



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

**Μελέτη και Σχεδίαση Συστήματος Διασύνδεσης Οχημάτων
με Κτηριακές Υποδομές (Vehicle-to-Building – V2B) με
χρήση Έξυπνου Ενεργειακού Δικτύου (Smart Grid)**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Κωνσταντίνου Ευκαρπίδης icsd15051

και του

Χρήστου Βυθούλκα icsd13030

Επιβλέπων : Βουγιούκας Δημοσθένης

Μέλη εξεταστικής επιτροπής:

Σάμος, [Φεβρουάριος 2020]

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Ευχαριστίες

Νιώθουμε τυχεροί σαν ομάδα που μας δόθηκε η δυνατότητα να εργαστούμε παρέα σε όλο αυτό το ταξίδι και να κοπιάσουμε μαζί σε ότι βρίσκαμε μπροστά μας ως εμπόδιο.

Αρχικά θέλουμε να ευχαριστήσουμε τον κ. Βουγιούκα για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε και εν τέλει μας ανέθεσε αυτή την απαιτητή διπλωματική εργασία χωρίς ιδιαίτερους ενδοιασμούς.

Επίσης θέλουμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον κ. Αγγελή για την αφοσίωση του σε εμάς , την καθοδήγηση και τις συμβουλές που παρείχε ανελλιπώς αλλά και την υποστήριξη του στον εκτενή αυτό αγώνα.

Θέλουμε να ευχαριστήσουμε τους συμφοιτητές μας , με τους οποίους κάναμε ουκ ο λίγες συζητήσεις περί του θέματος παρουσιάζοντας τις ιδέες μας αλλά και την πορεία μας για την ολοκλήρωση της διπλωματικής θέσης.

Τέλος , δεν μπορούμε φυσικά να ξεχάσουμε την βαθιά υποστήριξη και αρωγή των οικογενειών μας , οι οποίοι ήταν πάντα εκεί να μας ωθούν στο να σηκωνόμαστε όσες φορές και αν πέσαμε , εκφράζοντας σε αυτούς τα πιο έντονα συναισθήματα μας.

© [2020]

του

Κωνσταντίνου Ευκαρπίδης

και του

Χρήστου Βυθούλκα

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	1
2	Vehicle-to-Grid (V2G) & Grid-to-Vehicle (G2V)	3
2.1	Τι είναι το Ηλεκτρικό όχημα	3
2.1.1	Χαρακτηριστικά μπαταρίας EV	6
2.1.2	Φόρτιση EV	6
2.2	Τι είναι το V2G – G2V?	8
2.3	Κίνητρα υλοποίησης V2G – G2V	9
2.4	Πλεονεκτήματα & Εφαρμογές V2G – G2V	10
2.4.1	Εξομάλυνση αιχμών & Ηλεκτρικά οφέλη	11
2.4.2	Ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας	11
2.4.3	Στρεφόμενη εφεδρεία ισχύος	11
2.4.4	Εφεδρική πηγή ενέργειας κατά την διακοπή ρεύματος	12
2.5	Προβλήματα & Κίνδυνοι	12
2.6	Έξυπνο Δίκτυο (Smart Grid)	13
2.6.1	Έξυπνη φόρτιση / εκφόρτιση	14
2.6.2	Καταστάσεις Φόρτισης	16
2.7	Ενσωμάτωση Δικτύου	17
2.7.1	Φυσική σύνδεση με το Δίκτυο	18
2.7.2	Θέματα πολλαπλής ενσωμάτωσης EV σε δίκτυο	19
2.8	Αρχιτεκτονική ενσωμάτωσης EV	20
2.9	Επικοινωνία και Έλεγχος	20
2.10	Διεπαφή σημείου φόρτισης με όχημα	22
2.11	Διεπαφή σημείου φόρτισης με δίκτυο	23
2.11.1	Open Smart Charging Protocol 1.0	23
2.11.2	Διασύνδεση Δικτύου Διανομής	25
2.12	Διεπαφή σημείου φόρτισης και χειριστή	26
2.12.1	Open Charge Point Protocol 2.0	26
2.12.2	Open Charge Point Interface 2.1.1	26
2.13	Ασφάλεια Δικτύου	27
2.14	Προστασία προσωπικών δεδομένων & ασφάλειας	29
2.14.1	Στόχοι ασφάλειας	30
2.14.2	Προστασία προσωπικών δεδομένων	31
3	Πρωτόκολλα	33
3.1	DSDV: Destination-Sequenced Distance Vector	34

3.1.1	Επισκόπηση.....	34
3.1.2	Λειτουργία.....	35
3.1.3	Πλεονεκτήματα	36
3.1.4	Μειονεκτήματα.....	37
3.2	AODV: Ad-hoc On-demand Distance Vector.....	37
3.2.1	Επισκόπηση.....	37
3.2.2	Μηνύματα	37
3.2.3	Επισκευή.....	40
3.2.4	Πλεονεκτήματα	42
3.2.5	Μειονεκτήματα.....	42
3.3	OLSR: Optimized Link State Routing.....	42
3.3.1	Επισκόπηση.....	42
3.3.2	Μηνύματα	43
3.3.3	Πλεονεκτήματα	45
3.3.4	Μειονεκτήματα.....	46
4	Δίκτυα Ασύρματης επικοινωνίας οχημάτων	47
4.1	Δίκτυα οχημάτων με χρήση προτύπου IEEE 802.11.....	48
4.1.1	Επίπεδο MAC.....	51
4.1.2	Φυσικό επίπεδο (PHY).....	55
4.1.3	WLAN Λειτουργική διαδικασία	58
4.2	Ad-hoc δίκτυα οχημάτων	61
4.2.1	Επικοινωνίες οχημάτων.....	62
4.2.2	Προκλήσεις	63
4.3	Δίκτυα οχημάτων με χρήση του προτύπου 802.11p (WAVE).....	65
4.3.1	Φάσμα συχνοτήτων.....	66
4.3.2	Δομή φυσικού στρώματος 802.11p	67
4.3.3	Περιγραφή διαδικασίας μετάδοσης δεδομένων φυσικού στρώματος.....	69
4.4	Επισκόπηση επιπέδου MAC.....	71
5	Περιβάλλον Εργασίας Υλοποίησης Μοντέλου Προσομοίωσης	73
5.1	Ενεργοποίηση Virtualization	74
5.1.1	AMD	74
5.1.2	Intel.....	74
5.2	Εγκατάσταση VirtualBox	75
5.2.1	Δημιουργία Εικονικής Μηχανής.....	75
5.2.2	Εγκατάσταση Ubuntu.....	78
5.3	Εγκατάσταση NS3.29.....	81

5.4	Εγκατάσταση NetAnim	83
5.5	Εγκατάσταση Wireshark	84
6	Προσομοίωση	85
6.1	Εισαγωγή	85
6.2	Δυνατότητες Μοντέλου	87
6.2.1	Κλάσεις	87
6.2.2	Παράμετροι	89
6.2.3	Μοντέλα Απωλειών Διάδοσης	89
6.2.4	Μοντέλο Κινητικότητας	91
6.3	Σενάριο	91
6.4	Αποτελέσματα Προσομοίωσης	93
6.4.1	Ωφέλιμο φορτίο (Throughput)	94
6.4.2	Λόγος παράδοσης πακέτων	104
7	Συμπεράσματα	115
7.1	Ωφέλιμο φορτίο (Throughput)	115
7.2	Λόγος παράδοσης πακέτων	118
7.3	Τελικές αποτιμήσεις	121
7.4	Περαιτέρω μελέτη	121
8	Βιβλιογραφία	129

Λίστα Σχημάτων

- Σχήμα 1 : Επιρροή φόρτισης EV σύμφωνα με την DSO [37]
- Σχήμα 2: Βελτιστοποίηση διαχείρισης κατανομής ενέργειας [37]
- Σχήμα 3: Ενημέρωση τιμών του συστήματος εμφάνισης χρεώσεων (OCPP)
- Σχήμα 4: Διαφορά Κεντροποιημένου και αποκεντροποιημένου δικτύου [38]
- Σχήμα 5 : Διάγραμμα ροής για το πρωτόκολλο DSDV
- Σχήμα 6 : Διάγραμμα ροής για το πρωτόκολλο AODV
- Σχήμα 7 : Διάγραμμα ροής για το πρωτόκολλο OLSR
- Σχήμα 8 : Στοιβά πρωτοκόλλου 802.11
- Σχήμα 9 : Δομή πλαισίου MAC πρωτοκόλλου 802.11
- Σχήμα 10 : Η MAC ασχολείται με τα MSDU και τα MPDU
- Σχήμα 11 : Πακέτο φυσικού επιπέδου
- Σχήμα 12 : Ομάδα ασύρματων σταθμών (STA)
- Σχήμα 13 : Διάγραμμα συστήματος 802.11.p
- Σχήμα 14 : Κανάλια συχνοτήτων 802.11p
- Σχήμα 15 : Ανάθεση υποφέρουσας βάση προτύπου 802.11p
- Σχήμα 16 : Στοιβά πρωτοκόλλου WAVE & υποστρώματα PHY
- Σχήμα 17 : Δομή πλαισίου στρώματος PHY PPDU
- Σχήμα 18 : Διάγραμμα διεργασίας μετάδοσης δεδομένων PHY
- Σχήμα 19 : Ενεργοποίηση virtualization (Intel)
- Σχήμα 20 : Επιλογή δημιουργίας νέας εικονικής μηχανής
- Σχήμα 21 : Εκχώρηση ονόματος , μνήμης , τύπου λειτουργικού
- Σχήμα 22 : Εκχώρηση τοποθεσίας αποθήκευσης μηχανής, μεγέθους δίσκου
- Σχήμα 23 : Επιλογή μηχανής και ρυθμίσεων αυτής
- Σχήμα 24 : Επιλογή συστήματος , επεξεργαστή και αριθμό threads
- Σχήμα 25 : Επιλογή εικόνας (.iso) λειτουργικού
- Σχήμα 26 : Επιλογή εγκατάσταση Ubuntu & γλώσσας συστήματος
- Σχήμα 27 : Επιλογή γλώσσας ηλεκτρολογίου
- Σχήμα 28 : Εγκατάσταση ελαχίστων , ενημερώσεων και οδηγών συσκευών
- Σχήμα 29 : Διαμόρφωση δίσκου και εγγραφή από την αρχή
- Σχήμα 30 : Επιβεβαίωση παραμετροποίησης partitions
- Σχήμα 31 : Επιλογή γεωγραφικής θέσης
- Σχήμα 32 : Εισαγωγή στοιχείων χρήστη
- Σχήμα 33 : Ολοκλήρωση εγκατάστασης

- Σχήμα 34 : Απενεργοποίηση VM και εκκίνηση
- Σχήμα 35 : Εγκατάσταση Git
- Σχήμα 36 : Κλωνοποίηση αρχείων από το repository
- Σχήμα 37 : Επιβεβαίωση επιτυχημένης μεταφόρτωσης
- Σχήμα 38 : Εκχώρηση πλήρους πρόσβασης στο αρχείο & έλεγχος
- Σχήμα 39 : Εκτέλεση script
- Σχήμα 40 : Δημιουργία αρχείου (patch)
- Σχήμα 41 : Κώδικας patch
- Σχήμα 42 : Εκτέλεση patch
- Σχήμα 43 : Εγκατάσταση ns3
- Σχήμα 44 : Εκτέλεση έτοιμου παραδείγματος για επαλήθευση
- Σχήμα 45 : Άνοιγμα NetAnim
- Σχήμα 46 : Περιβάλλον netanim
- Σχήμα 47 : Κομμάτι από το Grid του Netanim
- Σχήμα 48 : Εγκατάσταση Wireshark
- Σχήμα 49 : Πέρασμα παραμέτρων για το ξεκίνημα της προσομοίωσης
- Σχήμα 50 : Διάγραμμα Κλάσεων Προσομοίωσης
- Σχήμα 51 : Τύπος Υπολογισμού ισχύς λήψης
- Σχήμα 52 : Επιλογή συχνότητας και διαφοράς ύψους κεραίας λήψης και εκπομπής
- Σχήμα 53 : Επεξεργασία παραμέτρων Nakagami
- Σχήμα 54 : Κώδικας παραμέτρων κίνησης
- Σχήμα 55 : Δημιουργία ψευδογεννήτριας
- Σχήμα 56 : Τοπολογία με οχήματα και συναθροιστή
- Σχήμα 57 : Διάγραμμα ιεραρχίας αποτελεσμάτων
- Σχήμα 58 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 3 Mbps – 50 οχήματα
- Σχήμα 59 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 3 Mbps – 50 οχήματα
- Σχήμα 60 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 6 Mbps – 50 οχήματα
- Σχήμα 61 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 9 Mbps – 50 οχήματα
- Σχήμα 62 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 12 Mbps – 50 οχήματα
- Σχήμα 63 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 18 Mbps – 50 οχήματα
- Σχήμα 64 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 24 Mbps – 50 οχήματα
- Σχήμα 65 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 27 Mbps – 50 οχήματα
- Σχήμα 66 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 3 Mbps – 100 οχήματα
- Σχήμα 67 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 4.5 Mbps – 100 οχήματα
- Σχήμα 68 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 6 Mbps – 100 οχήματα
- Σχήμα 69 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 9 Mbps – 100 οχήματα

- Σχήμα 70 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 12 Mbps – 100 οχήματα
Σχήμα 71 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 18 Mbps – 100 οχήματα
Σχήμα 72 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 24 Mbps – 100 οχήματα
Σχήμα 73 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 27 Mbps – 100 οχήματα
Σχήμα 74 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 3 Mbps – 200 οχήματα
Σχήμα 75 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 4.5 Mbps – 200 οχήματα
Σχήμα 76 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 6 Mbps – 200 οχήματα
Σχήμα 77 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 9 Mbps – 200 οχήματα
Σχήμα 78 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 12 Mbps – 200 οχήματα
Σχήμα 79 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 18 Mbps – 200 οχήματα
Σχήμα 80 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 24 Mbps – 200 οχήματα
Σχήμα 81 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 27 Mbps – 200 οχήματα
Σχήμα 82 : Λόγος παράδοσης πακέτων σε σχέση με απόσταση για 50 οχήματα (AODV)
Σχήμα 83 : Λόγος παράδοσης πακέτων σε σχέση με απόσταση για 100 οχήματα (AODV)
Σχήμα 84 : Λόγος παράδοσης πακέτων σε σχέση με απόσταση για 200 οχήματα (AODV)
Σχήμα 85 : Λόγος παράδοσης πακέτων σε σχέση με απόσταση για 50 οχήματα (DSDV)
Σχήμα 86 : Λόγος παράδοσης πακέτων σε σχέση με απόσταση για 100 οχήματα (DSDV)
Σχήμα 87 : Λόγος παράδοσης πακέτων σε σχέση με απόσταση για 200 οχήματα (DSDV)
Σχήμα 88 : Λόγος παράδοσης πακέτων σε σχέση με απόσταση για 50 οχήματα (OLSR)
Σχήμα 89 : Λόγος παράδοσης πακέτων σε σχέση με απόσταση για 100 οχήματα (OLSR)
Σχήμα 90 : Λόγος παράδοσης πακέτων σε σχέση με απόσταση για 200 οχήματα (OLSR)
Σχήμα 91 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 3Mbps
Σχήμα 92: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 4.5Mbps
Σχήμα 93: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 6Mbps
Σχήμα 94 : Σύμπτυξη αποτελεσμάτων σχημάτων 91 – 93
Σχήμα 95 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 9Mbps
Σχήμα 96 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 12Mbps
Σχήμα 97 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 18Mbps
Σχήμα 98 : Σύμπτυξη αποτελεσμάτων σχημάτων 95 – 97
Σχήμα 99 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 24Mbps
Σχήμα 100 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 27Mbps
Σχήμα 101 : Σύμπτυξη αποτελεσμάτων σχημάτων 99 & 100
Σχήμα 102 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 3Mbps
Σχήμα 103 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 4.5Mbps
Σχήμα 104 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 6Mbps
Σχήμα 105 : Σύμπτυξη αποτελεσμάτων σχημάτων 102 - 104

- Σχήμα 106 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 9Mbps
Σχήμα 107 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 12Mbps
Σχήμα 108 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 18Mbps
Σχήμα 109 : Σύμπτυξη αποτελεσμάτων σχημάτων 106 – 108
Σχήμα 110 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 24Mbps
Σχήμα 111 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 27Mbps
Σχήμα 112 : Σύμπτυξη αποτελεσμάτων σχημάτων 110 & 111

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1: Απαιτήσεις υπηρεσιών ανά κατηγορία [29]

Πίνακας 2: Πρότυπα 802.11 φυσικού επιπέδου [39]

Πίνακας 3: Πίνακας συστήματος 802.11p [40]

Πίνακας 4: Ρυθμίσεις παραμέτρων για διάφορες κατηγορίες εφαρμογής [27]

Πίνακας 5: Παράμετροι σεναρίου

Πίνακας 6: Αριθμητικά αποτελέσματα για κάθε πρωτόκολλο – 50 οχήματα

Πίνακας 7: Αριθμητικά αποτελέσματα για κάθε πρωτόκολλο – 100 οχήματα

Πίνακας 8: Αριθμητικά αποτελέσματα για κάθε πρωτόκολλο – 200 οχήματα

Λίστα Γραφημάτων

Γράφημα 1: Μέση ενεργειακή κατανάλωση ανά έτος

Γράφημα 2: Συνολική ενεργειακή κατανάλωση σε επίπεδο 10ετίας

Γράφημα 3: Συνολική εκπομπή CO₂ σε επίπεδο χρήσης κτηρίου για την φόρτιση των οχημάτων

Γράφημα 4: Μέσο ενεργειακό κόστος σε επίπεδο φόρτισης ανά έτος

Γράφημα 5: Συνολικό κόστος αντικατάστασης και ανακύκλωσης συσσωρευτών

Ακρωνύμια

AC	Access Point
ACK	Acknowledgment
A-MPDU	Aggregator MAC Protocol Data Unit
A-MSDU	Aggregator MAC Service Data Unit
AP	Access Point
AWGN	Additive White Gaussian Noise
BACK	Block Acknowledgments
BCD	Battery Charge Depletion
BCS	Battery Charge Sustaining
BMS	Battery Management System
BPSK	Binary Phase Shift Keying
BSS	Basic Service Set
CC	Channel Coding
CCC	Common Control Channel
CP	Cyclic Prefix
CSI	Channel State Information
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection
CSP	Charge Service Provider
CTS	Clear to Send
DC	Direct Current
DCF	Distributed Coordination Function
DIFS	DCF Inter Frame Spacing
DNO	Distribution Network Operator
DSP	Digital Signal Processing
DSRC	Dedicated Short Range Communication
DSSS	Direct-Sequence Spread Spectrum
ECC	Error Correcting Code
EDCA	Enhanced Distributed Channel Access
EDMS	Energy Data Management System
ELS	Export Limitation Scheme
EREC	Engineering Recommendation

ESCC	Supply Equipment Communication Controller
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EV	Electric Vehicle
EVCC	Electric Vehicle Communication Controller
EVSE	Electric Vehicle Service Equipment
FCS	Frame Check Sequence
FEC	Forward Error Correction
FHSS	Frequency-Hopping Spread Spectrum
G2V	Grid-to-Vehicle
GPS	Global Position System
HEV	Hybrid Electric Vehicle
HT	High Throughput
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
ICE	Internal Combustion Engines
ICI	Inter-Carrier Interference
ICT	Information and Communication Technologies
ID	Identification unique number
IDFT	Inverse Discrete Fourier Transform
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
ISI	Intersymbol Interference
ISO	International Organization for Standardization
ITS	Intelligent Transportation System
LLC	Logical Link Control
LOS	Line of Sight
MAC	Media Access Control
MID	Multiple Interface Declaration
MPDU	Media Access Protocol Data Unit
MPR	Multipoint Relays
MSDU	Mac Service Data Unit
NLOS	Non-Line Of Sight
NPDU	Network Protocol Data Unit
OBU	On-Board Unit
OCPP	Open Charging Point Protocol
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing

OSCP	Offensive Security Certified Professional
PCF	Point Coordination Function
PCP	Physical Layer Convergence Protocol
PDU	Packet Data Unit
PER	Packet Error Rate
PEV	Plug-in Electric Vehicle
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
PHY	Physical
PLC	Power Line Communication
PMD	Physical Layer Medium Access
PSDU	PLCP Service Data Unit
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RFC	Request for Comments
RFID	Radio Frequency Identification
RREP	Route Reply
RREP-ACK	Route Reply Acknowledgement
RREQ	Route Request
RSSI	Received Signal Strength Indicator
RTS	Request to Send
SECC	Supply Equipment Communication Controller
SG	Smart Grid
SNR	Signal-to-Noise Ratio
SOC	State of Charge
SSID	Service Set Identifier
STA	Station
TBTT	Target Beacon Transmit Time
TC	Topology Control
TOU	Time of Use
TSO	Transmission System Operator
U-NII	Unlicensed National Information Infrastructure
V2A	Vehicle-to-Anything
V2B	Vehicle-to-Building
V2G	Vehicle-to-Grid
V2H	Vehicle-to-Home
V2I	Vehicle-to-Infrastructure

V2R	Vehicle-to-Roadside
V2V	Vehicle-to-Vehicle
V2V	Vehicle-to-Vehicle
VANET	Vehicular Ad-hoc Network
VHT	Very High Throughput
VM	Virtual Machine
WEP	Wired Equivalent Privacy
WI-FI	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network
WNIC	Wireless Network Interface Controller
WPA	Wi-Fi Protected Access

Περίληψη

Ήταν απαραίτητη η μελέτη βιβλιογραφίας που αφορούσε το έξυπνο ενεργειακό δίκτυο, των μερών που το απαρτίζουν καθώς και η διασύνδεση των οχημάτων με αυτό. Αυτό με την σειρά σου έδινε το έναυσμα για να σκεφτούμε πως θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί η επικοινωνία των οχημάτων με κτιριακή υποδομή βάση των σημερινών δεδομένων, ώστε να είναι πιο απτό το σενάριο μας και υλοποιήσιμο. Σκοπός λοιπόν της εργασίας ήταν να φτιάξουμε ένα μοντέλο V2G , που αποτελείται από μία έκταση (grid), κινητούς κόμβους (οχήματα) και κτιριακές υποδομές (V2B) με όσο τον δυνατό πιο ρεαλιστικές συνθήκες και να συγκρίνουμε τρία πρωτόκολλα που συνίσταται για κινητές επικοινωνίες , τα οποία ενσωματώσαμε στο μοντέλο μας. Σταθήκαμε εντονότερα στο κομμάτι της επικοινωνίας των οχημάτων με τα κτίρια μέσω των πρωτοκόλλων επικοινωνίας και όχι στην πληροφορία την οποία μεταδίδεται. Με την ολοκλήρωση της ανάπτυξης του μοντέλου (Vanet-NS3) ξεκινήσαμε την εκτέλεση των προσομοιώσεων αλλάζοντας συνεχώς παραμέτρους με στόχο την συλλογή δεδομένων για την απόδοση κάθε πρωτοκόλλου στο ωφέλιμο φορτίο καθώς και την αναλογία παράδοσης πακέτων. Ακολούθησε η σύμπτυξη των αποτελεσμάτων λόγω του όγκους τους , ώστε να αρχίζουν να είναι πιο εμφανής οι ιδιαιτερότητες τους. Αφού ολοκληρώθηκε αυτή η διαδικασία οδηγηθήκαμε στα συμπεράσματα ότι ιδανικά κανένα πρωτόκολλο δεν υπερτερεί σε κάθε περίπτωση σε σχέση με τα υπόλοιπα αλλά βάση λειτουργίας του καθενός κερδίζουν κατά περιπτώσεις.

Σε επόμενο στάδιο προχωρήσαμε στην ανάλυση των ενεργειακών δεδομένων που παράγονται κατά το στάδιο της επικοινωνίας ανάμεσα στο Ενεργειακό Δίκτυο και το σύνολο των οχημάτων που συμμετέχουν σε αυτό το Δίκτυο.

Λέξεις Κλειδιά: *Smart Grid, V2G, V2B, NS3, Vanet , Aggregator*

Abstract

It was necessary the bibliography study, that was about the smart grid, the parts that make up it and the interconnection of the vehicles with it. This was the trigger to think about how the vehicles could communicate with the building's basis of existing infrastructure, to make our scenario more tangible and feasible. So, the purpose of the thesis was to create a V2G model, consisting of an area (grid), mobile nodes (vehicles) and buildings (aggregators) in the most realistic way possible and compare three mobile communications protocols that we incorporated into our model. We focused on the vehicle's communication with the buildings, with protocols use, and not to the information that transmitted through the communication channels. After the finish of simulation (Vanet-NS3) we started the simulation executions experimenting with the parameters in order to collect as many data as we could for performance on data rate and packet delivery ratio. Result collapsing followed because of data volume, so that their peculiarities begin to become more apparent. After the procedure finish, we conclude that identical any protocol does not win in all the cases comparing with the others but based on their functionality each one wins sometimes.

On the next level we analyzed the energy data that are being produced by the bidirectional communication between the Energy Grid and the Vehicles.

Keywords: *Smart Grid, V2G, V2B, NS3, Vanet, Aggregator*

1

Εισαγωγή

Στη σημερινή εποχή η παραγωγή ηλεκτρικών αυτοκινήτων αυξάνεται με υψηλούς ρυθμούς. Από την μία πλευρά το σημείο αυτό είναι θετικό διότι μεταβαίνουμε σε νέα εποχή όπου οι ρύποι των οχημάτων μειώνονται όσο οι άνθρωποι μεταπηδούν στην ηλεκτροκίνηση. Από την άλλη όμως αυτό έχει ως συνέπεια την αύξηση των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια.

Λύση στο πρόβλημα αυτό και στα πλαίσια της πράσινης ενέργειας δίνουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας , όπως είναι η αιολική και η ηλιακή. Σίγουρα αυτό ήταν ένα βήμα για να πούμε ότι το δίκτυο διανομής της ενεργείας έγινε εξυπνότερο αφού απορροφούσε πλέον ρεύμα και από διαφορετικές πηγές. Το ερώτημα όμως που γεννάται είναι αν οι πηγές αυτές επαρκούν για να καλύψουν τις ανάγκες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων , τα οποία αυξάνονται , διατηρώντας ταυτόχρονα την σταθερότητα στο δίκτυο. Αν σκεφτούμε ότι η παραγωγή της ηλιακής ενέργειας ξεκινάει όταν αρχίζουν να αυξάνονται και οι απαιτήσεις με το ξεκίνημα της ημέρας (επιχειρήσεις , νοικοκυριά κ.ά.), τότε καταλαβαίνουμε ότι η ηλιακή ενέργεια δεν είναι διαθέσιμη την στιγμή που απαιτείται. Ίσως από το παραπάνω να σκεφτόμαστε πως θα μπορούσαμε να ισορροπήσουμε τα πράγματα μιας και δεν είναι ιδανικά.

Εδώ έρχεται το κομμάτι της επικοινωνίας του οχήματος με τις κτιριακές υποδομές , είτε αυτό είναι ένα σπίτι , είτε μία επιχείρηση , είτε κάτι άλλο. Το V2G , ουσιαστικά έρχεται να καλύψει αυτό το κενό και να προσφέρει λύση. Αυτή ιδανικά θα ήταν τα οχήματα να λειτουργούν ως μπαταρίες και να μπορούν εκτός από το να φορτίζουν , να εκ φορτίζουν το ποσό της μπαταρίας πίσω στο δίκτυο για την άμεση εκμετάλλευση της. Κατά την ύστερον φόρτιση τους προς ανταμοιβή αυτό θα μπορούσαν να έχουν κάποια έκπτωση στην αγορά της ενέργειας.

Εμείς μελετήσαμε το κομμάτι της επικοινωνίας των οχημάτων με άλλα οχήματα καθώς και με την κεραία της κτιριακής υποδομής , από ποιες παραμέτρους επηρεάζεται , κατά πόσο και πως. Θεωρούμε ότι είναι ένα θέμα που αφορά το άμεσο μέλλον και επειδή βρίσκεται ακόμη υπό ερευνητικό και πιλοτικό στάδιο είναι σημαντικό να το εξετάσουμε από την πλευρά μας συνεισφέροντας με όποιο τρόπο.

Εν συνεχεία προχωρήσαμε στην παρουσίαση και ανάλυση των ενεργειακών δεδομένων που προκύπτουν από την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του Ενεργειακού Δικτύου καθώς και του συνόλου των οχημάτων που συμμετέχουν σε αυτό.

Η διπλωματική αποτελείται συνολικά από 7 κεφάλαια. Στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας αναφέρουμε βιβλιογραφικές πληροφορίες για το V2G, G2V. Στο τρίτο κεφάλαιο κάνουμε μία ανάλυση των πρωτοκόλλων σε επίπεδο δικτύου που εξετάσαμε επικεντρώνοντας στην λειτουργία, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους. Έπειτα εστιάσαμε στο ασύρματο πρωτόκολλο για κινητούς κόμβους σε επίπεδο σύνδεσης δεδομένων και το φυσικό επίπεδο. Στο πέμπτο κεφάλαιο ετοιμάσαμε έναν οδηγό για το πως να στήσει κανείς το περιβάλλον εργασίας που δουλέψαμε , ώστε να δημιουργήσει τα δικά του μοντέλα και να πειραματιστεί με αυτά. Μετέπειτα στο έκτο κεφάλαιο εξηγούμε αναλυτικά το μοντέλο της προσομοίωσης που φτιάξαμε (C++) παραθέτοντας διαγράμματα και στιγμιότυπα κώδικα για την καλύτερη κατανόηση του. Τέλος στο έβδομο και όγδοο κεφάλαιο απομένουν τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα αντίστοιχα.

2

Vehicle-to-Grid (V2G) & Grid-to-Vehicle (G2V)

2.1 Τι είναι το Ηλεκτρικό όχημα

Ένα ηλεκτρικό όχημα (EV) χρησιμοποιεί ηλεκτρικό κινητήρα ή κινητήρα έλξης για προώθηση. Το ηλεκτροκίνητο όχημα τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια από πηγή εκτός οχήματος ή μπορεί να περιέχεται σε μια μπαταρία ή γεννήτρια που μετατρέπει το καύσιμο σε ηλεκτρική ενέργεια. Η ιστορία των ηλεκτρικών οχημάτων καλύπτει λίγο περισσότερο από έναν αιώνα, αλλά οι περισσότερες από τις σημαντικές εμπορικές εξελίξεις έχουν πραγματοποιηθεί μετά το 2002. Η αναβίωση του ενδιαφέροντος της αυτοκινητοβιομηχανίας για τα ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα οφείλεται στην πρόοδο των τεχνολογιών της μπαταρίας και της διαχείρισης ενέργειας, στις ανησυχίες για τις αυξανόμενες διακυμάνσεις των τιμών του πετρελαίου, τη διακοπή του εφοδιασμού, αλλά και την ανάγκη μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Το έτος 2015 το παγκόσμιο κατώφλι του 1 εκατομμυρίου ηλεκτρικών αυτοκινήτων στο δρόμο ξεπεράστηκε, κλείνοντας στα 1,26 εκατομμύρια. [11]

Το ηλεκτρικό όχημα είναι όχημα με μηδενικές εκπομπές, επειδή δεν παράγει τη ρύπανση που σχετίζεται με κινητήρες εσωτερικής καύσης (ICE). Ωστόσο, η φόρτιση μέσω της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα εξακολουθεί να προκαλεί περιβαλλοντικό αντίκτυπο, καθώς η περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από την καύση ορυκτών καυσίμων. Αλλά σε σύγκριση με τα αυτοκίνητα που λειτουργούν με αέριο, τα αυτοκίνητα που λειτουργούν με μπαταρίες είναι καθαρότερα, επειδή παράγουν λιγότερες εκπομπές άνθρακα. Επιπλέον, οι κινητήρες που τροφοδοτούνται με μπαταρία κοστίζουν λιγότερο για να λειτουργούν. Το άλλο πλεονέκτημα των EV είναι η ασφάλεια και η αποδοτικότητα. Τα EVs χρησιμοποιούν προηγμένη τεχνολογία για να διατηρούν επαρκώς το όχημα και να διατηρούν τις σωστές προμήθειες σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Τα ηλεκτροκίνητα οχήματα παρέχουν οφέλη στον τομέα των μεταφορών και στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Συμβάλλουν στην ενίσχυση της οικονομίας,

είναι πιο φιλικές προς το περιβάλλον και μπορούν να μειώσουν την πίεση στη βιομηχανία πετρελαίου με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ιδίως των φωτοβολταϊκών, ηλιακών και αιολικών, γεγονός που αποτελεί σημαντικό μέρος της μετάβασης σε καθαρότερες πηγές ενέργειας. Τα ηλεκτροκίνητα οχήματα είναι η καλύτερη επιλογή για πράσινη και οικονομική οδήγηση.

2.2 Τι είναι το Υβριδικό Όχημα

Στην πιο απλή μορφή του ένα υβριδικό όχημα συνδυάζει τα καλύτερα χαρακτηριστικά λειτουργίας μιας Μηχανής Εσωτερικής Καύσης (MEK) και ενός Ηλεκτρικού Κινητήρα. Βασίζεται σε βασικές μορφές ενέργειας: Την Θερμοδυναμική η οποία προέρχεται από τον MEK και την Ηλεκτρική, που προέρχεται προφανώς από τον Ηλεκτρικό Κινητήρα. Προκειμένου να επιτευχθεί ο συνδυασμός αυτών των δύο πηγών ενέργειας είναι απαραίτητη η συνύπαρξη και άλλων ενισχυτικών διατάξεων, όπως είναι οι συσσωρευτές, η ηλεκτρική γεννήτρια και ο μετασχηματιστής. Ένα υβριδικό όχημα μπορεί να κινείται είτε με έναν από τους δύο κινητήρες είτε με το συνδυασμό τους. Συγκεκριμένα στο βέλτιστο σενάριο λειτουργίας ο ηλεκτρικός κινητήρας αναλαμβάνει την κίνηση σε κάθε ξεκίνημα του οχήματος, στην κυκλοφορία μέσα στο αστικό δίκτυο με χαμηλή ταχύτητα και εν συνεχεία σε ανοιχτό δρόμο και σε ταχεία κίνηση τον έλεγχο έχει ο βενζινοκινητήρας. Όταν, όμως, χρειάζεται η μέγιστη ιπποδύναμη όπως στην περίπτωση μιας μεγάλης επιτάχυνσης, τότε αυτή εξασφαλίζεται με τον συνδυασμό και των δύο κινητήρων δηλαδή του θερμικού και ηλεκτρικού. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες έχουν ένα σοβαρό μειονέκτημα αυτό της μικρής αυτονομίας στην κίνηση του οχήματος. Η πηγή ενέργειας που βασίζονται είναι οι συσσωρευτές που δεν μπορούν να προσδώσουν μεγάλη αυτονομία στο όχημα λόγω συνεχιζόμενων φορτίσεων. Στο υβριδικό όχημα οι συσσωρευτές φορτίζονται από μία ηλεκτρική γεννήτρια, της οποίας η λειτουργία στηρίζεται στον βενζινοκινητήρα. Ειδικότερα: η χημική ενέργεια που εκλύεται από την καύση μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια εντός του βενζινοκινητήρα. Η κινητική ενέργεια μετατρέπεται με τη σειρά της από τη γεννήτρια σε ηλεκτρική. Η ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στον ηλεκτροκινητήρα που τη μετατρέπει ξανά σε κινητική ενέργεια κινώντας τους τροχούς. Η ηλεκτρική ενέργεια που περισσεύει αποθηκεύεται στις μπαταρίες. Έτσι ένα υβριδικό όχημα συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της ηλεκτροκίνησης με τη μεγάλη αυτονομία, που παρέχουν τα ορυκτά καύσιμα.

2.3 Η Μετάδοση της Κίνησης στα Υβριδικά και Ηλεκτρικά Οχήματα

Τα συστήματα μετάδοσης ισχύος μπορούν να ταξινομηθούν, με βάση τη συνδεσμολογία τους, σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- i **Σύστημα Μετάδοσης Κίνησης με Σειριακό Τρόπο:** Σε ένα σειριακό σύστημα μετάδοσης ισχύος, την κίνηση δίνει αποκλειστικά ο ηλεκτροκινητήρας, ο οποίος δέχεται

ηλεκτρική ενέργεια είτε από συσσωρευτές είτε από μηχανή εσωτερικής καύσης μέσω γεννήτριας. Σε ένα σειριακό σύστημα μετάδοσης ισχύος ο ηλεκτροκινητήρας είναι συνήθως μικρότερος, καθώς έχει να αντιμετωπίσει μέτριες σε ισχύ απαιτήσεις οδήγησης

ii. **Σύστημα Μετάδοσης Κίνησης με Παράλληλο Τρόπο.** Σε ένα παράλληλο σύστημα μετάδοσης ισχύος, ο βενζινοκινητήρας και ο ηλεκτροκινητήρας παράγουν την ισχύ για την κίνηση του οχήματος, ενώ βρίσκονται μόνιμα και ανεξάρτητα συνδεδεμένοι με το κιβώτιο ταχυτήτων. Επειδή σε αυτόν το σχηματισμό ο κινητήρας είναι συνδεδεμένος απευθείας στους τροχούς, εξαλείφεται η μείωση της απόδοσης κατά τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική, σε αντίθεση με αυτό που συμβαίνει στα σειριακά συστήματα μετάδοσης ισχύος, καθιστώντας αυτό το σύστημα μετάδοσης ισχύος κατάλληλο για οδήγηση σε αυτοκινητόδρομους.

Τρεις βασικοί τύποι EV υπάρχουν επί του παρόντος στην αγορά.

- **Υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (HEVs):** Τα HEV διαθέτουν ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης σε συνδυασμό με κινητήρα εσωτερικής καύσης ορυκτών καυσίμων. Η μόνη πηγή ενέργειας είναι τα ορυκτά καύσιμα. Τα HEV διαθέτουν τεχνολογίες που βελτιώνουν την αποδοτικότητα, όπως φρενάρισμα αναγέννησης για τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών. Ως εκ τούτου, παράγουν λιγότερες εκπομπές και παρέχουν μεγαλύτερη απόδοση.
- **Plug-in ηλεκτρικό όχημα (PEVs):**
 - **Plug-in υβριδικά EV (PHEVs):** η κατασκευή τους είναι σχεδόν ίδια με αυτή των HEV, με την εξαίρεση ότι χρησιμοποιούν μπαταρίες υψηλότερης χωρητικότητας για επαναφόρτιση μέσω σύνδεσης με εξωτερική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ως εκ τούτου, μπορούν να λειτουργούν ως καθαρά EV. Αυτός ο τύπος οχήματος έχει υψηλότερη απόδοση και χαμηλότερες εκπομπές από τα HEV.
 - **Plug-in pure EVs:** θεωρούνται ως ειδική περίπτωση των PHEVs χωρίς εκπομπές, καθώς εξαρτώνται εξ ολοκλήρου από την ενέργεια που αποθηκεύεται στις μπαταρίες τους και δεν είναι εφοδιασμένες με συμβατική μηχανή εσωτερικής καύσης ορυκτών καυσίμων. Η αγορά για αυτούς εξακολουθεί να είναι περιορισμένη λόγω του υψηλού κόστους κεφαλαίου και των περιορισμένων σταθμών φόρτισης.
 - **Ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου:** χρησιμοποιούν τεχνολογία κυψελών καυσίμου για την τροφοδοσία του κινητήρα μετατρέποντας τη χημική ενέργεια υδρογόνου σε ηλεκτρική ενέργεια. Η αγορά είναι ακόμη περιορισμένη λόγω περιορισμένης υποδομής υδρογόνου, η οποία είναι πολύ δαπανηρή.

Τα PEV είναι τα πιο ελπιδοφόρα από αυτούς τους τύπους ηλεκτρικών οχημάτων. Οι τύποι PEV έχουν δύο τρόπους λειτουργίας: μείωση της φόρτισης της μπαταρίας (BCD) ή διατήρηση της φόρτισης της μπαταρίας

(BCS). Κατά τη λειτουργία BCD, η ενέργεια που αποθηκεύεται στη μπαταρία χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του κινητήρα. Όταν έχει χρησιμοποιηθεί όλη η ενέργεια που αποθηκεύεται στη μπαταρία, το όχημα εισέρχεται στη λειτουργία BCS και λειτουργεί ως συμβατικό όχημα που καταναλώνει ορυκτά καύσιμα.

2.3.1 Χαρακτηριστικά μπαταρίας EV

- **Διάρκεια ζωής:** Οι περισσότερες μπαταρίες EV είναι εγγυημένες για 8 χρόνια ή 160.000 χιλιόμετρα (100.000 μίλια). Τα καυτά κλίματα επιταχύνουν την απώλεια χωρητικότητας. Δεν υπάρχουν επαρκείς πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο απώλειας χωρητικότητας των μπαταριών σε σχέση με τον χρόνο υπό διαφορετικά κλίματα και μοντέλα χρήσης.
- **Ασφάλεια:** Ανησυχίες προκύπτουν εάν η μπαταρία έχει κακή χρήση και διατηρείται πέρα από την καθορισμένη ηλικία. Παρόμοιοι φόβοι συνέβησαν πριν από 150 χρόνια όταν οι λέβητες ατμού εξερράγησαν και οι δεξαμενές βενζίνης ξέσπασαν. Ένα προσεκτικά σχεδιασμένο σύστημα BMS διασφαλίζει ότι η μπαταρία λειτουργεί σε ένα ασφαλές εύρος λειτουργίας.
- **Επίδοση:** Σε αντίθεση με ένα κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICE) που λειτουργεί σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών, οι μπαταρίες είναι ευαίσθητες στη θερμότητα και το κρύο και απαιτούν έλεγχο του κλίματος. Η θερμότητα μειώνει τη διάρκεια ζωής και το κρύο μειώνει προσωρινά την απόδοση. Η μπαταρία θερμαίνει και δροσίζει την καμπίνα του οχήματος.
- **Κόστος:** Ένα σημαντικό μειονέκτημα είναι το κόστος της μπαταρίας αλλά και το κόστος συντήρησης της. Το σύστημα διαχείρισης μπαταρίας (BMS), η ψύξη μπαταριών, η θέρμανση και μια οκταετής εγγύηση προσθέτουν στο κόστος.
- **Ενέργεια:** Από την άποψη της θερμικής αξίας ανά βάρος, μια μπαταρία παράγει μόνο 1% αυτού που παράγουν τα ορυκτά καύσιμα. Ένα κιλό (1,4 λίτρα) βενζίνης αποδίδει περίπου 12kWh ενέργειας, ενώ μια μπαταρία 1 κιλού αποδίδει περίπου 150Wh. Ωστόσο, ο ηλεκτροκινητήρας είναι αποτελεσματικός κατά 90%, ενώ ένα μοντέρνο ICE έρχεται περίπου στο 25%. [11]
- **Ισχύς:** Το ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης έχει καλύτερη ροπή με την ίδια ιπποδύναμη από το ICE. Αυτό αντικατοπτρίζεται στην εξαιρετική επιτάχυνση.

2.3.2 Φόρτιση EV

Για την φόρτιση ενός ηλεκτρικού οχήματος χρειαζόμαστε ηλεκτρικούς φορτιστές. Ένας ηλεκτρικός φορτιστής αυτοκινήτου είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται για την επαναφόρτιση ηλεκτρικών μπαταριών οχημάτων. Περιέχει ένα βύσμα που συνδέει τις ηλεκτρικές μπαταρίες οχήματος με μια ηλεκτρική πηγή για να παρέχει στις μπαταρίες ηλεκτρική ενέργεια. Οι απαιτήσεις ισχύος για τη φόρτιση ενός μέσου μεγέθους EV είναι παρόμοιες με αυτές μιας ηλεκτρικής εστίας συνδεδεμένης σε κύκλωμα 40A,

240VAC που αναπτύσσεται μέχρι 9,6kW. Τα περισσότερα EV μεσαίου μεγέθους φέρουν φορτιστή 6.6kW σχεδιασμένο για φορτίο 4 έως 5 ωρών. (6.6kW προέρχεται από τον πολλαπλασιασμό των 220V με 30A.).

Τα ηλεκτρικά οχήματα που φορτίζονται κατά περιόδους όπου η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος είναι μέγιστη, απαιτούν επέκταση της μέγιστης κατανάλωσης που επιτρέπει το δίκτυο. Διαφορετικά η επικοινωνία με τα EV και την υποδομή θα μπορούσε να μετατοπίσει τη φόρτιση σε ώρες εκτός αιχμής. Κάθε επικοινωνία μεταξύ του δικτύου και ενός οχήματος μπορεί να εκτελεστεί μέσω του φορτιστή επειδή έχει σταθερή βάση.

Η σύνδεση για τη φόρτιση ενός EV ονομάζεται Ηλεκτρικός Εξοπλισμός Σέρβις Οχήματος (EVSE).

Υπάρχουν τρεις κατηγορίες φόρτισης. [8]

- **Επίπεδο 1:** τυπικό 1.5kW

Το σετ καλωδίων συνδέεται με μια κανονική οικιακή πρίζα 115VAC, 15A (230VAC, ~ 6A στην Ευρώπη). Αυτός ο μονοφασικός συνδυασμός τροφοδοσίας παράγει περίπου 1,5kW και ο χρόνος φόρτισης είναι 7 έως 30 ώρες ανάλογα με το μέγεθος της μπαταρίας. Το Επίπεδο 1 καλύπτει τις ανάγκες για φόρτιση διάρκειας μίας ημέρας για ηλεκτρονικά ποδήλατα, σκούτερ, ηλεκτρικά αναπηρικά καροτσάκια και PHEV που δεν ξεπερνούν τις 12kWh.

- **Επίπεδο 2:** τυπικό 7kW

Αυτός είναι ο πιο συνηθισμένος σταθμός φόρτισης για το σπίτι και το δημόσιο σταθμό φόρτισης για τα EV. Η σύνδεση γίνεται με πρίζα σε τοίχο (230VAC, 30A δύο πόλων), φορτίζει ένα μεσαίου μεγέθους EV σε 4 έως 5 ώρες. Παράγει περίπου 7kW για να τροφοδοτήσει τον ενσωματωμένο φορτιστή EV ισχύος 6.6kW. Το κόστος εγκατάστασης ενός επιπέδου 2 EVSE είναι περίπου 690€ σε υλικά και εργασία.

- **Επίπεδο 3:** τυπικό 50kW (σταθμοί Tesla V2 φορτίζουν στα 120kW)

Φόρτιση με ρεύμα συνεχούς τάσης (400-600VDC, έως 300A). Χρησιμοποιεί ως εξαιρετικά γρήγορη φόρτιση παρακάμπτοντας τον ενσωματωμένο φορτιστή και τροφοδοτώντας την ενέργεια απευθείας στη μπαταρία. Οι φορτιστές επιπέδου 3 παρέχουν 50 kW ισχύ μέχρι και 120kW για να γεμίσει μια μπαταρία ιόντων λιθίου στο 80% σε περίπου 30 λεπτά. Η ζήτηση ισχύος στα 120kW ισούται με πέντε νοικοκυριά.

Επιπλέον υπάρχει και η έξτρα γρήγορη φόρτιση: 150kW έως 400kW (σταθμοί Tesla V3 φορτίζουν στα 250kW).

Οι σταθμοί φόρτισης 400kW θα φορτίζονται με τάση μέχρι 800VDC. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα υψηλό κόστος συνιστωσών και υψηλή ζήτηση ισχύος που ισούται με 16 νοικοκυριά. Ο συντελεστής πίεσης της εξαιρετικά γρήγορης φόρτισης της μπαταρίας παίζει επίσης ρόλο.

Οι φορτιστές των οχημάτων είναι εξοπλισμένοι με διαφορετικές δυνατότητες επικοινωνίας και ελέγχου. Είναι δυνατή μια ποικιλία μεθόδων επικοινωνίας μεταξύ των φορτιστών και του δικτύου. Κάθε τεχνολογία

αξιολογείται με βάση πόσο καλά παρέχει επικοινωνία χαμηλής ισχύος, χαμηλής απόδοσης και υψηλής ασφάλειας που ισχύει για ηλεκτρικά οχήματα.

- **Ασύρματη Επικοινωνία** : ένας πομποδέκτης εγκαθίσταται σε κάθε θέση φορτιστή με χαμηλό ρυθμό αποστολής δεδομένων (9,6-56 kb/s). Οι πολλαπλές προσπελάσεις διαίρεσης χρόνου χρησιμοποιούνται για την κοινή χρήση του μέσου επικοινωνίας μεταξύ των πελατών σε κάθε περιοχή.
- **Επικοινωνία Γραμμής Ρεύματος (PLC)**: επαρκής για εφαρμογές ηλεκτρονικού ελέγχου και οικιακής διαχείρισης ενέργειας. Ωστόσο, ζητήματα που σχετίζονται με την αξιοπιστία και την ευπάθεια απαιτούν πρόσθετη έρευνα.
- **Επικοινωνία με Διαδικτυακό Πρωτόκολλο (IP)**: το φθηνότερο και απλούστερο. Ένα κύκλωμα τοπικού δικτύου είναι ενσωματωμένο στο φορτιστή για σύνδεση στο διαδίκτυο. Κάθε χρήστης μπορεί να έχει έναν ατομικό λογαριασμό για να παρακολουθεί το όχημά του από τον υπολογιστή του ή από το κινητό του.

Η ενέργεια που καταναλώνεται από τα EV προσθέτει σημαντική φόρτωση στο δίκτυο διανομής λόγω της μεγάλης διάρκειας φόρτισης που μπορεί να χρειαστεί. Η φόρτιση αυτή μπορεί να γίνεται σε τοποθεσίες όπως το παρκινγκ στο σπίτι, στην δουλειά ή σε δημόσια σημεία φόρτισης. Όμως η φόρτιση μπορεί να προκαλέσει δυνητικό κίνδυνο για το σύστημα. Μπορεί να προκύψει κίνδυνος εάν τα EV έχουν συγκεντρωθεί σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές καθώς η ενέργεια που καταναλώνεται από τα EV προσθέτει σημαντική φόρτωση στο δίκτυο διανομής. Επομένως, εάν δεν είναι δυνατή η σωστή διαχείριση, η ηλεκτρική φόρτιση μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις, όπως αυξημένες απώλειες ισχύος, ανισορροπία φάσης, προβλήματα ποιότητας ηλεκτρικής ενέργειας, υπερφόρτωση τροφοδοτικών, υποβάθμιση μετασχηματιστή και εκρήξεις ασφαλειών.

2.4 Τι είναι το V2G – G2V?

Τα ηλεκτρικά οχήματα που είτε τροφοδοτούνται με μπαταρίες, είτε με κυψέλες καυσίμου, είτε με υβριδικά βενζινοκίνητα, διαθέτουν πηγές ενέργειας και ηλεκτρονικά ισχύος ικανά να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Όταν προστίθενται συνδέσεις για να επιτρέπεται η ροή αυτής της ηλεκτρικής ενέργειας από τα αυτοκίνητα σε δίκτυο ηλεκτρικού ρεύματος, ονομάζεται «όχημα σε δίκτυο» ή V2G και δίκτυο σε όχημα αντίστοιχα G2V. Η ιδέα της ενσωμάτωσης του οχήματος σε δίκτυο εισήχθη για πρώτη φορά από τον Willet Compton του πανεπιστημίου Delaware. Ο αρχικός στόχος του V2G – G2V ήταν να παράσχει κορυφαία ισχύ. Ο τρόπος με τον οποίο θα γινόταν είναι οι ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων να φορτώνουν τα αυτοκίνητά τους σε χαμηλό φορτίο με χαμηλές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας και να εκφορτώνουν τα οχήματα σε μέγιστο φορτίο με υψηλότερες τιμές, έτσι ώστε οι ιδιοκτήτες των οχημάτων να αποκομίζουν σημαντικό κέρδος από το έργο. Η τεχνολογία V2G – G2V αναφέρεται στην ικανότητα της ελεγχόμενης και αμφίδρομης ροής ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ ενός οχήματος και του ηλεκτρικού δικτύου. Η ηλεκτρική ενέργεια ρέει από

το δίκτυο στο όχημα για να φορτίσει την μπαταρία. Η ηλεκτρική ενέργεια ρέει από το όχημα στο δίκτυο όταν το δίκτυο απαιτεί την ενέργεια.

Στατιστικές δείχνουν ότι τα επιβατικά οχήματα σταθμεύουν σε αδράνεια για περίπου 20 έως 22 ώρες την ημέρα. Ο κανονικός χρόνος οδήγησης ενός επιβατικού οχήματος είναι περίπου 2 έως 4 ώρες την ημέρα. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η μπαταρία στα επιβατικά οχήματα μπορεί να λειτουργήσει ως μια κατανεμημένη κινητή μονάδα αποθήκευσης του συστήματος ισχύος. Επίσης η ισχύς της μπαταρίας μπορεί να τροφοδοτηθεί πίσω στο δίκτυο όταν υπάρχει έλλειμμα ισχύος σε αυτό. Ένα σωστά σχεδιασμένο ηλεκτροκίνητο όχημα μπορεί να παράγει περίπου 10 kW, το οποίο αντιστοιχεί στη μέση κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας 10 κατοικιών. Με 15 λεπτά φόρτισης, το EV μπορεί να ταξιδέψει περίπου 20 χιλιόμετρα. Το Σύστημα Διαχείρισης Ενεργειακών Δεδομένων (EDMS) συλλέγει και αναλύει δεδομένα σχετικά με τη χρήση ενέργειας για να υποστηρίξει την επίτευξη αποτελεσματικής κατανάλωσης ενέργειας για τα σπίτια, γεγονός που μειώνει σημαντικά τους λογαριασμούς ενέργειας των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας. Επιπλέον, σε καταστάσεις όπως φυσικές καταστροφές, η ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται στα EV μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία των σπιτιών, προστατεύοντας έτσι τα σπίτια από σοβαρές διακοπές.

Η τεχνολογία V2G περιλαμβάνει το όχημα στο σπίτι (V2H) (δηλαδή, όταν το ηλεκτρικό όχημα βρίσκεται σε κατοικία) ή το όχημα σε κτήριο (V2B) (δηλαδή όταν το ηλεκτρικό όχημα βρίσκεται σε εμπορικό κτίριο). Σε αυτές τις περιπτώσεις, η ισχύς της μπαταρίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία του ηλεκτρικού φορτίου του τοπικού κτηρίου χωρίς να μεταφερθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η τεχνολογία V2G περιλαμβάνει και άλλα σενάρια όπως όχημα σε όχημα (V2V), που όλα όμως μπορούν να ονομαστούν ομοιόμορφα όχημα προς οτιδήποτε (V2A).

2.5 *Κίνητρα υλοποίησης V2G – G2V*

Στη ροή ισχύος του οχήματος σε δίκτυο V2G, οι κύριοι ενδιαφερόμενοι είναι οι συμμετέχοντες (ιδιοκτήτες του οχήματος), οι επιχειρήσεις που είναι υπεύθυνες για την παροχή ισχύος, οι κατασκευαστές οχημάτων και η κοινωνία στο σύνολό της.

- **Οικονομικά κίνητρα**

Όταν τα οχήματα των συμμετεχόντων δεν χρησιμοποιούνται, μπορούν να χρησιμεύσουν ως αποθήκες συνδεδεμένες στο ηλεκτρικό δίκτυο για την παροχή ισχύος. Σε αντάλλαγμα για τη χρήση των οχημάτων, οι επιχειρήσεις που παρέχουν ισχύ θα πληρώνουν τους συμμετέχοντες για την υπηρεσία τους με βάση την ποσότητα ισχύος που παρέχεται από το όχημα. Οι εταιρείες που προσομοιώνουν το V2G προβλέπουν ότι οι συμμετέχοντες μπορούν να κερδίσουν έως και 290€ το μήνα (λαμβάνεται υπόψη το κόστος επαναφόρτισης).

- **Μείωση των επενδύσεων για επιχειρήσεις**

Σταθερό κόστος: Για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις υπερβολικής ισχύος κατά τις ώρες αιχμής, οι επιχειρήσεις χρησιμοποιούν παλαιού τύπου εγκαταστάσεις. Η εφαρμογή της ροής ισχύος V2G θα μειώσει την ανάγκη για τέτοιες εγκαταστάσεις, εξοικονομώντας έτσι ένα μεγάλο χρηματικό ποσό.

Ένα συμβατικό εργοστάσιο άνθρακα που μπορεί να παράγει ενέργεια ισχύος 600MW απαιτεί 2 δισεκατομμύρια δολάρια. Ακόμη και αν το V2G λογοδοτούσε για την αποθήκευση ενός σταθμού ηλεκτροπαραγωγής, θα εξοικονομούσε δισεκατομμύρια δολάρια για την επιχείρηση.

- **Επαναλαμβανόμενα κόστη**

Εκτός από το εξαιρετικά υψηλό αρχικό κόστος του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής, απαιτείται τακτική και πολύπλοκη συντήρηση. Η μείωση της χρήσης αυτών των εγκαταστάσεων θα συνεπαγόταν επίσης μειωμένο επαναλαμβανόμενο κόστος.

- **Κέρδη για τους κατασκευαστές οχημάτων**

Τα συμμετέχοντα οχήματα και το δίκτυο απαιτούν αμφίδρομη ροή ισχύος καθώς και αυξημένη αντοχή της μπαταρίας (η επαναλαμβανόμενη φόρτιση και εκφόρτιση μειώνει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας). Η αύξηση της ζήτησης για την πώληση αυτού του οχήματος θα αυξηθεί, άρα οι υψηλότερες πωλήσεις συνεπάγονται υψηλότερα έσοδα για τους κατασκευαστές αυτοκινήτων.

- **Οφέλη για την κοινωνία**

Αυξάνει τη συνολική παραγωγικότητα: Μέσω της ενσωμάτωσης της ροής ισχύος του V2G – G2V, η συνολική οικονομική παραγωγικότητα της κοινωνίας αυξάνεται. Τα αυτοκίνητα που διαφορετικά θα παρέμεναν αδρανή όταν σταθμεύουν, λειτουργούν τώρα ως μονάδες αποθήκευσης ενέργειας που παράγουν έσοδα και επενδύσεις. Πεδίο εφαρμογής για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας: Η τεχνολογία V2G – G2V μπορεί να χρησιμοποιηθεί περαιτέρω με ηλιακά οχήματα, με αποτέλεσμα η υπερβολική ισχύς κατά τη διάρκεια της αιχμής να μην εξαρτάται από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (άνθρακας και ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται στις μονάδες παραγωγής ενέργειας). Αυτό μειώνει την επιβάρυνση του περιβάλλοντος και συμβάλλει στην οικολογική ισορροπία.

2.6 Πλεονεκτήματα & Εφαρμογές V2G – G2V

Τα EV μπορούν να λειτουργήσουν ως φορτίο κατά την διάρκεια της φόρτισης, ως μια κατανεμημένη αποθήκη ενέργειας, συμπεριλαμβάνοντας και υπηρεσίες όπως η αντιδραστική ρύθμιση, η εκκίνηση του κινητήρα ή μια αυτόνομη πηγή ενέργειας. Όμως πρέπει να ληφθεί μέριμνα κατά την αποφόρτιση των μπαταριών των EV, καθώς η υπερβολική εκφόρτιση ενδέχεται να επηρεάσει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και το προσδόκιμο της. Ο στόλος PHEV είναι αρκετά μεγάλος και εάν ένα συγκεκριμένο τμήμα της αποθηκευμένης ενέργειας του οχήματος μπορεί να τραβηχτεί κατά τη στάθμευση, θα παρέχει στο δίκτυο ηλεκτροδότησης μεγάλες ποσότητες ενέργειας σε μια δεδομένη στιγμή της ημέρας.

2.6.1 Εξομάλυνση αιχμών & Ηλεκτρικά οφέλη

Η αποθηκευμένη ενέργεια της μπαταρίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας που βοηθά στην εξισορρόπηση φορτίων με τη φόρτιση τη νύχτα όταν η ζήτηση είναι χαμηλή και την παροχή ενέργειας στο δίκτυο όταν η ζήτηση είναι υψηλή (εξομάλυνση αιχμών). Η εξομάλυνση αιχμών παρέχει επίσης πρόσθετα πλεονεκτήματα, όπως μείωση ποικίλων ανεπιθύμητων παραγόντων όπως απώλειες γραμμών, μετάδοση καθυστέρησης, συμφόρηση μετάδοσης κλπ. Βοηθά επίσης στη μείωση της έντονης λειτουργίας ενός συστήματος ισχύος, προσθέτοντας έτσι στη μακροζωία του όσον αφορά τη διάρκεια ζωής. Αυτό οδηγεί στην αποφυγή μεγάλων επενδύσεων στην εγκατάσταση κορυφαίων μονάδων ηλεκτροπαραγωγής. Η χρήση των υβριδικών οχημάτων ως καταναμημένους χώρους αποθήκευσης ενεργεί ως μια ισχυρή εναλλακτική λύση σε ακριβές και κεφαλαιουχικές γεννήτριες. Σε γενικές γραμμές, οι οργανισμοί που αναζητούν ενέργεια αγοράζουν ηλεκτρική ενέργεια μέσω μακροπρόθεσμων συμβάσεων με εταιρείες παραγωγής ή από βραχυπρόθεσμες αγορές ηλεκτρικής ενέργειας. Οι εφαρμογές εξομάλυνσης αιχμών του στόλου PHEV, μειώνουν το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις περιόδους αιχμής. Τα χρήματα που εξοικονομούνται μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προωθήσουν περαιτέρω τις υπηρεσίες κοινής ωφελείας των PHEV επενδύοντας σε ερευνητικές εγκαταστάσεις και επεκτείνοντας τον ορίζοντα τους. Έτσι, τα PHEV προσφέρουν στο σύστημα ισχύος ένα εύκαμπτο, ελεγχόμενο φορτίο. [7]

2.6.2 Ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που συνδέονται με την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η αποθήκευσή τους. Η αποθήκευση ενέργειας είναι από καιρό αντικείμενο έρευνας στην ηλεκτρική κοινότητα, καθώς θα εκμεταλλευόταν τις χαμηλού κόστους περιόδους παραγωγής. Η πρόσθετη αποθήκευση θα αποτελέσει πόρο για τις ανάγκες ρύθμισης της τάσης που συζητήθηκαν προηγουμένως. Οι απομακρυσμένες τοποθεσίες λειτουργούν επίσης ως εμπόδια στην προμήθεια ενέργειας.

Η ηλιακή ενέργεια κορυφώνεται γύρω στην 1 μ.μ., ενώ η αιολική ενέργεια κορυφώνεται κατά τη διάρκεια της νύχτας γύρω στις 4.30 π.μ. Το πρότυπο μοντέλο για την αιχμή της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας προβλέπει την υψηλότερη ζήτηση μεταξύ 4 και 8 μ.μ. Η κορυφή μετατοπίζεται έτσι από τις βέλτιστες ώρες των δυνατοτήτων παραγωγής ηλιακής ενέργειας / αιολικής ενέργειας που οδηγεί σε σημαντικά προβλήματα στην ενσωμάτωσή τους. Η περικοπή ανέμου παραμένει επίσης ένα μεγάλο ζήτημα στην αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας. Μερικές φορές η παραγωγή ενέργειας υπερφορτώνει το δίκτυο και μερικοί τύποι στροβίλων διακόπτονται ή αποτρέπονται προσωρινά. Το V2G μπορεί να έχει τον σημαντικότερο ρόλο για τις αναδυόμενες αγορές ενέργειας υποστηρίζοντας τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το V2G μπορεί να βοηθήσει στην εξομάλυνση των διακυμάνσεων της παραγωγής από τα αιολικά πάρκα. Συνοπτικά, με το V2G καλύπτονται τα περισσότερα προβλήματα που υπάρχουν στην σχέση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των απαιτήσεων του δικτύου. Μια μελέτη έδειξε ότι μια επένδυση σε 60MW αιολικής ενέργειας και 60 MW ηλιακής ενέργειας μπορεί να ικανοποιήσει τις ενεργειακές ανάγκες των 580.000 οχημάτων. Έτσι, τα υβριδικά οχήματα και οι ανανεώσιμες πηγές θα ωφεληθούν αμοιβαία παρέχοντας δωρεάν υπηρεσίες.

2.6.3 Στρεφόμενη εφεδρεία ισχύος

Η Στρεφόμενη εφεδρεία ισχύος είναι στην ουσία πρόσθετη παραγωγική ικανότητα που διατίθεται με την ενεργοποίηση πρόσθετων γεννητριών που έχουν ήδη συνδεθεί στο δίκτυο. Αυτή η πρόσθετη παροχή

ρεύματος διατίθεται σε σύντομο χρονικό διάστημα από τη στιγμή της αίτησης, ωστόσο το κόστος κεφαλαίου είναι υψηλότερο. Το V2G – G2V επιλύει αυτό το ζήτημα ικανοποιώντας ξαφνικές απαιτήσεις για ισχύ. Η σύνδεση των οχημάτων με το δίκτυο μπορεί να προχωρήσει σε μεγάλο βαθμό στην εξάλειψη της ανάγκης διατήρησης των αποθεμάτων. Σε οποιοδήποτε εργοστάσιο ή σταθμό εργασίας, όπου υπάρχουν πιθανότητες ξαφνικών απαιτήσεων μέγιστης ισχύος, τα οχήματα που θα μπορούσαν να είναι από τους εργαζόμενους θα παραμείνουν συνδεδεμένα με το δίκτυο και μπορούν να καλούνται να παράσχουν την πρόσθετη ενέργεια. Αυτό δημιουργεί μια κατάσταση που όλοι κερδίζουν, τόσο ο χώρο εργασίας όσο και οι υπάλληλοι. Οι εργαζόμενοι μπορούν να επαναφορτίζουν τα οχήματά τους κατά τη διάρκεια αδράνειας του πλέγματος και μπορούν επίσης να καταβάλουν ένα συγκεκριμένο ποσό για τη χρήση του οχήματος τους. Έτσι, το V2G -G2V μπορεί πράγματι να προσφέρει μια λύση για την μείωση την ανάγκης.

2.6.4 Εφεδρική πηγή ενέργειας κατά την διακοπή ρεύματος

Η ενέργεια από το όχημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για έκτακτη ανάγκη του ιδιοκτήτη. Όταν υπάρχει διακοπή ρεύματος, το όχημα μπορεί να συνδεθεί με την αδιάλειπτη μονάδα τροφοδοσίας του σπιτιού και οι περισσότερες συσκευές με πολύ χαμηλές τιμές ισχύος μπορούν να λειτουργούν. Το Toyota Prius μπορεί να παράγει τουλάχιστον 3 κιλοβάτ συνεχούς ρεύματος, το οποίο είναι επαρκές για τη διατήρηση της βασικής λειτουργίας του σπιτιού. Έτσι, οι βασικές λειτουργίες ενός σπιτιού μπορούν εύκολα να αντιμετωπιστούν με ένα PHEV.

2.7 Προβλήματα & Κίνδυνοι

- **Το κόστος ηλεκτρονικών κεφαλαιουχικών και ηλεκτρικών εξόδων**

Το V2G θα απαιτούσε τη δημιουργία ειδικών γραμμών που να συνδέουν τα οχήματα με το ηλεκτρικό δίκτυο. Το κόστος εγκατάστασης αυτών των γραμμών είναι πολύ υψηλό και σημαντικές αποδόσεις μπορούν να αναμένονται μόνο εάν ο αριθμός των συμμετεχόντων οχημάτων είναι υψηλός, δηλαδή καθώς ο αριθμός των συμμετεχόντων οχημάτων αυξάνει το μέσο κόστος των ειδικών γραμμών συνεχίζει να μειώνεται και η παραγωγική ικανότητα και η αποθήκευση συνεχίζει να αυξάνεται. Έτσι, το V2G μπορεί να υλοποιηθεί με κέρδος μόνο σε μεγάλη κλίμακα.

- **Διάρκεια ζωής μπαταρίας**

Οι μπαταρίες EV έχουν διάρκεια ζωής 1000 κύκλων. Ως εκ τούτου, οι κύκλοι φόρτισης και εκφόρτισης θα μειώσουν τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Επομένως κάθε ιδιοκτήτης EV πρέπει να πουλήσει την αποθηκευμένη ενέργεια πίσω στο δίκτυο όταν η ζήτηση είναι αρκετά υψηλή για να πάρει το κόστος πίσω.

- **Μοντελοποίηση της πολυπλοκότητας**

Η έννοια V2G εξακολουθεί να είναι μια συνεχής έρευνα, καθώς τα περισσότερα σχέδια που έχουν προταθεί από τις έρευνες είναι πολύ περίπλοκα για την εφαρμογή τους. Απαιτούνται ακόμη περισσότερες μελέτες για να μειωθεί η πολυπλοκότητα και το κόστος της συμβατότητας V2G σε EV.

- **Αγορά**

Η κύρια αγορά συνήθως αγοράζει ηλεκτρική ενέργεια από τους ιδιοκτήτες EV. Είναι απαραίτητη η βεβαίωση ότι οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας πρόκειται να πάρουν αυτές τις ποσότητες ενέργειας. Όλη η ισχύς από τα EV μπορεί να συγκεντρωθεί πριν μεταφερθεί.

- **Θερμικά θέματα**

Η γρήγορη φόρτιση και η εκφόρτιση οδηγούν στη θέρμανση της μπαταρίας. Η παρατεταμένη έκθεση σε θερμαινόμενα περιβάλλοντα μπορεί να προκαλέσει ζημιά στα εξαρτήματα του οχήματος. Αυτό επηρεάζει τον ιδιοκτήτη του οχήματος καθώς το όχημά του πρέπει να συντηρηθεί. Αυτό σημαίνει επίσης ότι μειώνεται η απόδοση της λειτουργίας (η θέρμανση ενδέχεται να προκαλέσει ζημιά στη μπαταρία και μπορεί να οδηγήσει σε διαστρεβλωμένους / μη αποτελεσματικούς κύκλους φόρτισης). Μια αύξηση μόλις 10 βαθμών Κελσίου μειώνει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας από 90% σε 60%. Αυτό προκαλεί τεράστιο αντίκτυπο στους ιδιοκτήτες του οχήματος.

2.8 Έξυπνο Δίκτυο (Smart Grid)

Ένα έξυπνο δίκτυο είναι ένα εκσυγχρονισμένο πλέγμα ηλεκτρικής ενέργειας που περιλαμβάνει τεχνολογία επικοινωνίας μεταξύ του βοηθητικού προγράμματος και των καταναλωτών, χρησιμοποιώντας τηλεχειριστήριο και αυτοματισμό με βάση τον υπολογιστή για τη βελτίωση της αξιοπιστίας, της αποδοτικότητας και της βιωσιμότητας του τροφοδοτικού. Η αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ της εταιρείας και των πελατών της μέσω αισθητήρων και έξυπνων μετρητών σε όλο το έξυπνο δίκτυο χρησιμοποιείται για την απόκτηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Τα δεδομένα που συλλέγονται από αυτούς τους αισθητήρες και τους έξυπνους μετρητές χρησιμοποιούνται έπειτα από έξυπνο και αυτόνομο έλεγχο παρακολούθησης για την επίβλεψη και βελτιστοποίηση των συνολικών λειτουργιών των διασυνδεδεμένων στοιχείων.

Ένα πρόσθετο χαρακτηριστικό που χωρίζει το έξυπνο δίκτυο από το συμβατικό δίκτυο είναι ότι οι καταναλωτές μπορούν να συμμετέχουν ενεργά στη λειτουργία του δικτύου. Το έξυπνο δίκτυο θα περιλαμβάνει προηγμένη υποδομή μετρήσεων που θα επιτρέπει στους καταναλωτές να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, τα τιμολόγια και τις πληροφορίες κινήτρων. Μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτές τις πληροφορίες για το κέρδος τους προσαρμόζοντας τα πρότυπα και τις προτιμήσεις χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας. Οι προσαρμογές αυτές θα συμβάλουν πιθανώς στην εξισορρόπηση της συνολικής προσφοράς και ζήτησης ενέργειας. Η έννοια του έξυπνου δικτύου περιλαμβάνει επίσης μια ευρέως διασκορπισμένη κατανομή μονάδων παραγωγής από διάφορες μορφές ανανεώσιμης παραγωγής και συμβατικές πηγές ενέργειας. Αυτή η ποικιλία πηγών

παραγωγής θα προσφέρει καλύτερη συνολική αξιοπιστία και θα μειώσει τους κινδύνους από επιθέσεις και φυσικές καταστροφές.

Η δυνατότητα αποδοτικότερης χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι ένα άλλο ελκυστικό χαρακτηριστικό του έξυπνου δικτύου. Η αιολική και φωτοβολταϊκή ηλιακή ενέργεια έχει απρόβλεπτη και διακεκομμένη παροχή ρεύματος στο δίκτυο. Λόγω των διαφορετικών καιρικών συνθηκών, η ισχύς που παράγεται από αυτές τις πηγές μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερη από τη ζήτηση ενέργειας σε ορισμένες περιπτώσεις και πολύ χαμηλότερη σε άλλες περιπτώσεις. Είναι μεταβλητά με το χρόνο και δεν μπορούν να αποσταλούν με εντολή. Ωστόσο, αυτές οι πηγές είναι πρακτικά βιώσιμες εάν είναι σε θέση να αποθηκεύσουν και αργότερα να εκφορτώσουν υπερβολική ενέργεια. Η υπόσχεση εξισορρόπησης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές με καταναλωτικό φορτίο είναι ρεαλιστική με συστήματα αποθήκευσης ενέργειας και ελεγχόμενα φορτία αποστολής. Ένα έξυπνο δίκτυο που επικοινωνεί τα δεδομένα προσφοράς και ζήτησης θα καταστήσει πρακτικές λύσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με συστήματα αποθήκευσης ενέργειας.

Το έξυπνο δίκτυο μπορεί να βελτιώσει την αξιοπιστία του δικτύου και την ποιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά η εφαρμογή του σε υπάρχουσες υποδομές θα αποτελέσει πρόκληση. Εν τω μεταξύ, υπάρχουν πολλά σχέδια έξυπνων δικτύων σε εξέλιξη σε όλο τον κόσμο. Σύμφωνα με την Έκθεση της Ομοσπονδίας για το Smart Grid, τα κορυφαία έργα πραγματοποιούνται στην Αυστραλία, στο Οντάριο, στον Καναδά, στο Λονδίνο, στη Μεγάλη Βρετανία, στην Ιρλανδία, στη Νότιο Κορέα, στο Χιούστον, στο Τέξας και στις Ηνωμένες Πολιτείες. [5]

2.8.1 Έξυπνη φόρτιση / εκφόρτιση

Η ιδέα για το V2G υπήρξε από τις αρχές της δεκαετίας του 1990, ωστόσο ούτε το όχημα ούτε το ενεργειακό σύστημα ήταν σε θέση να το χρησιμοποιήσουν. Ως αποτέλεσμα, οι προγραμματιστές της EVSE επικεντρώθηκαν στις υπηρεσίες φόρτισης V1G οι οποίες θα μπορούσαν να εφαρμοστούν άμεσα. Ο μηχανισμός για τη V1G (συχνά αναφέρεται ως «έξυπνη» ή «διαχειριζόμενη» φόρτιση) είναι παρόμοιος με εκείνον της τυπικής φόρτισης, δηλαδή η ροή ηλεκτρικής ενέργειας προς μία κατεύθυνση, μέσω του φορτιστή προς την μπαταρία EV. Εντούτοις, οι φορτιστές V1G μπορούν να ελεγχθούν έτσι ώστε η μεταφορά ισχύος στο όχημα να μπορεί να γίνει τόσο από την άποψη της χρονικής διάρκειας της φόρτισης (προγραμματισμός), αλλά και από τον έλεγχο της ταχύτητας μεταφοράς ισχύος στην οποία γίνεται η φόρτιση. Το V1G επιτρέπει τη μετατόπιση της ζήτησης, η οποία στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή ενεργειακών υπηρεσιών, όπως:

- Βελτιστοποίηση τελών χρήσης ώρας (TOU)
- Εξομάλυνση αιχμών
- Διαχείριση περιορισμού δικτύου
- Απλή βελτιστοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Το V1G παραμένει μονό-κατευθυνόμενο (μόνο για φόρτιση) και δεν υποστηρίζει την εξαγωγή ενέργειας από το EV στο δίκτυο. Όπως αποδείχθηκε παραπάνω, το V1G μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή

μιας σειράς υπηρεσιών. Ο ορισμός της φόρτισης V1G είναι επί του παρόντος ασυμβίβαστος στην αγορά, με αποτέλεσμα τα προϊόντα να χαρακτηρίζονται ως «έξυπνα», προσφέροντας οτιδήποτε από τον απλό προγραμματισμό της φόρτισης με βάση τις εισόδους των χρηστών, σε πλήρως δυναμικά συστήματα που παρακολουθούν και ανταποκρίνονται στα σήματα της αγοράς. Το V1G υπολογίζεται ως μια μορφή του προγράμματος περιορισμού εξαγωγών (ELS) βάσει του κώδικα διανομής και επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιτρέψει την εγκατάσταση μεγάλου αριθμού EVSE σε έναν ιστό, διατηρώντας παράλληλα ένα καθορισμένο όριο παραγωγικής ικανότητας.

Εφαρμογές για αυτό είναι κατά κύριο λόγο οι δημόσιοι χώροι στάθμευσης αυτοκινήτων, όπου το τοπικό δίκτυο διανομής μπορεί να μην επαρκεί για ταυτόχρονη φόρτιση πολλών οχημάτων χωρίς να συνεπάγεται σημαντικό κόστος αναβάθμισης. Στις οικιακές ρυθμίσεις, το V1G μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση της χρέωσης γύρω από ένα χρονοδιάγραμμα χρόνου χρήσης ή για την αύξηση της χρήσης της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

Καθώς τα EV γίνονται πιο διαδεδομένα, μια υψηλή συγκέντρωση οχημάτων που φορτίζονται σε μικρό χρονικό διάστημα θα οδηγήσει αναπόφευκτα σε συνθήκες υπερφόρτωσης στους τοπικούς κόμβους του δικτύου. Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε διακοπές ή / και ανισορροπίες που θα υποβαθμίσουν την ποιότητα της υπηρεσίας, θα αυξήσουν τις απώλειες γραμμών ή θα βλάψουν τον εξοπλισμό. Τα έξυπνα δίκτυα είναι θεμελιώδους σημασίας για τις στρατηγικές διαχείρισης έξυπνης χρέωσης που μπορούν να μειώσουν το φορτίο αιχμής στο δίκτυο. Αυτό θα επιτρέψει επίσης το πλεονέκτημα του συντονισμού της φόρτισης του οχήματος για την αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας του δικτύου σε μια δεδομένη στιγμή και την έγχυση του στο δίκτυο όταν χρειάζεται.

Οι δυνητικά ανεπιθύμητες συνέπειες της ανεξέλεγκτης φόρτισης EV, όπως η υπερφόρτωση της εγκατάστασης ισχύος, θα οδηγούσαν σε μη ρυθμιζόμενη, λιγότερο αποτελεσματική ηλεκτρική παροχή. Για να μετριαστεί αυτή η κατάσταση, έχουν αναπτυχθεί ορισμένα προγράμματα έξυπνης χρέωσης για την ελαχιστοποίηση του κόστους χρέωσης. Έχουν αναπτυχθεί ορισμένοι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης για να δημιουργηθεί μια καλύτερη λύση για τη φόρτιση και την εκφόρτιση της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο. Ορισμένες έξυπνες ιδέες για αποδοτικότερη φόρτιση περιλαμβάνουν τη χρήση προγραμματισμού ενεργειακών πόρων για ένα έξυπνο δίκτυο, λαμβάνοντας υπόψη όλους τους διασκορπισμένους ενεργειακούς πόρους (π.χ. αιολική, ηλιακή, συμβατική κ.λπ.) και τους συμμετέχοντες στο V2G. Μια προσέγγιση βελτιστοποίησης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για έξυπνο βέλτιστο προγραμματισμό.

Για να διευκολυνθεί αυτή η έξυπνη ιδέα φόρτισης, θα χρησιμοποιηθεί μια τεχνολογία ετικετών αναγνώρισης ραδιοσυχνότητας (RFID) για την αναγνώριση αυτών που συνδέονται στο δίκτυο. Ορισμένες επιλογές θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψη όταν οι ιδιοκτήτες EV μπορούν να ελέγχουν και να παρακολουθούν τη χρέωση τους μέσω μιας εφαρμογής για κινητά. Οι παράμετροι θα μπορούσαν να προσαρμοστούν όπως η επιθυμητή κατάσταση φόρτισης, οι χρόνοι άφιξης και αναχώρησης ή οι επιλογές για τις υπηρεσίες V2G για μεγιστοποίηση του κέρδους. Άλλα ευφυή μοντέλα φόρτισης χρησιμοποιούν ιστορικές στατιστικές κατανάλωσης με προσεγγίσεις εξόρυξης δεδομένων. Αυτή η μέθοδος θα μπορούσε να περιλαμβάνει τη χρήση της λειτουργίας GPS σε μια κινητή συσκευή ιδιοκτήτη EV για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών οδήγησης [5].

Έχουν καταβληθεί προσπάθειες για την ανάπτυξη στρατηγικών έξυπνης φόρτισης για την αποδοτικότητα της διαδικασίας χρέωσης. Μια αποτελεσματική στρατηγική αποστολής πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις απώλειες στη διαδικασία χρέωσης για να εκτιμήσει με ακρίβεια την ποσότητα ενέργειας που τροφοδοτείται στην μπαταρία από το δίκτυο. Η λογιστικοποίηση αυτών των μη υπαρχουσών συνθηκών θα επιτρέψει την καλύτερη συνολική απόδοση του συστήματος. Επί του παρόντος, η απόδοση φόρτισης των μπαταριών για ηλεκτρική μεταφορά εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ταχύτητα φόρτισης λόγω της εσωτερικής αντίστασης της μπαταρίας. Σε ένα τυπικό κύτταρο ιόντων λιθίου, ο ρυθμός φόρτισης κανονικοποιείται σε σχέση με την χωρητικότητα της μπαταρίας. Η απόδοση θα μειωθεί σημαντικά με το ρυθμό φόρτισης λόγω της εσωτερικής κατανάλωσης ισχύος αντίστασης μπαταρίας με το ρεύμα φόρτισης. Αυτά τα χαρακτηριστικά χρέωσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την ανάπτυξη στρατηγικών έξυπνης φόρτισης.

2.8.2 Καταστάσεις Φόρτισης

Οι ιδιοκτήτες EV θα μπορούν να φορτίσουν τα οχήματά τους σε τέσσερις τοποθεσίες: στην κατοικία ή την πρωτεύουσα θέση στάθμευσής τους, στον τόπο υπηρεσίας τους, στις τοποθεσίες φόρτισης οχημάτων της περιοχής.

- **Κατοικημένη φόρτιση**

Εάν η υποδομή είναι διαθέσιμη, οι ιδιοκτήτες EV θα πραγματοποιήσουν το μεγαλύτερο μέρος της φόρτισης στην κατοικία τους. Τα EV σταθμεύουν για σημαντικό χρονικό διάστημα. Τα ποσοστά χρησιμότητας είναι χαμηλά κατά τις βραδινές ώρες εκτός αιχμής, τις πρώτες πρωινές ώρες και κατά τις περιόδους του Σαββατοκύριακου. Ως εκ τούτου, οι ιδιοκτήτες EV ενθαρρύνονται να φορτίσουν τα οχήματά τους κατά τη διάρκεια αυτών των εκτός αιχμής ωρών. Ορισμένοι ιδιοκτήτες EV μπορούν να κατέχουν ηλιακούς συλλέκτες τοποθετημένους στην οροφή για να παρέχουν ζήτηση ενέργειας για το κτήριο και να παρέχουν κάθε πλεόνασμα ισχύος στο σύστημα διανομής. Οι εφαρμογές οχήματος-προς-σπίτι (V2H) μπορούν να εφαρμοστούν κατά τη διάρκεια διακοπών ρεύματος οικισμού. Η μπαταρία των EV θα χρησιμοποιηθεί ως συσκευή αποθήκευσης για την εφεδρική ισχύ του σπιτιού. Το V2H παρουσιάζει ένα προκαταρκτικό βήμα προς το V2G, καθώς μόνο το σπίτι δέχεται την ενέργεια και το EV παραμένει απομονωμένο από το ηλεκτρικό δίκτυο.

- **Φόρτιση σε επιχειρησιακό παρκινγκ**

Αναφέρεται στην φόρτιση ιδιωτικού EV στον χώρο εργασίας και όχι επιχειρησιακού EV. Υπάρχει μια συζήτηση σχετικά με τη σημασία της φόρτισης στο χώρο εργασίας. Τα οφέλη για τους εργοδότες που παρέχουν φόρτιση είναι να παρέχουν υπηρεσίες στους πελάτες τους. Εντούτοις, οι εργοδότες ενδέχεται να αντιμετωπίζουν δυσκολίες, όπως οι φορολογικές επιπτώσεις των παρεχόμενων υπηρεσιών, το κόστος εξοπλισμού και υποδομών για την προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας και τη διαχείριση των διαθέσιμων σταθμών φόρτισης. Παρόμοια μπορούν να υπάρχουν και ιδιωτικές εγκαταστάσεις με υποδομές για φόρτιση EV και χρήση της ενέργειας τους. Τα EV που φθάνουν για εργασία θα συνδεθούν για πλήρη φόρτιση πριν από τις ώρες αιχμής της ζήτησης της περιοχής του. Στη συνέχεια, τα EV, ως αθροιστική αποθήκευση, θα μπορούσαν να προσφέρουν μια φθηνότερη λύση στην ικανοποίηση της ζήτησης κατά τις

ώρες αιχμής. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προμήθεια ενός κτιρίου (δηλ., Οχήματος προς κτήριο, V2B), ή για την παροχή εφεδρικής ισχύος για κρίσιμες λειτουργίες. Ορισμένες μπαταρίες EV μπορεί να εξαντληθούν κατά τη διάρκεια της αιχμής και ενδέχεται να μην είναι σε θέση να επαναφορτιστούν για την επιστροφή στο σπίτι. Ως εκ τούτου, κάθε ιδιοκτήτης EV θα πρέπει να καθορίσει ένα ελάχιστο SOC για το EV του / της που θα χρησιμοποιηθεί για μετακίνηση μετά την εργασία. Στο V2B, ο ιδιοκτήτης του κτηρίου επωφελείται από το μειωμένο ενεργειακό κόστος και οι ιδιοκτήτες EV λαμβάνουν πληρωμές από την επιχείρηση για τη χρήση της μπαταρίας του οχήματος.

• Φόρτιση στόλου EV

Τα οχήματα του στόλου είναι ομάδες EV που ανήκουν ή μισθώνονται από μια επιχείρηση, κυβερνητική υπηρεσία ή άλλον οργανισμό και όχι από άτομο ή οικογένεια. Παραδείγματα είναι τα οχήματα που χρησιμοποιούνται από εταιρείες ενοικίασης αυτοκινήτων, εταιρείες ταξί, επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, εταιρείες δημόσιων λεωφορείων και αστυνομικά τμήματα. Φόρτιση στόλου εμφανίζεται στο περιβάλλον εργασίας για τα EV που ανήκουν σε μια εταιρεία. Αυτά τα EV θα ήταν διαθέσιμα για υπηρεσίες V2G στις μη εργάσιμες ώρες. Ορισμένοι τύποι στόλων μπορεί να έχουν μεγαλύτερα πλεονεκτήματα στην περιοχή του V2G από άλλους. Για παράδειγμα, οι στόλοι των ηλεκτρικών σχολικών λεωφορείων μπορεί να παρέχουν σημαντική διαθεσιμότητα αποθηκευμένης ενέργειας, η οποία μπορεί να διατεθεί κατά τη διάρκεια των ωρών που δεν χρησιμοποιούνται.

• Εμπορική φόρτιση

Σήμερα, υπάρχει ώθηση στον εμπορικό τομέα για την εγκατάσταση σταθμών φόρτισης. Ο τύπος των επιχειρήσεων που θα εγκαταστήσουν τους σταθμούς φόρτισης θα ποικίλει και η έκδοση του εξοπλισμού τροφοδοσίας EV θα διαφέρει. Σταθμοί AC θα εγκατασταθούν σε χώρους όπου οι ιδιοκτήτες EV θα παραμείνουν για αρκετό χρόνο μέχρι να επιτρέψουν στα EV να ολοκληρώσουν ένα σημαντικό επίπεδο φόρτισης. Αυτές οι τοποθεσίες μπορεί να περιλαμβάνουν εστιατόρια, θέατρα, εμπορικά κέντρα κ.α.. Η φόρτιση DC μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε χώρους όπως εστιατόρια, καφετέριες, ψιλικάτζίδικα και βενζινάδικα δεδομένου ότι οι πελάτες θα λάβουν σημαντική ποσότητα φόρτισης μέσα σε λίγα λεπτά. Επίσης, οι γρήγοροι φορτιστές DC μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά μήκος αυτοκινητοδρόμων μεταξύ περιοχών.

2.9 Ενσωμάτωση Δικτύου

Πριν από την ενσωμάτωση των EV με το δίκτυο, προκειμένου να αποσταλεί ηλεκτρική ενέργεια στο σύστημα, πρέπει να εξεταστούν ορισμένα θέματα.

- Βάσει του προτύπου IEEE 519, η συνολική παραμόρφωση των αρμονικών συχνοτήτων θα πρέπει να είναι μικρότερη από 5% ως άμεσα συνδεδεμένη με τη ρύπανση του δικτύου. [11]
- Ο συντελεστής ισχύος πρέπει να είναι κοντά στην ενότητα.
- Το όχημα πρέπει να διαθέτει τουλάχιστον ένα καλό ποσό φόρτισης, διαφορετικά, ακόμη και μετά από ώρες ολοκλήρωσης, το όχημα δεν θα είναι σε θέση να παραδώσει οποιαδήποτε ενέργεια στο δίκτυο, και αυτό θα ήταν σπατάλη πόρων.

Συμπεριλαμβάνονται τρία συστατικά του συστήματος για τη φόρτιση / εκφόρτιση ενέργειας προς / από EV:

- Τη θέση όπου το EV συνδέεται με το ηλεκτρικό δίκτυο
- Τον εξοπλισμό παροχής ηλεκτρικής ενέργειας με τον οποίο συνδέεται το όχημα
- Την μπαταρία για το EV που διαχειρίζεται την κατάσταση φόρτισης (SOC)

Η τοποθεσία στην οποία συνδέεται το EV με το ηλεκτρικό δίκτυο μπορεί να είναι κατοικία του ιδιοκτήτη, χώρος στάθμευσης οχημάτων ή δημόσιος σταθμός φόρτισης. Ο εξοπλισμός τροφοδοσίας EV μπορεί να σχεδιαστεί για να παρέχει ισχύ AC ή DC στο όχημα σε διαφορετικά επίπεδα ισχύος. Κάθε EV μπορεί να διαθέτει διάφορα εξαρτήματα για τον έλεγχο και τη ρύθμιση των ρυθμών φόρτισης της μπαταρίας.

2.9.1 Φυσική σύνδεση με το Δίκτυο

Η χρήση της αποθηκευμένης ενέργειας των EV απαιτεί πραγματικό εξοπλισμό και υπηρεσίες, οι οποίες μπορεί να είναι πολύπλοκες. Οι ακόλουθες υποενότητες αναλύουν τον απαιτούμενο εξοπλισμό, τον εξοπλισμό του οχήματος και τις επικοινωνίες V2G.

• Εξοπλισμός

- Ο απαιτούμενος εξοπλισμός θα περιλαμβάνει τον εξοπλισμό παροχής EV και άλλο απαραίτητο εξοπλισμό για την παροχή ροής αναστροφής ρεύματος. Ο εξοπλισμός τροφοδοσίας EV αντιπροσωπεύει τη γέφυρα μεταξύ της EV και της υπόλοιπης καλωδίωσης και του ελέγχου.

• Εξοπλισμός χώρου V2G

- Η μπαταρία για την EV, μέσω σύνδεσης με τον εξοπλισμό παροχής EV, λειτουργεί ως μεταβλητό φορτίο. Ο εξοπλισμός τροφοδοσίας EV έχει ένα ρόλο παρόμοιο με το φωτοβολταϊκό σύστημα. Σημαντική διαφορά είναι η ικανότητα του εξοπλισμού τροφοδοσίας EV να παρέχει μια ροή ισχύος διπλής κατεύθυνσης ώστε να επιτρέπεται η φόρτιση και η εκφόρτιση των EV. Ο εξοπλισμός παροχής ηλεκτρικής ενέργειας αντιπροσωπεύει τη διασύνδεση μεταξύ του τοπικού ηλεκτρικού δικτύου και του ηλεκτρικού οχήματος. Τα χειριστήρια τάσης και συχνότητας στον εξοπλισμό παροχής EV καθορίζουν εάν η ροή ρεύματος είναι προς τα μέσα ή έξω από το EV. Εάν δεν υπάρχει ενσωματωμένος μετρητής για τη μέτρηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και της εξόδου από την EV, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας έξυπνος οικιακός μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας για την εκτέλεση της απαιτούμενης μέτρησης και ανίχνευσης.

• Εξοπλισμός χώρου V2H

- Η ροή ισχύος V2H ή V2B είναι ευκολότερη στην εφαρμογή από το V2G, καθώς δεν απαιτείται διασύνδεση αναστροφής ισχύος με το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο. Ο εξοπλισμός τροφοδοσίας EV μπορεί να παρέχει ενέργεια από το EV σε ηλεκτρικές ανάγκες της οικίας. Επίσης, ο σχεδιασμός του συστήματος πρέπει να λαμβάνει υπόψη τον εξοπλισμό και τις διαδικασίες που απαιτούνται για την αποκατάσταση του ηλεκτρικού δικτύου μετά την ανάκτηση.

• Εξοπλισμός επί του οχήματος

- Ο εξοπλισμός επί του οχήματος περιλαμβάνει τρία κύρια μέρη:

την βαλβίδα εισόδου των EV, τον ενσωματωμένο φορτιστή και την μπαταρία. Η υποδοχή του οχήματος και ο σύνδεσμος εξοπλισμού παροχής EV παρέχει τη διασύνδεση μεταξύ του εξοπλισμού τροφοδοσίας EV και του EV. Εάν ο εξοπλισμός τροφοδοσίας EV είναι επίπεδου 2 και το ρεύμα εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) παραδίδεται στο όχημα, η αντίστροφη ροή από το όχημα είναι και αυτή εναλλασσόμενου ρεύματος. Κατά συνέπεια, το όχημα μετατρέπει το DC της μπαταρίας σε AC μέσω ενός ενσωματωμένου μετασχηματιστή. Εάν ο εξοπλισμός τροφοδοσίας EV είναι συνεχούς ρεύματος (DC) και το ρεύμα συνεχούς ρεύματος παραδίδεται στο όχημα, η ροή ανάστροφου ρεύματος από το όχημα είναι DC και ο μετατροπέας περιλαμβάνεται στον εξοπλισμό παροχής εκτός EV.

2.9.2 Θέματα πολλαπλής ενσωμάτωσης EV σε δίκτυο

Εξακολουθούν να υπάρχουν αρκετές βασικές προκλήσεις για τα ηλεκτρικά οχήματα, όπως το συνολικό κόστος, οι μικρές αποστάσεις οδήγησης, οι μακροχρόνιοι χρόνοι φόρτισης και οι υποδομές που εξακολουθούν να χτίζουν σταθμούς φόρτισης. Προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι κόστους, να ελαχιστοποιηθεί η εξάρτηση από ξένους υλικούς πόρους και να διασφαλιστεί η ασφαλής / αποδοτική κλιμάκωση μεγάλου όγκου, άλλες βασικές απαιτήσεις για τα EV περιλαμβάνουν:

- **Προμήθεια ασφαλισμένων υλικών:** Οι απαιτούμενες τεχνολογίες πρέπει να βασίζονται σε υλικά χωρίς εμπόδια διαθεσιμότητας και κινδύνους όταν αναπτύσσονται σε μεγάλη κλίμακα.
- **Ασφάλεια:** Οι απαιτούμενες τεχνολογίες θα πρέπει να υπόκεινται σε όλα τα ισχύοντα πρότυπα ασφαλείας και προστασίας του περιβάλλοντος.
- **Ανακύκλωση:** Οι απαιτούμενες τεχνολογίες πρέπει να είναι σε θέση να ανακυκλωθούν πλήρως.
- **Δεν πρέπει να υπάρχει αρνητική επίπτωση στην αξιοπιστία του δικτύου:** Πρέπει να αναπτυχθούν οι απαιτούμενες τεχνολογίες φόρτισης / εκφόρτισης και οι υποδομές, χωρίς να επηρεάζεται αρνητικά η αξιοπιστία του ηλεκτρικού δικτύου και των τοπικών δικτύων διανομής.

Για παράδειγμα, ένας μετασχηματιστής διανομής έχει σχεδιαστεί για να παρέχει ισχύ σε συγκεκριμένο αριθμό πελατών βάσει των απαιτήσεων ισχύος και κατανάλωσης. Ένας μετασχηματιστής διανομής μπορεί να παρέχει ισχύ σε πολλαπλά ηλεκτρικά οχήματα. Ωστόσο, εάν η ζήτηση ισχύος των EV είναι υψηλότερη από την ονομαστική διαβάθμιση διανομής και δεν υπάρχει καμία επικοινωνία και κατάλληλη μέθοδος κατανομής ισχύος, η τάση του μετασχηματιστή διανομής θα καταρρεύσει. Έτσι, θα προκαλέσει προβλήματα για άλλα ηλεκτρικά φορτία που παρέχονται από τον ίδιο μετασχηματιστή. Για την επίλυση αυτού του ζητήματος απαιτείται η αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ EV και του μετασχηματιστή διανομής.

και ένας αλγόριθμος κατανομής ισχύος για να διασφαλιστεί ότι η συνολική ζήτηση ισχύος δεν θα υπερβεί το όριο ασφαλούς λειτουργίας του μετασχηματιστή διανομής. Οι μέθοδοι επικοινωνίας μπορεί να μην λειτουργούν και μερικές φορές ενδέχεται να παρουσιάζουν καθυστερήσεις. Έτσι οι αποτελεσματικές μέθοδοι ελέγχου χωρίς επικοινωνία θα είναι χρήσιμες και ελπιδοφόρες. Οι ηλεκτρονικές συσκευές ισχύος λειτουργούν γρήγορα. Ως εκ τούτου, μια γρήγορη μέθοδος ελέγχου είναι επιθυμητή για την αντιμετώπιση της διαχείρισης ενέργειας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την εφαρμογή ιεραρχικού ελέγχου με ένα υψηλού επιπέδου (σχέδιο συστήματος) αλγόριθμο κατανομής σε πραγματικό χρόνο και έλεγχο στάθμης ηλεκτρονικών ισχύος.

2.10 Αρχιτεκτονική ενσωμάτωσης EV

Για την ενσωμάτωση των EV στο δίκτυο, οι διαχειριστές συστημάτων ενέργειας υποχρεούνται να παρακολουθούν και να χρησιμοποιούν ελεγχόμενες συσκευές και να ενημερώνουν την υποδομή δικτύου για να διαχειρίζονται την φόρτιση και την εκφόρτιση EV. Το πλαίσιο ιεραρχικής ρύθμισης αποτελείται από συστατικά του ηλεκτρικού δικτύου και από το σύστημα επικοινωνίας σημάτων ελέγχου. Οι συσκευές ανώτατου επιπέδου εποπτεύουν τις δραστηριότητες των συσκευών που βρίσκονται κάτω από αυτές. Επίσης, η υποδομή επικοινωνίας μπορεί να εφαρμοστεί για την τοποθέτηση νέων εξαρτημάτων στην υπάρχουσα δομή του συστήματος ισχύος. Το κέντρο ελέγχου διαχειρίζεται τη ροή ενέργειας παρακολουθώντας την κατάσταση του συστήματος μετάδοσης και εκδίδοντας εντολές για την αποστολή φορτίων ή πόρων παραγωγής σε κάθε δίαυλο. Κατόπιν, κάθε ρελέ τροφοδοσίας, ως ρυθμιστής ενός συστήματος διανομής, λαμβάνει την εντολή υψηλότερου επιπέδου και ερμηνεύει το σήμα ελέγχου για τα φορτία του στα δίκτυα διανομής. Για τη φόρτιση / εκφόρτιση των EV, ένας συσσωρευτής αναλαμβάνει μια ομάδα EV εντός μιας συγκεκριμένης περιοχής (δηλαδή σταθμοί φόρτισης ή χώροι στάθμευσης). Έτσι, ο συσσωρευτής παρέχει μια διεπαφή μεταξύ μιας ομάδας EVs και του υψηλότερου επιπέδου ελέγχου της. Ο συναθροιστής αποκτά τις πληροφορίες σχετικά με τα EV, τις εκθέσεις τους προς τον ελεγκτή του συστήματος διανομής και αναθέτει τις οδηγίες στα επιμέρους EV. Ο συναθροιστής χρησιμεύει ως ο μεσολαβητής που εξαιρεί το υψηλότερο επίπεδο ελέγχου από την άμεση αλληλεπίδραση με τον τεράστιο αριθμό των EV, πράγμα που δεν είναι πρακτικό. Οι ηλεκτρικές μονάδες στο χαμηλότερο επίπεδο ελέγχου ακολουθούν οδηγίες για την προσαρμογή των ρυθμών φόρτισης / εκφόρτισης και των κύκλων. Το ιεραρχικό πλαίσιο ελέγχου μπορεί να είναι ευέλικτο, χειρίζοντας οποιοδήποτε τοπικό πρόβλημα αντί να εξαρτάται από το διορθωτικό έλεγχο ανώτατου επιπέδου.

2.11 Επικοινωνία και Έλεγχος

Το κρίσιμο τμήμα του έξυπνου δικτύου είναι η πτυχή επικοινωνίας και ελέγχου. Ένα αμφίδρομο δίκτυο επικοινωνίας επιτρέπει σε τεχνολογίες απόκρισης της ζήτησης που μπορούν να ελέγχουν τους καταναμημένους ενεργειακούς πόρους σε διασκορπισμένες γεωγραφικές περιοχές. Καθώς οι δυνατότητες των έξυπνων δικτύων αυξάνονται με τα νεότερα δίκτυα αυτοματισμού και επικοινωνίας, τα βοηθητικά προγράμματα ενέργειας και οι συναθροιστές μπορούν να δουν σε πραγματικό χρόνο τη διανομή και τις απαιτήσεις φορτίου στο δίκτυο και μέσω της αμφίδρομης επικοινωνίας ελέγχουν και βελτιστοποιούν την παροχή ρεύματος. Ένα βασικό πλεονέκτημα για το EV είναι ότι μπορούν να λειτουργούν ως μονάδες αποθήκευσης ενέργειας που αλληλοεπιδρούν με το έξυπνο δίκτυο μέσω έξυπνων σταθμών φόρτισης. Αυτή

η επικοινωνία διπλού καναλιού είναι διαθέσιμη μόνο με τη χρήση αμφίδρομης επικοινωνίας, όχι μονομερούς, η οποία καθιστά ακόμη πιο πρακτική τη μετάβαση από μη EV σε EV. Αυτές οι αλληλεπιδράσεις μπορούν να συμβάλουν στη βελτιστοποίηση της κατανομής ισχύος, στη μείωση της υποβάθμισης και στην αύξηση της ποιότητας της παραγόμενης ισχύος μέσω της ενεργής υποστήριξης ισχύος και της αντιστάθμισης της ενεργητικής ισχύος. Με μια υποδομή έξυπνων μετρητών, το σύστημα ισχύος μπορεί να αποκτήσει πληροφορίες σχετικά με τη ζήτηση και την κατανάλωση ενέργειας στο σύστημα για να προγραμματίσει καλύτερα την παραγωγή και τη διανομή για την τιμολόγηση της τοποθεσίας. Με μεγάλο αριθμό έξυπνων μετρητών, η οπτική ίνα ως μέσο δεν θα ήταν εφικτή λόγω του κόστους και η ασύρματη επικοινωνία θα ήταν η προτιμώμενη μέθοδος μεταξύ έξυπνων μετρητών και κέντρων ελέγχου. Τα πλεονεκτήματα του ασύρματου δικτύου περιλαμβάνουν υποδομές χαμηλού κόστους και κάλυψη ευρείας περιοχής. Ίσως να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα υβριδικό ενσύρματο / ασύρματο σύστημα στο μέλλον για την ασφάλεια των καταναλωτών. Σε σύγκριση με τα παραδοσιακά δίκτυα δεδομένων, το έξυπνο δίκτυο μετρητών ενός έξυπνου δικτύου θα έχει μερικές μοναδικές προκλήσεις. Μια πρόκληση θα ήταν ο όγκος της κυκλοφορίας και το περιορισμένο εύρος ζώνης λόγω του μεγάλου αριθμού έξυπνων μετρητών. Μια άλλη θα ήταν η απαίτηση για τη μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Το ηλεκτρικό δίκτυο είναι ένα πολύ δυναμικό σύστημα και είναι κρίσιμο να έχουμε τρέχοντα δεδομένα. Οι καθυστερήσεις στη διαβίβαση δεδομένων ενδέχεται να οδηγήσουν σε αστάθεια στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Μια άλλη πρόκληση θα ήταν να ληφθούν υπόψη τα χαρακτηριστικά των συστημάτων ισχύος για τον προγραμματισμό των χρεώσεων. Οι παραδοσιακοί αλγόριθμοι προγραμματισμού που μεγιστοποιούν τη διακίνηση ή ελαχιστοποιούν τη μέση καθυστέρηση ενδέχεται να μην είναι έγκυροι σε ένα έξυπνο δίκτυο. Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων θα μπορούσε να περιλαμβάνει την εισαγωγή εντοπισμού ελάχιστης τιμολόγησης και ενός μοντέλου μεταβολής φορτίου ισχύος σε έναν αλγόριθμο προγραμματισμού. Από την πλευρά των καταναλωτών, υπάρχουν αρκετές ιδέες για το πώς οι ιδιοκτήτες EV μπορούν να ασκήσουν τον έλεγχο του χρονοδιαγράμματος φόρτισης του οχήματος τους ενώ παράλληλα επιτρέπουν στο δίκτυο να επωφεληθεί από την πηγή μπαταρίας EV. Μια ιδέα είναι να εξοπλίσουν κάθε V2G συμβατό EV με μια συσκευή διεπαφής χρήστη για να επιτρέψει στον οδηγό να λαμβάνει οδηγίες ή να ζητάει συμβουλές για διαδικασίες φόρτισης / εκφόρτισης. Μια ειδοποίηση θα αποσταλθεί σε περίπτωση που η χωρητικότητα της μπαταρίας της EV είναι κάτω από ένα προκαθορισμένο όριο. Αυτή η ειδοποίηση μπορεί να περιλαμβάνει κοντινούς σταθμούς φόρτισης, απόσταση, τιμή ενέργειας κτλ. Η ειδοποίηση μπορεί επίσης να παρέχει στον οδηγό οδηγίες για να φέρει το όχημα σε κατάλληλους σταθμούς φόρτισης για να χρησιμεύσει ως μπαταρία αποσυμπίεσης. Όλη αυτή η ανταλλαγή πληροφοριών θα επιτυγχανόταν μέσω αισθητήρων ρεύματος ασύρματης επικοινωνίας και αισθητήρων. Η αρχιτεκτονική ενός συστήματος επικοινωνίας δικτύου V2G θα περιλάμβανε ενδεχομένως αρκετές μονάδες της οδού που θα επικοινωνούσαν μεταξύ των διερχομένων οχημάτων, των κοντινών σταθμών φόρτισης και του έξυπνου δικτύου. Οι μονάδες της οδού θα επέτρεπαν την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και σταθμών φόρτισης όταν δεν θα επαρκούσαν οι περιοχές μετάδοσης. Η μεταφορά δεδομένων θα ενεργοποιηθεί από τον οδηγό ή από ένα σύστημα συστάσεων. Αν ενεργοποιείται από τον οδηγό, ο οδηγός ελέγχει την κατάσταση φόρτισης και αναζητά συμβουλές σχετικά με τη φόρτιση μέσω του περιβάλλοντος χρήστη στο EV. Η μονάδα επικοινωνίας θα στείλει ένα μήνυμα στην πλησιέστερη μονάδα της οδού για να ζητήσει πληροφορίες από σταθμούς φόρτισης κοντά. Η έρευνα θα δημιουργήσει μια απάντηση στο όχημα με τη γεωγραφική της θέση ή / και την τρέχουσα τιμή ενέργειας. Ο εποχούμενος ελεγκτής θα συλλέγει δεδομένα μέσω των ανταλλαγών μηνυμάτων και θα εκκινεί το σύστημα συστάσεων. Αυτό το σύστημα συστάσεων θα αποφασίσει εάν είναι η κατάλληλη στιγμή για να χρεωθεί ή όχι βάσει της κατάστασης φόρτισης του

οχήματος, των τιμών της ενέργειας και της κατάστασης του δικτύου. Θα συνιστούσε είτε να χρεωθεί ή να αναβληθεί σε ώρες εκτός αιχμής, όταν οι ενεργειακοί ρυθμοί θα ήταν πιθανώς χαμηλότεροι. Αν ενεργοποιείται από το σύστημα, η σύσταση ενεργειακής χρέωσης εξαρτάται από παράγοντες όπως το φορτίο του δικτύου, η κατάσταση φόρτισης του οχήματος και οι τιμές ενέργειας σε πραγματικό χρόνο. Το σύστημα θα λαμβάνει συναγερμούς από τους αισθητήρες στο όχημα (για τη χωρητικότητα της μπαταρίας) και στη συνέχεια θα στέλνει μηνύματα στις μονάδες της οδού για να ξεκινήσει μια διαδικασία συστάσεων.

2.12 Διεπαφή σημείου φόρτισης με όχημα

Το ISO 15118 «Οδικά οχήματα - Διεπαφή επικοινωνίας οχήματος με δίκτυο» είναι ένα διεθνές πρότυπο που καθορίζει την επικοινωνία V2G για την αμφίδρομη φόρτιση / εκφόρτιση των EV και ασχολείται με την επικοινωνία μεταξύ EV και EVSE. Τα βασικά στοιχεία επικοινωνίας είναι ο ελεγκτής επικοινωνίας ηλεκτρικών οχημάτων (EVCC) και ο ελεγκτής επικοινωνίας εξοπλισμού τροφοδοσίας (SECC) [6]. Αυτό το πρότυπο καλύπτει τόσο τις λειτουργίες φόρτισης AC και DC όσο και τις δύο βασικές εστίες:

• Σύνδεση και φόρτιση

Αυτό υποστηρίζει την απομάκρυνση από κάρτες RFID ή εφαρμογές έξυπνων τηλεφώνων για έλεγχο ταυτότητας και χρέωσης και επιτρέπει την παράδοση αυτής της διαδικασίας χρησιμοποιώντας ψηφιακό έλεγχο ταυτότητας από το όχημα. Σκοπός της είναι να υποστηρίξει τη μετάβαση στην ασύρματη φόρτιση και τα αυτόνομα οχήματα, όπου η διεπαφή χρήστη μέσω κάρτας RFID ή παρόμοια θα ήταν ανέφικτη.

• Όχημα-σε-πλέγμα

Το ISO 15118 σπάει το V2G σε δύο κατηγορίες. Βελτιστοποιημένη διαχείριση φορτίου (V1G) και αντίστροφη ροή ισχύος V2G. Ωστόσο, το πρότυπο εξετάζει μόνο τις επικοινωνίες, με έμφαση στις επικοινωνίες μεταξύ EV και EVSE μόνο και δεν λαμβάνει υπόψη τις επικοινωνίες από τρίτους όπως τα σήματα του TSO που λαμβάνει η EVSE. [9]

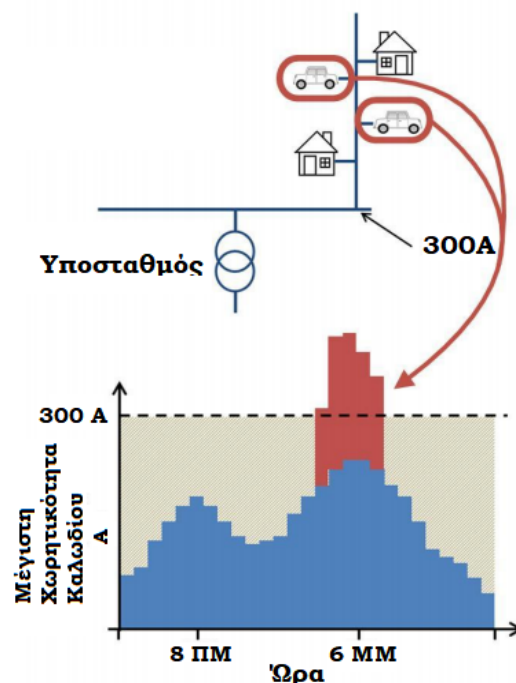
2.13 Διεπαφή σημείου φόρτισης με δίκτυο

2.13.1 Open Smart Charging Protocol 1.0

Το ανοιχτό πρωτόκολλο Smart Charging περιγράφει το πρωτόκολλο για έξυπνη φόρτιση των EV, με κύριο άξονα την επικοινωνία μεταξύ του διαχειριστή του δικτύου διανομής (DNO) και του φορέα παροχής υπηρεσιών φόρτισης (CSP).

2.13.1.1 Λειτουργία

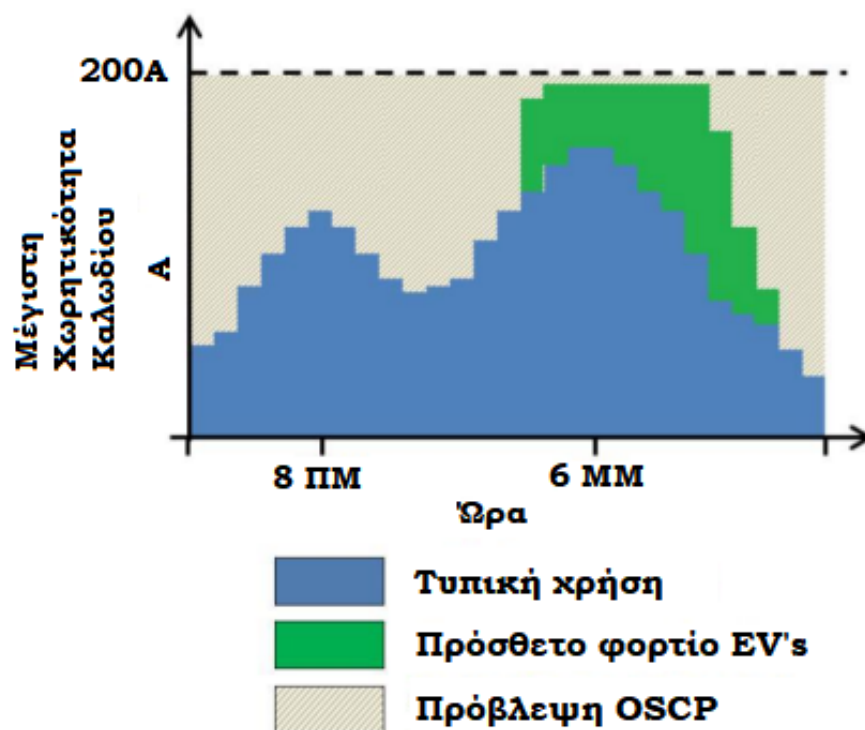
Έστω ότι έχουμε σενάριο, όπου σε μία περιοχή έχουμε έναν αριθμό σπιτιών τα οποία συνδέονται με καλώδιο της ΔΕΗ που υποστηρίζει μέχρι 300A. Στο σχήμα 1 έχουμε δύο σπίτια, αλλά πρακτικά μπορεί να είναι 10 ή και περισσότερα. Ακόμη και κάθε σπίτι να είχε συμβεβλημένη δυναμικότητα 30A, ποτέ και τα 10 σπίτια δεν θα έφθαναν το δίκτυο στα όρια του, 300A [9]. Η μπλε περιοχή αναπαριστά μια τυπική χρήση του δικτύου.



Σχήμα 1 : Επιρροή φόρτισης EV σύμφωνα με την DSO

Αν προστεθεί πάνω σε αυτό το φορτίο, το φορτίο της ηλεκτρικής ενέργειας που πρέπει να διαμοιράσει το δίκτυο για τις ανάγκες των EV's, τότε δημιουργούνται σοβαρά προβλήματα. Η φόρτιση των EV's παίρνει ώρες, υπονομεύοντας τα προφίλ βάσει των οποίων σχεδιάστηκε το σύστημα. Ένα άλλο πιθανό σενάριο

είναι η υπερφόρτωση του δικτύου το απόγευμα όταν οι εργαζόμενοι γυρνάνε από την δουλειά τους και φορτίζουν το όχημα τους, μία ώρα όπου υπάρχει ήδη πολύ κίνηση στο δίκτυο ακόμη και χωρίς τα EV's. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα το «φλιπάρισμα» του συστήματος διανομής στην περιοχή και να κατέληγαν όλα τα σπίτια χωρίς παροχή ηλεκτρικού ρεύματος. Μία λύση του διανομέα ρεύματος είναι να αυξήσει την χωρητικότητα των καλωδίων. Κάτι τέτοιο θα οδηγούσε σε μία μη αναγκαία και ακριβή λύση. Το γεγονός όμως ότι η φόρτιση του EV μπορεί να ελεγχθεί διευρύνοντας τη δίνει μία ευκαιρία. Τα περισσότερα οχήματα είναι περισσότερη ώρα παρκαρισμένα απ' ότι απαιτείται για να φορτιστούν με αποτέλεσμα να μπορεί το δίκτυο να χρησιμοποιήσει πιο αποδοτικά την κατανομή της ενέργειας χωρίς να επηρεάζεται κανένας, παρά μόνο η απόδοση του δικτύου, με θετικό πρόσημο. Κάπου εδώ εμφανίζεται το OSCP, το οποίο έχει σκοπό να βελτιώσει ακριβώς αυτό το κενό. Για να το πετύχει αυτό ενημερώνει τους χειριστές με μία πρόβλεψη για την διαθέσιμη χωρητικότητα στο καλώδιο, με αποτέλεσμα να αναπρογραμματίζουν την διανομή μέσα στα δοθέντα όρια, για την ικανοποίηση και των αναγκών των EV's. [12]



Σχήμα 2 : Βελτιστοποίηση διαχείρισης κατανομής ενέργειας

Φαίνεται πως το OSCP κάνει το δίκτυο να φέρεται πιο έξυπνα συνυπολογίζοντας πάντα την διαθέσιμη δυναμική.

2.13.2 Διασύνδεση Δικτύου Διανομής

Από την άποψη του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, μια εξαγωγή ισχύος EV είναι μια γεννήτρια συνδεδεμένη παράλληλα με το δίκτυο. Για να συνδεθεί αυτή η γεννήτρια, θα πρέπει να πληροί ένα σύνολο τεχνικών απαιτήσεων. Αυτές οι τεχνικές απαιτήσεις εξετάζουν πτυχές γύρω από τις απαιτήσεις εγκατάστασης για τη γεννήτρια, αλλά διασφαλίζουν τις ότι η γεννήτρια συμπεριφέρεται τις αναμένεται σε πτυχές τις:

- Ανίχνευση και απόκριση σωστά σε περίπτωση απώλειας ρεύματος
- Συγχρονισμός με το δίκτυο
- Αποτροπή αποσύνδεσης κατά την απώλεια ηλεκτρικού ρεύματος
- Αποσύνδεση και επανασύνδεση πάνω ή κάτω από τα συμβάντα συχνότητας και τάσης
- Εξασφάλιση των πτυχών τις ποιότητας τις ηλεκτρικής ενέργειας

Στο Ηνωμένο Βασίλειο, όλοι οι διαχειριστές δικτύων διανομής υποχρεούνται να συμμορφώνονται με τον κώδικα διανομής GB, ο οποίος τηρείται από την επιτροπή αναθεώρησης του κώδικα διανομής και εγκρίνεται από την Ofgem. Τον Μάιο του 2018 ο κώδικας αναθεωρήθηκε στην έκδοση 32 για να εξασφαλίσει τη συμμόρφωση με τις απαιτήσεις του ευρωπαϊκού κώδικα δικτύου για τις γεννήτριες. Αυτό περιλάμβανε την εισαγωγή δύο νέων τεχνικών συστάσεων (EREC) G98 και G99. Από τις 17 Μαΐου 2019, τα EREC G98 και EREC G99 θα ισχύουν για τις νέες εγκαταστάσεις, αντικαθιστώντας αποτελεσματικά τα EREC G83 και EREC G59. Μεταξύ Μαΐου 2018 και Μαΐου 2019, οι νέες εγκαταστάσεις μπορούν να συμμορφωθούν με τις απαιτήσεις είτε EREC G83 / G98 είτε EREC G59 / G99 (κατά περίπτωση). [9]

Ο ορισμός των μικροπαραγωγών στο πλαίσιο αυτών των εγγράφων περιλαμβάνει συσκευές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Καθώς τα συστήματα V2G είναι στην ουσία συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, αναμένεται ότι το V2G θα ενταχθεί στον ορισμό των μικροπαραγωγών και θα πρέπει συνεπώς να συμμορφωθεί με αυτές τις τεχνικές συστάσεις. Όταν η μικρό-γεννήτρια περιλαμβάνει μετατροπέα, η χωρητικότητα (στον ηλεκτρομαγνητισμό χωρητικότητα ονομάζεται το ποσό του φορτίου Q που αποθηκεύεται ανά μονάδα διαφοράς δυναμικού) θεωρείται ότι είναι η συνεχής σταθερή κατάσταση του μετατροπέα. Επιπλέον, οι εγκαταστάσεις θα θεωρούνται ως μία μόνο μονάδα παραγωγής μικροπαραγωγών όπου περιλαμβάνουν περισσότερους από έναν μετατροπείς σε ένα σημείο σύνδεσης και έχουν συνολική εγγεγραμμένη ισχύ μικρότερη από 16^A ανά φάση (μονοφασική ή πολυφασική, 230 / 400V AC) [9]

.

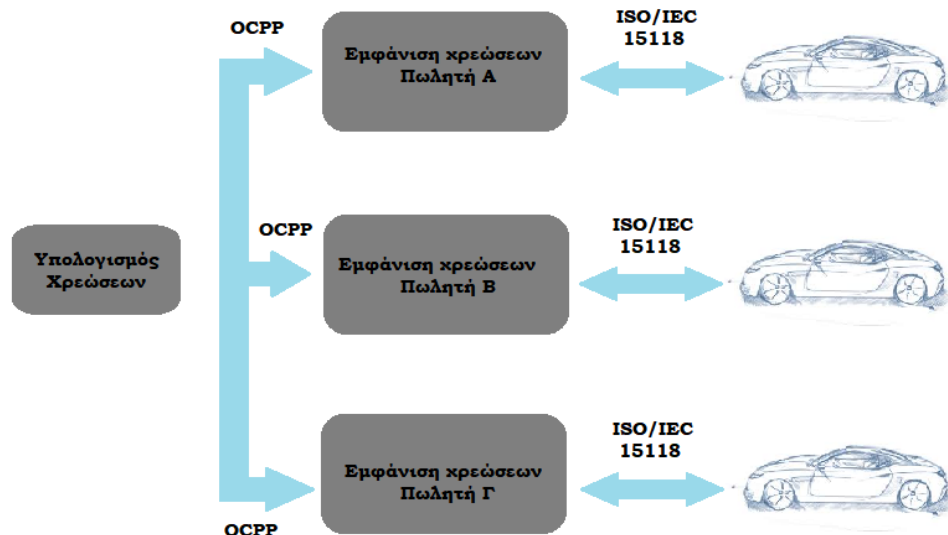
Τις οι συμφωνίες σύνδεσης βασίζονται στην τεχνολογία. Συνεπώς, ακόμη και όταν υπάρχει ήδη παραγωγή τις εγκαταστάσεις απαιτείται ξεχωριστή εφαρμογή για τη σύνδεση μιας μονάδας V2G. Η συγκεκριμένη διαδικασία σύνδεσης που ακολουθεί βασίζεται στη συνολική ισχύ τις τεχνολογίας. Ωστόσο, οι πρόσφατες τροποποιήσεις στον κώδικα σημαίνουν ότι η ημερομηνία εγκατάστασης επηρεάζει τις τη διαδικασία σύνδεσης με την οποία πρέπει να συμμορφώνεται η εγκατάσταση. Η δοκιμή τύπου περιλαμβάνει μια σειρά δοκιμών που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά μιας τεχνολογίας, τις οι αρμονικές, οι οποίες ενδέχεται να επηρεάσουν τη λειτουργία του τοπικού δικτύου. Η δοκιμή τύπου επιδιώκει να εξασφαλίσει ότι οι συνδεδεμένες τεχνολογίες δεν θα έχουν υπερβολικά αρνητικές επιπτώσεις στη λειτουργία του ευρύτερου τοπικού δικτύου.

2.14 Διεπαφή σημείου φόρτισης και χειριστή

2.14.1 Open Charge Point Protocol 2.0

Η OCPP ορίζεται ως ένα καθολικό ανοικτό πρότυπο επικοινωνίας που στοχεύει στην επίλυση των προκλήσεων που τίθενται σε εφαρμογή από ιδιόκτητα δίκτυα. Το OCPP επιτρέπει την πραγματοποίηση επικοινωνίας μεταξύ του οχήματος, των σημείων φόρτισης και του φορέα εκμετάλλευσης του σημείου φόρτισης. Αυτό το πρότυπο εξασφαλίζει μια ανοιχτή πλατφόρμα που συγκέντρωσε μεγάλη υποστήριξη από τη βιομηχανία και τις καταναλωτές.

Το OCPP 1.6 ενημερώθηκε το 2017 για να συμπεριλάβει εκτεταμένα μέτρα ασφάλειας, συμπεριλαμβανομένων μεθόδων κρυπτογράφησης, καταγραφής ασφαλείας και χειρισμού πιστοποιητικών. Επιπλέον, το OCPP 2.0 αναπτύσσει την υποστήριξη για έξυπνα συστήματα χρέωσης, ενσωματώνοντας το όχημα σε δίκτυο. Το OCPP 2.0 ενσωματώνει πολλές από τις πτυχές του προτύπου ISO 15118, υποστηρίζοντας τη μελλοντική λειτουργικότητα «σύνδεσε και φόρτισε», καθιστώντας αυτό ένα δωρεάν πρωτόκολλο για το ISO 15118, αν και δεν αποτελεί άμεση εναλλακτική λύση αφού δεν αναλαμβάνει διαδικασίες που έχουν να κάνουν με την δυναμικότητα σε περιβάλλον έξυπνης φόρτισης.



Σχήμα 3 : Ενημέρωση τιμών του συστήματος εμφάνισης χρεώσεων (OCPP)

2.14.2 Open Charge Point Interface 2.1.1

Το OCPI 2.11 είναι ένα παρόμοιο πρότυπο με αυτό της OCPP 1.6, με τα κύρια τμήματα του προτύπου να περιγράφουν λεπτομερώς μεθόδους για την εφαρμογή ενός πλήρως αυτοματοποιημένου συστήματος που επιτρέπει την εφαρμογή μιας υπηρεσίας περιαγωγής με επίκεντρο την επικοινωνία μεταξύ χειριστών σημείων φόρτισης και τους αντιπροσώπους τους στις εταιρείες παροχής υπηρεσιών ηλεκτρονικής κινητικότητας.

Αυτό το πρότυπο υποστηρίζει επίσης την ανταλλαγή πληροφοριών εξουσιοδότησης και σημείου φόρτισης με την οποία αποθηκεύονται δεδομένα από το γεγονός φόρτισης, συμπεριλαμβανομένης της κατάστασης του σημείου φόρτισης, πληροφοριών σχετικά με το ίδιο το γεγονός φόρτισης και της ανταλλαγής εντολών για την εκκίνηση ή τη διακοπή της έξυπνης φόρτισης μεταξύ διαφορετικών φορέων. Το εν λόγω πρότυπο ενθαρρύνει τους συμμετέχοντες στην αγορά να παρουσιάζουν μια επεκτάσιμη λύση για μια υπηρεσία περιαγωγής μεταξύ δικτύων, με στόχο τη μείωση των δαπανών και την αύξηση των καινοτόμων λύσεων, καταργώντας την ανάγκη για τους παραδοσιακούς κεντρικούς κόμβους περιαγωγής ή μη αυτοματοποιημένες λύσεις που χρησιμοποιούνται σήμερα. Στόχος είναι οι χρήστες EV να μπορούν να φορτίσουν οπουδήποτε χρησιμοποιούν τα συστήματα για να το κάνουν με ενημερωμένο τρόπο, επιτρέποντας στην αγορά να επεκταθεί γρήγορα, βοηθώντας τους συμμετέχοντες στην αγορά να διεκπεραιώσουν αποτελεσματικά την επιχείρησή τους.

Κύριες λειτουργίες :

- Καλό σύστημα περιαγωγής για αμφίδρομη χρήση και / ή μέσω ενός κόμβου
- Ενημέρωση σε πραγματικό χρόνο για τοποθεσία, διαθεσιμότητα και χρεώσεις
- Οργανωμένος τρόπος ανταλλαγής δεδομένων (αρχεία ενημερώσεων, αρχεία χρεώσεων) πριν, κατά την διάρκεια και μετά την συναλλαγή
- Απομακρυσμένη υποστήριξη για την πρόσβαση σε οποιονδήποτε σταθμό φόρτισης χωρίς την ανάγκη για προεγγραφή

Η λειτουργία του βασίζεται στο πρωτόκολλο HTTP και χρησιμοποιεί μορφοποίηση τύπου JSON για την μεταφορά δεδομένων είτε μεταξύ των εφαρμογών είτε μεταξύ εφαρμογής και χρήστη για την εμφάνιση αποτελεσμάτων. Η αρχιτεκτονική που ακολουθεί είναι RESTful (αποτελεί τεράστιο ποσοστό των εφαρμογών σήμερα) στις μικροπηρεσίες που απαιτείται. [9]

2.15 Ασφάλεια Δικτύου

Ας δούμε την ασφάλεια του δικτύου για εφαρμογές V2G χρησιμοποιώντας ένα παράδειγμα. Στο δίκτυο V2G συμμετέχουν πολλές διαφορετικές οντότητες, συμπεριλαμβανομένου του ιδιοκτήτη του οχήματος, της μπαταρίας του οχήματος, της εταιρείας παραγωγής ενέργειας και της εταιρείας διαχείρισης πληρωμών. Τα οχήματα στο δίκτυο V2G επικοινωνούν με το έξυπνο δίκτυο μέσω συλλέκτη ή συσσωρευτή δεδομένων για τη φόρτιση των μπαταριών τους στους σταθμούς φόρτισης [10]. Ο συσσωρευτής δεδομένων είναι μια έξυπνη συσκευή ή σύνολο συσκευών που λειτουργεί ως συλλέκτης ισχύος διαθέσιμων οχημάτων κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης και προσφέρει τροφοδοσία ισχύος στα οχήματα μέσω των σταθμών φόρτισης. Οι συνδρομητές έχουν πρόσβαση στους διακομιστές ελέγχου ταυτότητας και επικοινωνίας προκειμένου να συντονίσουν τη φόρτιση. Περιγράφουμε τώρα την ασφάλεια V2G από την οπτική γωνία των διαφόρων οντοτήτων.

- **Προοπτική του ιδιοκτήτη του οχήματος**

Εξετάζουμε ένα σενάριο όπου ο χρήστης παρκάρει το όχημά του στο χώρο στάθμευσης ενός εστιατορίου και συνδέει το όχημα με το σταθμό φόρτισης. Ο χρήστης παρέχει προτιμήσεις ρύθμισης, όπως είναι η επιλογή της φόρτισης ή εκφόρτισης της μπαταρίας, το ελάχιστο όριο για τη στάθμη της μπαταρίας που επιθυμεί ο χρήστης στο όχημα, την ελάχιστη απόσταση σε μίλια που χρειάζεται ο ταξιδιώτης, και τη

διάρκεια του χρόνου που ο χρήστης αναμένει να βρίσκεται στο εστιατόριο. Νέες απαιτήσεις, όπως η ανάγκη να εγκαταλείψουν το εστιατόριο νωρίτερα ή να επισκεφθούν άλλους προορισμούς, έχουν ως αποτέλεσμα αλλαγές στις επιλογές των χρηστών. Η αλλαγή στις απαιτήσεις φόρτισης θα οδηγήσει σε ένα νέο χρονοδιάγραμμα φόρτισης για το όχημα. Αυτό το πρόγραμμα υλοποιείται από τη λογική διαχείρισης ενέργειας του σταθμού φόρτισης, η οποία περιλαμβάνει έναν αριθμό περιορισμών και επιλογών, όπως η μέγιστη ταχύτητα φόρτισης, η φόρτιση των κυκλωμάτων και ο μετασχηματιστής χρησιμότητας και οι περιορισμοί που σχετίζονται με λειτουργίες χρησιμότητας, όπως τα τοπικά επίπεδα τάσης. Αν υποθέσουμε ότι υπάρχει λογική για τον καθορισμό του νέου χρονοδιαγράμματος χρέωσης ενέργειας, το ερώτημα που πρέπει να αντιμετωπίσουμε είναι πώς μπορεί το σύστημα να διασφαλίσει ότι οι αναγκαίες ανταλλαγές πληροφοριών μεταξύ του χρήστη, του οχήματος, του σταθμού φόρτισης, της εταιρείας διαχείρισης πληρωμών και της υπηρεσίας πραγματοποιούνται με ασφαλή τρόπο.

- **Προοπτική του οχήματος**

Μπορεί να υπάρχουν ζητήματα φυσικής και κυβερνητικής ασφάλειας που σχετίζονται με τα οχήματα. Οι ειδοποιήσεις πρέπει να ενεργοποιούνται για τυχόν παραβιάσεις ακεραιότητας. Πώς διατηρείται η φυσική ακεραιότητα του οχήματος (δηλ. Το όχημα δεν έχει υποστεί βλάβη) χρησιμοποιώντας ασφαλή στρώμα του κυβερνοχώρου; Επίσης, πρέπει να εξασφαλιστεί η επικοινωνία μεταξύ των νόμιμων οχημάτων.

- **Προοπτική μπαταρίας του οχήματος**

Ο έλεγχος πρόσβασης για την εγκατάσταση και την απεγκατάσταση της μπαταρίας κάθε οχήματος μπορεί να επηρεάσει το σύστημα ασφαλείας (ασφάλεια του κυβερνοχώρου) του οχήματος, γνωρίζοντας ότι κάποιος μπορεί να επιτελέσει επιθέσεις στον κυβερνοχώρο. Πώς να ελέγχετε (να χορηγείτε ή να ανακαλείτε) και να ελέγχετε με ασφάλεια τη νόμιμη πρόσβαση των ατόμων που συμμετέχουν στην εγκατάσταση ή την αντικατάσταση της μπαταρίας του οχήματος;

Και κατ' επέκταση, πώς να επαληθεύσετε ότι αυτά τα άτομα έχουν αναπτύξει τις κατάλληλες ρυθμίσεις διαμόρφωσης κατά την εγκατάσταση ή την αντικατάσταση της μπαταρίας ενός οχήματος; Θα πρέπει να δοθεί ακριβής προσοχή σε ένα τέτοιο σενάριο χρησιμοποιώντας απομακρυσμένη βεβαίωση με το διακομιστή.

Μια κοινή απαίτηση για την απομακρυσμένη βεβαίωση είναι ότι πρέπει να επιτρέπεται μια ξεχωριστή υπηρεσία ασφαλείας που επιτρέπει σε ένα αξιόπιστο μέρος να ελέγξει την εσωτερική κατάσταση μιας απομακρυσμένης ενσωματωμένης συσκευής, όπως η μπαταρία ενός οχήματος. Πρέπει επίσης να παρέχεται ασφάλεια στον κυβερνοχώρο της αλυσίδας εφοδιασμού στη μπαταρία του οχήματος, ώστε να ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος κλοπής πληροφοριών, σκόπιμων ζημιών και δραστηριοτήτων κακόβουλου λογισμικού.

- **Προοπτική ηλεκτρικής υπηρεσίας**

Ο κύριος στόχος της εταιρείας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η παροχή αξιόπιστης ηλεκτρικής ενέργειας στους πελάτες (μέσω σταθμών φόρτισης EV) καθώς και η μεταφορά ισχύος από το όχημα στο δίκτυο κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, η εταιρεία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να διασφαλίσει ότι οι διάφορες ηλεκτρικές ποσότητες (όπως οι τάσεις και οι

ροές ισχύος) στα κυκλώματα διατηρούνται εντός των λειτουργικών ορίων. Για παράδειγμα, η ταυτόχρονη φόρτιση διαφόρων οχημάτων σε ένα κύκλωμα μπορεί να δημιουργήσει μια ηλεκτρική υπερφόρτιση στον μετασχηματιστή ή μια κατάσταση υπό χαμηλή τάση. Οι συνθήκες αυτές είναι επικίνδυνες και δαπανηρές. Επομένως, η χρέωση των διαφόρων ηλεκτρικών οχημάτων πρέπει να συντονίζεται και να προγραμματίζεται δυναμικά. Αυτό απαιτεί την ανταλλαγή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο μεταξύ των οχημάτων, των σταθμών φόρτισης και του βοηθητικού προγράμματος. Ως εκ τούτου, η ασφάλεια και η προστασία της ιδιωτικής ζωής είναι εξαιρετικά σημαντικές, καθώς ενδέχεται να επηρεάσουν τη φυσική συμπεριφορά των ηλεκτρικών οχημάτων και άλλων συσκευών που είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο παροχής έξυπνης ενέργειας.

- **Προοπτική της εταιρείας χρέωσης**

Ένα σύστημα τιμολόγησης σε πραγματικό χρόνο πρέπει να εφαρμόζεται για σκοπούς χρέωσης αμέσως μετά τις διαδικασίες φόρτισης ή εκφόρτισης. Για τις μονάδες ισχύος που καταναλώνονται, μπορεί να δημιουργηθεί ένας τελικός λογαριασμός σε εβδομαδιαία / μηνιαία βάση ή / και με βάση τις προπληρωμένες κατηγορίες χρηστών, ενώ ο χρήστης αναμένεται να πληρωθεί αμέσως μετά την ολοκλήρωση κάθε εκφόρτισης. Στο τρέχον σενάριο του συστήματος V2G, οι πληροφορίες της κατάστασης φόρτισης (SoC) σε πραγματικό χρόνο κάθε μπαταρίας ανακοινώνονται στον ελεγκτή ή τον συγκεντρωτή, προκειμένου να κατανοήσουν την τιμολόγηση της χρέωσης σε πραγματικό χρόνο ή εκκενώνοντας μονάδες ισχύος. Ωστόσο, αυτό παραβιάζει το ιδιωτικό απόρρητο των οχημάτων, καθώς ο συνάδελφος μπορεί τότε να αποτελέσει την πηγή της διαρροής και τροποποίησης πληροφοριών των οχημάτων.

2.16 Προστασία προσωπικών δεδομένων & ασφάλειας

Αυτή η ενότητα περιγράφει λεπτομερέστερα τις διάφορες προκλήσεις προστασίας προσωπικών δεδομένων και ασφάλειας των δικτύων V2G, οι οποίες περιλαμβάνουν: δυνατότητα σύνδεσης με προηγούμενες περιόδους σύνδεσης, πιθανότητα επιθέσεων ασφαλείας, εντοπισμός ταυτότητας, εξαγωγή πληροφοριών θέσης, εξαγωγή προτιμήσεων οχημάτων και συμβιβαστικές πληροφορίες μηνυμάτων.

- **Απόρρητο πληροφοριών**

Οι καταναλωτές έχουν το δικαίωμα στην ιδιωτικοποίηση των δεδομένων όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας. Για την προστασία των δεδομένων των καταναλωτών, οι επιχειρήσεις παροχής ενέργειας ή τρίτα μέρη είναι υπεύθυνα για την εφαρμογή του δικαιώματος πρόσβασης σε πολιτικές που διασφαλίζουν ότι οι πληροφορίες των καταναλωτών είναι προσβάσιμες και χρησιμοποιούνται μόνο για νόμιμους σκοπούς συνδεδεμένους με την υπηρεσία. Οι πληροφορίες των καταναλωτών, όπως η ταυτότητά τους, η καθημερινή κατανάλωση ενέργειας και η τοποθεσία του οχήματος, δεν πρέπει να διατίθενται σε τρίτους παρόχους υπηρεσιών χωρίς την πλήρη γνώση και συγκατάθεση των καταναλωτών. Όταν οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας και τρίτοι χρησιμοποιούν πληροφορίες που τους παρέχονται ή τους ανατίθενται, οι πληροφορίες πρέπει να χρησιμοποιούνται σύμφωνα με τους συμφωνημένους σκοπούς που προστατεύουν την ιδιωτική ζωή των καταναλωτών. Ως εκ τούτου, πρέπει να απαιτείται από τρίτους να διαθέτουν κατάλληλους μηχανισμούς ασφαλείας που επιτρέπουν την πρόσβαση στις πληροφορίες μόνο στο πλαίσιο της επίσημης ικανότητας των εξουσιοδοτημένων χρηστών. Τα δεδομένα για τους καταναλωτές περιέχουν σημαντικά στοιχεία, συμπεριλαμβανομένων των συγκεκριμένων χρόνων / θέσεων χρήσης ηλεκτρικής

ενέργειας, του είδους της αιτούμενης ενέργειας (φόρτιση ή εκφόρτιση) ή / και των χρησιμοποιούμενων οχημάτων. Η ανάλυση αυτών των δεδομένων μπορεί να αποκαλύψει τη συμπεριφορά των καταναλωτών, επομένως οι επιχειρήσεις κοινής ωφελείας και οι τρίτοι έχουν την ευθύνη να εξασφαλίσουν το κατάλληλο επίπεδο προστασίας σε σχέση με την πληροφόρηση των καταναλωτών.

- **Ασφάλεια Πληροφοριών**

- Η ασφάλεια των πληροφοριών αντιπροσωπεύεται από κοινού όσον αφορά την εμπιστευτικότητα, την ακεραιότητα και τη διαθεσιμότητα πληροφοριών. Η ασφάλεια πληροφοριών περιλαμβάνει πρακτικές και διαδικασίες, όπως κρυπτογράφηση των μεταδιδόμενων πληροφοριών μεταξύ του σταθμού φόρτισης και του συσσωρευτή, διασφαλίζοντας έτσι ότι οι πληροφορίες προστατεύονται από οποιαδήποτε μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση. Χρησιμοποιώντας μηχανισμούς ασφαλείας, όπως τον κωδικό αναγνώρισης κατακερματισμού ή εξακρίβωσης μηνυμάτων στον συναθροιστή, τον εξυπηρετητή επικοινωνιών, το κέντρο ελέγχου και το κέντρο φόρτισης, βεβαιωθείτε ότι το περιεχόμενο του μηνύματος παραμένει αμετάβλητο (δηλαδή διατηρείται η ακεραιότητα των πληροφοριών) και ότι το μήνυμα λαμβάνεται με ακρίβεια όταν αποστέλλεται δίκτυο. Είναι επίσης επιτακτικό ότι, όταν χρειάζεται, οι πληροφορίες είναι διαθέσιμες και προσβάσιμες από τα νόμιμα μέρη. Οι απαιτήσεις ασφαλείας και προστασίας της ιδιωτικής ζωής των δικτύων V2G επεκτείνουν τις βασικές απαιτήσεις των δικτύων οχημάτων και των δικτύων χρηματοπιστωτικών συναλλαγών.
- Το δίκτυο V2G έχει υψηλότερο επίπεδο κλίμακας και πολυπλοκότητα λόγω της σύντηξης και της ενσωμάτωσης τεχνολογιών από διάφορους τομείς, καθώς και από την ποικιλομορφία και τον μεγάλο όγκο των εμπλεκόμενων φορέων σε όλους τους κλάδους. Ορισμένες από αυτές τις βιομηχανίες είναι οι μεταφορές και η ασφάλειά τους, η τεχνολογία επικοινωνιών πληροφόρησης, οι εταιρείες κοινής ωφελείας που ανήκουν σε ιδιώτες και οι δημοτικές επιχειρήσεις ηλεκτρισμού, οι κατασκευαστές EV και EVSE, η επιτροπή ενέργειας και οι τρίτοι προμηθευτές συσσωρευτών [10]. Ως αποτέλεσμα, οι προκλήσεις ασφαλείας και ιδιωτικότητας αυξάνονται σημαντικά για τα δίκτυα V2G σε σύγκριση με τα παραδοσιακά δίκτυα επικοινωνιών.
- Η μοναδικότητα του δικτύου V2G απαιτεί τη φόρτιση και αποφόρτιση της μπαταρίας του κινητού οχήματος μέσω κεντρικών και κατανεμημένων δικτύων, ασφαλούς συστήματος πληρωμών με λειτουργίες χρέωσης και πίστωσης για τον ιδιοκτήτη του οχήματος εξαιτίας της συχνής φόρτισης και εκφόρτισης της μπαταρίας, απομακρυσμένης βεβαίωσης : έλεγχος και επαλήθευση της νόμιμης πρόσβασης για την ασφαλή εγκατάσταση και την απεγκατάσταση της μπαταρίας και εκτέλεση διαφορετικών λειτουργιών (προσθήκη / πολλαπλασιασμός) στα κρυπτογραφημένα δεδομένα, όπως η υπολογισμένη συσσωρευμένη ζήτηση ισχύος που απαιτείται για μια συγκεκριμένη περιοχή. Δεν υπάρχει τέτοια ανάγκη για την εκτέλεση εργασιών σε κρυπτογραφημένα δεδομένα σε παραδοσιακά συστήματα πληρωμών έξυπνων τηλεφώνων. Το σύστημα V2G ασχολείται με τέτοιες λειτουργίες προκειμένου να παρακολουθεί την συνολική προσφορά και ζήτηση ισχύος σε κάθε γεωγραφική περιοχή.

2.16.1 Στόχοι ασφαλείας

Η προτεινόμενη λύση πρέπει να ικανοποιεί τους ακόλουθους στόχους ασφαλείας στο δίκτυο V2G:

- **Αμοιβαία εξακρίβωση ταυτότητας**

- Το δίκτυο V2G πρέπει να παρέχει αμοιβαία πιστοποίηση ταυτότητας μεταξύ των οχημάτων και του συνδρομητή και / ή της αρχής καταχώρισης. Αυτή η διαδικασία βοηθά στην προστασία του δικτύου από προσβολές ανακατεύθυνσης και πλαστοπροσωπίας. Τα οχήματα σε ένα σταθμό φόρτισης πρέπει να είναι σε θέση να επικοινωνούν με τον συσσωρευτή με ασφάλεια και κανένα μη γνήσιο ή κακόβουλο όχημα να μην μπορεί να συνδεθεί για εργασίες φόρτισης ή εκφόρτισης.
- **Εμπιστευτικότητα πληροφοριών**
 - Αυτός είναι ένας από τους υποχρεωτικούς στόχους του δικτύου V2G. Οι ιδιωτικές πληροφορίες πρέπει να είναι μυστικές ή κρυφές, προκειμένου να παρέχουν εμπιστευτικότητα στις μεταδιδόμενες πληροφορίες. Η κρυπτογράφηση χρησιμοποιείται για την παροχή εμπιστευτικότητας στα μηνύματα.
- **Ακεραιότητα μηνυμάτων**
 - Πρέπει να διατηρηθεί η ακεραιότητα όλων των μηνυμάτων που μεταδίδονται στο δίκτυο V2G. Για κάθε μήνυμα που αποστέλλεται, απαιτείται να επαληθεύεται εάν έχει σημειωθεί οποιαδήποτε παραβίαση κατά τη διάρκεια της μετάδοσης μηνυμάτων.

2.16.2 Προστασία προσωπικών δεδομένων

Η προστασία της ιδιωτικότητας των EV πρέπει να διατηρείται κάθε φορά που οι σταθμοί φόρτισης προελαύνουν τα EV. Επίσης, πρέπει να διατηρηθεί η ιδιωτική ζωή των καταναλωτών, όταν οι υπηρεσίες κοινής ωφέλειας μοιράζονται τα δεδομένα των καταναλωτών με τρίτους. Η προτεινόμενη λύση πρέπει να ικανοποιεί τους ακόλουθους στόχους προστασίας του ιδιωτικού απορρήτου στο δίκτυο V2G:

- **Ανωνυμία ταυτότητας**
 - Η ταυτότητα του οχήματος δεν πρέπει να αποκαλύπτεται, καθώς ένας μη αξιόπιστος συναθροιστής μπορεί επίσης να λαμβάνει τις πληροφορίες του οχήματος και μπορεί να καταχραστεί τις πληροφορίες μεταβιβάζοντάς τον σε αντίπαλο.
- **Μη συμβατότητα του οχήματος**
 - Το σύστημα θα πρέπει να διατηρεί την ικανότητα εντοπισμού του οχήματος, ώστε κάποιος να μην μπορεί να διακρίνει αν δύο διαφορετικά μηνύματα (με ψευδό-ταυτότητα ή / και θέση οχήματος, κατάσταση μπαταρίας και επιλογή φόρτισης / εκφόρτισης με πληροφορίες χρονισμού) προέρχονται από τα ίδια ή δύο διαφορετικά οχήματα. Το σύστημα ικανοποιεί την ανιχνευσιμότητα εάν ο αντίπαλος δεν μπορεί να μαντέψει το σωστό ζεύγος μηνυμάτων-οχημάτων με πιθανότητα υψηλότερη από την τυχαία εικασία.

- **Προστασία Προσωπικών Δεδομένων**

- Το μυστικό της εμπιστευτικότητας είναι παρόμοιο με το μη εντοπισμό αλλά με πρόσθετες δυνατότητες. Δημιουργούνται δύο ταυτόσημα μηνύματα. Ένα από τα δύο μηνύματα μεταβιβάζεται στον αντίπαλο. Η εμπιστευτικότητα του μπροστινού μέρους διατηρείται εάν ο αντίπαλος, χωρίς να έχει ούτε ένα μυστικό κλειδί ή κλειδί συνεδρίας, εξακολουθεί να μην μπορεί να ανιχνεύσει προηγούμενες περιόδους σύνδεσης.

3

Πρωτόκολλα

Ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης είναι απαραίτητο όταν ένα πακέτο πρέπει να μεταφερθεί στον προορισμό του περνώντας από ενδιάμεσους κόμβους. Αυτά τα πρωτόκολλα βρίσκουν ένα μονοπάτι παράδοσης και στέλνουν το πακέτο στον σωστό προορισμό. Έχουμε τρεις κατηγορίες πρωτοκόλλων. Έχουμε αυτά που οδηγούνται βάση πίνακα ή αλλιώς τα προληπτικά, έχουμε τα κατά ζήτηση ή αλλιώς αντιδραστικά και τα υβρίδια [14]. Σε αυτήν την διπλωματική ασχοληθήκαμε συνολικά με τρία πρωτόκολλα τα οποία είναι τα : AODV, OLSR και DSDV. Πρόκειται για 3 Ad-hoc πρωτόκολλα τα οποία κατατάσσονται στις δύο πρώτες κατηγορίες που αναφέραμε.

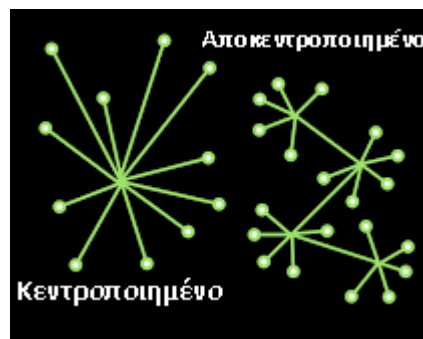
- **Προληπτικά**

- Κάθε κόμβος διατηρεί συνέχεια ενημερωμένες διαδρομές για κάθε άλλο κόμβο στο δίκτυο. Πληροφορίες δρομολόγησης μεταδίδονται περιοδικά μέσα στο δίκτυο, ώστε να διατηρείτε η συνέπεια των πινάκων. Εάν ένα μονοπάτι υπάρχει πριν την άφιξη της πληροφορίας, τότε η μετάδοση πραγματοποιείται χωρίς καθυστέρηση. Αλλιώς πακέτα κίνησης μπαίνουν στην ουρά αναμονής μέχρι ο κόμβος να λάβει πληροφορίες δρομολόγησης που αντιστοιχούν στον προορισμό. Τα πρωτόκολλα αυτά σε δίκτυα με υψηλή δυναμική τοπολογία, απαιτούν σημαντικό ποσό πόρων ώστε να διατηρούν τις πληροφορίες ενημερωμένες και αξιόπιστες. Τα OLSR και DSDV αποτελούν προληπτικά πρωτόκολλα.

- **Αντιδραστικά**

- Στα αντιδραστικά πρωτόκολλα ένας κόμβος αρχίζει με την ανακάλυψη μονοπατιών μέσω του δικτύου **μόνο** όταν επιθυμεί να στείλει ένα πακέτο σε έναν προορισμό. Η διαδικασία της ανακάλυψης ολοκληρώνεται όταν βρεθεί ένα μονοπάτι ή όταν έχουν εξεταστεί όλες οι δυνατές περιπτώσεις. Όταν καθιερωθεί ένα μονοπάτι διατηρείτε από μια διαδικασία συντήρησης μέχρις ότου το μονοπάτι να μην είναι προσβάσιμο από κανένα κόμβο από την αρχή του ή όταν πλέον δεν έχει νόημα. Στα αντιδραστικά πρωτόκολλα οι κόμβοι διατηρούν διαδρομές μόνο για ενεργούς προορισμούς. Όταν υπάρξει κάποιος άγνωστος κόμβος για τον οποίο δεν υπάρχει μονοπάτι ξεκινάει η διαδικασία εξερεύνησης, ώστε να βρεθεί δρόμος προς αυτόν. Έτσι αποφεύγεται η επιβάρυνση της κεφαλίδας του πακέτου αλλά αυξάνεται η καθυστέρηση λόγω της αναζήτησης. Το AODV είναι ένα αντιδραστικό πρωτόκολλο.

Με τον όρο **ad-hoc** μιλάμε για επικοινωνία δύο κόμβων χωρίς την παρεμβολή κάποιου κεντρικού διαχειριστή, δηλαδή αυτόνομοι κόμβοι. Η επικοινωνία πραγματοποιείται μόνο μεταξύ των δύο, οπότε μιλάμε για ένα προσωρινό δίκτυο το οποίο μπορεί να δημιουργήθηκε απλά και μόνο για την μετάδοση ενός πακέτου. Άρα ο κάθε κόμβος έχει δύο ρόλους. Είναι ταυτόχρονα και ξένιος κόμβος αλλά και δρομολογητής. Συνεπώς χρειάζεται ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης για αυτόν του το ρόλο. Σε ένα ad-hoc δίκτυο δεν σημαίνει απαραίτητα ότι ο κάθε κόμβος δρομολογεί πακέτα που το αφορούν. Μπορεί να έχουμε 3 κόμβους Α,Β,Γ και να θέλουμε να επικοινωνήσει ο Α με τον Γ, αλλά λόγω απόστασης να μην είναι εφικτό και ο Β να βρίσκεται σε ευνοϊκή θέση όπου βλέπει και τους 2. Σ αυτήν την περίπτωση το πακέτο θα δρομολογηθεί μέσω του Β στον Γ. Το πιο τρανταχτό χαρακτηριστικό είναι η δυναμικότητα του δικτύου αφού οι κόμβοι (αυτοκίνητα) κινούνται και αλλάζουν συνεχώς θέση. Ένα άλλο χαρακτηριστικό αυτών των δικτύων είναι οι περιορισμένοι πόροι στο ασύρματο κανάλι όπως: πολλαπλή πρόσβαση, πολυδιαδρομική αναφορά, μικρή διαθεσιμότητα φάσματος μειώνοντας την απόδοση κάθε κόμβου σε σχέση με τον μέγιστο ρυθμό μετάδοσης. Το πιο ζωτικό από όλα τα ζητήματα είναι η ασφάλεια, η οποία απουσιάζει σε πληθώρα κινητών ασύρματων δικτύων, αν και γίνονται προσπάθειες εισαγωγής μηχανισμών στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων και στο επίπεδο δικτύου. Παρόλα αυτά η αποκεντροποίηση προσθέτει μία επιπλέον δυναμική αξιοπιστία σε σχέση με ένα ενιαίο σημείο αποτυχίας, το οποίο παραλύει τα πάντα με την κατάρρευση του. Οπότε δεν έχουμε ένα στατικό δίκτυο με συγκεκριμένο αριθμό κόμβων και θέση.



Σχήμα 4 : Διαφορά Κεντροποιημένου και αποκεντροποιημένου δικτύου [38]

3.1 DSDV: Destination-Sequenced Distance Vector

3.1.1 Επισκόπηση

Το DSDV είναι πρωτόκολλο δρομολόγησης διανύσματος απόστασης που λειτουργεί με χρήση πινάκων, για ad hoc δίκτυα και βασισμένο στο αλγόριθμο του Bellman Ford. Αναπτύχθηκε το 1994 από τους C. Perkins και P.Bhagwat. Ήταν από τους πρώτους αν όχι ο πρώτος αλγόριθμος για ad hoc. Το κύριο πρόβλημα το οποίο επίλυε ήταν αυτό του ατέρμων βρόγχου, όπου ένα πακέτο μπαίνει μέσα σε ένα βρόγχο και δεν φτάνει ποτέ στον προορισμό μου κάνοντας συνεχώς «βόλτες» μέσα σ' αυτόν. Κάθε εγγραφή στον πίνακα δρομολόγησης περιέχει ένα αριθμό ακολουθίας. Ο αριθμός ακολουθίας είναι ζυγός αν ο σύνδεσμος είναι ακόμη ζωντανός, σε άλλη περίπτωση είναι μονός. Ο αριθμός παράγεται από τον κόμβο προορισμό και ο εκπομπός χρειάζεται να στείλει το επόμενο πακέτο ενημέρωσης με αυτόν τον αριθμό. Πληροφορίες δρομολόγησης κατανέμονται μεταξύ των κόμβων στέλλοντας πλήρη αναφορές περιοδικά και μικρότερες συχνότερα. Άρα οι πίνακες δρομολόγησης αποτελούν το στοιχείο κλειδί για την δρομολόγηση πακέτων στα ad-hoc δίκτυα. Είναι ιδανικός για ad hoc δίκτυα με λίγους κόμβους. Παρόλο που είναι από τους

παλαιότερους στο παρόν δεν υπάρχει καμία εμπορική υλοποίηση και δεν χρησιμοποιείτε ευρέως, συνήθως για ερευνητικούς σκοπούς.

3.1.2 Λειτουργία

Αρχικά , όπως αναφέραμε, κάθε κόμβος διατηρεί από ένα πίνακα δρομολόγησης με όλους τους διαθέσιμους προορισμούς, την μετρική τους ,το επόμενο άλμα (hop) για κάθε προορισμό και έναν αριθμό ακολουθίας που παράγεται από τον κόμβο προορισμού. Κάθε κόμβος ενημερώνει τον πίνακα του μέσω «διαφημίσεων» που εμφανίζονται περιοδικά ή όταν υπάρχουν διαθέσιμες νέες σημαντικές πληροφορίες, με σκοπό την διατήρηση της συνέπειας των πινάκων για τις δυναμικές τοπολογίες.

Η ενημέρωση αυτή γίνεται με την αποστολή ενός πακέτου ενημέρωσης σε εκπομπή ή σε πολυεκπομπή. Το πακέτο αυτό έχει ως πρώτες εγγραφές τις απευθείας συνδέσεις, όπου δηλαδή δύο κόμβοι απέχουν μόλις ένα άλμα για την μεταξύ τους επικοινωνία. Μετά την πρώτη παραλαβή πακέτου ενημέρωσης , οι γείτονες ενημερώνουν τους πίνακες αυξάνοντας τις μετρικές κατά 1 και αναμεταδίδοντας το πακέτο ενημερωμένο στους υπόλοιπους. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρις ότου όλου οι κόμβοι στο δίκτυο να έχουν λάβει ένα αντίγραφο του πακέτου ενημέρωσης με τις αντίστοιχες μετρικές.

Το πακέτο κρατείτε για λίγο πριν αναμεταδοθεί , ώπου να βρεθεί το καλύτερο μονοπάτι όπου ενημερώνεται τελικά και ο πίνακας. Εάν ένας κόμβος λάβει πολλαπλά πακέτα για έναν κοινό προορισμό καθώς περιμένει , οι διαδρομές με τους πιο πρόσφατους αριθμούς ακολουθίας προτιμώνται για τις αποφάσεις προώθησης πακέτων , αλλά οι πληροφορίες δρομολόγησης δεν διαφημίζονται αμέσως εκτός και αν έχουν αλλάξει οι αριθμοί ακολουθίας.

Εάν το πακέτο ενημέρωσης έχει τον ίδιο αριθμό ακολουθίας με τον ίδιο κόμβο , το πακέτο με την μικρότερη μετρική θα χρησιμοποιηθεί και το τωρινό μονοπάτι απορρίπτεται ή αποθηκεύεται ως μονοπάτι με χαμηλότερη προτεραιότητα. Σε αυτήν την περίπτωση το πακέτο θα διαδοθεί απευθείας σε όλους τους κόμβους του δικτύου.

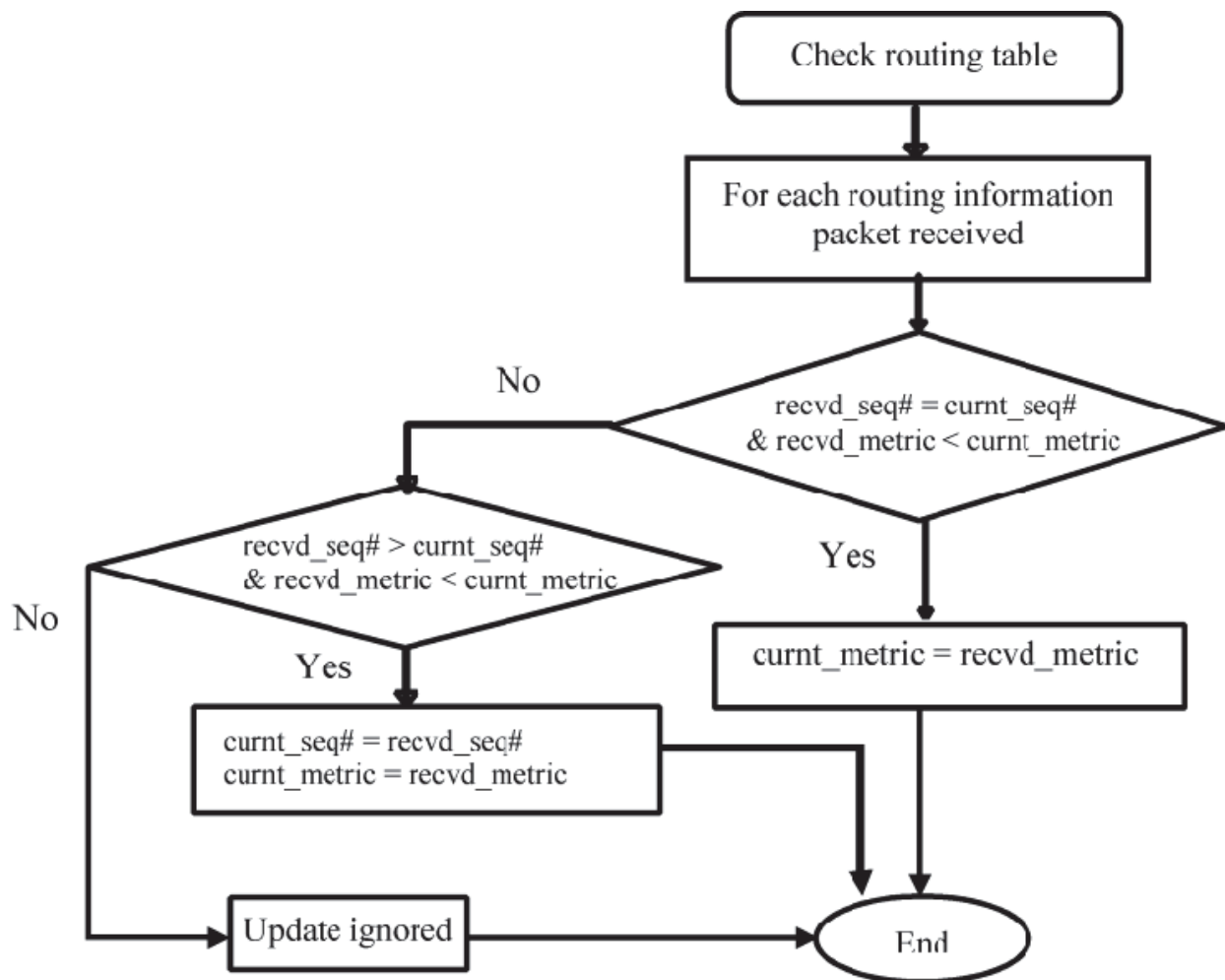
Η διαφήμιση των μονοπατιών που πρόκειται να αλλάξουν μπορεί να καθυστερήσει μέχρι να βρεθούν τα καλύτερα. Καθυστερώντας την διαφήμιση πιθανόν ασταθή μονοπατιών μπορούν να περιοριστούν οι διακυμάνσεις και να μειωθούν οι επανεκπομπές μονοπατιών με τον ίδιο αριθμό ακολουθίας.

Εξαιτίας της δυναμικότητας του δικτύου και των συνεχών αλλαγών της τοπολογίας του οι ενημερώσεις δρομολόγησης πρέπει να είναι πολύ γρήγορες για την διατήρηση της αξιοπιστίας. Κατά την διαδικασία ενημέρωσης ο πρωτότυπος κόμβος ετικετοποιεί κάθε πακέτο ενημέρωσης με έναν αριθμό ακολουθίας προκειμένου να είναι διακριτές οι ανανεώσεις από τον καινούριο. Ο αριθμός ακολουθίας αυξάνεται μονοτονικά αναγνωρίζοντας μοναδικά κάθε ενημέρωση. Συνεπώς όταν ένας κόμβος λάβει ένα πακέτο ενημέρωσης ο αριθμός ακολουθίας πρέπει να είναι ίδιος ή μεγαλύτερος από τον πίνακα δρομολόγησης του παρόντος κόμβου. Σε περίπτωση που είναι μικρότερος το πακέτο είναι παλιό και πρέπει να απορριφθεί. Αν είναι ίδιος, τότε συγκρίνεται ο αριθμός αλμάτων για τον προορισμό και διατηρείτε το συντομότερο μονοπάτι.

Υπάρχουν δύο είδη πακέτων ενημέρωσης. Αυτά που περιέχουν πλήρη ενημέρωση για όλο το δίκτυο καθώς και τα “incremental” , τα οποία περιέχουν πληροφορίες μόνο για τις αλλαγές σε σχέση πάντα με την τελευταία πλήρη ενημέρωση.

Κάθε κόμβος , είπαμε , ότι μεταδίδει περιοδικά μία πλήρη ενημέρωση στους γείτονες. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας πολλαπλά NPDUS. Οι αυξητικές μεταδόσεις πραγματοποιούνται ανάμεσα στις πλήρεις και πρέπει σε όγκο να χωράνε σε ένα NPDU. Συνήθως γίνεται , αλλά πολλές φορές λόγω μικρών αλλαγών

που πραγματοποιούνται συχνά οδηγεί τα πακέτα σε μέγεθος που φτάνουν στο όριο του NPDU. Εκείνη την στιγμή προγραμματίζεται για αποστολή μία πλήρη ενημέρωση, ώστε η επόμενη αυξητική να είναι πάλι μικρή.



Σχήμα 5 : Διάγραμμα ροής για το πρωτόκολλο DSDV [41]

3.1.3 Πλεονεκτήματα

- Εγγύηση κατάργησης ατέρμονων επαναλήψεων
- Μειωμένο μέγεθος πινάκων λόγω διατήρησης μόνο του καλύτερου μονοπατιού
- Αποφυγή επιπλέον κίνησης με τις αυξητικές ενημερώσεις

3.1.4 Μειονεκτήματα

- Κατάχρηση χωρητικότητας λόγω μη αναγκαίων ενημερώσεων ακόμη και αν δεν υπάρχει αλλαγή στην τοπολογία
- Περιορισμένη επεκτασιμότητα. Η διατήρηση πινάκων για ένα μεγάλο δίκτυο θα οδηγούσε σε «μπούκωμα»
- Δύσκολο να ορίσει κανείς διάστημα για τις «διαφημίσεις»
- Δεν υποστηρίζει πολυδιαδρομική δρομολόγηση

3.2 AODV: Ad-hoc On-demand Distance Vector

3.2.1 Επισκόπηση

Όπως και με το DSDV το AODV , είναι και αυτό ένας αλγόριθμος δρομολόγησης ιδανικός για ad-hoc δίκτυα. Η πρωτυποποιημένη περιγραφή του βρίσκεται στο **RFC 3561** . Ταυτόχρονα έχει το πλεονέκτημα της μονοεκπομπής και πολυεκπομπής μαζί. Λέγεται αλγόριθμος σε ζήτηση. Χρησιμοποιείτε δηλαδή όταν του ζητείτε. «Χτίζει» μονοπάτια μεταξύ των κόμβων μόνο όπως επιθυμούν οι κόμβοι προέλευσης. Στα θετικά του είναι ότι τα μονοπάτια αυτά είναι ζωντανά μόνο όσο χρησιμοποιούνται. Επιπλέον χρησιμοποιεί την δομή δένδρου για να συνδέσει τα μέλη της ομάδας πολυεκπομπής. Περιλαμβάνουν και τους κόμβους που επιθυμούν να συνδεθούν με τους προηγούμενους. Χρησιμοποιεί αριθμούς ακολουθίας , πάλι , για λόγους αξιοπιστίας και συνέπειας και εκμηδενίζει τις ατελείωτες επαναλήψεις. Σε σχέση με το DSDV, είναι ιδανικό για μεγάλο πλήθος κόμβων , έχοντας έτσι πλούσια επεκτασιμότητα.

3.2.2 Μηνύματα

Οι αριθμοί ακολουθίας είναι το «κλειδί» για την αφαίρεση παλαιών πληροφοριών που δεν αξιοποιούνται από το δίκτυο. Ο αριθμός ακολουθίας λειτουργεί σαν χρονοσφραγίδα , ώστε να αποφεύγονται οι ατέρμονοι βρόγχοι. Ο αριθμός ακολουθίας προορισμού στους πίνακες ενημερώνεται όταν ο ξένιος παραλαμβάνει μήνυμα με μεγαλύτερο αριθμό ακολουθίας. Ο ξένιος μπορεί να αλλάξει τον αριθμό ακολουθίας προορισμού σε περίπτωση που προσφέρεται ένα καινούριο μονοπάτι ή αν ένα μονοπάτι πέθανε. Η ανακάλυψη μονοπατιού γίνεται με την αποστολή μηνύματος τύπου RREQ στους γείτονες με τον ζητούμενο αριθμό ακολουθίας προορισμού [44]. Το αίτημα αυτό δεν προσθέτει καμία πληροφορία για τους ξένιους που βρίσκονται πριν στο δίκτυο , απλά αυξάνει την μετρική αλμάτων. Η πληροφορία βοηθάει την απάντηση του κόμβου προορισμού να επιστρέψει πίσω στον αιτούντα ξένιο. Η απάντηση πραγματοποιείται με μηνύματα τύπου RREP. Τα μηνύματα αυτά μπορούν να παραχθούν μόνο από τον κόμβο προορισμό ή από κόμβους που γνωρίζουν ότι ο κόμβος προορισμός είναι ζωντανός. Όταν το μήνυμα φτάσει πίσω στον αιτούντα κόμβο η μετρική αυξάνεται. Οι ενδιαμέσοι ξένιοι καταγράφουν πληροφορίες για τον ξένιο που απάντησε. Οι ξένιοι πρέπει να καταγράφουν και να προωθούν νέες πληροφορίες μόνο όταν ο αριθμός ακολουθίας είναι μεγαλύτερος ή ίδιος αλλά με μικρότερο αριθμό αλμάτων. Τα μηνύματα τύπου RREP-ACK στέλνονται ως απαντήσεις σε μηνύματα τύπου RREP όταν υπάρχει κάποια γνωστοποίηση ότι ένα μονοπάτι είναι μονόδρομο και όχι αμφίδρομο, σε περίπτωση κατάρρευσης του στέλνεται μήνυμα τύπου RERR. Hello μηνύματα στέλνονται περιοδικά για την συντήρηση των πληροφοριών δρομολόγησης. [44]

- **RREQ:**

- Τα μηνύματα αυτού του τύπου , τύπου αιτήματος δρομολόγησης, στέλνονται όταν ο ξένιος δεν γνωρίζει την διαδρομή για τον ξένιο προορισμό ή η διαδρομή έχει λήξει. Ο ξένιος που δεν γνωρίζει την διαδρομή για τον προορισμό στέλνει ένα μήνυμα αιτήματος , το οποίο περιλαμβάνει τον αριθμό ακολουθίας διαδρομής που του στάλθηκε τελευταία φορά και υπάρχει στον πίνακα του. Εάν δεν υπάρχει ο ξένιος προορισμός στον πίνακα του ξένιου που ψάχνει τότε , σηματοδοτείται η σημαία αγνώστου αριθμού ακολουθίας. Επίσης το μήνυμα περιλαμβάνει και τον αριθμό ακολουθίας του ίδιου του ξένιου που αιτείται για ενημέρωση, ο οποίος αυξάνεται κατά 1 προτού σταλθεί. Ένα άλλο στοιχείο του μηνύματος είναι το ID. Συμβολίζεται με αριθμό και αυξάνεται κατά 1 προτού σταλθεί , βάση των αιτημάτων που έχει στείλει ο ίδιος ξένιος παλαιότερα. Ο μετρητής αλμάτων πρέπει να τεθεί σε 0 και πριν σταλθεί το μήνυμα αιτήματος , το ID μαζί με την διεύθυνση του πρέπει να αποθηκευτούν στον καταχωρητή για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, ώστε να αναγνωρίζει τις απαντήσεις που γυρνάνε πίσω. Υπάρχει πιθανότητα η επικοινωνία προς μερικούς ξένιους να είναι μονόδρομη. Σε αυτήν την περίπτωση προστίθεται ένα ακόμη πεδίο στο μήνυμα αιτήματος , το πεδίο G. Με αυτόν τον τρόπο κάθε ενδιαμέσος ξένιος θα παράγει ένα μήνυμα απάντησης το οποίο και θα εκπέμπει στον ζητιάνο ξένιο. Πέρα από αυτό θα παράγουν ένα ακόμη μήνυμα απάντησης αλλά για τον κόμβο προορισμού. Υπάρχει όριο στον αριθμό μηνυμάτων αιτήματος που μπορεί να στείλει ένα ξένιος κάθε λεπτό , περιμένοντας πριν αναμεταδώσει το μήνυμα, και συγκεκριμένος αριθμός επαναδοκιμών που μπορεί να στείλει συνολικά. Όλες οι επαναληπτικές προσπάθειες πρέπει να γίνουν με δυαδική εκθετική υποχώρηση. Πρόκειται για μια διαδικασία (αλγόριθμο) που έχει στόχο την απελευθέρωση χώρου από επαναληπτικές αναμεταδώσεις ώστε να αποφεύγετε η σύγχυση στο δίκτυο. Αρχικά , όταν ο ξένιος λαμβάνει ένα τέτοιο μήνυμα , ελέγχει την χρονική περίοδο μεταξύ του τελευταίου μηνύματος ίδιου τύπου από τον ίδιο ξένιο και απορρίπτει το μήνυμα αν είναι κάτω από το όριο. Ο επόμενος ξένιος αυξάνει τον αριθμό άλματος κατά 1 και ανανεώνει τον δικό του πίνακα δρομολόγησης με τον αριθμό ακολουθίας, αριθμό αλμάτων και με την αντίστοιχη διεύθυνση ξένιου. Ο ξένιος στον οποίο βρίσκεται το αίτημα ενημερώνει για την εγκυρότητα του μονοπατιού στον αιτούντα ξένιο και προσθέτει πληροφορίες για το επόμενο άλμα ορίζοντας σε ποιον θα προωθεί αμέσως μετά. Ο ξένιος πρέπει να μετρήσει το χρόνο ζωής του μονοπατιού για τον αιτούντα ξένιο. Αν ο αριθμός ακολουθίας είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό ακολουθίας του μηνύματος , τότε ενημερώνει το μήνυμα κατάλληλα χωρίς όμως να αλλάξει τον δικό του πίνακα. Τέλος προτού εκπέμπει το μήνυμα στον επόμενο ξένιο μειώνει τον χρόνο διάρκειας ζωής (TTL – Time to Live) το πακέτο στην κεφαλίδα IP. Το TTL είναι μία τεχνική για την αποφυγή ατέρμων βρόχων.

- **RREP, RREP-ACK:**

- Ένας ξένιος μπορεί να παράγει μηνύματα τύπου απάντησης αν είναι ο ίδιος του ο κόμβος προορισμός ή εάν το μονοπάτι για τον προορισμό είναι έγκυρο και έχει αριθμό ακολουθίας μεγαλύτερο, αλλά μόνο εάν το πεδίο D δεν έχει οριστεί. Το D πεδίο υφίσταται στα πακέτα τύπου αιτήματος και σηματοδοτεί ότι μόνο ο κόμβος προορισμός μπορεί να απαντήσει σε ένα μήνυμα αιτήματος [44]. Όταν παράγει ένα μήνυμα απάντησης , ο ξένιος αντιγράφει την διεύθυνση προορισμού και τον αριθμό ακολουθίας του αιτούντα ξένιου στα αντίστοιχα πεδία του μηνύματος. Εάν ο παραλήπτης είναι ο κόμβος προορισμού , τότε αυξάνει τον αριθμό ακολουθίας του και τον αντιγράφει στο αντίστοιχο πεδίο του

μηνύματος. Παράλληλα ο αριθμός αλμάτων μηδενίζεται και ο χρόνος ζωής θέτετε στην αρχική του τιμή. Εάν ο παραλήπτης είναι ενδιάμεσος και όχι κόμβος προορισμού, τότε απλά αντιγράφει τον αριθμό ακολουθίας προορισμού από τον πίνακα δρομολόγησης και προσθέτει την διεύθυνση ξένιου, από τον οποίο παρέλαβε το μήνυμα αιτήματος, στο πεδίο διεύθυνσης προορισμού. Επίσης στο μήνυμα απάντησης προσθέτει ο ξένιος και τον αριθμό αλμάτων και τον χρόνο ζωής από τον πίνακα δρομολόγησης. Ο χρόνος ζωής υπολογίζεται αφαιρώντας την τωρινή ώρα από την ώρα λήξης που υπάρχει στον πίνακα. Όταν παραχθεί ένα μήνυμα απάντησης στέλνεται με μονοεκπομπή στο επόμενο άλμα ώστε τελικά να φτάσει στον κόμβο προορισμό. Κατά την διάρκεια των αποστολών ο αριθμός αλμάτων αυξάνεται κάθε φορά, έτσι ώστε με την άφιξη του στον κόμβο προορισμό να γνωρίζει την απόσταση μεταξύ αποστολέα και του ίδιου του. Τα ανέξοδα μηνύματα απαντήσεις είναι σαν τα πρωτότυπα με την διαφορά ότι στέλνονται μόνο στον κόμβο προορισμό και όλα τα πεδία παράγονται με τον ίδιο τρόπο, συμπληρώνοντας μόνο την διεύθυνση προορισμού. Εάν ο κόμβος που δημιουργεί το ανέξοδο μήνυμα στείλει στον κόμβο προορισμό και ο κόμβος προορισμού έχει ήδη στείλει μήνυμα αιτήματος, τότε το περιεχόμενο του μηνύματος αιτήματος και το περιεχόμενο του μηνύματος απάντησης που στάλθηκε σε προηγούμενο αίτημα είναι τα ίδια. Όταν ο ξένιος παραλαμβάνει το μήνυμα απάντησης ψάχνει για το προηγούμενο άλμα και αυξάνει την μετρική κατά 1. Εάν δεν υπάρχει εγγραφή στον πίνακα του για το προηγούμενο μονοπάτι, τότε προστίθεται αλλά όχι με έγκυρο αριθμό ακολουθίας. Αρχικά ο ξένιος πρέπει να συγκρίνει τους αριθμούς ακολουθίας. Η εγγραφή στον πίνακα ενημερώνεται μόνο στις περιπτώσεις όπου : ο αριθμός ακολουθίας έχει σημειωθεί ως άκυρος, ο αριθμός ακολουθίας προορισμού είναι μεγαλύτερος από αυτόν που βρίσκεται στον πίνακα και το μονοπάτι έχει σημειωθεί ως έγκυρο, οι αριθμοί ακολουθίας είναι ίδιοι αλλά το μονοπάτι που υπάρχει στον πίνακα είναι μη ενεργό ή τέλος όταν οι αριθμοί ακολουθίας είναι ίδιοι αλλά ο αριθμός αλμάτων είναι μεγαλύτερος στον πίνακα. Αν δημιουργηθεί μονοπάτι ή ενημερωθεί τότε αυτό πρέπει να σημειωθεί ως ενεργό και ο αριθμός ακολουθίας προορισμό ως έγκυρος. Επίσης στον πίνακα δρομολόγησης καταχωρείται και το επόμενο άλμα στην διεύθυνση ξένιου από όπου παραλήφθηκε το μήνυμα απάντησης. Ο αριθμός αλμάτων αυξάνεται και ο χρόνος λήξης θέτετε ως ο τωρινός χρόνος συν τον χρόνο ζωής από το μήνυμα απάντησης. Ο αριθμός ακολουθίας προορισμού αντιγράφεται από το μήνυμα και εν τέλει προωθείτε στον αιτών χρησιμοποιώντας το επόμενο άλμα από τον πίνακα. Εάν για κάποιο λόγο υπάρχει πρόβλημα στην διεύθυνση που προωθείτε το μήνυμα τότε σηματοδοτείται το πεδίο A, που αντιστοιχεί στον αποστολέα να παράγει ένα μήνυμα τύπου RREP-ACK πίσω στον αποστολέα.

- **RERR:**

- Όταν έχουμε διάσπαση του μονοπατιού πρέπει ο ξένιος να ακυρώσει το μονοπάτι από τον πίνακα. Επίσης πρέπει να ελέγξει ποιοι κόμβοι επηρεάζονται από την διάσπαση και να τους ενημερώσει με ένα μήνυμα λάθους. Το μήνυμα αυτό μπορεί να σταλεί με εκπομπή σε πολλούς ή αν το πρόβλημα το έχει ένας και με μονοεκπομπή. Υπάρχει και η δυνατότητα, αν η εκπομπή δεν είναι δυνατή, να χρησιμοποιηθεί μονοεκπομπή σε κάθε κόμβο ξεχωριστά. Παρόλα αυτά πρέπει να σκεφτούμε ότι αυτή η περίπτωση μονοεκπομπής είναι σαν εκπομπή που καταλήγει απλά σε ένα κόμβο και τα μηνύματα λάθους ανά δευτερόλεπτο είναι περιορισμένα. Συνεπώς είναι ζωτικά για την απόδοση του δικτύου μας. Εάν ο ξένιος εντοπίσει πρόβλημα σε ενεργό μονοπάτι, τότε κάνει μία λίστα με όλους τους κόμβους που δεν προσεγγίζονται βασισμένη στις εγγραφές του πίνακα και οι μη προσεγγίσιμοι γείτονες δρουν σαν τις διευθύνσεις επόμενου άλματος. Εάν ο ξένιος λάβει μηνύματα λάθος τότε οι μη προσεγγίσιμοι προορισμοί είναι αυτοί των οποίων η διεύθυνση είναι ίδια στο μήνυμα λάθους και στις διευθύνσεις επόμενο άλματος. Οι αριθμοί ακολουθίας των μη προσεγγίσιμων προορισμών πρέπει να αυξηθούν ή εάν ο ξένιος έχει λάβει

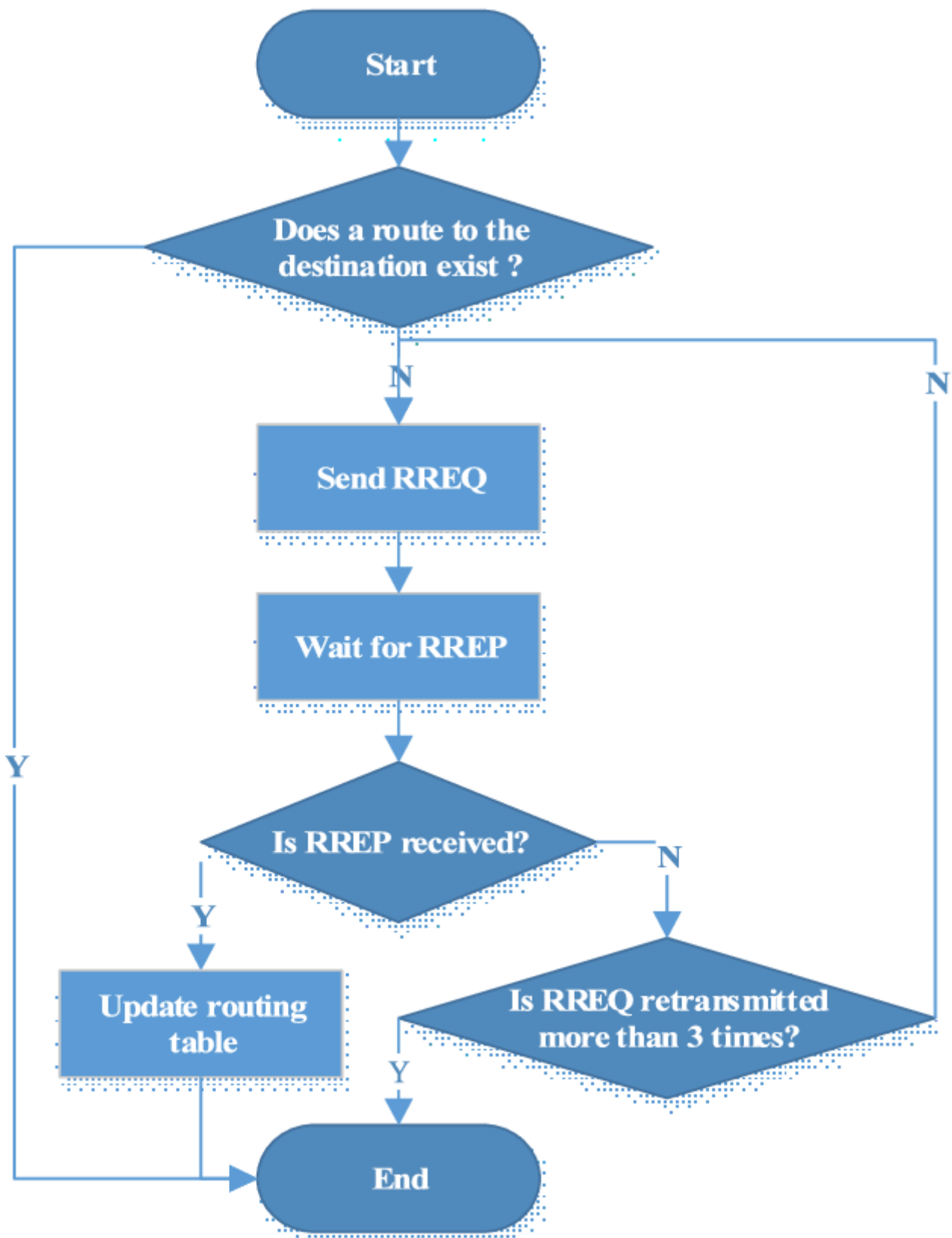
μήνυμα λάθος να τους αντιγράψει από αυτό. Μετά από αυτό οι εγγραφές για τους μη προσεγγίσιμους κόμβους πρέπει να τεθούν με άκυρο χρόνο ζωής. Ο χρόνος ζωής τίθεται στον τωρινό συν τον χρόνο που χρειάζεται για διαγραφή , ώστε η εγγραφή να μην διαγραφεί άμεσα , αλλά όταν περάσει ο χρόνος διαγραφής της. Τέλος το μήνυμα λάθους με όλους τους μη προσβάσιμους κόμβους πρέπει να σταλθεί με μονοεκπομπή στον καθένα ή με εκπομπή σε όλους. Το πεδίο “DestCount” περιγράφει τον αριθμό των κόμβων που δεν προσεγγίζονται.

- **Hello:**

- Παρόλο που αποτελεί αντιδραστικό πρωτόκολλο χρησιμοποιεί τα μηνύματα χαιρετισμού για να ενημερώσει τους γείτονες ότι η διασύνδεση στον ξένο είναι ζωντανή. Εκπέμπονται με χρόνο ζωής ίσο με 1 , ώστε το μήνυμα να μην προωθηθεί περαιτέρω. Όταν ένας ξένιος λαμβάνει ένα μήνυμα χαιρετισμού , τότε ανανεώνει το χρόνο των πληροφοριών του στο πίνακα δρομολόγησης. Εάν όμως ένας ξένιος δεν δεχθεί πληροφορίες για ένα χρονικό διάστημα τότε οι πληροφορίες στον πίνακα σημειώνονται ως χαμένες. Αυτή η κατάσταση πυροδοτεί την δημιουργία ενός μηνύματος απάντησης , ώστε να ενημερώσει για την διάσπαση συνδέσμου. Τα μονοπάτια που δημιουργήθηκαν από μηνύματα χαιρετισμού αλλά δεν χρησιμοποιήθηκαν ποτέ δεν πρέπει να παράγουν μήνυμα λάθους κατά την διάσπαση τους.

3.2.3 Επισκευή

Όταν συμβεί μία διάσπαση συνδέσμου τότε ο ξένιος μπορεί να επιδιορθώσει τον σύνδεσμο εάν ο προορισμός δεν είναι πιο μακριά από συγκεκριμένο αριθμό βημάτων. Για να τον διορθώσει ο ξένιος αυξάνει τον αριθμό ακολουθίας προορισμού και εκπέμπει το μήνυμα αιτήματος (RREQ) στον ξένο. Για να μην παραχθεί περιττή κίνηση στο δίκτυο πρέπει να υπολογιστεί ο χρόνος ζωής στην κεφαλίδα διεύθυνσης IP. Ο ξένιος περιμένει μήνυμα απάντησης στο μήνυμα αιτήματος που είχε στείλει για την διόρθωση ,για συγκεκριμένο χρόνο. Εάν δεν παραληφθεί το μήνυμα μέσα στα χρονικά περιθώρια , τότε αλλάζει η εγγραφή του πίνακα σε άκυρη. Εάν όμως παραληφθεί τότε συγκρίνεται ο αριθμός βημάτων. Σε περίπτωση που η μετρική βημάτων του μηνύματος είναι μεγαλύτερη από την προηγούμενη τότε έναν μήνυμα λάθους με το πεδίο N ενεργό εκπέμπετε. Το πεδίο N σε ένα μήνυμα λάθους υποδηλώνει ότι ξένιος έχει επισκευάσει τον σύνδεσμο και η εγγραφή στον πίνακα πρέπει να διαγραφεί. Η επισκευή του συνδέσμου πριν την αποστολή των δεδομένων σε έναν μη διαθέσιμο ξένο είναι μία προληπτική επισκευή. Οι προληπτικές όμως δράσεις είναι περιττές στις περιπτώσεις που ο σύνδεσμος δεν χρησιμοποιείτε πια, με αποτέλεσμα την κατανάλωση πόρων χωρίς να είναι αναγκαίο. Εκεί που είναι αποδοτική μία προληπτική επισκευή είναι όταν υπολογίζεται ο φόρτος και η κίνηση του δικτύου.



Σχήμα 6 : Διάγραμμα ροής για το πρωτόκολλο AODV [42]

3.2.4 Πλεονεκτήματα

- Αποκεντροποιημένο. Ελαχιστοποιεί τα μηνύματα ελέγχου κίνησης που προσθέτουν επιπλέον φόρτο με αντάλλαγμα την αύξηση της καθυστέρησης για την ανίχνευση μονοπατιών.
- Όπως όλα τα πρωτόκολλα δρομολόγησης απόστασης διανύσματος εκμηδενίζει τους ατέρμονους βρόγχους με τους αριθμούς ακολουθίας.
- Αντιδρά πολύ γρήγορα στις τοπολογικές αλλαγές και ενημερώνει μόνο τους κόμβους που επηρεάζονται από αυτές με τα μηνύματα απάντησης.
- Τα μηνύματα που χαιρετισμού που διατηρούνται για την συντήρηση των μονοπατιών καταλαμβάνουν πάρα πολύ μικρό μέρος της κίνησης, όπως και τα μηνύματα αιτήματος και απάντησης για την ανακάλυψη μονοπατιών.

3.2.5 Μειονεκτήματα

- Σε μεγάλα πλεγματοειδή δίκτυα η καθυστέρηση ανακάλυψης μονοπατιών μπορεί να είναι αρκετά μεγάλη. Αυτό συμβαίνει γιατί το έναυσμα για το ξεκίνημα της αναζήτησης είναι η εμφάνιση μιας ροής κίνησης.
- Δεν γίνεται επαναχρησιμοποίηση των πληροφοριών δρομολόγησης γιατί αποστέλλονται μόνο κατά ζήτηση.
- Προσθήκη επιπλέον φόρτου στο εύρος ζώνης. Εμφανίζεται όταν ένα μήνυμα αιτήματος ταξιδεύει από έναν κόμβο σε έναν άλλον για την διαδικασία ανακάλυψης πληροφοριών δρομολόγησης κατά ζήτηση και αυτό στήνει ένα ανάστροφο μονοπάτι με όλες τις διευθύνσεις των κόμβων μέσω των οποίων μεταβαίνει κουβαλώντας το όλο κατά την διάρκεια.
- Ο αλγόριθμος απαιτεί ότι οι κόμβοι στο μέσο εκπομπής θα μπορούν να εντοπίσουν τις εκπομπές του καθένα μέσα σαντό.
- Ευάλωτο σε επιθέσεις αφού τα μηνύματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εσωτερικές επιθέσεις όπως : καταστροφή μονοπατιού, απομόνωση κόμβου και κατάχρηση πόρων.

3.3 OLSR: Optimized Link State Routing

3.3.1 Επισκόπηση

Πρόκειται για ένα ad-hoc πρωτόκολλο , όπως τα προηγούμενα 2 που αναλύσαμε, το οποίο δρα προληπτικά. Η λειτουργία του περιγράφεται πλήρως στο RFC 3626. Ως προληπτικό λοιπόν , χρησιμοποιεί κατά διαστήματα μηνύματα , ώστε να κρατάει ενημερωμένες τις πληροφορίες της τοπολογίας του δικτύου. Σε ένα κλασσικό πρωτόκολλο κατάστασης ζεύξης τα πακέτα περιλαμβάνουν λίστες με όλους τους γείτονες και αντίστοιχες μετρικές αλμάτων προσθέτοντας υπέρογκο φορτίο στο δίκτυο. Αυτά τα πακέτα

εκπέμπονται σε ολόκληρο το δίκτυο δημιουργώντας προβλήματα σε τέτοια με μικρό ζωνικό εύρος. Το OLSR μειώνει αρκετά αυτό το φορτίο με τον μηχανισμό της πολυσημιακής αναμετάδοσης (MPR), μηχανισμός πλημμύρας. Ταιριάζει αρκετά σε εκτενή και πυκνά δίκτυα. Μάλιστα όσο μεγαλύτερο είναι το δίκτυο τόσο πιο αποδοτικό γίνεται αφού η κίνηση περνάει από επιλεγμένους κόμβους, τους MPR [45], για την αναμετάδοση μηνυμάτων ελέγχου. Έτσι μειώνεται ο αριθμός των αναμεταδόσεων που χρειάζεται για να φτάσει σε όλους τους κόμβους του δικτύου. Προκειμένου να βρεθεί το κοντινότερο μονοπάτι, το OLSR απαιτεί ελάχιστη κίνηση να διαχυθεί στο δίκτυο αφού το μόνο που χρειάζεται οπωσδήποτε είναι η δήλωση των συνδέσμων των κόμβων με τους MPR. Επίσης προκειμένου να μένει ενημερωμένο στις τοπολογικές αλλαγές μπορεί να μειώσει το μέγιστο χρονικό διάστημα όπου μεταδίδει μηνύματα ελέγχου. Έχει σχεδιαστεί για να δουλεύει με έναν κατανεμημένο τρόπο και δεν βασίζεται σε κάποιο κέντρο διαχείρισης (Αποκεντροποιημένο). Δεν απαιτεί αξιόπιστη μετάδοση μηνυμάτων επειδή κάθε κόμβος στέλνει περιοδικά μηνύματα, όποτε είναι λογικό να υπάρχουν κάποιες απώλειες. Συμβαίνουν συχνά στα ραδιοφωνικά δίκτυα λόγω συγκρούσεων ή προβλημάτων μετάδοσης. Όπως και τα άλλα πρωτόκολλα και αυτό, υιοθετεί τον μηχανισμό αριθμών ακολουθίας για την εξακρίβωση της πληροφορίας. Συνεπώς, ακόμη και αν αναδιαταχθούν κατά την μετάδοση εξακριβώνεται εύκολα η σειρά των πακέτων.

3.3.2 Μηνύματα

Στο κομμάτι της λειτουργίας του πρωτοκόλλου έχουμε τρεις κατηγορίες μηνυμάτων που χρησιμοποιούνται. Αυτά είναι τα Hello, TC, MID [45]. Τα μηνύματα χαιρετισμού χρησιμοποιούνται για να γνωρίζουν όλοι οι κόμβοι ποιοι είναι γείτονες τους και είναι ζωντανοί. Τα μηνύματα ελέγχου τοπολογίας είναι η σηματοδότηση κατάστασης των συνδέσεων που πραγματοποιείτε από το OLSR. Ακόμη και αυτά έχουν δεχθεί βελτίωσης με τον μηχανισμό MPR. Τα μηνύματα MID χρησιμοποιούνται για να ενημερώσουν άλλους ξένιους ότι ο αναγγέλλων ξένιος μπορεί να έχει πολλές διευθύνσεις διεπαφής.

- **Hello**

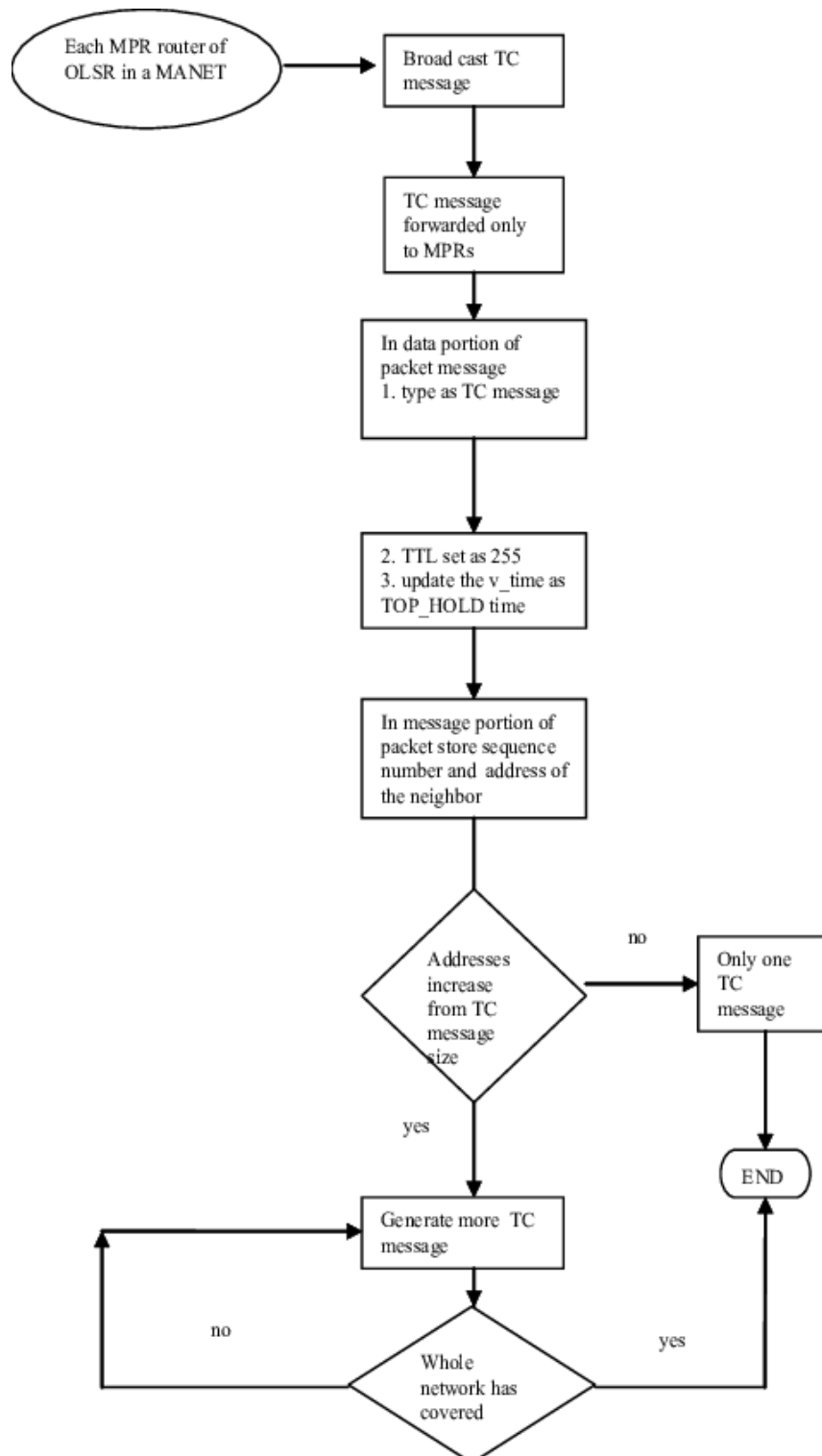
- Η λειτουργία τους σχετίζεται με την πληροφόρηση των κόμβων και με ποιους συνορεύουν οι ίδιοι τους. Αποτελείται από 3 μέρη. Την αίσθηση συνδέσμου, τον εντοπισμό γειτόνων και την επιλογή σηματοδοσίας MPR. Αυτές οι 3 διεργασίες παίρνουν μέρος στην κίνηση του δικτύου με την μορφή πακέτων που ανταλλάσσονται μεταξύ μίας «γειτονιάς», με σκοπό την ανακάλυψη της τοπολογίας της. Ένα μήνυμα χαιρετισμού παράγεται βάση του συνόλου του τοπικού συνδέσμου, του συνόλου των γειτόνων και του συνόλου του MPR. Ένας κόμβος πρέπει να πραγματοποιήσει την αίσθηση συνδέσμου σε κάθε διεπαφή, προκειμένου να εντοπίσει συνδέσεις μεταξύ διεπαφών και διεπαφών γειτόνων. Επιπρόσθετα ένας κόμβος πρέπει να «διαφημίσει» όλους τους κόμβους από τους οποίους απέχει μόνο ένα βήμα σε κάθε διεπαφή προκειμένου να εντοπίσει τους γείτονες του. Έτσι για μία δεδομένη διεπαφή ένα μήνυμα χαιρετισμού θα περιέχει 2 λίστες, μία λίστα συνδέσμων σ' αυτήν την διασύνδεση και μία λίστα ολόκληρης της γειτονιάς. Για έναν κόμβο με μία μόνο διεπαφή, η κύρια διεύθυνση του είναι απλά και διεύθυνση διεπαφής του. Ουσιαστικά δεν υπάρχει προώθηση μηνυμάτων χαιρετισμού και όπως αναφέρει το RFC δεν πρέπει ποτέ να προωθούνται. Αυτό συμβαίνει γιατί το μήνυμα εκπέμπεται από έναν κόμβο μέσω της διεπαφής στους γείτονες.

- **TC**

- Προκειμένου να χτιστεί η βάση πληροφορίας της τοπολογίας κάθε κόμβος που έχει επιλεχθεί ως κόμβος MPR, εκπέμπει μηνύματα ελέγχου τοπολογίας. Αυτά τα μηνύματα πλημμυρίζουν όλους τους κόμβους του δικτύου μέσω των MPR. Οι κόμβοι MPR προσφέρουν μία επεκτασιμότητα στην κατανομή των πληροφοριών τοπολογίας. Η λίστα των διευθύνσεων μπορεί να είναι μερική σε κάθε μήνυμα (εξαιτίας των ορίων μεγέθους του μηνύματος), αλλά όλο το σύνολο μαζί πρέπει να έχει συγκεντρωθεί μέσα σε μία περίοδο που οριοθετείτε. Τα μηνύματα αυτά βοηθούν τους κόμβους να ξαναυπολογίσουν τους πίνακες δρομολόγησής τους. Όταν έχουν σταλθεί όλες οι πληροφορίες διαφήμισης από έναν κόμβο, ο κόμβος αυτός πρέπει να συνεχίσει να στέλνει (άδεια) πακέτα ελέγχου μέχρι το χρονικό περιθώριο που έχει, ώστε να ακυρώσει τα προηγούμενα μηνύματα ελέγχου. Τότε πρέπει να σταματήσει την αποστολή μέχρι κάποιος κόμβος να εισέλθει στο σύνολο διαφήμισης του. Τα μηνύματα αυτά εκπέμπονται και αναμεταδίδονται από τους κόμβους MPR για να ξεχυθούν σε όλο το δίκτυο. Πρέπει να προωθούνται βάση του προκαθορισμένου αλγορίθμου προώθησης (RFC – ενότητα 3.4).

- **MID**

- Για κόμβους που κατέχουν μία μόνο διεπαφή, είναι απλά τα πράγματα, αφού η κύρια διεύθυνση τους είναι και διεύθυνση διεπαφής ταυτόχρονα. Για κόμβους που κατέχουν πολλές διευθύνσεις διεπαφής, η σχέση μεταξύ των διευθύνσεων διεπαφής και των κύριων διευθύνσεων ορίζονται μέσα από την ανταλλαγή μηνυμάτων πολλαπλών διεπαφών. Κάθε τέτοιος κόμβος πρέπει να ανακοινώνει ,περιοδικά, πληροφορίες περιγράφοντας την παραμετροποίηση κάθε διεπαφής στους άλλους κόμβους του δικτύου. Αυτό γίνεται με την διάχυση ενός μηνύματος δήλωσης διεπαφών σε όλους τους κόμβους μέσω του μηχανισμού πλημμύρας MPR. Κάθε κόμβος γνωρίζει πληροφορίες και για τους άλλους κόμβους μέσω αυτών των μηνυμάτων για τον υπολογισμό των πινάκων. Ένα τέτοιο μήνυμα περιλαμβάνει μία λίστα διευθύνσεων που αντιστοιχίζονται με τις κύριες διευθύνσεις του κόμβου που το στέλνει.



Σχήμα 7 : Διάγραμμα ροής για το πρωτόκολλο OLSR [43]

3.3.3 Πλεονεκτήματα

- Διεσπαρμένο για την διαδικασία δρομολόγησης. Ως προληπτικό πρωτόκολλο παρέχει πληροφορίες δρομολόγησης σε όλους τους συμμετέχοντες κόμβους. Αν και έχει μία αδυναμία ως την κίνηση του

δικτύου, εξαιτίας των πακέτων που στέλνει κάθε κόμβος για την διατήρηση ενημερωμένης τοπολογίας , ισοσταθμίζεται με τον μηχανισμό MPR που επιτρέπει την προώθηση μόνο τοπολογικών μηνυμάτων.

- Κατέχει επεκτάσεις που επιτρέπουν στους ξένους να έχουν πολλαπλές διευθύνσεις διεπαφής και παρέχει εξωτερικές πληροφορίες δρομολόγησης δίνοντας την δυνατότητα για δρομολόγηση σε εξωτερικές διευθύνσεις, που δεν βρίσκονται στην ίδια διεπαφή. Έτσι κάποιοι ξένοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μεταβατική πύλη για ένα άλλο δίκτυο.
- Το OLSR είναι ιδανικό για εφαρμογές όπου δεν επιτρέπονται μεγάλες καθυστερήσεις στην μετάδοση των πακέτων. Το καλύτερο περιβάλλον λειτουργίας για αυτό είναι πυκνά δίκτυα με μεγάλο αριθμό κόμβων.
- Εξαιτίας της απλότητας του με την χρήση διεπαφών , είναι εύκολη η ενοποίηση του με τα υπάρχοντα λειτουργικά συστήματα , χωρίς να γίνουν αλλαγές σε μορφοποιήσεις της κεφαλίδας IP. Το πρωτόκολλο αλληλοεπιδρά μόνο με τους πίνακες δρομολόγησης του ξένιου.
- Ένα πολύ δυνατό πλεονέκτημα είναι η παραμετροποίηση της αντιδραστικότητας σε τοπολογικές αλλαγές. Αυτό γίνεται με την αλλαγή του χρονικού περιθωρίου για εκπομπή μηνυμάτων χαιρετισμού. Έτσι αυξάνεται η αξιοπιστία του πρωτοκόλλου για ad-hoc δίκτυα, αφού οι αλλαγές μεταξύ ζευγαριών προορισμού και προέλευσης είναι πολύ γρήγορες.

3.3.4 Μειονεκτήματα

- Γίνεται συνεχώς χρήση του εύρους ζώνης.
- Τα μεγέθη των πινάκων δεν αυξάνονται γραμμικά και τα μηνύματα ελέγχου μπορούν να εμποδίσουν τα πραγματικά πακέτα.
- Έχει καθυστερήσεις δρομολόγησης και υπερφόρτωση του εύρους ζώνης στους MPR κόμβους , όταν αυτοί δρουν ως τοπικοί δρομολογητές.
- Όταν παρέχεται ένα μονοπάτι για την μετάβαση ενός πακέτου από έναν κόμβο σε έναν άλλον , δεν σημαίνει απαραίτητα ότι είναι το πιο σύντομο , αφού η προώθηση γίνεται μέσω των MPR κόμβων.

4

Δίκτυα Ασύρματης επικοινωνίας οχημάτων

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δύο δεκαετιών, διάφορες πρωτοβουλίες και τεχνικές ομάδες που υποστηρίζονται από φορείς τυποποίησης, όπως η ομάδα εργασίας IEEE 802.11p, η ομάδα εργασίας ISO TC204 16 και η τεχνική επιτροπή ETSI ITS έχουν δημιουργηθεί για να λύσουν πολλά από τα προβλήματα μεταφοράς της κοινωνίας μας. Από την άποψη αυτή, τρεις κύριες κατηγορίες εφαρμογών έχουν ως στόχο: (i) εφαρμογές οδικής ασφάλειας, (ii) εφαρμογές κυκλοφορίας και (iii) εφαρμογές αξίας.

- Εφαρμογές οδικής ασφάλειας: Πρωταρχικός στόχος αυτού του συνόλου εφαρμογών είναι η μείωση των θανατηφόρων τροχαίων ατυχημάτων, βοηθώντας και προειδοποιώντας τον οδηγό για τους πιθανούς κινδύνους. Αυτή η κατηγορία καλύπτει εφαρμογές όπως προειδοποίηση για προ-σύγκρουσης και προειδοποίηση κινδύνου σύγκρουσης.
- Εφαρμογές απόδοσης κυκλοφορίας: Η κατηγορία αυτή προορίζεται για την ανακούφιση της κυκλοφοριακής συμφόρησης, βοηθώντας στην παρακολούθηση της κυκλοφοριακής ροής και παρέχοντας εναλλακτικά δρομολόγια στους οδηγούς. Αυτές οι εφαρμογές καθιστούν τα συστήματα μεταφοράς όχι μόνο πιο αποτελεσματικά αλλά και πιο φιλικά προς το περιβάλλον, βελτιστοποιώντας τις οδούς και μειώνοντας τις εκπομπές αερίων.
- Εφαρμογές προστιθέμενης αξίας: Περιλαμβάνουν υπηρεσίες κάτ. 'απαίτηση σχετικά με την ψυχαγωγία, την άνεση ή τη διαχείριση των οχημάτων. Μπορούν να παρέχονται είτε δωρεάν είτε έναντι αμοιβής - κάτι που θα μπορούσε να βοηθήσει στη χρηματοδότηση της ανάπτυξης τέτοιων δικτύων. Επίσης, με την κοινοποίηση ενός σημείου ενδιαφέροντος (π.χ. χώρος στάθμευσης, εστιατόριο κ.λπ.), ορισμένες από αυτές τις εφαρμογές μπορεί να βοηθήσουν να εξοικονομηθεί χρόνος και κατ' επέκταση μείωση της κατανάλωσης καυσίμων.

Πίνακας 1 Απαιτήσεις υπηρεσιών ανά κατηγορία

Κατηγορία εφαρμογής	Ανοχή καθυστέρησης	Εύρος	Παράδειγμα
Οδικής ασφάλειας	Χαμηλή	Τοπικό	Προειδοποίηση πριν από τη συντριβή (50 ms) Προειδοποίηση κινδύνου σύγκρουσης (100 ms)
Απόδοσης κυκλοφορίας	Μερική	Μέτριο	Πληροφορίες κυκλοφορίας Συνιστάμενη διαδρομή (500 ms)
Προστιθέμενης αξίας	Μεγάλη	Μέτριο	Ενημέρωση λήψης χάρτη Ειδοποίηση σημείου ενδιαφέροντος (500 ms)

Στον Πίνακα 1 μπορούμε να δούμε ότι οι ομάδες υπηρεσιών που παρουσιάζονται παραπάνω έχουν διαφορετικές απαιτήσεις, από την άποψη του εύρους, της καθυστέρησης και της απόδοσης. Πράγματι, καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών που ποικίλλουν από "τοπικά" στέλνοντας ένα μικρό και επείγον μήνυμα (π.χ. για να προειδοποιήσουν έναν οδηγό για μια επικείμενη συντριβή) στην ενημέρωση ενός χάρτη στην ενσωματωμένη συσκευή με τη λήψη ενός μεγάλου αρχείου από έναν απομακρυσμένο διακομιστή. Λαμβανομένων υπόψη των αντικρουόμενων απαιτήσεων των αιτήσεων, διάφορες αρχιτεκτονικές ITS (Intelligent Transportation Systems) έχουν προταθεί από πρωτοβουλίες επικοινωνιών οχημάτων και φορείς τυποποίησης. Συγκεκριμένα, οι περισσότεροι συμφωνούν σχετικά με την αναγκαιότητα της ύπαρξης ποικιλίας μέσων επικοινωνίας. [29]

4.1 Δίκτυα οχημάτων με χρήση προτύπου IEEE 802.11

Με τον όρο IEEE 802.11 αναφερόμαστε σε επικοινωνίες ασύρματων τοπικών δικτύων (WLAN), σε πληθώρα συχνοτήτων και χωρίς να περιορίζεται στις μπάντες συχνοτήτων 2.4GHz, 5GHz και 60GHz. Φυσικά αναφερόμαστε σ αυτό που γνωστοποιήθηκε στους καταναλωτές ως Wi-Fi. Αποτελεί μέρος της IEEE 802 των LAN πρωτοκόλλων και καθορίζει τα επίπεδα MAC και PHY. Πρόκειται για τα πιο πολύ διαδεδομένα πρότυπα για την διασύνδεση και την επικοινωνία συσκευών, όπως : laptop, desktop, tablet, κινητά τηλέφωνα κ.ά., αμφίδρομα καθώς και την σύνδεση τους στο διαδίκτυο χωρίς την χρήση καλωδίων. Εξαιτίας όλης αυτής της επιτυχίας ήρθε και έμεινε στις ζωές μας. Χαρακτηρίζεται από πληθώρα εκδόσεων, αφού με το πέρασμα του χρόνου βελτιώνεται και αναβαθμίζεται, προσφέροντας κάθε φορά καλύτερα ποιότητα υπηρεσίας. Η βελτίωση όμως της τεχνολογίας Wi-Fi εξαρτάται και από την εξέλιξη των ράδιο-τεχνολογιών αφού βασίζεται πάνω σε αυτή. Αναφερόμαστε στις τεχνολογίες που απαρτίζουν την επίτευξη

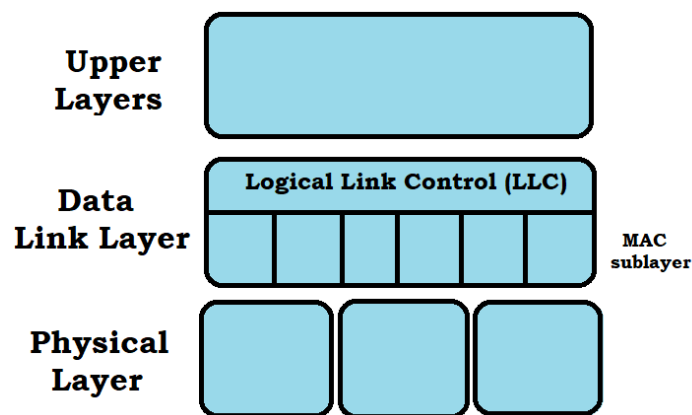
μιας ασύρματης επικοινωνίας. Από την κεραία μέχρι την μπάντα συχνοτήτων και την εμβέλεια. Μαζί με αυτά λοιπόν ακολουθεί και το Wi-Fi. Το Wi-Fi συνήθως χρησιμοποιεί τις ράδιο-μπάντες συχνοτήτων 2.4 και 5 GHz, οι οποίες διαιρούνται σε πολλά κανάλια. Κάθε κανάλι μπορεί να χρησιμοποιηθεί από περισσότερα του ενός δίκτυα ανάλογα με την χρονική στιγμή. Η προϋπόθεση είναι ότι την στιγμή που θέλει να χρησιμοποιήσει το κανάλι ένα δίκτυο να μην γίνεται χρήση από κάποιο άλλο, γιατί τότε θα είχαμε παρεμβολή.

Η καλύτερη επικοινωνία επιτυγχάνεται όταν έχουμε μία μετάδοση, όπου ενδιάμεσα δεν παρεμβάλλονται εμπόδια (LOS). Υπάρχει όμως και η αντίθετη περίπτωση η οποία είναι και η πιο συνηθισμένη, που υπάρχουν ανάμεσα εμπόδια κατά την μετάδοση του κύματος (NLOS). Σε μικρή απόσταση χωρίς εμπόδια και με καλό υλισμικό μπορούν να επιτευχθούν ταχύτητες της τάξης του 1GB/s. Αυτό όμως δεν σημαίνει πως υπάρχει ασφάλεια. Οι ασύρματες επικοινωνίες δεν προσφέρουν την ασφάλεια του καλωδίου, αφού η λήψη ενός σήματος μπορεί να γίνει από πολλούς και χωρίς να το γνωρίζουμε μάλιστα. Οποιοσδήποτε με ελεγκτή διεπαφής ασύρματου δικτύου (WNIC – wireless network interface controller) μπορεί να τα υποκλέψει πακέτα αφού βρίσκεται μέσα στην εμβέλεια που καλύπτει το δίκτυο. Η ασφάλεια ασύρματων σημάτων βασίζεται μόνο στην κωδικοποίηση του σήματος. Αυτό δηλαδή που θα ξέρει μόνο αυτός στον οποίο προοριζόταν να γίνει η λήψη του σήματος και όχι όλοι. Πάντα υπάρχουν βέβαια οι επιτήδριοι που έχουν κακές προθέσεις. Ας μην είμαστε όμως απόλυτοι. Έχουν βρεθεί τρόποι πιστοποίησης και ασφάλειας οι οποίοι χρησιμοποιούνται σήμερα, το WPA, το WPA2 και το WEP (Wi-Fi protected access, Wi-Fi equivalent privacy). Για να υποκλέψει κάποιος δεδομένα από μία ενσύρματη σύνδεση πρέπει να έχει πρόσβαση στο κτίριο για να συνδεθεί κατευθείαν στο φυσικό επίπεδο με καλώδιο ή να υπερπηδήσει κάποιο «τείχος ασφαλείας». Ένας ανεπαρκής τρόπος ασφάλειας του δικτύου είναι η απόκρυψη της ανιχνευσιμότητας του δικτύου (SSID εκπομπή). Αυτό όμως μπορεί εύκολα να ανιχνευθεί με την πραγματοποίηση ενός ερωτήματος (query). Μία άλλη λύση είναι να επιτρέπεις την είσοδο μόνο σε συσκευές με εξουσιοδοτημένη MAC, αλλά και πάλι ο επιτήδειος μπορεί να υποκλέψει μία προ υπάρχουσα διεύθυνση που έχει άδεια. Οπότε πέρα από τις προφανείς έπρεπε να βρούμε άλλες λύσεις αρκετά πιο αποτελεσματικές και όχι τεχνάσματα. Σε πρώτη φάση βρέθηκε το WEP το 1997 ως μέλος του 802.11, αλλά δεν κράτησε αρκετά αφού καταφέρανε να το απασφαλίσουν μόλις το 2005 μέσα σε 3 λεπτά με εργαλεία ([AirSnort](#) & [Aircrack-ng](#)) που ήταν ελεύθερα στο διαδίκτυο. Εξαιτίας αυτών των ευπαθειών εγκρίθηκε το WPA, το οποίο χρησιμοποιούσε διαφορετικό μηχανισμό κλειδιών για την ασφάλεια των δικτύων και της ταυτότητας των χρηστών. Μάλιστα το WPA δεν απαιτούσε αγορά νέου εξοπλισμού, παρά μόνο αναβάθμιση σταθερισμικού. Παρόλες τις προσπάθειες όμως κενά βρίσκονται και θα βρίσκονται πάντα. Δεν υπάρχει κάτι γύρω μας που να είναι ακέραιο και ασφαλές.

Πέρα από το κομμάτι της ασφάλειας έχουμε και μηχανισμούς που επικεντρώνονται στην διόρθωση σφαλμάτων. Ένας τέτοιος μηχανισμός ανήκει στην κατηγορία εμπροσθόδοτη διόρθωση σφάλματος (FEC) ή κωδικοποίηση καναλιού (CC). Είναι μία τεχνική όπου χρησιμοποιείτε για τον έλεγχο σφαλμάτων κατά την μετάδοση δεδομένων από αναξιόπιστο κανάλι που έχει θόρυβο. Ουσιαστικά γίνεται κωδικοποίηση του μηνύματος προσθέτοντας περιττά δεδομένα. Με αυτό τον τρόπο δίνει την δυνατότητα να εντοπίσει λάθος κομμάτια και να διορθώσει χωρίς την ανάγκη επαναποστολής. Το κόστος είναι η χρήση μεγαλύτερου εύρους ζώνης για τα πλεονάζοντα δεδομένα. Ο μηχανισμός FEC χρησιμοποιείτε κατά κύριο λόγο σε περιπτώσεις όπου η επανεκπομπή είναι αδύνατη είτε λόγω μεγάλου κόστους είτε γιατί δεν είναι δυνατή η αμφίδρομη επικοινωνία, είτε επειδή θα προστεθεί μεγάλη καθυστέρηση. Για παράδειγμα, όταν έχουμε πολυεκπομπή, όπου ένας αποστολέας αποστέλλει μαζικά σε πολλούς τα ίδια δεδομένα. Επίσης χρησιμοποιείτε σε αποκωδικοποιητές και αποτελεί μάλιστα το πρώτο στάδιο της μετατροπής του σήματος

που λαμβάνει από αναλογικό σε ψηφιακό. Όσο περισσότερη πλεονάζοντα πληροφορία έχουμε τόσο λιγότερα λάθη θα έχουν τα δεδομένα, αλλά ταυτόχρονα θα έχει καταναλώσει περισσότερους πόρους για την μετάδοσή τους. Ταυτόχρονα όμως βελτιώνει την ποιότητα του καναλιού (SNR). Η βέλτιστη λύση είναι η χρήση όσο το δυνατόν περισσότερης περιττής πληροφορίας, χωρίς όμως να περιορίζεται ο ρυθμός μετάδοσης του καναλιού.

Το επίπεδο MAC είναι υπεύθυνο για πολλές λειτουργίες όπως αυθεντικοποίηση, εξοικονόμηση ενέργειας, ασφάλεια κ.ά. Αποτελεί υποεπίπεδο του επιπέδου διασύνδεσης δεδομένων. Έχουμε δύο τρόπους αυθεντικοποίησης. Μία με το διαμοιρασμένο κλειδί και μία με το ανοιχτό σύστημα αυθεντικοποίησης. Το δεύτερο λειτουργεί ως εξής : η κάρτα ασύρματου δικτύου στέλνει ένα πλαίσιο αιτήματος αυθεντικοποίησης. Το σημείο πρόσβασης ανταποκρίνεται στέλνοντας ένα πλαίσιο απάντησης αυθεντικοποίησης. Αυτή η απάντηση περιλαμβάνει την αποδοχή ή την απόρριψη της συσκευής, που βρίσκεται στο πεδίο κωδικού κατάστασης του σώματος του πλαισίου. Εάν είναι αποδοχή τότε έχουμε χειραψία και η επικοινωνία εδραιώνεται, αλλιώς δεν υπάρχει σύνδεση. Πρόκειται για μία απλή διαδικασία που πραγματοποιείτε και χρειάζεται σε όλες τις επικοινωνίες. Ο τρόπος αυθεντικοποίησης δημοσίου κλειδιού λειτουργεί πιο σύνθετα. Η κάρτα της ενδιαφερόμενης συσκευής στέλνει ένα αίτημα αυθεντικοποίησης όπως πριν, και το σημείο πρόσβασης απαντά πίσω με ένα πλαίσιο όπου περιέχει ένα κείμενο πρόκλησης. Η κάρτα ασύρματου δικτύου θα χρησιμοποιήσει το WEP κλειδί και θα κρυπτογραφήσει με αυτό το κείμενο που έλαβε και θα το στείλει πίσω. Το σημείο πρόσβασης θα αποκρυπτογραφήσει το κείμενο που βρίσκεται στο πλαίσιο και αν είναι ίδιο με το αρχικό τότε έχει το σωστό κλειδί.



Σχήμα 8 : Στοιίβα πρωτοκόλλου 802.11

Το αρχικό πρότυπο 802.11 ορίζει δύο μορφές επεξεργασίας φασματικής εξάπλωσης στο φυσικό επίπεδο, της εξάπλωσης με αναπήδηση συχνότητας (802.11 FHSS) και της εξάπλωσης άμεσης ακολουθίας (802.11 DSSS). Τα 2 αυτά πρότυπα καθορίζουν μία συχνότητα λειτουργίας στα 2.4GHz και με ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων στα 1 και 2 Mbps. Στα τέλη του 1999, η IEEE δημοσιοποίησε δύο προσθήκες στο πρότυπο 802.11 : το 802.11a και το 802.11b. Το πρότυπο 802.11a ορίζει ταχύτητες μέχρι τα 54Mbps χρησιμοποιώντας πολυπλεξία ορθογωνικής διαίρεσης συχνότητας (OFDM) διαμόρφωση στην μπάντα συχνοτήτων 5.8GHz. Η έκδοση 802.11b του προτύπου είναι μία επέκταση ρυθμού δεδομένων του αρχικού 802.11 DSSS, παρέχοντας λειτουργία στα 2.4GHz και ρυθμούς δεδομένων στα 5.5 και 11 Mbps. Στην πορεία ακολούθησαν και συνεχίζουν και σήμερα, να εμφανίζονται καινούργιες επεκτάσεις που υποστηρίζουν μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης.[37]

Πίνακας 2 Πρότυπα 802.11 φυσικού επιπέδου

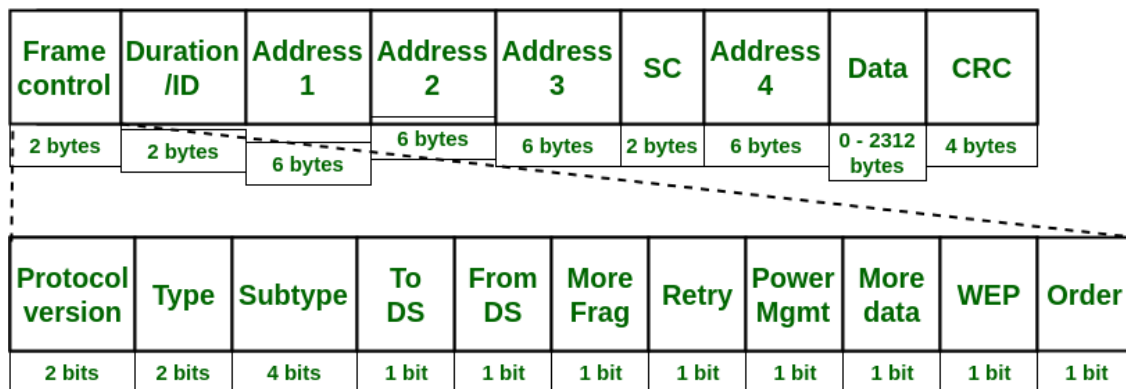
Πρότυπο IEEE	Χρονιά καθιέρωσης	Συχνότητα Λειτουργίας [GHz]	Μεγ. Ρυθμός Μετάδοσης [Mbps]	Μεγ. Εμβέλεια [m]
802.11a	1999	5	54	120
802.11b	1999	2.4	11	135
802.11g	2003	2.4	54	135
802.11n	2009	2.4 / 5	600	250
802.11ac	2014	5	1000	300
802.11ad	2016	60	7000	10
802.11af	2014	2.4 / 5	26.7 – 568.9	1000
802.11ah	2016	2.4 / 5	347	1000
802.11ax	2020 (αναμένεται)	2.4 / 5	10000	300
802.11ay	2020 (αναμένεται)	60	100000	300 - 500
802.11p	2010	5.9	27	500

4.1.1 Επίπεδο MAC

Το MAC σημαίνει "Έλεγχος πρόσβασης μέσων", το οποίο σημαίνει ότι η κύρια λειτουργία του είναι ο έλεγχος πρόσβασης σε κοινόχρηστο μέσο. Η MAC εφαρμόζει τους μηχανισμούς ελέγχου που επιτρέπουν σε πολλές συσκευές να επικοινωνούν αξιόπιστα. Το επίπεδο MAC είναι υπεύθυνο για πολλές λειτουργίες όπως αυθεντικοποίηση, εξοικονόμηση ενέργειας, ασφάλεια κ.ά. Αποτελεί υποεπίπεδο του επιπέδου διασύνδεσης δεδομένων. Το επίπεδο MAC παρέχει λειτουργίες για διάφορες εργασίες όπως πρόσβαση στο μέσο ελέγχου, μπορεί επίσης να προσφέρει υποστήριξη για περιαγωγή, έλεγχο ταυτότητας και εξοικονόμηση ενέργειας. Οι βασικές υπηρεσίες που παρέχει η MAC είναι η υποχρεωτική ασύγχρονη υπηρεσία δεδομένων και μια προαιρετική υπηρεσία με χρονική διάρκεια. Το IEEE 802.11 ορίζει δύο υπό-στρώματα MAC:

- Κατανεμημένη Συντονιστική Λειτουργία (Distributed Coordination Function) :Το DCF χρησιμοποιεί CSMA / CD ως μέθοδο πρόσβασης, καθώς το ασύρματο LAN δεν μπορεί να εφαρμόσει CSMA / CD. Προσφέρει μόνο ασύγχρονη υπηρεσία.
- Λειτουργία συντονισμού σημείων (Point Coordination Function) - Το PCP εφαρμόζεται πάνω από το DCF και χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον για τη μετάδοση του χρόνου-υπηρεσίας. Χρησιμοποιεί μια κεντρική μέθοδο πρόσβασης χωρίς ερωτήματα. Προσφέρει ασύγχρονη και χρονικά περιορισμένη υπηρεσία.

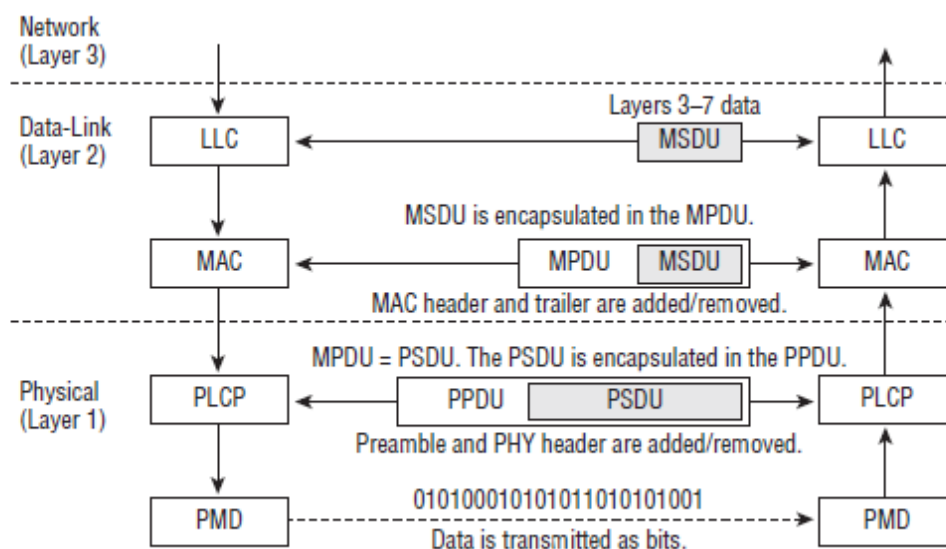
Το πλαίσιο στρώματος MAC αποτελείται από 9 πεδία. Το παρακάτω σχήμα δείχνει τη βασική δομή ενός πλαισίου δεδομένων IEEE 802.11 MAC μαζί με το περιεχόμενο του πεδίου ελέγχου καρέ.



Σχήμα 9 : Δομή πλαισίου MAC πρωτοκόλλου 802.11

Τα κύρια πεδία του πλαισίου όπως ορίζεται από το IEEE 802.11 είναι :

- Έλεγχος πλαισίου(Frame control) – Πρόκειται για πεδίο εκκίνησης 2 byte που αποτελείται από 11 υποπεδία. Περιέχει πληροφορίες ελέγχου του πλαισίου.
- Διάρκεια(duration) – Είναι ένα πεδίο 2 byte που καθορίζει την χρονική περίοδο για την οποία το πλαίσιο και η αναγνώρισή του καταλαμβάνουν το κανάλι.
- Πεδία διεύθυνσης(Address Fields) – Υπάρχουν τρία πεδία διεύθυνσης 6 byte που περιέχουν διευθύνσεις πηγής, άμεσου προορισμού και τελικού σημείου αντίστοιχα.
- Ακολουθία(Sequence) – Είναι ένα πεδίο 2 byte που αποθηκεύει τους αριθμούς πλαισίων.
- Δεδομένα(Data) – Αυτό είναι ένα πεδίο μεταβλητού μεγέθους που μεταφέρει τα δεδομένα από τα ανώτερα στρώματα. Το μέγιστο μέγεθος του πεδίου δεδομένων είναι 2312 byte.
- Έλεγχος ακολουθίας(Check Sequence) – Είναι ένα πεδίο 4 byte που περιέχει πληροφορίες ανίχνευσης σφαλμάτων[38]



Σχήμα 10 : Η MAC ασχολείται με τα MSDU και τα MPDU

Το υπόστρωμα MAC IEEE 802.11 είναι υπεύθυνο για τον συντονισμό της πρόσβασης στην κοινόχρηστη φυσική διεπαφή αέρα έτσι ώστε οι σταθμοί σημείου πρόσβασης (Access Point) και Wifi στη σειρά να μπορούν να επικοινωνούν αποτελεσματικά. Η MAC λαμβάνει δεδομένα από ένα υψηλότερο υποστρωματικό επίπεδο που ονομάζεται LLC, προσθέτει επικεφαλίδες και ουρές bytes και τα στέλνει στη χαμηλότερη φυσική στρώση για μετάδοση. Το αντίστροφο συμβαίνει όταν λαμβάνετε δεδομένα από το φυσικό στρώμα. Αν ένα πλαίσιο παραληφθεί κατά λάθος, η MAC μπορεί να την αναμεταδώσει ξανά. Η πολλαπλή πρόσβαση βασίζεται στην ανίχνευση του φορέα, στην αμφισβήτηση του καναλιού και στην τυχαία αναστροφή. [27]

Όπως φαίνεται παραπάνω πρόκειται για τον πραγματικό χειρισμό των δεδομένων, το MAC βρίσκεται ως υπόστρωμα στο Link Data Layer. Παίρνει ένα πακέτο δεδομένων που ονομάζεται Μονάδα δεδομένων υπηρεσίας MAC (MSDU) από το υπόστρωμα Logical Link Control (LLC). Η MAC προσθέτει τις απαραίτητες επικεφαλίδες και ουρές bit για να σχηματίσει Μονάδα Δεδομένων πρωτοκόλλου MAC (MPDU). Στη συνέχεια, το MPDU αποστέλλεται στο φυσικό επίπεδο για μετάδοση. Η αντίστροφη ροή συμβαίνει όταν η MAC λαμβάνει ένα πακέτο από φυσικό στρώμα. Υπάρχουν δύο τρόποι για την ανίχνευση και την συσχέτιση σημείου πρόσβασης (Access Point) από σταθμό Wifi και είναι ελεύθερος να χρησιμοποιήσει ένα ή και τα δύο:

- Παθητική σάρωση: Ο σταθμός αναζητά πλαίσια ραδιοφώνου τα οποία αποστέλλονται τακτικά από ένα AP. Αυτά τα πλαίσια περιέχουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με το δίκτυο. Εάν υπάρχουν πολλαπλά AP σε απόσταση, επιλέγει το ισχυρότερο. Στη συνέχεια ο σταθμός επιχειρεί να συνδεθεί στο AP. Η επικοινωνία γίνεται στο κανάλι στο οποίο λειτουργεί το AP.
- Ενεργή σάρωση: Ο σταθμός στέλνει ένα αίτημα ανιχνευτή είτε σε ένα συγκεκριμένο AP είτε σε οποιοδήποτε AP εντός εμβέλειας. Είτε έτσι είτε αλλιώς, αναμένει μια απάντηση διερευνητή από ένα ή περισσότερα AP, επιλέγει το ισχυρότερο και προσπαθεί να συνδεθεί με αυτό το AP. Καθώς δεν αποκωδικοποιείται κανένας προηγούμενος (ράδιο) φάρος, ο σταθμός θα στείλει τον ανιχνευτή του σε όλα τα κανάλια.

Η MAC χρησιμοποιεί τη λεγόμενη Λειτουργία Συντονισμού Σημείου (Point Coordination Function) ή Κατανεμημένη Συντονιστική Λειτουργία (Distributed Coordination Function) για σχήμα πολλαπλής πρόσβασης στο 802.11. Το τελευταίο είναι πιο διαδεδομένο στη βιομηχανία και χρησιμοποιεί την πολλαπλή πρόσβαση φορέα με ανίχνευση φέροντος και αποφυγή σύγκρουσης (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance).

Το πρωτόκολλο αυτό λαμβάνει υπόψιν του τις ιδιαιτερότητες των ασύρματων δικτύων, και διαφέρει σημαντικά από το αντίστοιχο πρωτόκολλο το οποίο χρησιμοποιείται στα ενσύρματα δίκτυα τύπου Ethernet, όπου χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος και ανίχνευση συγκρούσεων (CSMA/CD). Υπάρχουν δύο μέρη στο CSMA / CA όπως προτείνεται από το όνομα:

- Ανίχνευση φορέα: Οι σταθμοί Wi-Fi πρέπει πρώτα να ανιχνεύσουν τη διεπαφή αέρα. Μόνο εάν το κανάλι είναι αδρανές για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (διάρκειας DIFS), μπορεί να μεταδώσει. Το DIFS σημαίνει DCF InterFrame Spacing.
- Αποφυγή σύγκρουσης: Εάν το κανάλι ανιχνευτεί απασχολημένο, ο σταθμός περιμένει έως ότου είναι ελεύθερο για διάρκεια DIFS, και στη συνέχεια περιμένει για τυχαίο διάστημα πριν από τη μετάδοση. Αυτή η τυχαioτητα μειώνει τις πιθανότητες ότι δύο σταθμοί αναμονής καταλήγουν να μεταδίδουν την ίδια στιγμή. Οι "συγκρούσεις" μπορούν ακόμα να εμφανιστούν και συνάγονται όταν δεν λαμβάνεται καμία παραδοχή από τον αποστολέα. Αν δεν γίνει λήψη του ACK, ο σταθμός σβήνει για τυχαία διάρκεια και επαναλαμβάνει ξανά τη διαδικασία. [23]

Σύμφωνα με το πρωτόκολλο CSMA/CA, κάθε κόμβος ο οποίος θέλει να μεταδώσει δεδομένα ακολουθεί τον εξής αλγόριθμο. Αρχικά ακούει το κανάλι στο οποίο επιθυμεί να μεταδώσει. Αν το κανάλι είναι ελεύθερο (δεν μεταδίδει κάποιος γειτονικός κόμβος), τότε μεταδίδει ένα πακέτο. Αν το κανάλι είναι κατειλημμένο (μεταδίδει κάποιος γειτονικός κόμβος), τότε ο κόμβος επιλέγει έναν τυχαίο αριθμό από 0 έως το μέγεθος του παραθύρου ανταγωνισμού. Ο κόμβος θα πρέπει να περιμένει μέχρι να σταματήσει η μετάδοση που ανίχνευσε, και επιπρόσθετα τόσες χρονικές σχισμές όσες καθορίζει ο τυχαίος αριθμός που επέλεξε. Αν μετά την αναμονή το κανάλι είναι ελεύθερο, ο κόμβος μεταδίδει. Διαφορετικά, εκτελεί και πάλι τη διαδικασία του προηγούμενου βήματος.

Οι βασικές ιδιαιτερότητες των ασύρματων δικτύων σε σχέση με τα ενσύρματα δίκτυα είναι οι ακόλουθες:

- Ένας ασύρματος κόμβος δεν έχει τη δυνατότητα να “ακούει” το μέσο κατά τη διάρκεια αποστολής δεδομένων, επομένως δεν είναι εφικτή η ανίχνευση μιας σύγκρουσης.
- Δεδομένου πως κάθε ασύρματος κόμβος έχει μια πεπερασμένη εμβέλεια, δεν είναι εφικτή η ανίχνευση μιας σύγκρουσης που συμβαίνει εκτός της εμβέλειας ενός κόμβου, από τον κόμβο αυτό. Για παράδειγμα, στην περίπτωση όπου οι κόμβοι Α και Β προσπαθούν να στείλουν δεδομένα σε έναν τρίτο κόμβο Γ, όπου όμως οι κόμβοι Α και Β δεν είναι ο ένας στην εμβέλεια του άλλου, στον κόμβο Γ θα συμβεί μια σύγκρουση την οποία δεν μπορεί να ανιχνεύσει ούτε ο Α ούτε ο Β (Το πρόβλημα του κρυμμένου τερματικού).

Προκειμένου να λυθεί το πρόβλημα του κρυμμένου τερματικού, ο μηχανισμός αποφυγής συγκρούσεων ενδέχεται να χρησιμοποιεί πακέτα «Request to Send» (RTS) και «Clear to Send» (CTS). Όταν χρησιμοποιούνται τα πακέτα αυτά, κάθε κόμβος που επιθυμεί να στείλει δεδομένα στέλνει αρχικά ένα πακέτο RTS (χρησιμοποιώντας φυσικά το CSMA/CA). Ο κόμβος-προορισμός που λαμβάνει το RTS, απαντά με ένα πακέτο CTS. Κάθε κόμβος του δικτύου ο οποίος έχει λάβει είτε RTS είτε CTS πακέτο, το οποίο δεν προοριζόταν για αυτόν, δεν θα επιχειρήσει να μεταδώσει κατά τη διάρκεια αυτής της μετάδοσης. Ο χρόνος της μετάδοσης περιέχεται στα πακέτα RTS και CTS. [39]

Το IEEE 802.11n εισήγαγε αλλαγές στο MAC που είναι εξαιτίας της Υψηλής Διαθεσιμότητας (HT). Η ιδέα ήταν να μειωθούν τα γενικά έξοδα MAC και να αυξηθεί η συνολική απόδοση. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας Συγκρότηση πλαισίου. Δύο τύποι είναι δυνατοί:

- Συγκεντρωτική μονάδα δεδομένων υπηρεσίας MAC (A-MSDU): Πολλαπλές MSDU συσκευάζονται σε ένα μόνο MPDU που με τη σειρά του χάρτες σε ένα ενιαίο πλαίσιο μετάδοσης. Σε αυτήν την περίπτωση, όλα τα MSDU μοιράζονται την ίδια κεφαλίδα MAC.
- Συγκεντρωτική μονάδα δεδομένων πρωτοκόλλου MAC (A-MPDU): Πολλαπλές MPDU μεταφέρονται μέσα σε ένα μοναδικό πλαίσιο μετάδοσης. Προφανώς, κάθε MPDU έχει τη δική του κεφαλίδα MAC.

Αυτά τα δύο δεν είναι αμοιβαία αποκλειστικά: μία μόνο μετάδοση μπορεί να έχει έναν συνδυασμό A-MSDU και A-MPDU, που μερικές φορές ονομάζεται συσσώρευση πλαισίου δύο επιπέδων. Στην πραγματικότητα, η έρευνα έχει δείξει ότι ένας συνδυασμός των δύο δίνει τις καλύτερες επιδόσεις και στις δύο συσκευές 802.11n και 802.11ac. Το πλαίσιο MAC επεκτείνεται, νέο πεδίο κεφαλίδας που ονομάζεται HT Control και μεγαλύτερο μέγεθος ωφέλιμου φορτίου. Αποκαλύπτεται το Block Acknowledgments (BACK). Το IEEE 802.11ac εισήγαγε αλλαγές στο MAC που είναι μέρος της πολύ υψηλής διακίνησης (VHT). Το VHT επηρεάζει επίσης την ανάπτυξη σε ζώνη 60 GHz όπως για το 802.11ad. Η συσσώματωση πλαισίου μπορεί να συμβεί όπως στο 802.11n αλλά σε μεγαλύτερα μεγέθη: μέγεθος MPDU περίπου 8KB (11n) έναντι 11KB (11ac). Το μέγεθος PSDU περίπου 64 KB (11n) έναντι 4 MB (11ac). Το πλαίσιο MAC ενημερώνεται: Το HT Control έχει οριστεί για το 11ac και μεγαλύτερο μέγεθος ωφέλιμου φορτίου. Όλα τα πλαίσια αποστέλλονται ως A-MPDU, ακόμη και αν περιέχουν μόνο ένα MPDU. [26]

4.1.2 Φυσικό επίπεδο (PHY)

Το φυσικό επίπεδο 802.11 χρησιμοποιεί μεταδιδόμενες εκπομπές ή πακέτα. Κάθε πακέτο περιέχει δεδομένα προοιμίου (Preamble), κεφαλίδας (Header) και ωφέλιμου φορτίου (Payload Data) (Σχήμα 11). Το προοίμιο επιτρέπει στον δέκτη να λαμβάνει συγχρονισμό χρόνου και συχνότητας και να υπολογίζει τα χαρακτηριστικά καναλιών για εξίσωση. Είναι μια ακολουθία bit που οι δέκτες παρακολουθούν για να κλειδώσουν το υπόλοιπο της μετάδοσης. Η επικεφαλίδα παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη διαμόρφωση πακέτων, όπως μορφή, ρυθμοί δεδομένων κ.λπ. Τέλος, τα δεδομένα ωφέλιμου φορτίου περιέχουν τα δεδομένα ωφέλιμου φορτίου του χρήστη που μεταφέρονται.



Σχήμα 11 : Πακέτο φυσικού επιπέδου

Τα πρότυπα 802.11 ορίζουν τύπους "πλασιού" για χρήση στη μετάδοση δεδομένων καθώς και τη διαχείριση και τον έλεγχο των ασύρματων ζευξεων. Στο υψηλότερο επίπεδο, αυτά τα πλαίσια χωρίζονται σε τρεις λειτουργίες:

- Πλαίσια διαχείρισης (Management Frames): Τα πλαίσια διαχείρισης επιτρέπουν τη διατήρηση της επικοινωνίας.
- Πλαίσια ελέγχου (Control Frames): Τα πλαίσια ελέγχου διευκολύνουν την ανταλλαγή πλαισίων δεδομένων μεταξύ σταθμών.
- Πλαίσια δεδομένων (Data Frames): Τα πλαίσια δεδομένων μεταφέρουν δεδομένα πρωτοκόλλου υψηλότερου επιπέδου στο σώμα του πλαισίου. Ανάλογα με τον συγκεκριμένο τύπο πλαισίου δεδομένων, ορισμένα από τα πεδία του σχήματος δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται. Οι διαφορετικοί τύποι πλαισίων δεδομένων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τη λειτουργία. Μία τέτοια διάκριση είναι μεταξύ των πλαισίων δεδομένων που χρησιμοποιούνται για δια τομεακές υπηρεσίες και πλαισίων που δεν έχουν διαμάχες.

Κάθε πλαίσιο αποτελείται από μια κεφαλίδα MAC, ωφέλιμο φορτίο και ακολουθία ελέγχου πλαισίου (FCS). Ορισμένα πλαίσια ενδέχεται να μην έχουν το ωφέλιμο φορτίο. Τα δύο πρώτα bytes της κεφαλίδας MAC σχηματίζουν ένα πεδίο ελέγχου πλαισίου που καθορίζει τη μορφή και τη λειτουργία του πλαισίου. Το πεδίο ελέγχου πλαισίου υποδιαιρείται περαιτέρω στα ακόλουθα υποπεδία:

- Έκδοση πρωτοκόλλου (Protocol Version): Δύο ψηφία που αντιπροσωπεύουν την έκδοση πρωτοκόλλου. Η τρέχουσα έκδοση του πρωτοκόλλου είναι μηδέν. Άλλες τιμές προορίζονται για μελλοντική χρήση.
- Τύπος (Type): Δύο bits που αναγνωρίζουν τον τύπο πλαισίου WLAN. Έλεγχος, δεδομένα και διαχείριση είναι διάφοροι τύποι πλαισίων που ορίζονται στο IEEE 802.11.
- Υπο-τύπος (Sub Type): Τέσσερα bits που προσφέρουν διάκριση προσθήκης μεταξύ πλαισίων. Το υποπεδίο τύπος και το υπο-τύπος προσδιορίζονται στο ίδιο πλαίσιο.
- ToDS και FromDS: Κάθε ένα είναι ένα bit σε μέγεθος. Δείχνουν αν ένα πλαίσιο δεδομένων κατευθύνεται προς ένα σύστημα διανομής. Τα πλαίσια ελέγχου και διαχείρισης ορίζουν αυτές τις τιμές σε μηδέν. Όλα τα πλαίσια δεδομένων θα έχουν ένα από αυτά τα bits που έχουν οριστεί. Ωστόσο, η επικοινωνία εντός ενός δικτύου IBSS ορίζει πάντα αυτά τα δυαδικά ψηφία στο μηδέν.

- **Περισσότερα τμήματα (More Fragments):** Το bit του ορίζεται όταν ένα πακέτο χωρίζεται σε πολλαπλά πλαίσια για μετάδοση. Κάθε πλαίσιο εκτός από το τελευταίο πλαίσιο ενός πακέτου θα έχει το συγκεκριμένο bit ρυθμισμένο.
- **Επανάληψη (Retry):** Μερικές φορές τα πλαίσια απαιτούν αναμετάδοση και γι' αυτό υπάρχει ένα bit επανάληψης το οποίο ορίζεται σε ένα όταν το πλαίσιο αναμεταδίδεται. Αυτό βοηθά στην εξάλειψη των διπλών πλαισίων.
- **Διαχείριση ισχύος (Power Management):** Αυτό το bit υποδεικνύει την κατάσταση διαχείρισης ενέργειας του αποστολέα μετά την ολοκλήρωση μιας ανταλλαγής πλαισίων. Απαιτούνται σημεία πρόσβασης για τη διαχείριση της σύνδεσης και δεν θα ρυθμίσουν ποτέ το bit εξοικονόμησης ενέργειας.
- **Περισσότερα δεδομένα (More Data):** Το bit χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση πλαισίων που έχουν ληφθεί σε ένα καταναμημένο σύστημα. Το σημείο πρόσβασης χρησιμοποιεί αυτό το bit για να διευκολύνει τους σταθμούς να περάσουν σε κατάσταση εξοικονόμησης ενέργειας. Υποδεικνύει ότι υπάρχει τουλάχιστον ένα πλαίσιο και απευθύνεται σε όλους τους συνδεδεμένους σταθμούς.
- **WEP:** Το bit τροποποιείται μετά την επεξεργασία ενός πλαισίου. Αλλάζει σε ένα μετά την αποκρυπτογράφηση ενός πλαισίου ή αν δεν έχει οριστεί κρυπτογράφηση, θα έχει ήδη υπάρξει ένα.
- **Σειρά (Order):** Το συγκεκριμένο bit ορίζεται μόνο όταν χρησιμοποιείται η μέθοδος παράδοσης "αυστηρής σειράς". Τα πλαίσια και τα τμήματα δεν αποστέλλονται πάντοτε σε σειρά, καθώς προκαλούν ποινή απόδοσης μετάδοσης. [24]

Τα επόμενα δύο bytes προορίζονται για το πεδίο Duration ID. Αυτό το πεδίο μπορεί να λάβει μία από τις τρεις μορφές: Διάρκεια, Περίοδος ελεύθερης επικοινωνίας (CFP) και Αναγνωριστικό σύνδεσης (AID). Ένα πλαίσιο 802.11 μπορεί να έχει μέχρι τέσσερα πεδία διεύθυνσεων. Κάθε πεδίο μπορεί να μεταφέρει μια διεύθυνση MAC. Η διεύθυνση 1 είναι ο δέκτης, η διεύθυνση 2 είναι ο πομπός και η διεύθυνση 3 χρησιμοποιείται για σκοπούς φιλτραρίσματος από τον δέκτη. Το πεδίο ελέγχου ακολουθίας είναι ένα τμήμα δύο byte που χρησιμοποιείται για την αναγνώριση της σειράς μηνυμάτων καθώς και για την εξάλειψη διπλών πλαισίων. Τα πρώτα 4 bits χρησιμοποιούνται για τον αριθμό κατακερματισμού και τα τελευταία 12 bits είναι ο αριθμός ακολουθίας. Υπάρχει ένα προαιρετικό πεδίο ελέγχου ποιότητας υπηρεσίας, μεγέθους δύο byte, που προστέθηκε με το 802.11e. Το πεδίο Σώμα πλαισίου έχει μεταβλητό μέγεθος, από 0 έως 2304 bytes συν οποιαδήποτε γενικά έξοδα από τον εγκλωβισμό ασφαλείας και περιέχει πληροφορίες από ανώτερα στρώματα. Η ακολουθία FCS είναι τα τελευταία τέσσερα bytes στο πρότυπο πλαίσιο 802.11. Συχνά αναφερόμενος ως κυκλικός έλεγχος πλεονασμού (Cyclic Redundancy Check), επιτρέπει τον έλεγχο της ακεραιότητας των ανακτώμενων πλαισίων. Δεδομένου ότι τα πλαίσια πρόκειται να σταλούν, το FCS υπολογίζεται και προσαρτάται. Όταν ένας σταθμός λαμβάνει ένα πλαίσιο, μπορεί να υπολογίσει το FCS του πλαισίου και να το συγκρίνει με αυτό που έλαβε. Αν ταιριάζουν, θεωρείται ότι το πλαίσιο δεν παραμορφώθηκε κατά τη διάρκεια της μετάδοσης.

4.1.2.1 Μορφές διαμόρφωσης του φυσικού επιπέδου

Οι μορφές διαμόρφωσης του φυσικού επιπέδου και οι ρυθμοί κωδικοποίησης καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο αποστέλλονται τα δεδομένα 802.11 στον αέρα και με ποιες ταχύτητες δεδομένων. Για παράδειγμα, το πρωτόκολλο επεξεργασίας φασματικής εξάπλωσης άμεσης ακολουθίας (Direct Sequence Spread Spectrum) χρησιμοποιήθηκε στα αρχικά πρότυπα 802.11, ενώ η ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (OFDM) χρησιμοποιείται από πολλά από τα πιο πρόσφατα πρότυπα. Οι νέες μέθοδοι διαμόρφωσης και οι ρυθμοί κωδικοποίησης είναι γενικά πιο αποδοτικοί και διατηρούν υψηλότερα ποσοστά δεδομένων, αλλά οι παλαιότερες μέθοδοι και οι ρυθμοί εξακολουθούν να υποστηρίζονται για συμβατότητα προς τα πίσω. Αυτή η ενότητα περιγράφει λεπτομερέστερα τις δύο βασικές τεχνικές διαμόρφωσης που χρησιμοποιούνται σήμερα - DSSS και OFDM.

4.1.2.1.1 Επεξεργασία φασματικής εξάπλωσης άμεσης ακολουθίας (DSSS) [37]

Για τα πρωτότυπα πρότυπα 802.11 και 802.11b χρησιμοποιούν DSSS. Όπως συμβαίνει με άλλες τεχνολογίες φασματικής εξάπλωσης, το μεταδιδόμενο σήμα καταλαμβάνει μεγαλύτερο εύρος ζώνης από το σήμα πληροφοριών που ρυθμίζει τη συχνότητα μεταδόσεως ή εκπομπής. Το όνομα «φάσμα εξάπλωσης» προέρχεται από το γεγονός ότι τα φέροντα σήματα εμφανίζονται στο πλήρες εύρος ζώνης (φάσμα) της συχνότητας μετάδοσης μιας συσκευής. Οι μεταδόσεις του DSSS πολλαπλασιάζουν τα δεδομένα που μεταδίδονται με σήμα "θορύβου". Αυτό το σήμα θορύβου είναι ψευδοτυχαία ακολουθία τιμών 1 και -1, με συχνότητα πολύ μεγαλύτερη από εκείνη του αρχικού σήματος. Το σήμα που παράγεται μοιάζει με λευκό θόρυβο. Αυτό το σήμα που μοιάζει με θόρυβο μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για την ακριβή ανασυγκρότηση των αρχικών δεδομένων στο άκρο λήψης, πολλαπλασιάζοντας το με την ίδια ακολουθία ψευδοτυχαίων αριθμών (PN) (επειδή $1 \times 1 = 1$ και $-1 \times -1 = 1$). Αυτή η διαδικασία, γνωστή ως εξάπλωση (de-spreading), συνθέτει μαθηματικά μια συσχέτιση της μεταδιδόμενης ακολουθίας PN με την ακολουθία PN που ο δέκτης πιστεύει ότι χρησιμοποιεί ο πομπός. Το αποτέλεσμα της ενίσχυσης του λόγου σήματος προς θόρυβο στο κανάλι ονομάζεται κέρδος διεργασίας. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να γίνει μεγαλύτερο με τη χρήση μίας μακρύτερης ακολουθίας PN και περισσότερων μαρκών ανά δυαδικό ψηφίο, αλλά οι φυσικές συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία της ακολουθίας PN επιβάλλουν πρακτικά όρια επί του εφικτού κέρδους επεξεργασίας. Εάν ένας ανεπιθύμητος πομπός μεταδίδει στο ίδιο κανάλι αλλά με διαφορετική ακολουθία PN (ή καθόλου ακολουθία), η διαδικασία διαχωρισμού δεν έχει ως αποτέλεσμα κέρδος επεξεργασίας για το σήμα αυτό. Αυτό το αποτέλεσμα είναι η βάση για την ιδιότητα CDMA της DSSS, η οποία επιτρέπει σε πολλούς πομπούς να μοιράζονται το ίδιο κανάλι εντός των ορίων των ιδιοτήτων διασταυρούμενης συσχέτισης των ακολουθιών PN.

4.1.2.1.2 Ορθογώνια Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας (OFDM) [37]

Η ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (OFDM) είναι μια μέθοδος κωδικοποίησης ψηφιακών δεδομένων σε πολλαπλές συχνότητες υπό-φορέων. Το OFDM καθιστά δυνατή τη μετάδοση ευρυζωνικών πληροφοριών υψηλής ταχύτητας δεδομένων διαιρώντας τα δεδομένα σε διάφορες διαδοχικές παράλληλες ροές bit διαμορφωμένες σε ένα ξεχωριστό υπό-φορέα. Αυτή η τεχνική διαμόρφωσης είναι μια ισχυρή λύση για την αντιμετώπιση των δυσμενών επιπτώσεων της πολλαπλής διάδοσης και της διασυμβολικής παρεμβολής (ISI). Με τη δυνατότητα να προσφέρει αρκετές εναλλακτικές λύσεις διαμόρφωσης και κωδικοποίησης, μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί για να βελτιώσει την ποιότητα του καναλιού. Η πληθώρα των επιλογών επιτρέπει στο σύστημα να προσαρμόζει το βέλτιστο ρυθμό δεδομένων για τις τρέχουσες συνθήκες σήματος. Στο παρελθόν, η απόσταση μεταξύ των καναλιών ήταν συχνά μεγαλύτερη από τον ρυθμό συμβόλων για να αποφευχθεί η επικάλυψη των φασμάτων. Ωστόσο, στα συστήματα OFDM, οι υπό-φορείς αλληλεπικαλύπτονται, γεγονός που εξοικονομεί εύρος ζώνης. Η διατήρηση των υπό-φορέων ορθογώνια μεταξύ τους ελέγχει την παρεμβολή υπό-φορέα. Ορθογωνικότητα σημαίνει ότι υπάρχει μια μαθηματική σχέση μεταξύ των υποφορέων. Με το OFDM, το σήμα δεδομένων υψηλού ρυθμού κατανέμεται εξίσου μεταξύ των υπό-φορέων. Αυτό μειώνει τον ρυθμό δεδομένων και αυξάνει τη διάρκεια του συμβόλου για τους υποφορείς, μειώνοντας έτσι τη σχετική ποσότητα διασποράς στο χρόνο που προκαλείται από την εξάπλωση καθυστερήσεων πολλαπλών διαδρομών. Ο θόρυβος φάσης και η μη γραμμική παραμόρφωση συμβάλλουν περισσότερο στην απώλεια ορθογωνιότητας, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την παρεμβολή μεταξύ των φορέων (ICI). Προβλέπεται διάστημα φύλαξης για την πρόληψη της ICI, καθώς και του ISI. Ένα σήμα με χαμηλότερο ρυθμό δεδομένων είναι πιο ανθεκτικό σε διαλείψεις και παρεμβολές πολλαπλών διαδρομών. Το κύριο πλεονέκτημα του OFDM σε σχήματα με ένα μόνο φορέα

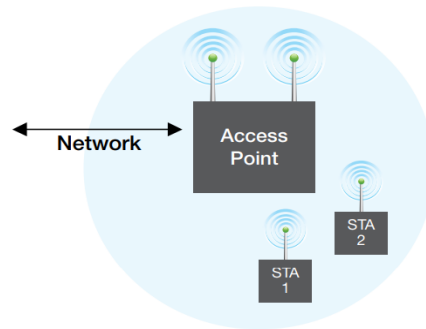
είναι η ικανότητά του να αντιμετωπίζει σοβαρές καταστάσεις διαύλου χωρίς πολύπλοκα φίλτρα εξισορρόπησης. Η εξίσωση καναλιών απλοποιείται επειδή το OFDM μπορεί να θεωρηθεί ότι χρησιμοποιεί πολλά αργά διαμορφωμένα σήματα στενής ζώνης παρά ένα ταχέως διαμορφωμένο ευρυζωνικό σήμα. Ο χαμηλός ρυθμός συμβόλων καθιστά δυνατή τη χρήση ενός διαστήματος προστασίας μεταξύ των συμβόλων σε προσιτή τιμή, καθιστώντας δυνατή την εξάλειψη της παρεμβολής μεταξύ συμβόλων (ISI) και τη χρησιμοποίηση των ηχώ και της χρονικής εξάπλωσης για επίτευξη κέρδους διαφοροποίησης, δηλαδή την βελτίωση του λόγου σήματος προς θόρυβο.

4.1.2.1.3 Συνδυασμοί διαμόρφωσης δεδομένων και κωδικοποίησης (*Forward Error Correction*)

Η FEC ή η κωδικοποίηση καναλιού είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο σφαλμάτων στη μετάδοση δεδομένων μέσω ανεπιθύμητων ή θορυβώδους καναλιών επικοινωνίας. Η κεντρική ιδέα είναι ότι ο αποστολέας κωδικοποιεί το μήνυμά του με περιττό τρόπο χρησιμοποιώντας έναν κώδικα διόρθωσης σφαλμάτων (Error Correcting Code). Ο πλεονασμός επιτρέπει στον δέκτη να ανιχνεύσει έναν περιορισμένο αριθμό σφαλμάτων που μπορεί να προκύψουν οπουδήποτε στο μήνυμα και συχνά να διορθώσει αυτά τα λάθη χωρίς αναμετάδοση. Ο FEC δίνει στον δέκτη τη δυνατότητα να διορθώνει σφάλματα χωρίς να χρειαστεί ανάστροφο κανάλι για να ζητήσει την αναμετάδοση των δεδομένων, αλλά με το κόστος ενός σταθερού, υψηλότερου εύρους ζώνης προώθησης καναλιού. Στις ψηφιακές επικοινωνίες, ένα τσιπ είναι ένας παλμός ενός κώδικα DSSS. Ο ρυθμός τσιπ ενός κωδικού είναι ο αριθμός παλμών ανά δευτερόλεπτο (τσιπς ανά δευτερόλεπτο) στον οποίο μεταδίδεται (ή λαμβάνεται) ο κωδικός. Ο ρυθμός chip είναι μεγαλύτερος από τον ρυθμό συμβόλων, πράγμα που σημαίνει ότι ένα σύμβολο αντιπροσωπεύεται από πολλαπλές μάρκες.

4.1.3 WLAN Λειτουργική διαδικασία

Για να συνδεθείτε σε ένα δίκτυο WLAN, μια συσκευή πρέπει να είναι εφοδιασμένη με ελεγκτή διεπαφής ασύρματου δικτύου. Ο συνδυασμός ελεγκτή υπολογιστή και ελεγκτή διεπαφής ονομάζεται σταθμός (STA). Όλοι οι σταθμοί μοιράζονται ένα μόνο κανάλι επικοινωνίας ραδιοσυχνοτήτων. Οι εκπομπές σε αυτό το κανάλι λαμβάνονται από όλους τους σταθμούς εντός εύρους. Κάθε σταθμός συντονίζεται συνεχώς στο κανάλι επικοινωνίας ραδιοσυχνοτήτων για να πάρει διαθέσιμες τις μεταδόσεις. Μια συσκευή με δυνατότητα Wi-Fi μπορεί να συνδεθεί στο Internet όταν βρίσκεται εντός εύρους ενός ασύρματου δικτύου το οποίο είναι ρυθμισμένο να το επιτρέπει. Η κάλυψη ενός ή περισσότερων (διασυνδεδεμένων) σημείων πρόσβασης μπορεί να εκτείνεται από μια περιοχή τόσο μικρή όσο μερικά δωμάτια μέχρι και τετραγωνικά μίλια. Η κάλυψη στην ευρύτερη περιοχή μπορεί να απαιτεί μια ομάδα σημείων πρόσβασης με επικαλυπτόμενη κάλυψη. Μια ομάδα STA που σχηματίζουν μια συσχέτιση ονομάζεται Basic Service Set ή BSS. Υπάρχουν δύο τύποι BSS - Ad hoc και Υποδομής. Το ad hoc BSS προσφέρει άμεση επικοινωνία μεταξύ των STA, αλλά δεν περιλαμβάνει κεντρικό έλεγχο. Με το BSS υποδομής, τα STA συνδέονται με ένα σημείο πρόσβασης (AP), το οποίο μπορεί επίσης να συνδεθεί σε ένα δίκτυο. Αυτή η ενότητα παρέχει μια επισκόπηση της επιχειρησιακής διαδικασίας WLAN για τη δημιουργία συνδέσεων επικοινωνίας και τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ συσκευών προτύπου 802.11.



Σχήμα 12 : Ομάδα ασύρματων σταθμών (STA)

4.1.3.1 Δομή συσκευής WLAN

Στις αρχές του 802.11 αφιερωμένες κάρτες PC εισήχθησαν συνήθως σε επιτραπέζιους και φορητούς υπολογιστές. Σήμερα, ενσωματωμένες μονάδες WLAN σχεδιάζονται σε όλους τους κινητούς υπολογιστές και στην πλειοψηφία των κυψελοειδών τηλεφώνων. Επιπλέον, αυτές οι ενσωματωμένες μονάδες καθίστανται διαθέσιμες σε μια μεγάλη ποικιλία συσκευών και μη παραδοσιακών υπολογιστικών συσκευών. Αυτά τα λειτουργικά συστήματα σε πραγματικό χρόνο παρέχουν ένα απλό μέσο ασύρματης ενεργοποίησης οποιασδήποτε συσκευής που διαθέτει και επικοινωνεί μέσω σειριακής θύρας. Αυτό επιτρέπει τον σχεδιασμό απλών συσκευών παρακολούθησης. Η ευαισθησία του δέκτη είναι σημαντική επειδή καθορίζει το μέγιστο εύρος που μπορεί να λειτουργεί ένας σύνδεσμος WLAN. Υπάρχουν επίσης δευτερεύοντα οφέλη συστήματος. Εάν ένας σύνδεσμος ολοκληρώσει μια μετάδοση γρηγορότερη από μια άλλη επειδή το ποσοστό σφάλματος πακέτων (Packet Error Rate) είναι χαμηλότερο, η κατανάλωση της μπαταρίας θα μειωθεί και θα υπάρξουν λιγότερες παρεμβολές σε άλλους χρήστες. Σε ένα πραγματικό περιβάλλον, η καταστολή παρεμβολών και η γραμμικότητα επηρεάζουν άμεσα την απόδοση του ραδιοφώνου. Η ένδειξη σήματος λαμβανόμενης ισχύος (RSSI), που γίνεται κατά τη σύντομη ακολουθία εκπαίδευσης, καθορίζει ποια διαδρομή είναι ενεργοποιημένη για μια συγκεκριμένη ριπή. Στην πλευρά εκπομπής, είναι συχνά απαραίτητο να συμπεριληφθεί ένας εξωτερικός ενισχυτής ισχύος (PA). Το κόστος, η τρέχουσα κατανάλωση και η γραμμικότητα συνδυάζονται για να απαιτήσουν ιδιαίτερη προσοχή στη λεπτομέρεια στην επιλογή αυτή. Αν και το αναλογικό υλικό μπορεί να δοκιμαστεί μεμονωμένα, πρέπει να συνδυαστεί με την ψηφιακή επεξεργασία σήματος (DSP) του κυκλώματος της βασικής ζώνης ώστε να περιλαμβάνει έναν πλήρη πομποδέκτη.

4.1.3.2 Δημιουργία επαφής

Στις αρχές του 802.11 αφιερωμένες κάρτες PC εισήχθησαν συνήθως σε επιτραπέζιους και φορητούς υπολογιστές. Σήμερα, ενσωματωμένες μονάδες WLAN σχεδιάζονται σε όλους τους κινητούς υπολογιστές και στην πλειοψηφία των κυψελοειδών τηλεφώνων. Επιπλέον, αυτές οι ενσωματωμένες μονάδες καθίστανται διαθέσιμες σε μια μεγάλη ποικιλία συσκευών και μη παραδοσιακών υπολογιστικών συσκευών. Αυτά τα λειτουργικά συστήματα σε πραγματικό χρόνο παρέχουν ένα απλό μέσο ασύρματης ενεργοποίησης οποιασδήποτε συσκευής που διαθέτει και επικοινωνεί μέσω σειριακής θύρας. Αυτό επιτρέπει τον σχεδιασμό απλών συσκευών παρακολούθησης. Η ευαισθησία του δέκτη είναι σημαντική επειδή καθορίζει το μέγιστο εύρος που μπορεί να λειτουργεί ένας σύνδεσμος WLAN. Υπάρχουν επίσης δευτερεύοντα οφέλη συστήματος. Εάν ένας σύνδεσμος ολοκληρώσει μια μετάδοση γρηγορότερη από μια άλλη επειδή το ποσοστό σφάλματος πακέτων είναι χαμηλότερο, η κατανάλωση της μπαταρίας θα μειωθεί

και θα υπάρξουν λιγότερες παρεμβολές σε άλλους χρήστες. Σε ένα πραγματικό περιβάλλον, η καταστολή παρεμβολών και η γραμμικότητα επηρεάζουν άμεσα την απόδοση του ραδιοφώνου. Η ένδειξη σήματος λαμβανόμενης ισχύος (RSSI), που γίνεται κατά τη σύντομη ακολουθία εκπαίδευσης, καθορίζει ποια διαδρομή είναι ενεργοποιημένη για μια συγκεκριμένη έκρηξη. Στην πλευρά εκπομπής, είναι συχνά απαραίτητο να συμπεριληφθεί ένας εξωτερικός ενισχυτής ισχύος (PA). Το κόστος, η τρέχουσα κατανάλωση και η γραμμικότητα συνδυάζονται για να απαιτήσουν ιδιαίτερη προσοχή στη λεπτομέρεια στην επιλογή αυτή. Αν και το αναλογικό υλικό μπορεί να δοκιμαστεί μεμονωμένα, πρέπει να συνδυαστεί με την ψηφιακή επεξεργασία σήματος (DSP) του κυκλώματος της βασικής ζώνης ώστε να περιλαμβάνει έναν πλήρη πομποδέκτη.

4.1.3.3 Συγχρονισμός

Το AP εκπέμπει περιοδικά ένα πλαίσιο ραδιοφάρου (πακέτο) σε τακτά χρονικά διαστήματα, συνήθως κάθε 100 msec. Αυτό ονομάζεται χρόνος εκπομπής στοχευμένου ραδιοφάρου ή TBTT. Ο ραδιοφάρος φέρει πληροφορίες σχετικά με τις κανονιστικές ρυθμίσεις, τις δυνατότητες και τη διαχείριση του BSS, όπως:

- Υποστηριζόμενους ρυθμούς δεδομένων
- SSID - αναγνωριστικό συνόλου υπηρεσιών
- Χρονοσφραγίδα - συγχρονισμός

Το AP χρησιμοποιεί επίσης τον ραδιοφάρο για να διαφημίσει τις δυνατότητές του και αυτές οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται από τους παθητικά σαρωμένους πελάτες για να αποφασίσουν να συνδεθούν με το AP. Αυτό είναι απαραίτητο για να διατηρήσετε όλους τους πελάτες συγχρονισμένους με το AP, ώστε οι πελάτες να εκτελούν λειτουργίες όπως εξοικονόμηση ενέργειας.

4.1.3.4 Αυθεντικοποίηση

Στη συνέχεια, ο σταθμός πρέπει να πιστοποιηθεί από το AP για να συνδεθεί στο δίκτυο AP. Με ένα ανοιχτό δίκτυο, μια συσκευή στέλνει ένα αίτημα ελέγχου ταυτότητας και το AP στέλνει το αποτέλεσμα πίσω. Για ένα ασφαλές δίκτυο υπάρχει μια πιο τυπική διαδικασία πιστοποίησης. Ο έλεγχος ταυτότητας 802.1X περιλαμβάνει τρία μέρη: το σημείο πρόσβασης, τη συσκευή και τον διακομιστή ελέγχου ταυτότητας, ο οποίος είναι συνήθως ένα λογισμικό που υποστηρίζει τα απαιτούμενα πρωτόκολλα. Το σημείο πρόσβασης παρέχει την ασφάλεια για την προστασία του δικτύου. Η συσκευή δεν έχει πρόσβαση μέσω του AP στην προστατευμένη πλευρά του δικτύου έως ότου επικυρωθεί και εγκριθεί η ταυτότητα της συσκευής. Εάν ο διακομιστής ελέγχου ταυτότητας καθορίσει ότι τα διαπιστευτήρια είναι έγκυρα, ο αιτών (συσκευή-πελάτης) έχει δικαίωμα πρόσβασης σε πόρους που βρίσκονται στην προστατευμένη πλευρά του δικτύου.

4.1.3.5 Συσχέτιση

Η σύνδεση είναι το επόμενο βήμα μετά τον έλεγχο ταυτότητας και επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ της συσκευής και του AP. Η συσκευή στέλνει ένα πλαίσιο αιτήματος συσχέτισης στο AP που απαντά στον πελάτη με ένα πλαίσιο απόκρισης συσχέτισης είτε επιτρέποντας είτε αποκλείοντας τη σύνδεση. Μόλις ο σύνδεσμος είναι επιτυχής, το AP εκδίδει ένα αναγνωριστικό σύνδεσης στον πελάτη και προσθέτει τον πελάτη στη βάση δεδομένων του συνδεδεμένων πελατών.

4.1.3.6 Ανταλλαγή δεδομένων

Η μεταφορά δεδομένων επιτρέπεται μόνο μετά από έλεγχο ταυτότητας και συσχέτιση. Η προσπάθεια αποστολής δεδομένων σε ένα AP χωρίς κατάλληλη επαλήθευση ταυτότητας και συσχέτιση αναγκάζει το AP να ανταποκριθεί με ένα πλαίσιο de-authentication. Τα πλαίσια δεδομένων αναγνωρίζονται πάντοτε. Εάν μια συσκευή στέλνει ένα πλαίσιο δεδομένων σε ένα AP, το AP πρέπει να στείλει μια επιβεβαίωση. Αν το AP στέλνει ένα πλαίσιο δεδομένων σε μια συσκευή, η συσκευή πρέπει να στείλει μια επιβεβαίωση. Το AP διαβιβάζει τα πλαίσια δεδομένων που λαμβάνει από τον πελάτη στον απαιτούμενο προορισμό στο ενσύρματο δίκτυο. Επίσης, θα διαβιβάζει δεδομένα κατευθυνόμενα στον πελάτη από το ενσύρματο δίκτυο. Τα AP μπορούν επίσης να προωθήσουν την κίνηση μεταξύ δύο πελατών, αλλά αυτό δεν είναι συνηθισμένο.

4.2 Ad-hoc δίκτυα οχημάτων

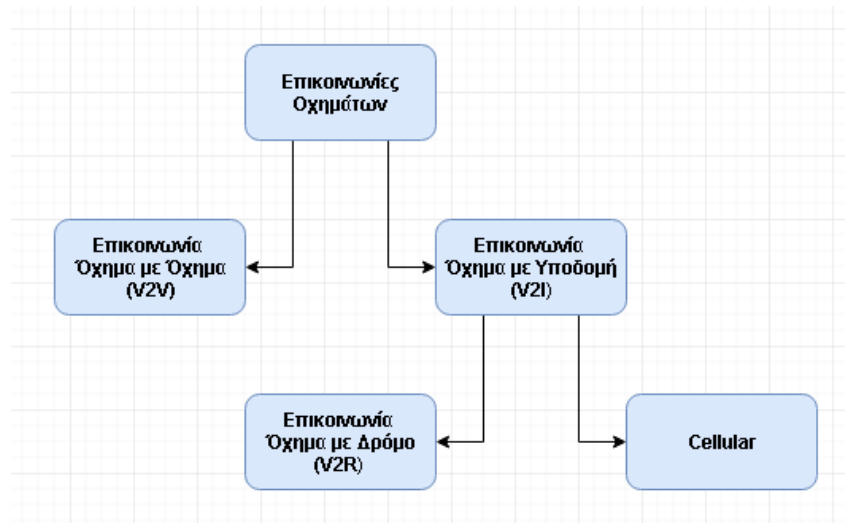
Με την ανάπτυξη των ασύρματων επικοινωνιών, των τεχνολογιών πλοήγησης και της αυτοκινητοβιομηχανίας, η τηλεματική έχει προσελκύσει μεγάλη προσοχή τόσο στη βιομηχανία όσο και στον ακαδημαϊκό κόσμο. Η τηλεματική είναι η ολοκληρωμένη χρήση των τηλεπικοινωνιών και της πληροφορικής. Πολλές τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας, όπως οι υπέρυθρες ακτίνες, το Wi-Fi, το 3.5G και το WiMAX, μπορούν να εφαρμοστούν στην τηλεματική για την παροχή υπηρεσιών. Ωστόσο, λόγω των απαιτήσεων ασφάλειας σε περιβάλλοντα οχήματος, πρέπει να εξεταστεί μια τεχνολογία επικοινωνίας με δυνατότητα μετάδοσης σε πραγματικό χρόνο. Η ομάδα εργασίας IEEE p (TGp) της ομάδας εργασίας IEEE 802.11 έχει αναπτύξει μια τροποποίηση του προτύπου IEEE 802.11 για να συμπεριλάβει τα περιβάλλοντα οχημάτων. Το έγγραφο ονομάζεται IEEE 802.11p. Μια άλλη ομάδα εργασίας IEEE, 1609, επεκτείνει το πρότυπο IEEE 802.11p για να καλύψει επιπλέον στρώματα στη σουίτα πρωτοκόλλου. Συλλογικά, τα πρότυπα της οικογένειας IEEE 802.11p και IEEE 1609 ονομάζονται πρότυπα ασύρματης πρόσβασης σε περιβάλλοντα οχημάτων (Wireless Access in Vehicular Environments), αφού όλα αυτά αναπτύσσονται για να διευκολύνουν την παροχή ασύρματης πρόσβασης σε περιβάλλοντα οχημάτων. Η τεχνολογία WAVE κατατάσσεται σε αποκλειστική επικοινωνία μικρής κλίμακας (DSRC). [30]

Ένα ad hoc δίκτυο οχημάτων (Vehicular Ad-hoc NETwork) είναι ένα κινητό ad hoc δίκτυο (Mobile Ad-hoc NETwork), όπου οι κόμβοι του δικτύου είναι οχήματα. Τα VANETs παρουσιάζουν ένα μοναδικό φάσμα προκλήσεων και ευκαιριών για πρωτόκολλα δρομολόγησης εξαιτίας του ημί-οργανωμένου χαρακτήρα των κινήσεων των οχημάτων που υπόκεινται στους περιορισμούς της γεωμετρίας, των κανόνων οδοστρώματος και τα εμπόδια που περιορίζουν τη φυσική συνδεσιμότητα σε αστικά περιβάλλοντα. Συγκεκριμένα, τα προβλήματα της αξιοπιστίας του πρωτοκόλλου δρομολόγησης και της επεκτασιμότητας σε μεγάλα αστικά VANETs αποτελούν σήμερα αντικείμενο έντονης έρευνας. Η ομαδοποίηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της διαβάθμισής δρομολόγησης και της αξιοπιστίας των VANETs. Έχει ως αποτέλεσμα τον κατανομημένο σχηματισμό ιεραρχικών δομών δικτύου με ομαδοποίηση οχημάτων μαζί με βάση συσχετισμένη χωρική κατανομή και σχετική ταχύτητα. Εκτός από τα οφέλη από τη δρομολόγηση, αυτές οι ομάδες μπορούν να χρησιμεύσουν ως βάση για την ανίχνευση ατυχημάτων ή συμφόρησης, τη διάδοση πληροφοριών και τις εφαρμογές ψυχαγωγίας. Σε ένα οδικό δίκτυο VANET, τα συμμετέχοντα οχήματα είναι εξοπλισμένα με ασύρματο πομποδέκτη που τους επιτρέπει να ανταλλάσσουν δεδομένα με άλλα γειτονικά οχήματα και, όπου είναι απαραίτητο, να δρομολογούν πακέτα μέσω γειτονικών οχημάτων

σε προορισμούς που δεν βρίσκονται σε κατάσταση LOS. Δεν είναι απαραίτητη η διασύνδεση ενός οχήματος με εξωτερική υποδομή, παρόλο που οι σταθερές οδικές μονάδες μπορούν επίσης να συμμετέχουν σε ένα VANET. Μια τέτοια αρχιτεκτονική επιτρέπει τη δημιουργία εφαρμογών που κυμαίνονται από τη βελτίωση της κυκλοφοριακής ασφάλειας και την αποφυγή συμφόρησης σε συστήματα πληροφοριών και ψυχαγωγίας μέσα στο αυτοκίνητο. Τα συστήματα VANET λειτουργούν σε ένα περιβάλλον επικοινωνίας με προβλήματα, που μέχρι σήμερα έχουν περιορίσει την πρακτική ανάπτυξη της τεχνολογίας. Τα VANETs είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στο πρόβλημα του κρυμμένου κόμβου. Επιπλέον, πρέπει να αντιμετωπίσουν περιορισμένο φάσμα φασματικής ζώνης και ένα πολύ μεταβλητό κανάλι που επηρεάζεται από αμφοτέρωτα σταθερά και κινητά εμπόδια και πηγές παρεμβολών. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον, τα δίκτυα που βασίζονται στην υποδομή διαθέτουν σημαντικό πλεονέκτημα έναντι των ad hoc δικτύων. Τα σημεία πρόσβασης επιτρέπουν τον βέλτιστο προγραμματισμό της πρόσβασης και της διανομής των πόρων του δικτύου με έναν σχετικά απλό τρόπο, με την προϋπόθεση ότι χρειάζεται να αναπτυχθούν μεγάλος αριθμός σημείων πρόσβασης στην προβλεπόμενη περιοχή κάλυψης. Για να επιτευχθούν ορισμένα από τα οφέλη ενός δικτύου που βασίζεται στην υποδομή χωρίς την ανάγκη για φυσική υποδομή, οι ερευνητές έχουν διερευνήσει την ιδέα της ομαδοποίησης σε VANETs, μέσω της οποίας μια ιεραρχική δομή δικτύου διαμορφώνεται κατανεμημένα σε όλο το δίκτυο μέσω κάποιου είδους αλγόριθμου ομαδοποίησης.

4.2.1 Επικοινωνίες οχημάτων

Τα σύγχρονα οχήματα κάνουν εισροές στην αγορά. Αυτά τα οχήματα όχι μόνο διαθέτουν παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης (GPS) και συστήματα πλοήγησης, αλλά και πιο προηγμένα χαρακτηριστικά, όπως η περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση για την πρόληψη συγκρούσεων οχημάτων, συστήματα πολυμέσων και ολοκληρωμένα συστήματα ασύρματης πρόσβασης για τη βελτίωση της απόδοσης των οχημάτων και την εμπειρία των χρηστών. Επιπλέον, υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των οδικών επικοινωνιών. Για το σκοπό αυτό, τα έξυπνα συστήματα μεταφοράς (ITS) στοχεύουν στη βελτίωση της ασφάλειας, της αξιοπιστίας, της αποδοτικότητας και της ποιότητας της υποδομής και των οχημάτων μέσω της χρήσης τεχνολογιών πληροφοριών και επικοινωνιών (Information and Communication Technologies). Επιπλέον, τα ITS επικεντρώνονται στην παροχή βιώσιμων και οικονομικά προσιτών μεταφορών, σχεδιάζοντας προηγμένες εφαρμογές και υπηρεσίες για τη βελτιστοποίηση του χρόνου μεταφοράς και της κατανάλωσης ενέργειας. Τα ITS υποστηρίζουν διάφορα σενάρια επικοινωνίας, συμπεριλαμβανομένων όλων των τύπων επικοινωνιών σε οχήματα, μεταξύ οχημάτων, καθώς και μεταξύ οχημάτων και οδικής υποδομής. Το σχήμα 13 δείχνει την ταξινόμηση των επικοινωνιών των οχημάτων. Οι οδικές επικοινωνίες μπορούν να ταξινομηθούν σε V2V και V2I. Το V2I περιλαμβάνει περαιτέρω επικοινωνία και επικοινωνία οχημάτων-roadside (V2R) με κυψελοειδή δίκτυα. Στις επικοινωνίες V2V, ένα ad hoc δίκτυο οχημάτων (VANET) σχηματίζεται μεταξύ των οχημάτων για ανταλλαγή πληροφοριών, π.χ. πληροφοριών ασφαλείας. Στο V2R, ανταλλάσσονται πληροφορίες μεταξύ της οδικής μονάδας (RSU) και της επί του οχήματος μονάδας (OBU) ενός οχήματος. Στο V2I, ανταλλάσσονται πληροφορίες μεταξύ του RSU ή ενδεχομένως ενός κυψελοειδούς δικτύου και οι επικοινωνίες OBU. V2V είναι σχετικά πιο περίπλοκες και δύσκολες σε σύγκριση με τις επικοινωνίες V2R και V2I. Οι επικοινωνίες V2I είναι περισσότερο για την ανταλλαγή πληροφοριών με τους κεντρικούς διακομιστές κάπου στο Διαδίκτυο μέσω διαφόρων δικτύων και τεχνολογιών πρόσβασης.



Σχήμα 13 : Διάγραμμα συστήματος 802.11.p

Επί του παρόντος, υπάρχει συνεχής προσπάθεια από τους φορείς εκμετάλλευσης κυψελοειδών δικτύων για την ενίσχυση της χωρητικότητας δικτύου που θα βελτιώσει την υποστήριξη κυψελοειδούς δικτύου για τις επικοινωνίες V2I. Οι επικοινωνίες V2R που αναπτύσσονται επί του παρόντος είναι κυρίως επικοινωνίες μικρής απόστασης μεταξύ τους, για παράδειγμα, είσπραξη διοδίων, ενώ οι επικοινωνίες V2V αναμένεται να είναι ως επί το πλείστον ad hoc επικοινωνίες με εμβέλεια μετάδοσης έως και 100 m. Ωστόσο, προς το παρόν, οι επικοινωνίες V2V δεν είναι ακόμη ad hoc. Υπάρχουν κυρίως επικοινωνίες για unicast και multicast. Οι οργανισμοί τυποποίησης και οι ερευνητές εργάζονται σε πολυκαταστήματα για εφαρμογές ασφάλειας για γεωτρήσεις και V2V, αλλά εξακολουθούν να υπάρχουν ισχυρές ανησυχίες επεκτασιμότητας. Η περιοχή μετάδοσης που εξασφαλίζεται συνήθως είναι 300 μέτρα στην αστική περιοχή και περίπου 1 χιλιόμετρο σε ελεύθερο χώρο. [21]

4.2.2 Προκλήσεις

Εδώ περιγράφουμε τα μοναδικά χαρακτηριστικά των VANETs και εντοπίζουμε μερικά σημαντικά ζητήματα. Η ανάπτυξη ενός δικτύου δικτύωσης οχημάτων απαιτεί την αντιμετώπιση αρκετών προκλήσεων που τίθενται από τα μοναδικά χαρακτηριστικά και απαιτήσεις των οδικών επικοινωνιών.

4.2.2.1 Κινητικότητα και τοπολογία δυναμικού δικτύου

Μεγάλη κινητικότητα (για παράδειγμα, 100 έως 200 χλμ./Ωρα) οχημάτων καθιστά την τοπολογία των VANETs πολύ δυναμική που οδηγεί σε πολύ βραχύβιες επικοινωνίες οδικής επικοινωνίας. Επιπλέον, η πυκνότητα των οχημάτων διαφέρει από αραιή σε πυκνή. Η υψηλή κινητικότητα σε αραιοκατοικημένες περιοχές μπορεί να προκαλέσει πρόβλημα κατακερματισμού για το VANET, πράγμα που με τη σειρά του θα έχει ως αποτέλεσμα την ανικανότητα σύνδεσης με το δίκτυο για ορισμένους κόμβους. Επιπλέον, οι υψηλές ταχύτητες μπορεί να επιδεινώσουν το σήμα εξαιτίας του Doppler και της γρήγορης διάλειτουργσης. Αυτοί οι παράγοντες μπορούν να υποβαθμίσουν την απόδοση εφαρμογών που έχουν απαιτήσεις QoS όσον αφορά την υψηλή αξιοπιστία και τη χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση.

4.2.2.2 Καταμετρημένος συντονισμός *ad hoc* και μοντέλο ενός καναλιού έναντι πολλαπλών καναλιών

Στις επικοινωνίες V2I, οι σταθερές οδικές μονάδες μπορούν να λειτουργήσουν ως συντονιστές. Ωστόσο, οι επικοινωνίες V2V αναμένεται να είναι αυτό-οργανώσιμες και να λειτουργούν με ή χωρίς μονάδες υποβοήθησης της οδού. Συνεπώς, ένα παράδειγμα μονού καναλιού, με ένα κοινό κανάλι ελέγχου, είναι μια καλή λύση για τις επικοινωνίες V2V για την ελλείψει κεντρικού συντονισμού, δεδομένου ότι διάφορες εφαρμογές θα μεταδίδουν μηνύματα σε πολλά γειτονικά οχήματα. Ωστόσο, ένα παράδειγμα μονού καναλιού έρχεται με το πρόβλημα του κρυμμένου τερματικού και θέτει δύσκολες απαιτήσεις στο σχεδιασμό του πρωτοκόλλου MAC για τις επικοινωνίες V2V. Παρόλο που το IEEE 802.11 με αισθητήρα πολλαπλής πρόσβασης (CSMA) βασισμένο σε CSMA βασίζεται σε επικοινωνίες V2V, η απόδοσή του υποβαθμίζεται παρουσία υψηλού αριθμού χρηστών. Επιπλέον, εάν φτάσουμε σε μεγαλύτερο αριθμό οχημάτων, τα πρωτόκολλα διάδοσης θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε μεγαλύτερη επιβάρυνση. Επιπλέον, υψηλή πυκνότητα επισκεψιμότητας δεδομένων μπορεί να οδηγήσει σε συμφόρηση καναλιού, π.χ. σε περίπτωση ατυχήματος και επακόλουθη έκρηξη μηνυμάτων. Το παράδειγμα πολλαπλών καναλιών μπορεί να αποτελέσει πιθανή λύση για τέτοια σενάρια όπου απαιτείται άμεση ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ των οχημάτων, μειώνοντας έτσι τη συμφόρηση στα κοινά κανάλια ελέγχου (CCC). Η προσέγγιση που χρησιμοποιείται τώρα είναι να επιτρέπεται σε όλα τα οχήματα να συγχρονίζονται σε μια αναφορά παγκόσμιου χρόνου και να εναλλάσσονται μεταξύ ενός κοινού καναλιού ελέγχου και ξεχωριστών καναλιών υπηρεσίας κάθε 100 ms. Ωστόσο, η προσέγγιση αυτή δεν είναι αποτελεσματική.

4.2.2.3 Θέματα δρομολόγησης

Τα συμβατικά πρωτόκολλα δρομολόγησης δεν είναι κατάλληλα για VANET λόγω των ειδικών χαρακτηριστικών του δικτύου τους, π.χ., μεταβαλλόμενη τοπολογία δικτύου και συχνές αποσυνδέσεις. Μερικοί από τους αλγόριθμους δρομολόγησης των VANETs μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως ευκαιριακή προώθηση, προώθηση με βάση την τροχιά και την γεωγραφική προώθηση. Οι ευκαιριακοί αλγόριθμοι προώθησης (μεταφέροντας και προωθώντας ένα μήνυμα όποτε δοθεί η ευκαιρία) είναι χρήσιμα σε σενάρια με συχνές αποσυνδέσεις και μπορούν να συνδυαστούν με άλλες προσεγγίσεις που χρησιμοποιούν τη προώθηση με βάση την τροχιά ή τη γεωγραφική προώθηση. Οι αλγόριθμοι γεωγραφικής προώθησης προωθούν τα πακέτα προς τον προορισμό ως συνάρτηση της γεωγραφικής του θέσης. Αυτή η προσέγγιση δρομολόγησης είναι κλιμακωτή αλλά όχι αποδοτική για το χειρισμό σε περίπτωση αδιέξοδου και κενών. Η προώθηση της τροχιάς μπορεί να είναι ο καταλληλότερος αλγόριθμος προώθησης μηνυμάτων για τα VANETs, καθώς θεωρεί την οδική υποδομή ως γράφημα επικαλύψεων με διασταυρώσεις ως κόμβους γραφημάτων και δρόμους ως άκρα γραφημάτων που επιτρέπουν στα μηνύματα να μετακινούνται σε προκαθορισμένες τροχιές. Επιπλέον, μερικές πρόσφατες ευκαιριακές προσεγγίσεις για εφαρμογές ανεκτικής καθυστέρησης εκμεταλλεύονται αναλύσεις κοινωνικής δικτύωσης για την προώθηση πακέτων. Η ιδέα με την κοινωνική προώθηση είναι η προώθηση ενός πακέτου σε έναν κόμβο ο οποίος έχει μεγάλη πιθανότητα να συναντήσει τον κόμβο προορισμού στο εγγύς μέλλον.

4.2.2.4 Ιδιωτικότητα & Ασφάλεια

Τα ζητήματα ιδιωτικού απορρήτου και ασφάλειας είναι εξαιρετικά σημαντικά για τα VANETs λόγω πιθανών απειλών για τη ροή της κυκλοφορίας και την ανθρώπινη ζωή από οποιαδήποτε κακόβουλη προσπάθεια, για παράδειγμα ψεύτικα μηνύματα που οδηγούν σε διαταραχές της κυκλοφορίας και

θανατηφόρα ατυχήματα. Ορισμένα από τα θέματα ασφάλειας και ιδιωτικής ζωής που σχετίζονται με ITS. Τα πρωτόκολλα ασφαλείας για δίκτυα οχημάτων πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, όπως η υψηλή κινητικότητα και απαιτήσεις όπως η εμπιστοσύνη (τα οχήματα θα πρέπει να είναι σε θέση να εμπιστεύονται τα ληφθέντα μηνύματα), την ευελιξία (για παρεμβολές) και την αποτελεσματικότητα (π.χ. χρόνος). Επιπλέον, οι ανησυχίες σχετικά με την προστασία της ιδιωτικής ζωής περιλαμβάνουν τη διατήρηση της ανωνυμίας ώστε να αποφευχθεί η παρακολούθηση ή η αναγνώριση του οχήματος για τα μη αξιόπιστα μέρη με βάση την επικοινωνία με οχήματα. Ωστόσο, αυτοί οι μηχανισμοί ασφαλείας γενικά βαραίνουν την υποβαθμισμένη απόδοση της επικοινωνίας.

4.3 Δίκτυα οχημάτων με χρήση του προτύπου 802.11p (WAVE)

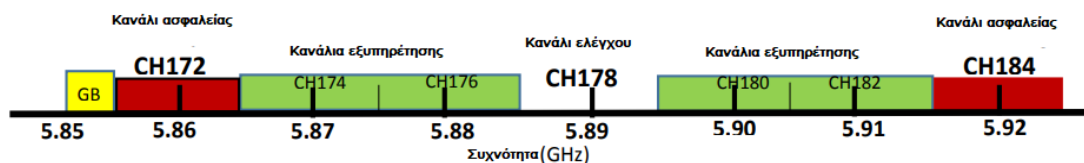
Τα τελευταία χρόνια, τα επί τούτω δίκτυα οχημάτων (Vehicular Ad-hoc NETworks) εμφανίστηκαν με μεγάλο ενδιαφέρον εξαιτίας του αντίκτυπου τους στη μείωση των κυκλοφοριακών συμφόρησης και την αύξηση της ασφάλειας καθώς και εναλλακτικού συστήματος επικοινωνίας έκτακτης ανάγκης σε περίπτωση φυσικών καταστροφών, όταν υπάρχει έλλειψη συνηθισμένων συστημάτων επικοινωνίας. Το πρότυπο IEEE 802.11p γνωστό ως ασύρματη πρόσβαση σε περιβάλλοντα οχημάτων (WAVE), είναι ειδικά σχεδιασμένο για να προσαρμόζει τις απαιτήσεις του δικτύου VANET και να υποστηρίζει συστήματα έξυπνων μεταφορών (Intelligent Transportation Systems). Το IEEE 802.11 είναι μια συλλογή προδιαγραφών φυσικού στρώματος (PHY) και ελέγχου πρόσβασης μέσων (MAC) για την υλοποίηση του WLAN στις ζώνες συχνότητας 2,4, 3,6, 5 και 60 GHz, όπως και αναλύσαμε προηγουμένως. Το IEEE 802.11p είναι μία από τις πρόσφατες εγκεκριμένες τροποποιήσεις του προτύπου IEEE 802.11, από το 2010, για την προσθήκη ασύρματης πρόσβασης σε περιβάλλοντα οχημάτων. Πρόσθεσε ορισμένες βελτιώσεις στην τελευταία έκδοση του 802.11 που απαιτείται για την υποστήριξη εφαρμογών των ITS. Αυτό περιλαμβάνει την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των οχημάτων υψηλής ταχύτητας και μεταξύ των οχημάτων και της οδικής υποδομής στην άδεια ITS ζώνη. Το σύστημα ραδιοσυχνοτήτων LAN IEEE 802.11p προορίζεται αρχικά για τη ζώνη εθνικών υποδομών πληροφοριών (U-NII) χωρίς άδεια χρήσης 5.15-5.25, 5.25-5.35 GHz και 5.725-5.825 GHz. Η υποστήριξη αποστολής δεδομένων σε 6, 12 και 24 Mbit/s είναι υποχρεωτική ενώ τα 9, 18, 36, 48, 54Mbit/s είναι προαιρετικές ταχύτητες δεδομένων. Το σύστημα χρησιμοποιεί 52 υπο-φέρουσες οι οποίες διαμορφώνονται χρησιμοποιώντας κωδικοποίηση μετατόπισης φάσης δυαδικής ή τετραγωνικής μετατόπισης (BPSK / QPSK), 16 διαμόρφωση πλάτους τετραγωνικής διατομής (16-QAM) ή 64-QAM. Χρησιμοποιείται κωδικοποίηση διόρθωσης σφαλμάτων FEC με ρυθμό κωδικοποίησης 1/2, 2/3 ή 3/4. Το IEEE 1609 είναι ένα πρότυπο υψηλότερου επιπέδου που βασίζεται στο IEEE 802.11p για την υποστήριξη ζητημάτων ασφάλειας δικτύου στο πρότυπο WAVE.

Πίνακας 3 Πίνακας συστήματος 802.11p [40]

Ρυθμοί Μετάδοσης [Mbps]	Διαμόρφωση	Ρυθμός κωδικοποίησης	Ελάχιστη ευαισθησία [dBm] [10]	Κατώφλι SINR [dB] [4]
3	BPSK	1 / 2	-85	5
4.5	BPSK	3 / 4	-84	6
6	QPSK	1 / 2	-82	8
9	QPSK	3 / 4	-80	11
12	16-QAM	1 / 2	-77	15
18	16-QAM	3 / 4	-73	20
24	64-QAM	2 / 3	-69	25
27	64-QAM	3 / 4	-68	30

4.3.1 Φάσμα συχνοτήτων

Η τροποποίηση IEEE 802.11p επιτρέπει τη χρήση της ζώνης 5.9GHz (5.850 - 5.925) GHz με απόσταση καναλιών ίση με 20MHz, 10MHz και 5MHz και καθορίζει τις απαιτήσεις για τη χρήση αυτής της μπάντας στην Ευρώπη και τις ΗΠΑ. Χρησιμοποιεί τους μηχανισμούς που αρχικά παρέχονται από το IEEE 802.11 για να λειτουργεί σε αποκλειστική επικοινωνία μικρής εμβέλειας(Dedicated Short-Range Communications), η οποία είναι μια τεχνολογία επικοινωνίας βασισμένη στο IEEE 802.11a για να λειτουργεί στη ζώνη των 5.9 GHz στις Ηνωμένες Πολιτείες ή 5.8 GHz στην Ιαπωνία και την Ευρώπη. Προσφέρει ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ οχημάτων (V2V) και μεταξύ οχημάτων και οδικής υποδομής (V2I) σε απόσταση 1 km με ταχύτητα μετάδοσης 3Mbps έως 27Mbps και ταχύτητα οχήματος έως 260 km/h. Το IEEE 802.11p λειτουργεί σε περίπου 9 κανάλια, καθένα από τα οποία έχει ζώνη συχνοτήτων όπως περιγράφεται στην παρακάτω εικόνα.

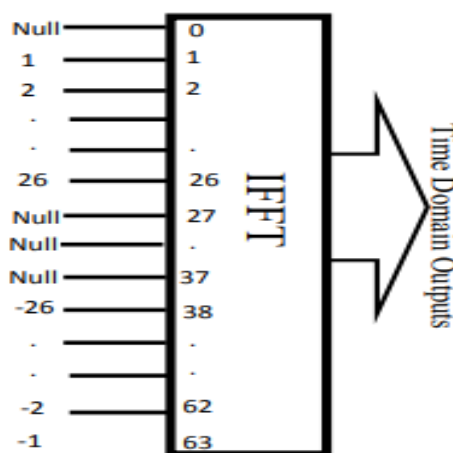


Σχήμα 14 : Κανάλια συχνοτήτων 802.11p

Τα CH172 (5.860 GHz) και CH184 (5.920 GHz) είναι αμφότερα τα ειδικά για την ασφάλεια κανάλια. Το πρώτο παρέχει σημαντικές λύσεις ασφάλειας, ενώ το δεύτερο παίζει προστατευτικό ρόλο κατά της συμφόρησης σε άλλα κανάλια. Το κανάλι CH178 (5.890GHz) είναι ένα κανάλι ελέγχου που είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο της μετάδοσης και της εγκατάστασης σύνδεσης. Τα έξι άλλα κανάλια υπηρεσιών διατίθενται για αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών τύπων μονάδων. Στην πραγματικότητα είναι τέσσερα κανάλια αλλά το ζεύγος καναλιών 174, 176 και καναλιών 180, 182 μπορούν να συνδυαστούν μεταξύ της για να σχηματίσουν ένα 20MHz κανάλι, κανάλι 175 και 181 αντίστοιχα. Υπάρχει 5 MHz στην αρχή της ζώνης (5.85), που χρησιμοποιείται ως ζώνη προστασίας (Ground Band). Στο 802.11p το εύρος ζώνης του καναλιού μειώνεται κατά το ήμισυ, ώστε να συμβαδίζει με της απαιτήσεις των δικτύων

VANET, με αποτέλεσμα το εύρος ζώνης 10 MHz αντί των 20MHz στο 802.11a. Της, η απόσταση του φορέα μειώνεται κατά το μισό, τυπικά 0.15625MHz, σε σύγκριση με το 802.11a το οποίο είναι 0.3125MHz, ενώ το μήκος συμβόλου για το 802.11p είναι διπλάσιο (8μs) από το 802.11a (4μs). Πρόκειται κυρίως για διπλασιασμό όλων των παραμέτρων χρονισμού OFDM που χρησιμοποιούνται της κανονικές μεταδόσεις 802.11a. Συνεπώς, ο ρυθμός μετάδοσης μειώνεται κατά το μισό.

Διάφορα σχήματα διαμόρφωσης χρησιμοποιούνται για την αποτελεσματική μετάδοση πακέτων. Η προδιαγραφή IEEE 802.11, καθορίζει τη διάταξη των 64 υποφερουσών. Οι 52 υποφερουσες είναι χρήσιμες (δεδομένα + πιλότο) και εκχωρούνται σε αυτές αριθμοί από -26 έως 26. Τα πιλοτικά σήματα ενσωματώνονται της υποφερουσες -21, -7, 7 και 21. Οι υπόλοιπες υποφερουσες είναι μηδενικές (0) και μέσες (27 έως 37) της ζώνης για να εξαλείψει την επίδραση των μηδενικών φερουσών. Στη συνέχεια, οι υποφερουσες υποβάλλονται σε επεξεργασία μέσω διαμόρφωσης μετασχηματισμού αντίστροφου διακριτού Fourier (Inverse Discrete Fourier Transform) προκειμένου να μεταδοθούν στο πεδίο χρόνου μετά την προσθήκη της κυκλικού προθέματος (Cyclic Prefix). Το CP εφαρμόζεται μέσω προθέσεως της συμβόλου με επανάληψη της μέρους του άκρου του κατά την εκκίνησή του, έτσι ώστε να χρησιμεύει ως διάστημα προστασίας για την εξάλειψη της διασυμβολικής παρεμβολής (InterSymbol Interference) που προκαλείται από το προηγούμενο σύμβολο. Της, επιτρέπει τη γραμμική συνέλιξη της διαύλου πολλαπλών διαδρομών επιλεκτικής συχνότητας να διαμορφώνεται ως κυκλική συνέλιξη, η οποία με τη σειρά της μεταβαίνει στο πεδίο συχνοτήτων χρησιμοποιώντας ένα DFT. Στη μονάδα δέκτη, μετά από συγχρονισμό χρονισμού, το CP αποσπάται πριν αναδιαμορφωθεί το σήμα.

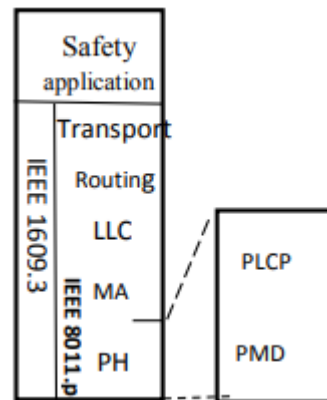


Σχήμα 15 : Ανάθεση υποφερουσας βάση προτύπου 802.11p

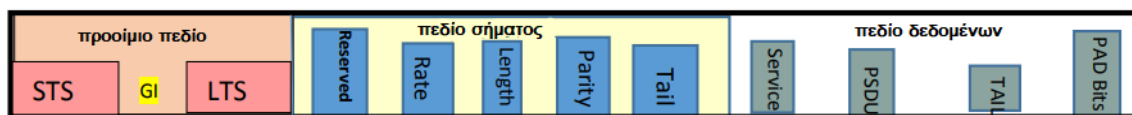
4.3.2 Δομή φυσικού στρώματος 802.11p

Το φυσικό στρώμα (PHY) αντιπροσωπεύει μια διεπαφή μεταξύ του στρώματος MAC και των μέσων που επιτρέπει την αποστολή και λήψη πλαισίων. Το PHY είναι ουσιαστικά υπεύθυνο για τις προδιαγραφές υλικού, τη μετατροπή των δυαδικών ψηφίων, την κωδικοποίηση σήματος και τη μορφοποίηση δεδομένων. Το PHY του IEEE 802.11p είναι παρόμοιο με αυτό του IEEE 802.11a. Αποτελείται από δύο υποστρώματα όπως φαίνεται σχήμα 16. Το πρώτο είναι το πρωτόκολλο σύγκλισης φυσικού στρώματος (Physical Layer Convergence Protocol) το οποίο είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία με το επίπεδο MAC. Είναι επίσης μια διαδικασία σύγκλισης που μετατρέπει τη Μονάδα Πακέτων Δεδομένων (Packet Data Unit) που φτάνει από

τη στρώση MAC για να συνθέσει ένα πλαίσιο OFDM. Το δεύτερο υπό-στρώμα είναι το PMD (Physical Medium Access) το οποίο είναι η διασύνδεση με το φυσικό μέσο μετάδοσης, όπως ραδιοφωνικά κανάλια και συνδέσεις ινών. Η δουλειά του είναι να διαχειρίζεται την κωδικοποίηση δεδομένων και να εκτελεί τη διαμόρφωση.



Σχήμα 16 : Στοιβά πρωτοκόλλου WAVE & υποστρώματα PHY

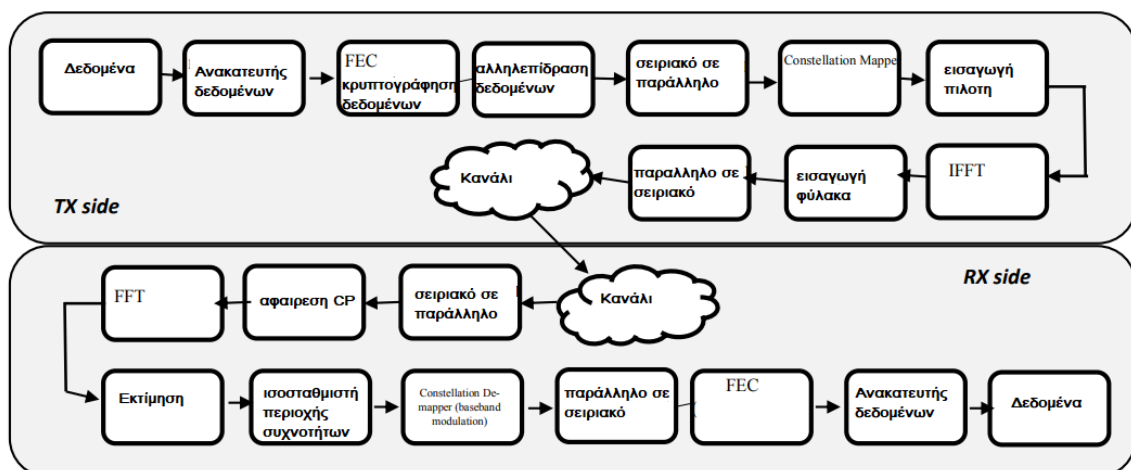


Σχήμα 17 : Δομή πλαισίου στρώματος PHY PDU

Η μονάδα δεδομένων πακέτων πρωτοκόλλου (Protocol Packet Data Unit) που αποτελείται από ένα προοίμιο πεδίο σήματος και ένα συστατικό ωφέλιμου φορτίου που περιέχει τα χρήσιμα δεδομένα όπως φαίνεται στο σχήμα 16. Το προοίμιο πεδίο σηματοδοτεί την αρχή του φυσικού πλαισίου. Χρησιμοποιείται για την επιλογή της κατάλληλης κεραίας και για τη διόρθωση της μετατόπισης συχνότητας και χρονισμού. Ένα προοίμιο χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση του ταλαντωτή ελέγχου τάσης (Voltage controlled oscillator) του δέκτη στο ρολόι του εισερχόμενου σήματος έτσι ώστε να παράγει ένα ρολόι στον δέκτη που συγχρονίζεται με το ληφθέν σήμα, προκειμένου να επιτευχθεί μια τέλεια δειγματοληψία και αποδιαμόρφωση. Επίσης, για να ληφθούν οι πληροφορίες κατάστασης καναλιού (Channel State Information), χρησιμοποιούνται εκπαιδευτικά σύμβολα OFDM ή πιλοτικά σύμβολα ενσωματωμένα σε κάθε σύμβολο OFDM. Τα πιλοτικά σύμβολα χρησιμοποιούνται για τον σκοπό της εκτίμησης καναλιών και της διόρθωσης σφαλμάτων μετάδοσης, επειδή το ασύρματο κανάλι έχει μεγάλη επίδραση στις ιδιότητες του σήματος. Μπορεί να μεταβάλλει τη φάση και τη συχνότητα του σήματος από ορισμένες τιμές, οι οποίες μπορεί να επηρεάσουν τη διαδικασία αποδιαμόρφωσης. Αυτά τα φαινόμενα συχνά είναι η περιστροφή φάσης, η μετατόπιση της συχνότητας Doppler, η υποβάθμιση του εύρους και η παραμόρφωση της φάσης. Όλα αυτά τα αποτελέσματα προκαλούν ανεπαρκή SNR (Signal-to-Noise Ratio). Ένα από τα σημαντικά αποτελέσματα είναι ότι μπορεί να μεταβάλλει τον τόπο της συχνότητας ορισμένων υποφερουσών σε ένα OFDM, το οποίο μπορεί να προκαλέσει την απώλεια σημάτων ορθογωνικών χαρακτηριστικών. Επομένως, στον πομπό, ένα πολύ γνωστό σύμβολο, η συχνότητα, το πλάτος και η φάση του, εισάγεται μεταξύ των υποφερουσών για τη μεταφορά των αποτελεσμάτων του καναλιού και στον δέκτη αποδιαμορφώνεται, στη

συνέχεια υπολογίζονται όλα τα αποτελέσματα και διορθώνεται το ληφθέν σήμα και υπολογίζεται σύμφωνα με αυτά τα υπολογιζόμενα ποσά. Ο αριθμός των πιλότων που χρησιμοποιούνται σε ένα σύστημα OFDM εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του καναλιού μέσω του οποίου στέλνεται το σήμα. Κατά την έναρξη της διαδικασίας μετάδοσης μεταδίδονται σύμβολα OFDM ή ισοδύναμα πρότυπα OFDM, ενώ σε κάθε σύμβολο OFDM ενσωματώνονται πιλοτικά σύμβολα (σύνθετα εκθετικά στο χρόνο) και διαχωρίζονται από τα σύμβολα πληροφοριών στο πεδίο συχνοτήτων. Η εκτίμηση του καναλιού με την εκπαίδευση των συμβόλων OFDM μπορεί να είναι αρκετή για την ανίχνευση συμβόλων σε περίπτωση που το κανάλι παραμένει σταθερό σε πολλά OFDM σύμβολα, αλλά σε περίπτωση αλλαγής καναλιού, τα σύμβολα OFDM θα πρέπει να αναμεταδίδονται συχνά για να ληφθούν αξιόπιστες εκτιμήσεις καναλιών για ανίχνευση. Από την άλλη πλευρά, για την παρακολούθηση του ταχέως μεταβαλλόμενου καναλιού, εισάγονται πιλοτικά σύμβολα σε κάθε σύμβολο OFDM για να διευκολυνθεί η εκτίμηση του καναλιού. Αυτό είναι γνωστό ως εκτίμηση καναλιού με υποβοηθούμενη από πιλότο (pilot assisted channel assessment). Το κύριο μειονέκτημα της εκτίμησης καναλιού που υποβοηθείται από τον πιλότο έγκειται στη μείωση του ρυθμού μετάδοσης, ειδικά όταν εισάγεται μεγαλύτερος αριθμός πιλοτικών συμβόλων σε κάθε σύμβολο OFDM. Συνεπώς, είναι επιθυμητό να ελαχιστοποιηθεί ο αριθμός των ενσωματωμένων πιλοτικών συμβόλων για να αποφευχθεί η υπερβολική απώλεια ρυθμού μετάδοσης. Γενικά, για να μειωθεί και να αποφευχθεί η επίδραση του καναλιού στα σήματα, ένα σύμβολο εκπαίδευσης είναι μηχανισμός τομέων του χρόνου, ενώ ένας πιλότος είναι μηχανισμός τομέα συχνοτήτων. Τα σύμβολα εκπαίδευσης χρησιμοποιούν όλες τις υποφέρουσες ενώ το πιλοτικό είναι ενσωματωμένο σε μερικούς υποφόρους.

4.3.3 Περιγραφή διαδικασίας μετάδοσης δεδομένων φυσικού στρώματος



Σχήμα 18 : Διάγραμμα διεργασίας μετάδοσης δεδομένων PHY

Το σχηματικό διάγραμμα που φαίνεται στο σχήμα 18 αντιπροσωπεύει τη διαδικασία μετάδοσης PHY, η οποία αποτελείται από πολλά πολύπλοκα βήματα. Η διαδικασία έχει ως εξής. Τα δεδομένα θα ληφθούν από το ανώτερο στρώμα που αντιπροσωπεύει τα πλαίσια στρώματος ζεύξης δεδομένων(Data Link Layer). Αυτά τα δεδομένα είναι κωδικοποιημένα για να αποτρέψουν μια ακολουθία μεγάλων δυαδικών ψηφίων που μπορεί να προκαλέσει σφάλματα. Ένας περιπλέκτης δεδομένων (Data Scrambler) σε αυτό το πλαίσιο δεν έχει σκοπό κρυπτογράφησης, καθώς η πρόθεση είναι να δοθούν στα μεταδιδόμενα δεδομένα κάποιες χρήσιμες ιδιότητες μηχανικής και όχι να καταστεί ακατανόητο το μήνυμα. Ένας περιπλέκτης δεδομένων

αντικαθιστά τις αλληλουχίες σε άλλες χωρίς να αφαιρεί ανεπιθύμητα. Ως αποτέλεσμα, αλλάζει την πιθανότητα εμφάνισης κακοήθων αλληλουχιών για την πρόληψη ανεπιθύμητων περιοδικών ακολουθιών εξόδου. Προκειμένου να μειωθεί η αιτία σφάλματος δυαδικών ψηφίων από το ICI, το ISI και το κανάλι, πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας μηχανισμός FEC. Το IEEE 802.11p συνήθως χρησιμοποιεί συνελκτικό εγκωδικοποιητή (convolutional encoder), με ρυθμό $\frac{1}{2}$ και $\frac{3}{4}$ κωδικοποίησης για τη διόρθωση σφαλμάτων. Αυτό μπορεί να διασφαλίσει την προσθήκη πλεονασμού στο μεταδιδόμενο διαφύλλο. Προκειμένου να μειωθεί ο αριθμός των μεταδιδόμενων δυαδικών ψηφίων και να αυξηθεί το bit stream του εγκωδικοποιητή, εφαρμόζεται ένα στοιχείο διάτρησης στην έξοδο του συνελκτικού εγκωδικοποιητή, με αποτέλεσμα ρυθμούς κωδικοποίησης $\frac{3}{4}$ και $\frac{2}{3}$. Η διαδικασία διάτρησης είναι η παράλειψη επιλεγμένων δυαδικών ψηφίων των κωδικοποιημένων δυαδικών ψηφίων στην πλευρά του πομπού και στην πλευρά του συνελκτικού εγκωδικοποιητή του δέκτη αντικαθίσταται από μηδενικά. Πολλές μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διεξαγωγή διάτρησης, ωστόσο, μία από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται στο IEEE 802.11p καθορίζεται από ένα δυαδικό διάνυσμα διάτρησης, ο οποίος είναι συνεπής των ακολουθιών δυο δυαδικών ψηφίων 1110, 110101 για ρυθμό $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$. Για να μειωθούν τα σφάλματα ριπής που προκαλούνται από το διάλειψη του καναλιού, τα δεδομένα εξόδου του εγκωδικοποιητή διεμπλέκονται.

Η διεμπλοκή χρησιμοποιείται συχνά για να ανακατασκευάσει τα δυαδικά ψηφία δεδομένων έτσι ώστε να μπορούν να εφαρμοστούν τυποποιημένοι κώδικες διόρθωσης σφαλμάτων, επειδή τα σφάλματα είναι συνήθως τυχαία. Η διαδικασία διεμπλοκής συντελείται από μια μετάθεση στο πεδίο χρόνου και συχνότητας. Η εφαρμογή της μετάθεσης στο χρόνο είναι να εξασφαλιστεί ότι δύο διαδοχικά δυαδικά ψηφία δεν κωδικοποιούνται ποτέ σε δύο παρακείμενες υποφέρουσες. Η μετάθεση στη συχνότητα γίνεται για να εξασφαλιστεί ότι τα διαδοχικά δυαδικά ψηφία εκπροσωπούνται εναλλάξ στα πιο και λιγότερο σημαντικά bits του χρησιμοποιούμενου αστερισμού. Ανάλογα με τον τύπο διαμόρφωσης, τα διεμπλεκόμενα δεδομένα ομαδοποιούνται χρησιμοποιώντας έναν χαρτογράφο σήματος. Οι τύποι ψηφιακής διαμόρφωσης που χρησιμοποιούνται από το φυσικό επίπεδο του WAVE περιλαμβάνουν BPSK, QPSK, 16-QAM και 64-QAM. Η επιλογή του ρυθμού κωδικοποίησης και του τύπου διαμόρφωσης έχει άμεση επίδραση στην ταχύτητα δεδομένων του συστήματος, η οποία κυμαίνεται από 3 Mb/s με BPSK και $\frac{1}{2}$ ρυθμό κωδικοποίησης μέχρι 27 Mb/s χρησιμοποιώντας κωδικοποίηση 64-QAM και $\frac{3}{4}$ ρυθμό. Ο συνολικός αριθμός διαθέσιμων υποφερουσών είναι 64 αλλά μόνο 52 φορείς πληροφοριών χρησιμοποιούνται για χαρτογράφηση. Πριν από την εφαρμογή της IFFT, 4 φορείς από τους 52 επιλέγονται για να φέρουν το πιλοτικό σήμα. Τα πιλοτικά σύμβολα χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του καναλιού και την εξέταση των αλλαγών που έγιναν στο μεταδιδόμενο σήμα. Οι πιλοτικές υποφέρουσες χρησιμοποιούνται για να κάνουν μια αξιόπιστη ανίχνευση στον δέκτη έναντι αντισταθμίσεων συχνότητας και θορύβου, όπου και εισάγονται στις υποφέρουσες -21, -7, 21 και 7. Τα διαμορφωμένα σειριακά δυοφωρέματα μετατρέπονται σε σύμβολα που μεταδίδονται παράλληλα. Έτσι, η τεχνική OFDM μετατρέπει τη ροή σειριακών δεδομένων σε πολλές παράλληλες. Ρυθμίζει αυτά τα δεδομένα σε ορθογώνιες υποφέρουσες χρησιμοποιώντας IFFT. Σε αυτό το βήμα τοποθετεί τα σύνθετα σύμβολα που συνδέονται με διαφορετικά σημεία αστερισμού σε υποφέρουσες. Για τη μεταφορά δεδομένων και πιλοτικών συμβόλων σε υποφέρουσες, τα σύμβολα OFDM μετατρέπονται από το πεδίο συχνότητας σε πεδίο χρόνου εφαρμόζοντας IFFT. Το διάστημα φύλαξης (GI2) εισάγεται πριν από κάθε σύμβολο OFDM προκειμένου να αποφευχθούν τα προβλήματα διασυμβολικής παρεμβολής (ISI) και διακυψελικής παρεμβολής (ICI) που προκαλούνται από την πολλαπλή διάδοση. Συντίθεται από την αντιγραφή του τέλους του συμβόλου OFDM στην αρχή του συμβόλου. Το αποτέλεσμα της λειτουργίας εισαγωγής φύλαξης μετατρέπεται σε σειριακό δυοφωρέμα που το συνθέτουν τα πλαίσια συμβόλων OFDM που εφαρμόζονται στο κανάλι. Οι

υποφέρουσες φύλαξης GI1 χρησιμοποιούνται στις πλευρές φάσματος OFDM για να παρέχουν διαχωρισμό από γειτονικές ζώνες. Στο περιβάλλον προσομοίωσης, το μεταδιδόμενο σήμα θα περάσει μέσα από τον επιλεκτικό χρόνο συχνότητας που μεταβάλλει το κανάλι διαλείψεων με προσθήκη θορύβου. Το κανάλι σε αυτή την περίπτωση αποτελείται από ένα απλό κανάλι AWGN συν την εξασθένιση τύπου Rayleigh και το Rican radio channel επειδή αντιπροσωπεύει τόσο την οπτική επαφή (LOS) όσο και τους αντανakλασμένους συνδέσμους μεταξύ αποστολέα και δέκτη. Μια αντίστροφη λειτουργία εκτελείται στην πλευρά του δέκτη για να ανακτήσει τα μεταδιδόμενα δεδομένα πίσω. Το μπλοκ πεδίου συχνότητας ισοσταθμιστή στον δέκτη προστίθεται, επειδή ο δίαυλος περιλαμβάνει την εξασθένιση τύπου Rayleigh. [20]

4.4 Επισκόπηση επιπέδου MAC

Τα VANETs παρουσιάζουν πρόκληση για τα πρωτόκολλα και τον σχεδιασμό εφαρμογών λόγω της χαμηλής λανθάνουσας (low latency) τους και των υψηλών απαιτήσεων ρυθμού δεδομένων σε ένα περιβάλλον υψηλής κινητικότητας. Το IEEE 802.11p χρησιμοποιεί τη διαμαχοπαγή πρόσβαση καναλιού EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) ως τη μέθοδο MAC, η οποία είναι μια βελτιωμένη έκδοση της βασικής συνάρτησης κατανομής συντονισμού (DCF) από το 802.11. Το EDCA χρησιμοποιεί Carrier Sense Multiple Access (CSMA) με Αποφυγή Συγκρούσεων (CSMA / CA), πράγμα που σημαίνει ότι ένας κόμβος που επιθυμεί να μεταδώσει θα αισθανθεί πρώτα το μέσο και εάν είναι ελεύθερος για ένα AIFS (Arbitration Inter-frame Space) θα αναβάλλει τη μετάδοση επιλέγοντας έναν τυχαίο χρόνο αναμονής. Η διαδικασία backoff στο 802.11 λειτουργεί ως εξής:

- Ο κόμβος επιλέγει τυχαία ομοιόμορφο backoff χρόνο από το διάστημα $[0, CW + 1]$ όπου η αρχική τιμή CW (Παράθυρο παραβίασης) ισούται με CWmin.
- Το μέγεθος του διαστήματος θα αυξηθεί (διπλά), εάν αποτύχει η επακόλουθη προσπάθεια μετάδοσης, έως ότου η τιμή CW ισούται με CWmax.
- Η τιμή backoff θα μειωθεί μόνο όταν το κανάλι είναι ελεύθερο.
- Όταν φτάσει σε τιμή backoff 0, θα στείλει αμέσως.

Προκειμένου να διασφαλιστεί ότι τα εξαιρετικά συναφή μηνύματα ασφαλείας μπορούν να ανταλλάσσονται με χρόνο και αξιοπιστία, ακόμα και όταν λειτουργούν σε πυκνό σενάριο, το πρωτόκολλο MAC 802.11P αντιπροσωπεύει την προτεραιότητα των μηνυμάτων που χρησιμοποιούν διαφορετικές κατηγορίες πρόσβασης (Access Classes). Υπάρχουν τέσσερις διαθέσιμες κατηγορίες δρομολόγησης δεδομένων με διαφορετικές προτεραιότητες:

- Δρομολόγηση στο παρασκήνιο (BK ή AC0),
- Δρομολόγηση καλύτερης προσπάθειας (BE ή AC1),
- Δρομολόγηση βίντεο (VI ή AC2)
- Δρομολόγηση φωνής (VO ή AC3).

Διαφορετικοί αριθμοί AIFSN (Interbit Frame Interval Frame) και CW τιμές επιλέγονται για διαφορετικούς ACs,

Πίνακας 4 Ρυθμίσεις παραμέτρων για διάφορες κατηγορίες δρομολόγησης [27]

AC	CWmin	CWmax	AIFSN
BK	15	1023	9
BE	15	1023	6
VI	7	15	3
VO	3	7	2

5

Περιβάλλον Εργασίας Υλοποίησης Μοντέλου

Προσομοίωσης

Σε πρώτη φάση, δηλαδή προτού αρχίσουν όλα να παίρνουν την ροή τους , έπρεπε να εξετάσουμε τα διαθέσιμα λογισμικά που υπάρχουν διαθέσιμα και στα οποία υπάρχει δυνατότητα να προσομοιώσουμε ένα V2G δίκτυο , τις απαιτήσεις που αυτά έχουν αλλά και την εξαγωγή αποτελεσμάτων που προσφέρουν , αφού αυτό αποτελεί το ουσιαστικό κομμάτι μιας ερευνητικής διπλωματικής εργασίας. Επίσης σημαντική προϋπόθεση είναι να είναι ανανεωμένα καθώς και να υπάρχει ανταπόκριση από το κοινό ως προς την επίλυση προβλημάτων , ζητημάτων που θα πρόκυπταν κατά την ανάπτυξη του δικτύου καθώς και ασυμβατότητες. Από την πλευρά μας θέλαμε να εστιάσουμε σε λογισμικά ανοιχτού κώδικα (open source) , ώστε να μην χρειαστεί να ψάξουμε για άδειες ή ακόμη χειρότερα να εργαστούμε πάνω σε πειρατικό λογισμικό. Όπως παρατηρήσαμε κατά την έρευνα μας για την επιλογή των κατάλληλων εργαλείων , πληθώρα αυτών με τις καλύτερες κριτικές ήταν ανεπτυγμένα ώστε να λειτουργούν σε UNIX περιβάλλοντα, χωρίς να σημαίνει ότι τρέχουν μόνο εκεί. Αυτό σημαίνει ότι ένα λογισμικό έχει αναπτυχθεί για να λειτουργεί σε λειτουργικά όπως Ubuntu, Fedora, CentOS, Parrot και άλλα αντίστοιχα και μετέπειτα τα τροποποίησαν ώστε να λειτουργούν και σε λειτουργικά Windows. Προφανώς προτιμήσαμε να τα χρησιμοποιήσουμε στο λειτουργικό για το οποίο έχουν φτιαχτεί , ώστε να μην αντιμετωπίσουμε μελλοντικά ζητήματα ασυμβατότητας που θα μας οδηγούσαν εν τέλει σε μία ατέρμων βρόγχων λούπα. Επιλέξαμε αρχικά ως λειτουργικό Ubuntu 18.04.03 LTS και συγκεκριμένα 64bit ώστε να αναγνωρίζονται διευθύνσεις μεγαλύτερες των 32bit και RAM μεγαλύτερη των 4GB για ευνόητους λόγους. Για λόγους ευχρηστίας , καταλήξαμε στο να στήσουμε το σύστημα μας σε εικονικό περιβάλλον VM. Συγκεκριμένα διαλέξαμε το VirtualBox της Oracle γιατί είναι δωρεάν χωρίς δοκιμαστικές περιόδους (free trial), όπως είναι για παράδειγμα το VMware WorkStation. Για να είναι όμως εφικτή η εγκατάσταση ενός 64-bit

λειτουργικού σε εικονική μηχανή σταθερού υπολογιστή (στους φορητούς η κατάλληλη ρύθμιση είναι ενεργοποιημένη από default) πρέπει να είναι ενεργοποιημένη από τα bios η ρύθμιση του virtualization. Για AMD επεξεργαστές η ρύθμιση αυτή λέγεται AMD-SVM, ενώ για τους Intel επεξεργαστές είναι το Hyper-V. Για το στήσιμο του δικτύου και την εκτέλεση των προσομοιώσεων επιλέξαμε το λογισμικό ανοικτού κώδικα Network Simulator 3 (NS3.29). Πρόκειται για ένα πρακτικό εργαλείο του οποίου οι βιβλιοθήκες είναι γραμμένες σε C++ καθώς και ο κώδικας προγραμματισμού. Έχει μία πολύ μεγάλη γκάμα βιβλιοθηκών, παραδειγμάτων και επίσης υπάρχει μεγάλο πλήθος κόσμου που το χρησιμοποιεί. Αυτό το κάνει αυτόματα εξεζητημένο και ταυτόχρονα γίνονται πολλές συζητήσεις γύρω από αυτό στα google groups. Επιπρόσθετα επιλέξαμε να εργαστούμε και με το γνωστό Wireshark. Πρόκειται πάλι για ένα λογισμικό ανοικτού κώδικα του οποίου η δουλεία είναι να επεμβαίνει ανάμεσα στα κανάλια επικοινωνίας και να κάνει packet recording. Κρατάει δηλαδή logs με όλα τα πακέτα που πέρασαν μέσα από το κανάλι επικοινωνίας και λεπτομέρειες όπως : διεύθυνση αποστολής, διεύθυνση προορισμού , πρωτόκολλο επικοινωνίας , πληροφορίες για το κάθε πακέτο , στατιστικά γραφήματα και πάρα πολλά ακόμη.

5.1 Ενεργοποίηση Virtualization

5.1.1 AMD

Σε περίπτωση που έχουμε στην κατοχή μας έναν AMD επεξεργαστή πρέπει να ακολουθήσουμε τα εξής βήματα για την ενεργοποίηση του virtualization του επεξεργαστή :

- Κατά την επανεκκίνηση και κατά την εμφάνιση του Logo της εταιρείας της μητρικής πατάμε “Delete” , για την εισαγωγή στο menu των Bios.
- Μετέπειτα πλοηγούμαστε στο menu ,στην καρτέλα “Advanced” και “CPU configuration”.
- Ενεργοποιούμε το AMD-V ή AMD-SVM , ανάλογα την εταιρεία της μητρικής.
- Αποθηκεύουμε τις αλλαγές.

5.1.2 Intel

Σε αντίθετη περίπτωση , όπου κατέχουμε έναν Intel desktop επεξεργαστή ακολουθούμε μία αντίστοιχη διαδικασία.

- Εισερχόμαστε στα Bios menu της μητρικής.
- Βρίσκουμε το CPU configuration
- Ενεργοποιούμε το Inter Virtualization Technology
- Αποθηκεύουμε τις αλλαγές
- Επανεκκινούμε τον υπολογιστή



Σχήμα 19 : Ενεργοποίηση virtualization (Intel)

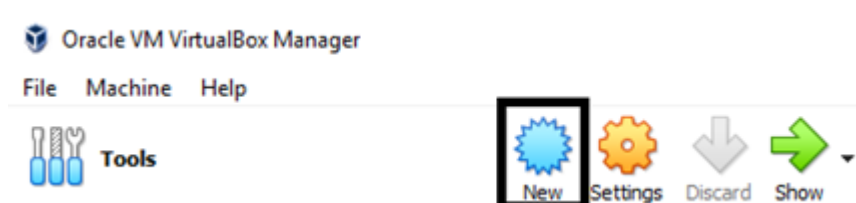
Σε περίπτωση που κάναμε εγκατάσταση το VirtualBox χωρίς να έχουμε ενεργοποιήσει το virtualization θα παρατηρούσαμε ότι το λογισμικό δεν θα δεχόταν image τύπου 64bit παρά μόνο 32bit.

5.2 Εγκατάσταση VirtualBox

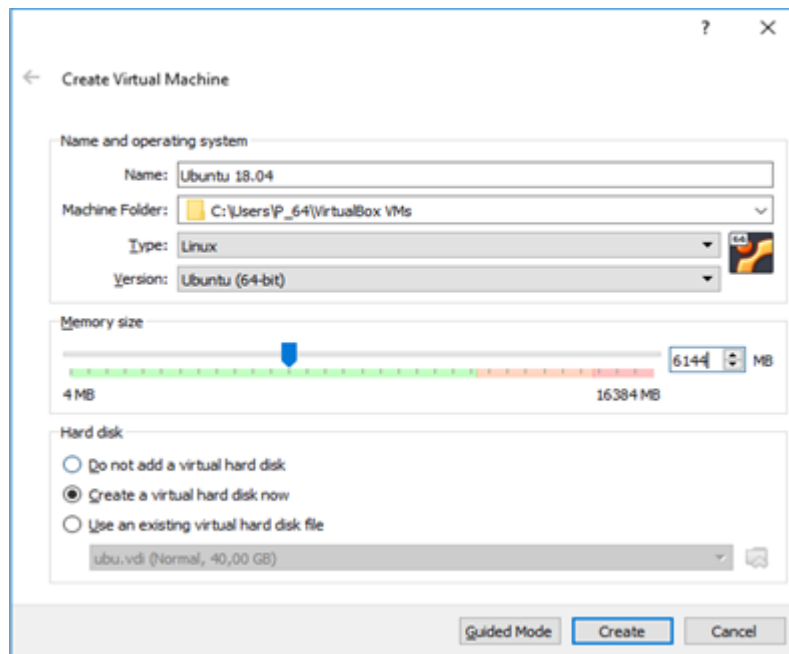
Η εγκατάσταση του VirtualBox αποτελεί μία αρκετά εύκολη διαδικασία , χωρίς ιδιαίτερες παραμετροποιήσεις. Πηγαίνουμε στο [σύνδεσμο](#) και επιλέγουμε “Windows Hosts” , αφού θα στήσουμε λειτουργικό Unix πάνω σε λειτουργικό Windows 10 64 bit. Κατεβάζουμε το λογισμικό και το εγκαθιστούμε.

5.2.1 Δημιουργία Εικονικής Μηχανής

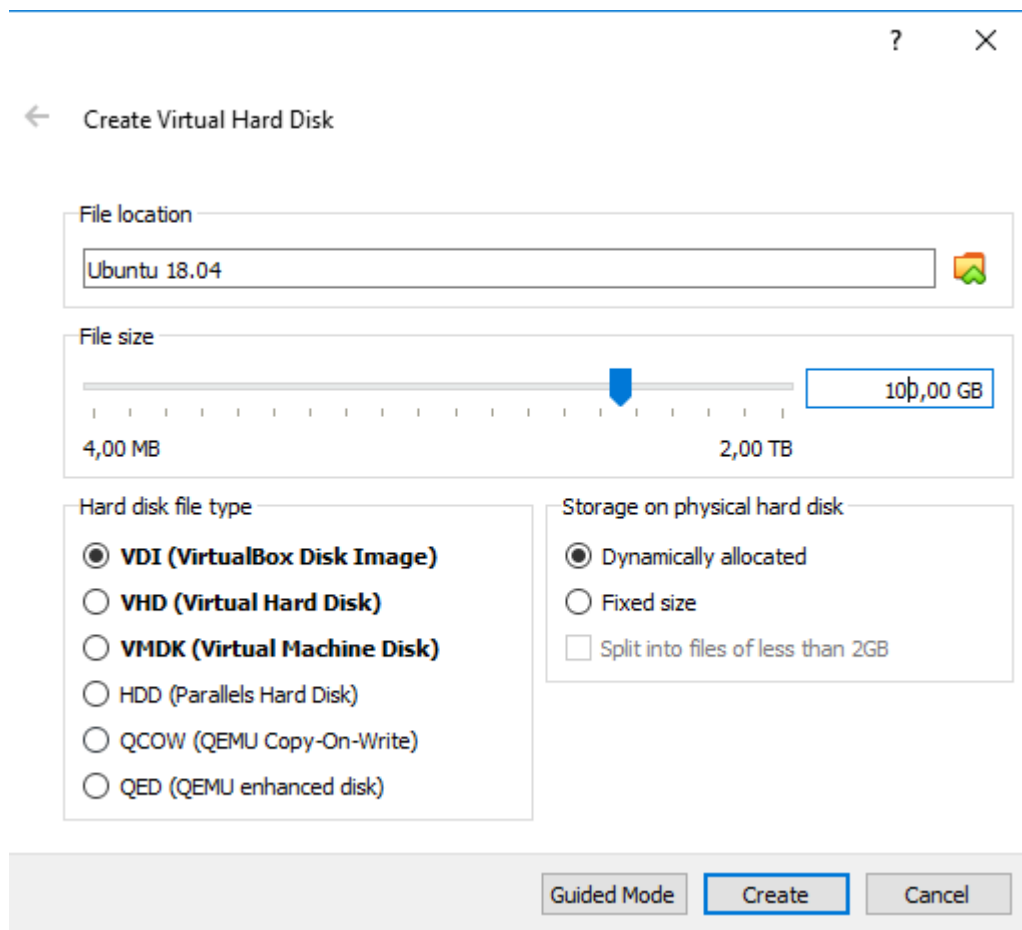
Έχουμε φτάσει στο στάδιο όπου πρέπει να κάνουμε την κατάλληλη παραμετροποίηση της μηχανής , ώστε οι πόροι να είναι αρκετοί όχι μόνο για το λειτουργικό αλλά και για την εκτέλεση των προσομοιώσεων. Όπως θα δούμε μετέπειτα οι απαιτήσεις αυξάνονται σημαντικά , όσο αυξάνεται ο αριθμός των οχημάτων μας στο δίκτυο.



Σχήμα 20 : Επιλογή δημιουργίας νέας εικονικής μηχανής

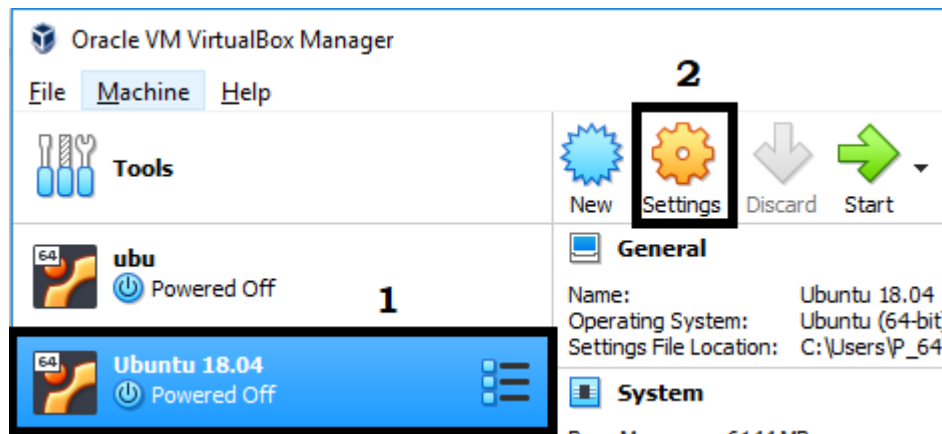


Σχήμα 21 : Εκχώρηση ονόματος , μνήμης , τύπου λειτουργικού

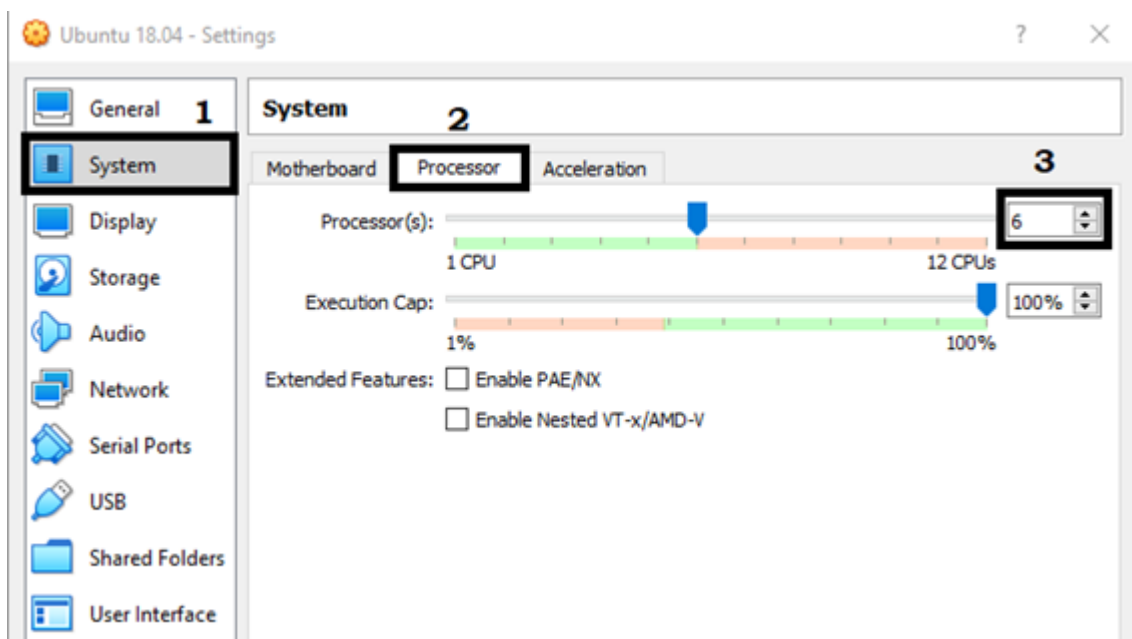


Σχήμα 22 : Εκχώρηση τοποθεσίας αποθήκευσης μηχανής, μεγέθους δίσκου

Αφού έχουμε ολοκληρώσει αυτές τις ρυθμίσεις δεν έχουμε τελειώσει εδώ. Πατάμε “Create” , επιλέγουμε την μηχανή που φτιάξαμε και πατάμε “Settings” όπως φαίνεται στο στιγμιότυπο παρακάτω.

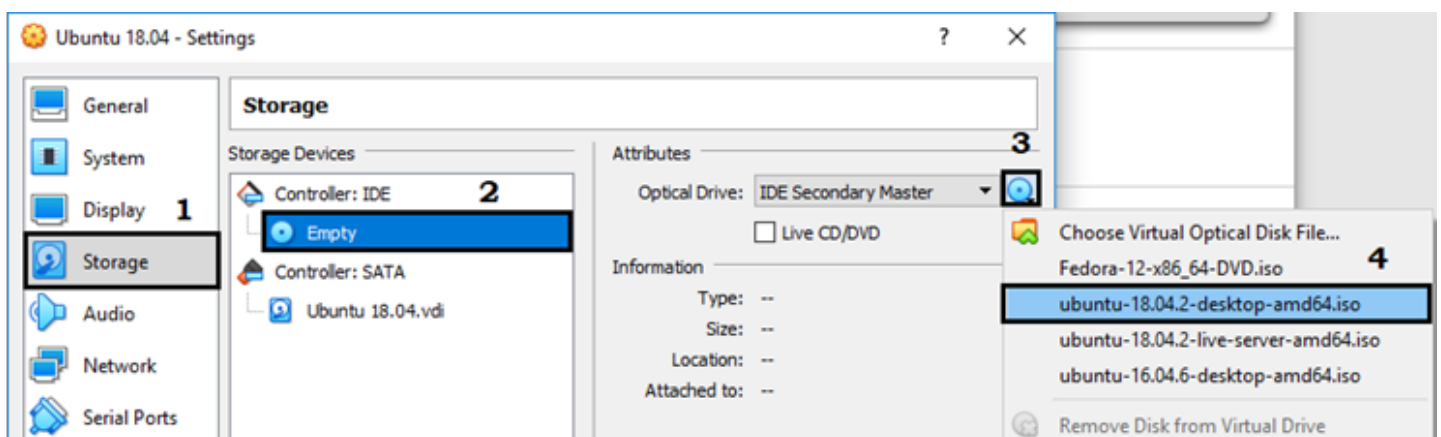


Σχήμα 23 : Επιλογή μηχανής και ρυθμίσεων αυτής



Σχήμα 24 : Επιλογή συστήματος, επεξεργαστή και αριθμό threads

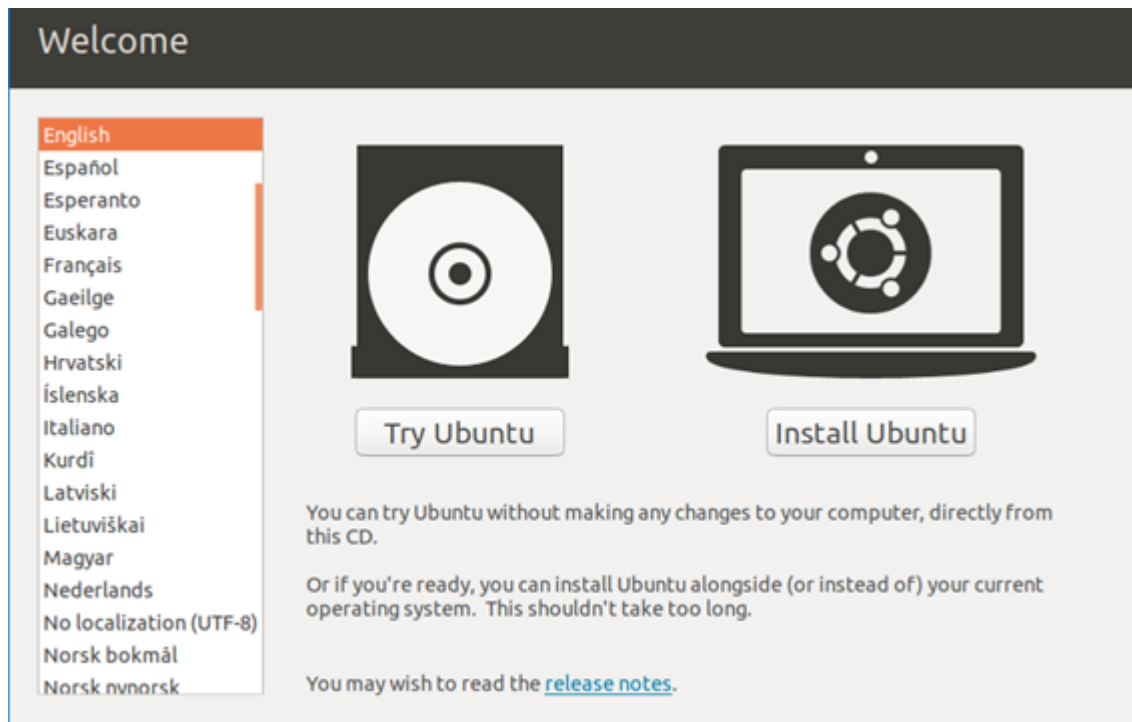
Αναφέρουμε threads και όχι πυρήνες γιατί οι AMD επεξεργαστές υποστηρίζουν multi-threading, με αποτέλεσμα για κάθε πυρήνα που έχει να υποστηρίξει 2 διεργασίες. Άρα σε έναν 6 πυρήνο για παράδειγμα επεξεργαστή έχουμε 12 threads. Και εν τέλει αυτό είναι που επιλέγεις στο VirtualBox.



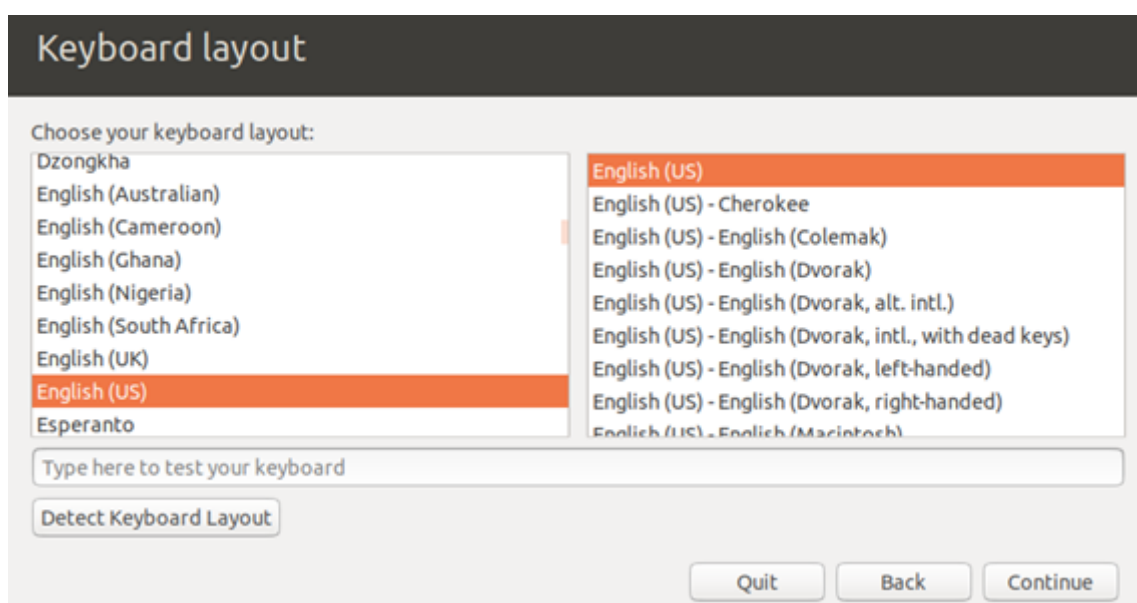
Σχήμα 25 : Επιλογή εικόνας (.iso) λειτουργικού

Σε περίπτωση που η επιλογή στο βήμα 4 δεν υπάρχει πρέπει να πλοηγείτε μέσω της επιλογής “Choose Virtual Optical Disk File...”, ώστε να φορτώσετε την εικόνα. Αφού ολοκληρώσετε αυτές τις επιλογές πατήστε “Start”, για να ξεκινήσει η εγκατάσταση.

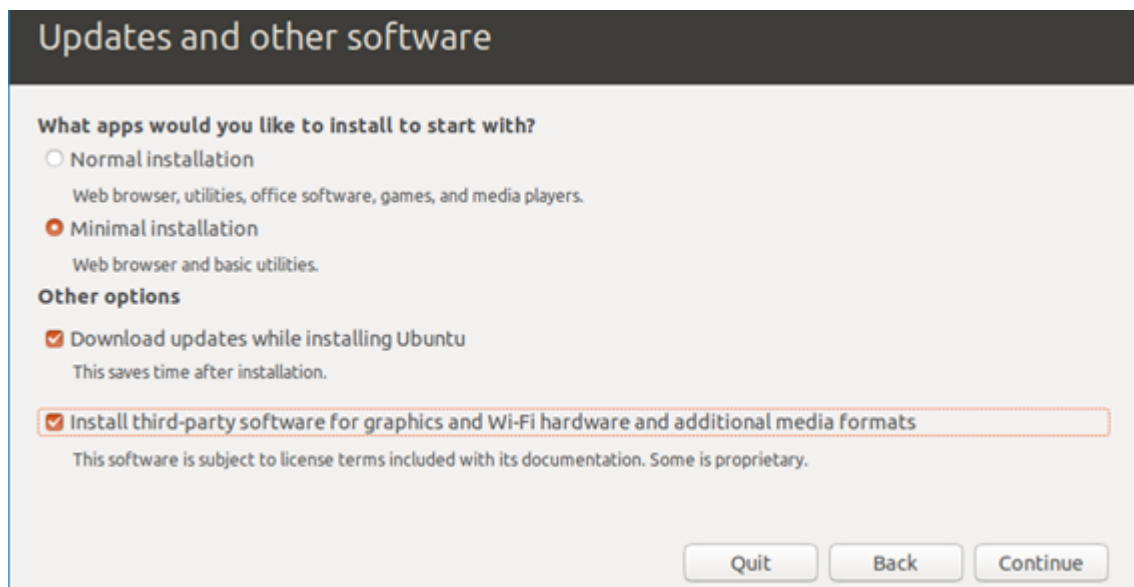
5.2.2 Εγκατάσταση Ubuntu



Σχήμα 26 : Επιλογή εγκατάσταση Ubuntu & γλώσσας συστήματος

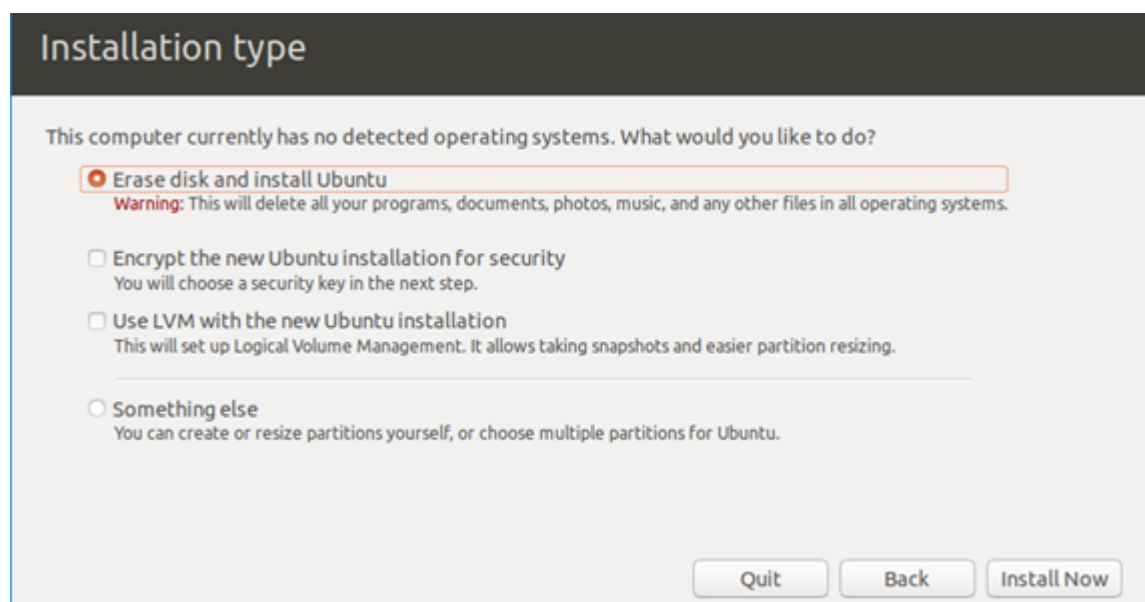


Σχήμα 27 : Επιλογή γλώσσας πληκτρολογίου



Σχήμα 28 : Εγκατάσταση ελαχίστων , ενημερώσεων και οδηγών συσκευών

Στο σημείο αυτό να πούμε ότι δεν είναι απαραίτητη η εγκατάσταση των ελαχίστων στοιχείων , απλά στην περίπτωση μας το κάνουμε για εξοικονόμηση χώρου και πόρων.

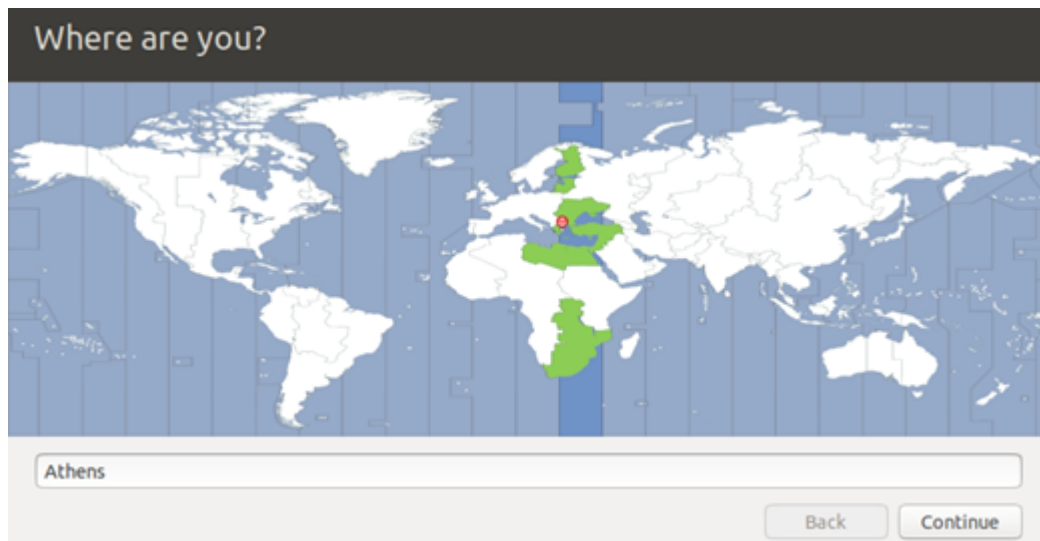


Σχήμα 29 : Διαμόρφωση δίσκου και εγγραφή από την αρχή

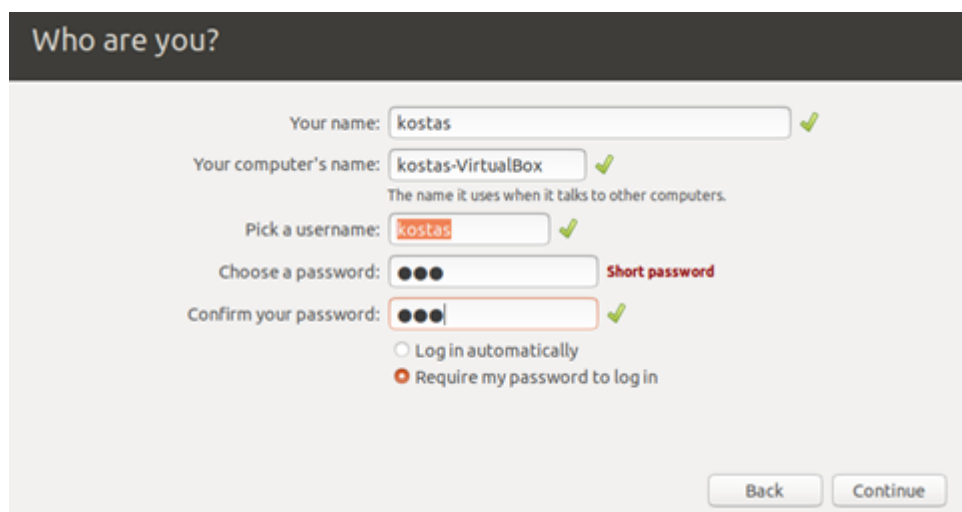
Η επιλογή αυτή δεν έχει και πραγματικό νόημα , αφού βρισκόμαστε σε εικονικό μηχάνημα, το οποίο δημιουργεί ένα κενό partition ανάλογο του χώρου που θα του ορίσουμε. Συνεπώς καταλαβαίνουμε ότι δεν μπορεί να μας δεσμεύσει χώρο ο οποίος δεν θα είναι κενός ούτε ως η άλλως.



Σχήμα 30: Επιβεβαίωση παραμετροποίησης partitions

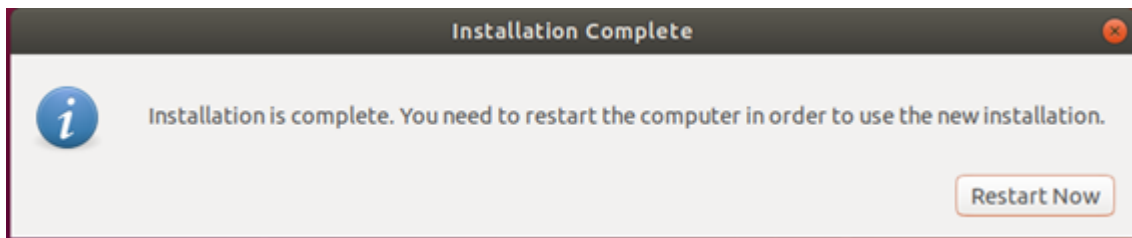


Σχήμα 31 : Επιλογή γεωγραφικής θέσης

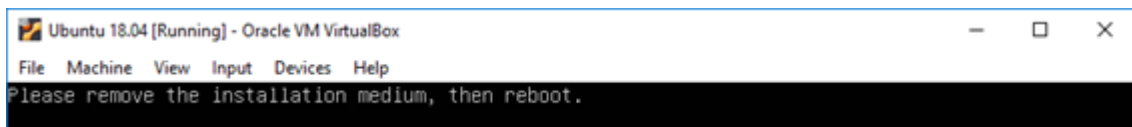


Σχήμα 32 : Εισαγωγή στοιχείων χρήστη

Είναι σημαντικό για την διευκόλυνση των χρηστών σ αυτό το σημείο της εγκατάστασης να ορίσουμε πολύ μικρό κωδικό, διότι μετέπειτα θα ζητείτε αρκετές φορές ο κωδικός, οπότε για λόγους πρακτικότητας μιας και το VM είναι καθαρά για ερευνητικό σκοπό δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα.



Σχήμα 33 : Ολοκλήρωση εγκατάστασης



Σχήμα 34 : Απενεργοποίηση VM και εκκίνηση

Έχουμε ολοκληρώσει επιτυχώς την εγκατάσταση των Ubuntu 18.04 64bit και στην συνέχεια του οδηγού θα δούμε την εγκατάσταση του ns-3.29.

5.3 Εγκατάσταση NS3.29

Αρχικά ανοίγουμε ένα τερματικό και κατεβάζουμε το git. Το git είναι ένα ακόμη open source λογισμικό στο οποίο δημιουργείς repository , οργανώνεις την δουλειά σου, δουλεύουν ταυτόχρονα πολλά άτομα στο ίδιο project και έχεις πάντα ενημερωμένα τα αρχεία σου. Εμείς βρήκαμε έναν χρήστη [14] ο οποίος έχει αυτοματοποιήσει την εγκατάσταση του ns3 μέσω ενός shell script που έχει φτιάξει. Προτιμούμε αυτόν τον τρόπο , γιατί το ns3 είναι ένα πρόγραμμα το οποίο για να λειτουργήσει χρειάζεται πάρα πολλές εξαρτήσεις (dependencies, libraries). Με αυτό τον τρόπο εμείς εκτελούμε το script και αυτό κατεβάζει από πίσω ότι χρειάζεται. Η εγκατάσταση σου διαρκεί περίπου 45 λεπτά με 1 ώρα , αναλόγως τους πόρους του μηχανήματος καθώς και την ταχύτητα σύνδεσης του. Κατά την εγκατάσταση των εξαρτήσεων δεν χρειάζεται να πληκτρολογούμε τον κωδικό μας , αφού στο script έχουμε παραχώρηση πλήρη πρόσβαση για εγκατάσταση νέου λογισμικού.

```
kostas@kostas-VirtualBox:~$ sudo apt-get install git
```

Σχήμα 35 : Εγκατάσταση Git

```
kostas@kostas-VirtualBox:~/Desktop/ns3$ git clone https://github.com/parthasara  
this/shellscript-for-ns3.git
```

Σχήμα 36 : Κλωνοποίηση αρχείων από το repository

```
remote: Compressing objects: 100% (16/16), done.  
remote: Total 16 (delta 3), reused 0 (delta 0), pack-reused 0  
Unpacking objects: 100% (16/16), done.  
kostas@kostas-VirtualBox:~/Desktop/ns3$ ls  
shellscript-for-ns3  
kostas@kostas-VirtualBox:~/Desktop/ns3$ cd shellscript-for-ns3/  
kostas@kostas-VirtualBox:~/Desktop/ns3/shellscript-for-ns3$ ls  
installns3_ver_2_0.sh LICENSE README.md  
kostas@kostas-VirtualBox:~/Desktop/ns3/shellscript-for-ns3$
```

Σχήμα 37 : Επιβεβαίωση επιτυχημένης μεταφόρτωσης

Κάνοντας “ls” βλέπουμε το περιεχόμενο του φακέλου που βρισκόμαστε. Βλέπουμε ότι έχει κατέβει ένας φάκελος με το όνομα “shellscript-for-ns3”. Μπαίνουμε εκεί μέσα και ξαναβλέπουμε το περιεχόμενο. Το αρχείο με κατάληξη “.sh”, θα έπρεπε να έχει πράσινο χρώμα. Αφού είναι λευκό σημαίνει ότι δεν έχουμε δικαίωμα εκτέλεσης.

```
kostas@kostas-VirtualBox:~/Desktop/ns3/shellscript-for-ns3$ chmod 777 installns3_ver_2_0.sh
kostas@kostas-VirtualBox:~/Desktop/ns3/shellscript-for-ns3$ ls
installns3_ver_2_0.sh LICENSE README.md
kostas@kostas-VirtualBox:~/Desktop/ns3/shellscript-for-ns3$
```

Σχήμα 38 : Εκχώρηση πλήρης πρόσβασης στο αρχείο & έλεγχος

```
kostas@kostas-VirtualBox:~/Desktop/ns3/shellscript-for-ns3$ ./installns3_ver_2_0.sh
```

Σχήμα 39 : Εκτέλεση script

Αφού έχει ολοκληρωθεί η μεταφόρτωση και η εγκατάσταση όλων των εξαρτήσεων & βιβλιοθηκών πηγαίνουμε στο μονοπάτι “ns3-allinone-3.29/ns3-29” και δημιουργούμε ένα αρχείο “enable-sudo.patch”. Στο αρχείο αυτό θα δώσουμε στο “SuidBuild”, που είναι task για το build και χρειάζεται execute δικαιώματα, πρόσβαση.

```
kostas@kostas-VirtualBox:~/Desktop/ns-allinone-3.29/ns-3.29$ sudo nano enable-sudo.patch
```

Σχήμα 40 : Δημιουργία αρχείου (patch)

```
GNU nano 2.9.3 enable-sudo.patch
!lff -r cb31a3f56a28 wscript
--- a/wscript    Wed Sep 26 18:47:36 2018 +0200
+++ b/wscript    Fri Sep 28 10:47:07 2018 +0200
@@ -707,7 +707,7 @@
     program.target = "%s%s-%s%s" % (utils.APPNAME, utils.VERSION, na$

     if bld.env['ENABLE_SUDO']:
-        program.create_task("SuidBuild")
+        program.create_task("SuidBuild_task")

     bld.set_group(grp)
```

Σχήμα 41 : Κώδικας patch

```
kostas@kostas-VirtualBox:~/Desktop/ns-allinone-3.29/ns-3.29$ sudo patch
-p1 -i enable-sudo.patch
patching file wscript
```

Σχήμα 42 : Εκτέλεση patch

Τέλος αφού έχουμε τελειώσει όλες τις παραμετροποιήσεις ήρθε η ώρα να γίνει η εγκατάσταση. Εκτελούμε με sudo για δικαιώματα και python για την μεταγλώττιση το αρχείο “build.py”.

```
kostas@kostas-VirtualBox:~/Desktop/ns-allinone-3.29$ sudo python build.py
```

Σχήμα 43 : Εγκατάσταση ns3

Για να εκτελέσουμε τώρα ένα πρόγραμμα του ns3 κάνουμε χρήση του εργαλείου “waf”. Να τονίσουμε ότι για να το τρέξουμε πρέπει να βρισκόμαστε **μόνο** στο μονοπάτι ns3/allinone-3.29/ns3-29. Σε κάθε άλλη περίπτωση το waf απλά δεν υπάρχει. Επίσης εκτελούμε αρχεία που βρίσκονται μέσα στον φάκελο **scratch**. Οπότε για παράδειγμα ας εκτελέσουμε ένα αρχείο για να δούμε πως γίνεται.

```
kostas@kostas-VirtualBox:~/Desktop/ns-allinone-3.29/ns-3.29$ sudo ./waf --run scratch/first
waf: Entering directory '/home/kostas/Desktop/ns-allinone-3.29/ns-3.29/build'
waf: Leaving directory '/home/kostas/Desktop/ns-allinone-3.29/ns-3.29/build'
Build commands will be stored in build/compile_commands.json
'build' finished successfully (3.318s)
At time 2s client sent 1024 bytes to 10.1.1.2 port 9
At time 2.00369s server received 1024 bytes from 10.1.1.1 port 49153
At time 2.00369s server sent 1024 bytes to 10.1.1.1 port 49153
At time 2.00737s client received 1024 bytes from 10.1.1.2 port 9
kostas@kostas-VirtualBox:~/Desktop/ns-allinone-3.29/ns-3.29$
```

Σχήμα 44 : Εκτέλεση έτοιμου παραδείγματος για επαλήθευση

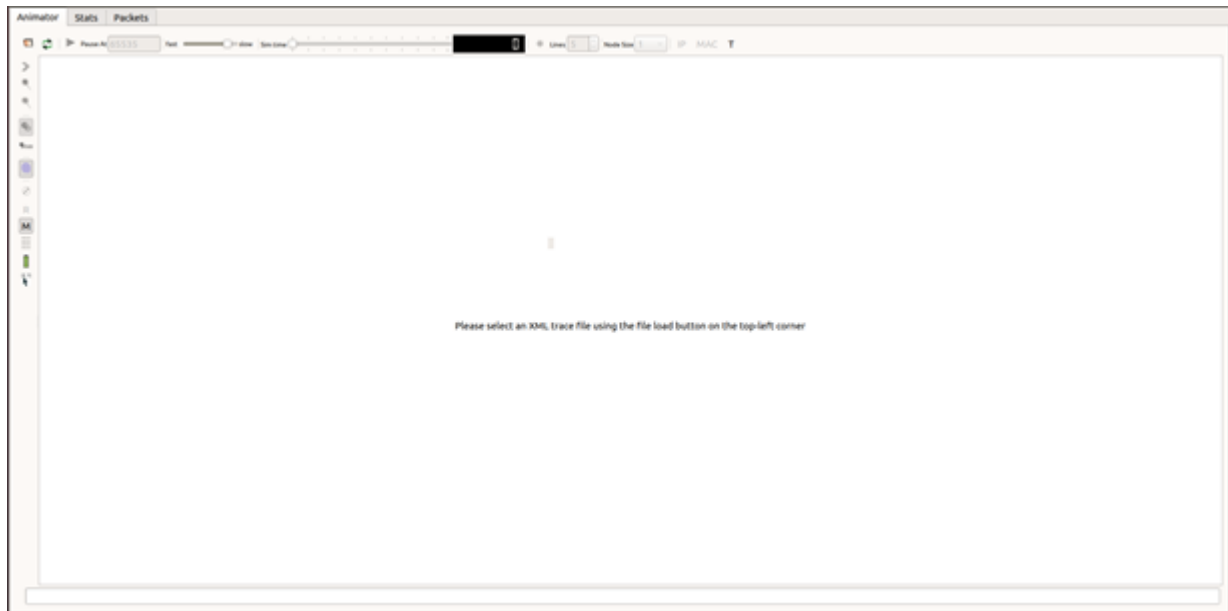
Όπως βλέπουμε βρισκόμαστε στο μονοπάτι που αναφέραμε ,όπως επίσης και το αρχείο που εκτελέσαμε βρίσκεται μέσα στον φάκελο scratch. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχουν την επικοινωνία ενός client με έναν server με UDP και βλέπουμε την αποστολή και λήψη πακέτου.

5.4 Εγκατάσταση NetAnim

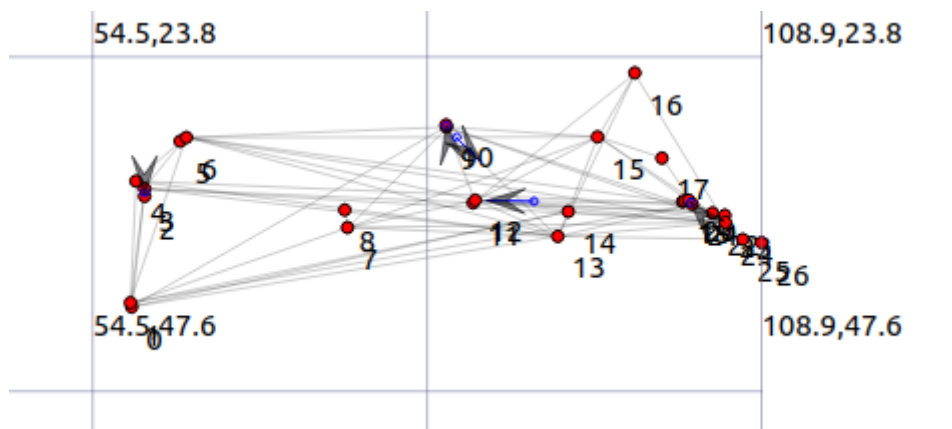
Εν συνεχεία με την ολοκλήρωση της εγκατάστασης του ns3 , έχει εγκατασταθεί επίσης και ένα άλλο λογισμικό το “netanim”. Είναι extension του ns3 για να κάνεις visualization του δικτύου. Αρκετά χρήσιμο μπορούμε να πούμε. Συγκεκριμένα διαθέτει ένα πολύ απλό GUI και αναπαριστά την προσομοίωση με απλά γραφικά όπως κουκίδες , elements αλλά και icons που μπορείς να φορτώσεις εσύ μέσα από την προσομοίωση κατά την εκτέλεση της. Το πρόγραμμα δέχεται xml αρχεία τα οποία περιέχουν πληροφορίες για τους κόμβους, σταθμούς βάσεις κλπ. Διαθέτει πληροφορίες όπως IP, MAC διεύθυνση, θέση πάνω στο grid, επικοινωνία πακέτων καθώς και κίνηση των στοιχείων τα οποία συγκεντρώνει κατά την εκτέλεση και τα αποθηκεύει σε xml. Κατόπιν τα εισάγεις στο Netanim και αυτό τα μεταφράζει σε στοιχεία , δίκτυο, διευθύνσεις , χρόνοι , πακέτα , γραφήματα κλπ.

```
kostas@kostas-VirtualBox:~/Desktop/ns-allinone-3.29$ cd
bake/ ns-3.29/
netanim-3.108/ pybindgen-0.17.0.post58+ngcf00cc0/
kostas@kostas-VirtualBox:~/Desktop/ns-allinone-3.29$ cd netanim-3.108/
kostas@kostas-VirtualBox:~/Desktop/ns-allinone-3.29/netanim-3.108$ ./NetAnim
```

Σχήμα 45 : Άνοιγμα NetAnim



Σχήμα 46 : Περιβάλλον netanim



Σχήμα 47 : Κομμάτι από το Grid του Netanim

5.5 Εγκατάσταση Wireshark

Τέλος μένει να εγκαταστήσουμε το Wireshark. Πολύ απλά ανοίγουμε ένα terminal και πληκτρολογούμε “sudo apt-get install wireshark”. Μετά από λίγο απαντάμε ναι σε μία παύση για το αν εν τέλει θα το εγκαταστήσει ή όχι.

```
kostas@kostas-VirtualBox:~$ sudo apt-get install wireshark
```

Σχήμα 48 : Εγκατάσταση Wireshark

6

Προσομοίωση

6.1 Εισαγωγή

Αρχικά θα επισημάνουμε κάποια πράγματα για το εργαλείο που χρησιμοποιήσαμε για να συλλέξουμε τα δεδομένα μας και εντέλει να καταλήξουμε στα συμπεράσματά μας. Το βασικό μας εργαλείο είναι το NS3. Πρόκειται για ένα εργαλείο που αποτελεί έναν προσομοιωτή δικτύου και είναι ανοικτού κώδικα, αδειοδοτημένο από το GNU GPLv2. Οι γλώσσες που μπορεί να χρησιμοποιήσει κανείς για την ανάπτυξη κώδικα είναι η C++ και η Python. Το λογισμικό έχει φτιαχτεί για να τρέχει σε Linux kernels, οπότε υποστηρίζεται μόνο από το macOS και Linux διανομές. Σε περίπτωση που κάποιος θέλει να το τρέξει σε περιβάλλον Windows, θα πρέπει να δημιουργήσει εικονικό μηχάνημα με τα λειτουργικά που αναφέραμε και να το εγκαταστήσει εκεί. Η διαδικασία αυτή εξηγείτε στο κεφάλαιο «[Περιβάλλον Εργασίας Υλοποίησης Μοντέλου Προσομοίωσης](#)». Το εγχείρημα ξεκίνησε το 1997 με την πρώτη έκδοση του προσομοιωτή να κυκλοφορεί ελεύθερα. Το εργαλείο αυτό έχει δημιουργηθεί κατά κύριο λόγο για εκπαιδευτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, οπότε αποτελεί σημαντική επιλογή για τους σπουδαστές για την εκπόνηση διπλωματικών και όχι μόνο εργασιών στους τομείς της τηλεπικοινωνίας, των δικτύων και της ενέργειας. Είχε μεγάλη απήχηση στην πανεπιστημιακή κοινότητα, με αποτέλεσμα την συνεχή ανάπτυξη και ενημέρωση του λογισμικού. Υπάρχουν αρκετές σελίδες υποστήριξης και επίλυσης αποριών και προβλημάτων, τα γνωστά «φόρουμ». Σήμερα βρίσκεται στην έκδοση 3.29, με την διαπαφή προγράμματος εφαρμογής του να μεγαλώνει και να υποστηρίζει όλο και περισσότερες λειτουργίες του μοντέλου OSI και των επιπέδων του. Το εγχειρίδιο χρήσης του εργαλείου είναι αρκετά εκτενές, κατανοητό, περιεκτικό και εύκολο στην χρήση, ώστε να είναι εύκολη η εξοικείωση των χρηστών με αυτό. Επιπλέον, η ομάδα ανάπτυξης του εργαλείου ενθαρρύνει την ανάπτυξη μοντέλων προσομοίωσης, που είναι αρκετά ρεαλιστικά ώστε να γίνεται χρήση του ns-3 ως εξομοιωτή δικτύου πραγματικού χρόνου, διασυνδεδεμένου με τον πραγματικό κόσμο και η οποία επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση πολλών

υφιστάμενων πρωτοκόλλων πραγματικού χρόνου μέσα σ' αυτό. Ο πυρήνας προσομοίωσης του ns3 επιτρέπει την διερεύνηση δικτύων διεύθυνσης πρωτοκόλλου και μη. Οι περισσότεροι χρήστες εστιάζουν σε προσομοιώσεις ασύρματες και διεύθυνσης πρωτοκόλλου που εμπλέκει μοντέλα Wi-Fi, WiMAX, LTE για τα επίπεδα 1,2 και μία ποικιλία στατικών και δυναμικών πρωτοκόλλων όπως το AODV, OLSR, σαν και την περίπτωση της δικής μας διπλωματικής. Ο χρόνος των προσομοιώσεων, ανάλογα τις ανάγκες της προσομοίωσης και των διαθέσιμων πόρων (κυρίως επεξεργαστική ισχύ), κυμαίνεται από δευτερόλεπτα μέχρι και μέρες. Επίσης το ns3 περιλαμβάνει χρονοπρογραμματιστή πραγματικού χρόνου που διευκολύνει την αλληλεπίδραση περιπτώσεων χρήσης «προσομοιώσεων στην λούπα» με πραγματικά συστήματα. Για παράδειγμα, οι χρήστες μπορούν και εκπέμπουν και να λάβουν πακέτα, που παράγονται από το ns3, σε πραγματικές συσκευές δικτύου. Λειτουργεί και ως πλαίσιο διασύνδεσης εικονικών μηχανημάτων. Παρέχει λειτουργίες που δίνουν την δυνατότητα διασύνδεσης των αποτελεσμάτων με άλλα εργαλεία ανοικτού κώδικα με σκοπό την περαιτέρω ανάλυση τους, όπως Wireshark (pcap αρχεία), Netanim (xml αρχεία) για την κινητικότητα των κόμβων, TraceMetrics (trace αρχεία) για ανάλυση κόμβων, gnuPlot (gnu αρχεία) για την γραφική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων. Η κοινότητα των προγραμματιστών ανακοινώνει καινούρια σταθερή υποέκδοση κάθε 3 μήνες με νέα μοντέλα. Το θετικότερο στοιχείο της εταιρίας είναι ότι ενθαρρύνει τους χρήστες να συμμετέχουν στην αναζήτηση και επισήμανση σφαλμάτων με σκοπό της επίλυση τους, ώστε να παραδίδεται πίσω σ' αυτούς με την καλύτερη δυνατή ποιότητα. Υπολογίζεται ότι έχουν δημοσιευτεί περίπου 4500 δημοσιεύσεις και είναι διαθέσιμες στις βιβλιοθήκες όπως το Google Scholar, ACM και IEEE. Το φόρουμ που υπάρχει στις ομάδες google μετράει 8500 ενεργούς χρήστες και 700 αναρτήσεις κάθε μήνα, που αφορούν σφάλματα λογισμικού, προβλήματα χρηστών ως προς τον προγραμματισμό κ.ά. Η βασική ομάδα ανάπτυξης του ns3 αποτελείται από 23 εργαζόμενους και μέχρι το 2016 μετρούσε 72000 λήψεις του λογισμικού. Πολλοί χρήστες του ns3 εστιάζουν σε έτοιμα μοντέλα για να τρέξουν τις προσομοιώσεις τους και να εξάγουν τα συμπεράσματά τους. Παρόλα αυτά μπορεί να τύχει τα ήδη υπάρχον μοντέλα να μην αντιστοιχούν με τις ανάγκες του χρήστη και έχουν έλλειψη κάποιας λειτουργίας που απαιτείται, τότε προβαίνουν σε παραμετροποιήσεις των έτοιμων μοντέλων ή προχωράνε οι ίδιοι τους στην ανάπτυξη της δικής τους προσομοίωσης από το μηδέν. Λόγο του πολύ χρόνου που έχουν επενδύσει στην ανάπτυξη του δικού τους μοντέλου συνήθως οι χρήστες αυτοί καταλήγουν στην αλληλεπίδραση με την κοινότητα ή ακόμη και με τους δημιουργούς του εργαλείου. Στην περίπτωση μας δεν ήρθαμε σε επαφή μέσω συζήτησης με κανέναν αλλά ψάξαμε ενδελεχώς την ομάδα για την επίλυση των δικών μας προβλημάτων και αποριών σχετικά με την κατανόηση της ιεραρχίας των κλάσεων καθώς και με προβλήματα που προέκυψαν κατά την ανάπτυξη της προσομοίωσης. Μερικοί εξ αυτών συνεισφέρουν τελικά τα δικά τους μοντέλα στην κοινότητα του ns-3.



6.2 Δυνατότητες Μοντέλου

Το NS3 αποτελεί ένα πολύ διευρυμένο εργαλείο αφού περιέχει πληθώρα δυνατοτήτων και επεκτείνεται συνεχώς με κάθε ενημέρωση που ανακοινώνεται κατά καιρούς. Συγκεκριμένα το 802.11p ,γνωστό ως WAVE, παρουσιάστηκε από την εταιρία το 2015 , δίνοντας την δυνατότητα στους χρήστες να πειραματιστούν με αυτό. Μέχρι τότε οι δοκιμές γίνονταν βάση του 802.11a επειδή έχει πολλά κοινά χαρακτηριστικά ως προς τις προδιαγραφές τους, όπως οι ρυθμοί μετάδοσης, η εμβέλεια , τύπος διαμόρφωσης (OFDM). Η βασική τους διαφορά είναι στο μήκος καναλιού. Το 802.11a χρησιμοποιεί κανάλι 20MHz , σε αντίθεση με το WAVE που έχει μήκος 10MHz , ώστε να πετυχαίνει καλύτερα αποτελέσματα στο φαινόμενο των διαλείψεων και της διάδοσης πολλαπλών διαδρομών. Στην δική μας περίπτωση , όπως προαναφέραμε επιλέξαμε την επικοινωνία των κόμβων (αυτοκινήτων) μέσω Wi-Fi. Χρησιμοποιήσαμε ένα έτοιμο μοντέλο που υπάρχει διαθέσιμο από την εταιρεία προς μελέτη το οποίο όμως επεκτείναμε και παραμετροποιήσαμε ,ώστε να το προσαρμόσουμε στις δικές μας ανάγκες για να μπορέσουμε εντέλει να μελετήσουμε τα πρωτόκολλα που ενδείκνυται για κινητές επικοινωνίες κόμβων με μεγαλύτερη ταχύτητα από αυτή των ανθρώπων καθώς κινούνται. Το εργαλείο μας δίνει την ευκαιρία να παραμετροποιήσουμε ότι χρειαζόμαστε. Τα χαρακτηριστικά αυτά αφορούν την κινητικότητα των κόμβων (mobility) , τις συσκευές του δικτύου , την διευθυνσιοδότηση των πακέτων που στέλνονται μεταξύ των κόμβων καθώς και των κόμβων με τον συναθροιστή και το επίπεδο της εφαρμογής όπου παράγει την κίνηση των πακέτων που προσομοιώνουμε. Επιπρόσθετα επεμβήκαμε στα μοντέλα που δίνονται για την διάδοση , στην επιλογή αλγορίθμου για τον έλεγχο του ρυθμού μετάδοσης , στο φυσικό επίπεδο του Wi-Fi καθώς και στις διεργασίες πολυκαναλιών. Συνεχίζοντας δουλέψαμε με παραμέτρους οι οποίες θεωρούμε , και θα τα δούμε στην συνέχεια , ότι επηρεάζουν την απόδοση του δικτύου.

6.2.1 Κλάσεις

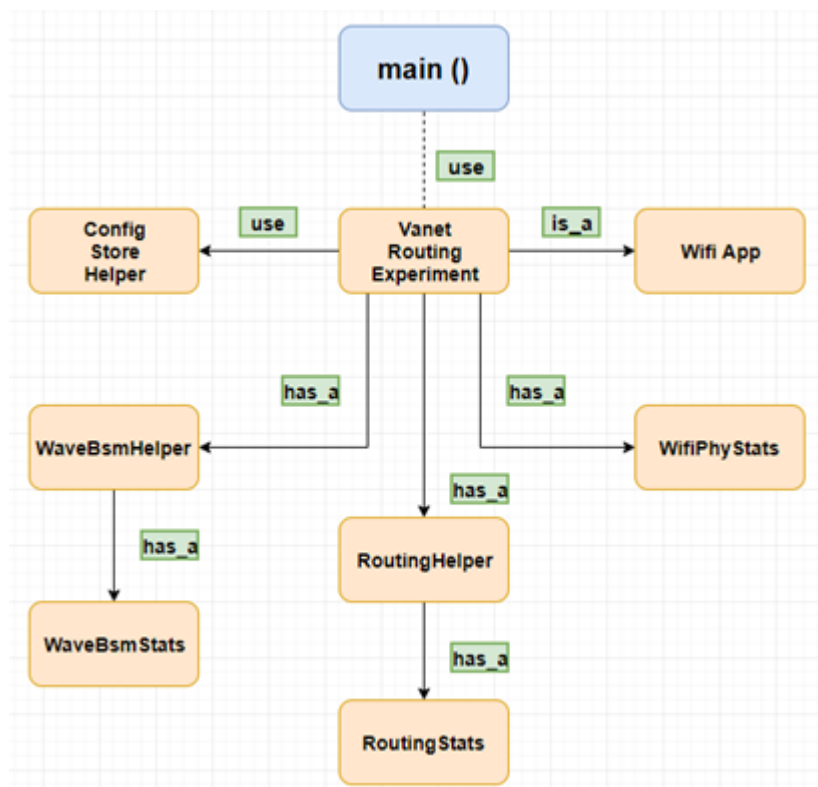
Σαυτό το κομμάτι θα δούμε την ιεραρχία των κλάσεων στην προσομοίωση για να καταλάβουμε πως τρέχει , που γίνεται τι και τι συνεπάγεται το κάθε κομμάτι της. Όπως σε κάθε γλώσσα προγραμματισμού υπάρχει μια συνάρτηση «main» , όπου δίνει το έναυσμα για να το ξεκινήσει το πρόγραμμα. Στο παρακάτω στιγμιότυπο βλέπουμε ότι μέσα σ αυτήν φτιάχνεται ένα αντικείμενο της κλάσης «VanetRoutingExperiment» και χρησιμοποιείται για να ξεκινήσει η προσομοίωση και να περαστούν τυχόν μεταβλητές προσδιορίστηκαν στην γραμμή εντολών.

```
int
main(int argc, char *argv[])
{
    VanetRoutingExperiment experiment;
    experiment.Simulate(argc, argv);
}
```

Σχήμα 49 : Πέρασμα παραμέτρων για το ξεκίνημα της προσομοίωσης

Ουσιαστικά είναι μία κλάση , όπου υλοποιεί μία Wifi εφαρμογή ,ώστε να επιτρέπει την προσομοίωση πειραμάτων δρομολόγησης. Περιέχει συναρτήσεις παραμετροποίησης κόμβων , καναλιού και επεξεργασία αποτελεσμάτων. Η επόμενη κλάση που είναι παρών , αλλά δεν χρησιμοποιήσαμε επακριβώς είναι η

«ConfigStoreHelper». Όπως το λέει και το όνομα της αποτελεί έναν βοηθό αποθήκευσης και χρήσης αρχείων που περιέχουν εντολές παραμετροποίησης. Είτε φορτώνεις σαντό τις επιλογές σου και τρέχει η προσομοίωση από αυτό , είτε μπορείς να αποθηκεύσεις σε αρχεία (raw , txt) τις παραμετροποιήσεις που όρισες χειροκίνητα. Στην δική μας περίπτωση λόγω του ότι κάθε προσομοίωση από τις 2000+ ήταν μοναδική δεν μπορούσε να γίνει χρήση αυτής της λειτουργίας του μοντέλου , χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν είναι απαραίτητη σε άλλες περιπτώσεις. Εν συνεχεία έχουμε τρεις κλάσεις οι οποίες κληρονομούν από την πρωτοπόρο κλάση , μιας και η main είναι συνάρτηση, τις «WaveBsmHelper», την «RoutingHelper» και την «WifiPhyStats». Ας δούμε ,λοιπόν, τον ρόλο της κάθε μίας στην προσομοίωση μας. Η 1η κλάση διαχειρίζεται τα βασικά μηνύματα ασφαλείας (IEEE 1609 Wave Basic Safety Messages) , τα οποία είναι πακέτα των 200byte που εκπέμπονται από κάθε όχημα με ονομαστικό ρυθμό 10MHz. Επίσης η WaveBsmHelper έχει ως παιδί της την «WaveBsmStats», η οποία χρησιμοποιείτε ως συλλέκτης των στατιστικών αυτών των πακέτων. Συνεπώς καταλαβαίνουμε ότι αυτές οι δύο κλάσεις δουλεύουν συνεργατικά, αφού η μία είναι υπεύθυνη για την αποστολή των πακέτων και η άλλη για την καταγραφή των πακέτων. Η ύπαρξη της κρίθηκε αναγκαία στην περίπτωση μας , αφού είναι υπεύθυνη για μεγάλο μέρος των αποτελεσμάτων μας. Αντίστοιχα με τις κλάσεις Wave , έχουμε τις κλάσεις Routing, όπου ευθύνονται για την δημιουργία δεδομένων δρομολόγησης. Η «RoutingStats» κάνει την ίδια δουλειά με την WaveBsmStats, αφού συλλέγει τα στατιστικά του δικού της βοηθού και βγάζει αποτελέσματα. Τέλος έχουμε την WifiPhyStats η οποία συλλέγει δεδομένα στα επίπεδα MAC και PHY. Συγκεκριμένα περιέχει callbacks , συναρτήσεις δηλαδή που δεν καλούνται από κάποια δική μας κίνηση , αλλά πυροδοτούνται με την αποστολή πακέτων μεταξύ των οχημάτων ,ώστε να γίνεται αυτόματα καταγραφή της μετάδοσης και εντέλει να εξάγουμε στατιστικά από τα 2 αυτά επίπεδα.



Σχήμα 50 : Διάγραμμα Κλάσεων Προσομοίωσης

6.2.2 Παράμετροι

Στο μοντέλο που δουλέψαμε υπάρχει πληθώρα παραμέτρων στις οποίες μάλιστα μπορούμε να παρέμβουμε και να αλλάζουμε ανάλογα με το τι θέλουμε. Τέτοιες παράμετροι είναι :

- Αριθμός κόμβων (οχημάτων)
- Αριθμός συναθροιστών (aggregators)
- Όνομα αρχείου CSV για την καταγραφή δεδομένων κάθε στιγμή
- Όνομα αρχείου CSV για την καταγραφή συγκεντρωτικών δεδομένων στο τέλος της προσομοίωσης
- Οριοθέτηση κίνησης οχημάτων μέσω αρχείου (trace mobility)
- Ισχύς εκπομπής οχημάτων (dB)
- Επιλογή πρωτοκόλλου δρομολόγησης , αυτά που εξετάζουμε (AODV, DSDV, OLSR)
- Επιλογή πρωτοκόλλου επικοινωνίας (802.11p)
- Μοντέλο απωλειών (Friis, Log Distance, Itu1411Loss, TwoRayGround, Nakagami)
- Επιλογή εμφάνισης διαλείψεων
- Επιλογή ρυθμού διαμόρφωσης (OFDM Rate)
- Ρυθμός δεδομένων
- Ταχύτητα κόμβων
- Χρονικό περιθώριο αποστολής επόμενου πακέτου
- Επιλογή μέχρι 10 τιμών για αποστάσεις επικοινωνίας των οχημάτων (50,100...500)
- Μέγεθος πακέτου

Υπάρχει δυνατότητα πειραματισμού και με μερικές ακόμη παραμέτρους , οι οποίες όμως επάγονται στο κομμάτι παραμετροποίησης μέσω αρχείου με το οποίο όπως είπαμε δεν ασχοληθήκαμε και άρα δεν μας αφορούν.

6.2.3 Μοντέλα Απωλειών Διάδοσης

Όπως αναφέραμε στην παραπάνω υποενότητα υπήρχε δυνατότητα επιλογής πέντε διαφορετικών μοντέλων απωλειών διάδοσης. Τα τέσσερα εξ αυτών προσομοιώνουν καταστάσεις ελεύθερης μετάδοσης , κάτι το οποίο δεν είναι ρεαλιστικό για το δικό μας σενάριο αφού έχουμε κτίρια να αποδυναμώνουν το σήμα εκπομπής των αυτοκινήτων. Για τον λόγο αυτό επιλέξαμε το μοντέλο του Nakagami , το οποίο συγκαταλέγει και την εξασθένηση του σήματος λόγο πολυδιαδρομών και το μοντέλο Two-Ray Ground. Ο συνδυασμός αυτών των μοντέλων μας δίνει μία πιο ρεαλιστική εικόνα , χωρίς βέβαια να εξισώνεται με την πραγματικότητα. Παρακάτω θα δούμε λίγο πιο λεπτομερώς τα δύο αυτά μοντέλα.

6.2.3.1 Two-Ray Ground Propagation Loss Model

Το μοντέλο αυτό στηρίζει τον υπολογισμό των απωλειών σε δύο συνιστώσες. Η μία εξ αυτών είναι λόγω της απόστασης και της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ των κεραιών εκπομπή και λήψης, σε ελεύθερη θέα (LOS μετάδοση). Η δεύτερη συνιστώσα οφείλεται στην αντανάκλαση του σήματος στο έδαφος που τελικά

φτάνει στην κεραία λήψης. Το μοντέλο συνεπώς συγκαταλέγει τις δύο αυτές συνιστώσες για να προβλέψει τις απώλειες σήματος. Ο τύπος με τον οποίο υπολογίζει την ισχύ λήψης (P_r) ενσωματώνει τα κέρδη των δύο κεραίων (G_t , G_r), την ισχύ εκπομπής (P_t), τα ύψη των δύο κεραίων (H_t , H_r), την οριζόντια απόσταση τους (d) καθώς και την απώλεια συστήματος L [18].

$$P_r = \frac{P_t * G_t * G_r * (H_t^2 * H_r^2)}{d^4 * L}$$

Σχήμα 51 : Τύπος Υπολογισμού ισχύς λήψης [19]

Για την παραμετροποίηση του στο μοντέλο μας εξετάζουμε την παρακάτω γραμμή κώδικα (Σχήμα 52).

```
wifiChannel.AddPropagationLoss (m_lossModelName, "Frequency", DoubleValue (freq), "HeightAboveZ", DoubleValue (1.5));
```

Σχήμα 52 : Επιλογή συχνότητας και διαφοράς ύψους κεραίας λήψης και εκπομπής

6.2.3.2 Nakagami Propagation Loss Model

Το μοντέλο Nakagami εξηγεί τις διακυμάνσεις της ισχύς του σήματος εκπομπής εξαιτίας των πολλαπλών διαδρομών. Δεν λαμβάνει υπόψη την απώλεια ισχύος λόγω της απόστασης που ταξίδεψε το σήμα. Η κοινότητα του ns3, προτείνει σε επίπεδο προσομοίωσης τον συσχετισμό μου και ένα άλλο μοντέλο το οποίο λαμβάνει υπόψη του την απώλεια διαδρομής, όπως το Log Distance, Two-Ray Ground, Friis και ItU1411. Η κατανομή Nakagami που εφαρμόζεται στο επίπεδο ισχύος υλοποιείται με τυχαίες μεταβλητές Γάμμα ή Erlang [17]. Το μοντέλο Rayleigh είναι μια ειδική περίπτωση του μοντέλου Nakagami. Στην πραγματικότητα, το μοντέλο Nakagami περιγράφει διαφορετικές εξισώσεις εξασθένησης. Το Nakagami-m μας δίνει μόνο το γρήγορο φαινόμενο εξασθένησης, το οποίο απλά μεταβάλλει την ισχύ λήψης σύμφωνα με τη διανομή Nakagami. Στο ns3 μας δίνεται η δυνατότητα μέσω κάποιων παραμέτρων να το τροποποιήσουμε. Οι παράμετροι αυτοί είναι :

- Απόσταση 1 (d_1): Αρχή δεύτερο πεδίου απόστασης
- Απόσταση 2 (d_2): Αρχή τρίτου πεδίου απόστασης
- m_0 : Για αποστάσεις μικρότερες του d_1 . Προεπιλεγμένη τιμή 1,5μ
- m_1 : Για αποστάσεις μικρότερες του d_2 . Προεπιλεγμένη τιμή 0,75μ
- m_2 : Για αποστάσεις μεγαλύτερες του d_2 . Προεπιλεγμένη τιμή 0,75μ
- ErlangRv: Πρόσβαση στην τυχαία μεταβλητή Erlang
- GammaRv: Πρόσβαση στην τυχαία μεταβλητή Gamma

Για οποιαδήποτε αλλαγή θέλουμε να κάνουμε στις παραπάνω παραμέτρους πρέπει να πειραματιστούμε με τις γραμμές κώδικα όπως φαίνονται στο Σχήμα 53.

```
wifiChannel.AddPropagationLoss("ns3::NakagamiPropagationLossModel", "m0",  
DoubleValue(1), "m1", DoubleValue(1), "m2", DoubleValue(1));
```

Σχήμα 53 : Επεξεργασία παραμέτρων Nakagami

6.2.4 Μοντέλο Κινητικότητας

Η κινητικότητα του μοντέλου μας έχει κάποιες καταστάσεις. Ένα όχημα μπορεί να βρίσκεται σταματημένο και να ξεκινάει να κινείται, μπορεί να κινείται και να αυξήσει ή να μειώσει ταχύτητα, να σταματήσει ενώ κινείται, να αλλάξει κατευθύνσεις και όλα τα παρεμφερή. Συγκεκριμένα κάθε αντικείμενο (κόμβος) ξεκινάει από την κατάσταση όπου είναι σταματημένο την χρονική στιγμή μηδέν σε μία τυχαία θέση μέσα στο χώρο που φτιάξαμε. Στην κατάσταση αυτή της αδράνειας βρίσκεται για όσο του έχει οριστεί από την τυχαία μεταβλητή «Παύση», η οποία παραμένει σταθερή για τις παύσεις του κάθε οχήματος. Με την ολοκλήρωση της παύσης το όχημα θα διαλέξει μία καινούρια θέση, μέσω του PositionAllocator του οποίου τα όρια έχουμε θέσει εμείς, και μία καινούρια ταχύτητα μέσω της τυχαίας μεταβλητής «Ταχύτητα». Έτσι ξεκινάει η κίνηση του οχήματος για να φτάσει στον προορισμό του με την ταχύτητα που το υποβλήθηκε και μόλις φτάσει η διαδικασία ξεκινάει από την αρχή. Αυτό γίνεται για κάθε όχημα ταυτόχρονα.

```
ssSpeed << "ns3::UniformRandomVariable[Min=0.0|Max=" << m_nodeSpeed << "];  
std::stringstream ssPause;  
ssPause << "ns3::ConstantRandomVariable[Constant=" << m_nodePause << "];  
mobilityAdhoc.SetMobilityModel ("ns3::RandomWaypointMobilityModel",  
                                "Speed", StringValue (ssSpeed.str ()),  
                                "Pause", StringValue (ssPause.str ()),  
                                "PositionAllocator", PointerValue (taPositionAlloc));
```

Σχήμα 54 : Κώδικας παραμέτρων κίνησης

6.3 Σενάριο

Συνολικά μέχρι τώρα έχουμε καλύψει τα θεωρητικά μέρη αυτής της διπλωματικής εργασίας, αναφέροντας ορολογίες αλλά και την γενική εικόνα πίσω από αυτήν την δουλειά. Μιλήσαμε για επικοινωνία οχημάτων μεταξύ τους ή αυτά με σταθμούς βάσης. Καλύψαμε επίσης το δικτυακό κομμάτι που απαιτείται για την περάτωση των επικοινωνιών. Οπότε ήρθε η στιγμή να περάσουμε στο πρακτικό κομμάτι και να δούμε το σενάριο που θέλουμε να καλύψουμε πίσω από αυτήν την θεωρία. Το σενάριο μας προσπαθήσαμε να το διαχειριστούμε σαν ένα πραγματικό σενάριο που θα αντικρίζαμε στην πόλη μας καθημερινά. Συνεπώς προσπαθήσαμε να συμπεριλάβουμε όσες περισσότερες παραμέτρους μπορούσαμε, βάση των γνώσεων μας αλλά και των δυνατοτήτων που είχε το εργαλείο που χρησιμοποιούσαμε, για να είναι αντίστοιχα αληθοφανές. Πήραμε το κομμάτι μιας αστικής περιοχής όπου κατακλύζεται από κτίρια και οχήματα. Ο αριθμός των κόμβων (οχημάτων) θα είναι 50, 100 και κλιμακώνεται ως τα 200 που κινούνται με ταχύτητα από 0 μέχρι 20 μέτρα το δευτερόλεπτο. Η έκταση της περιοχής αυτής είναι 500 μέτρα μήκους επί 500 μέτρα πλάτους. Τα πακέτα που μεταδίδονται μεταξύ των οχημάτων και της κεραίας είναι μεγέθους 64, 1024 και 2048 δυφιοσυλλαβών. Τα χρονικά περιθώρια που ορίζουμε για την εγγύτητα των επικοινωνιών είναι 0.1, 0.2 και 0.3 δευτερόλεπτα. Οτιδήποτε στις παραμέτρους του μοντέλου μας ορίζεται τυχαία ακολουθεί τυχαία κατανομή. Η εξαίρεση σαυτό αποτελεί το κομμάτι κώδικα που γράψαμε για μία γεννήτρια όπου αρχικοποιεί τις τυχαίες κατανομές. Ο σπόρος της γεννήτριας προέρχεται από την τοπική ώρα του συστήματος λαμβάνοντας υπόψη ώρες, λεπτά και δευτερόλεπτα. Η πιθανότητα εμφάνισης του

ίδιο σεναρίου είναι σχεδόν μηδαμινή. Εξαιτίας όμως του ότι δεν είναι πραγματική μηδαμινή αλλά υπάρχει έστω και μικρή πιθανότητα εμφάνισης του ίδιο αποτελέσματος την κάνει ψεύδο-γεννήτρια. Συνεπώς θέλουμε να εξετάσουμε πως αντιδράει το κάθε πρωτόκολλο υπό αυτές τις συνθήκες ,ώστε να εξάγουμε τα δικά μας συμπεράσματα για αυτό το σενάριο.

```
void
VanetRoutingExperiment::SetRandomness()
{
    //Set current system time as seed
    time_t my_time = time(NULL);
    tm *tmp = localtime(&my_time);
    RngSeedManager::SetRun (tmp->tm_hour + tmp->tm_min + tmp->tm_sec);
}
```

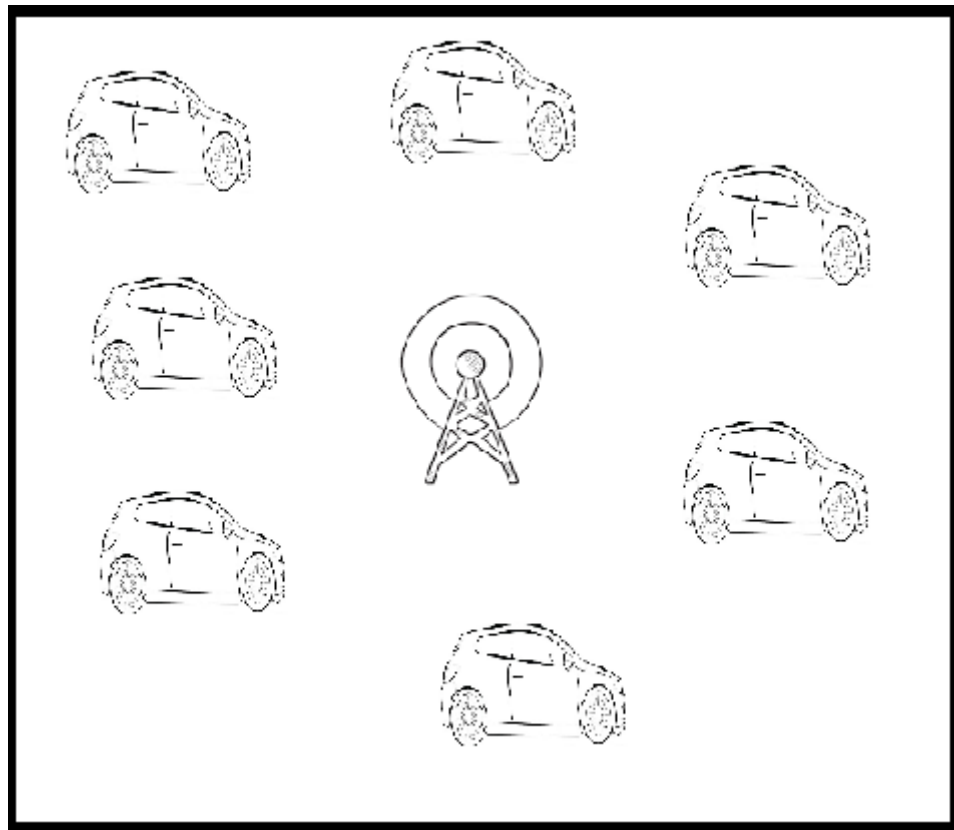
Σχήμα 55 : Δημιουργία ψευδογεννήτριας

Στον πίνακα 5 βλέπουμε λοιπόν συγκεντρωτικά τις παραμέτρους με τις οποίες πειραματιστήκαμε και παίζουν ρόλο στα αποτελέσματα μας. Στο σημείο αυτό να τονίσουμε ότι καμία άλλη έρευνα , από όσες εξετάσαμε τουλάχιστον , δεν κλιμάκωνε τόσο πολύ τον αριθμό των οχημάτων. Παρατηρήσαμε μόνο μία έρευνα στην οποία σε ένα κομμάτι της δουλειάς εξετάζανε για 100 οχήματα. Για το λόγο αυτό επιλέξαμε να εξετάσουμε και για 200 οχήματα , που στην περίπτωση αυτή έχουμε και μία πιο ρεαλιστική εικόνα για ένα αστικό περιβάλλον σε συνδυασμό με την ύπαρξη μεγάλων κτιριακών συγκροτημάτων.

Πίνακας 5 : Παράμετροι σεναρίου

Παράμετροι	Τιμές
Αριθμός οχημάτων	50 – 100 – 200
Ταχύτητα οχημάτων	0 – 20 μέτρα / δευτερόλεπτο
Αποστολείς	Οχήματα
Αποδέκτες	1 συναθροιστής
Περιοχή κάλυψης	500m x 500m
Πρωτόκολλα	AODV – DSDV – OLSR
Μέγεθος Πακέτου	64 – 1024 – 2048 (bytes)
Ρυθμοί Μετάδοσης	3 – 4.5 – 6 – 9 – 12 – 18 – 24 -27
Χρονικό περιθώριο	0.1 – 0.2 – 0.3 (δευτερόλεπτα)
Κίνηση οχημάτων	Τυχαία κατανομή
Χρόνος προσομοίωσης	30 δευτερόλεπτα
Προσπάθειες για κάθε προσομοίωση	3

Ο χρόνος διεκπεραίωσης των προσομοιώσεων διαρκούσε από λίγα λεπτά μέχρι και 36 ώρες ανάλογα των αριθμό των οχημάτων και το χρονικό περιθώριο. Οι 2 αυτοί παράμετροι ήταν καθοριστικοί.

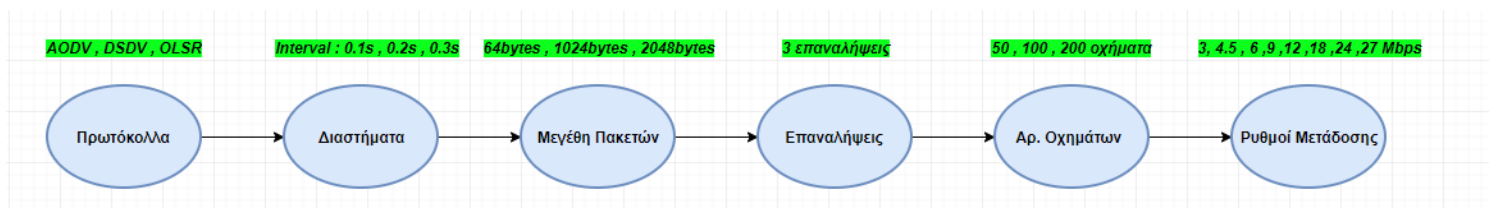


Σχήμα 56 : Τοπολογία με οχήματα και συναθροιστή

Η περιοχή έχει διαστάσεις 500m επί 500m και ο συναθροιστής βρίσκεται στο κέντρο αυτής. Δεν υπάρχουν RSU και η μεταφορά των πακέτων γίνεται μεταξύ των οχημάτων. Αν ένα όχημα βρίσκεται εκτός της εμβέλειας με την κεραία τότε το πακέτο θα μεταπηδήσει από όχημα σε όχημα μέχρι να φτάσει εντέλει στον συναθροιστή ,πάντα βέβαια με την πιθανότητα να χαθεί αφού η σύνδεση γίνεται UDP και όχι TCP. Συνεπώς δεν έχουμε επιβεβαίωση για την αποστολή του πακέτου. Ως συναθροιστή έχουμε ορίσει έναν κόμβο με ταχύτητα μηδενική.

6.4 Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Φτάνοντας λοιπόν στο ένατο κεφάλαιο αυτής της διπλωματικής εργασίας ήρθε η ώρα να δούμε τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, των οποίων έγινε όλο αυτό το διάστημα. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η δομή των αποτελεσμάτων μας.



Σχήμα 57 : Διάγραμμα ιεραρχίας αποτελεσμάτων

Σε αυτό το σημείο να αναφέρουμε ξανά ότι η αρχιτεκτονική μας αφορούσε την επικοινωνία ανάμεσα σε Κτηριακό Δίκτυο (BAN) καθώς και οχήματα με την χρήση ενός ασύρματου συστήματος το οποίο όμως λειτουργεί πολλαπλά με διαφορετικά πρωτόκολλα. Από την σύγκριση των πρωτοκόλλων περιμένουμε να δούμε την καλύτερη αποδοτικότητα που μπορεί να δημιουργηθεί στο επικοινωνιακό σύστημα με την χρήση πολλαπλών πρωτοκόλλων.

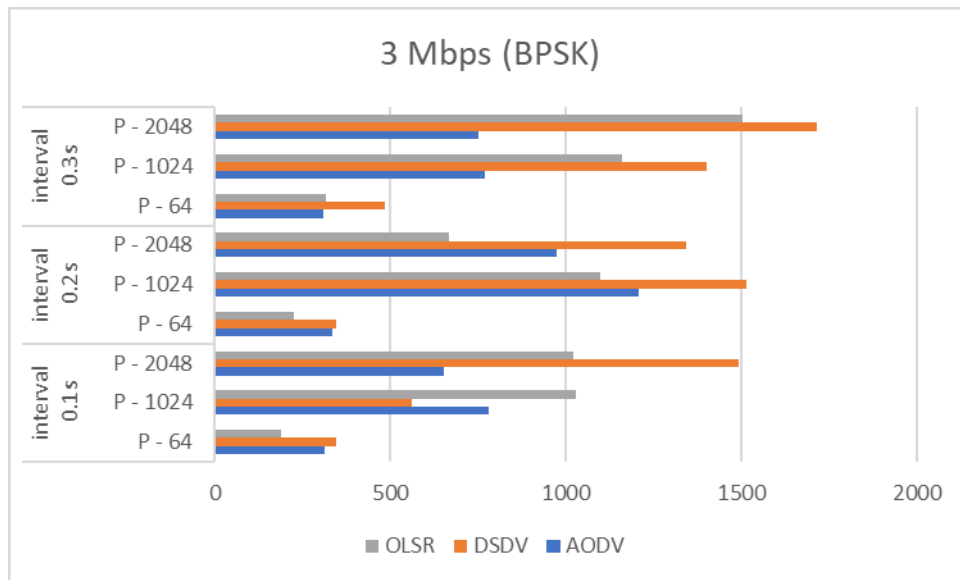
Αρχικά ξεκινήσαμε, βλέποντας με ποια πρωτόκολλα θα δουλέψουμε και τις ιδιαιτερότητες που δεσπόζουν σε καθένα από αυτά. Τρία στον αριθμό με το OLSR και το DSDV να είναι προληπτικά πρωτόκολλα, ενώ το AODV είναι αντιδραστικό. Εν συνεχεία έπρεπε να μελετήσουμε τα χαρακτηριστικά των πρωτοκόλλων, ώστε να ξέρουμε τι είναι αυτό που επηρεάζει τις αποδόσεις αυτών, ώστε να πειραματιστούμε με αυτά. Από ανάλογες έρευνες είδαμε ότι τα βασικότερα χαρακτηριστικά είναι το μέγεθος του πακέτου, οι χρονικές καθυστερήσεις που ορίζονται για την αποφόρτιση της ουράς και την αποφυγή συγκρούσεων, που θα οδηγούσε σίγουρα σε μείωση της ποιότητας και της αξιοπιστίας του πρωτοκόλλου. Δύο ακόμη σημαντικοί παράγοντες είναι ο αριθμός των κόμβων, είτε αυτοί είναι άνθρωποι είτε οχήματα, καθώς και οι ρυθμοί δεδομένων που κινούνται στο δίκτυο παραγόμενοι από κάποια εφαρμογή. Είναι λογικό επακόλουθο η αύξηση της κίνησης στο δίκτυο λόγω αυξημένων ρυθμών να επηρεάζει αρνητικά τις περισσότερες φορές την απόδοση του δικτύου, λόγω των συγκρούσεων, αλλά όχι πάντα. Δεν ξεχνάμε ότι η τοπολογία του δικτύου μας είναι δυναμική, εξαιτίας της κίνησης των κόμβων και δεν πρόκειται για στατικό, όπου είναι ακριβής και σταθερός ο αριθμός των κόμβων καθώς και η θέση τους. Η δυναμικότητα αυτή δυσκολεύει την εξαγωγή των συμπερασμάτων σε σύγκριση πάντα με ένα στατικό δίκτυο, αφού σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί ο αυξημένος αριθμός οχημάτων ή ο αυξημένος ρυθμός μετάδοσης να μην επηρεάσει αρνητικά την συμπεριφορά του πρωτοκόλλου. Αυτό μπορεί να γίνεται είτε γιατί τα οχήματα είναι ομοιόμορφα κατανομημένα στο χώρο, είτε ελάχιστα εξ αυτών προσπαθούν να επικοινωνήσουν με τον συναθροιστή. Για τον λόγο αυτό, για να αποφύγουμε την σύγχυση και την ανακρίβεια, επιλέξαμε να επαναλαμβάνουμε κάθε προσομοίωση από τρεις φορές, ώστε να βγάλουμε έναν μέσο όρο από τα 3 αποτελέσματα. Έτσι θα λύναμε το πρόβλημα που θα μας οδηγούσε σε λάθος συμπεράσματα. Κάνοντας τα μαθηματικά καταλήγουμε στην ολοκλήρωση συνολικά 1944 προσομοιώσεων. Με την χρήση δύο δυνατών υπολογιστών και ενός μετρίου δυνατοτήτων φορητό υπολογιστή και την εικοσιτετράωρη λειτουργία τους μας πήρε περίπου 3 μήνες. Παρακάτω στα αποτελέσματα θα σχολιάζουμε για μικρούς και μεγάλους ρυθμούς δεδομένων. Λέγοντας μικρούς αναφερόμαστε σε 3-9 Mbps και σε μεγάλους από 12-27Mbps.

6.4.1 Ωφέλιμο φορτίο (Throughput)

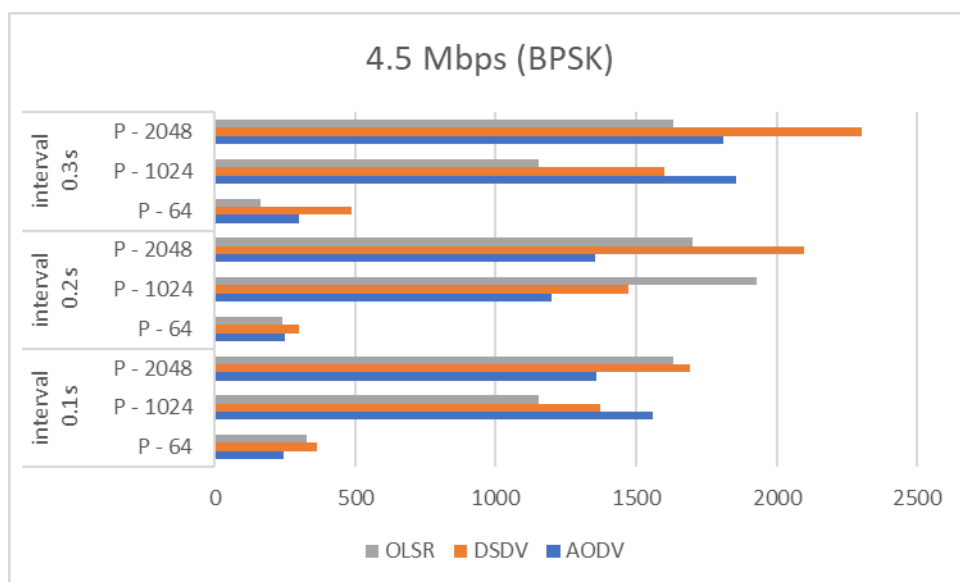
Μιλώντας για διεκπεραιωτικότητα αναφερόμαστε στον ρυθμό με τον οποίο διασχίζουν έναν σύνδεσμο τα δεδομένα. Ωφέλιμο όμως είναι τα χρήσιμα δεδομένα **μόνο** που διασχίζουν τον σύνδεσμο αυτό. Η διεκπεραιωτικότητα (throughput) ορίζεται ως το πλήθος όλων των δεδομένων, **χρήσιμων και μη**. Συνήθως περιλαμβάνει αναμεταδόσεις πακέτων που δεν έφτασαν ποτέ στον παραλήπτη ή επιπλέον φορτίο (overhead) όπως τα περιτυλίγματα (επιπλέον επίπεδο για ασφάλεια) του πρωτοκόλλου. Επειδή όμως στο επίπεδο της μεταφοράς χρησιμοποιήσαμε το πρωτόκολλο UDP και όχι TCP, λόγω υψηλών καθυστερήσεων και αναμεταδόσεων που στην περίπτωση μας είναι απαγορευτικά και μη αποδοτικά, οι αναμεταδόσεις απουσιάζουν αλλά έχουμε αυξημένο επιπλέον φορτίο για την όσο δυνατόν πιο σίγουρη αποστολή του πακέτου. Συγκεκριμένα το ωφέλιμο φορτίο στην περίπτωση μας είναι δεδομένα που στέλνονται μεταξύ των αυτοκινήτων, ώστε τελικά να καταλήξουν στον συναθροιστή που βρίσκεται στο κέντρο της περιοχής. Ο συναθροιστής δρα ως διεπαφή μεταξύ του πλέγματος και των ηλεκτρικών

οχημάτων. Η λειτουργία του είναι να λαμβάνει δεδομένα και να ρυθμίζει τις διαδικασίες φόρτισης, εκφόρτισης και ρύθμιση συχνότητας των οχημάτων. Στην διπλωματική αυτή εξετάζουμε το κομμάτι επικοινωνίας των οχημάτων μεταξύ τους και με αυτόν και όχι την βελτιστοποίηση του τρόπου με τον οποίο πετυχαίνει την ρύθμιση των διαδικασιών.

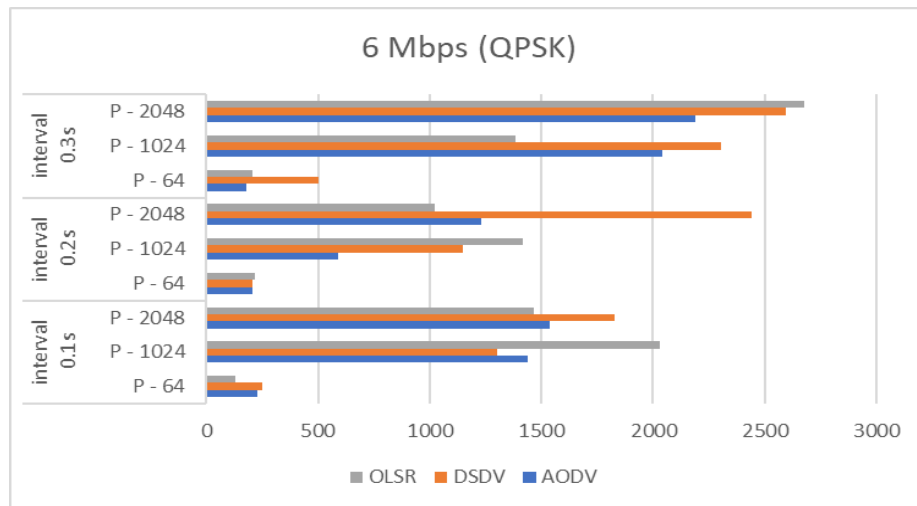
6.4.1.1 50 οχήματα



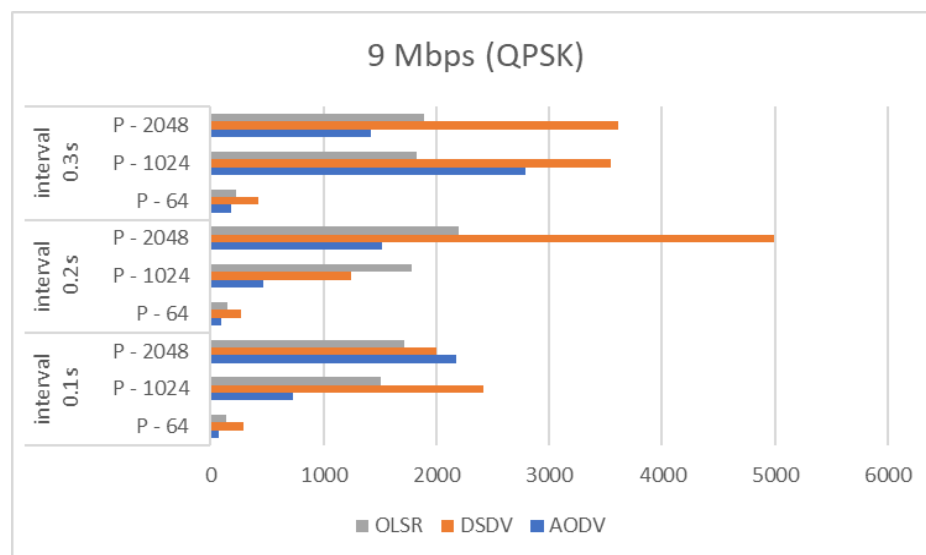
Σχήμα 58 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 3 Mbps – 50 οχήματα



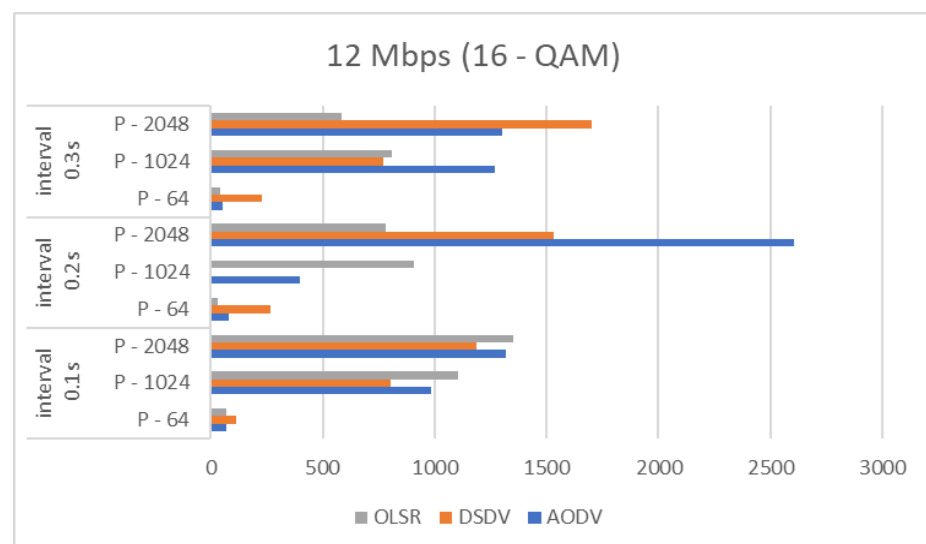
Σχήμα 59 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 3 Mbps – 50 οχήματα



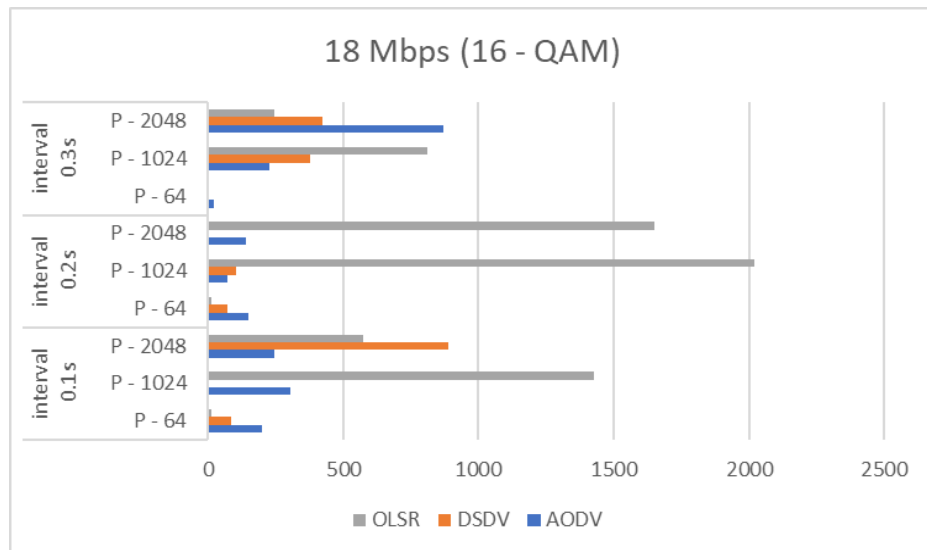
Σχήμα 60 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 6 Mbps – 50 οχήματα



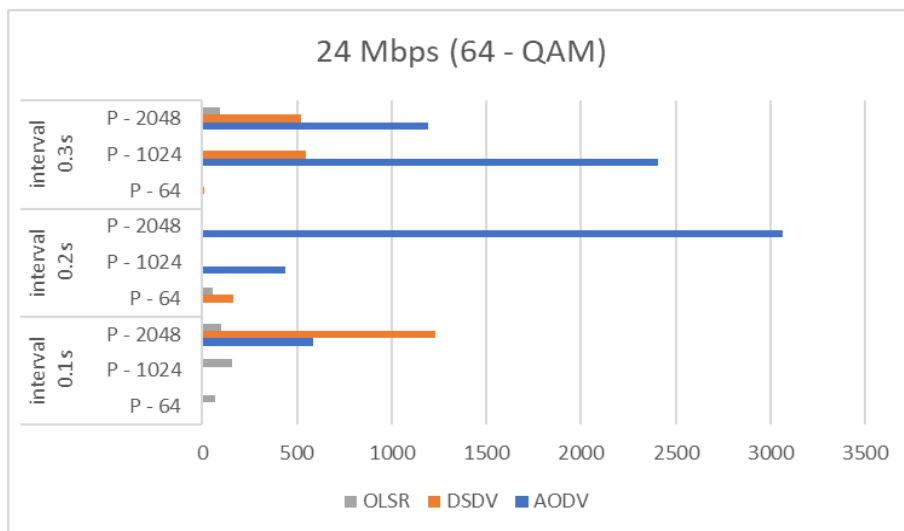
Σχήμα 61 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 9 Mbps – 50 οχήματα



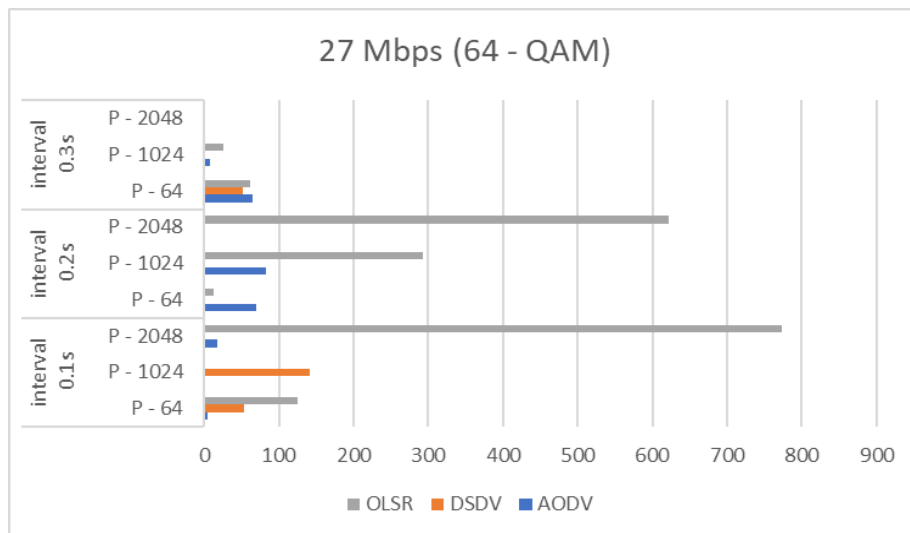
Σχήμα 62 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 12 Mbps – 50 οχήματα



Σχήμα 63 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 18 Mbps – 50 οχήματα



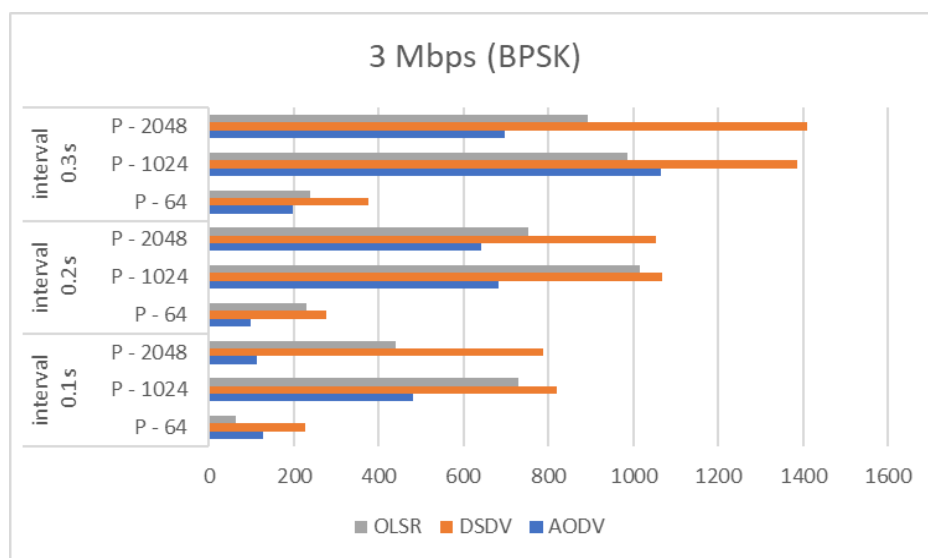
Σχήμα 64 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 24 Mbps – 50 οχήματα



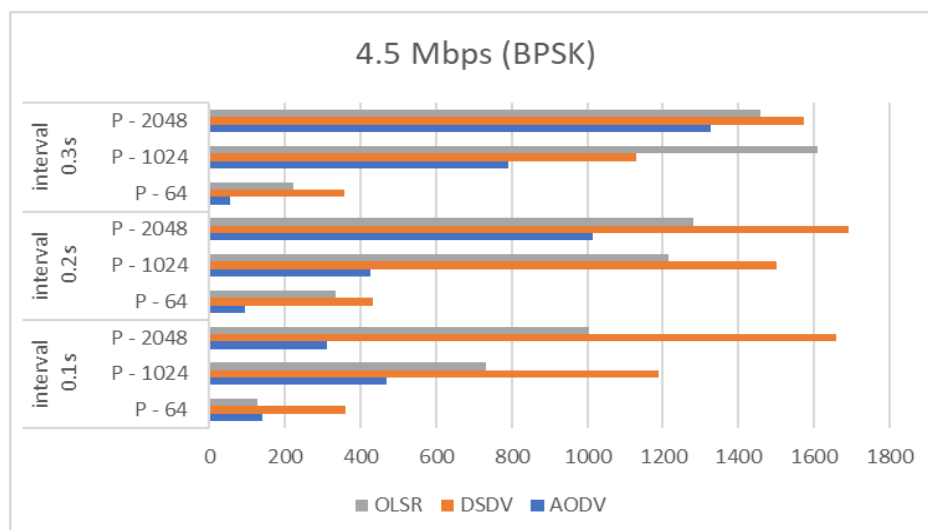
Σχήμα 65 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 27 Mbps – 50 οχήματα

Για ρυθμούς μετάδοσης από 3 έως 9 Mbps το πρωτόκολλο DSDV πετυχαίνει τις καλύτερες επιδόσεις σε σύγκριση με τα άλλα 2 πρωτόκολλα ανεξαρτήτως χρονικού περιθωρίου και μέγεθος πακέτου (Σχήμα 58 – Σχήμα 61). Επίσης παρατηρούμε ότι με την αύξηση του μεγέθους του πακέτου πετυχαίνουμε καλύτερες αποδόσεις όπως και με την αύξηση του χρονικού περιθωρίου. Βλέπουμε ότι με την αύξηση του ρυθμού μετάδοσης να αυξάνονται και οι απώλειες με αποτέλεσμα σε αρκετές περιπτώσεις να μην υπάρχει καθόλου ζεύξη. Σε σχέση με τις μικρότερες διαμορφώσεις, στις μεγάλες, το DSDV δεν έχει την ίδια αποδοτικότητα. Αντίθετα τα άλλα δύο πρωτόκολλα λειτουργούν διαφορετικά και αποδίδουν, όχι με τον καλύτερο τρόπο, σε σχέση με τους χαμηλούς ρυθμούς. Συγκεκριμένα το AODV κερδίζει για ρυθμούς 12 και 24 Mbps, ενώ το OLSR για 18 και 27 Mbps. Η καλύτερη απόδοση βρίσκεται στα 9 Mbps για μέγεθος πακέτου 2048 και χρονικό περιθώριο 0.2 δευτερόλεπτα.

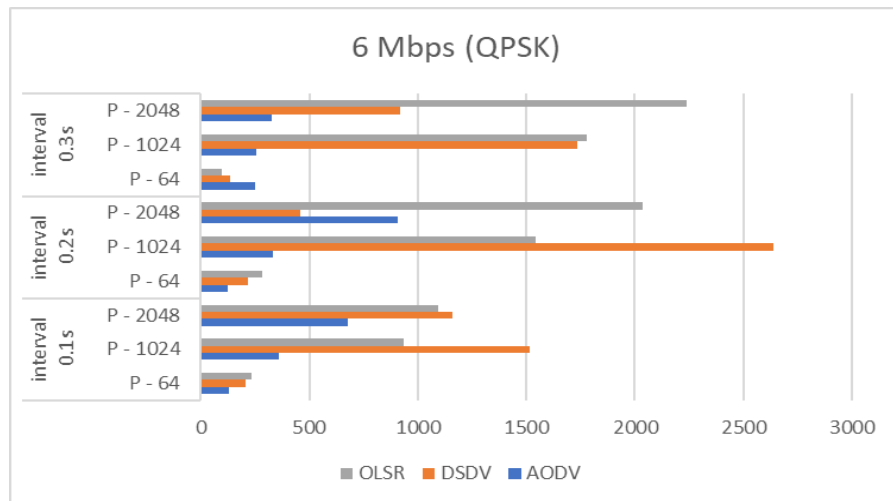
6.4.1.2 100 οχήματα



Σχήμα 66 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 3 Mbps – 100 οχήματα



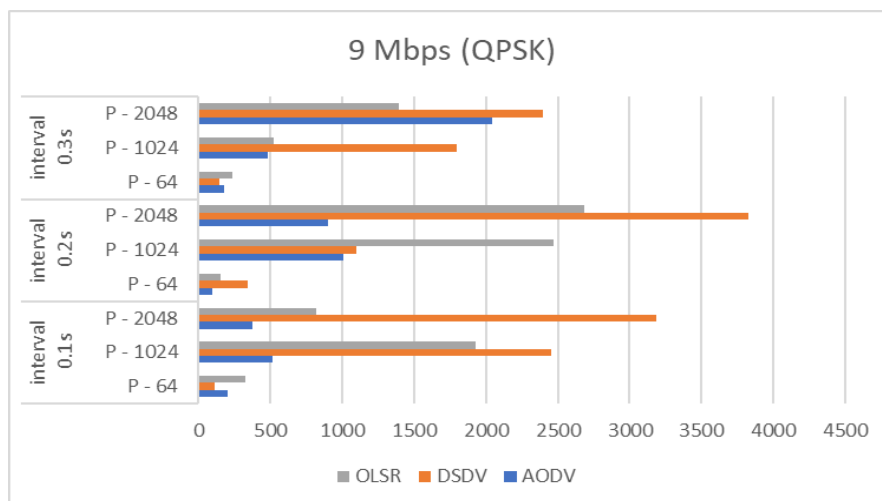
Σχήμα 67 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 4.5 Mbps – 100 οχήματα



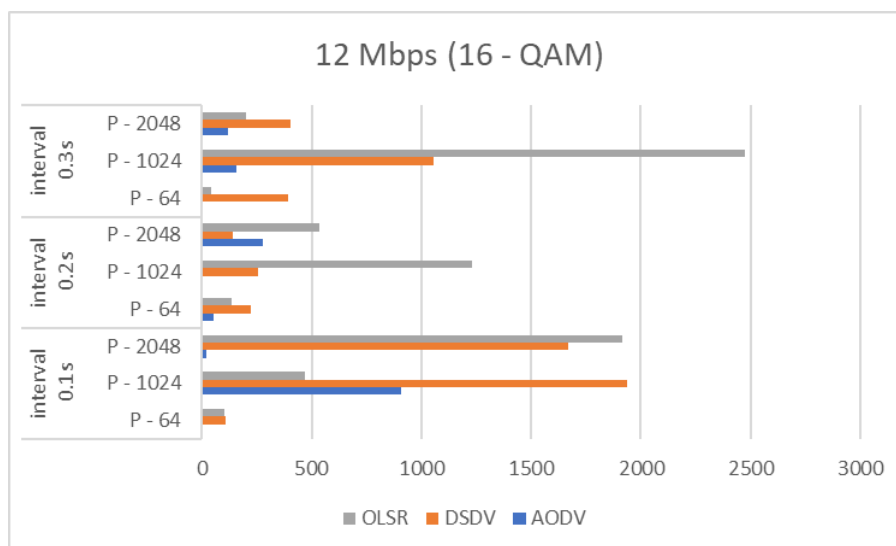
Σχήμα 68 :

για ρυθμό μετάδοσης 6 Mbps – 100 οχήματα

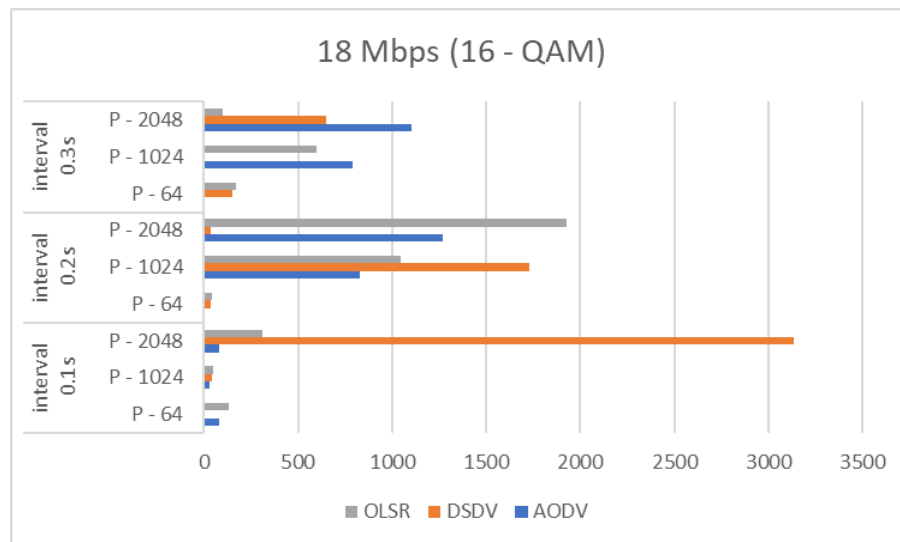
Throughput



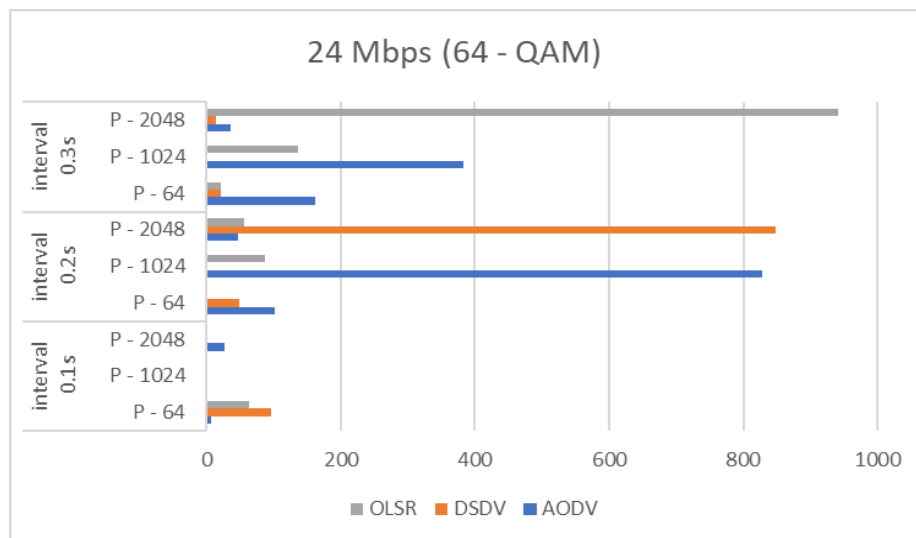
Σχήμα 69 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 9 Mbps – 100 οχήματα



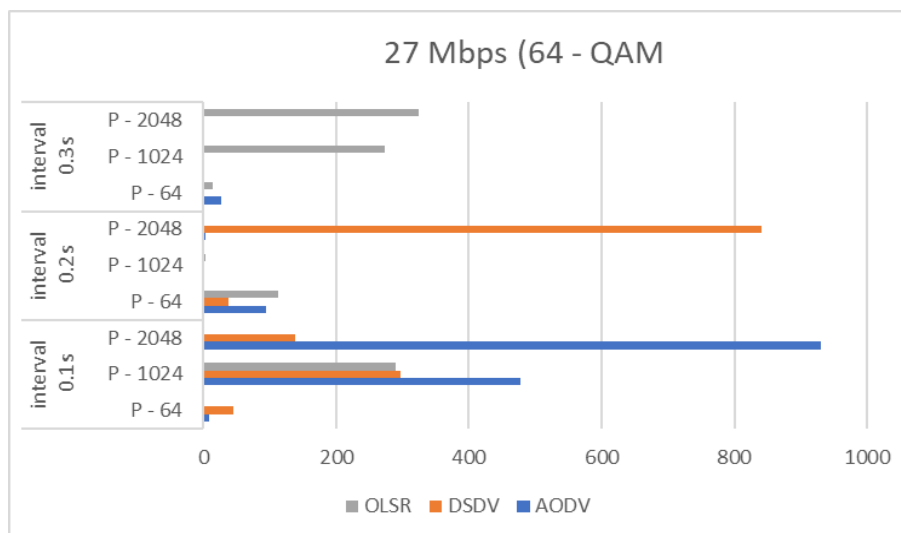
Σχήμα 70 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 12 Mbps – 100 οχήματα



Σχήμα 71 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 18 Mbps – 100 οχήματα

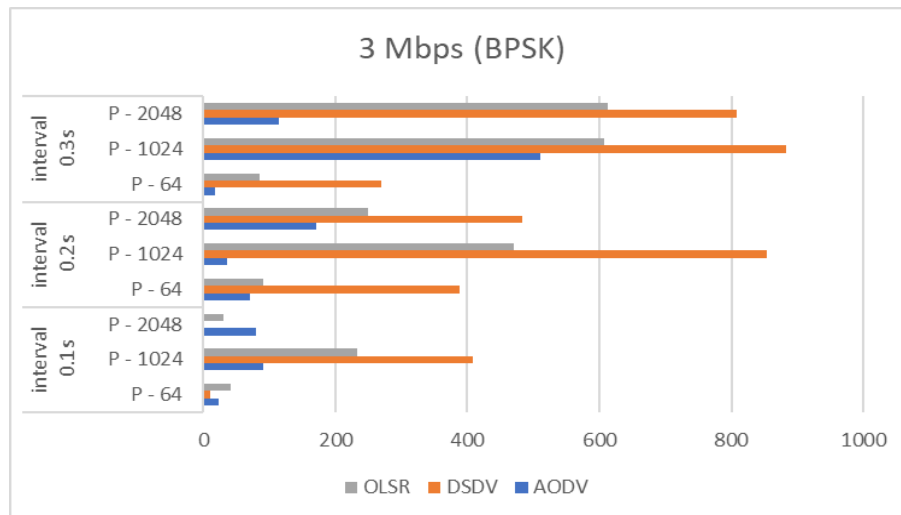


Σχήμα 72 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 24 Mbps – 100 οχήματα

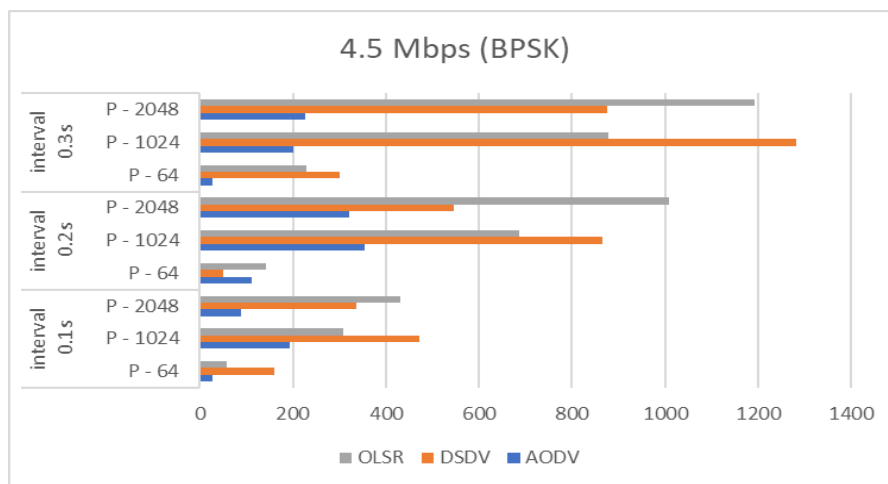


Σχήμα 73 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 27 Mbps – 100 οχήματα

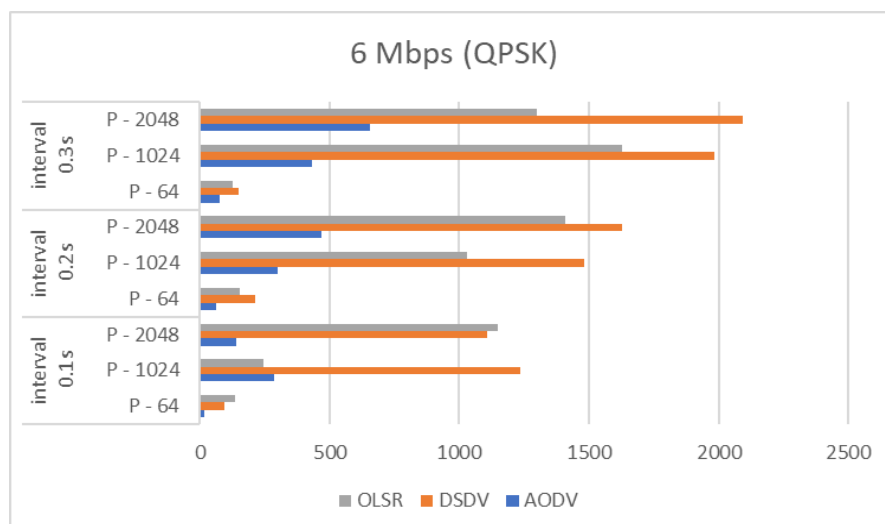
6.4.1.3 200 οχήματα



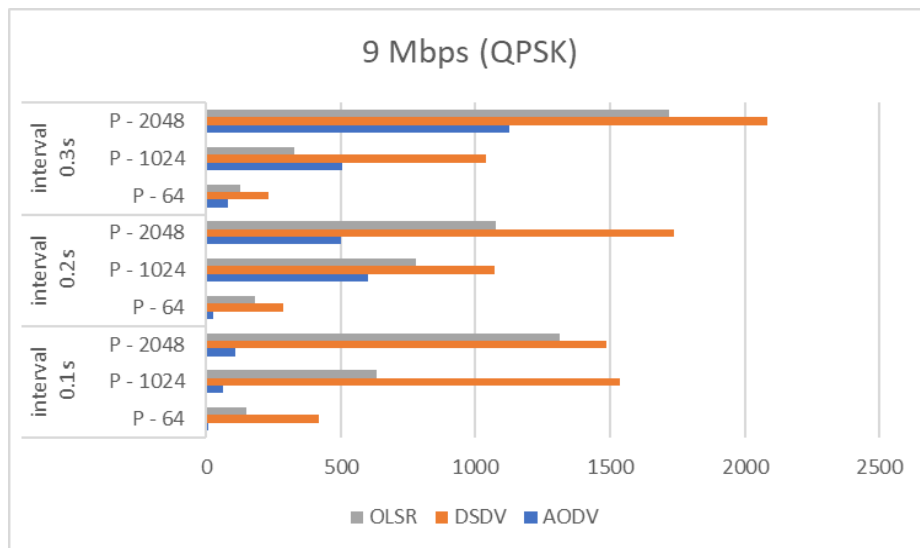
Σχήμα 74 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 3 Mbps – 200 οχήματα



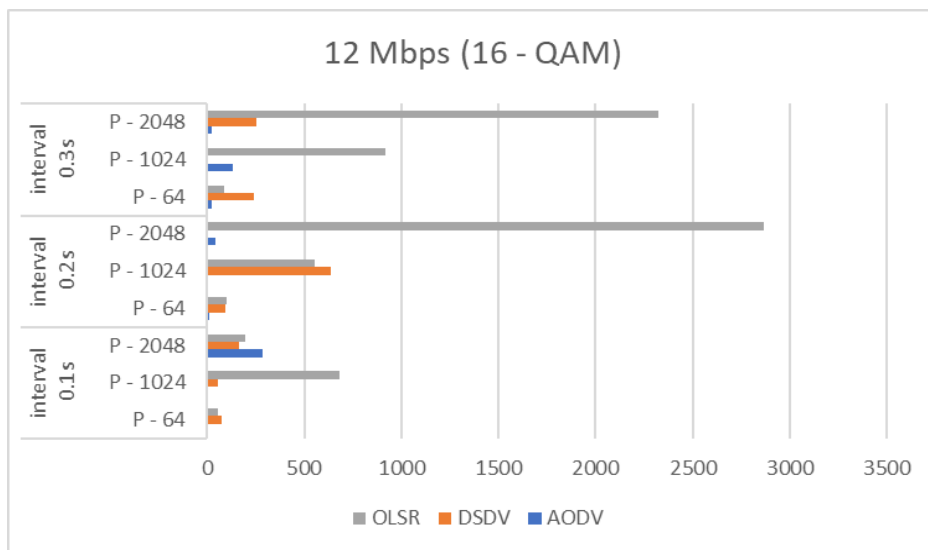
Σχήμα 75 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 4.5 Mbps – 200 οχήματα



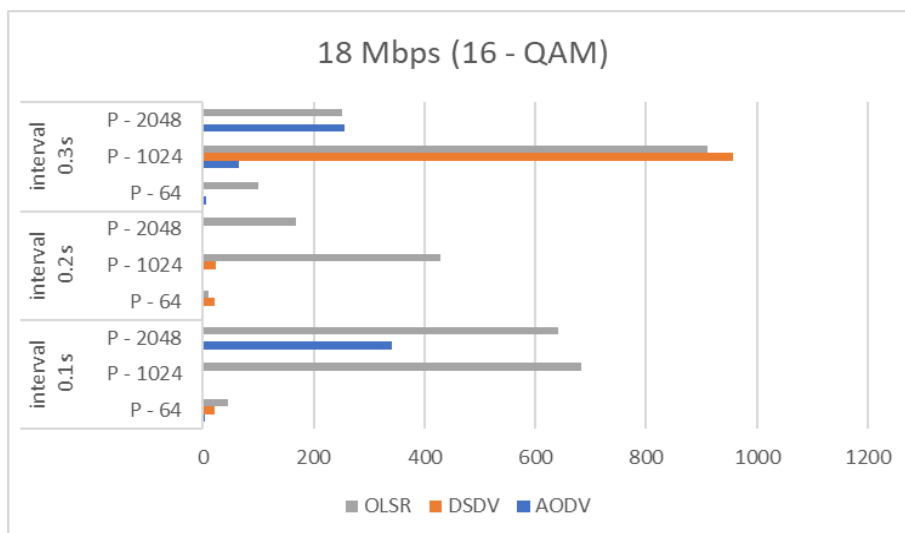
Σχήμα 76 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 6 Mbps – 200 οχήματα



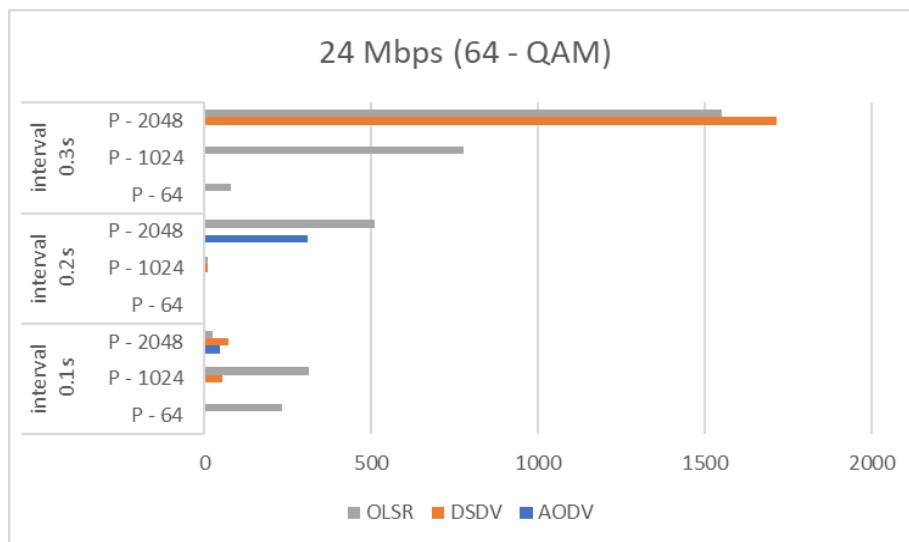
Σχήμα 77 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 9 Mbps – 200 οχήματα



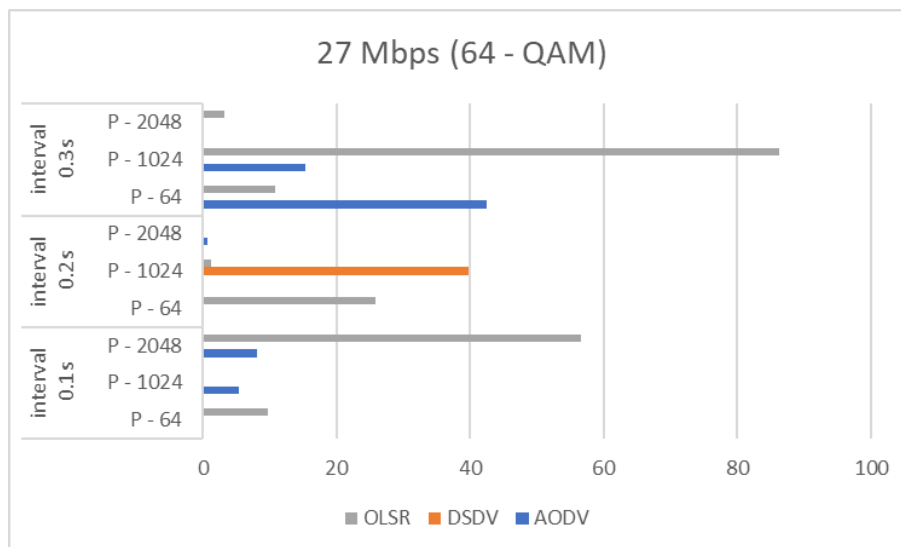
Σχήμα 78 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 12 Mbps – 200 οχήματα



Σχήμα 79 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 18 Mbps – 200 οχήματα



Σχήμα 80 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 24 Mbps – 200 οχήματα



Σχήμα 81 : Throughput για ρυθμό μετάδοσης 27 Mbps – 200 οχήματα

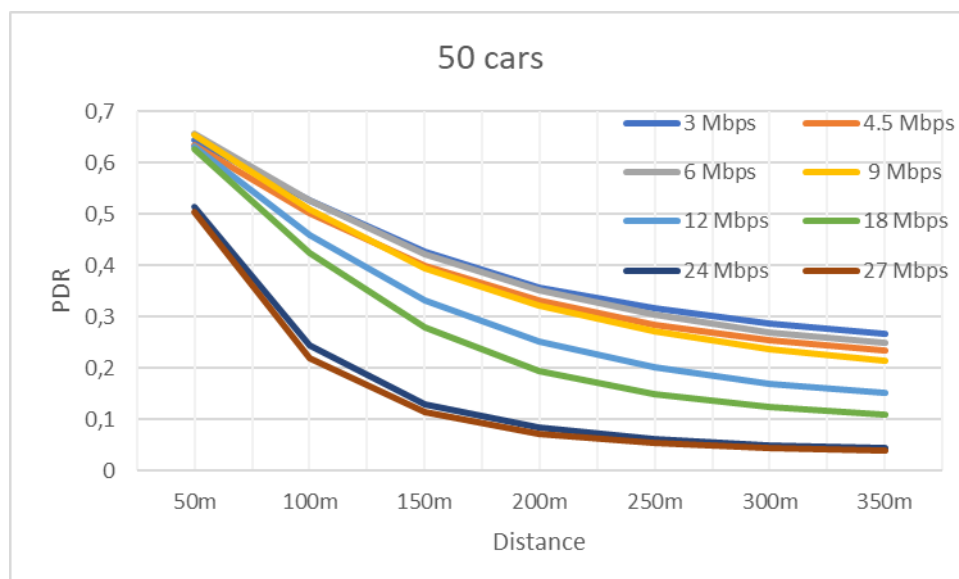
Σε γενικές γραμμές, παρατηρούμε το DSDV να έχει καλύτερη απόδοση από 3 μέχρι 9 Mbps ανεξαρτήτου αριθμού οχημάτων. Επίσης θα κάνουμε μία παρατήρηση ότι το OLSR λειτουργεί καλύτερα με την αύξηση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων και για μεγάλους αριθμούς οχημάτων. Περνώντας στο τρίτο πρωτόκολλο το AODV δεν μπορούμε να μιλήσουμε με σιγουριά για την αποδοτικότητα του ως προς το ωφέλιμο φορτίο, αλλά μπορούμε να πούμε με σιγουριά ότι αποτελεί μία πιο σταθερή λύση, όπως και το OLSR, ως προς την ζεύξη της επικοινωνίας γιατί οι φορές όπου είχε μηδενική απόδοση ήταν ελάχιστες σε σχέση με το DSDV. Το μεγαλύτερο throughput που επιτεύχθηκε για 50 και 100 οχήματα είναι από το DSDV στα 9Mbps με ωφέλιμο φορτίο στα 5Mbps και στα 3.8Mbps αντίστοιχα με μέγεθος πακέτου 2048 και χρονικό περιθώριο 0.2 δευτερόλεπτα. Ενώ για 200 οχήματα η μεγαλύτερη απόδοση φτάνει 2.8Mbps από ρυθμό μετάδοσης 12Mbps για μέγεθος πακέτου 2048 και χρονικό περιθώριο 0.2 δευτερόλεπτα από το OLSR.

6.4.2 Λόγος παράδοσης πακέτων

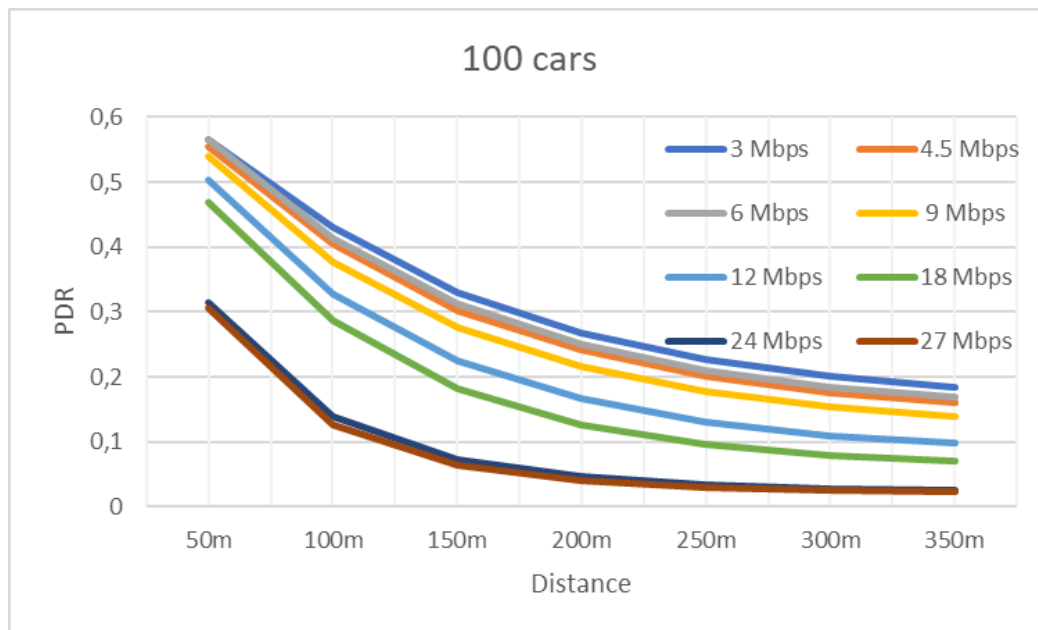
Σ' αυτό το κομμάτι της εργασίας εξετάζουμε τον λόγο παράδοσης πακέτων. Ορίζουμε τον λόγο αυτό ως το ποσοστό των πακέτων που στάλθηκαν και εντέλει έφτασαν στο προορισμό τους. Με αυτό τον τρόπο βλέπουμε την αξιοπιστία της επικοινωνίας και πως αυτή επηρεάζεται βάση της απόστασης, τον αριθμό των οχημάτων και τον ρυθμό ροής των δεδομένων. Όσο μεγαλύτερο πακέτο και μικρότερο διάστημα τόσο αυξάνονται οι απαιτήσεις για πιο αποδοτικές επικοινωνίες. Εμείς εδώ εξετάζουμε για 50, 100 και 200 οχήματα και διαστήματα 0.1, 0.2 και 0.3. Επίσης εξετάζουμε για τους ίδιους ρυθμούς ροής 3, 4.5, 6, 9, 12, 18, 24 και 27Mbps. Λόγω του πολύ μεγάλου όγκου γραφημάτων παραθέτουμε μέσους όρους. Τα μεγέθη των πακέτων είναι 64, 1024 και 2048. Η σύμπτυξη αυτή οδηγεί στο να βλέπουμε πιο γενικά αποτελέσματα που ανταποκρίνονται πιο πολύ στην πραγματικότητα, από το να εστιάζουμε σε κάθε αποτέλεσμα μεμονωμένα που μπορεί να οδηγήσει σε παραπλάνηση και εντέλει σε λάθος συμπεράσματα. Για να ενσωματωθούν τα χρονικά περιθώρια στα αποτελέσματα λάβαμε μέσο όρο των περιπτώσεων 50 οχήματα, μέγεθος πακέτου 64, ρυθμός ροής δεδομένων 3Mbps για χρονικά περιθώρια 0.1, 0.2 και 0.3. Έτσι ενσωματώσαμε τον παράγοντα του χρόνου στα αποτελέσματα ελαχιστοποιώντας τα. Η ίδια διαδικασία ακολούθησε και όλα τα αποτελέσματα και μετέπειτα έγινε το ίδιο και για το μέγεθος πακέτου. Με αυτόν τον τρόπο έχουμε 3 γραφήματα για το κάθε πρωτόκολλο, για 50, 100 και 200 οχήματα. Δηλαδή 9 στο σύνολο.

Για την αποφυγή σύγχυσης θέλουμε να εξηγήσουμε ότι τα 2 κριτήρια με τα οποία εξετάσαμε την αποδοτικότητα του δικτύου δεν συγχέονται, αλλά αλληλοσυμπληρώνονται. Τονίζουμε αυτή την παρατήρηση γιατί θα σκεφτόταν κανείς πως το ωφέλιμο φορτίο και το ποσοστό επιτυχούς παράδοσης πακέτων είναι το ίδιο πράγμα με άλλα λόγια. Όμως τα νούμερα για τα ποσοστά αναλογίας δεν πηγαίνουν από τα αποτελέσματα του ωφέλιμου φορτίου. Αυτό συμβαίνει γιατί το σύνολο του ωφέλιμου φορτίου καθώς και η αποστολή μηνυμάτων ασφαλείας αποτελούν το σύνολο της κίνησης του δικτύου. Τα μηνύματα ασφαλείας έχουν σταθερό μέγεθος 200bytes και είναι ανεξάρτητα από τα πακέτα ωφέλιμου φορτίου.

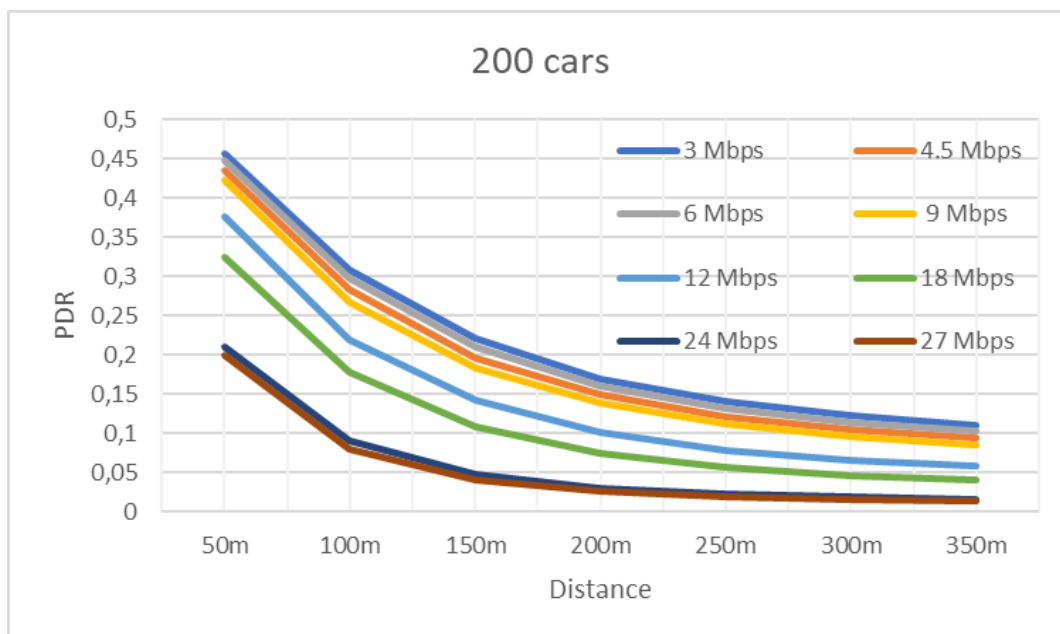
6.4.2.1 AODV



Σχήμα 82 : Λόγος παράδοσης πακέτων σε σχέση με απόσταση για 50 οχήματα (AODV)

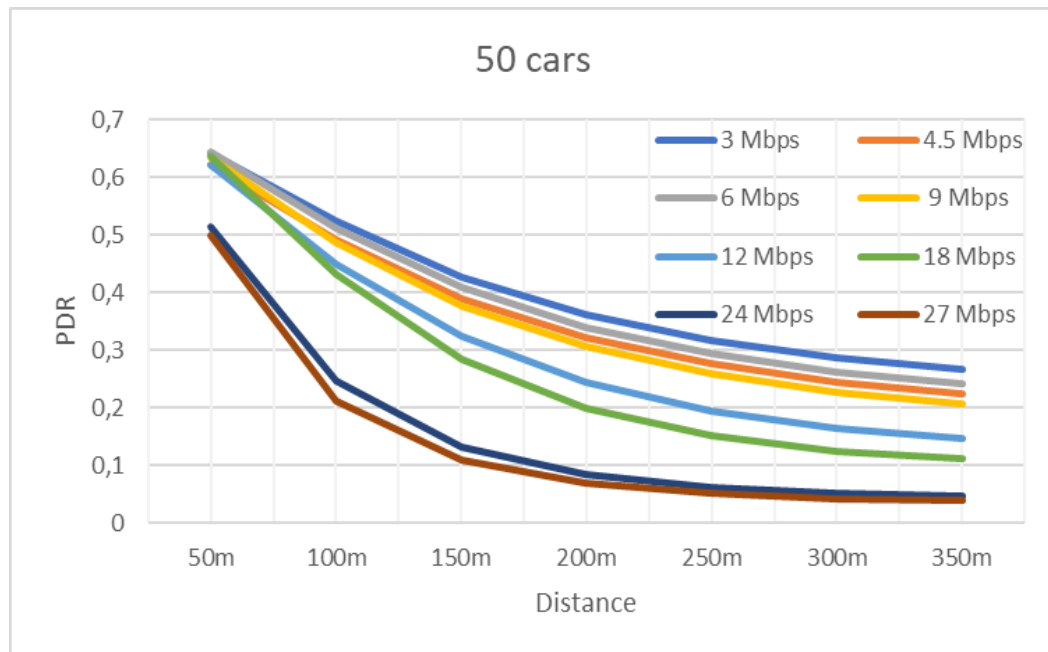


Σχήμα 83 : Λόγος παράδοσης πακέτων σε σχέση με απόσταση για 100 οχήματα (AODV)

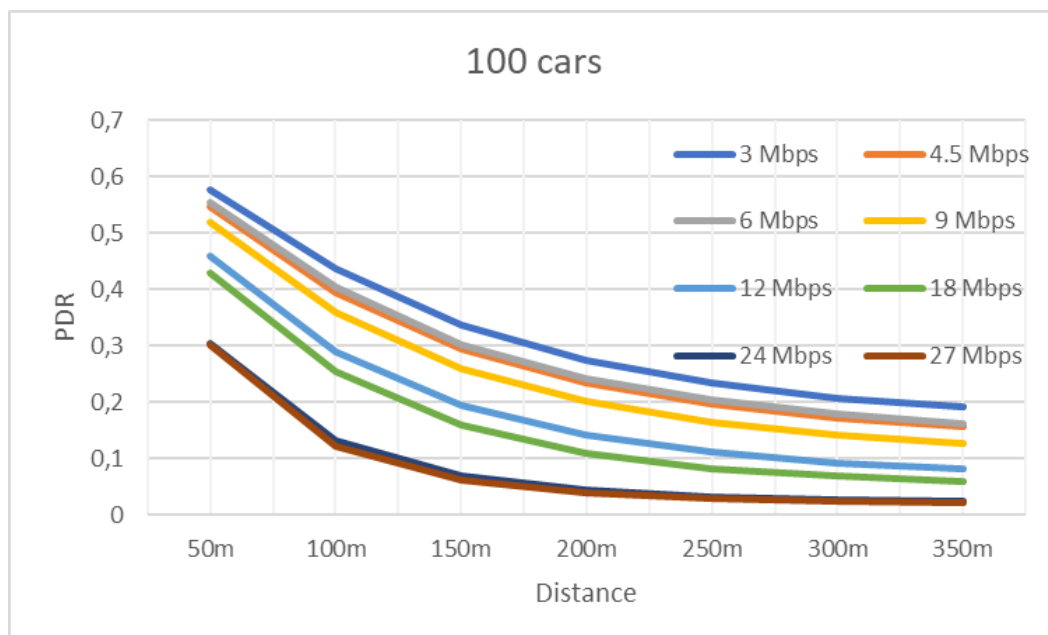


Σχήμα 84 : Λόγος παράδοσης πακέτων σε σχέση με απόσταση για 200 οχήματα (AODV)

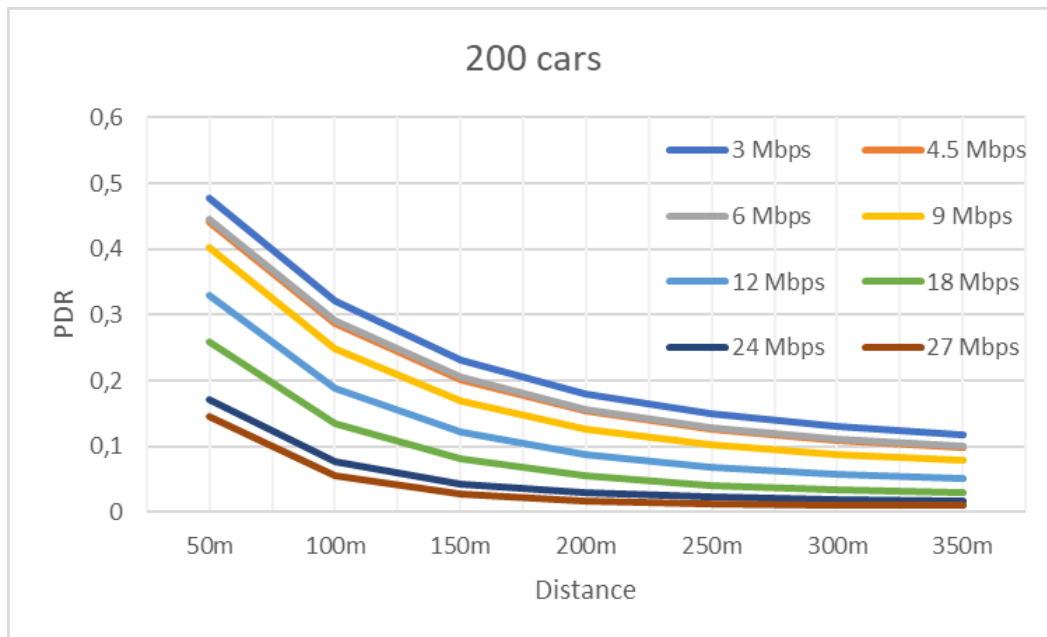
6.4.2.2 DSDV



Σχήμα 85 : Λόγος παράδοσης πακέτων σε σχέση με απόσταση για 50 οχήματα (DSDV)

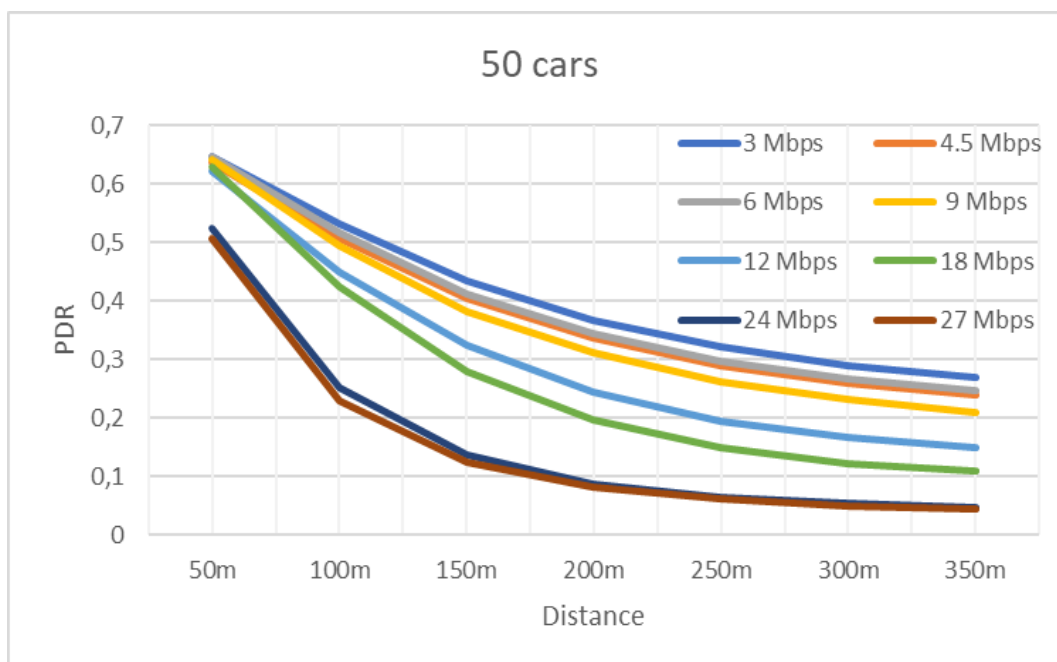


Σχήμα 86 : Λόγος παράδοσης πακέτων σε σχέση με απόσταση για 100 οχήματα (DSDV)

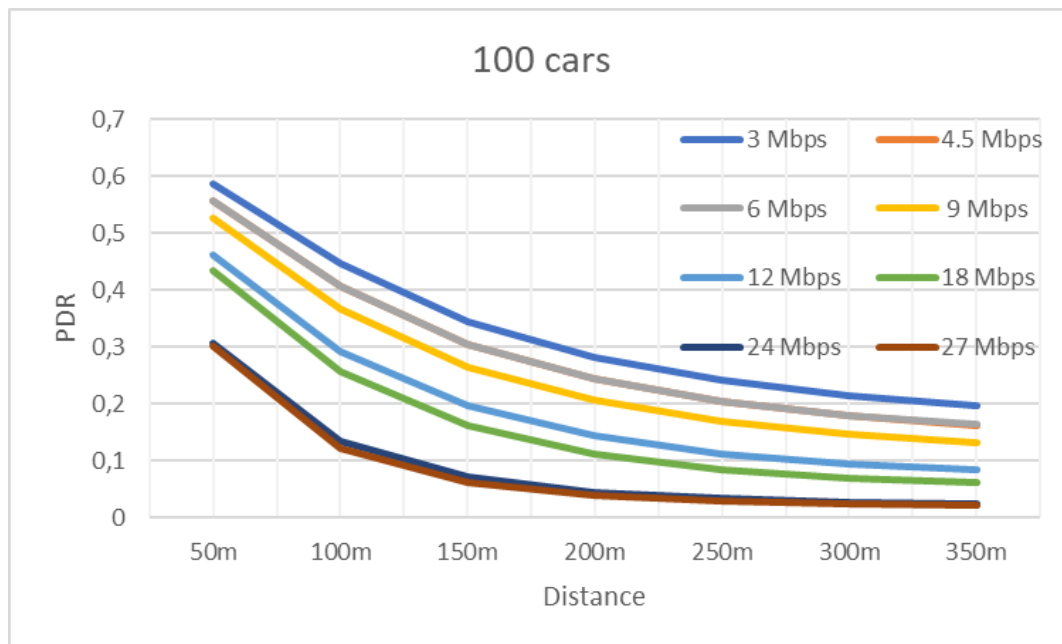


Σχήμα 87 : Λόγος παράδοσης πακέτων σε σχέση με απόσταση για 200 οχήματα (DSDV)

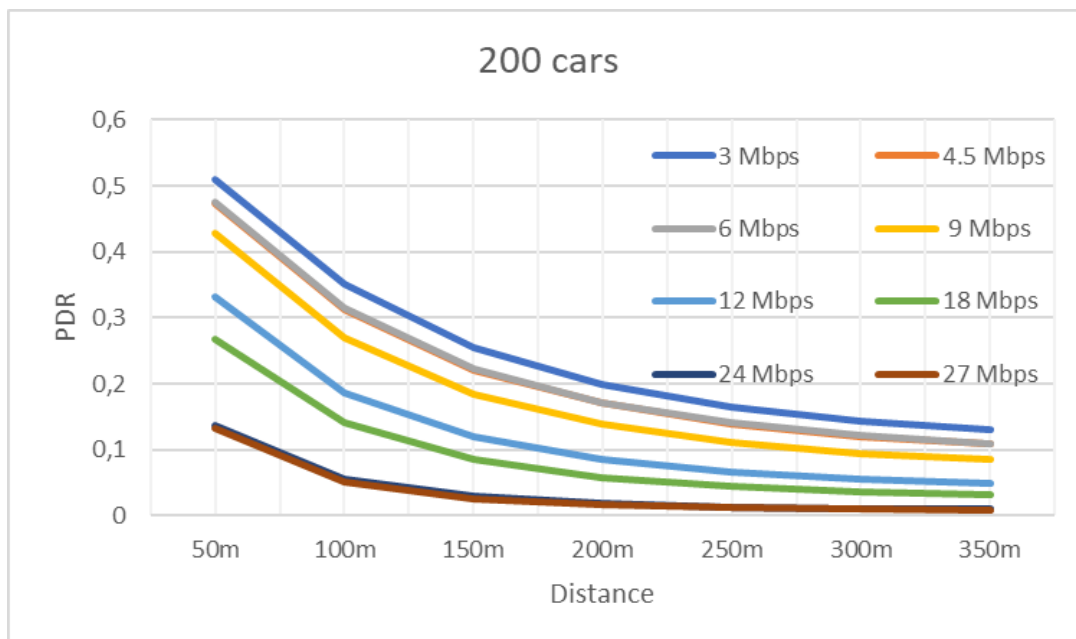
6.4.2.3 OLSR



Σχήμα 88 : Λόγος παράδοσης πακέτων σε σχέση με απόσταση για 50 οχήματα (OLSR)



Σχήμα 89 : Λόγος παράδοσης πακέτων σε σχέση με απόσταση για 100 οχήματα (OLSR)



Σχήμα 90 : Λόγος παράδοσης πακέτων σε σχέση με απόσταση για 200 οχήματα (OLSR)

6.4.2.4 Αριθμητικά αποτελέσματα λόγω παράδοσης πακέτων

Πίνακας 6 Αριθμητικά αποτελέσματα για κάθε πρωτόκολλο - 50 οχήματα

AODV							
	50m	100m	150m	200m	250m	300m	350m
3 Mbps	0,644333	0,525848	0,427303	0,357226	0,317034	0,286343	0,266119
4.5 Mbps	0,635541	0,502573	0,398613	0,331595	0,285778	0,254987	0,234728
6 Mbps	0,657011	0,526555	0,421771	0,352028	0,304055	0,270971	0,248621
9 Mbps	0,653674	0,508801	0,395651	0,322309	0,271638	0,237216	0,215135
12 Mbps	0,63101	0,459434	0,333	0,252949	0,202179	0,170691	0,152336
18 Mbps	0,62798	0,424632	0,27912	0,195326	0,149064	0,124044	0,110498
24 Mbps	0,514068	0,243936	0,131006	0,084141	0,062267	0,050993	0,044914
27 Mbps	0,504004	0,220507	0,114666	0,073508	0,054476	0,04479	0,039539

DSDV							
	50m	100m	150m	200m	250m	300m	350m
3 Mbps	0,641457	0,524462	0,427461	0,362102	0,317412	0,287055	0,26709
4.5 Mbps	0,623226	0,492517	0,389336	0,32242	0,276523	0,245604	0,225135
6 Mbps	0,643453	0,512506	0,408617	0,340805	0,294742	0,263332	0,242799
9 Mbps	0,633886	0,487015	0,377502	0,30718	0,259032	0,227188	0,206754
12 Mbps	0,621761	0,450464	0,324122	0,245491	0,195519	0,165854	0,148388
18 Mbps	0,638017	0,431177	0,283973	0,199222	0,151911	0,126011	0,111847
24 Mbps	0,514284	0,247905	0,132387	0,085046	0,063283	0,052376	0,046519
27 Mbps	0,500348	0,213111	0,109689	0,070407	0,052672	0,043684	0,038879

OLSR							
	50m	100m	150m	200m	250m	300m	350m
3 Mbps	0,646436	0,5312	0,433887	0,367711	0,321297	0,289852	0,26883
4.5 Mbps	0,636406	0,506491	0,403518	0,336326	0,290324	0,259351	0,238649
6 Mbps	0,648017	0,516056	0,411623	0,343681	0,297316	0,266475	0,246305
9 Mbps	0,642793	0,495302	0,38323	0,312136	0,263378	0,231487	0,210691
12 Mbps	0,623137	0,449866	0,324561	0,245289	0,195774	0,166407	0,148719
18 Mbps	0,628548	0,42372	0,279223	0,19613	0,149064	0,123623	0,109702
24 Mbps	0,525262	0,252012	0,136215	0,087559	0,065184	0,05398	0,047933

Mbps							
27							
Mbps	0,506914	0,229768	0,124294	0,081507	0,061414	0,051018	0,045417

Στο σημείο αυτό να αναφέρουμε ότι το πράσινο χρώμα σηματοδοτεί την καλύτερη επίδοση, το πορτοκαλί την μέση και το κόκκινο χρώμα την χειρότερη. Συνεπώς για τον πίνακα 6 των 50 οχημάτων υπερτερεί στις περισσότερες των περιπτώσεων το OLSR, αφού όχι μόνο κερδίζει πιο πολλές φορές αλλά και όταν δεν κερδίζει έχει μία μέση επίδοση. Ελάχιστες είναι οι φορές όπου βρίσκεται πίσω και από τα άλλα 2 πρωτόκολλα. Ακολουθεί το AODV το οποίο και αυτό πετυχαίνει σχετικά καλές αποδόσεις και κάποιες μέτριες. Στην τελευταία θέση βρίσκεται το DSDV το οποίο ως επί το πλείστον έχει την χειρότερη επίδοση. Οι αποκλίσεις των πρωτοκόλλων στα 3 και στα 27 Mbps για 50 μέτρα και για 350 είναι 14% και 22.5% αντίστοιχα. Παρόλα αυτά οι αποδόσεις δεν εμφανίζουν μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ τους.

Πίνακας 7 Αριθμητικά αποτελέσματα για κάθε πρωτόκολλο - 100 οχήματα

AODV							
	50m	100m	150m	200m	250m	300m	350m
3 Mbps	0,565845	0,430856	0,330329	0,268166	0,227772	0,201375	0,184671
4.5 Mbps	0,555112	0,405204	0,302877	0,241285	0,201779	0,176299	0,160369
6 Mbps	0,564541	0,414191	0,31243	0,250577	0,21063	0,184877	0,168814
9 Mbps	0,538674	0,377429	0,275504	0,215409	0,177531	0,153508	0,138847
12 Mbps	0,50386	0,328403	0,224796	0,165958	0,130778	0,109951	0,098082
18 Mbps	0,469371	0,286311	0,182318	0,126436	0,096045	0,079548	0,070601
24 Mbps	0,31543	0,139724	0,073329	0,0469	0,034757	0,028593	0,02533
27 Mbps	0,306822	0,125838	0,064816	0,041416	0,030787	0,025355	0,02248

DSDV							
	50m	100m	150m	200m	250m	300m	350m
3 Mbps	0,577276	0,436305	0,336383	0,274495	0,234271	0,207991	0,191613
4.5 Mbps	0,54649	0,394797	0,294809	0,235636	0,197699	0,173506	0,158436
6 Mbps	0,554487	0,403771	0,30278	0,242278	0,203804	0,178841	0,163254
9 Mbps	0,519012	0,358917	0,259246	0,20154	0,165114	0,142262	0,128435
12 Mbps	0,458857	0,289072	0,194596	0,142305	0,111591	0,09359	0,083347
18 Mbps	0,42855	0,253934	0,15927	0,109944	0,083349	0,068877	0,061097
24 Mbps	0,304386	0,133369	0,070417	0,045189	0,033571	0,027617	0,024456
27 Mbps	0,30203	0,122313	0,062646	0,04006	0,029787	0,024535	0,021711

OLSR							
	50m	100m	150m	200m	250m	300m	350m
3 Mbps	0,586184	0,445943	0,345168	0,282536	0,241315	0,214238	0,197123
4.5 Mbps	0,557155	0,406546	0,304658	0,24383	0,204407	0,179172	0,163412
6 Mbps	0,557455	0,406237	0,304772	0,24435	0,205727	0,180841	0,165453
9 Mbps	0,527589	0,366227	0,265772	0,207077	0,17025	0,146929	0,13265
12 Mbps	0,460941	0,291003	0,196372	0,144074	0,113159	0,095192	0,085102
18 Mbps	0,434915	0,258128	0,162628	0,112079	0,084802	0,07001	0,061802
24 Mbps	0,307364	0,13558	0,07169	0,045951	0,034167	0,028176	0,02497

Mbps							
27							
Mbps	0,302583	0,122362	0,062963	0,040347	0,030123	0,024905	0,022137

Με την αύξηση των οχημάτων από 50 στα 100 οχήματα παρατηρούμε μία μείωση στο λόγο παράδοσης των πακέτων της τάξης του 8 με 10 %. Κάνουμε πάλι την σύγκριση για τα 3 και 27Mbps στα 50 και στα 350 μέτρα. Παρόλο που έχουμε αρχική μείωση στα ποσοστά μόνο με την αύξηση των οχημάτων αυξάνονται και οι αποκλείσεις των ποσοστών. Δηλαδή για τα 50 μέτρα η απόδοση στα 3 Mbps έχει απόκλιση 27% ,κατά μέσο όρο, σε σχέση με τα 27 Mbps. Αντίστοιχα στα 350 μέτρα το δίκτυο αρχίζει να εμφανίζει αρκετές απώλειες σε σημείο που δεν μπορούμε να εγγυηθούμε για την ποιότητα της επικοινωνίας. Συγκεκριμένα έχουμε στα 19% , δηλαδή 1 στα 5 πακέτα επιτυχούς παράδοσης, με απόκλιση 17% σε σχέση με τα 27 Mbps.

Πίνακας 8 Αριθμητικά αποτελέσματα για κάθε πρωτόκολλο - 200 οχήματα

AODV							
	50m	100m	150m	200m	250m	300m	350m
3 Mbps	0,456578	0,309523	0,220528	0,170355	0,14038	0,122237	0,111452
4.5 Mbps	0,434589	0,283702	0,196889	0,149315	0,121356	0,104495	0,094468
6 Mbps	0,448483	0,298042	0,210163	0,161128	0,131917	0,11404	0,103336
9 Mbps	0,423339	0,268376	0,184469	0,138889	0,112003	0,09586	0,086298
12 Mbps	0,376207	0,219983	0,142462	0,102076	0,07932	0,066318	0,059029
18 Mbps	0,325037	0,179048	0,109647	0,074997	0,05673	0,04693	0,041624
24 Mbps	0,209915	0,090251	0,047547	0,030541	0,022767	0,018823	0,016737
27 Mbps	0,199553	0,079463	0,040633	0,025966	0,019317	0,01593	0,014129

DSDV							
	50m	100m	150m	200m	250m	300m	350m
3 Mbps	0,477497	0,321904	0,231179	0,179994	0,149153	0,130271	0,118807
4.5 Mbps	0,44067	0,287265	0,201407	0,154189	0,126078	0,108827	0,098432
6 Mbps	0,445647	0,291171	0,204816	0,157145	0,128742	0,111457	0,101075
9 Mbps	0,402959	0,249345	0,169853	0,127104	0,102097	0,087091	0,078304
12 Mbps	0,330134	0,187899	0,121216	0,086978	0,067862	0,057008	0,05087
18 Mbps	0,258527	0,134537	0,080738	0,054825	0,041407	0,034251	0,030404
24 Mbps	0,171361	0,076413	0,043365	0,02942	0,022523	0,018809	0,016752
27 Mbps	0,14549	0,055379	0,028222	0,018032	0,013416	0,011069	0,009815

OLSR							
	50m	100m	150m	200m	250m	300m	350m
3 Mbps	0,509504	0,350207	0,253726	0,198607	0,165011	0,144143	0,131452
4.5 Mbps	0,472396	0,312582	0,221173	0,170212	0,139584	0,120857	0,109563
6 Mbps	0,47522	0,315524	0,223463	0,172008	0,14088	0,121636	0,109968
9 Mbps	0,428163	0,269496	0,184558	0,138438	0,111151	0,094581	0,084781
12 Mbps	0,33085	0,187168	0,119919	0,085412	0,066233	0,055348	0,049289
18 Mbps	0,267504	0,142151	0,086161	0,058721	0,044386	0,036729	0,032597
24 Mbps	0,136044	0,055536	0,028971	0,018562	0,013809	0,011389	0,010101

Mbps							
27							
Mbps	0,132822	0,051072	0,025986	0,016576	0,012322	0,010148	0,008981

Παρατηρούμε ότι με την αύξηση οχημάτων από 100 στα 200 , και για τα 3 πρωτόκολλα στους χαμηλούς ρυθμούς η μείωση στο λόγο παράδοσης πακέτων είναι στο 10% κατά μέσο όρο. Στους υψηλούς ρυθμούς η μείωση της απόδοσης στα 50 μέτρα έχει ως εξής: AODV 10.7% , DSDV 15.7% , OLSR 17.2%. Συνεπώς βλέπουμε μία πιο σταθερή εικόνα για το AODV στα 27Mbps για 200 οχήματα σε σχέση με τα άλλα 2. Παρατηρούμε ότι το OLSR αποδίδει καλύτερα ανεξαρτήτως αριθμού οχημάτων σε χαμηλούς ρυθμούς , ενώ καθώς αυτοί αυξάνονται ο λόγος παράδοσης των πακέτων μειώνεται αρκετά περισσότερο σε σχέση με το AODV και το DSDV.

Λογικό και αναμενόμενο τα ποσοστά παράδοσης των πακέτων να μειώνονται καθώς αυξάνεται η απόσταση του αποστολέα και του παραλήπτη , αφού μιλάμε για αστικό περιβάλλον όπου μεσολαβούν ενδιάμεσα κτίσματα. Το φαινόμενο αυτό είναι η λεγόμενη σκέδαση. Αυτό είναι εμφανές σε όλους τους πίνακες και για όλα τα πρωτόκολλα. Επίσης παρατηρούμε εμφανή μείωση και με την αύξηση των οχημάτων και δικαιολογείται αφού αυξάνεται το μέγεθος των δεδομένων που πρέπει να επεξεργαστεί ο συναθροιστής. Από την στιγμή όμως που η παραλαβή των πακέτων γίνεται σειριακά και όχι παράλληλα ο συναθροιστής αλλά και τα ίδια τα οχήματα χάνουν πακέτα διότι δεν χωράνε στην στοίβα τους. Από τα αριθμητικά αποτελέσματα (Πίνακας 6 – Πίνακας 8) καθώς και τα διαγράμματα (Σχήμα 81 - Σχήμα 89) μπορούμε να διακρίνουμε χοντρικά 2 ζώνες. Αυτές είναι από 3 μέχρι 18 Mbps και από 24 Mbps μέχρι 27Mbps. Μία απάντηση στο γιατί μπορεί να συμβαίνει αυτό είναι η ισχύς εκπομπής της κεραίας την οποία έχουμε θέσει σταθερά στα 20dBm. Όπως φαίνεται και στον πίνακα 3 κάθε ρυθμός μετάδοσης έχει και ένα κατώφλι SINR για την φερεγγυότητα της επικοινωνίας [40]. Για ρυθμούς που απαιτούν αρκετά μεγαλύτερη ισχύ εκπομπής , δηλαδή για 24 και 27 Mbps βλέπουμε ότι οι λόγοι παράδοσης των πακέτων έχουν μεγάλοι διαφορά σε σχέση με τους υπόλοιπους ρυθμούς. Άρα καταλαβαίνουμε ότι για πετυχαίναμε καλύτερα αποτελέσματα στους υψηλούς ρυθμούς απαιτείται μεγαλύτερη ισχύ εκπομπής της κεραίας.

7

Συμπεράσματα

7.1 Ωφέλιμο φορτίο (Throughput)

Goodput - Data Rate 3 Mbps									
Num. of Nodes	50			100			200		
Interval \ Packets Size	64	1024	2048	64	1024	2048	64	1024	2048
0.1s	DSDV	OLSR	DSDV	DSDV	DSDV	DSDV	OLSR	DSDV	AODV
0.2s	DSDV	DSDV	DSDV	DSDV	DSDV	DSDV	DSDV	DSDV	DSDV
0.3s	DSDV	DSDV	DSDV	DSDV	DSDV	DSDV	DSDV	DSDV	DSDV
Total	DSDV : 88,8%	AODV : 3,7%	OLSR : 7,5%	DSDV					

Σχήμα 91 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 3Mbps

Goodput - Data Rate 4.5 Mbps									
Num. of Nodes	50			100			200		
Interval \ Packets Size	64	1024	2048	64	1024	2048	64	1024	2048
0.1s	DSDV	DSDV	DSDV	DSDV	DSDV	DSDV	DSDV	DSDV	OLSR
0.2s	DSDV	OLSR	DSDV	DSDV	DSDV	DSDV	OLSR	DSDV	OLSR
0.3s	DSDV	AODV	DSDV	DSDV	OLSR	DSDV	DSDV	DSDV	OLSR
Total	DSDV : 74.08%	AODV : 3,7%	OLSR : 22.22%	DSDV					

Σχήμα 92: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 4.5Mbps

Goodput - Data Rate 6 Mbps									
Num. of Nodes	50			100			200		
Interval \ Packets Size	64	1024	2048	64	1024	2048	64	1024	2048
0.1s	DSDV	OLSR	DSDV	OLSR	DSDV	DSDV	OLSR	DSDV	OLSR
0.2s	OLSR	OLSR	DSDV	OLSR	DSDV	OLSR	DSDV	DSDV	DSDV
0.3s	DSDV	DSDV	OLSR	AODV	OLSR	OLSR	DSDV	DSDV	DSDV
Total	DSDV : 55.6%	AODV : 3.7%	OLSR : 40.7%	DSDV					

Σχήμα 93: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 6Mbps

Στα συμπεράσματα λοιπόν για το κριτήριο του ωφέλιμου φορτίου εξετάζουμε πρώτα για DSSS ρυθμούς 3 , 4.5 και 6 Mbps. Για 3Mbps το **DSDV** παίρνει την πρωτιά χωρίς ανταγωνισμό υπερβαίνοντας τους ρυθμούς των άλλων πρωτοκόλλων 24 από τις 27 περιπτώσεις , δηλαδή ποσοστό **88.8%** όταν το **AODV** έχει μόνο **3.7%** και το **OLSR** **7.5%**. Στα 4.5Mbps η κυριαρχία του **DSDV** συνεχίζει με ποσοστό **74.08% (21/27 περιπτώσεις)** , ενώ παρατηρείται και μία **μικρή αύξηση** του **OLSR** στο **22.2%**. Η διαφορά αυτή οφείλεται στις 3 περιπτώσεις όπου το **OLSR** έχει ένα **πλεονέκτημα** , σύμφωνα με αυτά που έχουμε δει από τα αποτελέσματα έως τώρα, στις **περιπτώσεις 200 οχημάτων και μέγεθος πακέτου 2048**. Εν συνεχεία το AODV παραμένει στην ίδια θέση με το ίδιο ακριβώς ποσοστό επικράτησης επί των υπολοίπων. Το **OLSR** κερδίζει περισσότερο έδαφος και φτάνει στο **40.7%**, ενώ το **DSDV** **πέφτει στο 55.6%**.

Goodput (kbps) - Data Rate 3-6 Mbps			
Protocol \ N. of Vehicles	50	100	200
AODV	950.45	448.17	189.7
DSDV	1239.87	973.8	702.62
OLSR	1025.72	872.94	538.17

Σχήμα 94 : Σύμπτυξη αποτελεσμάτων σχημάτων 91 – 93

Στο σχήμα 94 βλέπουμε ως μέση μέγιστη απόδοση για ρυθμούς από 3 έως 6 Mbps αυτή του DSDV για 50 οχήματα. Συνεπώς θα την χρησιμοποιήσουμε ως σημείο αναφοράς για αυτόν τον σχολιασμό. Οι αποδόσεις του **AODV σε σχέση με το DSDV** για 50 οχήματα και του **OLSR με το DSDV** είναι **23.3%** και **17.3%** αντίστοιχα. Αυξάνοντας των αριθμό των οχημάτων σε 100 το DSDV παρουσιάζει πάλι τους υψηλότερους ρυθμούς όπως και στην περίπτωση των 200. Στα 100 το **OLSR** βρίσκεται **10.4% κάτω από τον πρωτοπόρο** και το **AODV 54%**. Τέλος στα 200 οχήματα η διαφορά του DSDV και του AODV αυξάνεται ακόμη περισσότερο στο 73% και αυτού με το OLSR στο 23%.

Goodput - Data Rate 9 Mbps									
Num. of Nodes	50			100			200		
Interval \ Packets Size	64	1024	2048	64	1024	2048	64	1024	2048
0.1s	DSDV	DSDV	AODV	OLSR	DSDV	DSDV	DSDV	DSDV	DSDV
0.2s	DSDV	OLSR	DSDV	DSDV	OLSR	DSDV	DSDV	DSDV	DSDV
0.3s	DSDV	DSDV	DSDV	OLSR	DSDV	DSDV	DSDV	DSDV	DSDV
Total	DSDV : 81.5%	AODV : 3.7%	OLSR : 14.8%	DSDV					

Σχήμα 95 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 9Mbps

Goodput - Data Rate 12 Mbps									
Num. of Nodes	50			100			200		
Interval \ Packets Size	64	1024	2048	64	1024	2048	64	1024	2048
0.1s	DSDV	OLSR	OLSR	DSDV	DSDV	OLSR	DSDV	OLSR	AODV
0.2s	DSDV	OLSR	AODV	DSDV	OLSR	OLSR	OLSR	DSDV	OLSR
0.3s	DSDV	AODV	DSDV	DSDV	OLSR	DSDV	DSDV	OLSR	OLSR
Total	DSDV : 44.4%	AODV : 11.2%	OLSR : 44.4%	DSDV - OLSR					

Σχήμα 96 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 12Mbps

Goodput - Data Rate 18 Mbps									
Num. of Nodes	50			100			200		
Interval \ Packets Size	64	1024	2048	64	1024	2048	64	1024	2048
0.1s	AODV	OLSR	DSDV	OLSR	OLSR	DSDV	OLSR	OLSR	OLSR
0.2s	AODV	OLSR	OLSR	OLSR	DSDV	OLSR	DSDV	OLSR	OLSR
0.3s	AODV	OLSR	AODV	OLSR	AODV	AODV	OLSR	DSDV	AODV
Total	DSDV : 18.5%	AODV : 25.9%	OLSR : 55.6%	OLSR					

Σχήμα 97 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 18Mbps

Σε έναν μέσο ρυθμό μετάδοσης όπως είναι τα 9Mbps , σε σχέση πάντα με τον μέγιστο ρυθμό που υποστηρίζει το πρότυπο 802.11p , το DSDV ξεπερνάει πάλι το OLSR που στα 6Mbps υπερτερούσε , με ποσοστό 81.5% (22 στις 27 περιπτώσεις) , με το OLSR και το AODV να βρίσκονται νικητές 4 και 1 από τις 27 περιπτώσεις αντίστοιχα. Με την αύξηση όμως στα 12 Mbps το OLSR ισοφαρίζει την απόδοση του DSDV στο 44.4% και το AODV παίρνει το υπόλοιπο κομμάτι της πίτας με 3 στις 27 περιπτώσεις επικράτειας. Τέλος η αύξηση στα 18Mbps δείχνει την **αδυναμία του DSDV** να ανταπεξέλθει στην **επεκτασιμότητα** του δικτύου. Σ αυτήν την περίπτωση το DSDV φτάνει στην 3^η θέση. Το AODV δείχνει μία υπεροχή για μικρό αριθμό αυτοκινήτων και μέγεθος πακέτου 64 δυφιοσύλλαβα , ενώ το OLSR κερδίζει περισσότερες από τις μισές μονομαχίες, με 4/9 , 5/9 και 6/9 για 50, 100 και 200 οχήματα.

Goodput (kbps) - Data Rate 9-18 Mbps			
Protocol \ N. of Vehicles	50	100	200
AODV	732.75	427.96	155.86
DSDV	1012.96	1012.39	460.33
OLSR	885.17	816.23	641.98

Σχήμα 98 : Σύμπτυξη αποτελεσμάτων σχημάτων 95 – 97

Το DSDV πιάνει μέσο ρυθμό μετάδοσης ωφέλιμου φορτίου 1.01Mbps , **27.7% περισσότερο** από το AODV και **12.6%** από το OLSR. Στα 100 οχήματα αυξάνεται κατά πολύ η διαφορά του με το AODV στα **57.7%** ενώ το OLSR βρίσκεται **19.4% πίσω** από την απόδοση του πρωτοπόρου. Στα 100 οχήματα όπου είναι η **αδυναμία του DSDV** , βλέπουμε την **υπερίσχυση του OLSR**. Με 642kb/s το OLSR ξεπερνάει κατά **28.3%** το DSDV. Το AODV στα 200 οχήματα πιάνει ρυθμό ροής μετάδοσης μόλις 156kb και βρίσκεται κατά **75.7% πίσω από το OLSR** , δηλαδή **4 φορές πιο αργό**.

Goodput - Data Rate 24 Mbps									
Num. of Nodes	50			100			200		
Interval \ Packets Size	64	1024	2048	64	1024	2048	64	1024	2048
0.1s	OLSR	OLSR	DSDV	DSDV	AODV	AODV	OLSR	OLSR	DSDV
0.2s	DSDV	AODV	AODV	AODV	AODV	DSDV	OLSR	DSDV	OLSR
0.3s	DSDV	AODV	AODV	AODV	AODV	OLSR	OLSR	OLSR	DSDV
Total	DSDV : 29.6%	AODV : 37%	OLSR : 33.4%	AODV					

Σχήμα 99 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 24Mbps

Goodput - Data Rate 27 Mbps									
Num. of Nodes	50			100			200		
Interval \ Packets Size	64	1024	2048	64	1024	2048	64	1024	2048
0.1s	OLSR	DSDV	OLSR	DSDV	AODV	AODV	OLSR	AODV	OLSR
0.2s	AODV	OLSR	OLSR	OLSR	OLSR	DSDV	OLSR	DSDV	AODV
0.3s	AODV	OLSR	-	AODV	OLSR	OLSR	AODV	OLSR	OLSR
Total	DSDV : 14.8%	AODV : 29.6%	OLSR : 55.6%	OLSR					

Σχήμα 100 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 27Mbps

Στους μεγάλους ρυθμούς , που φτάνουν στα όρια υποστήριξης του προτύπου, έχουμε οριακή **επικράτηση** του **AODV με 37%** (10/27 περιπτώσεις) , το **OLSR με 33.4%** και μία περίπτωση νίκης λιγότερη , ενώ το **DSDV 29.6%** και 8/27 περιπτώσεις. Δεν μπορούμε να πούμε κάτι με ασφάλεια εξετάζοντας μόνο με το κριτήριο του αριθμού υπεροχής κάθε πρωτοκόλλου για τις 27 περιπτώσεις. Παρόλα αυτά τα πράγματα

γίνονται πιο εμφανή στα DSSS 27Mbps. Το **OLSR πορεύεται πρώτο** στις 14 από τις 27 περιπτώσεις , το DSDV μόλις 4 και το AODV 7 από τις 27.

Goodput (kbps) - Data Rate 24-27 Mbps			
Protocol \ N. of Vehicles	50	100	200
AODV	442.17	174	24.3
DSDV	151.68	133.07	105.03
OLSR	132.85	129.39	204.94

Σχήμα 101 : Σύμπτυξη αποτελεσμάτων σχημάτων 99 & 100

Παρατηρούμε για τις 18 περιπτώσεις των 50 οχημάτων ότι το AODV κυριαρχεί σε μόλις 6 από αυτές ενώ το OLSR στις 7 από τις 18 και το DSDV σε μόλις 4. Παρόλα αυτά το **AODV** έχει μία πολύ καλύτερη απόδοση σε σχέση με τα υπόλοιπα , αφού σκεφτείτε ότι με λιγότερες περιπτώσεις επικράτειας έχει **περίπου 3 φορές καλύτερη απόδοση από το DSDV** και το **OLSR**. Συγκεκριμένα σε **μικρής κλίμακας δίκτυο** είναι **2.9 φορές πιο αποδοτικό** από το **DSDV** και **3.3 φορές** από το **OLSR**. Επιπρόσθετα η **απόδοση** του **μειώνεται** με την **αύξηση** των **οχημάτων**. **23.5%** βρίσκεται **μπροστά** στο **AODV** από το **DSDV** και **25.6%** από το **OLSR**. Εν κατακλείδι όμως το συμπέρασμα μας για την **καταλληλότητα** του **OLSR** σε **μεγάλα δίκτυα** αποδεικνύεται για άλλη μια φορά. Το **AODV** είναι **8.4 φορές πιο αργό** από το **OLSR** ,ενώ το **DSDV** είναι περίπου **50%**.

7.2 Λόγος παράδοσης πακέτων

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων , και πάντα λόγω της δυναμικότητας του περιβάλλοντος που προσομοιώνουμε , ξέρουμε ότι δεν μπορούμε να εστιάσουμε σε αποτελέσματα μεμονωμένα. Όπως κάναμε λοιπόν στην [Ενότητα 6.4.2](#) με τους υπολογισμούς μέσω των ρυθμών κατηγοριοποιώντας του σε χαμηλούς , μεσαίους και υψηλούς έτσι και τώρα πάνω σε αυτά τα αποτελέσματα αψηφήσαμε έμμεσα τις παραμέτρους διάστημα και μέγεθος πακέτου. Αυτό το κάναμε ώστε να δούμε πως επηρεάζεται η αποδοτικότητα του δικτύου από τον αριθμό των οχημάτων και το μέγεθος του ρυθμού ροής των δεδομένων. Ουσιαστικά δεν βγήκε εκτός η επιρροή των παραμέτρων του διαστήματος και του μεγέθους των πακέτων , αλλά περιλαμβάνεται στα πρώτα μέσα αποτελέσματα.

Packet Delivery Ratio - 3Mbps									
Num. of Nodes	50			100			200		
Interval \ Packet Size	64	1024	2048	64	1024	2048	64	1024	2048
0.1s	OLSR	DSDV	OLSR	OLSR	OLSR	OLSR	OLSR	OLSR	OLSR
0.2s	OLSR	OLSR	OLSR	OLSR	DSDV	OLSR	OLSR	OLSR	OLSR
0.3s	OLSR	AODV	AODV	OLSR	OLSR	OLSR	OLSR	OLSR	OLSR
Total	DSDV : 7.5%	AODV : 7.5%	OLSR : 85%	OLSR					

Σχήμα 102 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 3Mbps

Packet Delivery Ratio - 4.5 Mbps									
Num. of Nodes	50			100			200		
Interval \ Packet Size	64	1024	2048	64	1024	2048	64	1024	2048
0.1s	AODV	OLSR	AODV	OLSR	OLSR	OLSR	OLSR	OLSR	OLSR
0.2s	OLSR	DSDV	AODV	AODV	AODV	OLSR	OLSR	OLSR	OLSR
0.3s	OLSR	OLSR	OLSR	AODV	OLSR	OLSR	OLSR	OLSR	OLSR
Total	DSDV : 3.7%	AODV : 22.3%	OLSR : 74%	OLSR					

Σχήμα 103 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 4.5Mbps

Packet Delivery Ratio - 6 Mbps									
Num. of Nodes	50						200		
Interval \ Packet Size	64	1024	2048	64	1024	2048	64	1024	2048
0.1s	OLSR	DSDV	AODV	AODV	AODV	AODV	OLSR	OLSR	OLSR
0.2s	AODV	AODV	AODV	AODV	AODV	AODV	OLSR	OLSR	OLSR
0.3s	AODV	OLSR	AODV	OLSR	AODV	AODV	OLSR	OLSR	OLSR
Total	DSDV : 3.7%	AODV : 51.8%	OLSR : 44.5%	AODV					

Σχήμα 104 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 6Mbps

Σχολιάζοντας τα πρώτα συγκεντρωτικά αποτελέσματα βλέπουμε ότι για DSSS ρυθμό 3Mbps το **OLSR** κερδίζει στο **85%** των περιπτώσεων. Στα 4.5Mbps **συνεχίζει** την **υπεροχή** με ποσοστό 74% , αλλά αρχίζουμε να βλέπουμε μία **αύξηση** στην **απόδοση** το **AODV** στο **22.3%** στις **περιπτώσεις 50 οχημάτων** και μέγεθος **πακέτου 2048** και **100 οχημάτων** και μέγεθος **πακέτου 64**. Τελικά στα 6 Mbps , βλέπουμε πως η αύξηση οδήγησε στην **προσπέραση** του **AODV** στην 1^η θέση με ποσοστό **51.8%** όταν το **OLSR** βρίσκεται στο **44.5%**. Παρόλα αυτά συνολικά στις 3 περιπτώσεις το **OLSR** **πετυχαίνει μεγαλύτερα ποσοστά επιτυχίας**.

Packet Delivery Ratio 3-6Mbps			
Protocol \ N. of Vehicles	50	100	200
OLSR	64%	56.70%	48.50%
AODV	64.60%	56.20%	44.70%
DSDV	63.60%	56%	45.50%

Σχήμα 105 : Σύμπτυξη αποτελεσμάτων σχημάτων 102 - 104

Παρατηρούμε λοιπόν στο σχήμα 105 ότι στους χαμηλούς ρυθμούς 3-6Mbps και αριθμό οχημάτων 50 το **AODV** **υπερισχύει** κατά **0.6%** από το **OLSR** και **1%** από το **DSDV**. Όμως με την **αύξηση** των **οχημάτων** **δεν διατηρείτε** αυτή η **διαφορά** και τα **ηνία** παίρνει το **OLSR**. Συγκεκριμένα για **100 οχήματα** πάνει το ποσοστό **56.7%** , **0.5%** **πάνω** από το **AODV** και **0.7%** από το **DSDV**. Για 200 οχήματα η διαφορά του **OLSR** από το **AODV** ανοίγει λίγο ακόμη στα **0.8%** και ακόμη περισσότερο από το **DSDV** στο **3%**

Σχήμα 106 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 9Mbps

Packet Delivery Ratio - 12 Mbps									
Num. of Nodes	50						200		
Interval \ Packet Size	64	1024	2048	64	1024	2048	64	1024	2048
0.1s	AODV	AODV	AODV	OLSR	AODV	AODV	AODV	AODV	AODV
0.2s	AODV	DSDV	DSDV	AODV	AODV	AODV	AODV	AODV	DSDV
0.3s	AODV	AODV	AODV	AODV	AODV	AODV	AODV	AODV	AODV
Total	DSDV : 11.1%	AODV : 85.2%	OLSR : 3.7%	AODV					
Total	DSDV : 7.5%	AODV : 77.7%	OLSR : 14.8%	AODV					

Σχήμα 107 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 12Mbps

Packet Delivery Ratio - 18 Mbps									
Num. of Nodes	50						200		
Interval \ Packet Size	64	1024	2048	64	1024	2048	64	1024	2048
0.1s	OLSR	DSDV	AODV	AODV	AODV	AODV	AODV	AODV	AODV
0.2s	DSDV	DSDV	DSDV	AODV	AODV	AODV	AODV	AODV	AODV
0.3s	OLSR	DSDV	OLSR	AODV	AODV	AODV	AODV	AODV	AODV
Total	DSDV : 18.5%	AODV : 70.4%	OLSR : 11.1%	AODV					

Σχήμα 108 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 18Mbps

Στο DSSS 9Mbps το **AODV** κυριαρχεί στις **21** από τις **27** περιπτώσεις , δηλαδή ποσοστό **77.7%** , ενώ το **OLSR** έχει **14.5%** και το **DSDV** βρίσκεται στα **μισά** αυτού. Παρατηρούμε κάτι σημαντικό που συσχετίζεται με το προηγούμενο κομμάτι συμπερασμάτων που αναφέραμε πριν λίγο. Οι 3 από τις 4 περιπτώσεις που το **OLSR** υπερτερεί του **AODV** είναι με **διάστημα 0.3 δευτερολέπτων** , **μέγεθος πακέτου 1024 και 2048** και αριθμό οχημάτων **100 και 200**.

Packet Delivery Ratio 9-18Mbps			
Protocol \ N. of Vehicles	50	100	200
OLSR	63.10%	47.40%	34.20%
AODV	63.80%	50.50%	37.40%
DSDV	63.10%	46.90%	33.10%

Σχήμα 109 : Σύμπτυξη αποτελεσμάτων σχημάτων 106 – 108

Πηγαίνουμε στο επόμενο βήμα κλιμάκωσης του ρυθμού δεδομένων στα 9-18Mbps. Εδώ πέρα τα πράγματα αλλάζουν. Το **AODV** **κυριαρχεί** σε όλα τα μήκη και πλάτη. Η διαφορά απόδοσης από πλευράς αναλογίας παράδοσης πακέτων για 50 οχήματα είναι **0.7%** από το **AODV** και για τα 2 άλλα πρωτόκολλα. Στα **100** οχήματα έχει **υπεροχή 3.1%** από το **OLSR** και **3.6%** από το **AODV** , ενώ για τα **200** από **3.1%** διαφορά με το **OLSR** πάει στα **3.2%** και από **3.6%** με το **DSDV** πάει στα **4.3%**.

Packet Delivery Ratio - 24 Mbps									
Num. of Nodes	50			100			200		
Interval \ Packet Size	64	1024	2048	64	1024	2048	64	1024	2048
0.1s	OLSR	DSDV	OLSR	AODV	AODV	OLSR	AODV	AODV	AODV
0.2s	AODV	AODV	OLSR	AODV	AODV	OLSR	AODV	AODV	DSDV
0.3s	AODV	OLSR	OLSR	AODV	AODV	AODV	AODV	AODV	AODV
Total	DSDV : 7.5%	AODV : 66.6	OLSR : 25.9%	AODV					

Σχήμα 110 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 24Mbps

Packet Delivery Ratio - 27 Mbps									
Num. of Nodes	50			100			200		
Interval \ Packet Size	64	1024	2048	64	1024	2048	64	1024	2048
0.1s	AODV	AODV	AODV	AODV	DSDV	AODV	AODV	AODV	AODV
0.2s	DSDV	AODV	OLSR	AODV	AODV	AODV	AODV	AODV	AODV
0.3s	OLSR	AODV	AODV	AODV	AODV	OLSR	AODV	AODV	AODV
Total	DSDV : 7.5%	AODV : 81.4%	OLSR : 11.1%	AODV					

Σχήμα 111 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πρωτοκόλλων για ρυθμό δεδομένων 27Mbps

Στις 2 παραπάνω φωτογραφίες , για **υψηλούς ρυθμούς 24 και 27Mbps** **νικητής** είναι το **AODV** με ποσοστά **66.6%** και **81.4%** αντίστοιχα όταν το **OLSR** έχει **25.9%** και **11.1%**. Το **DSDV** υπερिσχύει μόνο στις 4 από τις 54 περιπτώσεις , με ποσοστά **7.5%** και στους 2 ρυθμούς. Μία ακόμη παρατήρηση που κάνουμε στο σημείο αυτό είναι ότι **7** από τις **10** φορές που **κερδίζει** το **OLSR** είναι με **μέγεθος πακέτου 2048**.

Packet Delivery Ratio 24-27Mbps			
Protocol \ N. of Vehicles	50	100	200
OLSR	51.60%	30.50%	18.10%
AODV	55.50%	38.10%	26.50%
DSDV	54.90%	35.90%	21.60%

Σχήμα 112 : Σύμπτυξη αποτελεσμάτων σχημάτων 110 & 111

Τέλος φτάνουμε στους υψηλούς ρυθμούς όπου εδώ πέρα οι διαφορές είναι μεγάλες και αισθητές. Πρώτο και στους 3 αριθμούς οχημάτων το **AODV** κερδίζει. Στα **50** οχήματα έχει ποσοστό **επιτυχούς** παράδοσης **55.5%** , όταν το **OLSR** έχει **51.6%** και το **DSDV** έχει **54.9%**. Δηλαδή **διαφορά 3.9%** από το **OLSR**, και **0.6%** από το **DSDV**. Στα 100 μέτρα η **διαφορά** του από το **OLSR** είναι στα **7.6%** και **2.2%** από το **DSDV**. Στον μεγαλύτερο αριθμό οχημάτων που προσομοιώσαμε το **AODV** έπιασε **26.5%** με **διαφορά 7.6%** από το **OLSR** και **4.9%** από το **DSDV**.

7.3 Τελικές αποτιμήσεις

- Ωφέλιμο φορτίο
 - DSDV είναι το ιδανικότερο για μικρούς ρυθμούς μετάδοσης, άσχετα με τον αριθμό οχημάτων και εξίσου καλό με το OLSR στους μεσαίους ρυθμούς.
 - OLSR, είναι αποδοτικό σε δίκτυα με μεγάλους ρυθμούς μετάδοσης και αριθμό οχημάτων 100 και άνω.
 - AODV, δεν προτιμάται σε χαμηλούς και μεσαίους ρυθμούς μετάδοσης.
- Αναλογία παράδοσης πακέτων
 - Για μικρούς ρυθμούς ροής δεδομένων κυριαρχεί το OLSR με μέγιστη απόδοση σε δίκτυα με μεγάλο αριθμό κόμβων , ενώ λιγότερους κόμβους υπάρχει αμελητέα διαφορά.
 - AODV κυριαρχεί στους μεσαίους και μεγάλους ρυθμούς. Λειτουργεί αποδοτικότερα για 100 ή και περισσότερα οχήματα, σε αντίθεση με το OLSR του η απόδοση είναι αντιστρόφως ανάλογη του ρυθμού μετάδοσης.
 - DSDV μπορεί να μην υπερισχύει του AODV, αλλά είναι ένας άξιος ανταγωνιστής του στους μεγάλους ρυθμούς μετάδοσης.

7.4 Περαιτέρω μελέτη

Σε αυτό το κομμάτι της εργασίας συζητάμε για τις μελλοντικές εξελίξεις και προοπτικές που μπορεί να παράγει το έργο μας , πέρα από την ανάλυση και την έρευνα που έχουμε κάνει ήδη. Οι τεχνικές και τα μέσα που έχουμε χρησιμοποιήσει είναι δεδομένα τα οποία εξελίσσονται χρόνο με χρόνο , πράγμα που

σημαίνει πως με την χρήση πιο καινούριας και εξελιγμένης τεχνολογίας τα αποτελέσματα θα γίνονται ολοένα και καλύτερα. Πέρα όμως από την λογική εξέλιξη των μέσων, η εργασία μας θα μπορούσε να εμβαθύνει περισσότερο σε ορισμένα κομμάτια όπως και να προστεθούν επιπλέον εργαλεία τα οποία θα έκαναν τα συστήματά μας πιο αποτελεσματικά. Αν και τα επιπλέον δεδομένα που υπάρχουν μέχρι τώρα δεν θα έφερναν μεγάλες διαφορές από τα αποτελέσματα της εργασίας μας, εμείς θεωρούμε σημαντική την αναφορά τους για περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη πάνω στο θέμα.

- **Διεύρυνση παραμέτρων**

Σαν παραμέτρους στις προσομοιώσεις που έγιναν είχαμε διάφορες μεταβλητές, με κύριες να είναι το χρονικό μεσοδιάστημα, ο ρυθμός μετάδοσης, τα πρωτόκολλα, η απόσταση των οχημάτων και το μέγεθος του πακέτου. Στα αποτελέσματα που παράγαμε, είδαμε τα πρωτόκολλα να έχουν μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα σε ορισμένες τιμές των διαστημάτων (interval). Στην εργασία μας ελέγξαμε για διαστήματα 0,1, 0,2 και 0,3 δευτερολέπτων, βλέποντας διαφορετικά αποτελέσματα για κάθε διάστημα. Μια καλή προσθήκη θα ήταν η διερεύνηση αυτής της παραμέτρου, αλλάζοντας το βήμα σε 0.05 δευτερόλεπτα από 0.1, πράγμα που θα εμβάθυνε τα αποτελέσματά μας. Με την προσθήκη τους θα μπορούσαμε να διακρίνουμε αν κάποια πρωτόκολλα έχουν ακόμα μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα. Επίσης μπορεί να γίνει περαιτέρω πειραματισμός με τις τιμές ισχύος εκπομπής της κεραίας. Παρόμοια θα μπορούσαμε να διεκρινύουμε και τους ρυθμούς μετάδοσης, βάζοντας περισσότερες ενδιάμεσες τιμές. Παράλληλα θα μπορούσαν να εξεταστούν και επιπλέον πρωτόκολλα σχεδιασμένα για δίκτυα VANET όπως το DSR, GRP, ZRP και TORA.

- **Αναβάθμιση επικοινωνιακών μέσων**

Σαν δίκτυο ασύρματης επικοινωνίας οχημάτων έχει οριστεί το 802.11p, πάνω και στο οποίο βασιστήκαμε για να υλοποιήσουμε τις προσομοιώσεις μας. Ταυτόχρονα το ινστιτούτο IEEE προσπαθεί να βελτιώσει το πρότυπο του 802.11p, ορίζοντας την ομάδα 802.11bd η οποία βρίσκεται στα πρώτα της στάδια υλοποίησης από το 2019, χωρίς να έχει ακόμα φτάσει στο να ορίσει το πρότυπο του φυσικού επιπέδου. Παράλληλα βρίσκεται σε εξέλιξη η υλοποίηση του NR-V2X, μια αναβάθμιση του LTE-V2V, που όπως και το 802.11bd αναπτύσσεται για να ενισχύσει την υποστήριξη των οχημάτων για εξαιρετικά αξιόπιστες περιπτώσεις χρήσης. Αν και δεν υπάρχουν ακόμα δεδομένα και στατιστικά για το πόσο καλύτερες θα είναι αυτές οι τεχνολογίες επικοινωνίας οχημάτων, σίγουρα η χρήση τους με βάση την εργασία μας θα είχε πολύ ενδιαφέρουσες διαφορές αποτελεσμάτων, σε σύγκριση με τα δικά μας αποτελέσματα, για την αξιολόγηση των τεχνολογιών.

- **Ενσωμάτωση CSMA / CA**

Όπως έχουμε αναφέρει τα ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιούν την πολλαπλή πρόσβαση με επαίσθηση φέρουσας και αποφυγή συγκρούσεων (CSMA / CA). Ο ρόλος του είναι η μείωση της συχνότητας των συγκρούσεων. Για την αποφυγή, οι κόμβοι (οχήματα) ξεκινούν την μετάδοση τους αφού το κανάλι έχει

μπει στην κατάσταση αδράνειας. Ένας τέτοιος μηχανισμός θα βελτιστοποιήσει της απόδοσης του δικτύου , μειώνοντας αισθητά τις συγκρούσεις μεταξύ των πακέτων. Η υλοποίηση του δεν ήταν εφικτή στην περίπτωση μας καθώς στην τρέχουμε έκδοση του ns3 δεν είχε ενσωματωθεί αυτός ο μηχανισμός στο πρωτόκολλο 802.11p

- **Πειραματισμός με τοπολογίες συναθροιστών**

Ένα κομμάτι που θα μπορούσαμε να ελέγξουμε περεταίρω σε μελλοντική έρευνα πάνω στο θέμα είναι ο πειραματισμός με διάφορες τοπολογίες συναθροιστών , όχι μόνο ως προς την θέση που θα πρέπει να έχουν , αλλά και ως προς τον αριθμό. Με αυτόν τον τρόπο θα βλέπαμε πως το σύστημα προσαρμόζεται και κατανέμει το φορτίο όταν δεν μπορεί να το διαχειριστεί αποδοτικά.

7.5 Ενεργειακά Δεδομένα

Σε αυτό το σημείο διαπιστώνεται η ορθή επικοινωνία ανάμεσα στα οχήματα και το δίκτυο. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να πούμε ότι μπορούμε να υλοποιήσουμε ένα σύστημα V2G και G2V. Το μεγάλο ζήτημα είναι το εύρος των δεδομένων που αναλύονται στην περίπτωση μιας αμφίδρομης ενεργειακής σχέσης ανάμεσα σε ένα όχημα και στο δίκτυο. Προφανώς αναφορικά αναφερόμαστε σε αυτό καθότι από την υλοποίηση που προέκυψε μπορέσαμε να συλλέξουμε ενεργειακά δεδομένα. Από την στιγμή που συζητάμε για αμφίδρομη ενεργειακή επικοινωνία σημαίνει ότι το ενεργειακό δίκτυο θα πρέπει να ενημερώνεται για την ενεργειακή κατάσταση των οχημάτων έτσι ώστε να μπορεί να καθορίζει ποιο όχημα μπορεί να συνεισφέρει ενεργειακά. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει μέσα από την συλλογή των ενεργειακών δεδομένων να δημιουργείται το ενεργειακό αποτύπωμα (Operational Expenditure – OpEx) σε επίπεδο V2G – G2V. Παράλληλα μέσα από αναζήτηση στην διεθνή βιβλιογραφία διαπιστώνεται ότι στα υβριδικά οχήματα θα πρέπει να μεταδίδεται και η πληροφορία για την εκπομπή αερίων ρύπων διοξειδίου του άνθρακα με αποτέλεσμα το δίκτυο να μπορεί να γνωρίζει ανά πάσα στιγμή την συνολική κατάσταση των οχημάτων. Επιπλέον στο πλαίσιο ανάπτυξης του Έξυπνου Ενεργειακού Δικτύου θα πρέπει να δημιουργείται και το ενεργειακό προφίλ ενός οχήματος σε ένα εύρος ετών προκειμένου η Κτηριακή Μονάδα (BAN) που στεγάζει τα οχήματα να γνωρίζει ανά πάσα στιγμή για την ενεργειακή τους κατάσταση.

Όσον αφορά τα ηλεκτρικά μεγέθη που λαμβάνονται από τα οχήματα είναι ηλεκτρική τάση η οποία είναι σταθερή στα 24V μιας και πρόκειται για υβριδικά ή ηλεκτρικά οχήματα των οποίων οι συσσωρευτές έχουν αρκετά μεγάλες απαιτήσεις και διαφοροποιούνται από τα 12V ενός κοινού συσσωρευτή ενός συμβατικού οχήματος. Το δεύτερο ηλεκτρικό μέγεθος είναι η ένταση του ρεύματος σε Ampere.

Γι' αυτό τον λόγο επιλέξαμε να αναλύσουμε συνολικά πέντε (5) κριτήρια όσον αφορά το ενεργειακό κομμάτι:

- Μέση Ενεργειακή Κατανάλωση ανά Έτος
- Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση σε επίπεδο 10ετίας
- Συνολική εκπομπή CO₂ σε επίπεδο χρήσης κτηρίου για την φόρτιση των οχημάτων
- Μέσο Ενεργειακό Κόστος σε επίπεδο φόρτισης ανά έτος
- Συνολικό Κόστος αντικατάστασης και ανακύκλωσης Συσσωρευτών

Για την περίπτωση της ενεργειακής κατανάλωσης και προκειμένου τα δεδομένα να είναι αληθή και να άπτονται ενός πραγματικού σεναρίου έχουμε λάβει υπόψη τα τρία ενεργειακά κλιμάκια που είναι σε ισχύ από τον ΔΕΔΔΗΕ για την περίπτωση μιας Εσωτερικής Ηλεκτρικής Εγκατάστασης (ΕΗΕ). Αναφορικά η χρέωση σε επίπεδο κιλοβατώρας είναι:

1° Ενεργειακό Κλιμάκιο: Έως 1600KWh $\rightarrow$ 0,17588 Ευρώ/KWh

2° Ενεργειακό Κλιμάκιο: 1601KWh έως 2000KWh $\rightarrow$ 0,18518 Ευρώ/KWh

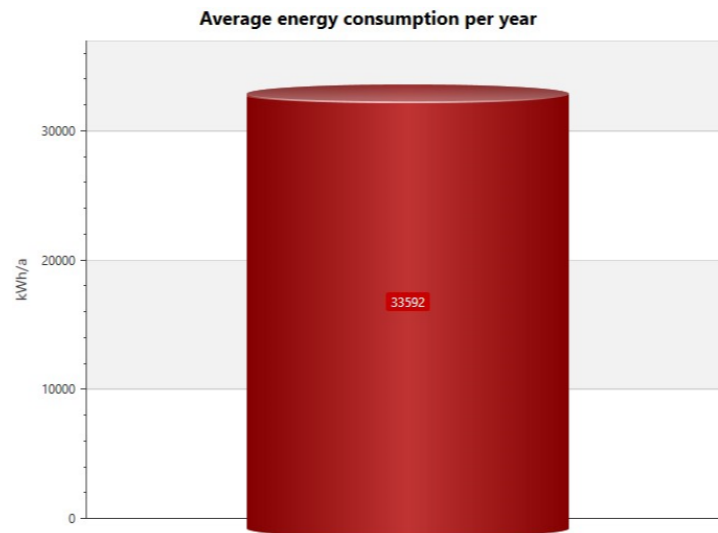
3° Ενεργειακό Κλιμάκιο: Πάνω από 2000KWh $\rightarrow$ 0,21985 Ευρώ/KWh

Από τα τρία ενεργειακά κλιμάκια και εφόσον η περίπτωση της μελέτης μας αφορά μια Κτηριακή Υποδομή για το ΕΕΔ (BAN) επιλέγουμε το 3° Ενεργειακό Κλιμάκιο.

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων γίνεται μεσοσταθμικά ανά έτος και σε βάθος δεκαετίας. Ο λόγος που επιλέγεται η δεκαετία οφείλεται στην αντίστοιχη Ευρωπαϊκή Οδηγία ISO/EN 12461 περί ενεργειακού ισοζυγίου και συντήρησης ηλεκτρικών εγκαταστάσεων σύμφωνα με την οποία ορίζεται αυτό το χρονικό πλαίσιο για την ενεργειακή αξιολόγηση σε κτηριακό επίπεδο και με την οποία εναρμονίζεται και η εισαγωγή των οχημάτων στο πλαίσιο ανάπτυξης του ΕΕΔ.

Όσον αφορά την οπτικοποίηση των δεδομένων γνωρίζουμε ότι έχουμε συνολικά δύο διαφορετικές κατηγορίες. Η μια κατηγορία αφορά τα τηλεπικοινωνιακά δεδομένα μέσα από τα οποία μπορούμε να εξακριβώσουμε την ορθή λειτουργία του επικοινωνιακού σκέλους. Η άλλη κατηγορία αφορά τα ενεργειακά δεδομένα μέσα από τα οποία μπορούμε να διαπιστώσουμε την μεταφορά τους από κάθε όχημα προς τους επιμέρους aggregators της Κτηριακής Υποδομής. Προκειμένου να γίνει εφικτή αυτή δημιουργία δεδομένων δημιουργήθηκε ένα excel στο οποίο μέσα εμπεριέχονταν ονομαστικές τιμές τάσης έντασης καθώς και ενεργού ισχύος η οποία κατ' ουσία είναι το γινόμενο τάσης και έντασης. Ο λόγος που έγινε αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι η μέχρι τώρα τεχνολογική εξέλιξη των ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων απαιτεί την δημιουργία ενός αναλυτικού ενεργειακού προφίλ με γνώμονα την ηλεκτρική ισχύ. Στην επικοινωνία κάθε οχήματος με τον aggregator αποστέλλονται οι τιμές της ενεργού ηλεκτρικής ισχύος. Οι τιμές έχουν οριστεί κατά μέσο όρο με βάση την ενεργειακή κατανάλωση του κάθε οχήματος και μεταφέρονται στους επιμέρους aggregator μέσα από το επικοινωνιακό μοντέλο που έχει κατασκευαστεί.

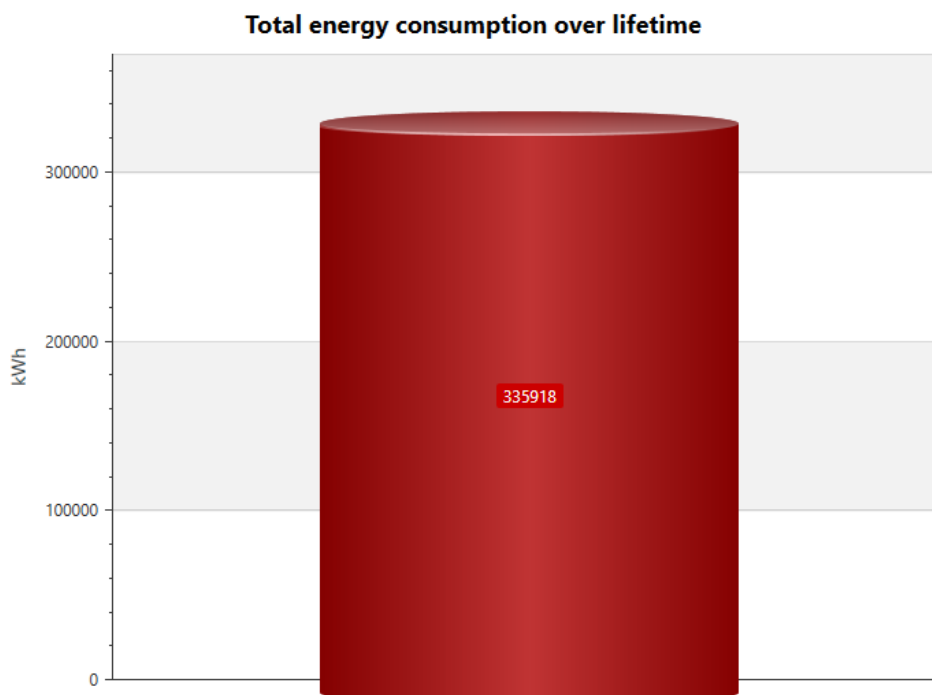
1° Κριτήριο: Μέση Ενεργειακή Κατανάλωση ανά Έτος



Γράφημα 1. Μέση Ενεργειακή Κατανάλωση ανά Έτος

Σε αυτό το διάγραμμα παρουσιάζεται η Μέση Ενεργειακή Κατανάλωση ανά Έτος η οποία προκύπτει από τα δεδομένα που αποστέλλουν τα οχήματα προς το Κτήριο. Αυτό αποτελεί το ετήσιο ενεργειακό ισοζύγιο μέσα από το οποίο ο πάροχος του κτηρίου μπορεί να καθορίσει την ενεργειακή συμπεριφορά όσον αφορά το κομμάτι της φόρτισης των οχημάτων από το ίδιο το κτήριο.

2° Κριτήριο: Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση σε επίπεδο 10ετίας

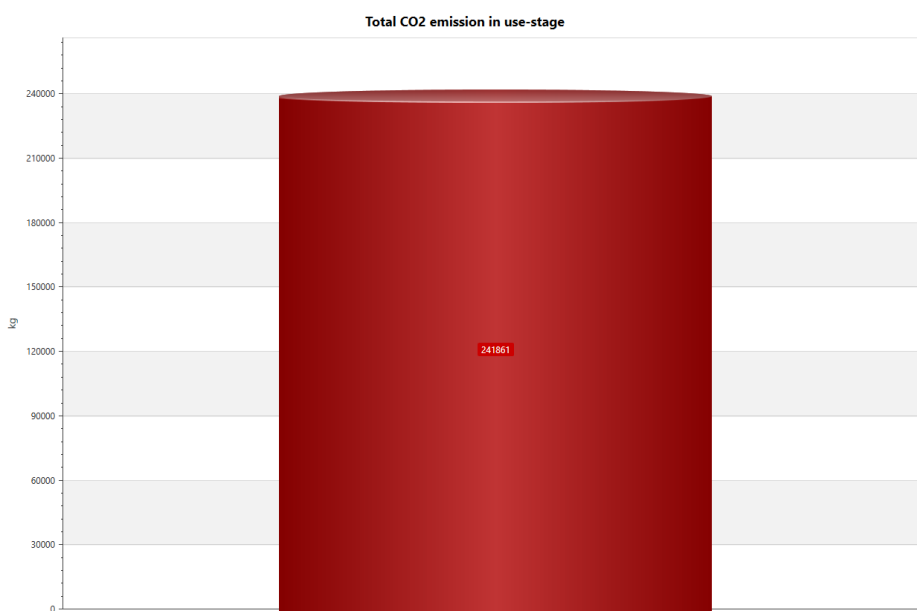


Γράφημα 2. Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση σε επίπεδο 10ετίας

Στο ίδιο ύψος με το προηγούμενο κριτήριο εδώ παρουσιάζεται με ένα πιο διευρυμένο τρόπο η Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση σε επίπεδο 10ετίας. Αυτό το κριτήριο μπορεί να αποτελέσει σημαντικό δείκτη όσον αφορά το Ενεργειακό Αποτύπωμα του κτηρίου. Οπότε μετά το πέρας της δεκαετίας σε ένα ενδεχόμενο αναβάθμισης του κτηρίου από ενεργειακής πλευράς το κομμάτι των οχημάτων και το πόσο φορτίζουν αποτελεί μια σημαντική πληροφορία.

3° Κριτήριο: Συνολική εκπομπή CO₂ σε επίπεδο χρήσης κτηρίου για την φόρτιση των οχημάτων

Αναφερόμενοι ξανά στην έννοια του Ενεργειακού Αποτυπώματος ο εκάστοτε πάροχος που έχει θερμικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει σε καθημερινή βάση να υπολογίζει τις ενεργειακές ανάγκες των καταναλωτών και να υπολογίζει το ποσοστό της ηλεκτρικής ισχύος που χρειάζεται να παράγει σε καθημερινή βάση. Εφόσον πρόκειται για θερμικές μονάδες αυτό σημαίνει ότι περιβαλλοντικά έχουμε την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα. Εφόσον το κτήριο συλλέγει από τα οχήματα τις ενεργειακές του ανάγκες και υπολογίζει επίπεδα ηλεκτρικής ισχύος μπορεί να υπολογίζει και τα επίπεδα παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα τα οποία εκλύονται από την ενεργειακή παραγωγή. Αυτή την πληροφορία την στέλνει το κτήριο προς τον πάροχο προκειμένου να είναι σε θέση να γνωρίζει τα ποσοστά που θα εκλύονται από τις ενεργειακές ανάγκες. Το παρακάτω γράφημα παρουσιάζει τα συνολικά επίπεδα εκπομπής σε CO₂ σε επίπεδο χρήσης κτηρίου για την φόρτιση των οχημάτων

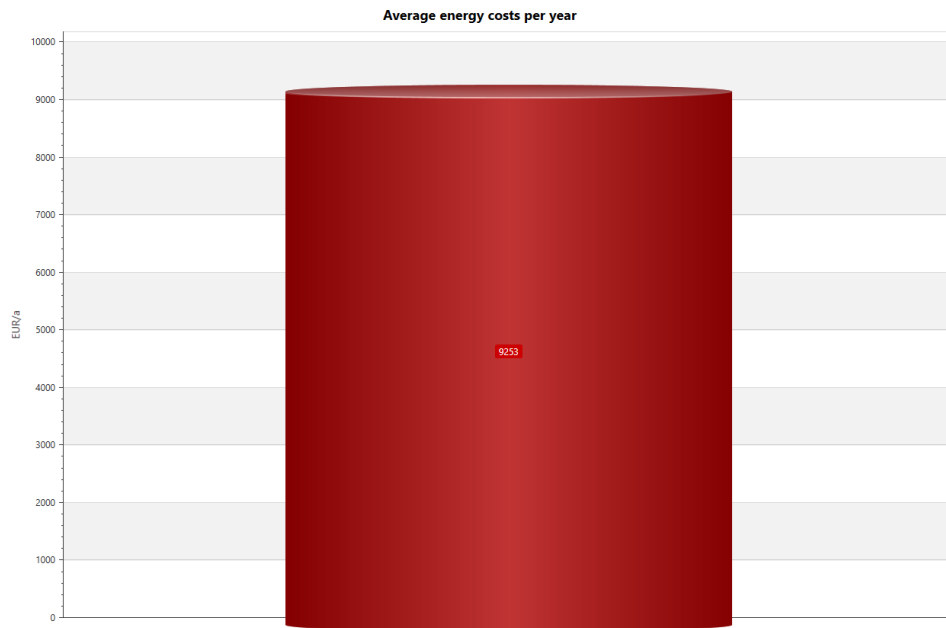


Γράφημα 3. Συνολική εκπομπή CO₂ σε επίπεδο χρήσης κτηρίου για την φόρτιση των οχημάτων

4° Κριτήριο: Μέσο Ενεργειακό Κόστος σε επίπεδο φόρτισης ανά έτος

Εφόσον πρόκειται για κτηριακή μονάδα και έχει μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις κατατάσσεται στο 3° Ενεργειακό Κλιμάκιο. Βάσει αυτού τίθεται μια συγκεκριμένη τιμή σε επίπεδο χρέωσης της κιλοβατώρας.

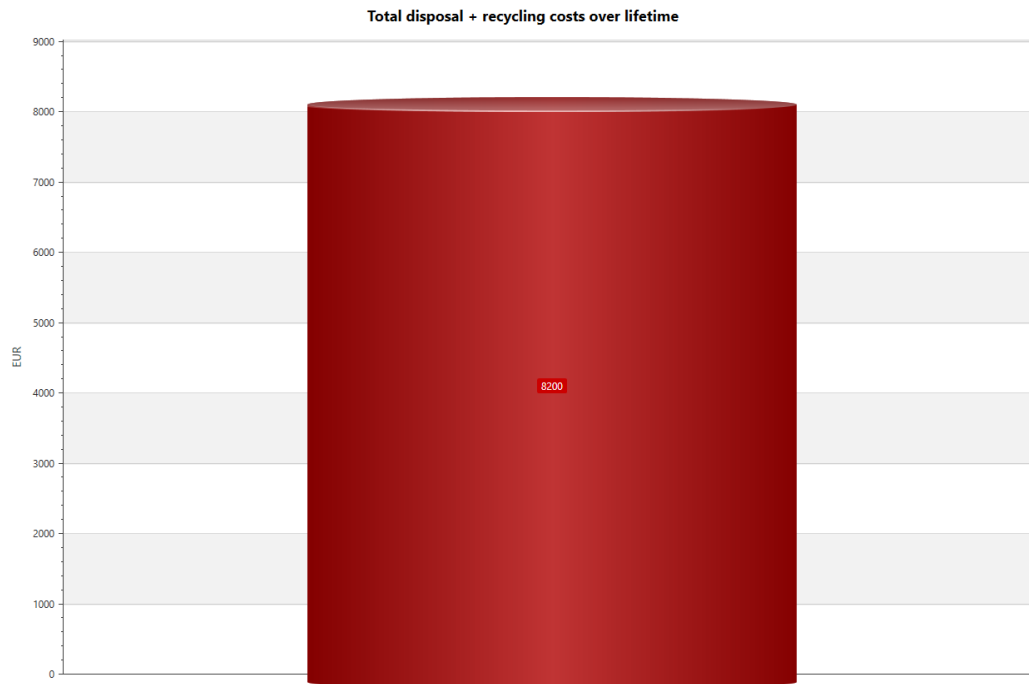
Οπότε με αυτό το τρόπο το κτήριο βάσει των ενεργειακών αναγκών που συλλέγει από το εκάστοτε όχημα μπορεί να υπολογίζει το μέσο ενεργειακό κόστος ανά έτος



Γράφημα 4. Μέσο Ενεργειακό Κόστος σε επίπεδο φόρτισης ανά έτος

5^ο Κριτήριο: Συνολικό κόστος αντικατάστασης και ανακύκλωσης συσσωρευτών

Ένα εξίσου σημαντικό ζήτημα είναι αυτό της αντικατάστασης συσσωρευτών σε υβριδικά και ηλεκτρικά οχήματα. Όπως μπορούμε να καταλάβουμε οι συγκεκριμένοι συσσωρευτές δεν έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά αλλά και κόστος όπως οι συσσωρευτές των συμβατικών οχημάτων. Ένα Έξυπνο Κτήριο που συμμετέχει σε μια Έξυπνη Ενεργειακή Πόλη θα πρέπει να μπορεί να γνωρίζει και αυτή την πληροφορία προκειμένου να υφίσταται ο υπολογισμός του μέσου κόστους αντικατάστασης και ανακύκλωσης συσσωρευτών. Πάνω σε αυτό το πληροφοριακό σύστημα του κτηρίου διαθέτει την δυνατότητα υπολογισμού της εξέλιξης του κόστους σε υλικό για τα οχήματα και ειδικότερα για τους συσσωρευτές καθώς δεν μπορεί να υπολογίσει άλλα πιθανά κόστη τα οποία μπορεί να οφείλονται σε ένα μηχανικό πρόβλημα.



Γράφημα 5: Συνολικό κόστος αντικατάστασης και ανακύκλωσης συσσωρευτών

Με αυτό το τελευταίο κριτήριο αυτό που διαπιστώνεται από την παρούσα τεχνολογία είναι ότι με γνώμονα την ασύρματη επικοινωνία ανάμεσα σε ένα κτήριο και ένα εύρος οχημάτων και αντιστρόφως υπάρχει η δυνατότητα συγκέντρωσης ηλεκτρικών δεδομένων τα οποία καθορίζουν την ευρύτερη ενεργειακή συμπεριφορά και πως αυτή συνεισφέρει στην γενικότερη ενεργειακή συμπεριφορά του κτηρίου.

8

Βιβλιογραφία

- [1] David Dallinger, Martin Wietschel, “Grid Integration of intermittent renewable energy sources using price – responsive plug-in electric vehicles”, 28th March 2012
- [2] Ebrahim Mortaz, Jorge Valenzuela, “Optimizing the size of a V2G parking deck in a microgrid”, 4th January 2018
- [3] Alicia Trivino-Cabrera, Jose A. Aguado, Sebastian de la Torre, “Joint routing & scheduling for electric vehicles in smart grids with V2G”, 28th February 2019
- [4] Zhenya Yang, Cong Liu, “Privacy-Preserving Communication and Precise Reward Architecture for V2G Networks in Smart Grid”, January 2012
- [5] Mahmoud Ghofrani, Eric Detert, Negar Niromand Hosseini, Amirsaman Arabali, Nicholas Myers, Phasith Ngin, “V2G Services for Renewable Integration”, 5th October 2016
- [6] Aleksandr Krivchenkov, “Analysis of wireless communications for V2G applications using WPT technology in energy transfer to mobile objects”, 14th October 2015
- [7] J. Donoghue, A. J. Cruden, “Whole system modelling of V2G power network control, communications and management”, 17th November 2013
- [8] Battery University, “Batteries as Power Source”, https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_1004_charging_an_electric_vehicle
- [9] Michael MacLeod, Chris Cox, “V2G Market Study”, 27th July 2018
- [10] Neetesh Saxena, Santiago Grijalva, Athanasios Vasilakos, “Network Security and Privacy Challenges in Smart Vehicle-to-Grid”, March 2017
- [11] A. Zidan, H. A. Gabbar, “Design and Control of V2G”, 2017

- [12] C. MONTES PORTELA, P. KLAPWIJK, “OSCP - AN OPEN PROTOCOL FOR SMART CHARGING OF ELECTRIC VEHICLES”, 15th June 2015
- [13] C. Samara “Performance Comparison of Manet Routing Protocols based on real-life scenarios”, January 2012
- [14] S. H. Raut, Hemant P. Ambulgekar, “Proactive and Reactive Routing Protocols in Multihop Mobile Ad hoc Network”, April 2013
- [15] E. Worthman, “802.xx And the IoE”, 3rd September 2015
- [16] J. Geier, “IEEE 802.11 Standard Overview”, 29th November 2000
- [17] NSNAM, “Nakagami Propagation Loss Model”, 2019
- [18] NSNAM, “Two-Ray Ground Propagation Loss Model”, 2019
- [19] L. Marcillo, L. Aguiar, M. Paredes, “Wireless Channel 802.11 in NS-3”, 19th September 2018
- [20] A. Abdelgader, Wu Lenan, “The Physical Layer of the IEEE 802.11p WAVE Communication Standard: The Specifications and Challenges”, 22th October 2014
- [21] K. Deep Singh, Priyanka Rawat and Jean-Marie Bonnin “Cognitive radio for vehicular ad hoc networks (CR-VANETs): approaches and challenges”, 28 March 2014
- [22] L. Miao, K. Djouani, Member, IEEE, B. J. van Wyk and Y. Hamam, senior Member, IEEE,” A Survey of IEEE 802.11p MAC Protocol”, September 2011
- [23] vikasG, “Wi-fi Mac Layer”, devopedia, March 2018
- [24] Tektonix,” Wi-Fi: Overview of the 802.11 Physical Layer and Transmitter Measurements”, March 2014
- [25] A. vonNagy,” Understanding 802.11 Medium Contention”, March 2015
- [26] Cwnp, “802.11 MAC Series-Basics of MAC Architecture”, March 2016
- [27] Arvindpdmn, VikasG, “WIFI MAC LAYER”, March 2018
- [28] E. I. Zountouridou, Student Member, IEEE, George C. Kiokes, Member, IEEE, Nikolaos D. Hatziaargyriou, Fellow Member, IEEE, Nikolaos K. Uzunoglu Fellow Member, IEEE,” An Evaluation Study of Wireless Access Technologies for V2G Communications”,2011
- [29] I. Chammakhi Msadaa, Pasquale Cataldi and Fethi Filali,” A Comparative Study between 802.11p and Mobile WiMAX-based V2I Communication Networks”,2010
- [30] Kai-Yun Ho, Po-Chun Kang, and Chung-Hsien Hsu,” Implementation of WAVE/DSRC Devices for Vehicular Communications”,2010
- [31] Ahmad Modarresi Ghazvini, Javad Olamaei, Optimal sizing of autonomous hybrid PV system with considerations for V2G parking lot as controllable load based on a heuristic optimization algorithm, Solar Energy 184, pp. 30-39, Elsevier 2019
- [32] Ebrahim Mortaz, Jorge Valenzuela, Optimizing the size of a V2G parking deck in a microgrid, Electrical Power and Energy Systems 97 pp. 28-39, Elsevier 2018
- [33] Alicia Trivino-5Cabrera, Jose A. Aguado, Sebastian de la Torre, Joint routing and scheduling for electric vehicles in smart grids with V2G, Energy 17 pp. 113-122, Elsevier 2019

- [34] Fatima Zohra Bousbaa, Nasredding Lagraa, Chaker Abdelaziz Kerrache, Fen Zhou, Mohamed Bachir Yagoubi, Rasheed Hussain, A distributed time-limited multicast algorithm for VANET using incremental power strategy, *Computer Networks* 145 pp. 141-155, Elsevier 2018
- [35] Hannes Krueger, Andrew Cruden Modular strategy for aggregator control and data exchange in large scale Vehicle-to-Grid (V2G) applications, 3rd Annual Conference in Energy Storage and its Applications, 3rd CDT-ESA-AC, 11-12 September 2018, Sheffield UK
- [36] Tawfiq Nebbou, Mohamed Lehsaini, Hacene Fouchal Partial backwards routing protocol for VANETs, *Vehicular Communications* 18, 100162, Elsevier 2019
- [37] Raul Serna Marin,” WIRELESS INDOOR LOCALIZATION USING PATHLOSS BASED TECHNIQUES”, Faculty Council of Computing and Electrical Engineering, 4 March 2015
- [38] Ankit87, “IEEE 802.11 Mac Frame”, GeeksforGeeks
- [39] https://el.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11
- [40] M. Sepulcre, J. Gozalvez, B.Peralles , “Why 6 Mbps is Not (Always) the Optimum Data Rate for Beaconing in Vehicular Networks” , IEEE 24th April 2017
- [41] M. Al-Hubaishi, “Performance Analysis of Destination Sequenced Distance Vector Routing Protocol in MANET”, July 2014
- [42] Wu Celimunge, Ji Yusheng, S. Ohzahata,” Toward Practical and Intelligent Routing in Vehicular Ad Hoc Networks”, December 2015
- [43] Subhash Sagar, Nadeem Javaid, “Evaluating and comparing the performance of DYMO and OLSR in MANETs and in VANETs”, December 2011
- [44] E. Belding-Royer, “Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing”, July 2003
- [45] T. Clausen, P. Jacquet, “Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)”, October 2003