεσης και τις εφαρμογές παραγωγικότητας.

Οι εφαρμογές ασφαλείας ενεργούν με την στενή παρακολούθηση των αυτοκινητοδρόμων, των οχημάτων που τους χρησιμοποιούν, την επιφάνεια των δρόμων, τι στροφές του, την κατάστασή του κ.α. . Βάσει αυτών δημιουργούνται εφαρμογές όπως :

- Η συνεργατική μεταφορά μηνυμάτων (Co-operative Message Transfer), όπου κάποια σταματημένα οχήματα ανταλλάσσουν πληροφορίες με το δίκτυο προκειμένου να βοηθήσουν τους υπόλοιπους χρήστες του. Η καθυστέρηση και η ασφάλεια μεταφοράς ωστόσο παραμένουν ένα αγκάθι. Παρά το γεγονός αυτό όμως, με αυτό τον τρόπο μπορεί να αυτοματοποιηθούν αντιδράσεις σε έκτακτα συμβάντα.
- Οι προειδοποιήσεις κινδύνων εντός δρόμων (Road Hazard Control Notification). Με τη συγκεκριμένη εφαρμογή μπορεί να γίνεται στους οδηγούς γνωστή μία έκτακτη κατάσταση σε έναν δρόμο, όπως η ύπαρξη λαδιών στην επιφάνεια, κάποια κατολίσθηση ή ακόμα και μία απότομη στροφή.
- Η συνεργατική προειδοποίηση κινδύνου πρόσκρουσης (Co-operative Collision Warning), με τη χρήση της οποία δύο οδηγοί ειδοποιούνται ότι με την πορεία που ακολουθούν είναι πολύ πιθανό να επέλθει τροχαίο μεταξύ τους και όχι μόνο.

- Η επαγρύπνηση ως προς τη κίνηση (Traffic Vigilance). Η τοποθέτηση δηλαδή καμερών σε RSUs, οι οποίες θα συλλέγουν δεδομένα και θα μπορούν να προωθήσουν ένα μοντέλο μηδενικής αποδοχής οποιασδήποτε παράβασης του κώδικα οδικής κυκλοφορίας.

Οι εφαρμογές εμπορικής χρήσης έχουν στόχο την καλύτερη εμπειρία οδήγησης. Αναφερόμαστε σε παροχή υπηρεσιών μουσικής, ζωντανής μετάδοσης βίντεο, σύνδεση με το διαδίκτυο και μουσική. Με βάση το πρότυπο αυτό υπάρχουν οι παρακάτω εφαρμογές :

- Προσωποποίηση οχηματικών προτιμήσεων (Remote Vehicle Personalization), κατά την οποία μπορεί ο εκάστοτε οδηγός να κατεβάζει-ανεβάζει τις ρυθμίσεις του οχήματος του ή τα δεδομένα αυτού στις υποδομές.
- Πρόσβαση στο διαδίκτυο μέσω των RSUs, αν και εφόσον αυτά λειτουργούν και ως δρομολογητές.
- Βίντεο streaming services, όπου οι επιβαίνοντες δεν θα μπορούν να δουν την ταινία η το οποιοδήποτε βίντεο μόνο από το σπίτι αλλά θα μπορούν να μεταφέρουν αυτή την εμπειρία στο όχημα.
- Διαφημίσεις. Η συγκεκριμένη εφαρμογή απευθύνεται μόνο στους επιχειρηματίες, οι οποίοι θα ήθελαν να προσελκύσουν κοινό. Για παράδειγμα διαφημίσεις για κοντινά στο όχημα εστιατόρια, βενζινάδικα κ.α.

Οι εφαρμογές άνεσης αφορούν κυρίως την αντιμετώπιση του υψηλού κυκλοφοριακού φόρτου και έχει ως στόχο την ευκολότερη οδική παρουσία και εμπειρία του οδηγού στον δρόμο. Οι εφαρμογές που θα μπορούσαν να δημιουργηθούν υπό αυτό το πρίσμα είναι :

- Ύπαρξη ελεύθερων θέσεων στάθμευσης, κατά τη λειτουργία αυτής οι οδηγοί μπορούν να λαμβάνουν ειδοποιήσεις για διάφορες διαθέσιμες θέσεις κοντά τους.
- Η ενεργή λειτουργία πρόβλεψης, με τη χρήση της οποίας βάσει τοπολογίας και δεδομένων του χάρτη και του χαρτογραφημένου χώρου, δίνονται απαραίτητες πληροφορίες σε οδηγούς ως προς τις καλύτερες διαδρομές που μπορούν να ακολουθήσουν, πόσο καύσιμο θα χρειαστούν και τι στάσεις θα ήταν καλό να πραγματοποιήσουν.
- Ηλεκτρονικά διόδια. Η χρήση αυτής της τεχνικής θα μπορούσε να λειτουργήσει σε διάφορα σημεία του δρόμου, όπου θα υπάρχουν σημεία συλλογής πληροφοριών και πληρωμών. Σε αυτά τα σημεία θα συλλέγονται τα δεδομένα των OBUs προκειμένου να βλέπει το σύστημα τα χιλιόμετρα που έχει ταξιδέψει το κάθε όχημα, το ποσό που πρέπει να καταβάλει και το κατά

πόσο ο οδηγός διατίθεται να κάνει την πληρωμή εν κινήσει αυτόματα ή να περάσει από κανονικό σημείο πληρωμών. Έτσι θα μπορούσε να αποφευχθεί κυκλοφοριακή συμφόρηση στα διόδια και να εξυπηρετούνται περισσότεροι οδηγοί σε μικρότερο χρονικό διάστημα.



Εικόνα 8 : Διόδια Μαλγάρων
πηγή : grtimes.gr 28/10/2019

Τέλος υπάρχουν οι εφαρμογές παραγωγικότητας, οποίες ονομάζονται έτσι διότι με τη χρήση τους δημιουργούν :

- Οικονομική κατανάλωση καυσίμων, καθώς εν παραδείγματι έστω η χρήση των ηλεκτρονικών διοδίων επιφέρει λιγότερες στάσεις και περίπου 3% κέρδος σε καύσιμο ενώ μειώνει και τους χρόνους ταξιδιού 3-5 λεπτά.
- Μικρότερους ταξιδιωτικούς χρόνους, αφού κατά το ταξίδι μπορεί να βλέπει πληροφορίες σχετικά με τη κίνηση σε δρόμους και να ρυθμίζει μία διαφορετική πορεία με λιγότερη συμφόρηση.
- Οικολογική προστασία και μελέτη περιθάλψης αυτού. Η χρήση έξυπνων εργαλείων στα οχήματα μαζί με δεδομένα της V2V αρχιτεκτονικής μπορούν να συλλέξουν πολλά δεδομένα προκειμένου να βοηθήσουν στις έρευνες που ασχολούνται με τον αντίκτυπο της οδήγησης στο περιβάλλον. Με τα δεδομένα αυτά μπορούν να προωθηθούν περεταίρω τεχνολογίες και πράσινες λύσεις ως προς τους τρόπους οδήγησης, μεταφοράς και προδιαγραφών των οχημάτων.(Kumar et al., 2013)

1.6 Ασφάλεια στα VANETs

Τα σημαντικότερα προβλήματα που μπορούν να συναντηθούν κατά τη λειτουργία ενός δικτύου VANET, είναι αυτά της ιδιωτικότητας και της προσωπικής ασφάλειας. Σε ένα VANET, κάθε κόμβος (Node) μπορεί ελεύθερα να εισέλθει και να εξέλθει από το κάθε ξεχωριστό δίκτυο-τοπολογία, ενώ επίσης μπορεί να επικοινωνήσει με κάθε άλλο κόμβο. Επιπροσθέτως σε μία τοπολογία υπάρχουν και κρυφοί κόμβοι. Επόμενο λοιπόν είναι μέσα σε όλο αυτό τον αριθμό κρυφών και φανερών κόμβων να υπάρχουν κάποιοι που έχουν ως σκοπό τις κακές ενέργειες. Μπορούν δηλαδή να κάνουν επιθέσεις οι οποίες να δημιουργήσουν “μαύρες τρύπες”, να παρακολουθούν ή να κλέβουν πληροφορίες, να κάνουν άμεσες επιθέσεις κ.α. . Οπότε τα πρωτόκολλα δρομολόγησης του δικτύου θα πρέπει να φροντίζουν και για την ασφάλεια αυτού. Τα τρία θεωρητικά μοντέλα προώθησης πληροφοριών και δεδομένων σε τοπολογίες τύπου VANET είναι τα τέσσερα βήματα δημιουργίας διαδρόμου δρομολόγησης (four steps of route initialization), η ανακάλυψη της διαδρομής δρομολόγησης (route discovery), και, η δημιουργία έμπιστης διασύνδεσης (trusted routing establishment). (Ahamed & Vakilzadian, 2018)

Η ανασφαλή μεταφορά δεδομένων σε ένα VANET μπορεί να έχει καταστροφική κατάληξη για το δίκτυο. Επομένως οι πληροφορίες που αποστέλλονται από τους πομπούς προς τους δέκτες πρέπει να είναι ακριβείς, δραστικές και έμπιστες. Κάθε κόμβος που λειτουργεί μέσα σε ένα VANET πρέπει να έχει ως στόχο την οδική ασφάλεια, μέσω συχνής και σταθερής επικοινωνίας μεταξύ αυτού και των υπολοίπων που απαρτίζουν το δίκτυο. Διότι η οποιαδήποτε επιτυχημένη επίθεση σε βάρος του δικτύου θα μπορεί να έχει καταστροφικά αποτελέσματα, από σοβαρά ατυχήματα με μεγάλες υλικές ζημιές, έως και την απώλεια κάποιας ανθρώπινης ζωής. Η ασφάλεια λοιπόν στα VANETs είναι αναγκαία για τους ακόλουθους λόγους :

- Στα VANETs, γίνεται μεταφορά ευαίσθητων πληροφοριών που μπορούν να προσελκύσουν επιθέσεις.
- Πολύ υψηλοί κίνδυνοι παραβίασης προσωπικών δεδομένων.
- Με τη χρήση του WAVE, δεν απαιτείται αυθεντικοποίηση ή ιστορικό έμπιστων διασυνδέσεων λόγω της γρήγορης σύνδεσης που θέλει να προσφέρει.
- Η σύνδεση ενός κακόβουλου κόμβου είναι εύκολη λόγω των συνεχών αλλαγών στην τοπολογία. (Mishra et al., 2016)

Τα VANETs δημιουργούνται με στόχο την δημιουργία ενός πλαισίου μεγαλύτερης ασφάλειας των χρηστών των δρόμων, καλύτερη κυκλοφοριακή αποσυμφόρηση και αποφυγή τροχαίων. Οπότε για την ολοκλήρωση αυτών των στόχων και να αυξηθεί η απόδοση και η ασφάλεια των δικτύων αυτών, πρέπει να έρθει σε πέρας η ολοκλήρωση κάποιων προ απαιτούμενων, τα οποία είναι :

- Αυθεντικοποίηση, η οποία μπορεί να διαβεβαιώσει το ότι ένα μήνυμα ή μια πληροφορία έχει δημιουργηθεί από κάποιο έμπιστο και υπαρκτό χρήστη. Στα VANETs οι κόμβοι λειτουργούν με βάση τις πληροφορίες που συλλέγουν και αποστέλλουν ο ένας στον άλλο οπότε η αυθεντικοποίηση είναι πολύ σημαντική.
- Έμπιστα δεδομένα, όπου τα δεδομένα που δέχεται ένας κόμβος πρέπει να είναι αληθινά και ορθά. Για να διασφαλιστεί η εμπιστευτικότητα των πληροφοριών πρέπει επίσης να γίνονται συστηματικοί έλεγχοι
- Αξιοπιστία. Οι πληροφορίες που συλλέγονται πρέπει να είναι αυτούσιες και να μην έχουν πειραχτεί ή παραμετροποιηθεί από οποιοδήποτε μη εγκεκριμένο χρήστη. Η κάθε παραμετροποίηση θα μπορούσε να βλάψει και τη λειτουργία του συστήματος όπως και να επιφέρει ένα οποιοδήποτε κυκλοφοριακό χάος.
- Διαθεσιμότητα. Τα συστήματα του δικτύου διαχειρίζονται πολύ σημαντικές πληροφορίες, οι οποίες για αυτό τον λόγο πρέπει να είναι διαθέσιμες για κάθε χρήστη του δικτύου ο οποίος φέρει την απαραίτητη άδεια η του παραχωρείται αυτή, προκειμένου να μπορεί να έχει πρόσβαση στις προαναφερθείσες πληροφορίες.
- Διαχείριση καθυστερήσεων, καθώς οι πληροφορίες που αφορούν την ασφάλεια είναι καίριες και πρέπει να αποφεύγονται οι καθυστερήσεις.
- Απορρητότητα, ως προς τα δεδομένα του κάθε χρήστη, τα οποία δεν πρέπει να είναι προσβάσιμα από λοιπούς χρήστες χωρίς την άδεια του πρώτου.

(Mishra et al., 2016)

Τα VANETs περιέχουν όλα τα προαπαιτούμενα χαρακτηριστικά ώστε να μπορούν να λειτουργούν αυτόνομα στο πεδίο για το οποίο έχουν δημιουργηθεί. Ωστόσο πολλές φορές αυτά τα χαρακτηριστικά μπορούν να γίνουν ένα μεγάλο εμπόδιο στη χρήση αυτού του τύπου δικτύου. Τα εμπόδια αυτά θα μπορούσαμε να τα κατονομάσουμε ως τεχνικές δυσκολίες (θέματα όπως η διαχείριση της κάλυψης ενός τόσο μεγάλου δυναμικού δικτύου), και , κοινωνικό-οικονομικές δυσκολίες (το κόστος δηλαδή δημιουργίας των υποδομών καθώς και η κοινωνική αποδοχή του έργου). Λόγω του αντίκτυπου ενός έργου σαν την χρήση VANET στην οδική ζωή, η ασφάλεια του είναι σημαντική και υπάρχουν κάποια εμπόδια τα οποία πρέπει να ξεπεραστούν προκειμένου να διευθετηθεί εν μέρει και το θέμα της ασφάλειας. Τα εμπόδια αυτά είναι :

- Η αξιοπιστία των δεδομένων. Η οποιαδήποτε κακοήθης μετατροπή στα δεδομένα που μεταβάλλονται στο δίκτυο μπορεί να οδηγήσει σε ατυχήματα, λόγω της φύσης και της αξίας των ορθών μηνυμάτων. Πρέπει να σχεδιαστεί ένας μηχανισμός που θα ελέγχει ποιες πληροφορίες προέρχονται από έμπιστες και μη πηγές, όπως επίσης θα πρέπει να ελέγχεται συνεχώς η προέλευση και η κατάληξη οποιουδήποτε είδους πληροφορίας.
- Η υψηλή κίνηση. Τα VANET είναι πολύ κινητικά δίκτυα, οπότε δεν χρειάζονται ιδιαίτερα πολύπλοκους αλγορίθμους ασφαλείας, ακόμα και αν είναι ικανά να επεξεργάζονται μεγάλο όγκο δεδομένων.
- Η διαχείριση σφαλμάτων. Η αποστολή και αποδοχή μηνυμάτων γίνεται πολύ γρήγορα, οπότε κάποιο σφάλμα σε κάποιο πρωτόκολλο ή αλγόριθμο μπορεί να έχει κακές συνέπειες. Πρέπει να δημιουργηθούν επομένως πρωτόκολλα που θα επιχειρούν στην αποτροπή δημιουργία σφαλμάτων.
- Ο έλεγχος καθυστερήσεων. Οι πληροφορίες που κινούνται εντός του δικτύου είναι ιδιαίτερος ευαίσθητες ως προς τον παράγοντα χρόνο. Πρέπει λοιπόν να χρησιμοποιούνται μηχανισμοί κρυπτογράφησης και προώθησης ιδιαίτερα εξελιγμένοι ώστε να μην υπάρχουν καθυστερήσεις ως προς τα μέσα μετάδοσης αλλά και ασφάλειας.
- Η διαχείριση κλειδιών. Όλοι οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται στα VANETs είναι εξαρτώμενοι από κλειδιά. Επομένως η δημιουργία, διαχείριση, διατήρηση και η μετάδοση των κλειδιών αυτών είναι ιδιαίτερα σημαντική και πρέπει να γίνεται σωστά.

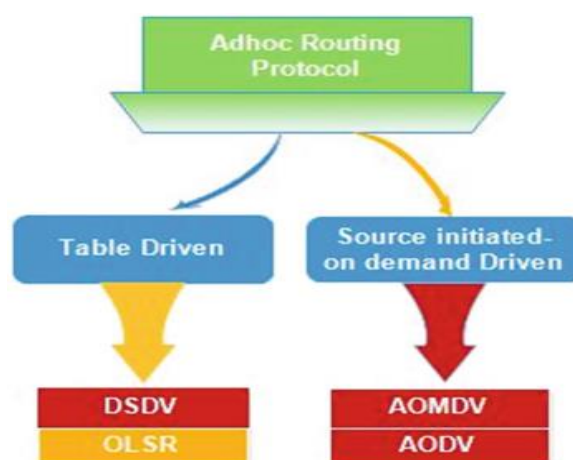
(Mishra et al., 2016)

2. Πρωτόκολλα δρομολόγησης στα VANETs

Λαμβάνοντας υπόψιν τα ειδικά χαρακτηριστικά των VANETs, η διαδικασία δρομολόγησης αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα πάνω στο οποίο πρέπει να γίνει εκτενής μελέτη, προτού γίνει ιδιαίτερα αποδοτική προκειμένου να χρησιμοποιηθεί σε ευρύ σκέλος από ένα δίκτυο. Τα πακέτα δεδομένων αποστέλλονται από τον κόμβο πηγή προς τον δέκτη μέσω οχημάτων τα οποία χρησιμοποιούνται ως διαμεσολαβητές. Ωστόσο ο μεγάλος αριθμός οχημάτων σε συνδυασμό με τις ιδιαίτερες ταχύτητες αυτών και τις συνεχείς μετατροπές στο πλήθος αυτών στο δίκτυο, αυξάνουν τα προβλήματα και τις προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν.

Στο συγκεκριμένο χρονικό σημείο οι κατηγορίες των πρωτοκόλλων δρομολόγησης μπορούν να χωριστούν σε πέντε : τα Flooding-Based πρωτόκολλα δρομολόγησης, τα οποία απλά μεταδίδουν μηνύματα σε δίκτυο. Τα Mobility-Based που χρησιμοποιούν μετρήσεις όπως ταχύτητες οχημάτων, τις πορείες που ακολουθούν και το μέγεθος αυτών, προκειμένου να υπολογίσουν τον χρόνο που θα χρειαστεί για να φτάσει ένα πακέτο στον προορισμό. Τα Infrastructure-Based πρωτόκολλα, όπου κάνοντας χρήση μονάδων δρόμου (RSUs), και, άλλων σταθερών δομών φροντίζουν για την απόδοση και την ασφάλεια των επικοινωνιών σε ένα δίκτυο VANET. Τα Geographical-Based, τα οποία μπορούν έχοντας ενημερωθεί από τα δεδομένα τοποθεσιών να καθορίσουν τις συντομότερες διαδρομές που μπορούν να ακολουθήσουν διάφορα πακέτα και τέλος τα Probability-Based πρωτόκολλα. Στα συγκεκριμένα, γίνεται χρήση αλγορίθμων πρόβλεψης προκειμένου να υπάρχει ετοιμότητα αντιμετώπισης κάθε πιθανού σεναρίου καταστροφής συνδέσεων στο δίκτυο. (Soumaya D., Dardouri S., 2020)

Συγκριτικά με λοιπές κατηγορίες πρωτοκόλλων δρομολόγησης, αυτά που έχουν μελετηθεί και αναπτυχθεί παραπάνω είναι τα Proactive routing protocols και τα Reactive routing protocols, ομοίως έχει μελετηθεί και η χρήση των δύο αυτών τύπων δρομολόγησης συνεργατικά, η υβριδική δρομολόγηση, κατά την οποία γίνεται χρήση και των δύο παραπάνω κατηγοριών δρομολόγησης. (Bengag, Amina & Elboukhari, 2018)



Εικόνα 9 : Πρωτόκολλα δρομολόγησης VANET

πηγή : (Soumaya D., Dardouri S., 2020)

2.1 Reactive (On Demand) δρομολόγηση

Η Reactive δρομολόγηση έχει σαν αρχή να μην αποθηκεύει δεδομένα δρομολόγησης σε κόμβους του δικτύου εφόσον αυτοί δεν μπορούν να επικοινωνήσουν είτε με τον πομπό είτε με τον τελικό δέκτη. Τα συγκεκριμένα πρωτόκολλα λειτουργούν με μία διαφορετική προσέγγιση καθώς δρομολογούν πληροφορίες με βάση συγκεκριμένες καταστάσεις σε παροντικό χρόνο. Δεν αποθηκεύουν λεπτομέρειες ούτε ενημερώνουν συνεχώς τους πίνακες δρομολόγησης τους. Ανάλογα με τη ζήτηση αν και εφόσον κάποιος κόμβος θέλει να στείλει κάποιο πακέτο πληροφοριών σε κάποιον άλλο, γίνεται έρευνα της καλύτερης πιθανής διαδρομής αποστολής του πακέτου και μόνο εφόσον βρεθεί αυτή δημιουργείται μία γέφυρα επικοινωνίας και μεταδίδονται τα δεδομένα. Παραδείγματα αυτής της τεχνικής είναι οι δρομολογήσεις DSR και AODV. (Vidhale & Dorle, 2011)

2.2 Proactive (Table Driven) δρομολόγηση

Στη proactive δρομολόγηση τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται είναι ιδιαίτερα όμοια με αυτά των τοπικών (ενσύρματων) δικτύων. Κάθε πομπός που υπάρχει μέσα στην τοπολογία όταν γίνεται χρήση proactive δρομολόγησης, εμπεριέχει τις πληροφορίες της τοπολογίας σε πίνακες δρομολόγησης. Κάθε σειρά περιέχει την ανάλυση της μετακίνησης ενός πακέτου κατά την μεταπήδηση (Hop) από έναν κόμβο σε έναν άλλο αλλά και το κόστος αυτής. Σε περίπτωση μετατροπής ή αλλαγής της τοπολογίας, τα table driven πρωτόκολλα μπορούν να διαφέρουν αρκετά στον τρόπο με τον οποίο μεταφέρουν την νέα πληροφορία μεταξύ των κόμβων του δικτύου. Τα προβλήματα αυτά προκύπτουν επίσης από το γεγονός ότι θα πρέπει οι πίνακες δρομολόγησης του κάθε κόμβου που συμβάλλει στο δίκτυο να αλλάξει εφόσον προήλθε μία διαφοροποίηση στην τοπολογία. Τα proactive πρωτόκολλα επίσης δεν είναι μηχανισμοί που μπορούν να λειτουργήσουν εύμορφα σε μεγάλου σκέλους τοπολογίες, καθώς η συνεχής ενημέρωση των πληροφοριών κάθε κόμβου βάσει την παραμικρή προσθήκη ή αφαίρεση κόμβου στο δίκτυο δεν είναι προσιτή. Παράδειγμα αυτής της κατηγορίας δρομολογήσεως αποτελεί το DSDV. (Vidhale & Dorle, 2011)

2.3 Υβριδική δρομολόγηση

Αυτή η τεχνική δρομολόγησης συμπεριλαμβάνει και χρησιμοποιεί τα καλύτερα στοιχεία της Proactive και Reactive δρομολόγησης. Αν οι κόμβοι-παραλήπτες συγκεκριμένων μηνυμάτων βρίσκονται σε μικρή απόσταση γεωγραφικά από τον αποστολέα, τότε χρησιμοποιείται η Proactive δρομολόγηση. Σε αντίθετη περίπτωση, εφόσον ο παραλήπτης βρίσκεται σε μία απόσταση μεγάλη γεωγραφικά από τον αποστολέα, τότε χρησιμοποιείται η Reactive δρομολόγηση. (Dixit et al., 2017)

2.4 Περισσότεροι τρόποι δρομολόγησης

Αν και η χρήση των Proactive, Reactive και Hybrid τρόπων δρομολόγησης έχει επικρατήσει καθώς είναι και οι τρεις αρκετά μελετημένες και δοκιμασμένες σε πληθώρα εφαρμογών και προσομοιώσεων, υπάρχουν και άλλες κατηγορίες τρόπων δρομολόγησης οι οποίες, είτε ήδη χρησιμοποιούνται σε παράλληλο βαθμός με τις προαναφερόμενες τρεις, είτε στο μέλλον μπορεί να αποδειχθούν εξίσου χρήσιμες ή και να καταλάβουν την θέση που έχουν τώρα οι τρεις πρώτες. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι :

- **Unicast Routing.**

Τα πρωτόκολλα αυτά στοχεύουν στην μετάδοση δεδομένων από έναν πομπό με την χρήση των κόμβων ως ενδιάμεσους προωθητές έως ότου το σύνολο των πληροφοριών φτάσει στον τελικό δέκτη. Η χρήση του δικτύου σε μία τέτοια περίπτωση καθώς και οι καθυστερήσεις μετάδοσης είναι πολύ χαμηλές.

- **Broadcast Routing.**

Για τη χρήση αυτών των πρωτοκόλλων είναι σίγουρο το flooding των δεδομένων των πακέτων όλου του δικτύου προκειμένου να γίνει η σωστή επιλογή διαδρομής. Το Flooding απαιτεί βέβαια μεγάλη κατανάλωση bandwidth, δημιουργεί συμφόρηση στο δίκτυο, υπάρχουν πιθανότητες να χαθούν πακέτα ή να σταματήσει η μεταφορά τους, καθώς και μεγάλες καθυστερήσεις παράλληλα με αργές ταχύτητες μετάδοσης του δικτύου.

- **Multicast Routing.**

Τα συγκεκριμένα πρωτόκολλα χρησιμοποιούνται για την μεταφορά πακέτων δεδομένων από έναν πομπό πηγή προς έναν ή πολλούς πομπούς παραλήπτες χρησιμοποιώντας επικοινωνία multi-hop. Κεφαλές συμπλεγμάτων (Cluster heads) του δικτύου επιλέγονται στο δίκτυο προκειμένου με αυτή την τακτική να γίνεται ευκολότερα η επικοινωνία εντός αλλά και εκτός της τοπολογίας. Ο συγκεκριμένος τρόπος δρομολόγησης χρησιμοποιεί αρκετά λίγο το δίκτυο και έχει ελάχιστε καθυστερήσεις πακέτων.

- **Power-aware Routing.**

Η μεγαλύτερη λειτουργική ευθύνη που υπάρχει σε αυτά τα είδη πρωτοκόλλων αποτελεί η διαχείριση του δικτύου με τέτοιο τρόπο ώστε αυτό να ‘‘ζήσει’’, όσο περισσότερο γίνεται. Λαμβάνονται λοιπόν βάσει αυτής της αρχής λειτουργίας, αποφάσεις δρομολόγησης ανάλογες με την ενέργεια των κόμβων, την κατανάλωση ενέργειας αυτών και την ετερογενή φύση τους, λόγω των τοπολογιών των δικτύων και τον τρόπο με τον οποίο μεταφέρονται δεδομένα σε αυτά.

- **Multipath Routing.**

Η ύπαρξη κάποιων σταθερών και εύχρηστων πρωτοκόλλων όπως το AODV, ή το DSR, δημιουργεί την ανάγκη για την χρήση τους προκειμένου να βρεθεί μία ορθή διαδρομή για τη μεταφορά δεδομένων. Ωστόσο το Multipath routing βρίσκει πολλές και διαφορετικές διαδρομές ανάμεσα σε αποστολέα και παραλήπτη, γεγονός το οποίο μπορεί να βοηθήσει ιδιαίτερα σε απροσδόκητες περιπτώσεις όπως, μεγαλύτερο ποσοστό ελεύθερου bandwidth, καλύτερη προστασία δεδομένων και μεταχείριση λαθών. Αυτά τα πολλαπλά μονοπάτια δημιουργούνται συνήθως τη στιγμή που είναι αναγκαία η ύπαρξη τους για τις ανάγκες του δικτύου, παράγοντας πολύ σημαντικός λόγω της συνεχούς κίνησης στα VANET δίκτυα. Οι τρεις βασικές λειτουργίες του Multipath routing είναι, η δρομολόγηση πακέτων και ανακάλυψη διαδρομών, η συντήρηση των διαδρομών αυτών και η διαχείριση-επιτήρηση της κίνησης.

- **Hierarchical Routing**

Αυτό το είδος πρωτοκόλλων ορίζει μία λογική ιεραρχία ανάμεσα στους πομπούς ενός δικτύου, χρησιμοποιώντας τεχνικές δημιουργίας συμπλεγμάτων (Clustering), και, δεδομένα των δρομολογήσεων στο δίκτυο. Η ιεραρχία αυτή μπορεί να βασίζεται σε γεωγραφικά δεδομένα ή τον αριθμό πακέτων που εξυπηρετεί ο κάθε πομπός. Ο ανώτερος πομπός λειτουργεί με σκοπό την ανάπτυξη της ήδη υπάρχουσας τοπολογίας καθώς και την αποδοτικότητα αυτής. Οι προσεγγίσεις αυτές πάντως μπορούν να δημιουργήσουν πολύ μεγάλα δεδομένα δρομολόγησης και οι κεφαλίδες των πακέτων μεταγωγής να μεγαλώσουν πολύ σε μέγεθος, ανάλογα την αύξηση στο μέγεθος του δικτύου.

- **Location-aware Routing.**

Τα γεωγραφικά μοντέλα δρομολόγησης κάνουν την υπόθεση ότι τα οχήματα-πομποί, έχουν αντίκρισμα και γνώση της τοποθεσίας τους μέσω του Global Positioning System (GPS), και, της συντεταγμένες αυτής. Αφού η προσέγγιση αυτή προϋποθέτει τη χρήση GPS από κάθε μέλος της τοπολογίας, τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη κατηγορία, με βάση τα δεδομένα τοποθεσίας που συλλέγουν, τα χρησιμοποιούν για βελτίωση της δρομολόγησης πακέτων και μείωση καθυστερήσεων και μεγεθών πακέτων.

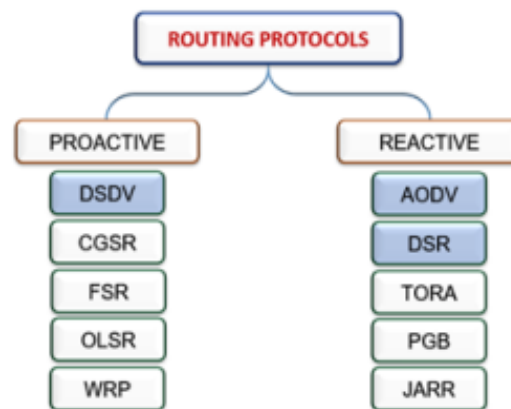
- **Geographical Multicast Routing.**

Τέλος, υπάρχει η συγκεκριμένη κατηγορία στην οποία με τη χρήση δεδομένων που συλλέγονται ή παράγονται μέσω GPS, μπορεί να γίνει δρομολόγηση πακέτων πολύ πιο εύκολα μέσα σε κάποια συγκεκριμένα όρια μίας περιοχής, ή ενός συνόλου περιοχών.

(Dixit et al., 2017)

2.5 Περιγραφή συγκεκριμένων πρωτοκόλλων

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης απαρτίζουν έναν τρομερά σημαντικό ρόλο στην επιτυχία ενός VANET. Λόγω των απαιτήσεων και των χαρακτηριστικών ενός τέτοιου δικτύου, όπως είναι οι συνεχείς συνδέσεις και αποσυνδέσεις σε αυτό και η δυναμική δρομολόγηση μεγάλου σκέλους που απαιτεί, σύνθητες φαινόμενο αποτελεί η χρήση δύο συγκεκριμένων πρωτοκόλλων δρομολόγησης και αυτά είναι το AODV και το DSR, τα οποία εντάσσονται στην κατηγορία των Reactive (On-Demand) πρωτοκόλλων δρομολόγησης. Η χρήση αυτών των δύο γίνεται διότι θεωρούνται τα καλύτερα ως προς τον φόρτο προς τις συσκευές των τοπολογιών καθώς απαιτούν την εύρεση διαδρομών μόνο αν είναι απαιτούμενο και έπειτα γίνεται η μεταφορά των πακέτων, μία διαδικασία η οποία είναι απαιτητική για κάθε πρωτόκολλο. Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα γίνει ανάλυση αυτών των δύο πρωτοκόλλων αλλά και αρκετών άλλων που έχουν δοκιμαστεί σε πειραματικές μελέτες ή ακόμα δοκιμάζονται προκειμένου να προχωρήσει η εξέλιξη των δικτύων VANET. (Pandey et al., 2015)



Εικόνα 10 : Παράδειγμα τύπου και πρωτοκόλλου δρομολόγησης
πηγή : (Mahdi, Hussain & Abood, Mohammed & Hamdi, 2021)

2.5.1 Destination Sequenced Distance Vector, DSDV

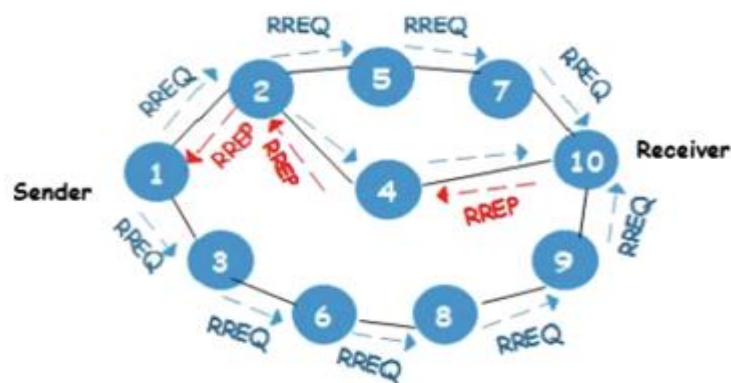
Το DSDV είναι ένα Proactive πρωτόκολλο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την δρομολόγηση ενός Unicast δικτύου, ενώ βασίζεται συνήθως στον αλγόριθμο Bellman-Ford. Ωστόσο οι μηχανισμοί που χρησιμοποιεί είναι ιδιαίτερος διαφορετικοί ως προς την δρομολογική ικανότητα σε σταθερά κινούμενα δίκτυα. Στο παρών πρωτόκολλο οι πίνακες δρομολόγησης με κάθε hop ενός πακέτου η είσοδος του σε έναν νέο πομπό του δικτύου έχει ορισθεί ήδη σαν input. Το κόστος της διαδρομής μέχρι την κατάληξη του DSDV χρησιμοποιεί σειριακούς αριθμούς ώστε να διαφοροποιήσει παλιές και νέες διαδρομές, προκειμένου να αποφευχθεί η δημιουργία επαναλήψεων των διαδρομών. Ο κάθε πομπός του δικτύου συνήθως στέλνει ανά τακτά διαστήματα ενημερώσεις στους γειτονικούς του πομπούς, οι οποίες περιέχουν και πληροφορίες της δρομολόγησης του δικτύου. (Mahdi, Hussain & Abood, Mohammed & Hamdi, 2021)

2.5.2 Optimized Link Stat Routing, OLSR

Με τη χρήση του OLSR κάθε πομπός του δικτύου περιοδικά εκπέμπει πληροφορίες σχετικά με τον πίνακα δρομολόγησης του. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει σε κάθε πομπό να κατασκευάσει μία γενική εικόνα της τοπολογίας του δικτύου στο οποίο εμπεριέχεται και δρα. Το OLSR χρησιμοποιεί την τεχνική των Multi-Point Relays (MPR), ώστε να διατάσσει τον έλεγχο της κίνησης, κάτι το οποίο μειώνει τον φόρτο εργασίας (overhead) των πομπών και γλυτώνει το δίκτυο από υπερχειλίση (flooding), χρησιμοποιώντας συγκεκριμένους πομπούς και βελτιστοποιώντας την διαδικασία αναμετάδοσης πληροφοριών. (Bengag, Amina & Elboukhari, 2018)

2.5.3 Ad-hoc on Demand Distance Vector routing, AODV

Το AODV είναι ένα Reactive Multicast πρωτόκολλο, χρησιμοποιείται για δυναμική ασύρματη δρομολόγηση όπως λόγω της συχνής μετακίνησης των πομπών που εμπεριέχει εντός και εκτός του δικτύου είναι Reactive. Γι' αυτό τον λόγο αποτελεί ένα on demand πρωτόκολλο αφού δρομολογεί μόνον όταν επιθυμεί κάποιος πομπός να μεταδώσει πληροφορίες. Ο πομπός μετάδοσης μεταφέρει πληροφορίες άμεσα με το που απαιτηθεί από τον ίδιο μετάδοση δεδομένων. Ο πομπός μετάδοσης έπειτα μεταδίδει ένα αίτημα αναμετάδοσης (route request message, RREQ), σε γειτονικούς πομπούς, όταν ο πομπός μετάδοσης επιθυμεί να μεταφέρει πληροφορίες σε συγκεκριμένο παραλήπτη. Αναγνωρίζει την διαδρομή και αν αυτή είναι επιτρεπτή μέσω ενός μηνύματος απάντησης (RREP), εφόσον κάποιος γειτονικός πομπός μπορεί να μεταδώσει προς τον παραλήπτη. Σε αντίθετη περίπτωση ο γειτονικός πομπός αναμεταδίδει συνεχώς το RREQ έως ότου βρεθεί ένας πομπός ο οποίος θα δεχθεί το αίτημα και θα μεταδώσει με τη σειρά του ένα RREP αποδοχής.



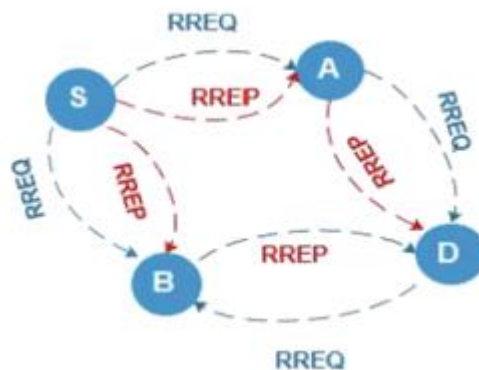
Εικόνα 11 : Πρωτόκολλο AODV
πηγή : (Soumaya D., Dardouri S., 2020)

Το πρωτόκολλο αυτό έχει την υποχρέωση να δημιουργεί μία τοπολογία και να την συντηρεί για όσο εξυπηρετεί τις διάφορες μεταδόσεις. Το AODV έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μειώνεται η μετάδοση πληροφοριών κίνησης, και, με αυτό τον τρόπο δεν μπορεί να αναπτύξει νέες εκδόσεις και επιτεύγματα. Κύρια θετικά σημεία του είναι πως η δρομολόγηση γίνεται on-demand και ο αριθμός ακολουθία παραλήπτη βοηθά να βρεθεί γρήγορα η πορεία δρομολόγησης μειώνοντας έτσι τυχόν καθυστερήσεις δημιουργίας ορθής τοπολογίας. (Soumaya D., Dardouri S., 2020)

2.5.4 Ad-hoc on Demand Multipath Distance Vector, AOMDV

Καθώς τα δίκτυα VANET έχουν πολλή υψηλή δυναμική, η χρήση του multipath έναντι πρωτοκόλλων ενός μονοπατιού είναι πολύ πιο σημαντική και εξίσου θελκτική. Το πρωτόκολλο δρομολόγησης AOMDV, αποτελεί ένα πρόσθετο αποτέλεσμα της ύπαρξης του AODV. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο χρησιμοποιεί διάφορα μονοπάτια προκειμένου να φτάσει ένα πακέτο σε κάποιον παραλήπτη, σε αντίθεση με τον δεύτερο το οποίο εμπεριέχει πάντα ένα και μοναδικό μονοπάτι διαδρομής για την πράξη αυτή. Παρά αυτή τη διαφορά τα δύο πρωτόκολλα συμπεριφέρονται με τον ίδιο τρόπο σε πολλές διεργασίες τους όπως το ότι είναι reactive, στον μηχανισμό εύρεσης διαδρομών και στην συντήρηση των ήδη οριστικοποιημένων διαδρομών.

Ωστόσο το AOMDV, συγκεκριμένα έχει περισσότερα RREP και RREQ σε σχέση με το AODV, προκειμένου να γίνεται η εύρεση και η συντήρηση τύπου multipath, ταυτόχρονα με κάποιες επιπρόσθετες λειτουργίες του δρομολογικού ελέγχου πακέτων. Είναι λοιπόν επόμενο να γίνεται μεγαλύτερη χρήση των πόρων των πομπών. Επιπροσθέτως το πρωτόκολλο AOMDV χρησιμοποιεί ιδιαίτερους τρόπους διατήρησης μικρών επαναλήψεων στην δρομολόγηση όπως και ανοιγμάτων νέων μονοπατιών επικοινωνίας σε σύγκριση με το AODV, που υποχρεώνει τον κάθε πομπό σε μία μοναδική διαδρομή για κάθε μήνυμα που πρέπει να μεταφερθεί σε έναν προορισμό. Πάντως για να υπάρχουν πολλαπλές διαδρομές προς μία κατεύθυνση χωρίς επαναληπτικές διαδρομές και διατήρηση ανοιγμάτων χρειάζεται παραπάνω προσοχή και μελέτη.



Εικόνα 12 : Πρωτόκολλο AOMDV
πηγή : (Soumaya D., Dardouri S., 2020)

Επομένως το AOMDV, ανανεώνει διάφορους κανόνες οι οποίοι αφορούν την αποδοχή μίας διαδρομής και την προώθηση μίας ελεύθερης διαδρομής, ώστε να μην υπάρχει επαναληπτική χρήση διαδρομών και ανοιχτά μονοπάτια επικοινωνίας. Για να έρθει σε πέρας η συμπλήρωση αυτών των δύο υποχρεώσεων, οι πομποί πρέπει να ακολουθούν κάποιους κανόνες λειτουργίας. Αρχικά για έναν κοινό παραλήπτη (ή κοινή ακολουθία παραληπτών), οι πομποί δεν πρέπει να προωθούν κάποια διαδρομή μικρότερη από κάποια που ήδη έχει προωθηθεί. Έπειτα, οι πομποί δεν επιτρέπεται να δεχθούν μία διαδρομή μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή που έχει ήδη προωθηθεί ή σχηματιστεί. Αυτοί οι δύο κανόνες θα μπορούσαν να βάλουν σταθερές βάσεις στην μη επαναληπτική και διατηρητέα λειτουργία του πρωτοκόλλου AOMDV. (Soumaya D., Dardouri S., 2020)

2.5.5 Dynamic Source Routing, DSR

Το πρωτόκολλο DSR λειτουργεί σε δύο φάσεις, κατά τη πρώτη φάση ενεργοποιείται ανακαλύπτοντας μία διαδρομή και στη συνέχεια δρα διατηρώντας τη διαδρομή αυτή. Οι διαδρομές αυτές που ανακαλύπτονται πρόσφατα αποθηκεύονται στη μνήμη cache. Όποτε ο πομπός αποστολέας ζητάει την εύρεση μίας διαδρομής για ένα συγκεκριμένο προορισμό, ο πομπός χρησιμοποιεί τα δεδομένα που είναι αποθηκευμένα στη μνήμη cache του. Αν και εφόσον αυτή η διαδρομή που έχει αποθηκευμένη είναι ελεύθερη τότε χρησιμοποιείται για την προώθηση του πακέτου δεδομένων προς τον παραλήπτη. Σε περίπτωση που η συγκεκριμένη διαδρομή δεν είναι ελεύθερη, τότε ο αποστολέας θα μεταδώσει ένα πακέτο RREQ σε γειτονικούς του πομπούς οι οποίοι με τη σειρά τους ελέγχουν τις πιθανές διαδρομές που έχουν αποθηκευμένες στην cache, ώστε να γίνει η προώθηση του πακέτου. Αν υπάρχει διαθέσιμη διαδρομή τότε ο γειτονικός πομπός που βρήκε αυτή τη διαδρομή εκπέμπει ένα RREP πακέτο πίσω στον αρχικό πομπό αποστολέα. Αν ούτε ο γειτονικός έχει βρει μία διαδρομή με τη σειρά του αποστέλλει ένα RREQ σε γειτονικούς πομπούς συμπεριλαμβάνοντας και τη δικιά του ταυτότητα στο αρχείο διαδρομής. Σε περίπτωση που υπάρξει λήξη σύνδεσης ή καταστροφή με οποιοδήποτε τρόπο της διασύνδεσης των πομπών τότε ξεκινά η δεύτερη φάση, της διατήρησης, ειδοποιώντας τους λοιπούς πομπούς για το σφάλμα στην δρομολόγηση με ένα πακέτο που περιέχει πληροφορίες επί του σφάλματος ώστε να ενημερωθούν τα δεδομένα σε κάθε cache μνήμη. (Pandey et al., 2015)

2.5.6 Location Aided Routing, LAR

Στα ανωτέρω αναφερόμενα πρωτόκολλα, η υπερχειλίση των RREQ πακέτων πρέπει να γίνει προκειμένου να βρεθεί μονοπάτι δρομολόγησης ανάμεσα σε πομπό αποστολέας και δέκτη, μία πρακτική η οποία θα οδηγήσει σε μία “καταιγίδα” μεταδόσεων. Αυτό το πρόβλημα έχει αναλυθεί σε κάποιες έρευνες και η πρόταση για τη λύση του ήταν το πρωτόκολλο δρομολόγησης LAR, όπου η υπερχειλίση πραγματοποιείται σε μία συγκεκριμένη περιοχή της τοπολογίας και όχι σε όλα της το φάσμα.. Χρησιμοποιεί τις πληροφορίες τοποθεσίας που μπορεί να λάβει μέσω GPS και προχωρά σε υπερχειλίσεις σημείων ορισμένων βάσει τοποθεσίας αποστολέα και παραλήπτη. Εφόσον η τοπολογία

πλέον έχει περιορισθεί, τα πακέτα RREQ μεταδίδονται σε ένα μικρό αριθμό πομπών στο δίκτυο όπου το αποτέλεσμα είναι να μειώνεται ο φόρτος εργασίας των πομπών. Επομένως η βασική διαφορά ανάμεσα σε DRS, AODV και το LAR, είναι ότι το τελευταίο χρησιμοποιεί δεδομένα τοποθεσίας των πομπών με αποτέλεσμα να μειώνεται η χρήση των πομπών για την ανακάλυψη διαδρομών. (Pandey et al., 2015)

2.5.7 Greedy Perimeter Stateless Routing, GPSR

Ομοίως με το LAR, και, το GPSR απαιτεί πληροφορίες τοποθεσίας GPS των πομπών του δικτύου. Ένας πομπός χρησιμοποιεί το GPSR για την μετάδοση δεδομένων. Όταν αποτυγχάνει το κομμάτι του πρωτοκόλλου που αφορά την greedy μετάδοση, τότε ξεκινά η προώθηση περιμέτρου προκειμένου να επιλεγεί ο επόμενος πομπός που θα μεταφέρει πληροφορίες. Το πρωτόκολλο αυτό αποσπάει πολλά θετικά, καθώς η προώθηση πακέτων απαιτεί μόνο την ύπαρξη ενός γειτονικού πομπού στη μνήμη. Ωστόσο για τοπολογίες με χαρακτηριστικά υψηλές ταχύτητες πομπών, οι πληροφορίες των γειτονικών τους αλλάζουν και μαζεύονται αχρείαστες πληροφορίες στις μνήμες των πομπών. (Bengag, Amina & Elboukhari, 2018)

2.5.8 Greedy Perimeter Coordinator Routing, GPCR

Το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιεί μηχανισμό περιορισμένης greedy προώθησης, καθώς και στρατηγική επανόρθωσης η οποία βασίζεται σε κόμβους του δικτύου, στους οποίους οι βασικές αποφάσεις δρομολόγησης λαμβάνουν χώρα. Επομένως τα πακέτα πρέπει να προωθούνται στους πομπούς μέσω των μέσων που υπάρχουν σε κόμβους-διασταυρώσεις της τοπολογίας-δικτύου. Έπειτα ο κόμβος προωθεί τις πληροφορίες προς τον επόμενο γειτονικό του, ο οποίος απέχει συγκριτικά με λοιπούς την μικρότερη απόσταση από τον παραλήπτη του πακέτου που χρειάζεται να προωθηθεί. Το κύριο πλεονέκτημα του πρωτοκόλλου GPCR είναι το γεγονός ότι δεν απαιτεί πληροφορίες εκτός δικτύου, όπως και πληροφορίες από υπηρεσίες όπως το GPS (παγκόσμιου βεληνεκούς), αφού βασίζεται μόνο στις υπηρεσίες που προσφέρουν συσκευές σε κόμβους και διασταυρώσεις τοπολογιών. Ωστόσο, το GPCR υποθέτει ότι πάντα υπάρχει ένας πομπός σε μία διασταύρωση, μία υπόθεση που δεν γίνεται πάντα να είναι δεδομένη. (Bengag, Amina & Elboukhari, 2018)

3. Το επίπεδο MAC-PHY στα VANETs

Η δικτύωση οχημάτων αποτελεί τον τεχνολογικό τρόπο κατά τον οποία μπορεί να γίνει χρήση ιδιαίτερων νέων καινοτομιών και συνθηκών κατά την ανθρώπινη οδική εμπειρία. Δεδομένου ότι η συγκεκριμένη τεχνολογία βρίσκεται ακόμα υπό ένα φάσμα βελτίωσης, υπάρχουν πολλές παράμετροι και προϋποθέσεις που πρέπει να καλυφθούν και να αντιμετωπισθούν, καθώς είναι συνεχώς αυξανόμενη η ζήτηση αυτών των τεχνολογιών από την αγορά. Προκειμένου να χρησιμοποιηθούν ολοκληρωτικά αυτές οι καινοτομίες, θα πρέπει τα οχήματα πλέον να μπορούν αυτομάτως με έναν “έξυπνο” τρόπο να επιχειρούν υπό κάποια δικτυακά σενάρια με επιτυχία. Γι’ αυτό τον λόγο είναι ορθή η απαίτηση να γνωρίζουμε τις δυνάμεις και τις αδυναμίες κάθε τεχνολογίας που χρησιμοποιείται, καθώς και να κατανοούμε ποια τεχνολογία θα ήταν σε κάθε περίπτωση πιο συνετή ως προς χρήση.

Το πρωτόκολλο IEEE 802.11p, θεωρείται de facto το πρότυπο πρωτόκολλο χρήσης σε όλα τα δίκτυα οχημάτων. Το συγκεκριμένο στάνταρ του IEEE, συμπεριλαμβάνει φυσικό επίπεδο (Physical layer, PHY) και Medium Access Control layer (MAC) προσδιορισμούς, καθώς και ανώτερα πρωτόκολλα. (Hameed Mir & Filali, 2014)

Με το πέρας της δεκαετίας, οι προσπάθειες των επιστημονικών οργανισμών καθώς και της βιομηχανίας οδήγησαν στην ανάπτυξη εκτός του IEEE 802.11p πρωτοκόλλου το οποίο χαρακτηρίζει το MAC και PHY επίπεδο, και, στην δημιουργία του IEEE 1609 WAVE. (Suman Malik, 2019)

3.1 Η οικογένεια πρωτοκόλλων IEEE 802.11

Τα 802.11 στάνταρ όπως τα κατονομάζουν, είναι υπεύθυνα για τη δημιουργία των προϋποθέσεων στήριξης και λειτουργίας του φυσικού επιπέδου και του MAC επιπέδου. Με το πέρας των χρόνων έχουν γίνει πολλές προσθήκες στις λειτουργίες των στάνταρ αυτών, ώστε να είναι δυνατή η εξόπλιση της χρήσης των δύο επιπέδων αυτών σε καλύτερο επίπεδο και απόδοση. Οι προσθήκες στο MAC αφορούν κυρίως την ασφάλεια αλλά και την ποιότητα της υπηρεσίας που προσφέρεται (Quality of Service, QoS). Οι προσθήκες στο φυσικό επίπεδο αφορούν με τη σειρά τους, τον καλύτερο τρόπο λειτουργίας αυτού. Στην πραγματικότητα θα μπορούσαν να θεωρηθούν περισσότερο προσαρμοστικές αλλαγές παρά προσθήκες. (Baumann, 2004)

Κάποια από τα IEEE 802.11 πρωτόκολλα παρουσιάζονται παρακάτω :

Standard	Description
802.11a	5GHz OFDM PHY – 54 Mbps
802.11b	2.4GHz CCK PHY – 11 Mbps
802.11c	802.11 bridging
802.11d	International roaming
802.11e	QoS/efficiency enhancements
802.11f	Inter AP protocol
802.11g	2.4GHz OFDM PHY – 54 Mbps
802.11h	5GHz regulatory extensions
802.11i	Security enhancements
802.11j	Japan 5GHz band extensions
802.11k	Radio resource measurement
802.11m	Maintenance
802.11n	High throughput PHY

Εικόνα 13 : Κάποια από τα πρωτόκολλα 802.11

πηγή : (Rainer Baumann, 2004)

Πέραν της ονοματολογίας, βρίσκονται στην παραπάνω εικόνα και κάποια χαρακτηριστικά του κάθε πρωτοκόλλου, ώστε να υπάρχει μία βασική εικόνα της χρήσης αυτού.

3.1.1 802.11 Legacy

Η πρωτότυπη κυκλοφορία του 802.11 στάνταρ έγινε το 1997. Η συγκεκριμένη κυκλοφορία πολλές φορές ανακαλείται και ως “legacy”, και οριστικοποιεί δύο τύπους μετάδοσης δεδομένων, του 1 (ενός) και των 2 Mbps, όπου η πληροφορίες μεταδίδονται μέσω σημάτων Infrared (IR), σε επιστημονικό, ιατρικό και εργοστασιακό εύρος ζώνης (ISM Band) στα 2.4GHz. Αργότερα έγινε η κατάργηση του IR καθώς δεν μπορούσε να ανταγωνιστεί το IrDA πρωτόκολλο το οποίο πήρε και τη θέση του.

3.1.2 802.11b

Το συγκεκριμένο πρότυπο είναι ικανό να καλύψει αρκετές εκατοντάδες μέτρα σε εμβέλεια, χάρη στην χρήση Low-gain Omni Directional κεραιών. Έχει μέγιστη ταχύτητα μεταγωγής τα 11Mbps, ωστόσο ένα μεγάλο μέρος του εύρους ζώνης του χρησιμοποιείται για τις επικοινωνιακές ανάγκες των εξοπλισμών. Στην πραγματικότητα λοιπόν η μέγιστη ταχύτητα μεταγωγής είναι περίπου 5,5Mbps. Ανά τα χρόνια έχουν γίνει πολλές προσθήκες στο συγκεκριμένο πρότυπο ώστε να αναπτύξει ταχύτητες 22, 33, 44 έως και 54 Mbps.

3.1.3 802.11a

Το συγκεκριμένο πρότυπο παρουσιάστηκε το 1999, περίπου την ίδια περίοδο με το 802.11b. Χρησιμοποιεί συχνότητα 5GHz για τη μετάδοση κατά την οποία μπορεί να υποστηρίξει μεταφορά δεδομένων έως και 54Mbps. Αν και ιδιαίτερα πιο γρήγορο εκείνη την περίοδο οι περισσότεροι δρομολογητές και κάρτες δικτύων υποστήριζαν το 802.11b, ενώ είχε μικρότερους ρυθμούς μετάδοσης και μετέδιδε συχνότητες 2,4GHz.

3.1.4 802.11g

Τον Ιούνιο του 2003, μία Τρίτη προθήκη παρουσιάστηκε στο φυσικό επίπεδο, η οποία ονομάστηκε, πρότυπο 802.11g. Το πρότυπο αυτό εκπέμπει σε συχνότητα 2,4GHz, με μετάδοση έως και 54 Mbps ωμών δεδομένων, ή το αντίστοιχο περίπου 24,7 Mbps γενικής μετάδοσης σε σύγκριση με το 802.11b. Είναι πλήρως συμβατό προς τα πίσω με το 802.11b. Ωστόσο η περίοδος προσαρμοστικότητας και μελέτης, προκειμένου τα δύο αυτά πρότυπα να δουλέψουν μαζί διήρκησε ένα μεγάλο χρονικό πλαίσιο.

Μόλις παρουσιάστηκε στην αγορά, αν και ακόμα δεν ήταν εγκεκριμένο υπήρξαν πολλές εταιρίες που το υιοθέτησαν ακόμα και από τον Ιανουάριο του 2003. Υπήρξαν βέβαια και επιχειρήσεις που ανέμεναν τις απαραίτητες εγκρίσεις ώστε να το δεσμεύσουν στον υλικό-λογισμικό τους, όπως η Cisco.

3.1.5 802.11n

Το πρότυπο αυτό παρουσιάστηκε πρώτη φορά από το IEEE το 2007, ενώ κυκλοφόρησε στην αγορά το 2009. Υποστηρίζει μεγαλύτερο εύρος κάλυψης και υψηλότερο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων από το 802.11g. Οι συσκευές που χρησιμοποιούν το συγκεκριμένο πρότυπο υποστηρίζουν MIMO (Multiple In Multiple Out) μεταφορά δεδομένων, όπου η μετάδοση πολλαπλών διαδρομών δεδομένων γίνεται επιτρεπτή και έτσι διπλασιάζεται η κάλυψη που προσφέρει η εκάστοτε συσκευή.

Σε σύγκριση με το 802.11g, το 802.11n μπορεί να ξεπεράσει κατά πολύ τα 54 Mbps μετάδοσης λόγω της τεχνολογίας που εμπεριέχεται στην αρχιτεκτονική του, και, με αυτό τον τρόπο να φτάσει σε ρυθμούς μετάδοσης που ξεπερνούν ανά περιστάσεις και τα 100 Mbps. Με κάποιες προσαρμογές στην εγκατάσταση-διαχείριση του το παρών πρότυπο θα μπορούσε θεωρητικά πάντα και υπό τέλειες συνθήκες μετάδοσης να φτάσει έως και τα 500 Mbps. (Baumann, 2004)

3.2 Το φυσικό επίπεδο

Το φυσικό επίπεδο αυτό καθαυτό μπορεί να διαχωρισθεί σε δύο μέρη προκειμένου να αξιολογηθεί και να αναλυθεί. Το πρώτο ονομάζεται Physical Layer Convergence Protocol (PLCP), και, το δεύτερο ονομάζεται Physical Medium Dependent (PMD). Υπεύθυνο για τον έλεγχο και τη διατήρηση της σωστής λειτουργίας των δύο αυτών υπό-επιπέδων είναι το Physical Layer Management Entity (PLME).

Το Physical Layer Convergence Protocol (PLPC), παρέχει μία μέθοδο χαρτογράφησης των MAC sublayer Protocol Data Units (MPDU), ώστε να μορφοποιηθεί με τέτοιο τρόπο προσκείμενο στην αποστολή, τη παραλαβή και την διαχείριση πληροφοριών που σχετίζονται στενά με το υπό-επίπεδο PMD. Επιπροσθέτως είναι υπεύθυνο για την διαίσθηση μεταφοράς δεδομένων, την διατήρηση καθαρών καναλιών επικοινωνίας καθώς και την διόρθωση λαθών. (IEEE, 2011)

Το Physical Medium Dependent (PMD) υπό επίπεδο αλληλοεπιδρά με το φυσικό μέσο και πραγματοποιεί τις πιο απλές-βασικές λειτουργίες που αφορούν μεταφορές bits σε όλο το δίκτυο στο οποίο υπάρχει. Είναι κυρίως υπεύθυνο για την κωδικοποίηση και τη διαμόρφωση. Προκειμένου να προστατέψουν το σήμα από οποιαδήποτε παρεμβολή χαμηλής συχνότητας και τον σταδιακό εξασθετισμό που βασίζεται στις συχνότητες, χρησιμοποιούνται τεχνολογίες φάσματος. Οι τεχνολογίες αυτές επιμηκύνουν το περιορισμένο φάσμα μετάδοσης του σήματος σε ευρυζωνικό χρησιμοποιώντας ειδικούς κώδικες και διαδικασίες. Σε παλαιότερα συστήματα χρησιμοποιούνταν το Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS), ενώ στα νεότερα συστήματα χρησιμοποιείται το Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS), ή το Orthogonal Frequency Division Modulation (OFDM). (Baumann, 2004)

3.3 Το MAC επίπεδο

Ο λόγος χρήσης τους Medium Access Control (MAC), επιπέδου είναι η διαχείριση των κινήσεων σε ένα δίκτυο ώστε να γίνεται η διασύνδεση με το μέσο. Το επίπεδο αυτό καθορίζει ποιος πομπός θα μπορέσει να αποκτήσει πρόσβαση στο διαμοιραζόμενο μέσο σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Λαμβάνοντας υπόψιν την αναγκαιότητα κάποιων ιδιαίτερως σημαντικών μηνυμάτων που αφορούν ενημερώσεις έκτακτης ανάγκης, υπάρχει η ιδιαιτερότητα που πρέπει πάνω της να προσαρμοστεί το επίπεδο αυτό, ως προς τις μικρές καθυστερήσεις και να σχεδιαστεί ή να ανανεωθεί αναλόγως με τις νέες ανάγκες που προκύπτουν. (IEEE, 2011)

Ουσιαστικά υπάρχουν δύο κατηγορίες πρωτοκόλλων που επιχειρούν για την ορθή εισαγωγή πομπών στο μέσο ενός δικτύου ή στο δίκτυο καθ' αυτό. Η πρώτη κατηγορία εμπεριέχει είτε πρωτόκολλα ελεύθερης πρόσβασης, είτε ελεγχόμενα πρωτόκολλα

διασύνδεσης στα οποία η σύνδεση στο μέσο είναι εκχωρημένη από πριν. Κάποια πρωτόκολλα που υπάρχουν στην συγκεκριμένη κατηγορία και ο ρόλος τους είναι η τήρηση αυτών των συνθηκών, είναι το Time Division Multiplexing Access (TDMA), το Frequency Division Multiplexing Access (FDMA) και το Code Division Multiplexing Access (CDMA). Αν και τα CDMA πρωτόκολλα ανήκουν σε αυτή την κατηγορία, για να γίνεται σωστά η λειτουργία τους απαιτείται η ύπαρξη μίας κεντρικής οντότητας υπεύθυνης για την σωστή παραχώρηση των πόρων των καναλιών ανάμεσα στους πομπούς. Στη δεύτερη κατηγορία κατατάσσονται τα πρωτόκολλα ανταγωνιστικότητας (Contention Based), και, τα πρωτόκολλα τυχαίας προσπέλασης (Random Access Protocols), ανάμεσα στα οποία υπάρχει μόνον ένα κοινό κανάλι επικοινωνίας. Επόμενο αυτής της μοναδικής ύπαρξης αυτού του καναλιού είναι να υπάρχει η πιθανότητα εμπλοκών, με επόμενη την καθυστέρηση μεταγωγής ενός πακέτου ή και την ύπαρξη ενδεχομένου να χαθεί αυτό. Στην δεύτερη κατηγορία όλα τα πρωτόκολλα που πρωταγωνιστούν βασίζονται στο Carrier Sense Multiple Access (CSMA).

Με την χρήση του MAC στα δίκτυα VANETs υπάρχουν διάφορα εμπόδια και προβλήματα που δημιουργούνται, όπως η προτεραιότητα πρόσβασης, η μη αναμενόμενη απάντηση και η αξιοπιστία. Επιπροσθέτως σημαντικό για το MAC στα VANETs είναι η μείωση προσκείμενων καθυστερήσεων στις μεταδόσεις μηνυμάτων τα οποία θα γίνουν αξιοποιήσιμα από κάποια εφαρμογή ασφαλείας η οποία απαιτεί μικρά χρονικά περιθώρια μετάδοσης της πληροφορίας. Για να μπορέσουν τα πρωτόκολλα αυτά να θεωρηθούν εύχρηστα για τη συμπλήρωση αυτών των απαιτήσεων θα πρέπει να αντιμετωπιστούν τέτοιου είδους προβλήματα. Η διατήρηση μία σταθερής και αξιόπιστης μετάδοσης στα ασύρματα δίκτυα είναι επίσης δύσκολη αν λάβουμε υπόψιν το πρόβλημα των κρυμμένων τερματικών καθώς και των εκτεθειμένων πομπών. Επομένως, αν και τα ντετερμινιστικά MAC πρωτόκολλα φαίνονται να είναι επαρκώς εξοπλισμένα για την κάλυψη των VANET δικτύων, η ύπαρξη μίας κεντρικής οντότητας εκχωρείται ενάντια στην αρχή ύπαρξης και την φιλοσοφία πίσω από την λειτουργία των VANET. Άρα θα ήταν ορθή η υποστήριξη καταναμημένων πρωτοκόλλων MAC στα VANETs. Για την λύση αυτών των προβλημάτων έχουν δημιουργηθεί πολλές τεχνοτροπίες στο επίπεδο MAC και έχουν μία αξιόλογη χρήση στα VANETs. Κάποια από αυτά τα πρωτόκολλα είναι :

- Το Reliable R-Aloha (RR-Aloha).
- Το IEEE 802.11 MAC
- Το Direct and Relay for Vehicle Communications (DRVC).

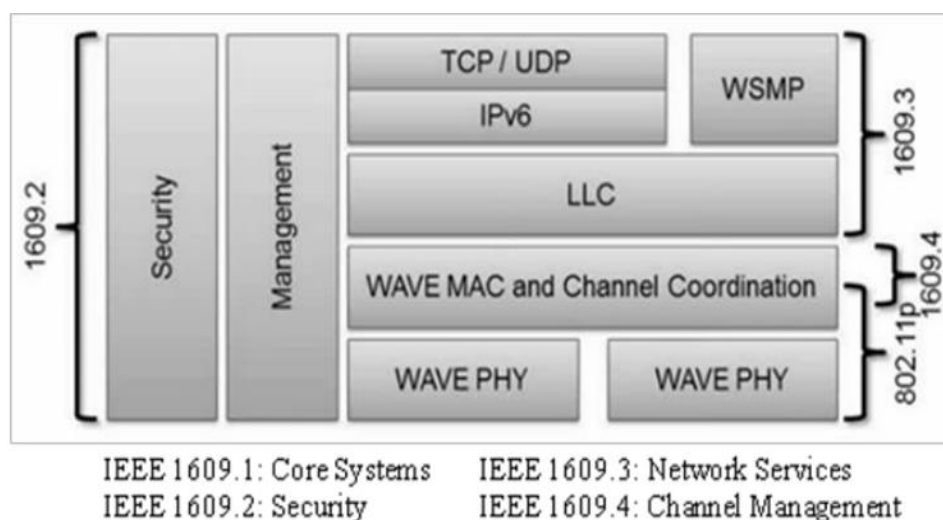
(malik, shahzad & Shah, 2010)

3.4 Το IEEE 1609 (WAVE)

Η συγκεκριμένη οικογένεια προτύπων εμπεριέχει διαφοροποιήσεις στη διαχείριση πόρων σε διάφορους τύπους δικτύων, ασφάλεια δικτύων, κεντρική διαχείριση αυτών και υποστήριξη διεργασιών πολλαπλών καναλιών. Το WAVE απαρτίζεται από πολλά πρότυπα, τα οποία το καθένα ξεχωριστά πραγματοποιεί μία διαφορετική διεργασία. Τα πρότυπα αυτά είναι :

- Το IEEE 1609.1, το οποίο είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση του επιπέδου διεργασιών.
- Το IEEE 1609.2, όπου γίνεται η οργάνωση και εκτέλεση των μηχανισμών ασφαλείας και προστασίας.
- Το IEEE 1609.3, που είναι υπεύθυνο για την ορθή λειτουργία του WAVE.
- Το IEEE 1609.4, το οποίο διαχειρίζεται τις λογικές διασυνδέσεις των επιπέδων που καλύπτει το WAVE. (Suman Malik, 2019)

Τον Αύγουστο του 2008 η Ευρωπαϊκή Ένωση παρέθεσε προς χρήση μέρος του φάσματος των 5,9 GHz, για εφαρμογές έκτακτων αναγκών και βασικούς τύπους επικοινωνίας μεταξύ οχημάτων αλλά και μονάδων δρόμου. Με αυτό τον τρόπο θα μπορεί μελλοντικά να υπάρξει συμβατότητα μεταξύ της Ε.Ε. και των Η.Π.Α. . Αυτή η προτροπή αν και τα φάσματα δεν είναι ακριβώς όμοια μπορεί μελλοντικά να επιτρέψει την χρήση κεραιών και μετατροπέων από τα δύο αυτά μεγάλα σύνολα πολιτειών και χωρών. (malik, shahzad & Shah, 2010)



Εικόνα 14 : Το πρωτόκολλο IEEE 1609 (.1-.4)

πηγή : (Ali, 2014)

3.5 Το IEEE 802.11p

Το IEEE 802.11p, κατονομαζόμενο και ως Wireless Access in Vehicular Environment (WAVE), περιέχει χαρακτηριστικά των προτύπων IEEE 802.11 που βοηθούν τις γρήγορες εναλλαγές στα δίκτυα οχημάτων. Προωθεί περεταίρω, επιπρόσθετες αρχές στο IEEE 802.11 που είναι απαραίτητες για την λειτουργία των ‘έξυπνων’ συστημάτων μεταφορών (Intelligent Transportation Systems, ITS). Οι αρχές αυτές περιέχουν μεταφορά δεδομένων μεταξύ οχημάτων που κινούνται σε υψηλές ταχύτητες, μεταξύ οχημάτων και μονάδων δρόμου στο εύρος των 5,9 GHz (5,85-5,925 GHz). Το IEEE 802.11p ξεκινά με την διάθεση 75 MHz DSRC του φάσματος στο εύρος των 5,9 GHz στις Η.Π.Α. και στο εύρος των 5,8 GHz σε Ε.Ε. και την Ιαπωνία, κυρίως για επικοινωνία μεταξύ οχημάτων. Το DSRC αποτελείται από 7 κανάλια όπου το καθένα έχει συχνότητες έως 10 MHz. Ένα από τα κανάλια είναι το κανάλι ελέγχου το οποίο είναι υπεύθυνο για εφαρμογές ασφαλείας και προστασίας, οπότε είναι και κανάλι υψηλής προτεραιότητας. Τα υπόλοιπα κανάλια μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για εφαρμογές ασφαλείας αλλά και άλλες διαφορετικής φύσης. Το πρωτόκολλο 802.11p αναδεικνύει περισσότερο το φυσικό επίπεδο καθώς και το MAC ως προς τον τρόπο λειτουργίας τους. Τέλος η δυναμική της μετάδοσης στο συγκεκριμένο πρωτόκολλο είναι ανώτερη από αυτή του 802.11a. (malik, shahzad & Shah, 2010)

3.6 Το IEEE 802.11p MAC πρωτόκολλο

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα το επίπεδο MAC του WAVE αποτελεί ένα στάνταρ στο πρότυπο IEEE 802.11p και στο IEEE 1609.4 αντίστοιχα. Το βασικό MAC πρωτόκολλο είναι όμοιο με το γνωστό IEEE 802.11 DCF, και, το επίπεδο επέκτασης MAC υιοθετεί μερικές αρχές του Enhanced Distributed Channel Access (EDCA) του IEEE 802.11e, όπως το Access Category (AC) και το Arbitrary Inter-Frame Space (AIFS), για διευθέτηση προτεραιότητας. Η βασική λειτουργία του IEEE 802.11p MAC πρωτοκόλλου πάντως είναι η ασφαλής μετάδοση πληροφορίας σε συγκεκριμένα πλαίσια χρόνου, ενώ με την μετάδοση αυτή δεν χρησιμοποιεί παραπάνω πόρους από όσους χρειάζεται και όσους χρησιμοποιεί τους χρησιμοποιεί στο βέλτιστο. (malik, shahzad & Shah, 2010)

Η διάθεση μίας τέτοιας μετάδοσης στα δίκτυα τύπου IEEE 802.11 βασίζεται κυρίως στο Basic Service Set (BSS), το οποίο είναι ουσιαστικά το σύνολο των σταθμών (STAs), που συμφωνεί μεταξύ του για την μετάδοση πληροφοριών. Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι υπάρχουν δύο ειδών BSS, το infrastructure και το independent BSS.

Στο Infrastructure BSS, ένας κεντρικός σταθμός μετάδοσης (AP) δημιουργεί το δικό του BSS στέλνοντας πακέτα beacon. Ένας πομπός μπορεί να λάβει ένα beacon και να αποφασίσει αν και εφόσον είναι επιθυμητή η ένταξη του στο BSS, μέσω κάποιων διαδραστικών βημάτων, όπως ο συγχρονισμός, η αυθεντικοποίηση και η συν-λειτουργία.

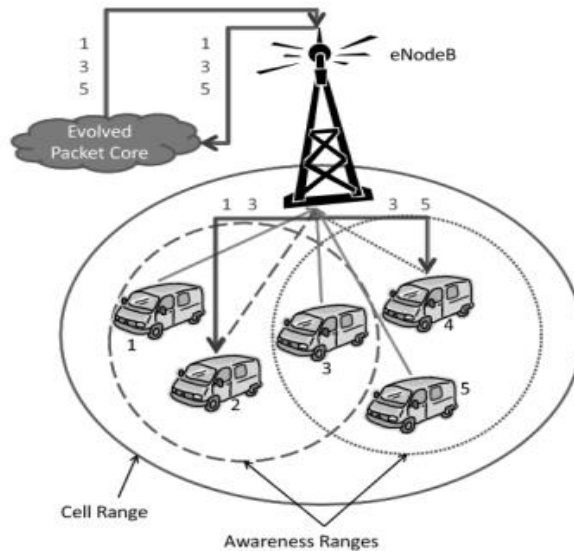
Οι επικοινωνία σε ένα Independent BSS, σημειώνεται άμεσα ανάμεσα σε κόμβους του εκάστοτε δικτύου, χωρίς την ύπαρξη Aps. Όλοι οι πομποί του δικτύου εκπέμπουν τα δικά τους beacons προκειμένου να ενημερώσουν περί της ύπαρξης τους και εν συνεχεία του Independent BSS αλλά και των παραμέτρων που καθορίζουν την ύπαρξη αυτού.

Κάθε ένας από τους δύο τύπους BSS (Infrastructure και Independent), επιτρέπονται να έρθουν σε λειτουργία χάριν στο IEEE 802.11p. Ωστόσο, για να γίνει η πιστοποίηση της εκπλήρωσης των παραμέτρων για την ύπαρξη ενός δικτύου οχημάτων με μικρές σε διάρκεια ζωής διασυνδέσεις, ένας νέος τρόπος λειτουργίας έχει ενταχθεί στο 802.11p. Ονομάζεται OCB, και, επιχειρεί για την μείωση των χρόνων και των καθυστερήσεων κατά την δημιουργία και την προσαρμογή ενός BSS.

Στον OCB τρόπο λειτουργίας τα beacons δεν χρησιμοποιούνται ούτε για συγχρονισμό, ούτε για προώθηση του BSS δικτύου. Με αποτέλεσμα οι κόμβοι των δικτύων να πρέπει να βασιστούν σε δεδομένες παραμέτρους που έχουν εγκαθιδρυθεί από πριν ή έχουν μεταφερθεί μέσω διαφορετικών πακέτων πληροφοριών. (Campolo et al., 2015)

3.7 Η περίπτωση του 3GPP-LTE στα VANETs

Η ομογενής και ασφαλής μεταφορά δεδομένων μέσω διαχειριστικών εφαρμογών βασίζονται στην συχνή μεταφορά μηνυμάτων που ονομάζονται beacons για τα οχήματα. Τα beacons φέρουν τις πληροφορίες των διάφορων οχημάτων, όπως για παράδειγμα για την θέση τους, την ταχύτητα τους και την επιτάχυνση τους. Στα VANETs τα οποία βασίζονται στο 802.11p, τα beacons αναμεταδίδονται περιοδικά από κάθε όχημα. Η εμβέλεια του επικοινωνιακού συνόλου καλύπτει συνήθως έως κάποια εκατοντάδες μέτρα, οπότε η μεταφορά αυτών των μηνυμάτων προωθεί την γνώση επί πολλών λεπτομερειών για τα οχήματα στο δίκτυο. Ωστόσο στη συγκεκριμένη περίπτωση υιοθετείται το Carrier Sense Multiple Access (CSMA), επόμενο λοιπόν είναι στα beacons να παρατηρούνται ιδιαίτερες απώλειες και προσκρούσεις κατά την μεταφορά των πακέτων πληροφοριών. Στην προσέγγιση με κεντρικό πυλώνα την κεντρική διαχείριση από Infrastructure LTE, τα beacons μπορούν να προσαρμοστούν στο δίκτυο ως εξής. Όλα τα οχήματα που είναι μέλη του σώματος του δικτύου εκπέμπουν τα beacons τους προς μία κεντρική δομή (eNodeB). Τότε τα beacons φτάνουν στο Mobility Management Entity (MME) ή το Serving Gateway (SGW), τα οποία είναι μέλη του Evolved Packet Core, και έπειτα επιστρέφουν τα beacons στην κεντρική δομή. Έπειτα η κεντρική δομή μεταδίδει τα beacons προς κάθε όχημα που υπάρχει στο downlink αντίστοιχο προς το περιεχόμενο των λεπτομερειών που περιέχει το πακέτο. Στην πράξη τα beacons συνυπάρχουν με άλλα πακέτα κίνησης τα οποία μεταδίδονται στα δίκτυα κινητής, επομένως η επιτήρηση και η ρύθμιση του χρονικού πλαισίου αποστολής θα πρέπει να γίνεται από την κεντρική μονάδα. (Vinel, 2012)



Εικόνα 15 : Beaconing στο 3GPP-LTE
πηγή : (Vinel, 2012)

Έως σήμερα έχουν γίνει πολλές επιστημονικές έρευνες που προωθούσαν την εφαρμογή flooding και clustering προκειμένου να αναπτύξουν λύσεις για την περίπτωση του broadcast storm στα VANET. Ως αντικατάσταση των VANETs και του 802.11p σε αυτά έχει προταθεί και εξελιχθεί είτε η χρήση τηλεπικοινωνιακών δικτύων, είτε η υβριδική χρήση αυτών των δύο. Το Third Generation Partnership Project (3GPP) κάνει εύκολη την προώθηση δεδομένων με broadcast/multicast μεθόδους για τη διάδοση δεδομένων στο δίκτυο. Τα δίκτυα κινητής τέταρτης γενιάς είναι μία εξέλιξη των Universal Mobile Telecommunication System (UMTS), κατονομαζόμενα και ως Long Term Evolution (LTE). Το LTE πρότυπο προσφέρει μία υψηλού επιπέδου ευχέρεια στον ρυθμό μετάδοσης, ενώ πέραν αυτού προσφέρει και χαμηλές καθυστερήσεις στο downlink με ταχύτητες που φτάνουν ως 300 Mbps, και, έχουν uplink έως 75 Mbps με καθυστερήσεις μικρότερες των 5 ms. (M. Syfullah and J. M. Lim, 2017)

3.8 Η περίπτωση του 5G στα VANETs

Με την πάροδο των χρόνων και την αργή μα σταθερή υλοποίηση της χρησιμοποίησης του 5G στις κινητές τηλεπικοινωνίες όλο και από περισσότερα μέρη στον κόσμο, παρατηρείται ότι σιγά – σιγά γίνεται η εγκαθίδρυση των τελικών μορφών των προσαρμογέων των δικτύων αυτών, ή έχει ήδη τελειοποιηθεί ως προς το τεχνολογικό επίπεδο της εποχής που ζούμε. Παρακάτω θα γίνει αναφορά σε διάφορες τεχνικές και σενάρια με την χρήση των οποίων δίνονται οι βάσεις για την πλήρη εγκαθίδρυση του 5G

σε κάθε προσκείμενο κομμάτι της ζωής μας, από την κινητή τηλεφωνία δηλαδή έως και τα VANETs.

3.8.1 Δομικά στοιχεία του 5G

Κάποιες καινοτόμες τεχνικές που έχουν δημιουργηθεί και αναπτυχθεί ιδιαίτερα μαζί την δημιουργία των δικτύων πέμπτης γενιάς είναι ονομαστικά τα :

- Mobile Edge Computing / Fog Computing
- Network Slicing
- Software Defined Network
- Network Functions Virtualization

Πιο λεπτομερειακά το Mobile Edge Computing (MEC) είναι μία παραδειγματική τεχνολογία η οποία φέρνει τις υπηρεσίες που το διατρέχουν στην καταλληλότερη δικτυακή τοποθεσία, όπως π.χ. οχήματα εν κινήσει στο δρόμο σε ένα multi-vendor περιβάλλον. Η κινητή edge πλατφόρμα είναι υπεύθυνη για την αναζήτηση, τη πρόσβαση και την προώθηση των MEC υπηρεσιών. Με ιδιαίτερα μεγάλη υπολογιστική δύναμη στη διάθεση της η MEC τεχνολογία ξεπερνά κατά πολύ την υπολογιστική λειτουργικότητα των οχημάτων και προσφέρει μικρότερες απώλειες και καθυστερήσεις.

Όσον αφορά το Fog Computing, η ιδέα της χρήσης του συμπεριλαμβάνει την προσπάθεια μείωσης των χρόνων απόκρισης στα MEC τα οποία χρησιμοποιούνται, σε σενάρια αληθινού χρόνου ή σε προσομοιώσεις με βάση τοπολογίες που έχουν παρθεί και σχεδιαστεί με βάση την κατάσταση του εκάστοτε δρόμου σε cloud.

Το Network Slicing, έχει ως κύρια εργασία την διαχείριση όλων των ετερογενών δικτύων που θέλουν να διασυνδεθούν για ανταλλαγή πληροφοριών. Η συγκεκριμένη τεχνολογία στοχεύει την καλύτερη διαχείριση με λογική διαμοίραση των εργασιών του δικτύου. Πιο συγκεκριμένα η μονάδα κεντρικού ελέγχου η οποία είναι διαθέσιμη προς τις συσκευές του δικτύου χωρίζεται σε διάφορες μονάδες ελέγχου προκειμένου να καθοριστούν οι τρόποι προώθησης πληροφοριών.

Το Software Defined Network (SDN), αποτελεί ένα δίκτυο με πολλά επίπεδα, όπου το κεντρικό επίπεδο ελέγχου διαχειρίζεται όλες τις διεργασίες μέσω μονάδων εφαρμογών που υπάρχουν σε ένα δίκτυο.

Το Network Functions Virtualization (NFV), αποτελείται από διεργασίες που αφορούν το δίκτυο και δημιουργούν μία υπηρεσία η οποία πρέπει να προωθηθεί με ένα γραφικό τρόπο ως Virtual Network Function (VNF), και, να θεωρηθεί εφαρμογή λογισμικού. (Antoniou, 2019)

3.8.2 Το 5G στα VANETs

Τα VANETs αποτελούν μία ειδική υποκατηγορία των MANETs, η οποία χαρακτηρίζεται από τις υψηλές ταχύτητες των οχημάτων μελών τους, το περιβάλλον μετάδοσης τους και τις διαρκείς και γρήγορες μετατροπές στην τοπολογία τους. Κάθε όχημα έχει τη δυνατότητα επομένως να θεωρηθεί ως ένα μικρό cluster κινητών συσκευών, ειδικότερα αν σκεφτούμε σε μεγαλύτερη εμβέλεια τα μέσα μαζικής μεταφοράς. Επιπροσθέτως η υποστήριξη των αυτοκινούμενων οχημάτων, ή των ασυρμάτως ελεγχόμενων οχημάτων δίνει νέα τροχιά στις απαιτήσεις ως προς την υποδομή, τις ανάγκες σε μικρές καθυστερήσεις μετάδοσης και την έμπιστη μεταφορά δεδομένων. Μέσω κάποιων μικρών αναφορών θα παρουσιαστούν παρακάτω οι απαιτήσεις των 5G VANETs, το μοντέλο επικοινωνίας τους αλλά και το σύστημα αυτό καθαυτό.

Στα περισσότερα δίκτυα οχημάτων οι απαιτήσεις των συστημάτων τους περιλαμβάνουν κατά κύριο λόγο σε μεγάλο βαθμό έρευνα προς την ασφάλεια των μεταφορών με τη χρήση των τεχνολογιών αυτών, καθώς και τις κακότεροες χρήσεις εφαρμογών που μπορούν να γίνουν πάνω στις συγκεκριμένες τεχνολογίες., αφού αυτές οι δύο παράμετροι μπορούν να επηρεάσουν βελτίστως και άμεσα την οδική εμπειρία του τελικού χρήστη. Οι προϋποθέσεις αυτές περιλαμβάνουν :

- Τη μείωση του επικοινωνιακού φορτίου (minimizing communication load).
- Συχνή και απρόσκοπτη μετάδοση (frequent seamless handover).
- Μηχανισμοί ελέγχου συμφόρησης (congestion control mechanisms).
- Εύκολη πρόσβαση σε πόρους (fairness in accessing resources).
- Αξιοπιστία (reliability).
- Υποστήριξη διάφορων εφαρμογών (support for diverse applications).

Όσον αφορά το μοντέλο επικοινωνίας, αυτό είναι παρόμοιο με το προαναφερθέν 3GPP-LTE όπου δείχτηκε ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί. Περαιτέρω στο 5G το 3GPP αναγνωρίζει τέσσερις τύπους V2X επικοινωνιών, οι οποίοι είναι : το Vehicle to Vehicle (V2V), το Vehicle to Pedestrian (V2P), το Vehicle to Infrastructure (V2I) και το Vehicle to Network (V2N).

Τέλος αναφορικά με το σύστημα των 5G-VANETs έχουν προταθεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών πολυάριθμοι τρόποι δόμησής τους. Όπως αναφέραμε προηγουμένως στην τεχνική Network Slicing, κατά την οποία απομονώνουμε λογικά εργασίες και πόρους του δικτύου, ενώ έπειτα δημιουργούμε ζεύγη αυτών προκειμένου να ανταπεξέλθει το δίκτυο μας στις απαιτήσεις των χρηστών, επόμενο είναι ένα slice να μεγεθύνει το εύρος του τομέα του 5G δικτύου πάνω σε όλο το πηγαίο δίκτυο (Core Network, CN), και, επιπροσθέτως στα πλαίσια του Radio Access Network (RAN) και ενός VANETs. Σε αυτό

το σημείο επίσης μπορεί να γίνει ο διαχωρισμός μεταξύ του κέντρου ελέγχου και δεδομένων.

Το SDN μα παρουσιάζεται στα 5G-VANETs συστήματα, με απώτερο σκοπό την ενεργοποίηση του συντονισμού και του διαμοιρασμού πληροφοριών μεταξύ των κεντρικών σταθμών μετάδοσης (Base Stations, BS), προκειμένου να γίνει σίγουρο το ευπροσάρμοστο και αποδοτικό clustering. Το SDN-enabled 5G-VANET σύστημα εμπεριέχει “λογικά” και ταυτοχρόνως τα Application, Data και Control planes.

Τα δεδομένα τα οποία δημιουργούνται, αναμεταδίδονται και διαχειρίζονται εντός ενός VANET, παίρνουν ανάλογη μορφή με αυτή της εφαρμογής την οποία εξυπηρετούν. Είτε αυτή είναι εφαρμογή ασφαλούς μεταφοράς, είτε κάποια απλή πληροφοριακή εφαρμογή, είτε και μία εφαρμογή για σκοπούς διασκέδασης. Με την υποστήριξη της τεχνολογίας 5G, τα μελλοντικά δίκτυα θα είναι σε θέση να ικανοποιήσουν ως πρέπει τις απαιτήσεις των αυτόνομων ή εξ’ αποστάσεως ελεγχόμενων οχηματικών εφαρμογών, και, κατ’ επέκταση των αναγκών των δικτύων οχημάτων. (Antoniou, 2019)

4. Εργαλεία προσομοιώσεων

Προκειμένου να αναπτυχθεί ο τομέας των VANETs διενεργούνται συνεχώς έρευνες οι οποίες εμπεριέχουν διάφορες προσομοιώσεις ως προς της λειτουργία των διάφορων πρωτοκόλλων, των πολλών νέων καινοτομιών που προκύπτουν με τη συνεχή εξέλιξη της τεχνολογίας καθώς και για την ολοκλήρωση ολόκληρου του θεωρητικού κύκλου των μελετών αυτών προτού γίνουν παρόμοια πειράματα σε πραγματικές συνθήκες δρόμου.

Για την διαδικασία των προσομοιώσεων γίνεται χρήση διάφορων εργαλείων. Στο ευρύτερο φάσμα της επιστημονικής κοινότητας γίνεται κατά κύριο λόγο χρήση του SUMO για την δημιουργία των τοπολογιών των οχημάτων σε πραγματικό χρόνο με τυχαίες κατευθύνσεις σε περιβάλλον πόλεων, και εν συνεχεία τους NS3 και όλων των εργαλείων που αυτό διαθέτει για την μετάβαση από την απλή τοπολογία σε ένα MANET ή VANET δίκτυο.

Οι εφαρμογές αυτές είναι Open Source και η χρήση τους προϋποθέτει διευρυμένη κατανόηση τόσο ενός Linux περιβάλλοντος όσο και η κατανόηση της βιβλιογραφίας των εργαλείων αυτών.

4.1 Network Simulator 3 (NS.3)

Το ns-3 αποτελεί έναν προσομοιωτή δικτύου διακριτών συμβάντων (discrete-event Network Simulator), ο οποίος έχει ως πρωταρχικό στόχο την εκπαιδευτική χρήση. Το ns-3 είναι ένα προϊόν

που διατίθεται δωρεάν, έχει άδεια υπό την GNU GPLv2 για την κυκλοφορία του, ενώ είναι διαθέσιμο προς όλους για μελέτη, ανάπτυξη και χρήση καθώς είναι πρόγραμμα ανοιχτού κώδικα. Σκοπός του ns-3 είναι η δημιουργία ενός περιβάλλοντος προσομοιώσεων για δίκτυα ανοιχτό προς όλους. Στοχεύει στην εναρμόνιση με τις σύγχρονες τεχνολογικές ανάγκες της δικτυακής έρευνας και στην ενθάρρυνση την κοινότητας ώστε να συνεισφέρει σε αυτό το έργο. (<https://www.nsnam.org/about/>)

4.2 Simulation of Urban Mobility (SUMO)

Το Sumo είναι ένα δωρεάν πρόγραμμα ανοιχτού κώδικα το οποίο δημιουργεί προσομοιώσεις υψηλού επιπέδου ως προς την κυκλοφορία οχημάτων και όχι μόνο. Σε προσομοιώσεις που δημιουργούνται με το εν λόγω πρόγραμμα μπορεί κάποιος να συμπεριλάβει ιδιωτικά οχήματα, μέσα μαζικής μεταφοράς και πεζούς. Το Sumo προσφέρει μία μεγάλη ποικιλία εργαλείων τα οποία κάνουν την δημιουργία και την ανάλυση της προσομοίωσης πιο εύκολη, όπως για παράδειγμα την δημιουργία του δικτύου οχημάτων, τον υπολογισμό της πορείας του κάθε οχήματος, την μέτρηση των ρύπων αυτών καθώς και πολλά άλλα. Το Sumo μπορεί να εξελιχθεί ακόμα περισσότερο καθώς δίνεται η ελευθερία σε κάθε χρήστη μέσω διαφόρων APIs να ελέγξουν και να αλλάξουν δραστικά τον έλεγχο της προσομοίωσης ή και αυτή καθ' αυτή μεμονωμένα. (<https://sumo.dlr.de/docs/>)

4.3 NetAnim (A Video Quality Evaluation Tool-set)

Το NetAnim είναι μία εφαρμογή δημιουργίας έμψυχων προβολών αποτελεσμάτων για πειράματα και βασίζεται στο Qt toolkit. Αυτή τη στιγμή μπορεί να προβάλει αποτελέσματα προσομοιώσεων χρησιμοποιώντας αρχεία XML των οποίων τα δεδομένα συλλέγονται κατά την διάρκεια της οποιασδήποτε προσομοίωσης. (<https://www.nsnam.org/wiki/NetAnim>)

4.4 Evalvid

Το Evalvid είναι ένα σύνολο εργαλείων που βοηθά στην ανάλυση της ποιότητας μεταδιδόμενων βίντεο κατά την προσομοίωση διάφορων πειραμάτων πάνω στα δίκτυα οχημάτων πραγματικού χρόνου. Στοχεύει στην χρήση του από ερευνητές οι οποίοι θέλουν να αναλύσουν τα διάφορα δίκτυα που δημιουργούν και να τα αξιολογήσουν ως προς την ποιότητα των βίντεο που θέλουν να μεταδώσουν. (Abenza et al., 2020)

4.5 Gnuplot

Το Gnuplot είναι ένα πρόγραμμα γραφικών το οποίο λειτουργεί με scripts που δημιουργεί ο εκάστοτε χρήστης, είναι συμβατό με τις πλατφόρμες των Linux, των Windows, των OS/2 και OSX καθώς και πολλών άλλων. Αποτελεί πρόγραμμα ανοιχτού κώδικα (Open Source) και πρωτοδημιουργήθηκε για να επιτρέψει σε ερευνητές και φοιτητές να παρουσιάσουν γραφικά μαθηματικές παραστάσεις και δεδομένα, ωστόσο με το πέρασ των χρόνων έχει βρει πολύ περισσότερες χρήσεις όπως το web scripting. Χρησιμοποιείται επιπροσθέτως σαν μηχανή σχεδίασης σε πολλές εφαρμογές (πχ Octave). (<http://www.gnuplot.info/>)

5. Προσομοίωση και αποτελέσματα

Σε κάθε έρευνα που πραγματοποιείτε πάνω στα Vanets δημιουργούνται και ιδιαίτερες προσομοιώσεις προκειμένου να δείξει ο εκάστοτε ερευνητής με πρακτικά αποτελέσματα την ανάλυση που κάνει πάνω στο αντικείμενο καθώς και τα αποτελέσματα που παίρνει από αυτή.

Το κάθε πείραμα αποτελεί μία νέα καινοτόμα προσέγγιση προς το οποιοδήποτε νέο κομμάτι που θα μπορούσε να διεισδύσει σε αυτό το κεφάλαιο που λέγεται γενικότερα δίκτυα και ειδικότερα δίκτυα οχημάτων. Τα πειράματα και οι προσομοιώσεις αυτές αποτελούν ένα σύμπλεγμα θεωρητικών και πειραματικών ερευνών που σκοπό έχουν την δημιουργία προοπτικών για μία καλύτερη και πιο ικανοποιητικά ήρεμη καθημερινότητα από την άποψη των όποιων δραστηριοτήτων. Όλα αυτά επιτυγχάνονται από τις θεωρητικές και πειραματικές έρευνες που γίνονται πάνω στο αντικείμενο.

5.1 Σκοπός τη προσομοίωσης

Έχοντας σαν οδηγό όλες αυτές λοιπόν τις έρευνες που υπάρχουν από πτυχιακές μελέτες έως και επιστημονικά άρθρα, οδηγηθήκαμε στην εκπόνηση μίας δικής μας προσομοίωσης. Η συγκεκριμένη παρουσίαση που θα δούμε παρακάτω έχει ως σκοπό την εξέλιξη συγκεκριμένων αλγορίθμων καθώς και την σύγκριση αυτών προκειμένου σε βάθος χρόνου, και, με την κατάλληλη έρευνα να αποφέρει καρπούς στην καθημερινή ζωή όλη η προσπάθεια προσομοιώσεων πραγματικών καταστάσεων.

Ύστατος σκοπός των προσομοιώσεων αυτών είναι σε μελλοντική πορεία καθώς θα αναπτύσσονται τα δίκτυα οχημάτων να γίνει ακόμα πιο εύκολη η εμπειρία της οδήγησης καθώς και η απόλαυση τρίτων μέσων και δραστηριοτήτων κατά την εκτέλεση της ενέργειας αυτής.

Ο δρόμος για να καταλήξουμε στη συγκεκριμένη μελλοντική κατάσταση είναι η συνεχής και ενδεδειγμένη έρευνα και δημιουργία νέων κωδικών, σεναρίων, εφαρμογών και γενικότερα εργαλείων τα οποία είναι ικανά να προωθήσουν την ανάπτυξη πάνω στη συγκεκριμένη δικτυακή υποδομή και εφαρμογή.

Σε τελικό λόγο αυτό που θέλουμε να πετύχουμε είναι η ανάπτυξη παραδειγμάτων και αλγορίθμων οι οποίοι να συμβάλλουν σε όλο αυτό το έργο που περιγράψαμε.

5.2 Σενάριο προσομοίωσης

Το σενάριο που επιλέγουμε είναι ένα πολυσύνθετο πρόβλημα το οποίο έχει αντίκρισμα στην καθημερινότητα και αφορά την σύγκριση αλγορίθμων στα Adhoc – Vanets πάνω στη μετάδοση βίντεο σε αυτά. Είναι γενικώς γνωστό πως με την ανάπτυξη της τεχνολογίας που ‘αγκαλιάζει’ τα οχήματα πλέον μία καινοτομία θα αφορά την μετάδοση βίντεο σε αυτά. Η συγκεκριμένη λειτουργία δεν έχει όμως μόνο διασκεδαστική υπόσταση αλλά μπορεί να ωφελήσει και σε πολλές διαφορετικές περιπτώσεις. Από τη μετάδοση δηλαδή κάποιας ταινίας έως την μετάδοση ενός έκτακτου μηνύματος ή βίντεο – μηνύματος η συγκεκριμένη τεχνολογία μπορεί να βοηθήσει τα μέγιστα.

Ουσιαστικά σκοπός του σεναρίου είναι να συγκρίνει τις διάφορες περιπτώσεις ανάπτυξης αλγορίθμων που θα προκύψουν και με βάση τον τρόπο λειτουργίας, την αποτελεσματικότητα και κάποιους άλλους παράγοντες να καταλήξει στον αλγόριθμο που αντικατοπτρίζει καλύτερα την εκάστοτε λειτουργία.

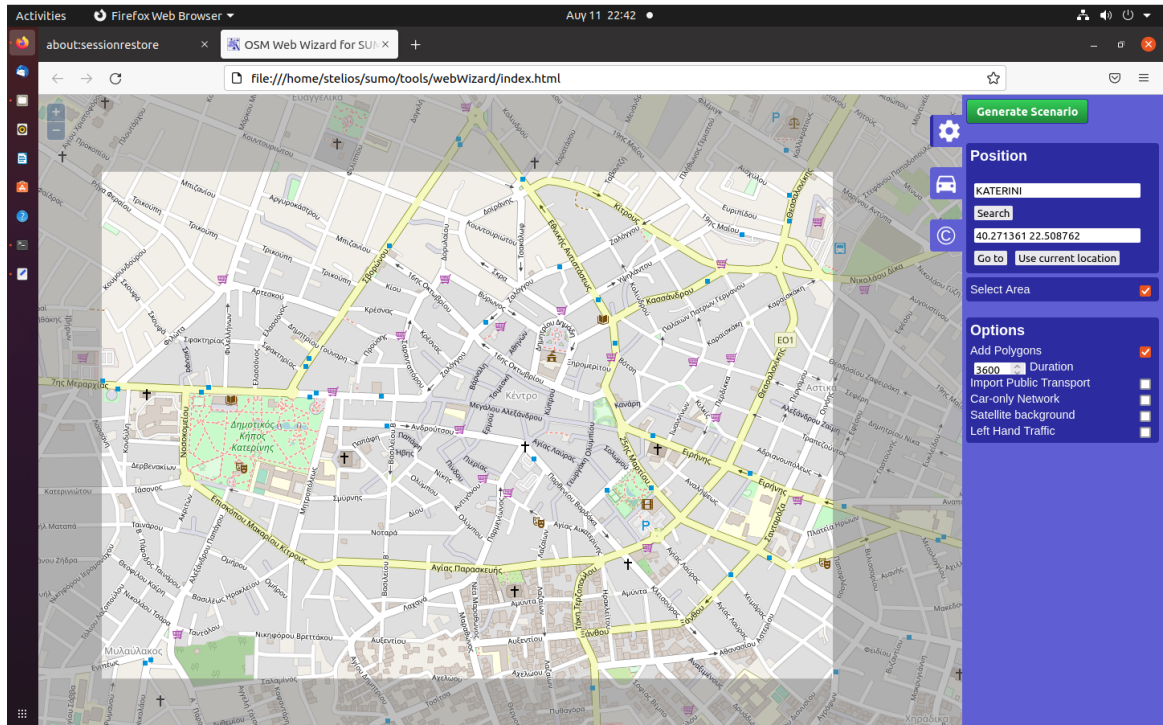
Για το σενάριο μας θα χρησιμοποιηθούν διάφορα λογισμικά και κομμάτια κώδικα τα οποία θα συμβάλλουν ομαδικά στη δημιουργία του πειράματος και στα αποτελέσματα που θα πάρουμε από την εκτέλεση αυτού. Ποιο συγκεκριμένα θα χρησιμοποιηθούν όπως έχουν αναφερθεί στο κεφάλαιο 4 τα NS-3, Sumo, Evalvid, NetAnim, Gnuplot. Ξεκινώντας την ανάπτυξη του σεναρίου μας πρέπει να εγκατασταθούν τα παραπάνω και να έχουμε μία πολύ καλή εικόνα της βιβλιογραφίας του καθενός από αυτά προκειμένου να τα χρησιμοποιήσουμε ακριβώς όπως εμείς θέλουμε.

5.2.1 Δημιουργία τοπολογίας βάσει πραγματικού χάρτη

Ξεκινώντας τη δημιουργία του σεναρίου θα χρησιμοποιήσουμε το OsmWizard, ένα εργαλείο του SUMO από το οποίο μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα χάρτη αληθινό πάνω στον οποίο θα δημιουργήσουμε κινητικότητα οχημάτων την οποία θα χρειαστούμε και αργότερα ως τοπολογία δικτύου.

Αρχικά πηγαίνοντας στον φάκελο /sumo/tools και τρέχοντας την εντολή `python osmWebwizard.py`, ανοίγει μπροστά μας το χάρτης της πόλης που επιλέγουμε (στην

συγκεκριμένη περίπτωση η πόλη της Κατερίνης), όπου επιλέγουμε τον χρόνο της προσομοίωσης, τα είδη οχημάτων που θα έχουμε (στο δικό μας πείραμα θα είναι αποκλειστικά αυτοκίνητα) και μας δίνεται η επιλογή να τρέξουμε το παρόν σενάριο.



Εικόνα 16 : Χάρτης Κατερίνης στο osmWebwizard

Αφού κάνουμε generate scenario μας προσφέρεται η προσομοίωση της κινητικότητας του δικτύου από όπου δημιουργείτε και το αρχείο trace που θα χρησιμοποιήσουμε για την δημιουργία της τοπολογίας του δικτύου οχημάτων. Για να γίνει το παραπάνω εκτελούμε δύο εντολές. Η πρώτη είναι για τη δημιουργία του Trace και η δεύτερη για την δημιουργία με τη χρήση του trace Exporter ενός αρχείου συμβατό με το NS το οποίο ονομάζουμε mobility.tcl.

Τρέχοντας αυτές τις εντολές στο τερματικό μας παραλαμβάνουμε τα παρακάτω αποτελέσματα και μπορούμε να προχωρήσουμε στη δημιουργία του δικτύου μας ώστε να φτάσουμε στο τελικό κομμάτι της προσομοίωσης μας.

```

stelios@stelios-VirtualBox: ~/sumo/tools/2022-08-11-22-43-29
stelios@stelios-VirtualBox:~/sumo/tools$ cd 2022-08-11-22-43-29/
stelios@stelios-VirtualBox:~/sumo/tools/2022-08-11-22-43-29$ sumo -c osm.sumocfg --fcd-output trace.xml
Loading configuration ... done.
Loading net-file from 'osm.net.xml' ... done (363ms).
Loading additional-files from 'osm.poly.xml' ... done (122ms).
Loading done.
Simulation version v1_10_0+0400-96ed92273d started with time: 0.00
Simulation ended at time: 3928.00
Reason: All vehicles have left the simulation.
Performance:
  Duration: 5.77s
  Real time factor: 681.353
  UPS: 22297.831743
Vehicles:
  Inserted: 1042
  Running: 0
  Waiting: 0
Statistics (avg):
  RouteLength: 1409.21
  Speed: 11.44
  Duration: 123.37
  WaitingTime: 2.63
  TimeLoss: 32.80
  DepartDelay: 0.57
DijkstraRouter answered 1042 queries and explored 762.64 edges on average.
DijkstraRouter spent 1.22s answering queries (1.17ms on average).
stelios@stelios-VirtualBox:~/sumo/tools/2022-08-11-22-43-29$

```

Εικόνα 17 : Αποτέλεσμα δημιουργίας trace

5.2.2 Δημιουργία τοπολογίας δικτύου βάσει trace.xml

Για να δημιουργήσουμε την τοπολογία του δικτύου μας θα χρησιμοποιήσουμε το Network Simulator (NS3.29) καθώς η συγκεκριμένη έκδοση είναι συμβατή με τα υπόλοιπα εργαλεία μας που εμπλέκονται σε αυτή τη προσομοίωση.

Σκοπός είναι με την χρήση του NS να δημιουργήσουμε με βάση το trace.xml του sumo μία τοπολογία στην οποία τα οχήματα που υπήρχαν στην προσομοίωση του sumo να θεωρηθούν ως πομποί και δέκτες εντός ενός δικτύου οχημάτων. Προκειμένου να γίνουν όλες αυτές οι εργασίες θα πρέπει να δημιουργηθεί ένας κώδικας ο οποίος θα πρέπει να είναι ικανός εκτός του να διαβάζει το trace του sumo, αλλά επιπρόσθετα με βάση τα πρωτόκολλα των VANETS να δημιουργεί μία τοπολογία δικτύου οχημάτων.

Στη δική μας περίπτωση χρησιμοποιούμε τον πηγαίο κώδικα που μπορεί να βρεθεί εντός του ns3 στο repository ns3.29/src/wave και ονομάζεται vanet-routing-compare.cc τον οποίο και θα επεξεργαστούμε έτσι ώστε να προχωρήσουμε με το σενάριο μας.

Ο συγκεκριμένο κώδικα λειτουργεί ως ένα πολυεργαλείο. Μπορούμε εντός αυτού να φορτώσουμε οποιοδήποτε φάκελο έχει να κάνει με την κινητικότητα της προσομοίωσης και έπειτα να παραμετροποιήσουμε ούτως ώστε να δημιουργηθεί η τοπολογία όπως θέλουμε. Οι μετατροπές που κάνουμε στο παράρτημα κώδικα μας είναι οι εξής:

Στο πεδίο δηλώσεων του κώδικα προσθέτουμε τα :

- Flow-monitor (ώστε να μπορέσουμε να πάρουμε κάποια συνολικά αριθμητικά αποτελέσματα από την προσομοίωση μας)
- Evalvid (με στόχο την μετάδοση του βίντεο που έχουμε επιλέξει στο δίκτυο ώστε να τελειοποιηθεί η προσομοίωση μας)

```
102 #include <fstream>
103 #include <iostream>
104 #include "ns3/core-module.h"
105 #include "ns3/network-module.h"
106 #include "ns3/internet-module.h"
107 #include "ns3/mobility-module.h"
108 #include "ns3/aodv-module.h"
109 #include "ns3/olsr-module.h"
110 #include "ns3/dsdv-module.h"
111 #include "ns3/dsr-module.h"
112 #include "ns3/applications-module.h"
113 #include "ns3/itu-r-1411-los-propagation-loss-model.h"
114 #include "ns3/ocb-wifi-mac.h"
115 #include "ns3/wifi-80211p-helper.h"
116 #include "ns3/wave-mac-helper.h"
117 //inserting evalvid to simulation
118 #include "ns3/flow-monitor-module.h"
119 #include "ns3/config-store-module.h"
120 #include "ns3/integer.h"
121 #include "ns3/wave-bsm-helper.h"
122 #include "ns3/wave-helper.h"
123 #include "ns3/yans-wifi-helper.h"
124 #include "ns3/netanim-module.h"
125 //inserting evalvid to simulation
126 #include <string.h>
127 #include "ns3/csma-helper.h"
128 #include "ns3/evalvid-client-server-helper.h"
129 #include "ns3/evalvid-client.h"
130 #include "ns3/evalvid-server.h"
```

Εικόνα 18 : Εισαγωγή στον κώδικα Vanet-Routing-Compare

Έπειτα στον κώδικα μας ορίζουμε τις συνθήκες προκειμένου να λειτουργήσει το Evalvid. Για την λειτουργία του θα πρέπει να ορίσουμε ποιο είναι το βίντεο το οποίο θα μεταδώσουμε στο δίκτυο μας καθώς και σε ποιους φακέλους θα πάνε τα sender dumps και τα received dumps.

Ουσιαστικά θα διαλέξουμε δύο πομπούς του δικτύου μας (0 και 1) οι οποίοι θα κάνουν μετάδοση μεταξύ τους και έπειτα σε ολόκληρο το δίκτυο μας. Με το πέρας της μετάδοσης και αφού τα πακέτα ολοκληρώσουν την πορεία τους, θα δημιουργηθεί το αρχείο που αφορά τα πακέτα του βίντεο που έφτασαν στους πομπούς κατά την μετάδοση καθώς και αυτά που επέστρεψαν έπειτα της μεταδόσεως.

Παρακάτω βλέπουμε σε εικόνα την εισαγωγή κομματιού κώδικα ώστε να λειτουργήσει το Evalvid στην προσομοίωση μας.

```

682 {
683 // Setup routing transmissions
684 OnOffHelper onoff1 ("ns3::UdpSocketFactory",Address ());
685 onoff1.SetAttribute ("OnTime", StringValue ("ns3::ConstantRandomVariable[Constant=1.0]"));
686 onoff1.SetAttribute ("OffTime", StringValue ("ns3::ConstantRandomVariable[Constant=0.0]"));
687
688 Ptr<UniformRandomVariable> var = CreateObject<UniformRandomVariable> ();
689 int64_t stream = 2;
690 var->SetStream (stream);
691 for (uint32_t i = 0; i < m_nSinks; i++)
692 {
693 // protocol == 0 means no routing data, WAVE BSM only
694 // so do not set up sink
695 if (m_protocol != 0)
696 {
697     Ptr<Socket> sink = SetupRoutingPacketReceive (adhocTxInterfaces.GetAddress (i), c.Get (i));
698
699 }
700
701 AddressValue remoteAddress (InetSocketAddress (adhocTxInterfaces.GetAddress (i), m_port));
702 onoff1.SetAttribute ("Remote", remoteAddress);
703
704 //Inserting the video for the scenario
705
706 EvalvidServerHelper server(m_port);
707 server.SetAttribute ("SenderTraceFilename", StringValue("st_highway_cif.st"));
708 server.SetAttribute ("SenderDumpFilename", StringValue("sd_a01_lte"));
709 server.SetAttribute ("PacketPayload",UIntegerValue(1014));
710 ApplicationContainer apps = server.Install(c.Get (i + m_nSinks));
711 apps.Start (Seconds (var->GetValue (1.0,2.0)));
712 apps.Stop (Seconds (m_TotalSimTime));
713
714 EvalvidClientHelper client (adhocTxInterfaces.GetAddress (i),m_port);
715 client.SetAttribute ("ReceiverDumpFilename", StringValue("rd_a01_lte"));
716 apps = client.Install (c.Get(i));
717 apps.Start (Seconds (var->GetValue (1.0,2.0)));
718 apps.Stop (Seconds (m_TotalSimTime));
719
720 ApplicationContainer temp = onoff1.Install(c.Get (i + m_nSinks));
721 temp.Start (Seconds (var->GetValue (1.0,2.0)));
722 temp.Stop (Seconds (m_TotalSimTime));
---
```

Εικόνα 19 : Εισαγωγή Evalvid στο Vanet-Routing-Compare

Αφού έχουμε δημιουργήσει τις προϋποθέσεις για την εισαγωγή του Evalvid στο σενάριο μας μένει να κάνουμε μόνος τις παραμετροποιήσεις ως προς την εισαγωγή της κατάλληλης τοπολογίας καθώς και την επιλογή του κατάλληλου πρωτοκόλλου για την λειτουργία αυτής. Προκειμένου να γίνουν τα παραπάνω θα ορίσουμε εντός του κώδικα την επιλογή του trace που έχουμε δημιουργήσει με το Sumo και στη συνέχεια αφού ρυθμίσουμε τις παραμέτρους της προσομοίωσης θα φτιάξουμε και κάποια αρχεία που θα συλλέγουν δεδομένα.

Τα δεδομένα αυτά θα μπορέσουν να αναλυθούν για την απλή μετάδοση εντός της τοπολογίας ώστε να συγκρίνουμε τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούμε και ποιο από αυτά είναι πιο ικανό ως προς την απλή μετάδοση και τη μετάδοση βίντεο εντός του σεναρίου.

Προχωρώντας λοιπόν στο επόμενο βήμα για την εκπόνηση του σεναρίου εισάγουμε τα απαραίτητα χαρακτηριστικά για να λειτουργήσει η προσομοίωση αληθινών συνθηκών στην πόλη της Κατερίνης μέσω του κώδικα μας όπως φαίνεται στην εικόνα 20.

```

2513 if (m_scenario == 1)
2514 {
2515     // 40 nodes in RWP 300 m x 1500 m synthetic highway, 10s
2516     m_traceFile = "";
2517     m_logFile = "";
2518     m_mobility = 2;
2519     if (m_nNodes == 156)
2520     {
2521         m_nNodes = 40;
2522     }
2523     if (m_TotalSimTime == 300.01)
2524     {
2525         m_TotalSimTime = 10.0;
2526     }
2527 }
2528 else if (m_scenario == 2)
2529 {
2530     // Realistic vehicular trace in Katerini
2531     // "low density"
2532     m_traceFile = "/home/stelios/mobility.tcl";
2533     m_logFile = "mobility.log";
2534     m_mobility = 1;
2535     m_nNodes = 50;
2536     m_TotalSimTime = 20.01;
2537     m_nodeSpeed = 10;
2538     m_nodePause = 0;
2539     m_CSVfileName = "vanet-routing.output.csv";
2540     m_CSVfileName = "vanet-routing.output2.csv";
2541 }
2542 }

```

Εικόνα 20 : Σενάριο πραγματοποίησης Vanet-Routing-Compare

Όπως γίνεται κατανοητό χρησιμοποιούμε το σενάριο 2, στο οποίο εισάγουμε ως trace file το αρχείο που δημιουργήσαμε προ ολίγου με τη βοήθεια του sumo (mobility.tcl). Στα επόμενα πεδία ορίζουμε το log file, τον αριθμό των Nodes (δηλαδή και τον αριθμό των οχημάτων που θα έχουμε στη προσομοίωση), την ταχύτητα των nodes, ενώ στο τέλος δημιουργούμε και δύο αρχεία csv όπου συλλέγουμε πληροφορίες σχετικά με την δημιουργία της τροπολογίας.

Προκειμένου να τρέξει ο παραπάνω κώδικας θα κάνουμε χρήση του waf το οποίο θα εκτελέσει τον πηγαίο μας και βρίσκεται ήδη στο NS κατά την εγκατάσταση αυτού. Η εντολή που τρέχουμε είναι :

```
./waf --run "scratch/vanet-routing-compare_evalvid --protocol=1 --scenario=2"
```

Με την παραπάνω εντολή δείχνουμε στο waf που βρίσκεται ο κώδικας που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε και επιπροσθέτως ορίζουμε τον πρωτόκολλο και το σενάριο που θα χρησιμοποιηθεί. Τα πρωτόκολλα που εμπεριέχονται στον κώδικα είναι τέσσερα και αριθμητικά ορίζονται ως:

Πίνακας 1 : Αντιστοιχία αρίθμησης με πρωτόκολλο

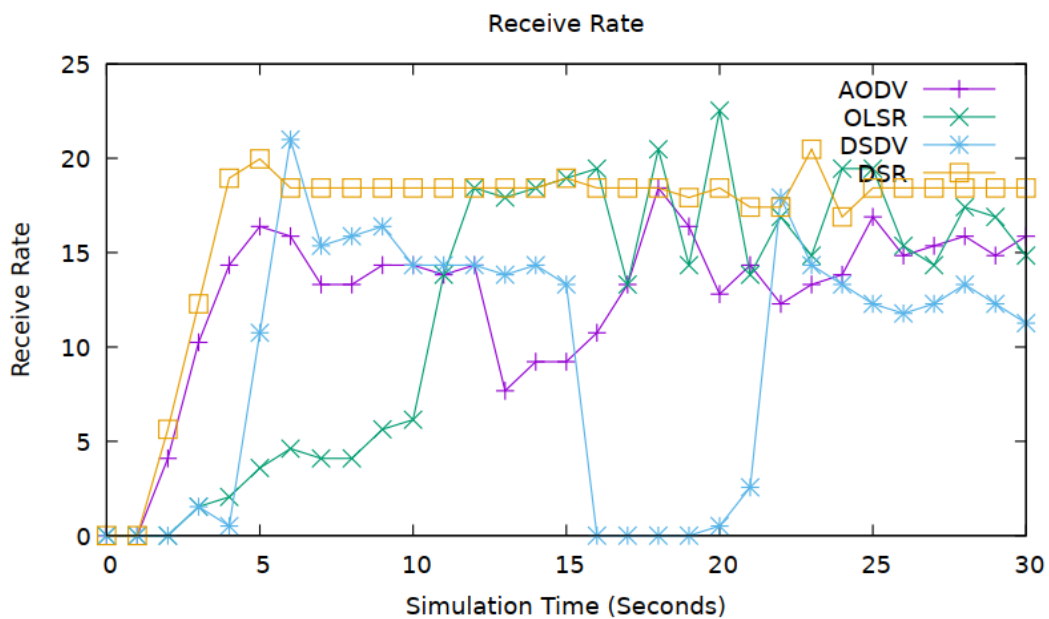
1	OLSR
2	AODV
3	DSDV
4	DSR

Τρέχοντας τον προσομοιωτή παίρνουμε αποτελέσματα σε δύο αρχεία csv, βάσει των οποίων θα γίνει η σύγκριση και η επιλογή πρωτοκόλλου για την συνέχεια του πειράματος μας.

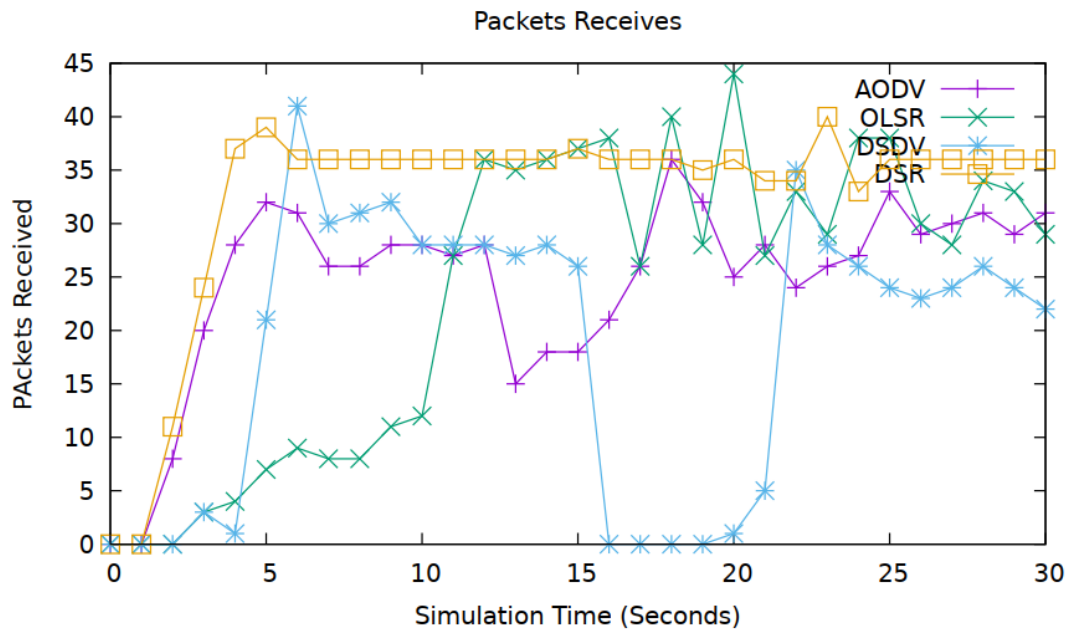
5.2.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης τοπολογία δικτύου

Με την ολοκλήρωση της εκτέλεσης του παραπάνω κώδικα τέσσερις φορές, ώστε να πάρουμε αποτελέσματα από κάθε ένα πρωτόκολλο φτάνουμε με τη βοήθεια ενός script Gnuplot στην δημιουργία τριών σχηματικών στα οποία κατά σειρά παρουσιάζονται η μέση απόδοση ως προς την παράδοση πακέτων σε σχέση με τον χρόνο, το πόσα πακέτα φτάνουν στον τελικό τους προορισμό και τέλος το μέγεθος του MAC/PHY Overhead κατά την εκτέλεση του πειράματος.

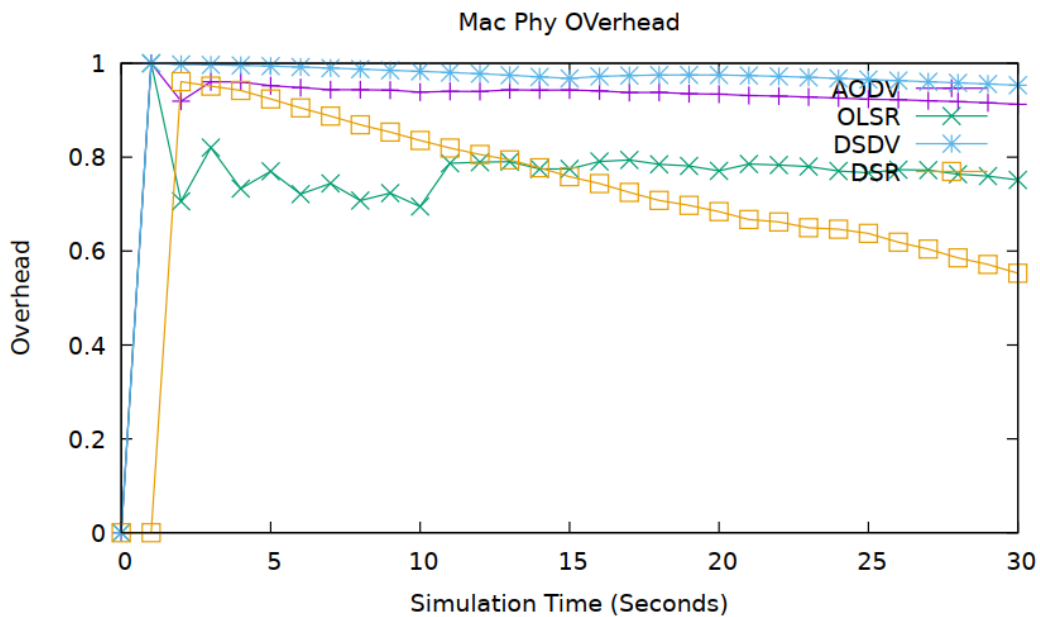
Παρακάτω λοιπόν παρουσιάζονται τα εν λόγω σχηματικά βάσει των οποίων καταλαβαίνουμε την απόδοση του κάθε πρωτοκόλλου σε μία ψηφιακή προσομοίωση Vanet, και, μέσω αυτών μπορούμε να καταλήξουμε στο πρωτόκολλο που θα χρησιμοποιηθεί για να έρθει σε πέρας η τελική προσομοίωση που έχει να κάνει με την μετάδοση βίντεο πάνω στην τοπολογία μας.



Εικόνα 21 : Receive Rate μετάδοσης για τα πρωτόκολλα



Εικόνα 22 : Πακέτα που έχουν ληφθεί κατά την προσομοίωση



Εικόνα 23 : MAC/PHY Overhead προσομοίωσης

Στα παραπάνω σχηματικά βλέπουμε πως σε κάθε πρωτόκολλο για το οποίο μιλήσαμε αντιστοιχεί και ένα χρώμα. Έπειτα διακρίνουμε ότι στον άξονα x μας δίνεται ο χρόνος της προσομοίωσης ο οποίος είναι ενδεικτικός και μπορεί να παραμετροποιηθεί ανάλογα με το σενάριο, ενώ στον άξονα y έχουμε την μέτρηση η οποία μας ενδιαφέρει.

Τα αποτελέσματα που πήραμε σε διάφορες προσομοιώσεις δεν διέφεραν πολύ από αυτά που παρουσιάζονται εδώ. Παρατηρείται ότι το πρωτόκολλο DSR έχει μία πολύ ικανή αποδοτικότητα ως προς την μετάδοση πακέτων εντός της τοπολογίας VANET που έχουμε δημιουργήσει. Ενδεικτικό το γεγονός ότι έχει το μικρότερο MAC/PHY Overhead και τη πιο σταθερή ροή μετάδοσης. Ωστόσο βάσει αποτελεσμάτων flow το AODV στέλνει τον μεγαλύτερο αριθμό πακέτων και σε σχέση με τα υπόλοιπα φαίνεται ότι είναι πολύ σταθερό και ιδιαίτερος ικανοποιητικό.

Η παραπάνω αναγραμμένη διαπίστωση έγινε βάσει τον διάφορων προσομοιώσεων που έλαβαν χώρα καθώς σε αυτές παρατηρείται μία ιδιαίτερη σταθερότητα στα αποτελέσματα που αφορούν το πρωτόκολλο DSR. Αυτό συμβαίνει καθώς είναι τέτοια η λειτουργία του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου, που κατά την διάρκεια μετάδοσης του γίνεται πολύ μικρότερη αποστολή BSMs (Basic Safety Message) σε σύγκριση με το άλλο Reactive πρωτόκολλο που χρησιμοποιούμε (το AODV).

Η λειτουργία του DSR έχει ως σκοπό να γίνεται πρώτα η αναγνώριση της βέλτιστης διαδρομής για την παράδοση πακέτου πληροφοριών και έπειτα να αποστέλλεται αυτό. Ενώ σε αντίθεση με αυτό το AODV προσπαθεί να στείλει τα συγκεκριμένα μηνύματα δυσανάλογα με τις συνθήκες που απαρτίζουν την προσομοίωση. Αποτέλεσμα αυτό έχει στα σενάρια που πραγματοποιήσαμε το DSR να έχει αποστείλει από 100 έως 300 BSMs με πολύ μικρό Packet Loss, ενώ το AODV να έχει στείλει πάνω από 15000 με ένα Packet Loss περίπου 15% - 20% κατά μέσω όρο.

Για την δημιουργία των παραπάνω σχηματικών χρησιμοποιήθηκε το παρακάτω script σε Gnuplot:

```
set terminal pdf
set output "RR.pdf"
set title "Receive Rate"
set xlabel "Simulation Time (Seconds)"
set ylabel "Receive Rate"
plot "AODV.csv" using 1:2 with linespoints title "AODV",
"OLSR.csv" using 1:2 with linespoints title "OLSR","DSDV.csv" using 1:2 with linespoints title "DSDV",
"DSR.csv" using 1:2 with linespoints title "DSR"

set terminal pdf
set output "PR.pdf"
set title "Packets Receives"
set xlabel "Simulation Time (Seconds)"
set ylabel "Packets Received"
plot "AODV.csv" using 1:3 with linespoints title "AODV",
"OLSR.csv" using 1:3 with linespoints title "OLSR","DSDV.csv" using 1:3 with linespoints title "DSDV",
"DSR.csv" using 1:3 with linespoints title "DSR"

set terminal pdf
set output "macphy.pdf"
set title "Mac Phy Overhead"
set xlabel "Simulation Time (Seconds)"
set ylabel "Overhead"
plot "AODV.csv" using 1:22 with linespoints title "AODV",
"OLSR.csv" using 1:22 with linespoints title "OLSR","DSDV.csv" using 1:22 with linespoints title "DSDV",
"DSR.csv" using 1:22 with linespoints title "DSR"
```

Εικόνα 24 : Script για την δημιουργία των σχηματικών

5.2.4 Επιλογή πρωτοκόλλου και προσομοίωση με Evalvid

Το τελευταίο σκέλος της προσομοίωσης μας έχει να κάνει με την υλοποίηση της μετάδοσης βίντεο επί της τοπολογίας που έχουμε δημιουργήσει με βάσει ένα συγκεκριμένο πρωτόκολλο, αλλά και με τη χρήση αλγορίθμων που εμπεριέχονται στο Evalvid.

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε τους αλγορίθμους που θα χρησιμοποιήσουμε ως προς τη λειτουργία τους. Επιπροσθέτως θα δούμε με ποιον τρόπο έρχονται όλα τα προηγούμενα κεφάλαιο του σεναρίου και οδηγούν στο τελικό αποτέλεσμα το οποίο είναι, έπειτα από σύγκριση των πρωτοκόλλων VANET πάνω σε ένα σενάριο βασισμένο σε αληθινές μεταβλητές πραγματικού κόσμου να γίνει μετάδοση βίντεο εντός ενός VANET και ανάλυση των αποτελεσμάτων που λαμβάνουμε από αυτή.

Για την δική μας πραγματοποίηση του σεναρίου επιλέξαμε για πρωτόκολλο δημιουργίας της τοπολογίας του δικτύου το AODV. Αυτή η επιλογή έγινε λόγω της πολύ μεγάλης ποσότητας πακέτων που δημιουργεί στο δίκτυο, συναρτήσεως της σταθερότητας που παρουσίασε καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής αυτής εργασίας και των διαφόρων πειραμάτων που συντάχθηκαν και λήφθηκαν υπόψιν για την εκπόνηση αυτής. Σε όλα αυτά μπορεί να παρασταθεί η συγκεκριμένη αναφορά στην απόδοση αυτού του πρωτοκόλλου η παρουσίαση των σχηματικών του προηγούμενου κεφαλαίου που δείχνουν παραστατικά βάσει μετρήσεων την απόδοση του AODV σε σύγκριση με άλλα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται.

Με την επιλογή του πρωτοκόλλου βάσει του οποίου θα δημιουργήσουμε το trace-file της προσομοίωσης οδηγούμαστε στην εισαγωγή του πρώτου κώδικα που θα χρησιμοποιήσουμε ο οποίος ονομάστηκε : *Wave-simple-80211p-evalvid.cc*

Ο κώδικας αυτός λειτουργεί πολύ απλά. Χρησιμοποιεί συσκευές στο δίκτυο ως πομπούς του πρωτοκόλλου IEEE 802.11p. Δημιουργεί ουσιαστικά δύο nodes στα οποία εμπεριέχονται εφαρμογές του συγκεκριμένου IEEE πρωτοκόλλου και στη συνέχεια το ένα από τα δύο nodes ξεκινάει να στέλνει στο άλλο. Ο αριθμός των nodes που δημιουργούνται μπορεί να αλλάξει με βάση την εντολή που θα δοθεί στο τερματικό για την εκτέλεση του κώδικα όπως και άλλες μεταβλητές οι οποίες είναι, ο χρόνος της προσομοίωσης, το μέγεθος των udp πακέτων που μεταδίδουμε, το interval και τέλος η ταυτότητα ($mobility = 1$ ή 2), του κώδικα που χρησιμοποιούμε.

Παρακάτω θα εξηγήσουμε κομμάτι – κομμάτι το κώδικα αυτόν ως προς τη λειτουργία του και κάποια σημεία του κώδικα που μας ενδιαφέρουν ιδιαίτερα.

```

130 //Variables for spacing in the simulation (variables that depend on external libraries)
131 std::string phyMode ("OfdmRate6MbpsBW10MHz");
132 std::string m_traceFile= "/home/stelios/mobility.tcl";
133 std::string m_lossModelName;
134
135 uint32_t m_mobility; ///< mobility
136 uint32_t m_nNodes; ///< number of nodes
137 uint32_t packetSize = 1472; // bytes
138 uint32_t numPackets = 1;
139 double interval = 1.0; // seconds
140 bool verbose = false;
141 double m_TotalSimTime;          ///< seconds
142
143 CommandLine cmd;
144 cmd.AddValue ("mobility", "1=trace;2=twoNodes", m_mobility);
145 cmd.AddValue ("nodes", "Number of nodes (i.e. vehicles)", m_nNodes);
146 cmd.AddValue ("totaltime", "Simulation end time", m_TotalSimTime);
147
148 // cmd.AddValue ("phyMode", "wifi Phy mode", phyMode);
149 cmd.AddValue ("packetSize", "size of application packet sent", packetSize);
150 cmd.AddValue ("numPackets", "number of packets generated", numPackets);
151 cmd.AddValue ("interval", "interval (seconds) between packets", interval);
152 cmd.AddValue ("verbose", "turn on all WifiNetDevice log components", verbose);
153 cmd.Parse (argc, argv);
154 //Convert to time object
155 Time interPacketInterval = Seconds (interval);
156
157 std::cout << std::setw (13) << "Time" <<
158   std::setw (12) << "Tput (Mb/s)" <<
159   std::setw (10) << "Received" <<
160   std::setw (12) << "Signal (dBm)" <<
161   std::setw (12) << "Noi+Inf(dBm)" <<
162   std::setw (9) << "SNR (dB)" <<
163   std::endl;
164
165
166 NS_LOG_INFO ("Create nodes.");
167
168
169 NodeContainer c;
170 c.Create (m_nNodes);

```

Εικόνα 25 : Δήλωση και αρχικοποίηση μεταβλητών wave-simple-80211p-evalvid

Στο παραπάνω κομμάτι κώδικα βλέπουμε την εισαγωγή των μεταβλητών για την λειτουργία του κώδικα καθώς και το ορισμό αυτών ως προς τις τιμές τους αλλά και την λειτουργία τους εντός αυτού. Βλέπουμε επίσης την δήλωση του trace – file μας ως τοπολογία του δικτύου στη γραμμή 132, ενώ στη συνέχεια δίνουμε ονομασίες εντός κώδικα για την κάθε μεταβλητή και δημιουργούμε τα Nodes για την εκκίνηση χρήσης του.

```

175 // The below set of helpers will help us to put together the wifi NICs we want
176 YansWifiPhyHelper wifiPhy = YansWifiPhyHelper::Default ();
177 YansWifiChannelHelper wifiChannel;
178 // Propagation loss models are additive.
179 // modelo de perdas
180 m_lossModelName = "ns3::FriisPropagationLossModel";
181 wifiChannel.SetPropagationDelay ("ns3::ConstantSpeedPropagationDelayModel");
182 wifiChannel.AddPropagationLoss (m_lossModelName, "Frequency", DoubleValue (5.9e9));
183 wifiChannel.AddPropagationLoss ("ns3::NakagamiPropagationLossModel");
184
185 // the channel
186
187 Ptr<YansWifiChannel> channel = wifiChannel.Create ();
188 wifiPhy.SetChannel (channel);
189
190 // ns-3 supports generate a pcap trace
191 wifiPhy.SetPcapDataLinkType (WifiPhyHelper::DLT_IEEE802_11);
192 NqosWaveMacHelper wifi80211pMac = NqosWaveMacHelper::Default ();
193 Wifi80211pHelper wifi80211p = Wifi80211pHelper::Default ();
194 if (verbose)
195 {
196     wifi80211p.EnableLogComponents (); // Turn on all Wifi 802.11p logging
197 }
198
199 wifi80211p.SetRemoteStationManager ("ns3::ConstantRateWifiManager",
200                                     "DataMode",StringValue (phyMode),
201                                     "ControlMode",StringValue (phyMode));
202 NetDeviceContainer devices = wifi80211p.Install (wifiPhy, wifi80211pMac, c);
203

```

Εικόνα 26 : Βοηθοί, λειτουργία στο φυσικό επίπεδο και αρχεία pcap

Στην εικόνα 26 βλέπουμε την οριστικοποίηση των helpers για την λειτουργία στο φυσικό επίπεδο, την δημιουργία του μοντέλου για την πρόσθεση των αποδόσεων για τις ελλείψεις και τις καθυστερήσεις. Σε συνέχεια αυτών δύναται η δυνατότητα δημιουργίας αρχείων pcap στα οποία βρίσκονται πληροφορίες για κάθε Node της προσομοίωσης, ενώ τέλος ενεργοποιούμε το logging του IEEE 802.11p.

```

205 // Tracing
206 wifiPhy.EnablePcap ("wave-simple-80211p", devices);
207
208 if (m_mobility == 1)
209 {
210     // Create Ns2MobilityHelper with the specified trace log file as parameter
211     Ns2MobilityHelper ns2 = Ns2MobilityHelper (m_traceFile);
212     ns2.Install (); // configure movements for each node, while reading trace file
213     // initially assume all nodes packet not moving
214     WaveBsmHelper::GetNodesMoving ().resize (m_nNodes, 0);
215 } else if (m_mobility == 2)
216 {
217     MobilityHelper mobility;
218     Ptr<ListPositionAllocator> positionAlloc = CreateObject<ListPositionAllocator> ();
219     positionAlloc->Add (Vector (0.0, 0.0, 0.0));
220     positionAlloc->Add (Vector (5.0, 0.0, 0.0));
221     mobility.SetPositionAllocator (positionAlloc);
222     mobility.SetMobilityModel ("ns3::ConstantPositionMobilityModel");
223     mobility.Install (c);
224 }
225

```

Εικόνα 27 : Tracing και τύποι λειτουργίας προσομοίωσης

Σε συνέχεια της προηγούμενης εικόνας, στην εικόνα 27 δημιουργείται η προδιαγραφή για το tracing και την εμφόλευση αποτελεσμάτων στα pcap αρχεία, ενώ έπειτα ορίζουμε και τους δύο τρόπου με τους οποίους θα μπορούσαμε να τρέξουμε το σενάριο μας ως προς την λειτουργία του με βάση ένα υπάρχον trace.xml ή σε ένα τυχαίο σενάριο χωρίς να υπάρχει το προαναφερθέν.

```

252 // take into account all the nodes except the one that transmits the video
253 if (conta_nodos != 1) {
254     Ptr<Socket> recvSink = Socket::CreateSocket (c.Get (conta_nodos), tid);
255     InetAddress local = InetAddress (Ipv4Address::GetAny (), 80);
256     recvSink->Bind (local);
257     recvSink->SetRecvCallback (MakeCallback (&ReceivePacket));
258
259 }else{
260     Ptr<Socket> source = Socket::CreateSocket (c.Get (conta_nodos), tid);
261     InetAddress remote = InetAddress (Ipv4Address ("255.255.255.255"), 80);
262     source->SetAllowBroadcast (true);
263     source->Connect (remote);
264
265 }
266 }
267 }
268
269
270 // Create one EvalvidClient application -server
271
272 EvalvidServerHelper server (port);
273 server.SetAttribute ("SenderTraceFilename", StringValue("st_highway_cif.st"));
274 server.SetAttribute ("SenderDumpFilename", StringValue("sd_a01"));
275 server.SetAttribute ("PacketPayload", UIntegerValue(packetSize));
276 ApplicationContainer apps = server.Install (c.Get(1));
277
278 apps.Start (Seconds (1.0));
279 apps.Stop (Seconds (m_TotalSimTime+1.0));
280
281 // Create one EvalvidClient application -client
282
283 EvalvidClientHelper client (i.GetAddress (1),port);
284 client.SetAttribute ("ReceiverDumpFilename", StringValue("rd_a01"));
285 apps = client.Install (c.Get (0));
286 apps.Start (Seconds (2.0));
287 apps.Stop (Seconds (m_TotalSimTime));
288
289
290 Config::ConnectWithoutContext ("/NodeList/0/DeviceList/*/Phy/MonitorSnifferRx", MakeCallback (&MonitorSniffRx));

```

Εικόνα 28 : Ρουτίνες για τη μετάδοση βίντεο

Τέλος δημιουργούνται ρουτίνες οι οποίες είναι υπεύθυνες για την μετάδοση του βίντεο εντός της τοπολογίας η οποία γίνεται μέσω την δημιουργίας ενός application server και ενός application client, όπου δίνεται το αρχείο στο οποίο βρίσκεται το βίντεο αποκωδικοποιημένο ώστε να μεταδοθεί, ενώ ταυτόχρονα ορίζονται δύο αρχεία για την συλλογή δεδομένων ως προς το payload size από τα απεσταλμένα αλλά και τα επιστρεφόμενα segments που μεταδίδονται. Με βάση αυτά τα δύο αρχεία αργότερα θα γίνει η σύγκριση και των αποτελεσμάτων μας για την προσομοίωση.

Ο δεύτερος κώδικας που χρησιμοποιείται για το σενάριο μας λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο. Δηλαδή χρησιμοποιεί δύο πομπούς στο φυσικό επίπεδο με το IEEE 802.11p απλά μέσω adhoc μετάδοσης, και, στέλνει αυτόματα πακέτα 1000 bytes σε άλλους πομπούς του δικτύου. Το φυσικό επίπεδο δημιουργείται ώστε να δέχεται πληροφορίες σε μία σταθερή RSS (Received Signal Strength), επομένως η μετάδοση δεν επηρεάζεται από την κίνηση των πομπών.

Τα πεδία δηλώσεων των δύο κωδίκων είναι παρόμοια και έχουν όμοια λειτουργία όπως θα διακρίνεται παρακάτω.

```

117 // Enable logging for EvalvidClient and EvalvidServer
118 //
119 LogComponentEnable ("EvalvidClient", LOG_LEVEL_INFO);
120 LogComponentEnable ("EvalvidServer", LOG_LEVEL_INFO);
121
122 std::string phyMode ("HtMcs1");
123 std::string m_traceFile= "/home/stelios/mobility.tcl";
124 std::string m_lossModelName;
125
126 uint32_t m_mobility; ///< mobility
127 uint32_t m_nNodes; ///< number of nodes
128 double m_TotalSimTime; ///< seconds
129
130 // double rss = -80; // -dBm
131 uint32_t packetSize = 1472; // bytes
132 // uint32_t numPackets = 1;
133 double interval = 1.0; // seconds
134 bool verbose = false;
135
136 CommandLine cmd;
137 cmd.AddValue ("mobility", "1=trace;2=twoNodes", m_mobility);
138 cmd.AddValue ("nodes", "Number of nodes (i.e. vehicles)", m_nNodes);
139 cmd.AddValue ("totaltime", "Simulation end time", m_TotalSimTime);
140
141 // cmd.AddValue ("phyMode", "Wifi Phy mode", phyMode);
142 // cmd.AddValue ("rss", "received signal strength", rss);
143 cmd.AddValue ("packetSize", "size of application packet sent", packetSize);
144 // cmd.AddValue ("numPackets", "number of packets generated", numPackets);
145 cmd.AddValue ("interval", "interval (seconds) between packets", interval);
146 cmd.AddValue ("verbose", "turn on all WifiNetDevice log components", verbose);
147 cmd.Parse (argc, argv);
148 // Convert to time object
149 Time interPacketInterval = Seconds (interval);
150
151
152 NS_LOG_INFO ("Create nodes.");
153
154
155 NodeContainer c;
156 c.Create (m_nNodes);

```

Εικόνα 29 : Πεδίο δηλώσεων μεταβλητών Adhoc

Σε όλο το σώμα του κώδικα παρατηρούνται όμοιες λειτουργίες με τον προ ολίγου αναλυμένο κώδικα με τη μόνη διαφορά να εμφανίζεται σε σημεία στα οποία θα ορίσουμε την λειτουργία του Adhoc εντός της προσομοίωσης μας. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας δύο γραμμές κώδικα όπως βλέπετε (γραμμές 285 και 286). Έπειτα γίνεται η δήλωση των δύο διαφορετικών λειτουργιών βάσει την εντολής στο τερματικό.

Με την επεξήγηση των κωδίκων φτάνουμε και στην έναρξη των υπολογισμών των παραπάνω παρουσιασθέντων στοιχείων από τους οποίους υπολογισμούς θα πάρουμε αποτελέσματα τα οποία θα αναλύσουμε για να δούμε τι γίνεται σε ένα δίκτυο VANET κατά την λειτουργία του υπό ένα πρωτόκολλο στην μετάδοση βίντεο σε αυτό.

```

204 // Set it to adhoc mode
205 wifiMac.SetType ("ns3::AdhocWifiMac");
206 NetDeviceContainer devices = wifi.Install (wifiPhy, wifiMac, c);
207
208 // Tracing
209 wifiPhy.EnablePcap ("wifi-simple-adhoc", devices);
210
211 if (m_mobility == 1)
212 {
213 // Create Ns2MobilityHelper with the specified trace log file as parameter
214 Ns2MobilityHelper ns2 = Ns2MobilityHelper (m_traceFile);
215 ns2.Install (); // configure movements for each node, while reading trace file
216
217 } else if (m_mobility == 2)
218 {
219 MobilityHelper mobility;
220 Ptr<ListPositionAllocator> positionAlloc = CreateObject<ListPositionAllocator> ();
221 positionAlloc->Add (Vector (0.0, 0.0, 0.0));
222 positionAlloc->Add (Vector (5.0, 0.0, 0.0));
223 mobility.SetPositionAllocator (positionAlloc);
224 mobility.SetMobilityModel ("ns3::ConstantPositionMobilityModel");
225 mobility.Install (c);
226 }
227 InternetStackHelper internet;
228 internet.Install (c);
229
230 Ipv4AddressHelper ipv4;
231 NS_LOG_INFO ("Assign IP Addresses.");
232 ipv4.SetBase ("10.1.1.0", "255.255.255.0");
233 Ipv4InterfaceContainer i = ipv4.Assign (devices);
234
235 TypeId tid = TypeId::LookupByName ("ns3::UdpSocketFactory");
236 uint16_t port = 4000;
237 for (int conta_nodos=0;conta_nodos<=2;conta_nodos++){

```

Εικόνα 30 : Εισαγωγή Adhoc στον κώδικα

5.3 Αποτελέσματα

Για τα αποτελέσματα της προσομοίωσης “τρέξαμε” τους δύο κώδικες που παρουσιάσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Και στις δύο περιπτώσεις η προσομοίωση τερμάτισε με ορθή μετάδοση του βίντεο. Έπειτα από το πέρας των προσομοιώσεων λήφθηκαν τα αποτελέσματα για τα received dumps και sender dumps.

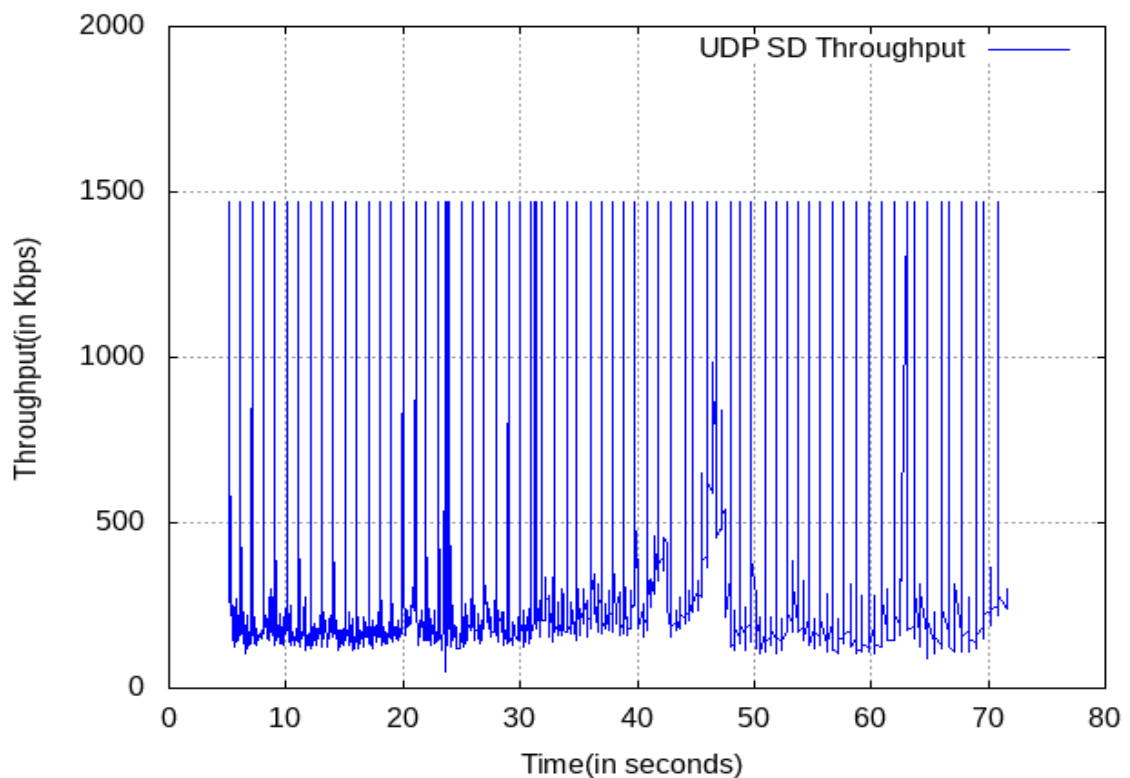
Βάσει αυτών των δύο αρχείων είμαστε ικανοί από τα σχηματικά που θα δημιουργήσουμε να δούμε που ξεκινάει η εκάστοτε μετάδοση, έως πότε γίνεται και αν τα πακέτα udp που στέλνονται και καταγράφονται στο sender dumps (SD), είναι όμοια ή έχουμε απώλειες κατά την διάρκεια της μετάδοσης με το received dumps (RD).

Για την δημιουργία των σχηματικών χρησιμοποιήσαμε το παρακάτω script σε Gnuplot κώδικα:

```
1 set terminal png
2 set output 'results.png'
3 set xrange [0.0:100.0]
4 set xlabel "Time(in seconds)"
5 set autoscale
6 set yrange [0:2000]
7 set ylabel "Throughput(in Kbps)"
8 set grid
9 set style data lines
10 plot "rdfinal.txt" using 1:2 title "UDP RD Throughput" lt rgb "red" ,\
"sdfinal.txt" using 1:2 title "UDP SD Throughput" lt rgb "blue"
```

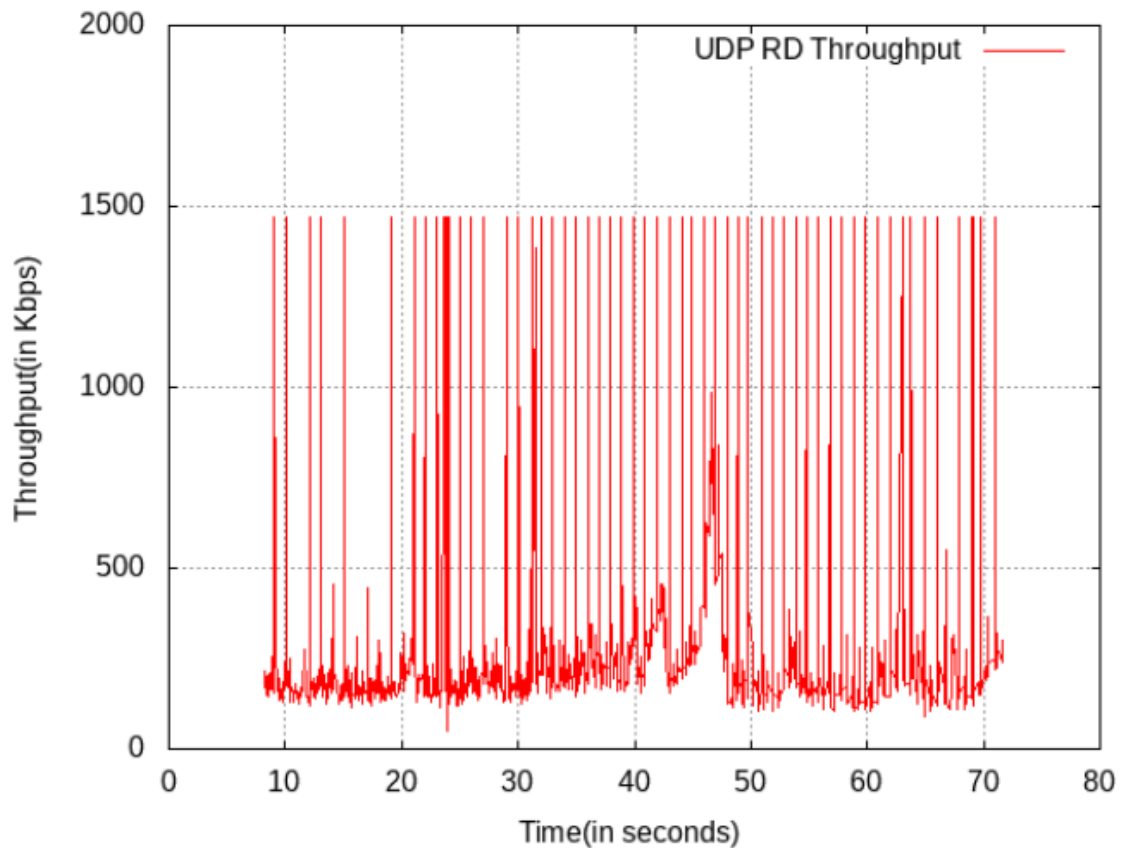
Εικόνα 31 : Script απόδοσης αποτελεσμάτων προσομοίωσης

Ας αναλύσουμε για τον κάθε κώδικα ξεχωριστά. Για τον *Wave-simple-80211p-evalvid.cc* τα αποτελέσματα που παίρνουμε για το SD είναι τα παρακάτω:



Εικόνα 32 : Sender Dump Simple 802.11p

ενώ για τον ίδιο κώδικα τα αποτελέσματα του RD έχουν ως εξής:

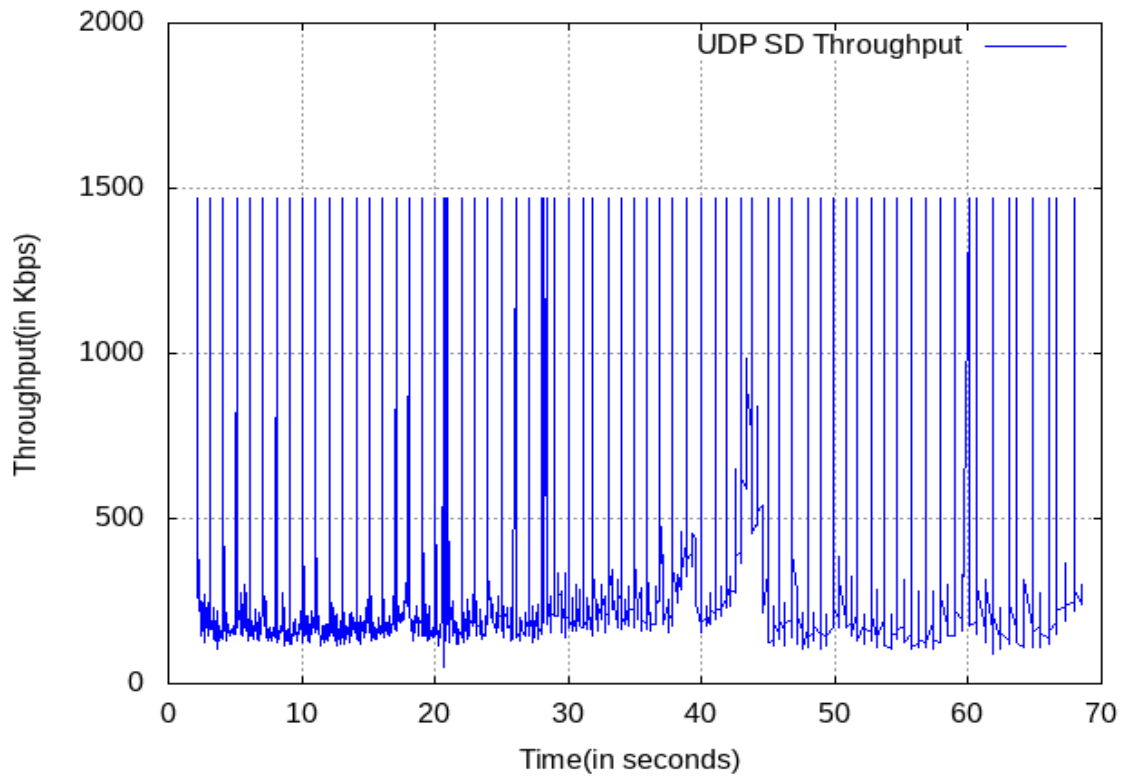


Εικόνα 33 : Received Dump Simple 802.11p

Με βάση τα παραπάνω σχηματικά βλέπουμε ότι η μετάδοση από το sender dump είναι πιο πυκνή σε σχέση με το δεύτερο. Επίσης αισθητή είναι η παρουσία πακέτων με μεγαλύτερο μέγεθος payload σε σχέση με αυτά που παραδίδονται. Κατά τα άλλα στη μεγαλύτερη διάρκεια της προσομοίωσης μπορούμε να πούμε ότι έγινε μία ικανοποιητική μετάδοση βίντεο κατά την διάρκεια της οποίας το μεγαλύτερο ποσοστό των πακέτων έφτασε ικανοποιητικά στον τερματικό χρήστη.

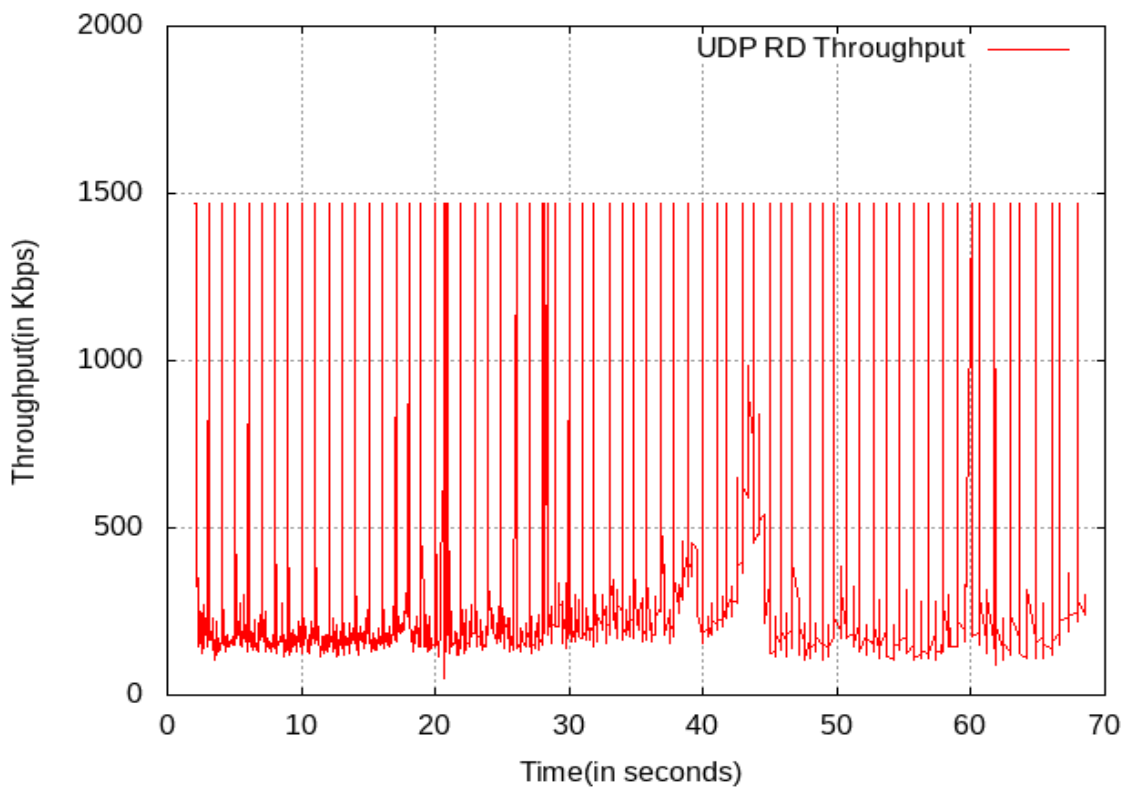
Με κοινό γνώμονα ανάλυσης έγινε και η προσομοίωση του κώδικα *Adhoc-simple-wifi-evalvid.cc*, κατά την εκτέλεση αυτού του κώδικα ομοίως με τον προηγούμενο δεν εμφανίστηκαν σφάλματα και η μετάδοση ολοκληρώθηκε με επιτυχία.

Τα αποτελέσματα που πάρθηκαν για το SD έχουν ως εξής:



Εικόνα 34 : Sender Dump Adhoc

Και τα αποτελέσματα για το RD έχουν ως παρουσιάζονται παρακάτω:



Εικόνα 35 : Received Dump Adhoc

Βάσει αποτελεσμάτων μπορούμε να διακρίνουμε μία πιο ενιαία και μεγαλύτερη σε χρόνο μετάδοση ως προς την διάρκεια της προσομοίωσης. Το SD με το RD είναι σχεδόν πανομοιότυπα. Το γεγονός αυτό είναι πολύ θετικό καθώς καταλαβαίνουμε βάσει payload του throughput ότι η μετάδοση επέφερε καρπούς και δεν χάθηκαν πολλά πακέτα udr που εμπεριείχαν πληροφορίες του βίντεο μας.

Αν μπορεί κάποιος να διακρίνει κάποια προβλήματα ως προς τη μετάδοση αυτά θα έχουν να κάνουν σε μηδαμινές περιπτώσεις στην αρχή της προσομοίωσης με το μειωμένο payload που εμφανίζει το RD. Ωστόσο η απόδοση είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική.

Βλέπουμε ότι και στις δύο περιπτώσεις η μετάδοση έγινε ικανοποιητικά και μπορούμε να αποδεχτούμε πως η χρήση του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου VANET σε συνδυασμό με τον κώδικα μας που εμπεριέχει το Evalvid έκανε μία σωστή προσπάθεια στην μετάδοση ενός μικρού βίντεο σε ένα δίκτυο οχημάτων.

5.4 Προβλήματα κατά την εκτέλεση σεναρίων

Το βασικό πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε κατά την εκπόνηση της συγκεκριμένης μελέτης είχε να κάνει με την εργασία ανάμεσα σε λογισμικά ανοιχτού κώδικα που χρησιμοποιήθηκαν. Τα συγκεκριμένα λογισμικά ακριβώς επειδή είναι ανοιχτού κώδικα σε βάθος χρόνου είναι φυσιολογικό να λαμβάνουν ενημερώσεις ωστόσο όχι το ένα παράλληλα με το άλλο. Το γεγονός αυτό οδήγησε σε προβλήματα κατά την υλοποίηση των σεναρίων αφού δεν υπήρχε συμβατότητα μεταξύ των εφαρμογών. Η λύση στο πρόβλημα ήρθε με την απεγκατάσταση ενημερώσεων και την χρήση εκδόσεων οι οποίες ήταν συμβατές μεταξύ τους.

Το δεύτερο ζήτημα που έπρεπε να αναγνωριστεί ήταν η προσθήκη επιπλέον συμμετεχόντων στην οργάνωση του δικτύου. Με την προσθήκη οχημάτων και πεζών πέρα των αυτοκινήτων υπήρχε πρόβλημα στην αναγνώριση του ns2 Tcl αρχείου που δημιουργούσαμε από την προσομοίωση του Sumo ώστε να χτίσουμε την τοπολογία του δικτύου στο NS3. Σε προσπάθειες που γίνανε παρατηρήθηκε ότι κάποια πρωτόκολλα δεν μπορούσαν να λειτουργήσουν σε ένα τέτοιο περιβάλλον (όπως το DSR), με αποτέλεσμα να έχουμε μηδενικά αποτελέσματα ή να μη γίνονται κατά περιπτώσεις ούτε οι προσομοιώσεις. Καθώς το ζήτημα δεν μπορούσε να λυθεί με προτεινόμενες λύσεις στη βιβλιογραφία και αφού οι δύο πλατφόρμες δεν έχουν δημιουργήσει ένα κοινό πεδίο συμβατότητα για τέτοια σενάρια προσομοίωσης, αποφασίστηκε τα σενάρια μας να αποτελούνται αποκλειστικά από αυτοκίνητα καθώς έτσι μπορούσαμε να παραλάβουμε και να αναλύσουμε τα δεδομένου οποιουδήποτε σεναρίου δημιουργούσαμε

Συμπεράσματα

Με την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας φτάσαμε σε διάφορα συμπεράσματα. Αναλύθηκε εκτενώς το VANET, ενώ επίσης έγινε αναφορά σε πολλές τεχνολογίες γύρω από αυτό στο θεωρητικό κομμάτι. Ενώ με το πειραματικό σκέλος παρουσιάστηκε η λειτουργία πολλών πρωτοκόλλων για τη συγκεκριμένη τεχνολογία. Ταυτόχρονα αναπτύχθηκε μία εξιδεικευμένη περίπτωση κατά την οποία σε μία τοπολογία δικτύου οχημάτων κάναμε μετάδοση βίντεο και είδαμε πως αυτή ήταν ιδιαίτερος ικανοποιητική και μπορούμε να πούμε πως θα κάλυπτε θεωρητικά ένα μικρό δίκτυο οχημάτων .

Στο μέλλον θα ήταν πιθανό με βάση τη συγκεκριμένη διατριβή να αναλυθεί περαιτέρω ένα τέτοιο δίκτυο και πόσο μάλλον μία παρόμοια περίπτωση πειράματος. Θα μπορούσε κάλλιστα να δημιουργηθεί ένα μεγαλύτερο δίκτυο, να γίνουν περισσότερες μετρήσεις, να χρησιμοποιηθούν εργαλεία για ανάλυση QoS (Quality of Service). Επιπροσθέτως θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν κώδικες που να εισάγουν στο δίκτυο μας τεχνολογία 4G-LTE-5G προκειμένου να πάει ένα βήμα παραπέρα η μελέτη αυτή.

Η συγκεκριμένη εργασία μπορεί να αποτελέσει την αρχή για διάφορες άλλες έρευνες οι οποίες με την πάροδο των χρόνων και την ανάπτυξη της τεχνολογίας να βοηθήσουν στο τεχνολογικό μέλλον και υπόβαθρο της πολιτείας.

Βιβλιογραφία

- [1] Lim, K. G., Lee, C. H., Chin, R. K. Y., Beng Yeo, K., & Teo, K. T. K. (2017). SUMO enhancement for vehicular ad hoc network (VANET) simulation. In *Proceedings - 2017 IEEE 2nd International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems, I2CACIS 2017* (Vols. 2017-December, pp. 86–91). <https://doi.org/10.1109/I2CACIS.2017.8239038>
- [2] Dixit, M., Kumar, R., & Sagar, A. K. (2017). VANET: Architectures, research issues, routing protocols, and its applications. In *Proceeding - IEEE International Conference on Computing, Communication and Automation, ICCCA 2016* (pp. 555–561). <https://doi.org/10.1109/CCAA.2016.7813782>
- [3] (ΕΛΣΤΑΤ), Ε. Σ. Α. (2021). *ΟΔΙΚΑ ΤΡΟΧΑΙΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ: Έτος 2019*. <https://www.statistics.gr>
- [4] Kumar, V., Mishra, S., & Chand, N. (2013). Applications of VANETs: Present & Future. In *Communications and Network* (Vol. 05, Issue 01, pp. 12–15). <https://doi.org/10.4236/cn.2013.51b004>
- [5] Kabir, H. (2013). Research Issues on Vehicular Ad hoc Network. In *International Journal of Computer Applications* (Vol. 6, Issue 4, pp. 174–179).
- [6] Ahmadi, S. (2019). *Chapter 7 - Vehicle-to-Everything (V2X) Communications* (pp. 789–843). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102267-2.00007-5>
- [7] Soumaya D., Dardouri S., R. B. (2020). Performance evaluation of routing protocols for vehicular AD-HOC networks using NS2/SUMO. In *Advances in Intelligent Systems and Computing: Vol. 1150 AISC* (pp. 352–378). https://doi.org/10.1007/978-3-030-44038-1_107
- [8] NHTSA. (2014). What are the advantages of V2V? In *Uauug* (pp. 1–4). https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/documents/v2v_fact_sheet_101414_v2a.pdf

- [9] United States Department of Transportation. (2014). *Vehicle-to-Infrastructure (V2I) ITS Standards for Project Managers*.
- [10] Stephens, D., Schroeder, J., & Klein, R. (2015). *Vehicle-to-Infrastructure (V2I) Safety Applications: Performance Requirements, Vol. 1, Introduction and Common Requirements* (Vol. 1, Issue August).
<https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/3592>
- [11] Zhou, F., Li, Y., & Ding, Y. (2019). Practical V2I secure communication schemes for heterogeneous VANETs. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 9, Issue 15). <https://doi.org/10.3390/app9153131>
- [12] Wang, Z., Liao, X., Zhao, X., Han, K., Tiwari, P., Barth, M. J., & Wu, G. (2020). A Digital Twin Paradigm: Vehicle-to-Cloud Based Advanced Driver Assistance Systems. In *IEEE Vehicular Technology Conference* (Vols. 2020-May). <https://doi.org/10.1109/VTC2020-Spring48590.2020.9128938>
- [13] M. Syfullah and J. M. Lim. (2017). *Data broadcasting on Cloud-VANET for IEEE 802.11p and LTE hybrid VANET architectures*. 2017 3rd International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology (CICT). <https://doi.org/10.1109/CICT.2017.7977321>.
- [14] Sharma, S., & Kaul, A. (2021). VANETs Cloud: Architecture, Applications, Challenges, and Issues. In *Archives of Computational Methods in Engineering* (Vol. 28, Issue 4, pp. 2081–2102).
<https://doi.org/10.1007/s11831-020-09447-9>
- [15] Mishra, R., Singh, A., & Kumar, R. (2016). VANET security: Issues, challenges and solutions. In *International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques, ICEEOT 2016* (pp. 1050–1055).
<https://doi.org/10.1109/ICEEOT.2016.7754846>
- [16] Ahamed, A., & Vakilzadian, H. (2018). Issues and Challenges in VANET Routing Protocols. In *IEEE International Conference on Electro Information Technology* (Vols. 2018-May, pp. 723–728).
<https://doi.org/10.1109/EIT.2018.8500180>

- [17] Soumaya D., Dardouri S., R. B. (2020). Performance evaluation of routing protocols for vehicular AD-HOC networks using NS2/SUMO. In *Advances in Intelligent Systems and Computing: Vol. 1150 AISC* (pp. 352–365). https://doi.org/10.1007/978-3-030-44038-1_107
- [18] Vidhale, B., & Dorle, S. S. (2011). Performance analysis of routing protocols in realistic environment for vehicular ad hoc networks. In *Proceedings - ICSEng 2011: International Conference on Systems Engineering* (pp. 267–272). <https://doi.org/10.1109/ICSEng.2011.55>
- [19] Bengag, Amina & Elboukhari, M. (2018). *Performance evaluation of VANETs routing protocols using SUMO and NS3*. 10.1109/CIST.2018.8596531. *Vehicular Ad-hoc network (VANET) is a selforganized ad hoc network, in which each vehicle, equipped with On Board Unit (OBU), participates in routing by forw.* <https://doi.org/10.1109/CIST.2018.8596531>
- [20] Pandey, K., Raina, S. K., & Rao, R. S. (2015). Performance analysis of routing protocols for vehicular adhoc networks using NS2/SUMO. In *Souvenir of the 2015 IEEE International Advance Computing Conference, IACC 2015* (pp. 844–848). <https://doi.org/10.1109/IADCC.2015.7154825>
- [21] Mahdi, Hussain & Abood, Mohammed & Hamdi, M. (2021). *Performance evaluation for vehicular ad-hoc networks based routing protocols.* <https://doi.org/10.11591/eei.v10i2.2943>.
- [22] Suman Malik, P. K. S. (2019). *A comparative study on routing protocols for VANETs*. Heliyon. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02340>
- [23] IEEE. (2011). *"IEEE Draft Standard for Information Technology - Telecommunications and Information Exchange Between Systems - Local and Metropolitan Area Networks - Specific Requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Speci.* IEEE Draft P802.11-REVMb/D7.0, February 2011 (Revision of IEEE Std 802.11-2007, as amended by IEEE Std 802.11k-2008, IEEE Std 802.11r-2008, IEEE Std 802.11y-2008, IEEE Std 802.11w-2009 and IEEE Std 802.11n-2009), vol., no., pp.1-2198, 4 Feb. 2011. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2011.5710544>

- [24] Malik, shahzad & Shah, M. (2010). *Performance evaluation of IEEE 802.11p MAC protocol for VANETs* (p. 4).
https://www.researchgate.net/publication/294645846_Performance_evaluation_of_IEEE_80211p_MAC_protocol_for_VANETs
- [25] Vinel, A. (2012). 3GPP LTE versus IEEE 802.11p/WAVE: Which technology is able to support cooperative vehicular safety applications? In *IEEE Wireless Communications Letters* (Vol. 1, Issue 2, pp. 125–128).
<https://doi.org/10.1109/WCL.2012.022012.120073>
- [26] Hameed Mir, Z., & Filali, F. (2014). LTE and IEEE 802.11p for vehicular networking: a performance evaluation. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*. <https://doi.org/10.1186/1687-1499-2014-89>
- [27] Baumann, R. (2004). *Vehicular Ad hoc Networks (VANET)* (p. 128).
<https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-004778905>
- [28] Ali, M. (2014). *Standards of Communications in the Intelligent Transport Systems*. <https://doi.org/10.13140/2.1.2055.1040>
- [29] Campolo, C., Molinaro, A., Scopigno, R., Ozturk, S., Miši, J., & Miši, V. B. (2015). The MAC Layer of VANETs. In *Vehicular Ad Hoc Networks Standards, Solutions, and Research*. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-15497-8>
- [30] Antoniou, M. S. and J. (2019). *Quality of User Experience in 5G-VANET* (pp. 1–6). 2019 IEEE 24th International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD), 2019.
<https://doi.org/10.1109/CAMAD.2019.8858442>
- [31] <https://www.nsnam.org/about/>
- [32] <https://sumo.dlr.de/docs/>
- [33] <https://www.nsnam.org/wiki/NetAnim>
- [34] Abenza, P. P. G., Malumbres, M. P., Piñol, P., & Granado, O. L. (2020). A simulation tool for evaluating video streaming architectures in vehicular network scenarios. *Electronics (Switzerland)*, 9(11), 1–15.
<https://doi.org/10.3390/electronics9111970>

[35] <http://www.gnuplot.info/>