

Ατομική Διπλωματική Εργασία

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ
ΤΩΝ MANETS ΠΑΝΩ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ VANETS**

Μάριος Μύτιλλος

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ



ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Μάιος 2010

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Πειραματική Μελέτη Αλγορίθμων Δρομολόγησης Των MANETs Πάνω Σε
Δίκτυα VANETs**

Μάριος Μύτιλλος

Επιβλέπων Καθηγητής

Αντρέας Πιτσιλλίδης

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

Μάιος 2010

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή μου κύριο Αντρέα Πιτσιλλίδη, καθώς και τον κύριο Γιαννάκη Μυλωνά, για την ανεκτίμητη βοήθεια και καθοδήγηση που μου έχουν δώσει για την εκπλήρωση της διπλωματικής εργασίας αυτής.

Επίσης να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου για τη συμπαράστασή τους.

Περίληψη

Αυτή η διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την αξιολόγηση αλγορίθμων δρομολόγησης που αρχικά υλοποιήθηκαν για να εφαρμοστούν σε δίκτυα MANETs, πάνω σε δίκτυα VANETs. Συγκεκριμένα, αφού μελετήσαμε τις αρχές των δικτύων αυτών, καθώς επίσης και τις μεθόδους δρομολόγησης σε αυτά, προχωρήσαμε στην δημιουργία σεναρίων στον προσομοιωτή OPNET στα οποία σενάρια υλοποιήσαμε την τοπολογία και κινητικότητα κόμβων όπως αυτή των δικτύων VANETs. Στη συνέχεια ρυθμίσαμε τους κόμβους των σεναρίων αυτών με τους διάφορους αλγόριθμους των MANETs και τρέξαμε τις προσομοιώσεις συλλέγοντας αποτελέσματα για διάφορες μετρικές. Αφού πήραμε τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, τα αναλύσαμε φτάνοντας σε κάποια τελικά συμπεράσματα για τους αλγόριθμους αυτούς και την αποδοτικότητά τους σε δίκτυα VANETs.

Στα πρώτα δυο κεφάλαια θα περιγράψουμε την προϋπάρχων γνώση που υπάρχει πάνω στον συγκεκριμένο τομέα και συγκεκριμένα στο πρώτο κεφάλαιο της εισαγωγής θα μιλήσουμε γενικά για τα ασύρματα ad-hoc δίκτυα και την δρομολόγηση στα δίκτυα αυτά. Στο δεύτερο κεφάλαιο θα δούμε συγκεκριμένα τα δίκτυα MANETs και VANETs, τις αρχές που διέπουν αυτά τα δίκτυα, καθώς και τις εφαρμογές αυτών.

Στο τρίτο θα μιλήσουμε για την προσομοίωση στον προσομοιωτή OPNET καθώς και για τις παραμέτρους που χρησιμοποιήσαμε. Επίσης στο κεφάλαιο αυτό θα εξηγήσουμε και τις μετρικές για τις οποίες συλλέξαμε αποτελέσματα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων καθώς και συγκρίσεις μεταξύ των αλγορίθμων, σχετικά με την αποδοτικότητά τους σε συγκεκριμένες μετρικές.

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζουμε τα τελικά συμπεράσματα καθώς και την μελλοντική εργασία.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1	Εισαγωγή.....	1
	1.1 Ιστορική Αναδρομή	1
	1.2 Ασύρματα Ad-Hoc Δίκτυα	5
	1.3 Δρομολόγηση στα Ασύρματα Ad-Hoc Δίκτυα	7
Κεφάλαιο 2	Δίκτυα MANETs και VANETs.....	9
	2.1 Δίκτυα MANETs	9
	2.1.1 Εισαγωγή στα δίκτυα MANETs	9
	2.1.2 Χαρακτηριστικά των MANETs	11
	2.1.3 Εφαρμογές των MANETs	13
	2.2 Δίκτυα VANETs	14
	2.2.1 Εισαγωγή στα δίκτυα VANETs	14
	2.2.2 Χαρακτηριστικά των VANETs	16
	2.2.3 Εφαρμογές των VANETs	18
	2.3 Σύγκριση VANETs με MANETs	19
Κεφάλαιο 3	Περιγραφή Αλγορίθμων Δρομολόγησης MANETs.....	21
	3.1 AODV	21
	3.2 DSR	24
	3.3 OLSR	26
	3.4 TORA	28
Κεφάλαιο 4	Προσομοίωση.....	31
	4.1 Περιγραφή Σεναρίων Και Παραμέτρων	31
	4.2 Μετρικές Προσομοίωσης	33
Κεφάλαιο 5	Αποτελέσματα.....	35
	5.1 Εισαγωγή	35
	5.2 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων	36
	5.3 Συγκρίσεις Αλγορίθμων	50
	5.4 Αποτελέσματα Μετά Από Αλλαγές	59
	5.4.1 Αλλαγές Στους Κόμβους Που Στέλνουν/Λαμβάνουν Data	59
	5.4.2 Αλλαγές Στον Αριθμό Των Κόμβων	61

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Συμπεράσματα	66
5.1 Γενικά Συμπεράσματα	66
5.2 Μελλοντική Εργασία	68
 Βιβλιογραφία	 69
 Παράρτημα Α.....	 A-1

Κεφάλαιο 1

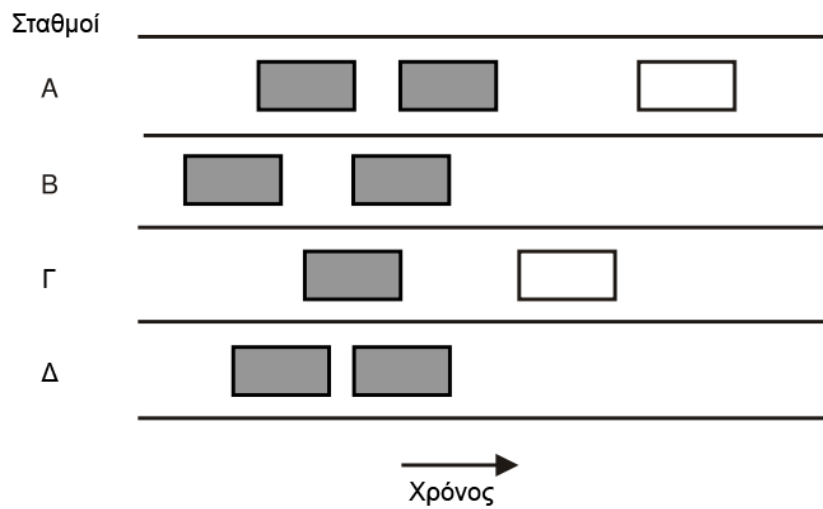
Εισαγωγή

1.1 Ιστορική Αναδρομή	1
1.2 Ασύρματα Ad-Hoc Δίκτυα	5
1.3 Δρομολόγηση στα ασύρματα Ad-Hoc Δίκτυα	7

1.1 Ιστορική Αναδρομή

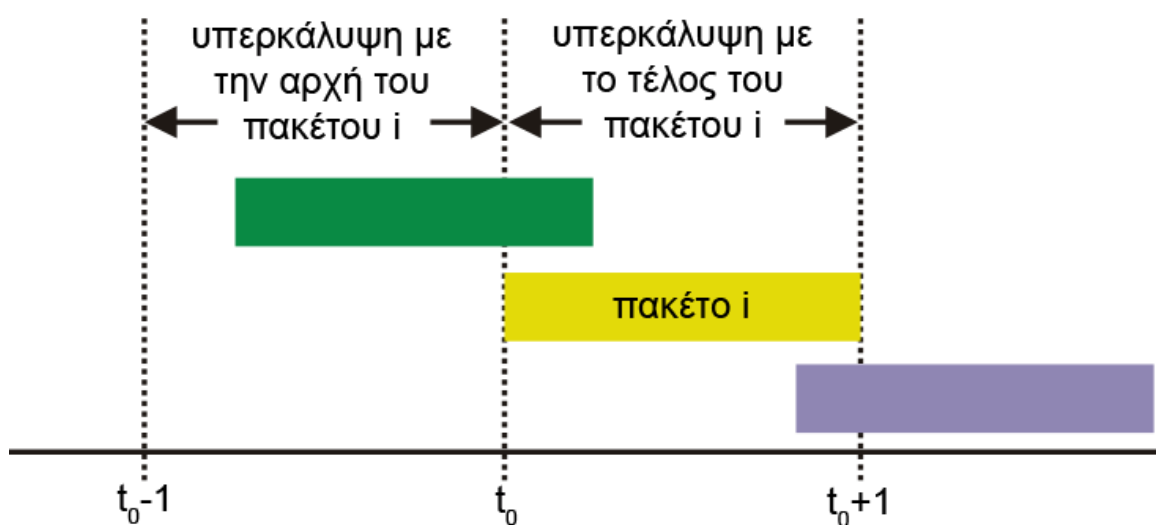
Τα Ad-Hoc δίκτυα προέρχονται από το 1968, με το δίκτυο ALOHA[20], που είχε σαν στόχο τη διασύνδεση εκπαιδευτικών κτιρίων στη Χαβάη. Η ιδέα ήταν να χρησιμοποιηθούν ραδιοφωνικά συστήματα για τη δημιουργία ενός δικτύου υπολογιστών για τη διασύνδεση των κτηρίων ενός πανεπιστημίου. Το πρωτότυπο του πρωτοκόλλου ALOHA χρησιμοποιούσε δύο ξεχωριστές ραδιοφωνικές συχνότητες και μια τοπολογία αστέρα με ένα κεντρικό σταθμό.

Ο κεντρικός σταθμός μετέδιδε πακέτα σε όλους τους άλλους σταθμούς στο κανάλι εξόδου, ενώ οι υπόλοιποι σταθμοί έστελναν δεδομένα στον κεντρικό σταθμό στο κανάλι εισόδου. Το πρωτόκολλο ALOHA ήταν ένα πρωτόκολλο single hop, οπότε δεν υποστήριζε τη δρομολόγηση πακέτων, επομένως κάθε κόμβος έπρεπε να είναι εντός εμβέλειας όλων των υπόλοιπων κόμβων του δικτύου. Παρόλα αυτά, το ALOHA επέτρεπε τη διαχείριση για διανεμημένη πρόσβαση καναλιών (distributed channel access management) και έτσι εξασφάλισε μια βάση για τη μετέπειτα ανάπτυξη των σχημάτων διανεμημένης πρόσβασης καναλιού που ήταν κατάλληλα για τα δίκτυα Ad-Hoc.



Σχήμα 1.1 Πρωτόκολλο ALOHA

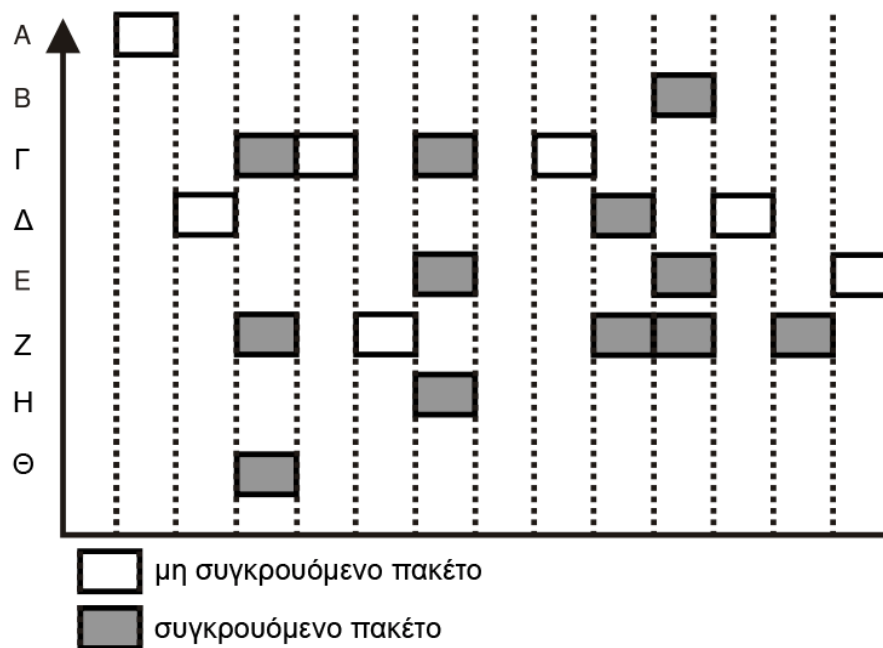
Το πρόβλημα με το πρωτόκολλο ALOHA ήταν το γεγονός ότι είχε ένα μέγιστο throughput της τάξης του 18.4% της συνολικής χωρητικότητας. Αυτό σημαίνει ότι περίπου το 81.6% του διαθέσιμου εύρους ζώνης μένει ανεκμετάλλευτο εξαιτίας των απωλειών από τις συγκρούσεις πακέτων (packet collisions).



Σχήμα 1.2 Πρωτόκολλο ALOHA[20]

Έτσι υπήρξε η ανάγκη για βελτιστοποίηση του πρωτοκόλλου ALOHA η οποία οδήγησε στη δημιουργία του πρωτοκόλλου Slotted ALOHA[20] που δούλεψε πλέον με timeslot και αύξησε την απόδοση του πρωτοκόλλου στο 36.8%.

Με την καινούρια αυτή έκδοση του pure ALOHA κάθε κόμβος μπορεί να στέλνει πακέτα μόνο στην αρχή ενός timeslot, με αποτέλεσμα να μειώνονται οι συγκρούσεις των πακέτων.



Σχήμα 1.3 Πρωτόκολλο “Slotted ALOHA”

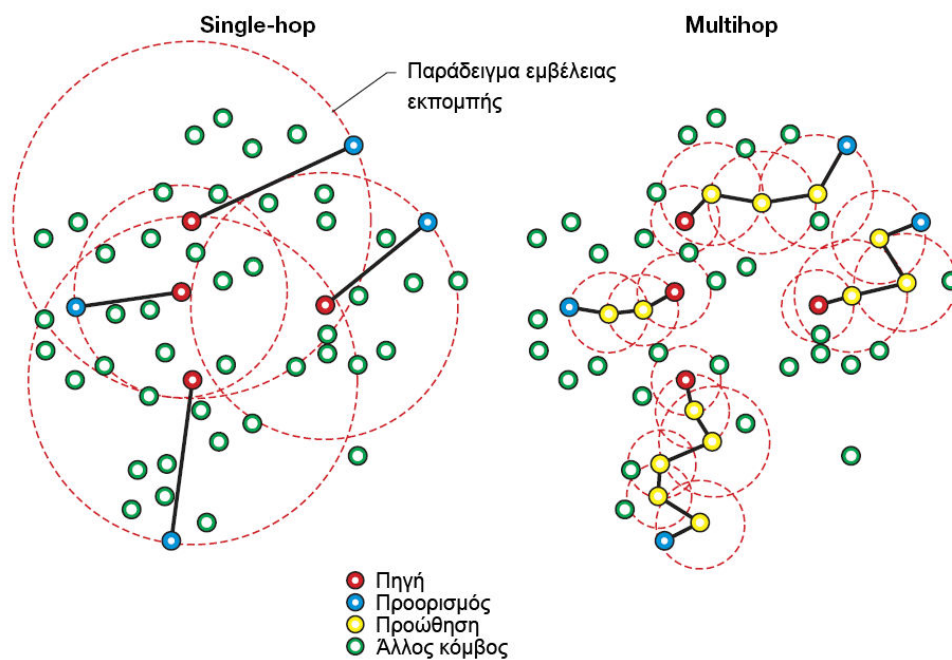
Στη συνέχεια, το 1973 εμπνευσμένο από το ALOHA δημιουργήθηκε το PRNet, το οποίο πλέον υποστήριζε multihop διαδρομές. Για να υλοποιηθούν αυτές οι multihop διαδρομές, υπήρξε ανάγκη να συνεργάζονται οι κόμβοι μεταξύ τους έτσι ώστε να μεταφέρουν τα δεδομένα του δικτύου σε απομακρυσμένους κόμβους που δεν ήταν στην εμβέλεια του αρχικού κόμβου.

Το PRNet λόγω των multihop διαδρομών, είχε το πλεονέκτημα την αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου, καθώς ο χώρος μπορούσε να επαναχρησιμοποιηθεί για συνεχόμενες, αλλά ξεχωριστές μεταξύ τους multihop sessions.

Στη συνέχεια είχαν αναπτυχθεί πολλά πειραματικά δίκτυα τύπου Packet Radio αλλά δεν έχουν γίνει γνωστά για διάφορους λόγους, παρόλα αυτά τα Packet Radio Networks

συσχετίστηκαν με τα δίκτυα multihop μεγάλης κλίμακας για στρατιωτικές επεμβάσεις ή επιχειρήσεις διάσωσης.

Μετά τη δημιουργία του πρότυπου IEEE 802.11 για ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless Local Area Networks WLAN), ο όρος Packet Radio Network άλλαξε σε Ad-Hoc Network. Είδος Ad-Hoc δικτύων μπορούμε να θεωρήσουμε και τα κινητά δίκτυα με κυψέλες που βασίζονται έντονα στη σταθερή υποδομή τους, όπου η κάλυψη παρέχεται από σταθμούς βάσης (base stations) και οι ραδιοσυχνότητες διαχειρίζονται από μια κεντρική μονάδα. Αφαιρώντας τα συστήματα κεντρικής διαχείρισης από τα δίκτυα, βρισκόμαστε σε καθαρά Ad-Hoc δίκτυα, άλλα single-hop και άλλα multihop. Παράδειγμα τέτοιων δικτύων αποτελούν τα δίκτυα PAN(Personal Area Networks) και MANET(Mobile Ad-Hoc Networks) στα οποία εμπίπτουν και τα δίκτυα VANET(Vehicular Ad-Hoc Networks) τα οποία μελετούμε σε αυτή τη διπλωματική εργασία.



Σχήμα 1.4 Διαφορές single-hop και multihop Δικτύων

1.2 Ασύρματα Ad-Hoc δίκτυα[18]

Τα ασύρματα ad-hoc δίκτυα είναι σύνθετα διανεμημένα συστήματα, τα οποία περιλαμβάνουν κόμβους που μπορούν να οργανώνονται αυθαίρετα, ελεύθερα και δυναμικά, επιτρέποντας την επικοινωνία μεταξύ των κόμβων χωρίς την ανάγκη ύπαρξης προϋπάρχουσας υποδομής.

Τα ασύρματα ad-hoc δίκτυα σχηματίζονται από ασύρματες μονάδες, τις οποίες ονομάζουμε κόμβους, οι οποίοι συνήθως κινούνται και οι διαδρομές μεταξύ κόμβων μπορεί να περιλαμβάνουν πολλαπλές μεταπηδήσεις (hops). Να σημειώσουμε επίσης και ότι αυτή η κινητικότητα προκαλεί αλλαγές στην τοπολογία του δικτύου.

Κάθε κόμβος είναι κάποιος χρήστης του δικτύου, αλλά ταυτόχρονα λειτουργεί και σαν δρομολογητής ο οποίος θα μεταφέρει δεδομένα τα οποία δεν τον αφορούν αυτόν, αλλά κάποιον άλλο απομακρυσμένο κόμβο που δεν είναι στη εμβέλεια του αρχικού κόμβου.

Οι πιο πάνω ιδιότητες αποτελούν και το λόγο για τον οποίο είναι τόσο δημοφιλής τα ασύρματα ad-hoc δίκτυα. Επίσης λόγω της ευκολίας και ταχύτητας ανάπτυξης που έχουν καθώς και της μειωμένης εξάρτησης τους από σταθερές και προϋπάρχον υποδομές τα καθιστούν κατάλληλα για πολλές εφαρμογές σε πολλούς τομείς.

Παραδείγματα στα οποία μπορούν να εφαρμοστούν τα συγκεκριμένα δίκτυα είναι σε στρατιωτικά περιβάλλοντα για επικοινωνία των εμπλεκομένων σε μια αποστολή (στρατιώτες, άρματα, αεροσκάφη κλπ.). Επίσης σε κοινωνικά και πολιτικά δεδομένα, καθώς και σε επείγουσες επιχειρήσεις όπως αναζήτηση και διάσωση, αστυνόμευση και πυρόσβεση πυρκαγιών.

Μπορούμε να συναντήσουμε πολλούς και διάφορους τύπους ασύρματων ad-hoc δικτύων, ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας του δικτύου, τους κόμβους του δικτύου κλπ.

Για παράδειγμα, υπάρχουν δίκτυα με πλήρως συμμετρικό περιβάλλον όπου όλοι οι κόμβοι έχουν πανομοιότυπες δυνατότητες και ευθύνες. Σε άλλες περιπτώσεις όμως, βρισκόμαστε αντιμέτωποι με συνθήκες που είναι δύσκολο να ελέγξεις, όπως για παράδειγμα σε ένα περιβάλλον όπου οι κόμβοι έχουν ασύμμετρες δυνατότητες. Για παράδειγμα η εμβέλεια μετάδοσης, η διάρκεια ζωής της μπαταρίας, οι υπολογιστικοί πόροι (CPU, memory) μπορεί να διαφέρουν από κόμβο σε κόμβο. Επίσης η ταχύτητα κίνησης του κάθε κόμβου μπορεί να είναι διαφορετική.

Σε άλλες περιπτώσεις έχουμε κόμβους που διαφέρουν ως προς τις ευθύνες που έχει ο καθένας, όπως λόγω χάρη μπορεί σε ένα δίκτυο μόνο μερικοί κόμβοι να έχουν τη δυνατότητα δρομολόγησης δεδομένων στο δίκτυο. Επίσης τα χαρακτηριστικά του φορτίου των δεδομένων μπορεί να διαφέρουν σε διαφορετικά ad hoc δίκτυα, όπως π.χ. το bit rate, οι χρονικοί περιορισμοί, οι απαιτήσεις αξιοπιστίας, η εκπομπή προς έναν ή πολλούς σταθμούς (Unicast/multicast) και η διευθυνσιοδότηση. Υπάρχουν άλλα δίκτυα που μπορεί να συνυπάρχουν και να συνεργάζονται με ένα κλασσικό δίκτυο που στηρίζεται σε μια συγκεκριμένη υποδομή.

Άλλο θέμα, είναι τα πρότυπα και τα χαρακτηριστικά κινητικότητας που μπορεί να διαφέρουν από δίκτυο σε δίκτυο, όπως λ.χ. οι άνθρωποι που κάθονται στην αίθουσα αναμονής ενός αεροδρομίου με τις διάφορες συσκευές τους, ένα δίκτυο ταξί ή οι στρατιωτικές μανούβρες σε μια ομάδα στρατού που εκτελεί μια αποστολή θα έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά κινητικότητας όπως η ταχύτητα, η προβλεψιμότητα, η κατεύθυνση κίνησης και γενικά η ομοιομορφία (ή έλλειψή της) των χαρακτηριστικών κινητικότητας μεταξύ διαφορετικών κόμβων. Όλες οι πιο πάνω παραλλαγές των ασύρματων ad-hoc δικτύων καθώς και γενικά η φύση τους, επιφέρουν κάποιες προκλήσεις για την ερευνητική κοινότητα που ασχολείται με το συγκεκριμένο τομέα.

Κάποιες από τις σημαντικότερες προκλήσεις είναι η περιορισμένη εμβέλεια ασύρματης μετάδοσης, η broadcast φύση του ασύρματου μέσου, οι απώλειες πακέτων λόγω λαθών μετάδοσης, η κινητικότητα των κόμβων του δικτύου και οι ενεργειακοί περιορισμοί. Επίσης, λόγω της φύσης τους υπάρχει μεγάλος κίνδυνος ασφάλειας και προστασίας δεδομένων, λόγω της ευκολίας παρακολούθησης ασύρματων μεταδόσεων.

1.3 Δρομολόγηση στα ασύρματα Ad-Hoc Δίκτυα[5,18]

Όταν μιλάμε για δρομολόγηση στα δίκτυα εννοούμε την εύρεση μονοπατιού από ένα κόμβο πηγής σε έναν κόμβο προορισμού στο οποίο μονοπάτι θα μεταδώσει ο κόμβος πηγή τις πληροφορίες που θέλει στον κόμβο προορισμού. Στα ad-hoc δίκτυα η τοπολογία του δικτύου μπορεί να αλλάζει συνεχώς, με κόμβους να εισέρχονται και να εξέρχονται από αυτό χωρίς προειδοποίηση. Για το λόγο αυτό, η δρομολόγηση σε αυτά είναι ένα αρκετά πολύπλοκο θέμα γι' αυτό πρέπει να υπάρξει η σχεδίαση έξυπνων αλγορίθμων δρομολόγησης.

Για τα ad-hoc δίκτυα μπορούμε να διακρίνουμε δύο διαφορετικές προσεγγίσεις δρομολόγησης, την **βασισμένη στην τοπολογία** (topology-based) δρομολόγηση και την **βασισμένη στις θέσεις** (position-based) ή αλλιώς **γεωγραφική** (geographic) δρομολόγηση.

Δρομολόγηση με βάση την τοπολογία του δικτύου

Αυτά τα πρωτόκολλα δρομολόγησης χρησιμοποιούν πληροφορίες σχετικά με τους συνδέσμους που υπάρχουν στο δίκτυο μεταξύ των κόμβων για να εκτελέσουν την προώθηση των πακέτων.

Μπορούν να χωριστούν περαιτέρω σε *προδραστικά*, *αντιδραστικά* και *υβριδικά* πρωτόκολλα. Στους **προδραστικούς (proactive ή table-driven)** αλγορίθμους οι κόμβοι διατηρούν και πληροφορίες για την δρομολόγηση πακέτων προς όλα τα διαθέσιμα μονοπάτια του δικτύου, ακόμα και σε αυτά που δεν χρειάζονται άμεσα. Κλασικοί proactive αλγόριθμοι είναι η δρομολόγηση με διανύσματα απόστασης (distance-vector routing, DSDV) και η δρομολόγηση με κατάσταση συνδέσμων (link-state routing, OLSR). Το κύριο μειονέκτημα αυτών των αλγορίθμων είναι το ότι διατηρούν και τα αχρησιμοποίητα μονοπάτια διότι καταναλώνει άσκοπα σημαντικό μέρος του διαθέσιμου εύρους ζώνης.

Οι **αντιδραστικοί (reactive ή on-demand-driven)** αλγόριθμοι διατηρούν μόνο τα μονοπάτια που χρειάζονται τη συγκεκριμένη στιγμή. Αυτό σημαίνει ότι για να αρχίσει η μεταφορά των μηνυμάτων, θα πρέπει πρώτα να βρεθεί ένα μονοπάτι που να ενώνει τους κόμβους που θέλουν να επικοινωνήσουν, εισάγοντας έτσι καθυστέρηση στη μετάδοση των πακέτων. Παραδείγματα reactive αλγορίθμων είναι ο Dynamic Source Routing - DSR, ο Temporally-Ordered Routing Algorithm - TORA και ο Ad hoc On-Demand Distance Vector - AODV

Τα **υβριδικά (hybrid)** πρωτόκολλα δρομολόγησης, όπως το Πρωτόκολλο Δρομολόγησης Ζώνης (Zone Routing Protocol - ZPR), συνδυάζουν τις δύο πιο πάνω τεχνικές, έτσι ώστε να πετύχουν μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και κλιμάκωση.

Γεωγραφική Δρομολόγηση

Οι αλγόριθμοι στη Γεωγραφική δρομολόγησης απαιτούν να γνωρίζουν την γεωγραφική θέση των κόμβων του δικτύου. Αυτό γίνεται συνήθως με κάποιας υπηρεσίας εντοπισμού θέσης, όπως το GPS. Ο αποστολέας ενός πακέτου προσδιορίζει τη θέση του παραλήπτη και την περιλαμβάνει στην διεύθυνση προορισμού του πακέτου.

Η απόφαση δρομολόγησης σε κάθε κόμβο λαμβάνεται με βάση τη γεωγραφική θέση του κόμβου προορισμού που περιέχεται στο πακέτο και τις θέσεις των γειτόνων του κόμβου προώθησης. Έτσι, οι αλγόριθμοι της γεωγραφικής δρομολόγησης δεν απαιτούν ούτε την δημιουργία και διατήρηση μονοπατιών, ούτε την αποθήκευση πινάκων δρομολόγησης γλιτώνοντας έτσι και την αποστολή μηνυμάτων για να τους κρατάνε ενήμερους. Επίσης, πολύ σημαντικό είναι το γεγονός ότι η παράδοση των πακέτων δεν επηρεάζεται από αλλαγές στην τοπολογία του δικτύου ανάμεσα στον αποστολέα και τον παραλήπτη.

Υπάρχουν τρεις κύριες στρατηγικές για την προώθηση του πακέτου στη γεωγραφική δρομολόγηση:

Άπληστη προώθηση (greedy routing): Το πακέτο προωθείται σε ένα γείτονα ενός βήματος που βρίσκεται πλησιέστερα στον προορισμό από ότι ο κόμβος προώθησης.

Περιορισμένη πλημμύρα (restricted flooding): Το πακέτο προωθείται όχι μόνο σε ένα αλλά σε πολλούς γείτονες ενός βήματος που βρίσκονται προς την κατεύθυνση του κόμβου προορισμού.

• **Ιεραρχική Δρομολόγηση (hierarchical approaches):** Οι τεχνικές αυτές εφαρμόζοντας κάποιο είδος ιεραρχίας στους κόμβους του δικτύου, μειώνουν τη πολυπλοκότητα τους και έτσι επιτυγχάνουν μεγάλη κλιμάκωση στο πλήθος των κόμβων. Για παράδειγμα, επιβάλλοντας μια ιεραρχία 2 επιπέδων, μπορούμε να εφαρμόσουμε τον proactive αλγόριθμο των διανυσμάτων απόστασης αν ο προορισμός είναι κοντά (σε πλήθος βημάτων) στον κόμβο προώθησης και άπληστη προώθηση αν είναι μακριά

Κεφάλαιο 2

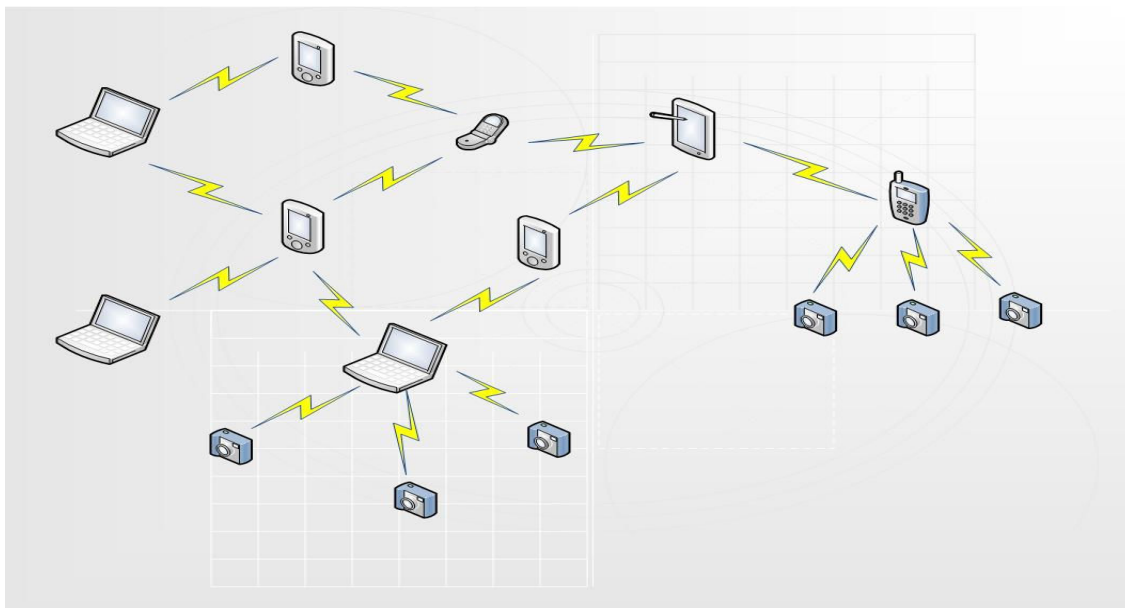
Δίκτυα MANETs και VANETs

2.1 Δίκτυα MANETs	9
2.2 Δίκτυα VANETs	14
2.3 Σύγκριση MANETs με VANETs	19

2.1 Δίκτυα MANETs

2.1.1 Εισαγωγή στα MANETs[3,11,19]

Όταν μιλούμε για Ad-Hoc δικτύωσης με κινητούς κόμβους, εννοούμε την υποστήριξη και αποτελεσματική χρήση των ασύρματων δικτύων, ενσωματώνοντας λειτουργίες δρομολόγησης στους κινητούς κόμβους. Τέτοια δίκτυα θα έχουν δυναμικές, εναλλασσόμενες, και τυχαίες τοπολογίες, που θα αποτελούνται από σχετικά περιορισμένου εύρους ζώνης ασύρματες ζεύξεις.



Σχήμα 2.1 Αυθαίρετο γράφημα ενός MANET

Τα MANET (Κινητά Ad Hoc Δίκτυα), δημιουργήθηκαν για να επεκτείνουν τα πιο πάνω δίκτυα σε αυτόνομα, κινητά, ασύρματα domain, όπου ένα σύνολο κόμβων από μόνοι τους αποτελούν την υποδομή για τη δρομολόγηση με έναν Ad-Hoc τρόπο. Τα MANET είναι ασύρματα ad hoc δίκτυα με ενσωματωμένο επίπεδο δικτύου, όπου κάθε κόμβος λειτουργεί και ως κανονικός χρήστης του δικτύου, αλλά και σαν δρομολογητής, ο οποίος δρομολογεί δεδομένα σε άλλους πιο απομακρυσμένους κόμβους στο δίκτυο. Κάθε κόμβος μπορεί αυθαίρετα να κινηθεί προς οποιαδήποτε κατεύθυνση, αλλάζοντας έτσι το γράφο του δικτύου.

Στόχος τους είναι να παρέχουν τη δυνατότητα άμεσης λογικής ζεύξης, χωρίς προϋπάρχουσα υποδομή, από όλους τους κόμβους προς όλους τους κόμβους ακόμα και αν ο παραλήπτης είναι εκτός της εμβέλειας του αποστολέα, αρκεί κάθε κόμβος να έχει επαφή με τουλάχιστον άλλον έναν σταθμό του δικτύου. Τα δίκτυα MANET χρησιμοποιούν τις διευθύνσεις MAC ως σταθερές διευθύνσεις επιπέδου δικτύου. Έτσι δημιουργείται η ψευδαίσθηση μίας μη ιεραρχικής παραλλαγής δικτύου IP, όπου όλοι οι κόμβοι είναι ισότιμοι και έχουν αμετάβλητες διευθύνσεις ασχέτως της θέσης τους. Ένα δίκτυο MANET λοιπόν, είναι ένα αυτόνομο σύστημα αποτελούμενο από κινητούς κόμβους. Το σύστημα αυτό μπορεί να λειτουργεί απομονωμένο, ή να έχει και διεξόδους (gateways) και να επικοινωνεί με ένα σταθερό δίκτυο. Οι κόμβοι του δικτύου MANET είναι εξοπλισμένοι με ασύρματους πομπούς και δέκτες χρησιμοποιώντας κεραίες. Σε κάποιο χρονικό σημείο, ανάλογα με τη θέση των κόμβων, την εμβέλεια των δεκτών τους, τη μεταδιδόμενη ισχύ τους και τα επίπεδα παρεμβολών, μια ασύρματη σύνδεση στη μορφή ενός τυχαίου “Ad-hoc” δικτύου δημιουργείται ανάμεσά τους. Αυτή η Ad-hoc τοπολογία μπορεί να αλλάξει με την πάροδο του χρόνου, καθώς οι κόμβοι μετακινούνται ή αλλάζουν την ισχύ μετάδοσής τους.

Συνοψίζοντας, τα δίκτυα MANET είναι μια συλλογή από ανεξάρτητους κινητούς κόμβους, που μπορούν να επικοινωνούν ο ένας με τον άλλο με ασύρματα κύματα. Οι κόμβοι που βρίσκονται στην εμβέλεια ο ένας του άλλου, μπορούν να επικοινωνούν απευθείας. Αντίθετα, σε περίπτωση που δεν έχουν άμεσα επικοινωνία, στηρίζονται στους άλλους, ενδιάμεσους κόμβους για να δρομολογήσουν τα δεδομένα/πακέτα που πρέπει να στείλουν. Αυτά τα δίκτυα είναι πλήρως καταναμημένα και μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς τη βοήθεια κάποιας επιπλέον, σταθερής υποδομής.

2.1.2 Χαρακτηριστικά των MANETs[3,11,19]

Ασύρματη επικοινωνία

Λόγω της φύσης των δικτύων MANET, οι συνδέσεις μεταξύ των κόμβων είναι ασύρματες αφού το μοντέλο κινητικότητας προβλέπει όπως οι κόμβοι κινούνται αυθαίρετα και ελεύθερα προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Ένας κόμβος για παράδειγμα μπορεί να εισέλθει στο δίκτυο, μπορεί ξαφνικά να απομακρυνθεί από αυτό και στη συνέχεια να επανέλθει. Ένεκα αυτού του μοντέλου, οι λογικές ζεύξεις μεταξύ των κόμβων είναι ασύρματες.

Αυτονομία

Τα MANETs είναι δίκτυα αυτόνομα και καταναμημένα και κατ' επέκταση δεν βασίζονται σε κάποια προϋπάρχων υποδομή για να λειτουργήσουν. Κάθε κόμβος λειτουργεί αυτόνομα από τους άλλους,. Δρομολογεί και επεξεργάζεται δεδομένα ανάλογα με τους διάφορους αλγορίθμους που τρέχει. Για το λόγο αυτό η διαχείριση του δικτύου είναι καταναμημένη σε όλους τους κόμβους του δικτύου και όχι σε ένα κεντρικό εξυπηρετητή όπως τα κλασσικά μοντέλα δικτύων. Το πιο πάνω καθιστά τα δίκτυα αυτά εξαιρετικά προκλητικά στη διαχείριση τους και επομένως πρέπει να σχεδιαστούν έξυπνοι αλγόριθμοι δρομολόγησης.

Διπλός ρόλος κόμβων (χρήστες και δρομολογητές)

Λόγω της μη ύπαρξης κεντρικού ελέγχου και αφοσιωμένων δρομολογητών για να εξυπηρετούν την κίνηση δεδομένων του δικτύου καθώς και των πακέτων ελέγχου του δικτύου, υπάρχει η ανάγκη όπως ο κάθε κόμβος εκτός από ένας απλός χρήστης στο δίκτυο, πρέπει να είναι και δρομολογητής ο οποίος θα δρομολογεί διαδικτυακή κίνηση που δεν αφορά κατ' ανάγκη τον ίδιο, αλλά κάποιον άλλο κόμβο στο δίκτυο ο οποίος δεν είναι στην ασύρματη εμβέλεια του αρχικού αποστολέα των δεδομένων.

Δυναμικές τοπολογίες

Οι κόμβοι σε ένα δίκτυο MANET μπορούν να κινηθούν αυθαίρετα προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Επίσης ο κάθε κόμβος στο δίκτυο έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά όπως διαφορετικό bandwidth και διαφορετική εμβέλεια εκπομπής ραδιοκυμάτων.

Τα πιο πάνω χαρακτηριστικά προκαλούν πολλές φορές το “σπάσιμο” των λογικών ζεύξεων μεταξύ των κόμβων και τη δημιουργία καινούργιων ζεύξεων με άλλους κόμβους του δικτύου που τυγχάνει να είναι στην εμβέλεια τους την συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Ως αποτέλεσμα του πιο πάνω, το γράφημα/τοπολογία του δικτύου αλλάζει συνεχώς και κατ' επέκταση οι

πίνακες δρομολόγησης πρέπει να ανανεώνονται συνεχώς επιβαρύνοντας έτσι τη διαχείριση του δικτύου και γενικά το δίκτυο.

Ετερομορφία Κόμβων

Κάθε κόμβος στο δίκτυο πιθανών να έχει διαφορετικό εξοπλισμό, όπως για παράδειγμα διαφορετικές ασύρματες διεπαφές με διαφορετικές ικανότητες εκπομπής και λήψης ραδιοκυμάτων. Επίσης η επεξεργαστική δύναμη μπορεί να ποικίλει από κόμβο σε κόμβο. Αυτή η ανομοιομορφία στους κόμβους μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα και δυσκολίες στο δίκτυο και γι' αυτό πρέπει ο έλεγχος αυτός να συμπεριληφθεί στα διάφορα πρωτόκολλα και αλγόριθμους που θα σχεδιαστούν για τέτοια δίκτυα έτσι ώστε οι κόμβοι να προσαρμόζονται στις διάφορες μεταβαλλόμενες συνθήκες.

Ενεργειακοί περιορισμοί

Λόγω του ότι έχουμε να κάνουμε με κινητούς κόμβους, πολλές φορές κινητούς υπολογιστές και PDAs, δημιουργείται το πρόβλημα ότι ενώ οι κόμβοι έχουν περιορισμένη ισχύ σε ηλεκτρικό ρεύμα, η απαίτηση μεγαλώνει καθώς το δίκτυο μεγαλώνει και οι κόμβοι εκτός από τα δεδομένα που αφορούν αυτούς πρέπει να δρομολογούν και δικτυακή κίνηση για άλλους κόμβους.

Το δίλημμα που υπάρχει, είναι η ισορροπία μεταξύ κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύς από τις μπαταρίες των κόμβων και η επεξεργαστική δύναμη και η εμβέλεια εκπομπής ραδιοκυμάτων από αυτούς. Για παράδειγμα αν μεγαλώσουμε την εμβέλεια εκπομπής και λήψης των κόμβων θα έχουμε λιγότερες μεταπηδήσεις για τη δρομολόγηση πακέτων στο δίκτυο. Από την άλλη όμως, η χρονική διάρκεια της μπαταρίας των κόμβων θα εξαντλείται γρηγορότερα. Το ίδιο ισχύει και για την επεξεργαστική δύναμη των κόμβων.

Να αναφερθεί πως το πιο πάνω πρόβλημα δεν είναι ζήτημα πλέον στα δίκτυα VANET τα οποία θα αναλύσουμε σε επόμενο κεφάλαιο.

Κλιμάκωση Δικτύου

Σε ένα τέτοιο απρόβλεπτο δίκτυο όπως ένα MANET, πρέπει οπωσδήποτε στη σχεδίαση αλγορίθμων και πρωτοκόλλων να λάβουμε υπόψη και την επεκτασιμότητα του δικτύου. Πολλοί αλγόριθμοι σχεδιάστηκαν και εφαρμόστηκαν επιτυχώς σε δίκτυα MANET, αλλά λειτουργούν μόνο σε περιπτώσεις όπου το δίκτυο είναι ακόμα μικρό. Αυτοί οι αλγόριθμοι αποτυγχάνουν σε περιπτώσεις όπου στο δίκτυο εισέρχονται πολλοί κόμβοι.

Η σχεδίαση αλγορίθμων για την καλή κλιμάκωση ενός δικτύου είναι πολύ δύσκολη όταν ερχόμαστε αντιμέτωποι με την δυναμική και ανεξέλεγκτη φύση των ασύρματων ad-hoc δικτύων όπως είναι τα MANETs.

Περιορισμένη ασφάλεια

Γενικά η ασύρματη φύση στα δίκτυα, συμπεριλαμβάνει και πολλούς κινδύνους και απειλές ασφάλειας όπως επιθέσεις από eavesdropping, spoofing και denial-of-service.

Για το λόγο αυτό, πρέπει να υιοθετηθούν τακτικές για αποφυγή αυτών των ανεπιθύμητων ενεργειών.

2.1.3 Εφαρμογές των MANETs[11]

Τα MANET έχουν πρακτική εφαρμογή σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει κάποια σταθερή ενσύρματη δικτυακή υποδομή. Τέτοιες περιπτώσεις έχουμε όταν δεν είναι οικονομικά, πρακτικά ή γεωγραφικά εφικτό να δημιουργηθεί η απαραίτητη υποδομή, ή επειδή οι καταστάσεις δεν επιτρέπουν την εγκατάστασή της, όπως :

- Όταν άτομα μιας ομάδας, όπως σε μια σύσκεψη θέλουν να ανταλλάξουν πληροφορίες.
- Σε ένα χώρο εργασίας όπου οι εργαζόμενοι θέλουν να ανταλλάξουν αρχεία.
- Σε μια επείγουσα επιχείρηση διάσωσης, όταν τα μέλη του σωστικού συνεργείου θέλουν να συντονίσουν την προσπάθειά τους. Για παράδειγμα σε περίπτωση όταν κάποιο καταστροφικό συμβάν καταστρέψει την ενσύρματη υποδομή των σταθερών δικτύων.
- Σε μάχες κατά τη διάρκεια πολέμου, για τον συντονισμό των στρατιωτών στην άμυνα και την επίθεση.

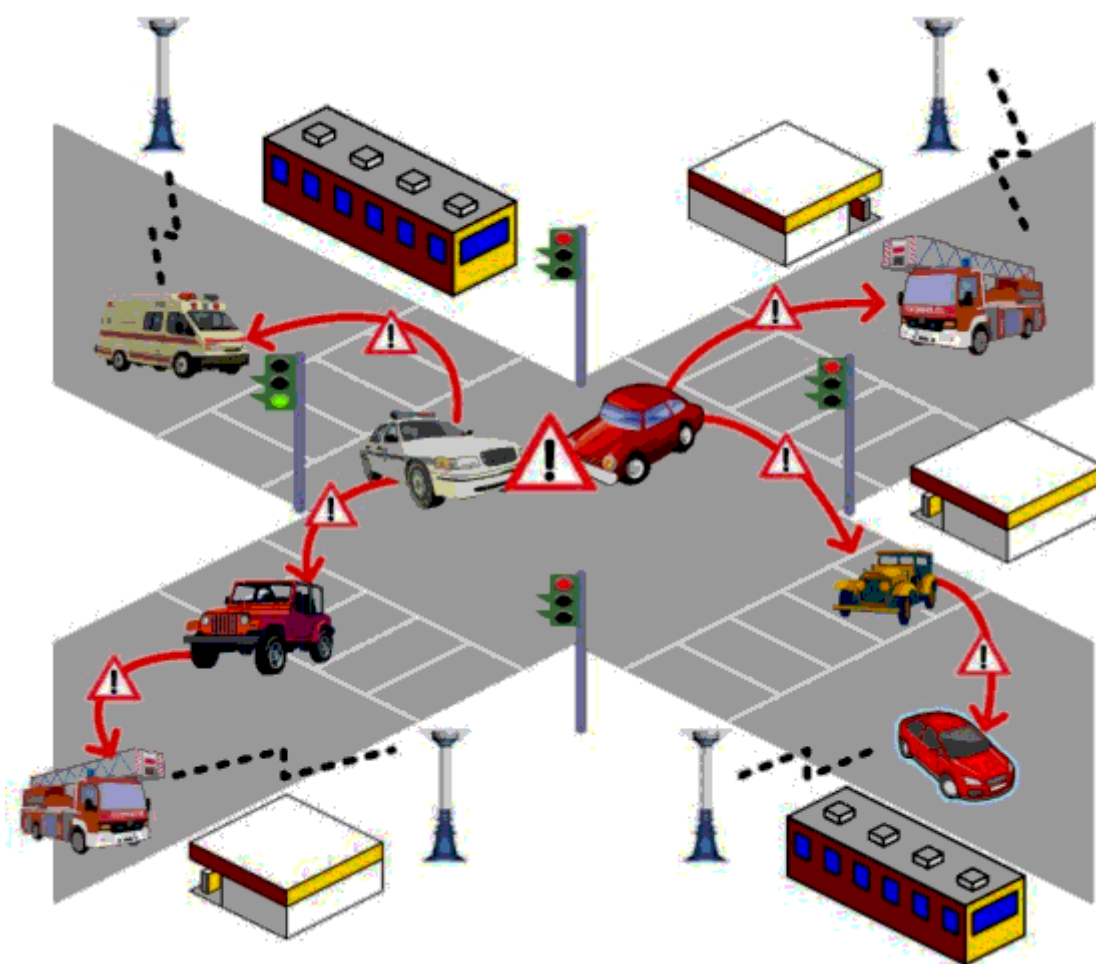
Μπορεί κανείς να δημιουργήσει κυριολεκτικά μια ατέλειωτη λίστα από εφαρμογές που μπορούν να υποστηριχθούν από ένα καλά δομημένο MANET. Υπάρχουν είδη ιδέες για εφαρμογές όπως τηλεφωνία (Voice over MANET).

Το δύσκολο μέρος είναι να δημιουργηθούν οι κατάλληλοι αλγόριθμοι και πρωτόκολλα που να καθιστούν ένα δίκτυο MANET αξιόπιστο, ασφαλές και εύκολα επεκτάσιμο. Εφόσον υπάρχουν αυτές οι συνθήκες, οι εφαρμογές που μπορούν να υλοποιηθούν και να υποστηριχθούν από ένα MANET είναι απεριόριστες.

2.2 Δίκτυα VANETs

2.2.1 Εισαγωγή στα δίκτυα VANETs[1,2,4,16]

Τα Vehicular Ad-Hoc Networks (VANETs) είναι ένα είδος ασύρματου δικτύου που επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων. Ανήκουν στην κατηγορία των Mobile ad-hoc δικτύων και διαφέρουν αρκετά από τα απλά δίκτυα wireless που έχουμε στο σπίτι, λόγω του ότι η τοπολογία των κόμβων αλλάζει διαρκώς κάνοντας ένα τέτοιο δίκτυο πρόκληση στην κατασκευή του. Κάθε όχημα είναι ένας κόμβος του ad-hoc δικτύου και μπορεί να λαμβάνει και ν' αναμεταδίδει μηνύματα μέσω του ασύρματου δικτύου.



Σχήμα 2.2 Vehicular Ad Hoc Network

Ένα δίκτυο VANET μπορεί να προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα όπως μεγαλύτερη ασφάλεια κατά την οδήγηση, ενημερωτικά μηνύματα από κάποια κέντρο διαχείρισης οδικού δικτύου, καλύτερη σχεδίαση δρομολογίου προς έναν προορισμό καθώς και άλλες εφαρμογές όπως πρόσβαση στο Ιντερνέτ από το αυτοκίνητο, μηνύματα χρηστών από αυτοκίνητο σε αυτοκίνητο, αυτόματη πληρωμή διοδίων κ.λπ.

Στα δίκτυα VANETs μπορούμε να συναντήσουμε δυο βασικά είδη επικοινωνίας. Το πρώτο και πιο συνηθισμένο είναι με την άμεση ανταλλαγή μηνυμάτων από ένα όχημα σε ένα άλλο. Το άλλο είδος επικοινωνίας που μπορεί να συναντήσουμε είναι η επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και Road Side Units (RSUs), τα οποία είναι ένας εξοπλισμός αφοσιωμένος για ένα σκοπό σε ένα σημείο του δρόμου. Για την υλοποίηση τώρα μπορεί να χρησιμοποιηθούν διάφορες τεχνολογίες επικοινωνίας, όπως Wireless IEEE 802.11p, τεχνολογία κυψέλης 2G/3G ή και συνδυασμός και των δυο παραπάνω.

Τα διάφορα μηνύματα που προωθούνται στα δίκτυα VANETs θα είναι είτε single hop στην οποία περίπτωση η επικοινωνία είναι άμεση από έναν κόμβο του δικτύου με κάποιον άλλο σε μια συγκεκριμένη απόσταση, είτε θα είναι multi hop στην οποία περίπτωση θα έχουμε το φαινόμενο κατανομής ενός μηνύματος διαμέσου πολλών κόμβων έως ότου φτάσει στον τελικό προορισμό. Με άλλα λόγια, ο κάθε κόμβος λειτουργεί σαν δρομολογητής που προωθεί το μήνυμα παρακάτω.

Σε κάθε όχημα το οποίο θα μπορεί να υποστηρίξει και γενικά να είναι μέλος ενός δικτύου VANET πρέπει να υπάρχουν μια σειρά από τεχνολογίες. Συγκεκριμένα θα πρέπει να υπάρχει το κύριο όργανο για πολλούς αλγορίθμους δρομολόγησης που σχεδιάστηκαν για τα VANETs, το οποίο είναι το GPS το οποίο δηλώνει ανά πάσα στιγμή τη θέση μας στο χάρτη. Επιπλέον θα χρειάζονται κάποιοι αισθητήρες στο όχημά μας ανάλογα με τις ανάγκες των διάφορων εφαρμογών που θα υλοποιηθούν. Πρέπει να υπάρχει ένα σύστημα επεξεργασίας των δεδομένων καθώς και σύστημα λήψης και αποστολής μηνυμάτων. Τέλος πρέπει ένα όχημα να έχει και ένα σύστημα διαχείρισης (Μια διεπαφή με το χρήστη δηλαδή). Να πούμε φυσικά εδώ πως κάποια συστήματα επιτρέπουν επικοινωνία μεταξύ μόνο οχημάτων. Στην περίπτωση όμως που επιτρέπουν και με οδικές μονάδες (Road Side Units) θα πρέπει να υπάρχει άμεση επικοινωνία με κάποιο κέντρο, όπου τα δεδομένα συλλέγονται σε βάσεις δεδομένων για να μπορούν να έχουν πρόσβαση σε αυτά άλλα οχήματα.

Όσο αφορά την ασφάλεια στα VANETs, τα περισσότερα αυτοκίνητα είναι γεμάτα με αισθητήρες όπως φρένων, ανάγνωσης οδοστρώματος, αισθητήρες ομίχλης κ.λπ. Σκοπός των VANETs αναφορικά με την ασφάλεια είναι η δημοσίευση αυτών των δεδομένων σε άλλα οχήματα για έγκαιρη ενημέρωση.

Η διάδοση των δεδομένων στα δίκτυα αυτά απαιτεί καινοτόμους αλγόριθμους δρομολόγησης, εξαιτίας των μοναδικών χαρακτηριστικών των δικτύων αυτών, που τα κάνουν να ξεχωρίζουν από άλλα κοινά ασύρματα δίκτυα. Ως φυσικό επακόλουθο η δρομολόγηση αποτελεί μια πρόκληση εξαιτίας των υψηλών δυνατοτήτων ενός τέτοιου δικτύου.

2.2.2 Χαρακτηριστικά των VANETs[1,2]

Δυναμική Τοπολογία

Η ταχύτητα η οποία έχουν τα οχήματα στα δίκτυα VANETs και η μεγάλη επιλογή των μονοπατιών σε μια διαδρομή, καθορίζουν τη δυναμική τοπολογία των VANETs. Εάν υποθέσουμε ότι δύο οχήματα απομακρύνονται μεταξύ τους με μια ταχύτητα 60 mph (25m/sec) και εάν η εμβέλεια μετάδοσης είναι περίπου 250m, αυτό συνεπάγει ότι η σύνδεση μεταξύ αυτών των δύο οχημάτων θα διαρκέσει για μόνο 5 δευτερόλεπτα. Αυτό καθορίζει την ιδιαίτερα δυναμική τοπολογία του.

Συνεχές Διακοπτόμενο Δίκτυο

Λόγω της δυναμικής τοπολογίας που έχει το δίκτυο, αναμένεται πως οι συνδέσεις θα διαρκούν για πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Για να υπάρχουν διακοπές στο δίκτυο πρέπει να υπάρχουν αρκετοί κόμβοι έτσι ώστε σε περίπτωση που σπάσει ένας σύνδεσμος, να υπάρχει κάποιο άλλο γειτονικό όχημα έτσι ώστε να δημιουργηθεί νέο μονοπάτι. Στην πραγματικότητα αυτό δεν γίνεται λόγω χαμηλής πυκνότητας οχημάτων στους δρόμους, με αποτέλεσμα να διακόπτεται συνεχώς το δίκτυο. Αυτό μπορεί να λυθεί με Road Side Units τα οποία θα λειτουργούν σαν repeaters.

Προβλεπόμενη Κινητικότητα Οχημάτων

Στα δίκτυα VANETs, λόγω του ότι έχουμε αυτοκίνητα που κινούνται σε δρόμους οι οποίοι διέπονται από διάφορους κανονισμούς (όπως όριο ταχύτητας, κατεύθυνση δρόμων κλπ.) , μπορούμε ως ένα σημείο να προβλέψουμε την κίνηση, την κατεύθυνση και την ταχύτητα που θα έχουν τα οχήματα.

Ενεργειακοί Περιορισμοί

Σε αντίθεση με τα δίκτυα MANETs όπου οι κόμβοι έχουν περιορισμένους πόρους όσο αφορά την κατανάλωση ενέργειας, τα δίκτυα VANETs δεν έχουν κάποιο περιορισμό στην κατανάλωση ενέργειας αφού οι κόμβοι είναι οχήματα. Αυτό είναι πολύ σημαντικό, αφού οι

αλγόριθμοι που θα σχεδιαστούν για δίκτυα VANETs δεν θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη την ενέργεια και άρα θα μπορούν να αποδώσουν καλύτερα σε άλλους παράγοντες. Για παράδειγμα θα μπορούν να έχουν αυξημένη επεξεργαστική δύναμη.

Αξιοπιστία των κόμβων

Το πρόβλημα που δημιουργείται στα δίκτυα όπως τα VANETs είναι ότι ένα όχημα μπορεί να εισέλθει ή να αποχωρήσει από το δρόμο ανά πάσα στιγμή και χωρίς προειδοποίηση ή ακόμα μπορεί ένα όχημα να ελαττώσει ή να αυξήσει ταχύτητα, βγαίνοντας έτσι από την εμβέλεια των άλλων μονοπατιών. Γι' αυτό τον λόγο το σπάσιμο των διάφορων συνδέσεων αναμένεται να είναι μεγάλο. Το πρόβλημα πρέπει να λύσουν έξυπνα σχεδιασμένοι αλγόριθμοι δρομολόγησης.

Περιβάλλον επικοινωνίας

Το πρότυπο κινητικότητας είναι πολύ διαφορετικό σε διαφορετικά περιβάλλοντα επικοινωνίας όπως είναι μέσα σε ένα αυτοκινητόδρομο ή μέσα σε αστικούς δρόμους. Οι αλγόριθμοι δρομολόγησης και πρόβλεψης κινητικότητας κόμβων επομένως επίσης πρέπει να προσαρμοστεί για αυτές τις αλλαγές. Το πρότυπο κινητικότητας σε ένα αυτοκινητόδρομο, που είναι ουσιαστικά ένα μονοδιάστατο πρότυπο, είναι μάλλον απλό και εύκολο να προβλεφθεί. Αλλά για το πρότυπο κινητικότητας μέσα σε πόλεις, η δομή των οδών, η μεταβλητή πυκνότητα των κόμβων, η παρουσία κτηρίων και δέντρων που συμπεριφέρονται ως εμπόδια καθιστούν το έργο της σχεδίασης δικτύων VANET σύνθετο και δύσκολο.

Χρονικοί Περιορισμοί

Το θέμα της ασφάλειας (όπως τα ατυχήματα) στις εφαρμογές των VANET προϋποθέτει την εγκαίρως παράδοση των μηνυμάτων στους σχετικούς κόμβους. Επομένως στα δίκτυα αυτά το αυξημένο bandwidth δεν είναι τόσο σημαντικό ζήτημα όσο είναι αυτό των καθυστερήσεων στην παράδοση των μηνυμάτων.

2.2.3 Εφαρμογές των VANETs[1,2]

Μια από τις πιο κύριες εφαρμογές των VANETs είναι αυτή των ITS (Intelligent Transportation Systems).

Πρόκειται για τεχνολογίες που εφαρμόζονται στα οχήματα, για να κάνουν τα συστήματα πιο ασφαλή, πιο αποδοτικά και πιο αξιόπιστα. Παραδείγματα των συστημάτων αυτών αποτελούν και τα συστήματα πλοήγησης όπως τα GPS, συστήματα επικοινωνίας μεταξύ των οδηγών για ανταλλαγή πληροφοριών, συστήματα που βελτιώνουν την ορατότητα σε δύσκολες καιρικές συνθήκες όπως π.χ. ομίχλη την νύχτα, συστήματα προειδοποίησης για ύπαρξη αντικειμένων και εμποδίων στο δρόμο, συστήματα που ελέγχουν την ταχύτητα με την οποία κινείται το όχημα και προειδοποιούν τον οδηγό αν κινείται λιγότερο από το ελάχιστο ή περισσότερο από το επιτρεπτό όριο, συστήματα υπεύθυνα να προβαίνουν σε διορθωτικές κινήσεις, όπως φρενάρισμα του οχήματος όταν διαπιστωθεί από τους ειδικούς αισθητήρες ότι αυτό βρίσκεται σε κίνδυνο τον οποίο ο οδηγός δεν είναι σε θέση να αποφύγει. Το πιο σημαντικό εδώ φυσικά είναι το γεγονός ότι η ανίχνευση διάφορων καταστάσεων από τους αισθητήρες των αυτοκινήτων θα στέλνονται σε όλα τα οχήματα στο δίκτυο για να προειδοποιούνται οι οδηγοί έγκαιρα. Άλλες εφαρμογές είναι η αναγνώριση οδικής συμφοράς στους δρόμους έτσι ώστε να αποφεύγουν οι οδηγοί τους συγκεκριμένους δρόμους. Επίσης η προειδοποίηση των οδηγών για απότομη ελάττωση ταχύτητας ή ατυχήματος σε προπορευόμενο όχημα για αποφυγή επιπλέον ζημιών. Ακόμη, μπορεί να ενημερώνονται οι οδηγοί για διάφορες διαφημίσεις και τιμολόγια καθώς κοντεύουν σε κάποιο κατάστημα, η ακόμα να ενημερώνεται ο οδηγός κατά πόσο υπάρχει διαθέσιμος χώρος στάθμευσης σε ένα χώρο. Επίσης μπορεί να υπάρχει αυτόματη χρέωση των οχημάτων όταν περνούν από κάποια διόδια.

Είναι ατέλειωτο το φάσμα των εφαρμογών που θα υλοποιηθούν όταν τα δίκτυα αυτά γίνουν ασφαλές και αποδοτικά. Κάτι τελευταίο, είναι η δυνατότητα που θα έχουν οδηγοί, να μπορούν ενώ βρίσκονται στα οχήματα τους και κινούνται να συνδεθούν μέσω οδικών κόμβων με το internet και να έχουν όλα τα πλεονεκτήματα που αυτό συνεπάγεται.

2.3 Σύγκριση MANETs με VANETs

Τα δίκτυα MANETs είναι μια υποκατηγορία των ασύρματων ad hoc δικτύων. Στη συνέχεια τα VANETs είναι μια υποκατηγορία των δικτύων MANET. Το πιο πάνω έχει σαν επακόλουθο τα δίκτυα MANET και τα δίκτυα VANET να έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά.

Συγκεκριμένα, και τα δυο προσπαθούν να δημιουργήσουν και να διατηρήσουν ένα δίκτυο μεταξύ πολλών ασύρματων και κινητών κόμβων, χωρίς την ύπαρξη κάποιας σταθερής υποδομής αλλά με ένα τρόπο ad hoc.

Από την άλλη όμως τα δυο πιο πάνω δίκτυα παρουσιάζουν και πολλές διαφορές μεταξύ τους και για τον λόγο αυτό πρέπει να ακολουθηθούν διαφορετικές μέθοδοι και τακτικές για να υλοποιηθούν τα δίκτυα αυτά.

Κατ' αρχή υπάρχει μια τεράστια διαφορά στην κινητικότητα των κόμβων στα δυο δίκτυα. Ενώ στα MANETs έχουμε χαμηλή κινητικότητα, στα VANETs έχουμε κόμβους που κινούνται με μεγάλες ταχύτητες. Επίσης οι κόμβοι δεν είναι αξιόπιστοι αφού μπορεί ένας κόμβος να εισέλθει ή να αποχωρήσει από το δίκτυο χωρίς προειδοποίηση. Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι θα έχουμε περισσότερες απώλειες συνδέσμων στα VANETs. Φυσικά στα VANETs έχουμε κάπως προβλεπόμενη κίνηση και ταχύτητα από τους κόμβους, επειδή τα οχήματα ακολουθούν τον κώδικα οδική κυκλοφορίας. Σε αντίθεση στα MANETs η κίνηση αν και μικρής εμβέλειας, είναι απρόβλεπτη. Επίσης στα VANETs λόγω της ύπαρξης συσκευών GPS στα οχήματα, μπορούμε να έχουμε γνώση της τοποθεσίας και φοράς τους οχήματος καθώς επίσης και της ταχύτητάς του.

Μια άλλη διαφορά είναι η τοπολογία του δικτύου στα δυο αυτά δίκτυα, αφού στα VANETs, της μεγάλης ταχύτητας των κόμβων θα έχουμε μεγάλες και συνεχές αλλαγές στο γράφο του δικτύου.

Επίσης στα δυο αυτά δίκτυα έχουμε διαφορετικούς περιορισμούς στην ενέργεια και στην κατανάλωση αυτής. Συγκεκριμένα στα δίκτυα VANETs δεν έχουμε ενεργειακούς περιορισμούς αφού υπάρχει η ανατροφοδότηση της μπαταρίας από τα οχήματα. Αντιθέτως στα MANETs μας περιορίζει η ζωή της μπαταρίας της συσκευής/κόμβου. Η διαφορά αυτή είναι πολύ σημαντική και αποτελεί μεγάλο πλεονέκτημα στη σχεδίαση αλγορίθμων για τα VANETs .

Πιο κάτω βλέπουμε τις κύριες διαφορές που έχουν τα δίκτυα MANETs από τα δίκτυα VANETs

■ MANETs	■ VANETs
■ Τυχαία Κίνηση Κόμβων ■ Τυχαία Ταχύτητα ■ Περιορισμένη Ενέργεια ■ Μεγαλύτερη Διάρκεια Συνδεσιμότητας Κόμβων ■ Σχετικά μικρή κινητικότητα κόμβων ■ Πιο μικρές αλλαγές της τοπολογίας του δικτύου ■ Μικρότερος Αριθμός Κόμβων	■ Συγκεκριμένη Κίνηση και φορά (Κώδικας Οδικής Κυκλοφορίας) ■ Προβλεπόμενη Ταχύτητα ■ Όχι Ενεργειακός Περιορισμός ■ Μικρή Διάρκεια Συνδεσιμότητας Κόμβων ■ Αυξημένη κινητικότητα Κόμβων ■ Μεγάλες αλλαγές στην τοπολογία του δικτύου ■ Συνήθως περισσότεροι κόμβοι στο δίκτυο

Πίνακας 2.1: MANETs VS VANETs

Κεφάλαιο 3

Περιγραφή αλγορίθμων δρομολόγησης MANETs[3]

3.1 AODV	21
3.2 DSR	24
3.3 OLSR	26
3.4 TORA	28

3.1 AODV[16]

Το πρωτόκολλο δρομολόγησης Ad hoc on-demand distance vector (AODV) χρησιμοποιείται από κινητούς κόμβους (mobile nodes) σε ad hoc δίκτυα. Προσφέρει γρήγορη προσαρμογή σε δυναμικούς συνδέσμους μεταξύ των κόμβων. Επίσης προσφέρει χαμηλή επεξεργασία και χαμηλό overhead στα πακέτα που ανταλλάσσονται στο δίκτυο. Χρησιμοποιεί destination sequence numbers έτσι ώστε να μην υπάρχουν loops μεταξύ κόμβων, αποφεύγοντας έτσι προβλήματα όπως το “counting to infinity” που σχετίζεται με distance vector πρωτόκολλα.

Ο αλγόριθμος αυτός αποτελείται από τρεις φάσεις. Τη φάση της αναζήτησης της διαδρομής, τη φάση της μετάδοσης των δεδομένων αφού έχει βρεθεί η διαδρομή και η συντήρησης της διαδρομής αυτής.

Αρχικά όταν ένας κόμβος έχει να στείλει κάποια δεδομένα σε κάποιο άλλο κόμβο προς τον οποίο δεν γνωρίζει την διαδρομή, τότε αυτός ο κόμβος αρχικοποιεί την φάση της αναζήτησης διαδρομής.

Στη φάση αυτή ο κόμβος στέλνει με broadcast ένα request πακέτο RREQ σε όλους τους άμεσους γείτονες του, στο οποίο, μεταξύ άλλων (RFC 3561) , περιέχει και το ip address του κόμβου προορισμού.

Κάθε κόμβος που παίρνει το πακέτο πρέπει να πάρει μια απόφαση σχετικά με πως θα πράξει στην συνέχεια. Σε περίπτωση που ο κόμβος που μόλις πήρε το πακέτο είναι ο κόμβος προορισμού, δηλαδή έχει το ip address που έχει μέσα το PREQ πακέτο, τότε ο κόμβος αυτός απαντά πίσω με unicast στον αρχικό κόμβο με ένα PREP πακέτο στο οποίο περιέχεται η διαδρομή που ακολούθησε το PREQ πακέτο για να φτάσει προς αυτόν.

Σε περίπτωση που ο κόμβος δεν είναι ο κόμβος προορισμού, τότε αν έχει στη μνήμη του αυτός ο κόμβος ένα μονοπάτι από αυτόν στον προορισμό, τότε και πάλι ο κόμβος αυτός απαντά πίσω στον αρχικό κόμβο με τον πιο πάνω τρόπο για να τον ενημερώσει για το μονοπάτι που χρειάζεται.

Στην περίπτωση όμως που ο κόμβος αυτός δεν ανήκει στις δυο πιο πάνω περιπτώσεις, τότε αυτός στέλνει πάλι με broadcast ένα PREQ μήνυμα στους γειτονικούς του κόμβους ζητώντας διαδρομή για τον συγκεκριμένο προορισμό. Σε αυτή την περίπτωση η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι το PREQ μήνυμα να φτάσει σε ένα κόμβο που είτε είναι ο προορισμός, είτε γνωρίζει μια διαδρομή προς τον προορισμό με αποτέλεσμα να ενημερωθεί ο αρχικός κόμβος.

Όταν μια διαδρομή έχει ανακαλυφθεί και ο αρχικός κόμβος γνωρίζει αυτή τη διαδρομή, τότε πρέπει να αρχίσει η φάση της μεταφοράς των δεδομένων από τον αρχικό κόμβο στον προορισμό, μέσω αυτής της διαδρομής. Όλα τα πακέτα που πρέπει να μεταφερθούν από τον αρχικό κόμβο στον κόμβο προορισμού θα χρησιμοποιήσουν την συγκεκριμένη διαδρομή δεδομένου ότι η διαδρομή αυτή θα είναι ενεργή για όσο διαρκέσει η μεταφορά των δεδομένων.

Σε αυτή την περίπτωση όπου η διαδρομή θα “σπάσει”, λόγω σφάλματος ή αν κάποιος κόμβος βγει εκτός δικτύου, τότε ο τελευταίος κόμβος της διαδρομής που πήρε επιτυχώς το πακέτο αναγνωρίζει ότι ο σύνδεσμος επικοινωνίας που έχει χαθεί και τότε στέλνει πίσω με unicast ένα πακέτο σφάλματος PERR στον αρχικό κόμβο για να τον ενημερώσει για την κατάσταση αυτή.

Όταν ο αρχικός κόμβος πάρει το PERR μήνυμα, τότε ελέγχει αν έχει στη μνήμη του μια εναλλακτική διαδρομή προς τον συγκεκριμένο κόμβο προορισμού. Στην περίπτωση που έχει μια εναλλακτική διαδρομή τότε χρησιμοποιείται αυτή η διαδρομή για να αποσταλούν τα υπόλοιπα δεδομένα. Σε αντίθετη περίπτωση όπου δεν υπάρχει διαθέσιμη μια εναλλακτική διαδρομή, τότε ο αρχικός κόμβος αρχικοποιεί ξανά την φάση της ανακάλυψης διαδρομής που προαναφέρθηκε, για να εντοπίσει μια άλλη διαδρομή μέσω της οποίας θα στείλει τα δεδομένα.

Εκ, πρώτης όψεως ο τρόπος με τον οποίο ο συγκεκριμένος αλγόριθμος ψάχνει για να βρει τις διαδρομές είναι ο ίδιος με τον τρόπο που χρησιμοποιεί ο αλγόριθμος DSR. Παρόλα αυτά υπάρχει μια μεγάλη διαφορά μεταξύ του DSR και του AODV.

Συγκεκριμένα, στον GSR κάθε πακέτο περιέχει σε αυτό όλες της λεπτομέρειες της διαδρομής, όπως όλες οι διευθύνσεις των ενδιάμεσων κόμβων που ανήκουν στη διαδρομή,

ενώ στον AODV υπάρχει μόνο η διεύθυνση του κόμβου προορισμού και τα sequence numbers. Αυτό σημαίνει πως στον AODV έχουμε χαμηλότερο overhead.

Το πλεονέκτημα του AODV είναι ότι μπορεί να προσαρμοστεί σε πολύ δυναμικά δίκτυα όπου η τοπολογία του δικτύου αλλάζει συνεχώς. Παρόλα αυτά όμως είναι πολύ πιθανόν να παρατηρηθούν μεγάλες καθυστερήσεις στην εύρεση και δημιουργία της διαδρομής.

Επιπρόσθετα, με το γεγονός ότι οι διάφορες απώλειες των συνδέσμων που θα προκύψουν θα αρχικοποιούν καινούριες ανακαλύψεις διαδρομών, αναμένεται πως θα υπάρχουν αρκετές καθυστερήσεις στο δίκτυο. Επίσης αναμένεται πως θα υπάρχει μεγάλη κατανάλωση bandwidth καθώς το δίκτυο μεγαλώνει.

Άλλο ένα ζήτημα είναι πως ο AODV βρίσκει και αποθηκεύει περισσότερο από μια διαδρομές για ένα προορισμό. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί σαν πλεονέκτημα διότι σε περίπτωση που υπάρχει απώλεια κάποιου συνδέσμου θα υπάρχει είδη εναλλακτική διαδρομή και δεν θα χρειάζεται ο κόμβος να ψάξει για άλλη διαδρομή. Από την άλλη, η εύρεση των εναλλακτικών αυτών διαδρομών θα αυξήσει τις καθυστερήσεις και την κατανάλωση bandwidth στο δίκτυο.

3.2 DSR[15]

Το πρωτόκολλο DSR (Dynamic Source Routing Protocol) είναι ένα on-demand πρωτόκολλο δρομολόγησης που εξ αρχής χρησιμοποιήθηκε σε δίκτυα MANETs όμως υιοθετήθηκε και σε δίκτυα VANETs. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος αποτελείται από δυο κύριες φάσεις. Τη φάση του Route Discovery και τη φάση του route maintenance.

Η φάση του route discovery ενεργοποιείται στον αλγόριθμο στην περίπτωση που πρέπει ένας κόμβος (source node) να στείλει δεδομένα σε ένα άλλο κόμβο (destination node). Να σημειωθεί όμως ότι ο DSR ψάχνει για μονοπάτια (routes) στο δίκτυο μόνο στις περιπτώσεις που χρειάζεται να αποστείλει κάποιο πακέτο αποφεύγοντας έτσι αχρείαστη κίνηση δεδομένων (traffic) στο δίκτυο. Κάθε φορά που ένας κόμβος ανακαλύπτει ένα νέο route, το αποθηκεύει στην μνήμη του έτσι ώστε να μην χρειάζεται να ψάξει για το ίδιο route στο μέλλον. Να σημειωθεί ότι στον DSR, ένα route περιλαμβάνει όλους τους ενδιαμέσους κόμβους στο μονοπάτι που έχει επιλεχτεί.

Για να βρει ένας κόμβος ένα route από αυτόν, στον κόμβο προορισμού του, χρησιμοποιείται η τακτική του flooding, στην οποία γίνεται flooding ολόκληρο το δίκτυο με route request messages. Με την μέθοδο αυτή κάθε κόμβος που παίρνει ένα route request messages, αν δεν είναι ο προορισμός, τότε κάνει flooding το μήνυμα στους επόμενους γειτονικούς του κόμβους.

Καθώς το route request message ταξιδεύει προς τον destination node, αποθηκεύονται σε αυτό πληροφορίες με τον κάθε κόμβο από τον οποίο περνά και έτσι όταν το route request message φτάσει στον προορισμό του, περιέχει το route από τον αρχικό κόμβο στον προορισμό.

Όταν το πακέτο φτάσει στον προορισμό του, ο συγκεκριμένος κόμβος απαντά με ένα route reply message στον αρχικό κόμβο το οποίο θα περιέχει το τελικό route.

Να σημειωθεί ότι το route reply message μπορεί να ταξιδέψει προς τα πίσω στον αρχικό κόμβο με δυο τρόπους. Σε περίπτωση που ο destination node έχει αποθηκευμένο στο cache του κάποιο route προς τον source node, τότε το χρησιμοποιεί για να στείλει το route reply message. Σε αντίθετη περίπτωση το route reply message θα μεταδοθεί σύμφωνα με το route που έχει αποθηκευτεί στο route request message που μόλις πήρε.

Επίσης στην πιο πάνω φάση αν ένας ενδιαμέσος κόμβος που παίρνει ένα route request message, έχει αποθηκευμένο στο cache του ένα route από αυτόν στον προορισμό (destination node), τότε ο κόμβος αυτός στέλνει ένα route reply message στον αρχικό κόμβο με το τελικό route.

Η φάση του route maintenance ενεργοποιείται στην περίπτωση λανθασμένης μετάδοσης κάποιου πακέτου. Σε αυτή την περίπτωση το κομμάτι του route που περνά από τον προβληματικό κόμβο θα αφαιρεθεί από το route που είναι αποθηκευμένο στο cache του συγκεκριμένου κόμβου. Στη συνέχεια θα ενεργοποιηθεί η φάση του route discovery για να βρεθεί το επόμενο αξιόπιστο route.

Στα πακέτα που στέλνονται από τον DSR υπάρχουν διάφορα πεδία όπως TTL (Time To Live) και Sequence Number με τα οποία γίνεται πιο αποδοτική η φάση του flooding για την εύρεση κάποιου route.

Συγκεκριμένα όταν ένα route request message γίνεται flooding στο δίκτυο, κάθε κόμβος θα κάνει retransmit το πακέτο στους γειτονικούς του κόμβους, μόνο στην περίπτωση που το πεδίο TTL δεν έχει γίνει 0 ή το συγκεκριμένο sequence number του πακέτου δεν έχει είδη σταλεί σε κάποια άλλη φάση. Με τον πιο πάνω τρόπο αποφεύγεται η αποστολή πακέτων περισσότερο της μιας φορές που μπορεί να ήρθαν σε ένα κόμβο από διαφορετικά μονοπάτια. Ο DSR είναι αρκετά όμοιος με τον αλγόριθμο AODV, με τη διαφορά ότι χρησιμοποιεί source routing σε αντίθεση με άλλους on-demand αλγόριθμους που χρησιμοποιούν τα routing tables σε κάθε ενδιάμεσο κόμβο του route.

Άλλη διαφορά με άλλους on-demand αλγόριθμους είναι ότι ο DSR είναι beacon-less, δηλαδή δεν χρειάζονται τα περιοδικά hello messages (beacons) να αποστέλλονται από κάθε κόμβο για να ενημερώνει τους γειτονικούς του κόμβους για την ύπαρξη του. Αυτό θεωρείται και πλεονέκτημα του συγκεκριμένου αλγορίθμου αφού δεν δημιουργεί περίσσιο traffic στο δίκτυο.

Ένα μειονέκτημα του DSR είναι ότι σε περίπτωση λάθους, η φάση του route maintenance αδυνατεί να διορθώσει το λανθασμένο μονοπάτι τοπικά σε ένα κόμβο, αλλά πρέπει να αρχικοποιήσει ξανά τη φάση του route discovery κάνοντας ξανά flooding το δίκτυο.

Ένα άλλο μειονέκτημα σε σχέση με άλλους table-driven αλγορίθμους είναι ότι έχει μεγαλύτερη καθυστέρηση για να γίνει το connection setup, δηλαδή να εγκαθιδρυθεί σύνδεση μεταξύ source και destination nodes.

Επίσης ένα άλλο πρόβλημα είναι ότι δημιουργείται μεγάλο overhead σε περιπτώσεις μεγάλων δικτύων όπου από το source στο destination υπάρχουν πολλά ενδιάμεσα nodes στα οποία πρέπει να ταξιδέψει το route request message και άρα τα πακέτα θα μεγαλώνουν σε μέγεθος αφού από κάθε κόμβο που περνά το πακέτο θα αποθηκεύονται σε αυτό επιπλέον πληροφορίες.

Άρα ο DSR είναι κατάλληλος σε μικρά δίκτυα στα οποία υπάρχει χαμηλό traffic. Σε αντίθετη περίπτωση η απόδοση του αλγορίθμου μειώνεται καθώς αυξάνεται το mobility του δικτύου

3.3 OLSR[10]

Ο OLSR διατηρεί Routes μεταξύ δύο οποιωνδήποτε κόμβων στο δίκτυο. Επίσης μηνύματα HELLO χρησιμοποιούνται για να διατηρούνται αυτά τα routes. Αυτά τα μηνύματα είναι ανυπόφερτα σε δίκτυα όπως τα MANETs και τα VANETs γιατί το mobility σε τέτοια δίκτυα είναι πολύ διαφορετικό από τα συνηθισμένα δίκτυα καθώς οι κόμβοι έρχονται και φεύγουν με τρόπο ad-hoc.

Το πρωτόκολλο OLSR είναι μια βελτίωση των κλασικών link state αλγορίθμων έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις των MANETs. Λειτουργεί ως ένα table driven πρωτόκολλο και άρα ανταλλάζει συχνά πληροφορίες με άλλους κόμβους που αφορούν την τοπολογία του δικτύου.

Η βασική ιδέα που χρησιμοποιείται σε αυτό το πρωτόκολλο είναι αυτή των multipoint relays (MPRs). Τα MPR είναι κάποιοι διαλεγμένοι κόμβοι που προωθούν μηνύματα broadcasting κατά τη διάρκεια της διαδικασίας του flooding. Αυτή η διαδικασία μειώνει το overhead των διάφορων μηνυμάτων που κινούνται στο δίκτυο σε σχέση με τους κλασικούς μηχανισμούς flooding, στους οποίους ο κάθε κόμβος πρέπει να μεταδίδει κάθε μήνυμα που παίρνει για πρώτη φορά. Στον OLSR αντιθέτως, πληροφορίες που αφορούν την κατάσταση του δικτύου (link state information), παράγονται και μεταδίδονται μόνο στους κόμβους που έχουν διαλεχτεί ως MPRs. Δηλαδή μόνο οι κόμβοι αυτοί μεταφέρουν δεδομένα ελέγχου (control traffic)

Επίσης ένα άλλο πλεονέκτημα του πιο πάνω είναι ότι μειώνεται γενικά ο αριθμός των μηνυμάτων ελέγχου που κινούνται ανά πάσα στιγμή στο δίκτυο.

Ένας κόμβος επιλέγει MPRs από τους γειτονικούς κόμβους που απέχουν ένα hop από αυτόν καθώς και κόμβους που έχουν κάποια συμμετρία μεταξύ τους. Για παράδειγμα bi-directional κόμβους στους οποίους υπάρχει από και προς επικοινωνία μεταξύ κόμβου και MPR.

Επομένως καθώς οι MPRs ανταλλάζουν περιοδικά μηνύματα ελέγχου μεταξύ τους, ανακοινώνουν σε αυτά ότι έχουν άμεση επικοινωνία με τους κόμβους που τους έχουν επιλέξει ως MPR και άρα στην εύρεση ενός route, πρέπει να βρεθεί ένα route από ένα MPR σε ένα άλλο. Να σημειωθεί όμως ότι στον OLSR επειδή πρέπει να διατηρούνται όλα τα

routes, πρέπει να γίνεται εύρεση των routes από ένα MPR σε όλους τους πιθανούς προορισμούς στο δίκτυο. Επίσης με την πιο πάνω επιλογή bi-directional κόμβων, αποφεύγονται και τα προβλήματα όπου τα μηνύματα μεταφέρονται πάνω σε uni-directional links.

Κάθε κόμβος σε ένα δίκτυο που τρέχει ο OLSR περιέχει ένα neighborhood table, ένα topology table και ένα routing table, το οποίο υπολογίζεται βάση του topology table. Στο neighborhood table καταγράφονται όλοι οι κόμβοι που απέχουν ένα hop απόσταση από τον συγκεκριμένο κόμβο. Οι κόμβοι αυτοί ανακαλύπτονται με την ανταλλαγή HELLO μηνυμάτων.

Στο Topology table υπάρχουν μεταξύ άλλων πληροφορίες όπως destination address και destinations MPR. Σε αυτό φυλάγονται οι πιο πάνω πληροφορίες για όλους τους γνωστούς προορισμούς του δικτύου και ανανεώνονται περιοδικά.

Στο routing table ο κάθε κόμβος κρατεί πληροφορίες για κάθε γνωστό προορισμό. Συγκεκριμένα υπάρχουν πληροφορίες όπως destination address, next hop address και distance. Σημειώση ότι ο routing table ανανεώνεται κάθε φορά που υπάρχει αλλαγή στον topology table ή στο neighborhood table.

Ο OLSR είναι κατασκευασμένος έτσι ώστε να λειτουργεί ανεξάρτητα από άλλα πρωτόκολλα και επομένως δεν χρειάζεται να κάνει οποιεσδήποτε υποθέσεις για το Link layer. Επίσης είναι κατασκευασμένος έτσι ώστε να λειτουργεί κατανεμημένα και άρα δεν βασίζεται πάνω σε καμιά κεντρική οντότητα.

Επίσης δεν απαιτεί αξιόπιστη μεταφορά των μηνυμάτων ελέγχου αφού κάθε κόμβος στέλνει περιοδικά αυτά τα μηνύματα και άρα μπορεί να αντεπεξέλθει κάποιας απώλειας αυτών των μηνυμάτων/πακέτων που στην πραγματικότητα υπάρχουν συχνά σε ασύρματα δίκτυα.

Το πλεονέκτημα στον OLSR είναι ότι πάντα υπάρχει ένα διαθέσιμο route από ένα κόμβο σε ένα άλλο, αλλά αυτό έχει σαν επακόλουθο τα διάφορα μηνύματα που ανταλλάσσονται να έχουν πολύ μεγάλο overhead.

Να σημειωθεί επίσης, πως ο OLSR προσφέρει βέλτιστα routes από άποψη του μέγιστου αριθμού hops. Είναι ιδανικός αλγόριθμος για μεγάλα δίκτυα και με μεγάλο mobility επειδή η τεχνική με τα MPRs αποδίδει καλά σε τέτοια δίκτυα.

3.4 TORA[17]

Ο αλγόριθμος TORA χρησιμοποιείται σε ασύρματα δίκτυα πλέγματος και σε κινητά ad hoc δίκτυα (MANETs). Ανήκει στην οικογένεια των αλγορίθμων δρομολόγησης αντίστροφων συνδέσεων (link reversal) και πρόκειται για έναν adaptive (situation-aware) αλγόριθμο δρομολόγησης. Αυτό σημαίνει ότι αρχικά εγκαθιδρύεται με proactive διαδρομές, όμως στην πορεία οι διαδρομές του γίνονται on-demand. Ο αλγόριθμος αυτός είναι προσαρμοσμένος για χρήση σε multi-hop δίκτυα και έχει τις ακόλουθες ιδιότητες: δομημένη εκτέλεση, ελευθερία από ατέρμων βρόγχους στην δρομολόγηση, δρομολόγηση πολλαπλών διαδρομών, αντιδραστική ή δυναμική καθιέρωση και συντήρηση διαδρομών.

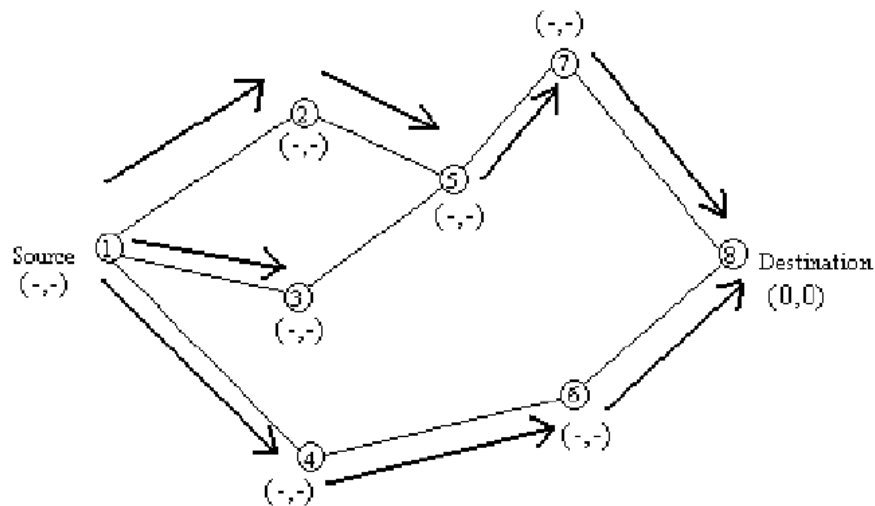
Αποτελείται από τέσσερις φάσεις. Τη φάση της Δημιουργία διαδρομών, τη φάση της συντήρησης διαδρομών, τη φάση της Εξάλειψης διαδρομών και τη φάση της βελτιστοποίησης διαδρομών.

Κάθε κόμβος στο δίκτυο, διατηρεί μια μεταβλητή height, η οποία περιλαμβάνει τις ακόλουθες τιμές:

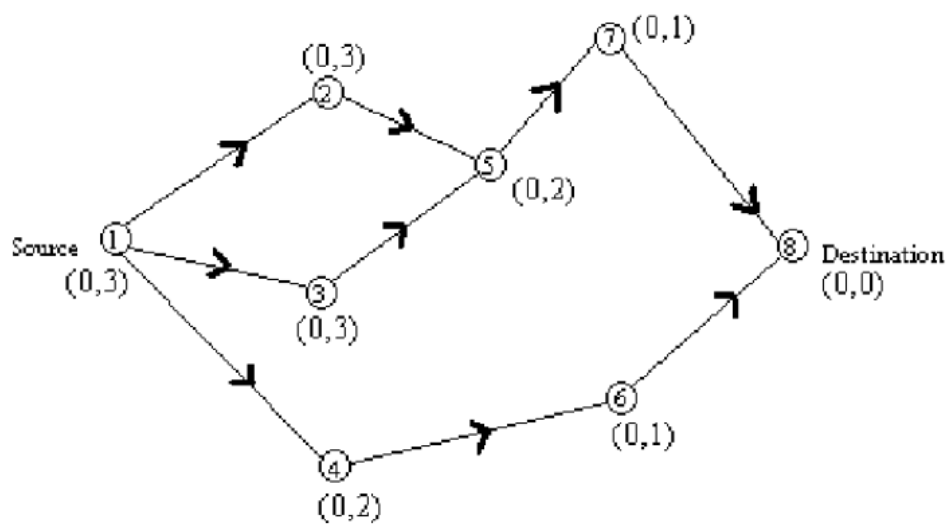
1. Λογικός χρόνος αποτυχίας σύνδεσης
2. Μοναδικό αναγνωριστικό (ID) του κόμβου-πηγή
3. Δυαδικό ψηφίο δεικτών αντανάκλασης
4. Παράμετρος διάδοσης
5. Μοναδική ταυτότητα του ίδιου του κόμβου

Ο TORA κατασκευάζει και διατηρεί έναν Κατευθυνόμενο ακυκλικό Γράφο μέσω του οποίου γίνεται η δρομολόγηση από την πηγή προς τον προορισμό. Αυτό σημαίνει ότι δεν μπορούν τρεις κόμβοι να έχουν το ίδιο “height”.

Το πρωτόκολλο χρησιμοποιεί τέσσερα διαφορετικά πακέτα ελέγχου: τα Query(QRY), τα Update(UPD), τα Clear(CLR) και τα Optimize(OPT). Η δημιουργία διαδρομών γίνεται χρησιμοποιώντας τα πακέτα QRY και UPD. Με την εκκίνηση του αλγόριθμου, τίθεται η τιμή “height” του κόμβου προορισμού ίση με 0, ενώ οι υπόλοιπες τιμές ίσες με “NULL”. Η πηγή του μηνύματος μεταδίδει ένα πακέτο QRY με την ταυτότητα του κόμβου προορισμού σε αυτό. Με τον τρόπο αυτό, κάθε κόμβος στη διαδρομή που έχει height non-NULL, ανταποκρίνεται με ένα UPD πακέτο που έχει το ύψος του. Στη συνέχεια, κάθε κόμβος που λαμβάνει ένα τέτοιο πακέτο, αυξάνει το δικό του height κατά ένα περισσότερο από αυτό του κόμβου που προήλθε.



Σχήμα α



Σχήμα β

Σχήμα 3.1 Περιγραφή αλγορίθμου TORA

Στο πιο πάνω σχήμα βλέπουμε τη διαδικασία δημιουργίας διαδρομών του TORA. Όπως φαίνεται στο σχήμα α, ο κόμβος 5 δεν διαδίδει QRY από τον κόμβο 3 δεδομένου ότι έχει ήδη διαδώσει το μήνυμα QRY από τον κόμβο 2. Στο σχήμα β, η πηγή (δηλ. ο κόμβος 1) μπορεί να έχει λάβει ένα UPD από κάθε ένα από τους κόμβους 2 ή 3 αλλά δεδομένου ότι ο κόμβος 4 του δίνει το μικρότερο ύψος, διατηρεί εκείνο το ύψος.

Σε περίπτωση μετακίνησης κόμβων, τότε έχουμε το σπάσιμο κάποιας διαδρομής και η φάση «Συντήρηση διαδρομών» είναι υπεύθυνη για την εύρεση μιας νέας διαδρομής προς τον ίδιο προορισμό. Επίσης, οι άκυρες διαδρομές «σβήνονται» από το δίκτυο μέσω της ραδιοφωνικής μετάδοσης πακέτων CLR σε όλο το δίκτυο (φάση «Εξάλειψης διαδρομών»). Κατά τη

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

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

Πλεονέκτημα του αλγόριθμου είναι ότι οι ενδιάμεσοι κόμβοι διατηρούν πληροφορίες δρομολόγησης μόνο προς τους γειτονικούς τους, αποφεύγοντας τις καθυστερήσεις και τον μεγάλο αποθηκευτικό φόρτο της διατήρησης ολοκληρωμένων διαδρομών. Μειονέκτημά του είναι ότι δημιουργεί προσωρινά άκυρες διαδρομές, εισάγοντας έτσι καθυστερήσεις.

Κεφάλαιο 4

Προσομοίωση

4.1 Περιγραφή σεναρίων και παραμέτρων	31
4.2 Μετρικές προσομοίωσης	33

4.1 Περιγραφή σεναρίων και παραμέτρων

Σκοπός της μελέτης είναι η πειραματική μελέτη αλγόριθμων δρομολόγησης που δημιουργήθηκαν για δίκτυα MANETs, πάνω σε σενάρια με τοπολογίες και κινητικότητα που υπάρχει σε δίκτυα VANETs.

Για την πιο πάνω μελέτη, χρησιμοποιήσαμε τον προσομοιωτή OPNET στον οποίο εισαγάγαμε αφού δημιουργήσαμε αρχικά 3 σενάρια τα οποία περιείχαν ασύρματους κόμβους. Συγκεκριμένα δημιουργήσαμε τα σενάρια light, medium και heavy.

Στο κάθε σενάριο τοποθετήσαμε διαφορετικό αριθμό κόμβων. Στο light σενάριο έχουμε 208 κόμβους, στο medium σενάριο έχουμε 340 κόμβους και στο heavy σενάριο έχουμε 892 κόμβους. Τα τρία αυτά σενάρια φαίνονται στο παράρτημα Α.

Στη συνέχεια, επειδή θα μελετούσαμε 5 διαφορετικούς αλγορίθμους (AODV, OLSR, DSR, GRP, TORA), δημιουργήσαμε 5 σενάρια light, 5 σενάρια medium και 5 σενάρια heavy. Η διαφορά κάθε σεναρίου ήταν ο αλγόριθμος που τρέχουν οι κόμβοι. Άρα συνολικά τρέξαμε 15 σενάρια.

Για αποστολή δεδομένων επιλέξαμε 10 κόμβους να στέλνουν δεδομένα σε τυχαίους προορισμούς στο σενάριο light, 15 κόμβους στο σενάριο medium και 20 κόμβους στο σενάριο heavy. Να σημειώσουμε πως οι τροχιές που δόθηκαν σε κάθε κόμβο έγιναν με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να δημιουργείται η τοπολογία και η κινητικότητα που έχουν τα οχήματα που κινούνται μέσα σε ένα αυτοκινητόδρομο.

Τα οχήματα που επιλέξαμε σε κάθε σενάριο να αποστέλλουν δεδομένα φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα.

Light Traffic	Medium Traffic	Heavy Traffic
Car110	Car110	car150
Car120	Car120	car160
Car130	Car130	car170
Car140	Car140	car180
Car150	Car150	car190
Car160	Car160	car200
Car170	Car170	car210
Car180	Car180	car220
Car190	Car190	car230
Car200	Car200	car240
	Car210	car260
	Car220	car310
	Car230	car320
	Car240	car330
	Car250	car340
		car360
		car370
		car390
		car400
		car410
Total 10	Total 15	Total 20

Πίνακας 4.1 οχημάτων που αποστέλλουν δεδομένα στο δίκτυο

Να αναφέρουμε επίσης πως οι κόμβοι στα σενάρια είναι manet stations με auto assign IPv4 address και ότι όλα τα σενάρια τα τρέξαμε για 10 λεπτά (600 δευτερόλεπτα).

Τεχνικά χαρακτηριστικά των κόμβων φαίνονται αναλυτικά στο παράρτημα Α.

Οι μετρικές τις οποίες συλλέξαμε δεδομένα και αναλύσαμε φαίνονται πιο κάτω.

4.2 Μετρικές προσομοίωσης

Number of hops per route

Αυτή η μετρική είναι ο αριθμός των μεταπηδήσεων ανά διαδρομή. Στην OPNET η μετρική αυτή αναπαριστά τον αριθμό των μεταπηδήσεων που παρουσιάστηκαν γενικά στο δίκτυο για κάθε διαδρομή σε όλους τους κόμβους προορισμού.

Route discovery time

Είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να βρεθεί μια διαδρομή από τον αρχικό κόμβο, στον κόμβο προορισμού. Ο χρόνος μετριέται από τη στιγμή που ο αρχικός κόμβος θα στείλει μήνυμα ότι χρειάζεται μια διαδρομή προς ένα κόμβο, μέχρις ότου παραλάβει μια απάντηση από το δίκτυο με τη διαδρομή που ζήτησε.

Traffic Send

Είναι το σύνολο της δικτυακής κίνησης που έχει σταλεί γενικά στο δίκτυο από όλους τους αρχικούς κόμβους.

Traffic Received

Είναι το σύνολο της δικτυακής κίνησης που έχει ληφθεί γενικά στο δίκτυο από όλους τους κόμβους προορισμού

End to end delay

Είναι ο χρόνος που χρειάζεται από τη δημιουργία ενός πακέτου στον αρχικό κόμβο, μέχρι και την παράδοσή του στον κόμβο προορισμού. Ο χρόνος αυτός συμπεριλαμβάνει και όλους τους ενδιάμεσους χρόνους για μετάδοση και διάδοση του πακέτου.

Data Dropped

Είναι ο συνολικός αριθμός πακέτων που “χάθηκαν” γενικά σε όλο το δίκτυο από όλους τους κόμβους. Ο λόγος για “χάσιμο” ενός πακέτου μπορεί να είναι για ανεπάρκεια πόρων από ένα κόμβο για επεξεργασία ή αποθήκευση του πακέτου, καθώς επίσης και αν ξεπεράσαμε τον μέγιστο επιτρεπτό αριθμό μεταπηδήσεων του πακέτου ή ακόμα και αν με την άφιξη του πακέτου σε ένα κόμβο, ο συγκεκριμένος κόμβος δεν έχει κάποια διαδρομή για τον προορισμό του πακέτου. Επίσης μετριέται και ο αριθμός των πακέτων που καταργήθηκαν από κόμβους που δεν συμμετέχουν στη διαδρομή.

Retransmission Attempts

Είναι ο συνολικός αριθμός των προσπαθειών αποστολής ενός πακέτο γενικά από όλους τους κόμβους του δικτύου μέχρις ότου το πακέτο παραδοθεί στον κόμβο προορισμού του, είτε καταργηθεί από τον κόμβο μετά από πολλαπλές προσπάθειες αποστολής

Throughput

Αναπαριστά τον συνολικό αριθμό των bits (σε bits/sec) που έχουν αποσταλεί γενικά στο δίκτυο από τα στρώματα του WLAN σε πιο ψηλά στρώματα δικτύου σε όλους τους κόμβους του δικτύου. Γενικά το throughput είναι το μέσο ποσοστό επιτυχούς παράδοσης μηνυμάτων πέρα από ένα κανάλι επικοινωνίας.

Total Cashed Replies Sent

Όταν ένα μήνυμα αίτησης διαδρομής φτάνει σε ένα κόμβο, ο κόμβος αυτός αν έχει κάποια διαδρομή προς τον κόμβο προορισμού, απαντά πίσω στον αρχικό κόμβο με την διαδρομή αυτή. Η συγκεκριμένη μετρική μετρά όλες τις απαντήσεις που έστειλαν όλοι οι κόμβοι στο δίκτυο, οι οποίοι είχαν μια τέτοια διαδρομή αποθηκευμένη στην τοπική τους μνήμη.

Total route requests sent

Είναι ο αριθμός όλων των αιτημάτων για εύρεση διαδρομής που έχουν σταλεί γενικά από όλους τους κόμβους του δικτύου.

Total route replies sent

Είναι το σύνολο όλων των route replies που έχουν σταλεί από όλους τους κόμβους του δικτύου. Στον συνολικό αριθμό συμπεριλαμβάνονται τόσο τα route replies από τους κόμβους προορισμού, όσο και από τους ενδιάμεσους κόμβους που έτυχε να έχουν κάποια διαδρομή αποθηκευμένη προς τον κόμβο προορισμού.

Total route errors sent

Είναι το σύνολο των route errors που έχουν σταλεί στο δίκτυο γενικά από όλους τους κόμβους σε περίπτωση σπάσιμο κάποιου μονοπατιού στη διαδρομή.

Κεφάλαιο 5

Αποτελέσματα

5.1 Εισαγωγή	35
5.2 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων	36
5.3 Σύγκριση Αλγορίθμων	50
5.4 Αποτελέσματα Μετά Από Αλλαγές	59

5.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε και αναλύσουμε τα αποτελέσματα που εξάγαμε από τις γραφικές παραστάσεις που πήραμε από τις προσομοιώσεις.

Ο αλγόριθμος AODV έτρεξε επιτυχώς και στα τρία σενάρια (light, medium, heavy).

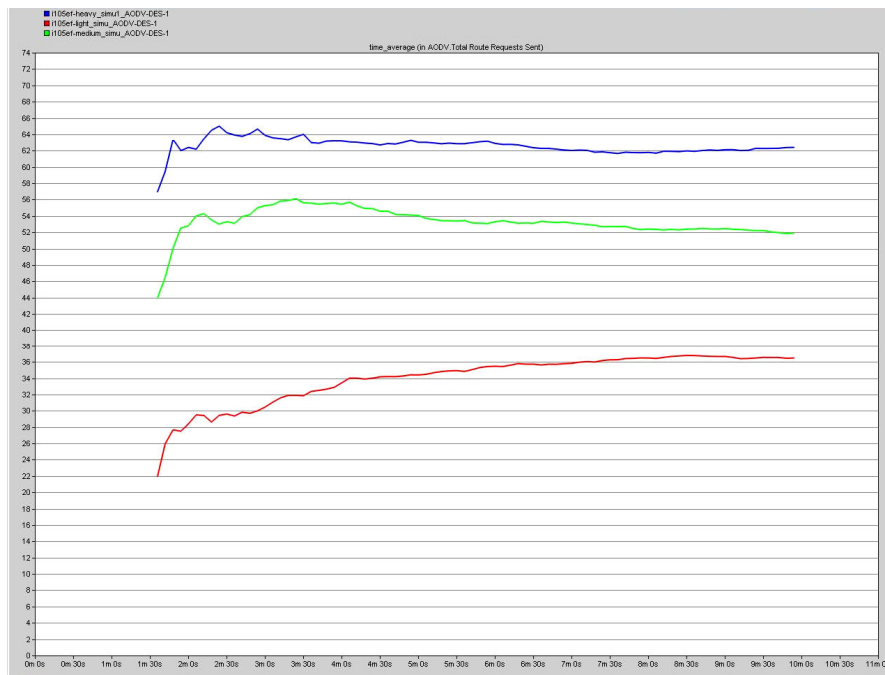
Ο DSR έτρεξε επιτυχώς στα σενάρια light και medium, αλλά απέτυχε στο heavy.

Οι αλγόριθμοι OLSR και GRP έτρεξαν μόνο στο light και ο TORA δεν κατάφερε να τρέξει σε κανένα σενάριο. Άρα αποκλείουμε από τα πιο κάτω αποτελέσματα τον TORA καθώς επίσης και τον GRP αφού είναι αλγόριθμος της OPNET και δεν υπάρχουν αρκετές πληροφορίες για την ανάλυσή του.

Στις συγκρίσεις των αλγορίθμων, συγκρίνουμε μόνο τους τρεις αλγόριθμους (AODV, DSR, OLSR), μόνο για το light σενάριο, αφού μόνο σε αυτό έτρεξαν επιτυχώς και οι τρεις αλγόριθμοι για να μπορούμε να τους συγκρίνουμε.

Αποτελέσματα για τον GRP, καθώς και συγκρίσεις μεταξύ αλγορίθμων που έτρεξαν και στο medium σενάριο (AODV, DSR) μπορείτε να βρείτε στο παράρτημα Α.

5.2 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων

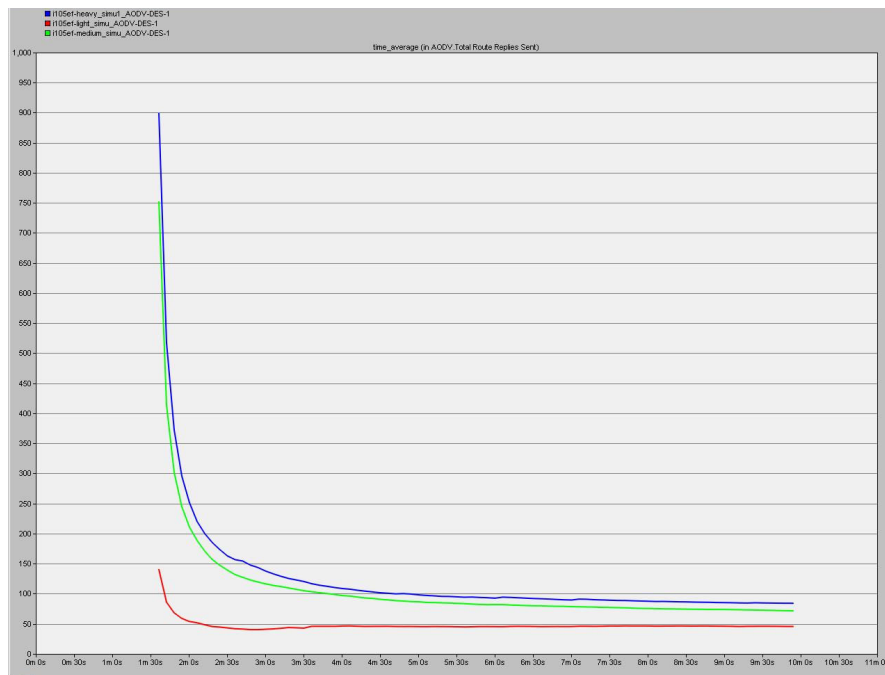


Σχήμα 5.1 Γραφική παράσταση ολικών μηνυμάτων εύρεσης διαδρομής που έχουν σταλεί (Total Route Requests Sent)

Στην πιο πάνω γραφική παράσταση βλέπουμε για τα τρία σενάρια που αφορούν τον αλγόριθμο AODV, τον ολικό αριθμό μηνυμάτων εύρεσης διαδρομής (route request-RREQ) που έχουν σταλεί. Τα σενάρια light, medium και heavy, αντιπροσωπεύουν οι γραμμές με χρώμα κόκκινο, πράσινο και μπλε, αντίστοιχα.

Όπως φαίνεται πιο πάνω, ο αριθμός των RREQ που έχουν σταλεί σε κάθε περίπτωση αυξάνεται καθώς αυξάνουμε την πυκνότητα των οχημάτων στο δίκτυο. Επίσης σε κάθε σενάριο είχαμε και διαφορετικό αριθμό οχημάτων που έστελναν αρχικά πακέτα.

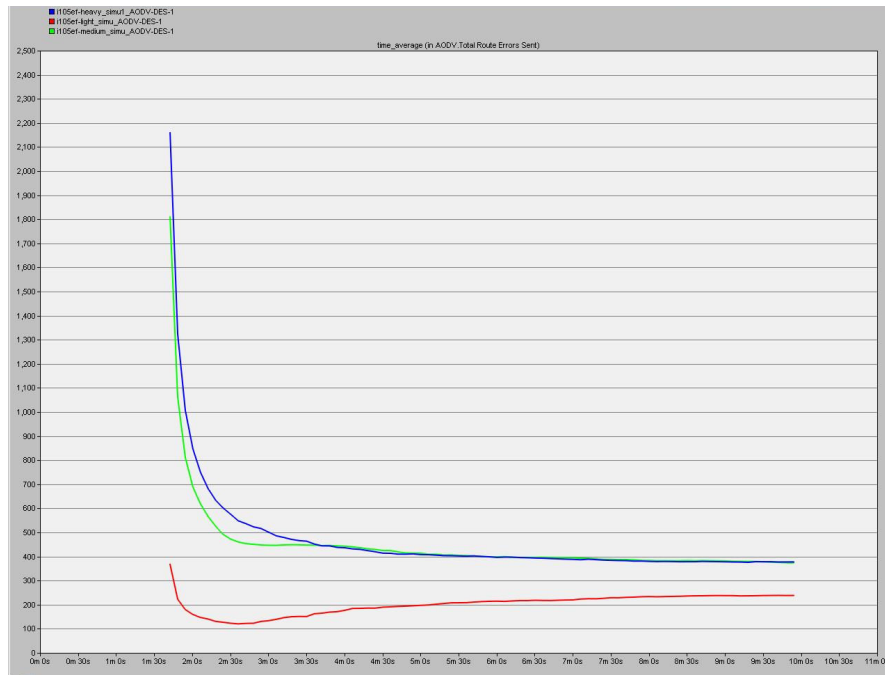
Συγκεκριμένα είχαμε 10, 15 και 20 οχήματα στα σενάρια light, medium και heavy αντίστοιχα. Το γεγονός αυτό δικαιολογεί στην πιο πάνω παράσταση την αύξηση των RREQ που στέλνονται.



Σχήμα 5.2 Γραφική παράσταση ολικών απαντήσεων διαδρομών που έχουν σταλεί (total route replies sent)

Πιο πάνω βλέπουμε το συνολικό αριθμό route replies (RREP) που έχουν σταλεί στο δίκτυο με τη χρήση του AODV. Επίσης εδώ βλέπουμε ότι ο αριθμός των RREP που στέλνονται αυξάνεται καθώς πάμε από το light, στο medium και τέλος στο heavy. Αυτό συμβαίνει και εδώ για τον λόγο ότι σε κάθε σενάριο έχουμε περισσότερους κόμβους να κινούνται στο δίκτυο, αλλά ταυτόχρονα έχουμε και περισσότερα οχήματα που έχουν να μεταδώσουν δεδομένα σε άλλους κόμβους.

Αν και από τα πιο πάνω γραφήματα δεν μπορούμε να εξάγουμε κάποιο σημαντικό συμπέρασμα για τη χρήση του AODV πάνω σε δίκτυα VANETs, εντούτοις επαληθεύουμε την ορθότητα των προσομοιώσεων που έχουμε τρέξει.

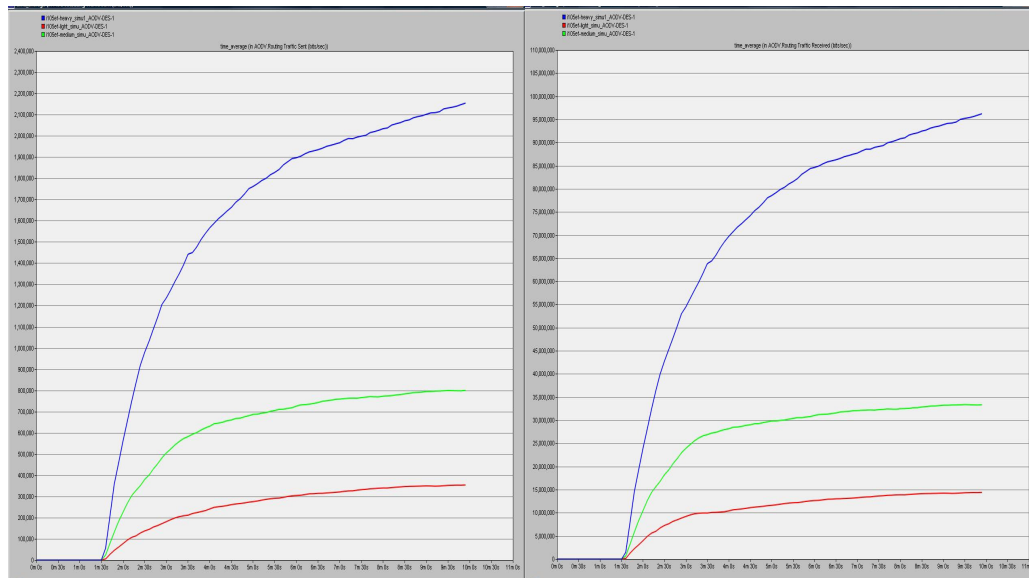


Σχήμα 5.3 Γραφική παράσταση ολικών σφαλμάτων διαδρομής που στάλθηκαν (total route errors sent)

Στο πιο πάνω γράφημα, βλέπουμε τον συνολικό αριθμό σφαλμάτων διαδρομής (RERR) που έχουν σταλεί γενικά στο δίκτυο για τον AODV. Όπως φαίνεται στο σενάριο heavy (μπλε γραμμή), το οποίο έχει τους πιο πολλούς κόμβους στο δίκτυο, έχει και τον πιο μεγάλο αριθμό μηνυμάτων σφάλματος RERR που στέλνονται. Στη συνέχεια έρχεται με ελαφρά πιο μικρό αριθμό το σενάριο medium (πράσινη γραμμή) και στη συνέχεια με τον πιο χαμηλό αριθμό RERR να στέλνονται στο δίκτυο, το σενάριο light (κόκκινη γραμμή). Όπως συμπεραίνουμε με τα πιο πάνω αποτελέσματα, ο συνολικός αριθμός RERR που στέλνονται στο δίκτυο είναι ανάλογος με τον αριθμό των κόμβων που κινούνται ανά πάσα στιγμή στο δίκτυο.

Να θυμίσουμε εδώ, πως ένας κόμβος θα αποστείλει στον αρχικό κόμβο (κόμβο πηγής), ένα RERR μήνυμα, στην περίπτωση που όταν αυτός ο κόμβος θέλει να προωθήσει ένα πακέτο που μόλις πήρε και ανακαλύπτει πως ο επόμενος κόμβος είναι ανενεργός (για παράδειγμα, μπορεί να έχει φύγει από το δίκτυο, ή από την εμβέλεια του συγκεκριμένου κόμβου).

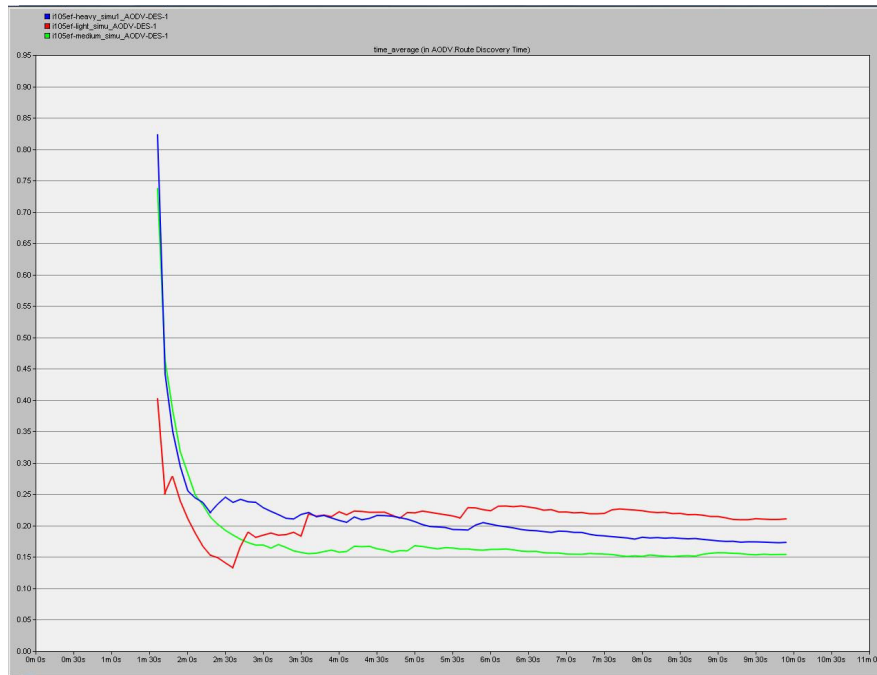
Το πιο πάνω φαινόμενο δικαιολογείτε αφού όσο πιο πολλούς κόμβους έχουμε στο δίκτυο και όσο περισσότερους κόμβους έχουμε που θέλουν να στείλουν δεδομένα, τόσο περισσότερα μονοπάτια θα δημιουργηθούν και άρα η πιθανότητα κάποια διαδρομή να σπάσει σε κάποιο σημείο, αυξάνεται.



Σχήμα 5.4 Αριστερά: Γραφική παράσταση routing traffic sent. Δεξιά: Γραφική παράσταση routing traffic received

Στην πιο πάνω αναπαράσταση, βλέπουμε στα αριστερά, τον ολικό αριθμό bits/sec που έχουν σταλεί και δεξιά, τον ολικό αριθμό bits/sec που έχουν ληφθεί από το δίκτυο για τον AODV. Και εδώ, για απλή επαλήθευση της ορθότητας των προσομοιώσεων, βλέπουμε πως ενώ αυξάνεται ο αριθμός των κόμβων στο δίκτυο, αυξάνεται και ο αριθμός των δεδομένων που λαμβάνονται και στέλνονται στο δίκτυο ανά μονάδα χρόνου.

Συγκεκριμένα, βλέπουμε πως στην αρχή υπάρχει μια φθίνουσα αύξηση στον αριθμό που στέλνονται, αλλά στη συνέχεια βλέπουμε πως ο αριθμός τείνει να σταθεροποιηθεί. Αυτό είναι λογικό αφού στην αρχή θα σημειωθούν οι περισσότερες διαδικασίες για ανακάλυψη των διαδρομών που θα χρειαστούν οι κόμβοι που έχουν να στείλουν δεδομένα, ενώ στη συνέχεια μειώνεται αφού οι κόμβοι έχουν είδη αποθηκευμένες τις διαδρομές που πιθανόν να χρειαστούν μέσα στην τοπική τους μνήμη. Έτσι μπορούν να επαναχρησιμοποιήσουν τις ίδιες διαδρομές με αποτέλεσμα ένας κόμβος να αρχικοποιεί τη φάση της ανακάλυψης διαδρομής, με το που θα σπάσει μια είδη υπάρχων.



Σχήμα 5.5 Γραφική παράσταση χρόνου ανακάλυψης διαδρομής (Route Discovery Time)

Στην πιο πάνω παράσταση βλέπουμε το route discovery time για τον AODV, δηλαδή το χρόνο που χρειάζεται από ένα κόμβο για να ανακαλύψει μια διαδρομή από αυτόν σε ένα άλλο κόμβο προορισμού (Διαδικασία η οποία αναλύεται σε προηγούμενο κεφάλαιο). Βλέπουμε τα αποτελέσματα για τα σενάρια light, medium και heavy στις γραμμές κόκκινο, πράσινο και μπλε αντίστοιχα.

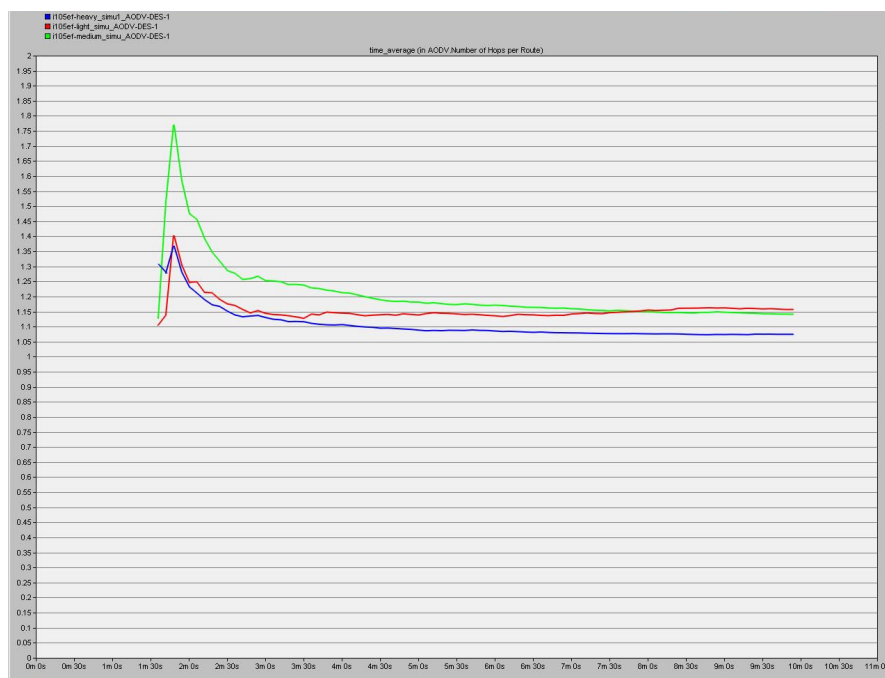
Όπως φαίνεται, από την αρχή της προσομοίωσης μέχρι να φτάσουμε στα 2 λεπτά και 45 δευτερόλεπτα (περίπου), έχουμε στο light σενάριο τον πιο μικρό χρόνο ανακάλυψης διαδρομής, μετά ακολουθεί το medium σενάριο και στη συνέχεια το heavy σενάριο με τον πιο μεγάλο χρόνο ανακάλυψης διαδρομής.

Αυτό που αρχίζει να συμβαίνει μετά τον πιο πάνω χρόνο και το οποίο σταθεροποιείται μετά τα 3,5 λεπτά (περίπου) είναι να έχουμε το πιο χαμηλό route discovery time στο medium σενάριο, στη συνέχεια να ακολουθεί το heavy σενάριο και το πιο μεγάλο route discovery time να παρατηρείται στο light σενάριο.

Προς το τέλος της προσομοίωσης, φαίνεται μια καθοδική τάση στο heavy σενάριο, πράγμα που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι σε μεγαλύτερους χρόνους προσομοίωσης, να έχουμε στο heavy σενάριο τους πιο χαμηλούς χρόνους ανακάλυψης διαδρομής, καθιστώντας έτσι το route discovery time αντιστρόφως ανάλογο του αριθμού των κόμβων στο δίκτυο, όπως επίσης και του αριθμού των κόμβων που στέλνουν δεδομένα και της πυκνότητας των κόμβων στο δίκτυο.

Πιθανή εξήγηση του πιο πάνω, είναι το γεγονός ότι στον AODV, αφού η ανακάλυψη διαδρομής γίνεται με πλήρη flooding του δικτύου, στην αρχή όσο πιο μεγάλος είναι ο αριθμός των κόμβων στο δίκτυο, τόσο και πιο μεγάλο είναι το route discovery time, αφού πρέπει το μήνυμα να γίνει broadcast σε πολλούς κόμβους και κατ' επέκταση όλοι οι κόμβοι αυτοί πρέπει να απαντήσουν πίσω στον αρχικό. Στη συνέχεια, αφού οι κόμβοι θα αποθηκεύσουν στην τοπική τους μνήμη διαδρομές για τους διάφορους προορισμούς, είναι πολύ πιο πιθανόν να βρούμε έτοιμη μια διαδρομή σε κάποιο κόμβο, σε σενάρια που έχουμε περισσότερους κόμβους στο δίκτυο, με αποτέλεσμα να μειώνεται το route discovery time σε αυτά τα σενάρια, όσο περνάει ο χρόνος.

Το συμπέρασμα που βγαίνει με τα πιο πάνω, όσο αφορά την συγκεκριμένη μετρική, είναι ότι ο AODV είναι πιο αποτελεσματικός σε δίκτυα VANETs με μεγαλύτερη πυκνότητα κόμβων.



Σχήμα 5.6 Γραφική παράσταση αριθμού μεταπηδήσεων ανά διαδρομή (Number of hops per route)

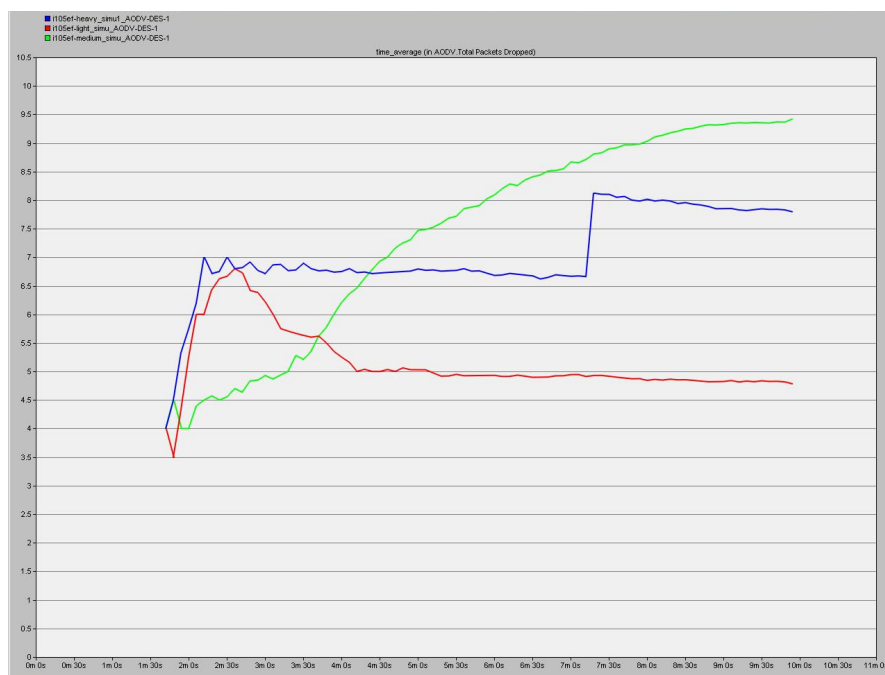
Πιο πάνω βλέπουμε τη γραφική παράσταση του Number of hops per route για τον AODV, δηλαδή πόσες μεταπηδήσεις πρέπει να κάνει ένα πακέτο για να φτάσει από τον αρχικό κόμβο, στον κόμβο προορισμού ή καλύτερα, πόσοι κόμβοι μεσολαβούν ή από πόσους κόμβους πρέπει να περάσει ένα πακέτο για να φτάσει στον προορισμό του.

Βλέπουμε πιο πάνω τα τρία σενάρια light, medium και heavy με τα χρώματα κόκκινο, πράσινο και μπλε αντίστοιχα.

Εδώ φαίνεται πως το heavy σενάριο έχει τις πιο λίγες μεταπηδήσεις καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης, ενώ στο medium σενάριο, αν και αρχικά έχουμε τις περισσότερες μεταπηδήσεις ανά διαδρομή, εν τούτοις, προς το τέλος της προσομοίωσης, ο αριθμός μεταπηδήσεων ανά διαδρομή ελαττώνεται για το συγκεκριμένο σενάριο, αφήνοντας και πάλι το σενάριο light, να έχει τις πιο πολλές μεταπηδήσεις ανά διαδρομή.

Και εδώ δηλαδή, φαίνεται πως ο αριθμός των μεταπηδήσεων ανά διαδρομή, είναι αντιστρόφως ανάλογος του αριθμού των κόμβων στο δίκτυο καθώς και της πυκνότητας των κόμβων. Κατά πάσα πιθανότητα αυτό συμβαίνει για τον ίδιο λόγο που αναφέραμε πιο πάνω στον χρόνο ανακάλυψης διαδρομής. Να σημειωθεί εδώ πως αν και κάποιος θα περίμενε ότι όσο αυξάνεται η πυκνότητα των κόμβων, θα είχαμε και περισσότερες μεταπηδήσεις, αντιθέτως, ο AODV σε σενάρια με περισσότερους κόμβους, αφού έχει και περισσότερες επιλογές για το επόμενο hop που θα επιλέξει(λόγω εμβέλειας), προφανώς επιλέγει πιο απομακρυσμένους κόμβους που μπορεί να έχουν αυτοί μια διαδρομή προς τον κόμβο προορισμού, μειώνοντας έτσι τον αριθμό των μεταπηδήσεων.

Το συμπέρασμα που βγαίνει και από εδώ, πάντα αναφορικά με τη συγκεκριμένη μετρική, είναι ότι ο AODV σε δίκτυα με τέτοιο mobility όπως τα VANETs είναι πιο αποτελεσματικός σε δίκτυα με περισσότερους κόμβους και με μεγαλύτερη συγκέντρωση κόμβων.

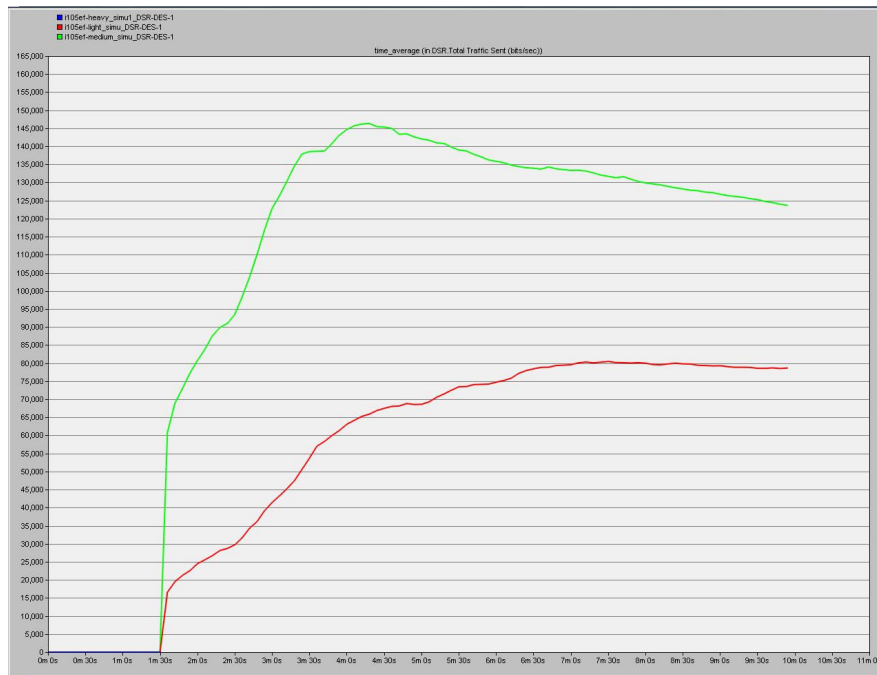


Σχήμα 5.7 Γραφική παράσταση Ολικού αριθμού πακέτων που χαθήκαν (Total packets dropped)

Στο πιο πάνω γράφημα που μας δείχνει τα total packets dropped χρησιμοποιώντας τον AODV, βλέπουμε τα αποτελέσματα για τα σενάρια light, medium και heavy με τα χρώματα κόκκινο, πράσινο και μπλε αντίστοιχα. Όπως και στις άλλες γραφικές παραστάσεις βλέπουμε μια σχετική “αταξία” κατά την αρχή της προσομοίωσης για το γεγονός ότι στην αρχή δεν υπάρχουν σε κανένα κόμβο αποθηκευμένες διαδρομές και έτσι διαδικασία ανακάλυψης διαδρομής πρέπει να κάνει flooding ολόκληρο το δίκτυο. Το ανορθόδοξο εδώ είναι το γεγονός ότι δεν έχουμε κάποιο συγκεκριμένο μοτίβο, όσο αφορά των αριθμό κόμβων στο δίκτυο και τον αριθμό των πακέτων που χάνονται. Συγκεκριμένα, βλέπουμε πως στο light σενάριο, έχουμε τον πιο μικρό αριθμό πακέτων που χάνονται, στη συνέχεια έχουμε το heavy σενάριο και τέλος έχουμε το medium σενάριο να έχει το μεγαλύτερο αριθμό πακέτων που χάνονται.

Το συμπέρασμα εδώ, για τη συγκεκριμένη μετρική, είναι πως ο αλγόριθμος είναι κατάλληλος για δίκτυα με μικρό αριθμό κόμβων.

Να πούμε όμως πως σε μελλοντικό στάδιο πρέπει να γίνουν περισσότερες προσομοιώσεις και πειράματα για να εξακριβωθεί κατά πόσο το πιο πάνω ανορθόδοξο αποτέλεσμα πρόκειται για κάποιο λάθος στην προσομοίωση ή αν όντως έτσι συμπεριφέρεται ο αλγόριθμος σε τέτοια δίκτυα.

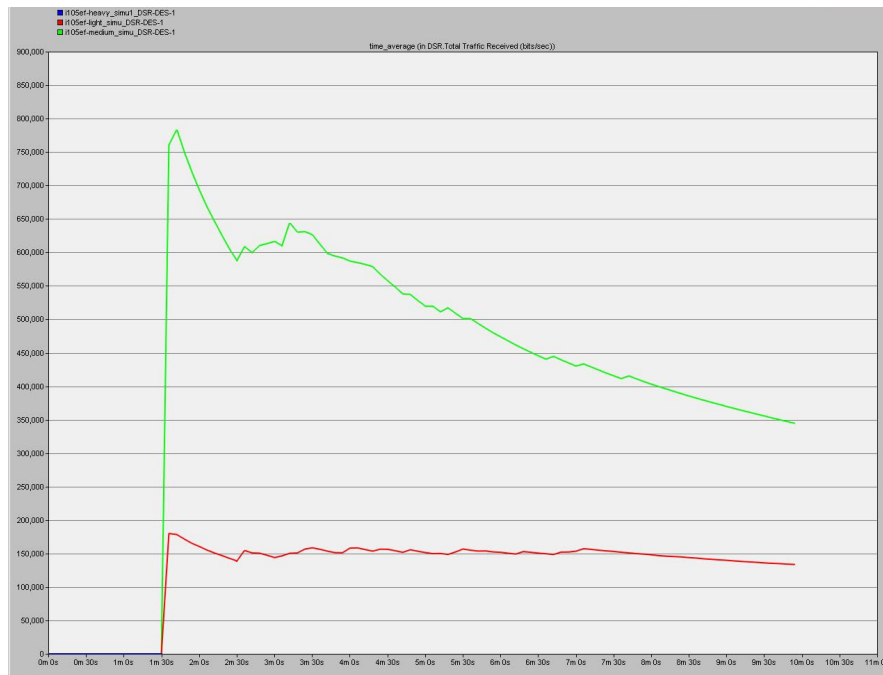


Σχήμα 5.8 Γραφική παράσταση ολικής κίνησης που έχει σταλεί (Total traffic sent bits/sec)

Πιο πάνω βλέπουμε τη γραφική παράσταση του total traffic send σε bits/sec για τον DSR. Δηλαδή βλέπουμε όλη την κίνηση που έχει σταλεί γενικά σε όλο το δίκτυο. Συγκεκριμένα βλέπουμε τα αποτελέσματα των σεναρίων light, medium και heavy με τα χρώματα κόκκινο, πράσινο και μπλε αντίστοιχα.

Όπως φαίνεται πιο πάνω, έχουμε στο light σενάριο τον πιο μικρό αριθμό δεδομένων που έχουν σταλεί, ενώ στο medium σενάριο, έχουμε πιο πολλά δεδομένα να στέλνονται στο δίκτυο ανά μονάδα χρόνου.

Στο σενάριο heavy δεν έχουμε καθόλου αποστολή δικτυακής κίνησης, για τον λόγο ότι ο συγκεκριμένος αλγόριθμος δεν κλιμακώνεται καλά σε δίκτυα με τέτοιο mobility όπως τα VANETs.



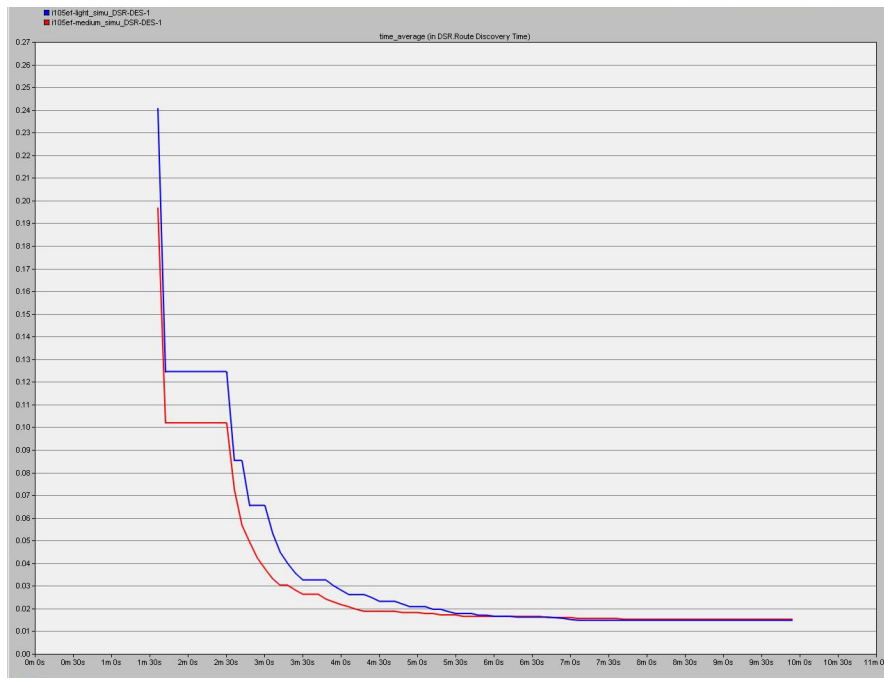
Σχήμα 5.9 Γραφική παράσταση ολικής κίνησης που έχει ληφθεί στο δίκτυο (Total traffic received bits/sec)

Πιο πάνω βλέπουμε τη γραφική παράσταση του total traffic received σε bits/sec για τον DSR. Δηλαδή βλέπουμε όλη την κίνηση που έχει ληφθεί γενικά σε όλο το δίκτυο.

Όπως και προηγουμένως, φαίνεται πως στο medium σενάριο έχουμε την περισσότερη κίνηση, ενώ στο light σενάριο την πιο λίγη κίνηση. Πάλι κι εδώ, το σενάριο heavy αποτυγχάνει να λάβει δεδομένα. Λογικό συνεπακόλουθο αφού δεν είχαν αποσταλεί δεδομένα.

Οι δυο αυτές γραφικές παραστάσεις, εκτός από το γεγονός ότι επαληθεύουν την ορθότητα των προσομοιώσεων, μας δείχνουν επίσης την αποτυχία του σεναρίου heavy.

Ο λόγος που αποτυγχάνει το συγκεκριμένο σενάριο με τον αλγόριθμο DSR είναι το γεγονός ότι στον συγκεκριμένο αλγόριθμο, αποθηκεύεται σε κάθε πακέτο όλες οι διευθύνσεις IP του κάθε κόμβου στην διαδρομή από την οποία πρέπει να περάσει η δικτυακή κίνηση. Για το λόγο αυτό, σε σενάρια όπως το heavy, όπου υπάρχει αυξημένος αριθμός κόμβων, έχουμε τεράστιο overhead σε κάθε πακέτο.



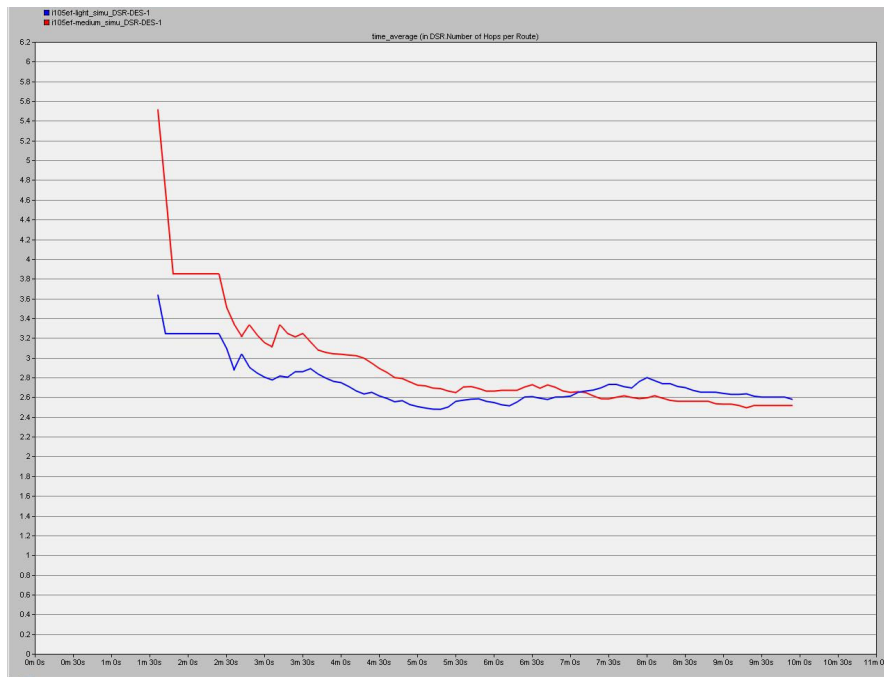
Σχήμα 5.10 Γραφική παράσταση χρόνου ανακάλυψης διαδρομής (Route discovery time)

Στην πιο πάνω παράσταση βλέπουμε το route discovery time για τον DSR, δηλαδή το χρόνο που χρειάζεται από ένα κόμβο για να ανακαλύψει μια διαδρομή από αυτόν σε ένα άλλο κόμβο προορισμού. Βλέπουμε τα αποτελέσματα για τα σενάρια light και medium στις γραμμές μπλε και κόκκινο αντίστοιχα.

Και πάλι το σενάριο heavy δεν παρουσιάζεται στην πιο πάνω γραφική παράσταση, για το λόγο ότι αποτυγχάνει να αντεπεξέλθει στο μεγάλο overhead που δημιουργείται από τον μεγάλο αριθμό κόμβων.

Εδώ βλέπουμε πως οι χρόνοι που απαιτούνται να ανακαλυφθεί η διαδρομή είναι σχεδόν όμοιοι και στα δυο σενάρια light και medium, με λίγο περισσότερο χρόνο στο σενάριο light. Φυσικά προς το τέλος της προσομοίωσης και στα δυο σενάρια, ο χρόνος τείνει να μειώνεται κατά πολύ για το λόγο ότι και στον DSR, όπως και στον AODV, τόσο οι αρχικοί κόμβοι, όσο και οι ενδιάμεσοι κόμβοι αποθηκεύουν τις διαδρομές που ανακαλύφθηκαν για επαναχρησιμοποίηση τους στο μέλλον.

Το γεγονός αυτό φυσικά δεν ακυρώνει το μεγάλο overhead των πακέτων, αλλά τουλάχιστον δεν πρέπει να γίνεται συνέχεια flooding το δίκτυο με αυτά. Το συμπέρασμα για τη συγκεκριμένη μετρική είναι ότι δεν παίζει σημαντικό ρόλο ο αριθμός των κόμβων του δικτύου, εφόσον μπορεί να αντεπεξέλθει ο αλγόριθμος.

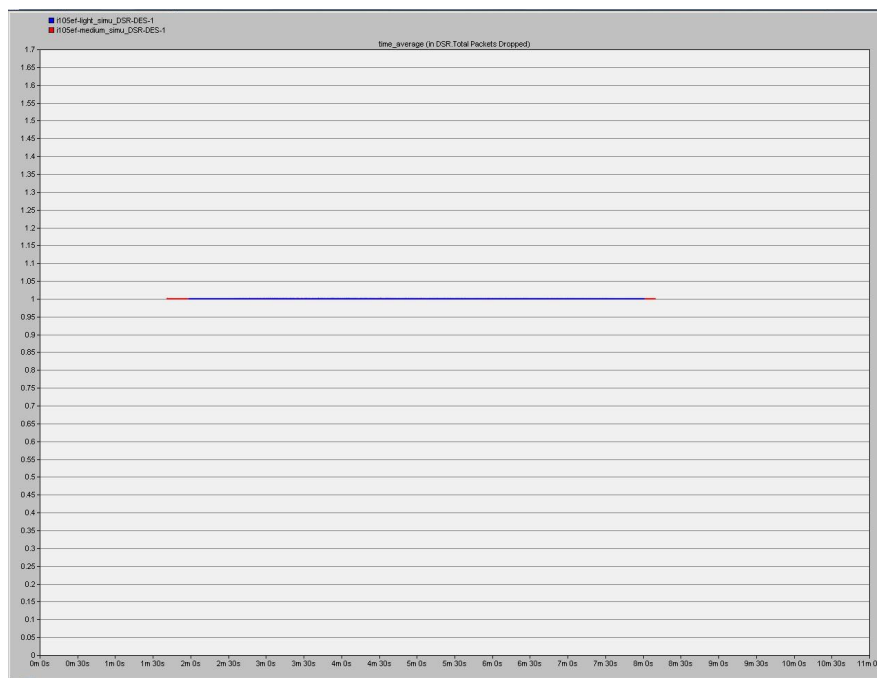


Σχήμα 5.11 Γραφική παράσταση αριθμού μεταπηδήσεων ανά διαδρομή (Number of hops per route)

Πιο πάνω βλέπουμε τη γραφική παράσταση του Number of hops per route για τον DSR, δηλαδή πόσες μεταπηδήσεις πρέπει να κάνει ένα πακέτο για να φτάσει από τον αρχικό κόμβο, στον κόμβο προορισμού ή καλύτερα, πόσοι κόμβοι μεσολαβούν ή από πόσους κόμβους πρέπει να περάσει ένα πακέτο για να φτάσει στον προορισμό του.

Βλέπουμε πιο πάνω τα δυο σενάρια light, medium με τα χρώματα μπλε και κόκκινο αντίστοιχα.

Κι εδώ παρατηρούμε πως στο σενάριο light, έχουμε πιο λίγες μεταπηδήσεις ανά διαδρομή, σε σύγκριση με το σενάριο medium. Φυσικά η διαφορά είναι αρκετά μικρή και σε κάποιο σημείο προς το τέλος της προσομοίωσης (περίπου στα 7 λεπτά και 10 δευτερόλεπτα) το πιο πάνω αντιστρέφεται και έχουμε λιγότερα hops per route στο σενάριο medium παρά στο σενάριο light. Αυτό φυσικά μπορεί να είναι κάποια συγκεκριμένη ιδιαιτερότητα στο συγκεκριμένο σημείο, αφού στα τελευταία δευτερόλεπτα της προσομοίωσης παρατηρούμε μια ανοδική τάση στα hops per route στο σενάριο medium και μια καθοδική τάση στο σενάριο light. Μπορούμε επομένως να συμπεράνουμε πως γενικά όσο μεγαλώνει ο αριθμός των κόμβων στο δίκτυο τόσο μεγαλώνει και ο αριθμός των μεταπηδήσεων ανά διαδρομή. Το πιο πάνω, μαζί με το γεγονός ότι στο σενάριο heavy αποτυγχάνει ο συγκεκριμένος αλγόριθμος, καθιστούν τον DSR ακατάλληλο για μεγάλα δίκτυα VANETs.

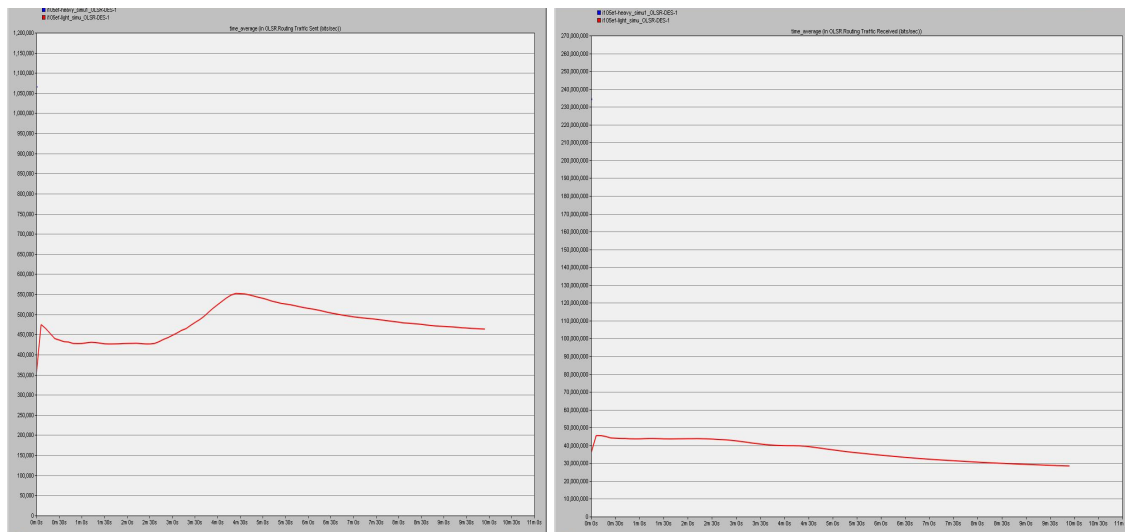


Σχήμα 5.12 Γραφική παράσταση Ολικού αριθμού πακέτων που χαθήκαν (Total packets dropped)

Στο πιο πάνω γράφημα που μας δείχνει τα total packets dropped για τον DSR, βλέπουμε τα αποτελέσματα για τα σενάρια light και medium με τα χρώματα μπλε και κόκκινο αντίστοιχα. Όπως φαίνεται πιο πάνω και στα δύο σενάρια έχουμε ακριβώς τον ίδιο και σταθερό αριθμό πακέτων που χάνονται στο δίκτυο για όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Η μόνη πιθανώς

διαφορά που υπάρχει είναι το γεγονός ότι στο light σενάριο, αρχίζει πιο αργά να χάνονται πακέτα και σταματά λίγο πιο γρήγορα. Φυσικά αυτό μπορεί να έχει να κάνει και με κάποια ιδιομορφία στον προσομοιωτή και γενικά στις παραμέτρους που έχουμε γι' αυτό και θα το αγνοήσουμε.

Αν και εδώ πρέπει να εξακριβωθεί η ορθότητα των αποτελεσμάτων, εν τούτοις, το συμπέρασμα που βγαίνει είναι ότι στον DSR, εφόσον ο αριθμός των κόμβων μπορεί να υποστηριχθεί από τον αλγόριθμο, δεν παίζει κάποιο σημαντικό ρόλο ο αριθμός αυτός ως προς τη συγκεκριμένη μετρική. Δηλαδή το αριθμό των πακέτων που χάνονται.



Σχήμα 5.13 Αριστερά: Γραφική Παράσταση Routing Traffic Send, Δεξιά: Γραφική Παράσταση Routing Traffic Received

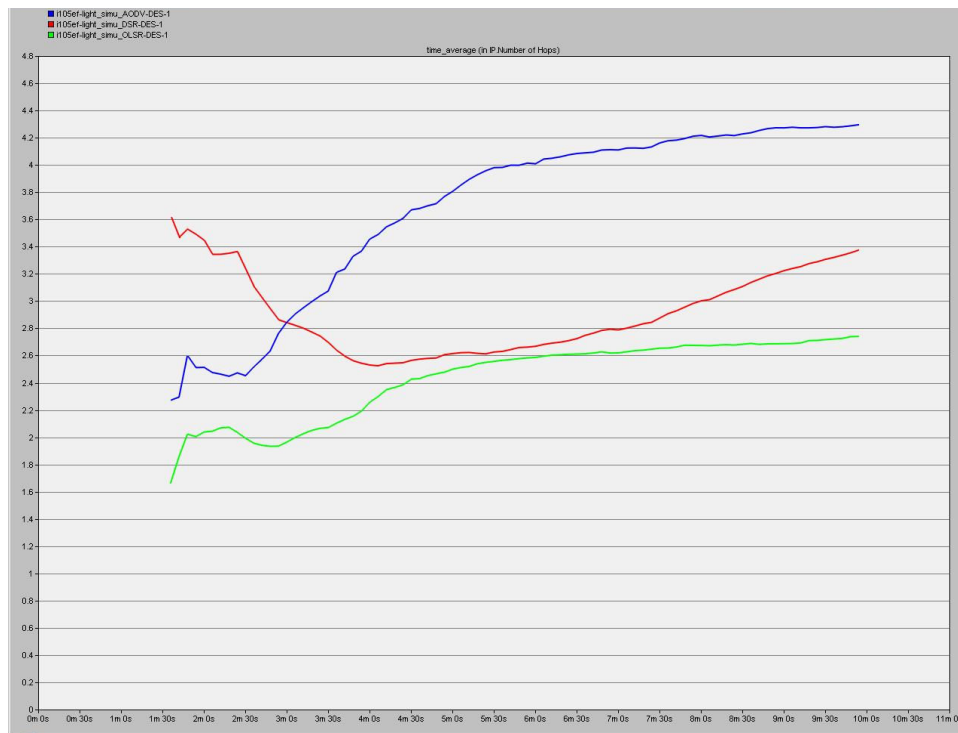
Πιο πάνω βλέπουμε τη γραφική παράσταση του Routing traffic send και τη γραφική παράσταση για το Routing traffic received για τον OLSR. Δηλαδή βλέπουμε την κίνηση που έχει σταλεί ή έχει ληφθεί γενικά στο δίκτυο η οποία αφορά την δρομολόγηση.

Εδώ να πούμε απλά πως εξακριβώνουμε την ορθότητα της προσομοίωσης, τουλάχιστον για το σενάριο light αφού τα σενάρια medium και heavy απότυχαν να τρέξουν ή να παράγουν αποτελέσματα.

Ο πιο πιθανός λόγος που απότυχαν αυτά τα σενάρια είναι λόγω του ότι το δίκτυο βαρυνόταν από τα περιοδικά μηνύματα hello που στέλνονται και επειδή στα σενάρια medium και heavy η πυκνότητα των οχημάτων στο δίκτυο αυξάνεται κατά πολύ, έχουμε αυτό το αποτέλεσμα.

Άρα για την συγκεκριμένη μετρική φαίνεται πως ο OLSR δεν κλιμακώνεται καλά για μεγάλα VANETs.

5.3 Σύγκριση Αλγορίθμων

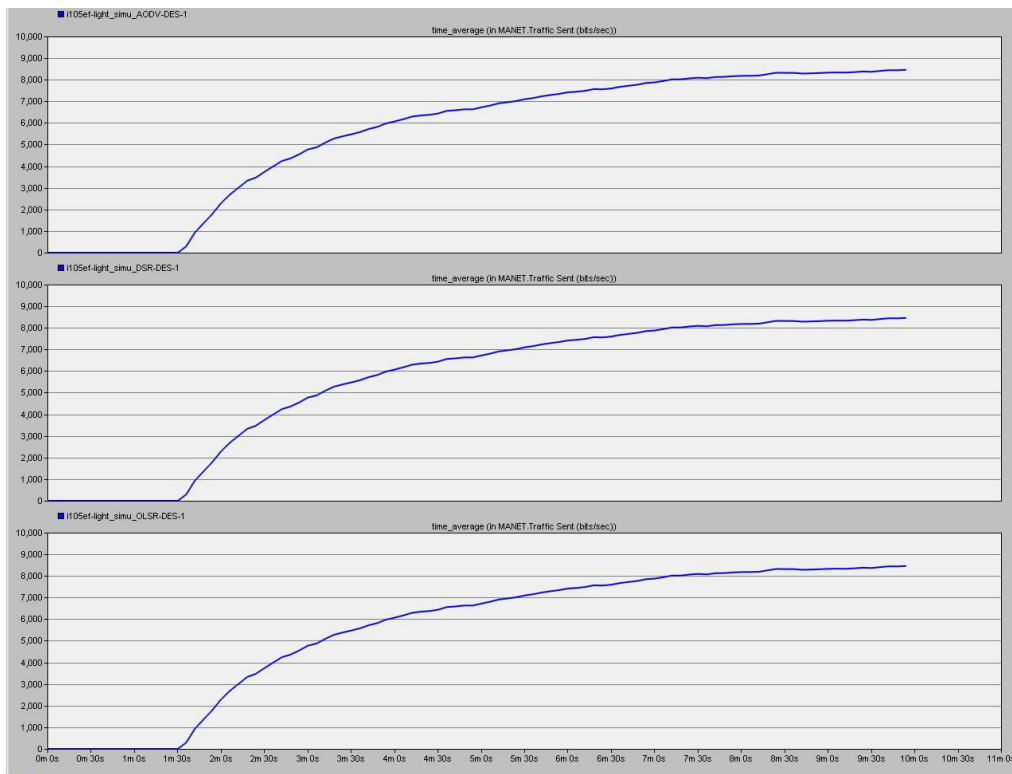


Σχήμα 5.14 Γραφική Παράσταση Αριθμού μεταπηδήσεων (Number Of Hops)

Πιο πάνω βλέπουμε τη γραφική παράσταση των αριθμών των μεταπηδήσεων που χρειάστηκε ένα πακέτο για να φτάσει στον προορισμό του. Συγκεκριμένα βλέπουμε τα αποτελέσματα για τους τρεις αλγορίθμους AODV, DSR και OLSR με τα χρώματα μπλε, κόκκινο και πράσινο αντίστοιχα.

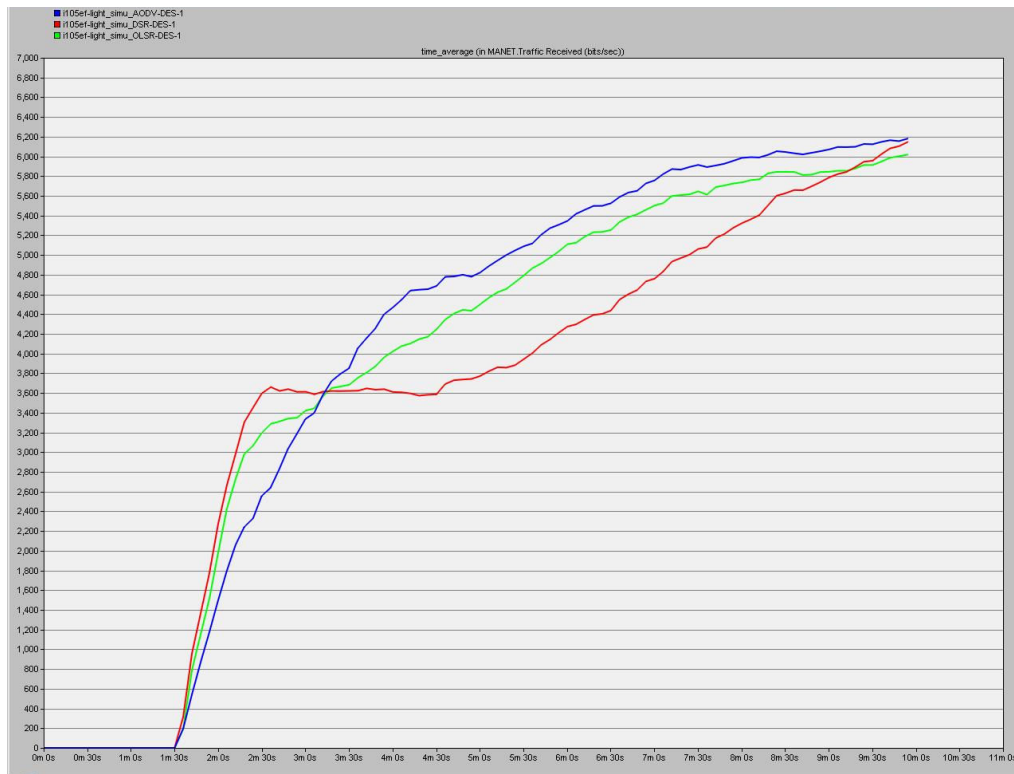
Το τι παρατηρούμε είναι πως ο αλγόριθμος OLSR έχει τον πιο μικρό αριθμό μεταπηδήσεων, στη συνέχεια έρχεται ο DSR και στο τέλος έρχεται ο AODV με το μεγαλύτερο αριθμό μεταπηδήσεων.

Πολύ λογικά, αναμέναμε πως ο OLSR θα είχε τον πιο μικρό αριθμό μεταπηδήσεων αφού είναι ένας βελτιστοποιημένος αλγόριθμος και με την τεχνολογία που χρησιμοποιεί των MPRs, καταφέρνει εκτός από τα MANETs, να πετύχει το σκοπό του και σε μια τοπολογία και κινητικότητα όπως αυτή των VANETs που χρησιμοποιούμε στα σενάρια μας.



Σχήμα 5.15 Γραφική παράσταση traffic Sent για τους αλγορίθμους AODV, DSR και OLSR

Εδώ βλέπουμε τα αποτελέσματα για τους αλγορίθμους AODV, DSR και OLSR. Όπως φαίνεται στο σχήμα, τα δεδομένα που έχουν σταλεί είναι ακριβώς τα ίδια, αφού έτσι θέσαμε τις παραμέτρους στα τρία αυτά σενάρια. Εσκεμμένα βάλαμε τον ίδιο αριθμό δεδομένων να στέλλει στο κάθε σενάριο, έτσι ώστε να μπορούμε να συγκρίνουμε πιο κάτω τα δεδομένα που λήφθηκαν από τους κόμβους προορισμού.



Σχήμα 5.16 Γραφική παράσταση traffic Received για τους αλγορίθμους AODV, DSR και OLSR

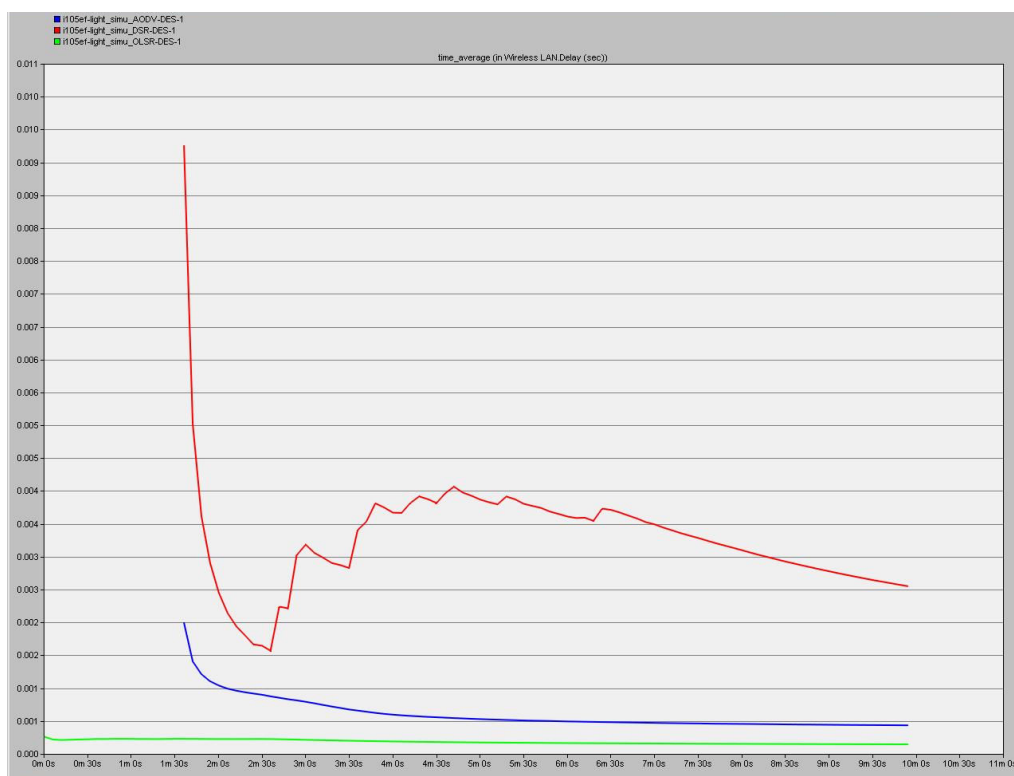
Πιο πάνω έχουμε το γράφημα με το traffic received από τους τρεις αλγορίθμους που πήραμε αποτελέσματα AODV, DSR και OLSR με τα χρώματα μπλε, κόκκινο και πράσινο αντίστοιχα.

Όπως βλέπουμε πιο πάνω, αν εξαιρέσουμε τα πρώτα μερικά δευτερόλεπτα που χρειάζεται για να αρχικοποιηθούν οι αλγόριθμοι (για παράδειγμα, μέχρι να αποθηκευτούν διαδρομές στις τοπικές μνήμες των κόμβων), έχουμε στον AODV, την περισσότερη παράδοση δεδομένων στους κόμβους προορισμού, μετά ακολουθεί ο DSR και στο τέλος έχουμε τον OLSR με τον πιο μικρό αριθμό δεδομένων να παραδίδεται στους προορισμούς. Αυτό σημαίνει κατ' επέκταση πως στον AODV έχουμε την μικρότερη απώλεια πακέτων και στον OLSR τη μεγαλύτερη.

Αυτό πιθανός να γίνεται, επειδή στον DSR έχουμε πολύ μεγάλο overhead στα πακέτα που στέλνονται, διότι σε κάθε πακέτο του DSR αποθηκεύονται πληροφορίες για όλους τους κόμβους της διαδρομής από την οποία πρέπει να περάσουν τα δεδομένα για να φτάσουν από τον αρχικό κόμβο, στον κόμβο προορισμού. Ως επακόλουθο αυτού, υπάρχει πιθανότητα να χάνονται πακέτα, είτε λόγω του ότι είναι μεγάλα και

απορρίπτονται από το δίκτυο, είτε επειδή λόγω χρόνου επεξεργασίας των πακέτων αυτών, δημιουργούνται σειρές αναμονής στις ουρές των κόμβων/δρομολογητών με αποτέλεσμα και πάλι το χάσιμο πακέτων λόγω υπερχείλισης αυτών των ουρών

Από την άλλη, ο OLSR πιθανώς να μειονεκτεί των AODV και DSR λόγω του ότι ο OLSR χρειάζεται μεγάλο χρόνο για να βρει τις διαδρομές του, αφού πρέπει να βρει βέλτιστες διαδρομές για όλους τους κόμβους. Κατ' επέκταση σε ένα δίκτυο VANET όπως τα σενάρια που μελετούμε, όπου υπάρχουν πάρα πολλοί κόμβοι στο δίκτυο, ο συγκεκριμένος αλγόριθμος δεν μπορεί να εφαρμοστεί σωστά και αποδοτικά.



Σχήμα 5.17 Γραφική παράσταση end to end delay για τους αλγόριθμους AODV, DSR και OLSR

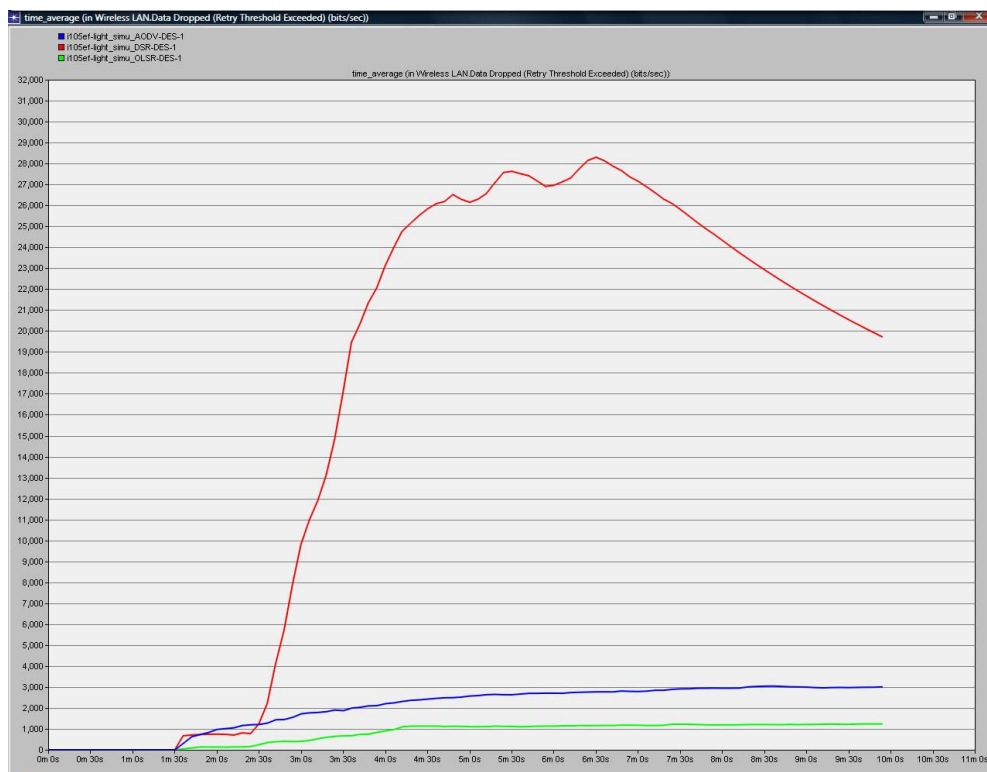
Σε αυτή τη γραφική παράσταση βλέπουμε το end to end delay που υπάρχει γενικά στο δίκτυο, για όλους τους κόμβους από τη στιγμή που στέλνονται τα πακέτα μέχρι να παραληφθούν από τους κόμβους προορισμού. Με τα χρώματα μπλε, κόκκινο και πράσινο, βλέπουμε τους αλγόριθμους AODV, DSR και OLSR.

Εδώ, αντιθέτως από τις προηγούμενες μετρικές που είδαμε, ο OLSR έχει το πιο χαμηλό end to end delay καθιστώντας τον κατάλληλο για delay tolerant εφαρμογές στα VANETs όπως τα θέματα ασφαλείας. Όπως φαίνεται από το γράφημα, εκτός από βέλτιστο, το end to end delay

είναι και κατά το πλείστο σταθερό. Αυτό είναι λογικό αφού ο OLSR βρίσκει βέλτιστες διαδρομές, τις οποίες έχει διαθέσιμες ανά πάσα στιγμή που πρέπει να χρησιμοποιηθούν.

Στη συνέχεια έρχεται ο αλγόριθμος AODV που διατηρεί σχετικά μικρό end to end delay, και τέλος έχουμε τον DSR με το μεγαλύτερο delay.

Ο DSR, έχει πολύ μεγάλο end to end delay, καθιστώντας τον μη εφαρμόσιμο για delay tolerant εφαρμογές. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό, είναι πιθανώς το μεγάλο over head που έχουν τα πακέτα δεδομένων του, επειδή αποθηκεύει σε αυτά πληροφορίες για όλους τους κόμβους διαδρομής.



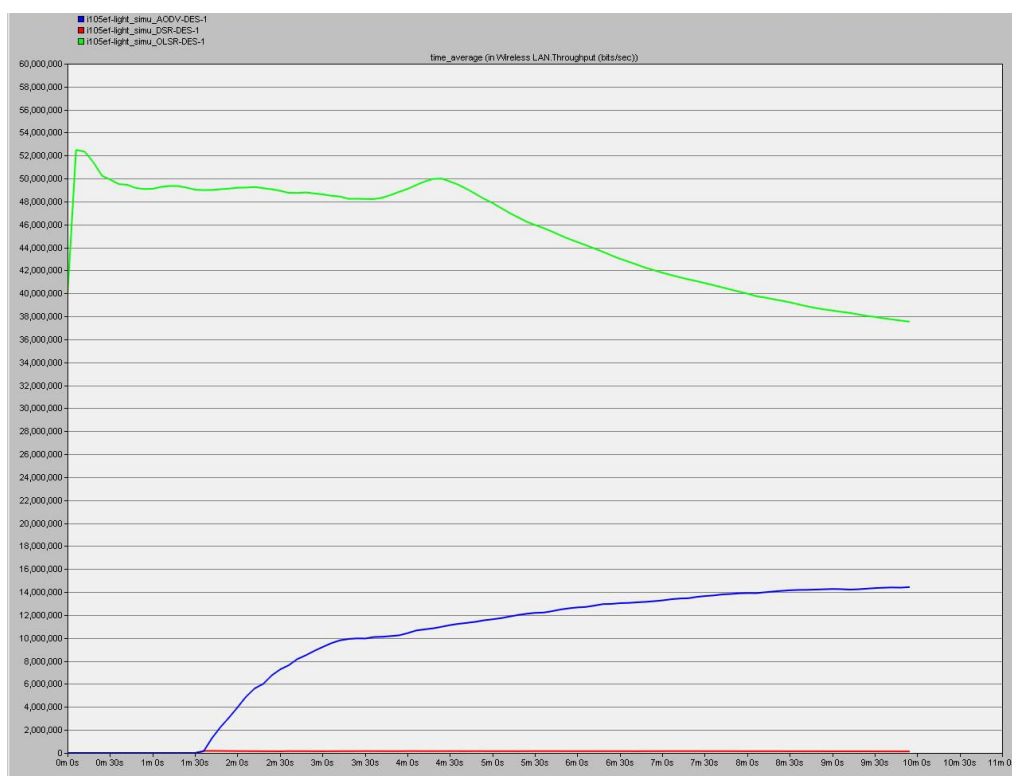
Σχήμα 5.18 Γραφική παράσταση Data Dropped (Retry threshold exceeded)

Πιο πάνω βλέπουμε τη γραφική παράσταση Data Dropped για τους τρεις αλγορίθμους που πήραμε αποτελέσματα AODV, DSR και OLSR με τα χρώματα μπλε, κόκκινο και πράσινο αντίστοιχα. Και εδώ βλέπουμε όπως και προηγουμένως ότι στον OLSR έχουμε τα καλύτερα

αποτελέσματα με τον πιο μικρό αριθμό δεδομένων να χάνονται, λόγω πολλών προσπαθειών αποστολής τους. Αυτό συμβαίνει επειδή στον OLSR έχουμε βέλτιστες και εναλλακτικές διαδρομές, έτσι ώστε ακόμα και αν ένα πακέτο δεν αποσταλεί με την πρώτη(πχ. Μετά από σπάσιμο κάποιου συνδέσμου), έχουμε είδη έτοιμη άλλη διαδρομή για να το στείλουμε.

Επίσης και ο AODV έχει σχετικά καλά αποτελέσματα σε αυτή τη μετρική, αλλά ο DSR έχει πολύ μεγάλο αριθμό δεδομένων που χάνονται. Αυτό γίνεται όπως είπαμε λόγω του μεγάλου overhead των πακέτων που δημιουργείται σε δίκτυα όπως τα VANETs, όπου έχουμε πάρα πολλούς κόμβους.

Μια υπόθεση που αξίζει εδώ να αναφερθεί είναι η ανοδική τάση που έχουν προς το τέλος της προσομοίωσης οι αλγόριθμοι AODV και OLSR. Πρέπει να μελετηθεί κατά πόσο σε σενάρια με πιο μεγάλους χρόνους προσομοίωσης, αυτές οι μετρικές θα παραμείνουν σε χαμηλά επίπεδα.



Σχήμα 5.19 Γραφική παράσταση throughput (bits / sec)

Στην πιο πάνω γραφική παράσταση βλέπουμε το throughput που έχουμε γενικά στο δίκτυο. Δηλαδή βλέπουμε τον ολικό αριθμό των bits που παραληφθήκαν από το wlan Layer σε όλους τους κόμβους του δικτύου, ανά πάσα στιγμή.

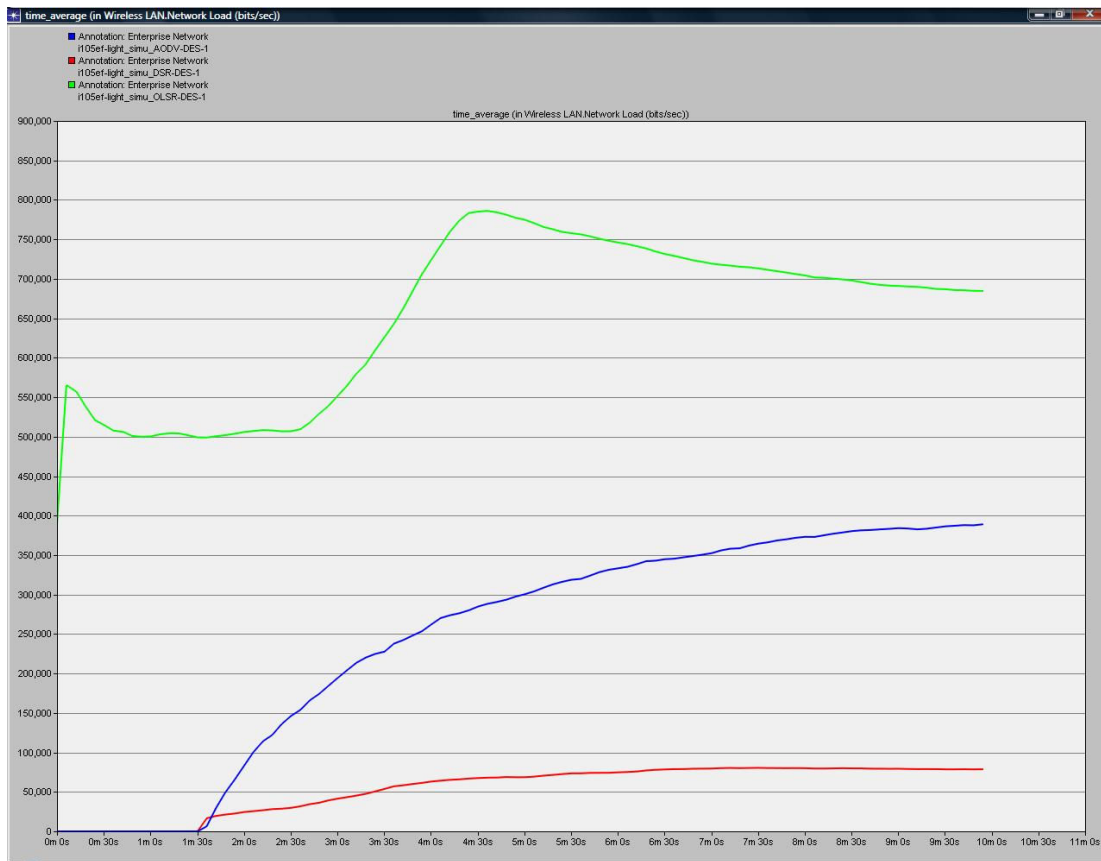
Με τα χρώματα μπλε, κόκκινο και πράσινο βλέπουμε τα αποτελέσματα του throughput για τους αλγόριθμους AODV, DSR και OLSR αντίστοιχα.

Όπως φαίνεται στο πιο πάνω γράφημα, ο αλγόριθμος DSR έχει μηδενικό throughput. Αυτό, με συνδυασμό κάποια αποτελέσματα από προηγούμενες γραφικές παραστάσεις όπως το traffic received για τον αλγόριθμο DSR, εισηγείται πως μπορεί να έχουμε λάθος αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, αφού στο traffic received είχαμε λήψη δεδομένων από κόμβους που έτρεχαν τον DSR, τότε έπρεπε να είχαμε μη μηδενικό αποτέλεσμα για το throughput στον DSR. Για τους σκοπούς αυτής της πειραματικής μελέτης όμως, θεωρούμε τη γραφική παράσταση ορθή.

Με την πιο πάνω υπόθεση, βρίσκουμε τον DSR να μειονεκτεί μπροστά στους άλλους δυο αλγόριθμους. Επίσης βλέπουμε πως ο OLSR έχει κατά πολύ καλύτερα αποτελέσματα από τον AODV καθιστώντας τον, όσο αφορά αυτή τη μετρική, τον καταλληλότερο για δίκτυα VANETs,

Φυσικά να αναφέρουμε πως στο throughput μετρούνται όλα τα δεδομένα που λαμβάνονται στους κόμβους του δικτύου, τόσο τα δεδομένα που πραγματικά θέλουμε να σταλούν, όσο και τα δεδομένα ελέγχου που στέλνει ο κάθε αλγόριθμος για εύρεση και διατήρηση των διάφορων διαδρομών. Άρα το πιο πάνω αποτέλεσμα δεν σημαίνει απαραίτητα ότι ο OLSR είναι καλύτερος από τον AODV, αφού στον OLSR έχουμε κατά πολύ περισσότερα δεδομένα ελέγχου αφού πρέπει να βρίσκει συνέχεια διαδρομές στο δίκτυο, ακόμα και για κόμβους που δεν είναι σίγουρο ότι θα χρειαστεί να στείλει κάποια δεδομένα. Αντιθέτως ο AODV, επειδή είναι on demand αλγόριθμος, βρίσκει διαδρομές μόνο όταν χρειαστούν και άρα έχει πιο μικρό αριθμό δεδομένων ελέγχου να στέλνονται στο δίκτυο, διατηρώντας το throughput σχετικά χαμηλό.

Επιπλέον μελέτη χρειάζεται για να διαπιστωθεί η πιο πάνω υπόθεση.

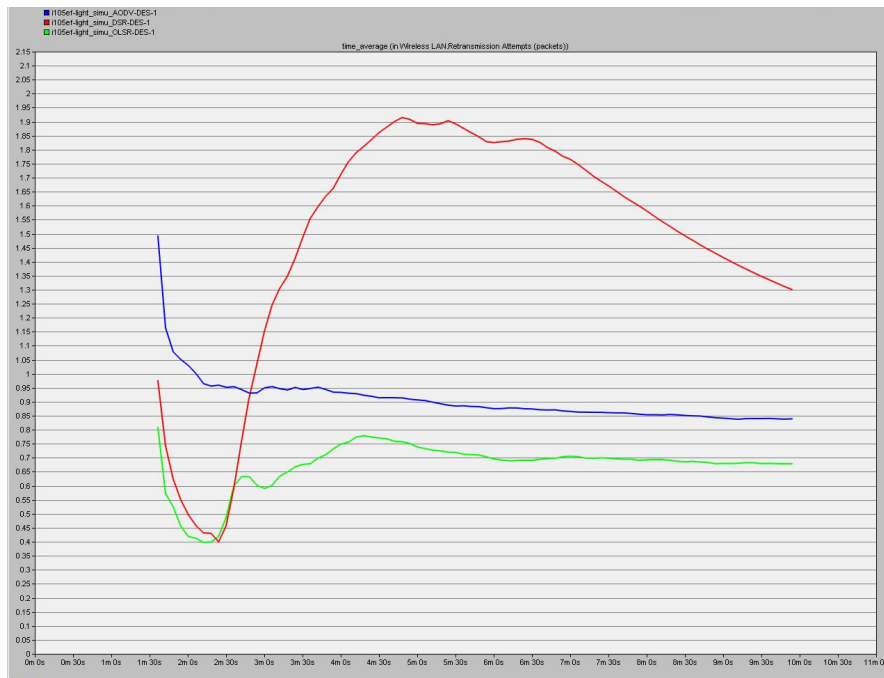


5.19.2 Γραφική παράσταση Network Load

Στην πιο πάνω γραφική παράσταση βλέπουμε το network load για τους τρεις αλγόριθμους AODV, DSR, OLSR με τα χρώματα μπλε, κόκκινο και πράσινο αντίστοιχα.

Η πιο πάνω γραφική δείχνει τον αριθμό του data traffic που λήφθηκε από τους κόμβους στο δίκτυο.

Όπως φαίνεται κι εδώ όπως και στο throughput, ο OLSR έχει τα καλύτερα αποτελέσματα. Αυτό σημαίνει πως τα καλά αποτελέσματα του throughput που έχει ο OLSR, δεν είναι μοναδικά λόγω του μεγάλου routing overhead που έχει.



Σχήμα 5.20 Γραφική παράσταση Retransmission Attempts (packets)

Πιο πάνω βλέπουμε τη γραφική παράσταση του Retransmission Attempts γενικά για όλους τους κόμβους του δικτύου. Με τα χρώματα μπλε, κόκκινο και πράσινο βλέπουμε τα αποτελέσματα των αλγορίθμων AODV, DSR και OLSR αντίστοιχα.

Όπως φαίνεται πιο πάνω τον πιο μικρό αριθμό retransmissions έχει ο αλγόριθμος OLSR. Μετά ακολουθεί ο AODV και στο τέλος είναι ο DSR με πολύ μεγάλο αριθμό retransmissions. Αυτό γίνεται επειδή στον DSR έχουμε πολύ μεγάλο μέγεθος πακέτων, ειδικά όταν μεγαλώνει το δίκτυο, αφού αποθηκεύονται σε αυτά πληροφορίες για όλους τους κόμβους από τους οποίους αποτελείται μια διαδρομή. Συνεπακόλουθο αυτού, είναι να χάνονται πακέτα, είτε επειδή απορρίπτονται από το δίκτυο, είτε επειδή λόγω χρόνου επεξεργασίας υπερχειλίζουν οι διάφορες ουρές στο δίκτυο.

Στη συγκεκριμένη γραφική παράσταση, βλέπουμε τον αριθμό των πακέτων που χάνονται, λόγω του ότι ξεπεράσαμε τον αριθμό προσπαθειών από τους κόμβους να ξαναστείλουν τα πακέτα.

5.4 Αποτελέσματα Μετά Από Αλλαγές

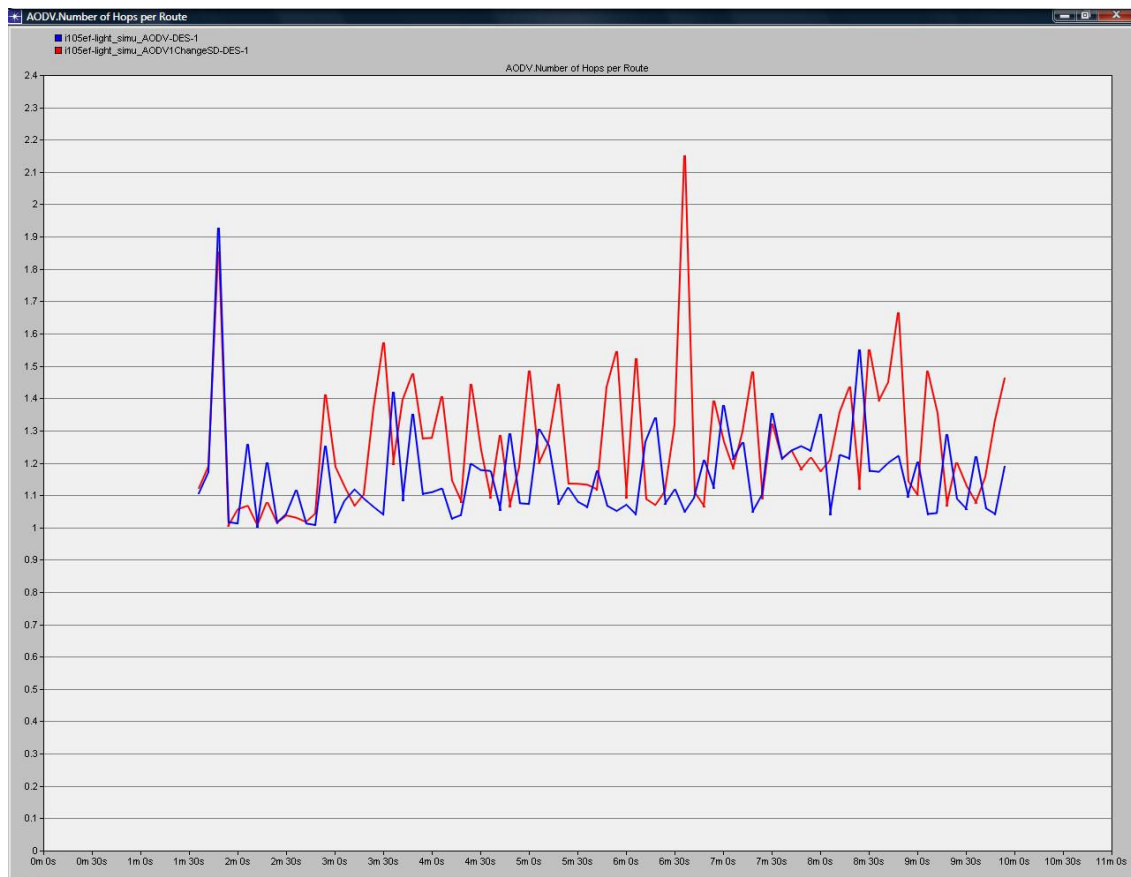
5.4.1 Αλλαγές στους κόμβους που στέλνουν και λαμβάνουν δεδομένα

Πιο κάτω θα παρουσιάσουμε μερικά αποτελέσματα από τις διάφορες προσομοιώσεις που τρέξαμε με διάφορες αλλαγές στην τοπολογία του δικτύου.

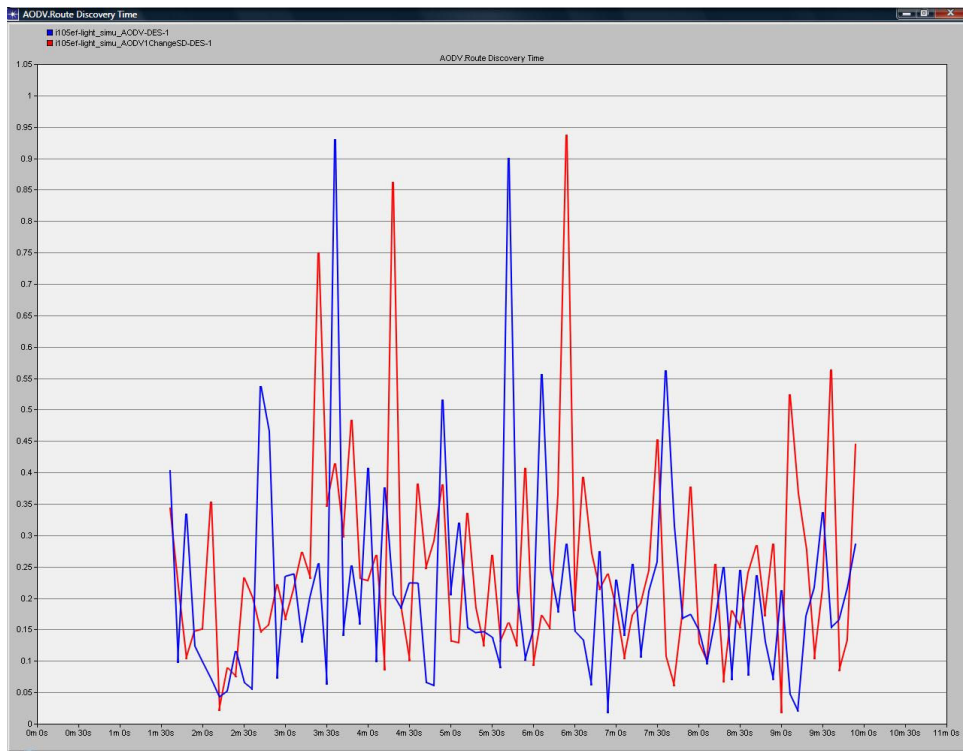
Συγκεκριμένα βλέπουμε πιο κάτω τα αποτελέσματα για τους αλγόριθμους AODV, DSR και OLSR, (Για τα light σενάρια) με διαφορετικούς κόμβους να στέλνουν δεδομένα και διαφορετικούς παραλήπτες (στα προηγούμενα σενάρια είχαμε random προορισμούς).

Ο λόγος που τρέχουμε αυτές τις επιπλέον περιπτώσεις, είναι για να διαπιστώσουμε την ορθότητα (μερικώς) των αποτελεσμάτων που πήραμε από τις προηγούμενες προσομοιώσεις. Στις γραφικές που ακολουθούν συγκρίνουμε μόνο τις δυο περιπτώσεις. (Πρώτη προσομοίωση vs αποτελέσματα μετά τις αλλαγές.

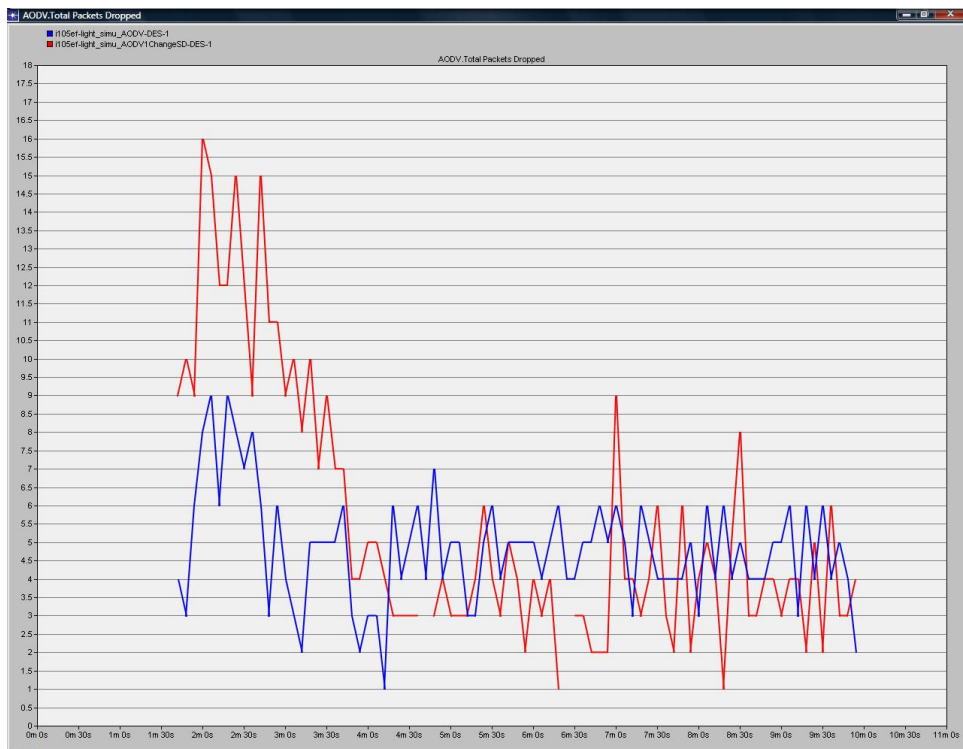
Αποτελέσματα Για τον AODV



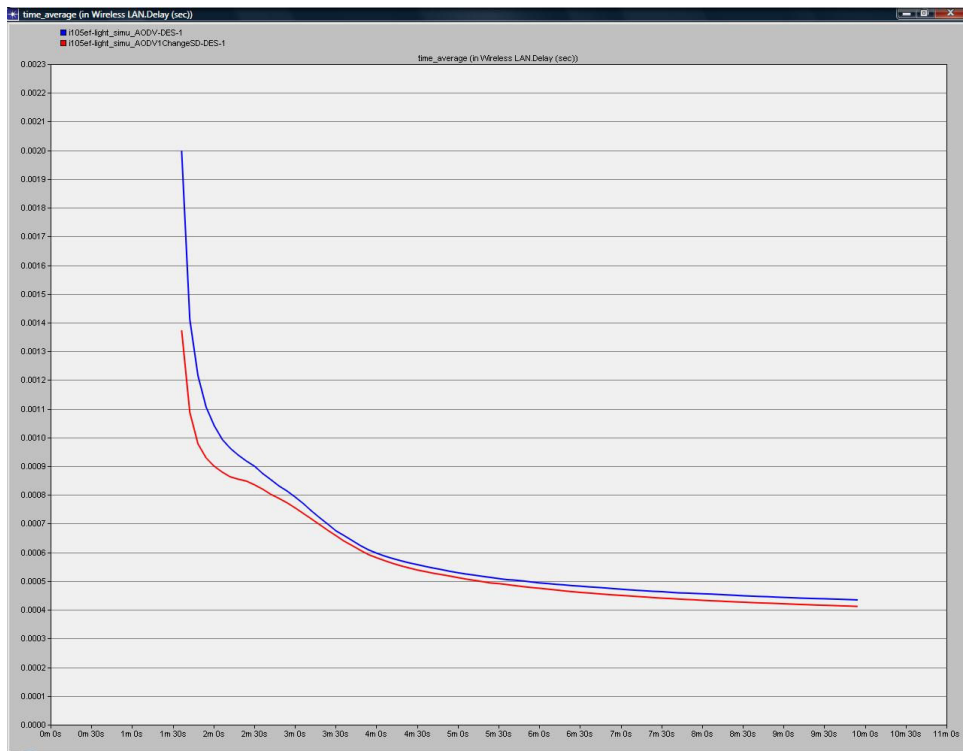
Γραφική παράσταση Number of hops



Γραφική παράσταση Route Discovery time



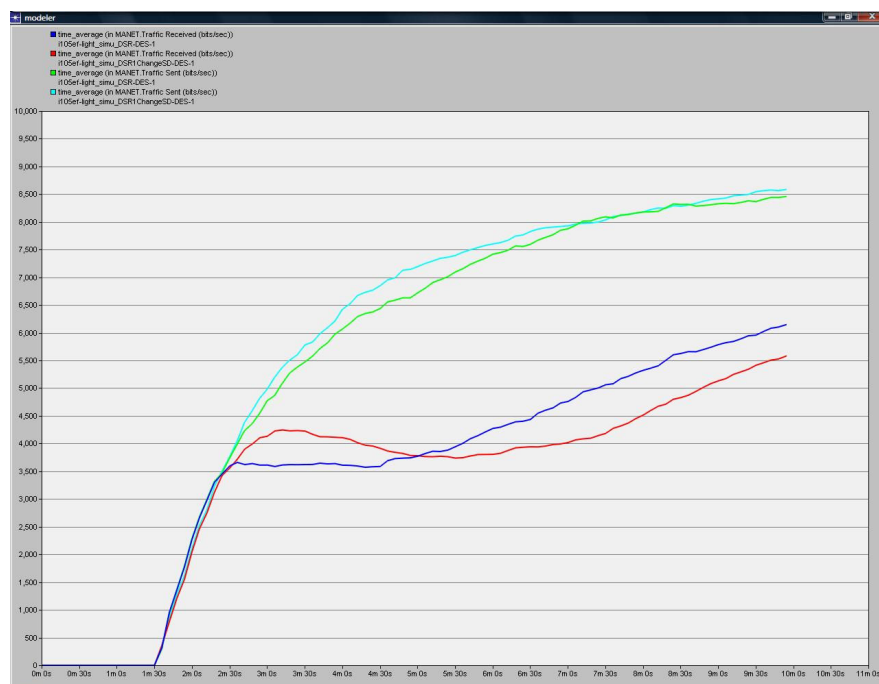
Γραφική παράσταση Data Dropped



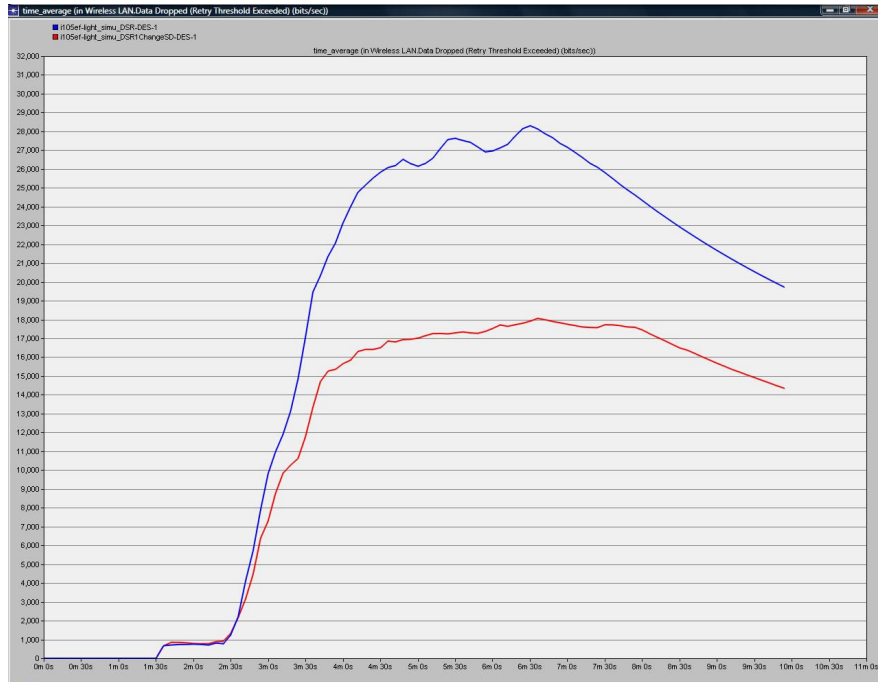
Γραφική παράσταση Delay

Πιο πάνω στις γραφικές παραστάσεις για τον AODV, βλέπουμε πως τα αποτελέσματα είναι αρκετά όμοια. Αυτό σημαίνει πως τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων είναι ορθά.

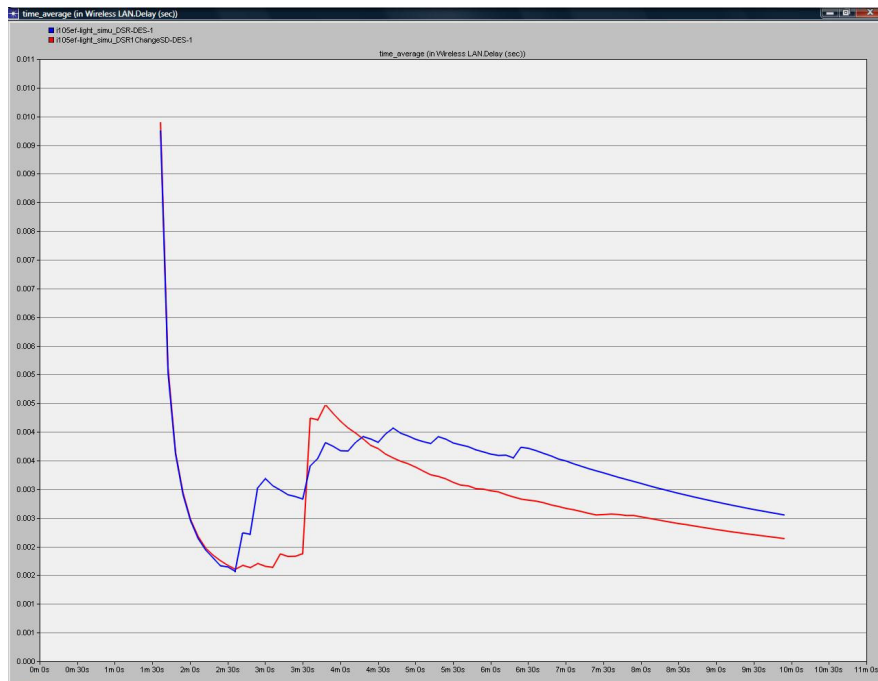
Αποτελέσματα Για τον DSR



Γραφική παράσταση traffic sent/receive



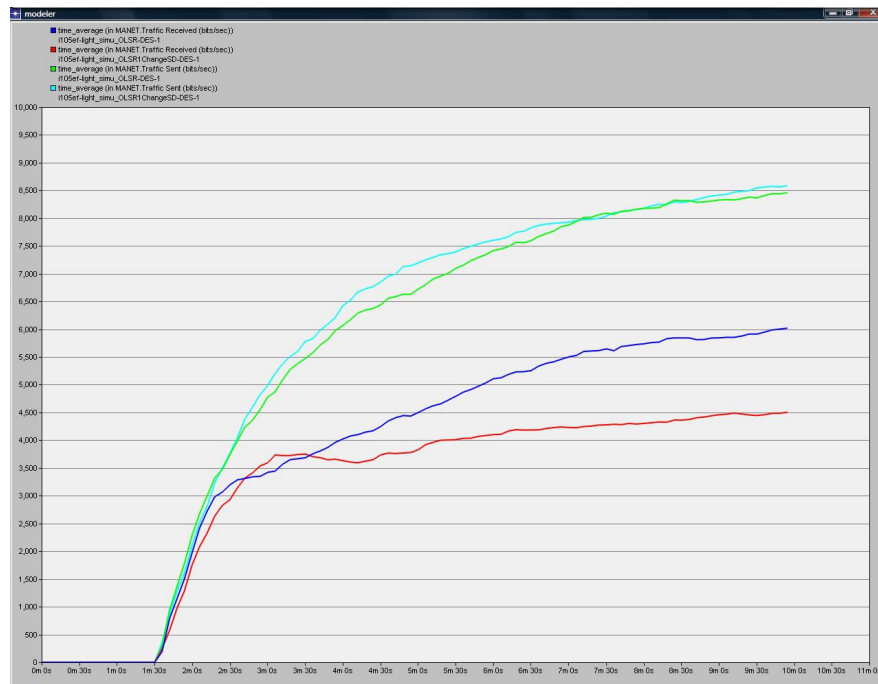
Γραφική Παράσταση Data Dropped



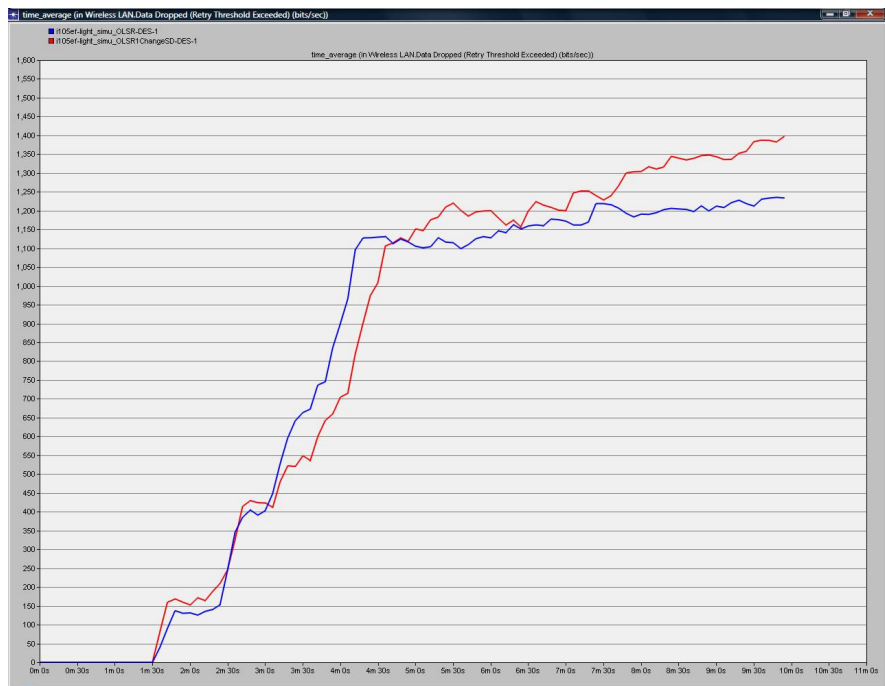
Γραφική Παράσταση Delay

Πιο πάνω, βλέπουμε τα αποτελέσματα για τον DSR, πριν και μετά από τις αλλαγές στο δίκτυο (Δηλαδή αλλάζοντας τους κόμβους που στέλνουν και λαμβάνουν δεδομένα. Όπως φαίνεται κι εδώ, τα αποτελέσματα εισηγούνται την ορθότητα των προσομοιώσεων μας αφού έχουμε σχετικά τα ίδια αποτελέσματα.

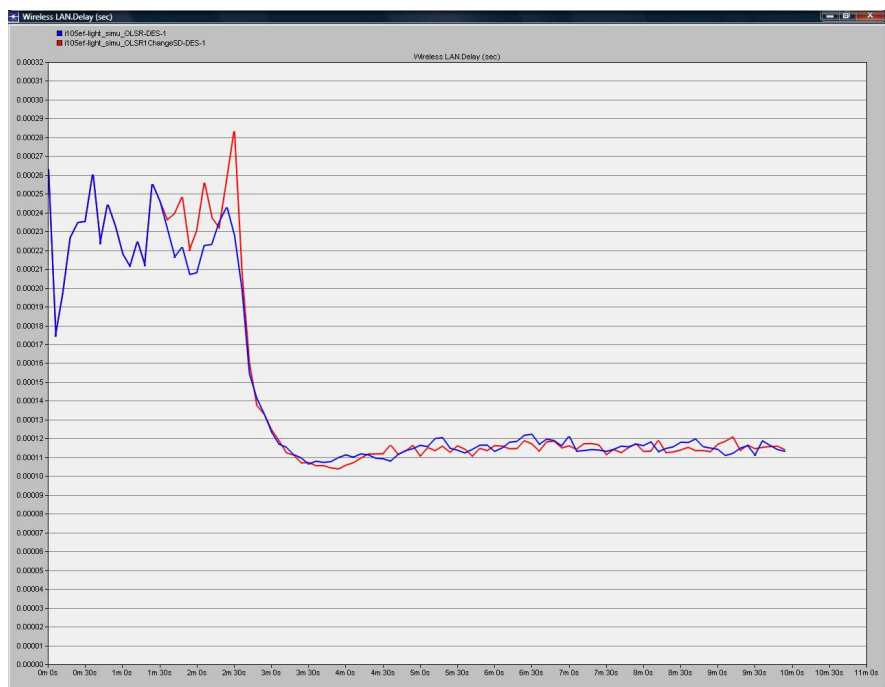
Αποτελέσματα Για τον OLSR



Γραφική παράσταση traffic sent/receive



Γραφική παράσταση data dropped



Γραφική παράσταση delay

Και τα πιο πάνω αποτελέσματα για τον αλγόριθμο OLSR είναι σχετικά όμοια (Πριν και μετά τις αλλαγές στους κόμβους). Άρα θα υποθέσουμε «επιφυλακτικά», ότι οι προσομοιώσεις μας και τα αποτελέσματα που πήραμε είναι ορθά.

5.4.2 Αλλαγές στον αριθμό των κόμβων

Πιο κάτω παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα που πήραμε μετά από αλλαγές που κάναμε στα σενάρια μας αναφορικά με τον αριθμό των κόμβων που στέλνουν δεδομένα στο δίκτυο.

Αλλάξαμε δηλαδή τα σενάρια τα οποία δεν έτρεξαν επιτυχώς, (DSR heavy, OLSR medium, OLSR heavy).

Συγκεκριμένα αντί για 15 κόμβους και 20 κόμβους να στέλνουν δεδομένα στα σενάρια medium και heavy αντίστοιχα, Βάλαμε μόνο 10 κόμβους να στέλνουν δεδομένα σε όλα τα σενάρια.

Διατηρήσαμε όμως τον ολικό αριθμό των κόμβων στο δίκτυο.

Το αποτέλεσμα είναι να τρέξει επιτυχώς το σενάριο heavy DSR στο οποίο είχαμε μόνο 10 κόμβους να στέλνουν δεδομένα. Απότυχαν όμως και πάλι τα σενάρια medium και heavy για τον OLSR.

Οι γραφικές παραστάσεις με τις συγκρίσεις του DSR στα 3 σενάρια (Light, Medium και heavy) παρουσιάζονται στο παράρτημα Α. Δεν είναι απαραίτητος σχολιασμός για τις συγκεκριμένες γραφικές. Ούτε κάποιο ιδιαίτερο αποτέλεσμα βγαίνει από αυτές, γιατί τα αποτελέσματα δεν θα είναι αντικειμενικά, αφού στο σενάριο heavy DSR έχουμε λιγότερους κόμβους να στέλνουν δεδομένα.

Το σημαντικό συμπέρασμα όμως είναι πως ο αριθμός των κόμβων που στέλνουν δεδομένα παίζει σημαντικό ρόλο στην επεκτασιμότητα του δικτύου.

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα

6.1 Γενικά Συμπεράσματα	66
6.2 Μελλοντική Εργασία	68

6.1 Γενικά Συμπεράσματα

Μετά από την ανάλυση που προηγήθηκε, φτάνουμε στα πιο κάτω γενικά συμπεράσματα. Να αναφερθεί φυσικά ότι τα πιο κάτω αποτελέσματα παρουσιάζονται επιφυλακτικά, με την απόλυτη υπόθεση πως πήραμε σωστά αποτελέσματα από τις προσημειώσεις που τρέξαμε.

	Number Of Hops	Traffic Received	End To End Delay	Data Dropped	Route Discovery Time	Throughput	Retransmission Attempts	Total Score
AODV	3	1	2	2	3	2	2	16
DSR	2	3	3	3	2	3	3	19
OLSR	1	2	1	1	1	1	1	8

Πίνακας 6.1 Πίνακας συγκρίσεως αποτελεσμάτων

Πιο πάνω βλέπουμε τον πίνακα με τις συγκρίσεις των 3 αλγορίθμων που έτρεξαν επιτυχώς στα σενάρια light. Ο πίνακας αυτός βαθμολογεί τους 3 αυτούς αλγόριθμους με τους αριθμούς 1,2 και 3 με το 1 να είναι το καλύτερο αποτέλεσμα και το 3 το χειρότερο, όσο αφορά τη συγκεκριμένη μετρική.

Προσθέτοντας στο τέλος τα αποτελέσματα των πιο πάνω βγάζουμε το τελικό αποτέλεσμα (Total Score) για τον κάθε αλγόριθμο. Όσο πιο μικρό είναι το total score τόσο πιο αποδοτικός είναι ο αλγόριθμος για ένα δίκτυο με τοπολογία και κινητικότητα σαν αυτή των VANETs.

Όπως παρατηρούμε ο πιο αποδοτικός φαίνεται να είναι ο OLSR. Στη συνέχεια έρχεται ο AODV και τέλος ο DSR.

	Completed Successfully		
	Light	Medium	Heavy
AODV	Yes	Yes	Yes
DSR	Yes	Yes	No
OLSR	Yes	No	No

Πίνακας 6.2 Πίνακας συγκρίσεως επεκτασιμότητας

Στον πιο πάνω πίνακα βλέπουμε για τον κάθε αλγόριθμο κατά πόσο έχει τρέξει επιτυχώς ή όχι για τα 10 λεπτά προσομοίωσης. Όπως βλέπουμε πιο πάνω, ο μόνος αλγόριθμος που επιτυγχάνει να τρέξει επιτυχώς σε όλα τα σενάρια είναι ο AODV. Στη συνέχεια έρχεται ο DSR με επιτυχία στο light και στο medium και τέλος έχουμε τον OLSR να τρέχει επιτυχώς μόνο στο light σενάριο.

Το συμπέρασμα εδώ είναι ότι ο AODV κλιμακώνεται και επεκτείνεται καλύτερα από τους άλλους δυο αλγορίθμους.

Συγκρίνοντας πλέον τους δυο πιο πάνω πίνακες βλέπουμε πως αφού αποκλείουμε τον OLSR διότι αποτυγχάνει και στο medium και στο heavy σενάριο, θα πρέπει να επιλέξουμε τον AODV σαν καλύτερο αλγόριθμο για μια τοπολογία όπως στα VANETs.

Εκτός από τα καλά αποτελέσματα που βλέπουμε στον AODV, έχει και μεγάλη επεκτασιμότητα αφού καταφέρνει και τρέχει επιτυχώς ακόμα και στο heavy σενάριο με 892 κόμβους, πράγμα πολύ σημαντικό για τα δίκτυα VANETs.

Από εκεί και πέρα θα πρέπει να δούμε ποιον αλγόριθμο πρέπει να χρησιμοποιήσουμε σε κάθε περίπτωση, ανάλογα με τις εφαρμογές που θέλουμε να υποστηρίζει το δίκτυο μας. Για παράδειγμα αν μας ενδιαφέρει το Number of hops που ακολουθούν τα πακέτα μας, τότε θα ήταν καλύτερα να επιλέξουμε τον DSR παρά τον AODV, ο οποίος έχει καλύτερα αποτελέσματα στη συγκεκριμένη μετρική.

6.2 Μελλοντική Εργασία

Σαν μελλοντικούς στόχους για αυτή την εργασία θα εισηγούμενους όπως τρέξουν περισσότερα σενάρια για να διαπιστωθεί η ορθότητα των προσομοιώσεων. Επιπλέον θα πρέπει να δούμε τι οφείλεται ακριβώς για την αποτυχία των αλγορίθμων που δεν κατάφεραν να τρέξουν επιτυχώς σε όλα τα σενάρια.

Πρέπει να γίνει μια μελέτη ειδικά για τον αλγόριθμο TORA ο οποίος δεν έτρεξε επιτυχώς ούτε καν για το light σενάριο. Πρέπει να δούμε κατά πόσο το πρόβλημα αυτό είναι πρόβλημα με κάποιες παραμέτρους που χρησιμοποιήσαμε στην OPNET, ή κατά πόσο είναι εντελώς ακατάλληλος για εφαρμογή σε δίκτυα VANETs.

Επίσης σημαντική εργασία που πρέπει να γίνει, είναι όπως πειραματιστούμε με όλους τους αλγορίθμους αλλάζοντας διαφορετικές παραμέτρους των αλγορίθμων κάθε φορά για να επιτύχουμε βέλτιστα αποτελέσματα. Για παράδειγμα ο OLSR εκτός από το πρόβλημα που παρουσιάζει στην επεκτασιμότητα του δικτύου, φαίνεται να έχει πολύ καλά αποτελέσματα σε άλλες μετρικές. Επομένως πειραματίζοντας επιπλέον με τον OLSR μπορεί να εξαχθούν αποτελέσματα που να εισηγούνται την τροποποίηση του αλγορίθμου για τη δημιουργία μιας έκδοσης του OLSR κατάλληλα για δίκτυα VANETs.

Επιπλέον θα εισηγούμενους τον πειραματισμό με σενάρια με περισσότερους κόμβους να στέλνουν δεδομένα καθώς επίσης και πιο μεγάλης διάρκειας προσομοίωσης για να εξακριβώσουμε κατά πόσο τα αποτελέσματα που πήραμε είναι αντιπροσωπευτικά ή να δούμε μήπως οι συγκεκριμένοι αλγόριθμοι αποτυγχάνουν πλήρως στη συνέχεια.

Τέλος θα εισηγούμενους όπως βρεθούν και δημιουργηθούν κατάλληλες μετρικές στην OPNET που αφορούν συγκεκριμένα τα δίκτυα VANETs, έτσι ώστε να συλλέξουμε και άλλα δεδομένα για περαιτέρω διερεύνηση του αντικειμένου. Για παράδειγμα, μια μετρική για υπολογισμό της μέσης διάρκειας που είναι «ζωντανή» μια διαδρομή ή επίσης ο μέσος χρόνος που διαρκεί ένας σύνδεσμος μεταξύ δυο οχημάτων.

Μετρικές που να είναι σε συνάρτηση με την ταχύτητα του οχήματος καθώς και με την πυκνότητα των οχημάτων, μπορεί να βοηθήσουν για να αναλύσουμε περισσότερο την δρομολόγηση στα δίκτυα VANETS.

Βιβλιογραφία

- [1] Mihail L. Sichitiu and Maria Kihl, “*Inter-vehicle communication systems: A Survey*”, Vol. 10, No. 2, Communications Surveys & Tutorials, IEEE In Communications Surveys & Tutorials, IEEE. (15 July 2008), pp. 88-105.
- [2] H. Hartenstein and K. Laberteaux, “*A tutorial survey on vehicular ad hoc networks*”, vol. 46, no. 6, IEEE Communications Magazine, June 2008, pp. 164-171
- [3] Mehran Abolhasan , Tadeusz Wysocki and Eryk Dutkiewicz, “*A review of routing protocols for mobile ad hoc networks*”, Volume 2, Issue 1, Ad Hoc Networks, January 2004, Pages 1-22
- [4] Jun Luo and Jean-Pierre Hubaux, “*A Survey of Inter-Vehicle Communication*”, School of Computer and Communication Sciences, EPFL, CH-1015 Lausanne, Switzerland, Technical Report IC/2004/24
- [5] Azzedine Boukerche and Mirela Sechi M. Annoni Notare, “*Routing in mobile and wireless ad hoc networks*”, Volume 63, Issue 2, Journal of Parallel and Distributed Computing, February 2003, Pages 107-109
- [6] Azzedine Boukerche, Horacio Oliveira, Eduardo F. Nakamura and Antonio A.F. Loureiro, “*Vehicular Ad Hoc Networks: A New Challenge for Localization-Based Systems*”, Vol. 31, No. 12, Computer Communications, (30 July 2008), pp. 2838-2849.
- [7] Peter Pieda and John Spicer, “*Using OPNET to Evaluate Diverse Routing Algorithms*”, Tropic Networks, 135 Michael Cowpland Drv., Kanata, On. K2M 2E9
- [8] Yun-Wei Lin, Yuh-Shyan Chen, And Sing-Ling Lee, “*Routing Protocols in Vehicular Ad Hoc Networks: A Survey and Future Perspectives*”, Taiwan, R.O.C. , 2007
- [9] Naga .V.Yedida and Rajesh Reddy Challa, “*Performance Comparison of AODV, DSR and OLSR Routing Protocols in Static Scenarios*”, Center for Advanced Computer Sciences, Louisiana, 2008.

- [10] T. Clausen and P. Jacquest, “*Optimized link state routing protocol (OLSR)*”, RFC 3626, Oct. 2003.
- [11] James A. Freebersyser and Barry Leiner, “*A DoD perspective on mobile ad hoc networks*”, Charles E. Perkins (Ed.), *Ad Hoc Networking*, Addison Wesley, Reading, MA, 2001, pp. 29–51.
- [12] Ioannis Broustis and Michalis Faloutsos, “*Routing in Vehicular Networks: Feasibility, Modeling, and Security*”, Volume 2008, *International Journal of Vehicular Technology*, March 2008.
- [13] D. B. Johnson, D. A. Maltz, and J. Broch, *DSR: the dynamic source routing protocol for multihop wireless ad hoc networks*. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., December 2000, pp. 139-172. [Online]. Available: <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=374547.374552>
- [14] Namboodiri V and Lixin Gao, “*Prediction-Based Routing for Vehicular Ad Hoc Networks*”, Volume 56, *Vehicular Technology, IEEE Transactions on* Issue 4, July 2007, Page(s):2332 – 2345
- [15] D. Johnson, Y. Hu and D. Maltz, “*The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4*”, RFC 4728, February 2007
- [16] C. Perkins, E. Belding-Royer and S. Das, “*Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV)*”, RFC 3561, July 2003
- [17] V. Park and S. Corson, Version 1, “*Temporally-Ordered Routing Algorithm (TORA) Functional Specification*” Flarion Technologies, Inc. , 20 July 2001,.
- [18] Magnus Frodigh, Per Johansson and Peter Larsson, “*Wireless ad hoc networking - The art of networking without a network*”, Ericsson Review no. 04, 2000
- [19] F. Baker, “*An outsider’s view of MANET*”, Cisco Systems, draft-baker-manet-review-01, Cisco Systems, March 17, 2002
- [20] Charles Jackson, “*Dynamic Sharing of Radio Spectrum: A Brief History*”, *New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks*, Baltimore, MD, USA, 2005, p. 445 - 466

Παράρτημα Α

Πιο κάτω βλέπουμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά για τους κόμβους που έχουμε στα διάφορα σενάρια των προσομοιώσεων.

Wireless LAN station

Full Name: Enterprise Network.car_32

name	car_32
trajectory	i105e_hvy_car_32_trj
AD-HOC Routing Protocol	GRP
AODV Parameters	Default
Cross Connect Groups	None
DHCPv6 Client Parameters	Disabled
DHCPv6 Server Parameters	Disabled
DSR Parameters	Default
GRP Parameters	Default
IP Forwarding Table	Do Not Export
IP Host Parameters	(...)
IP Processing Information	(...)
MANET Traffic Generation Parameters	None
OLSR Parameters	Default
TORA/IMEP Parameters	Default
Wireless LAN MAC Address	32
Wireless LAN Parameters	(...)

Attribute: IP Host Parameters

Interface Information	(...)
Passive RIP Routing	Disabled
Default Route	Auto Assigned
Static Routing Table	None
IPv6 Default Route	Auto Assigned
Multicast Mode	Disabled
V6 Static Routing Table	(...)

Attribute: IP Host Parameters.Interface Information

Name	IF0
Address	128.1.0.1
Subnet Mask	255.255.0.0
MTU	WLAN
Compression Information	None
IPv6 Parameters	None
Description	N/A
Layer 2 Mappings	None

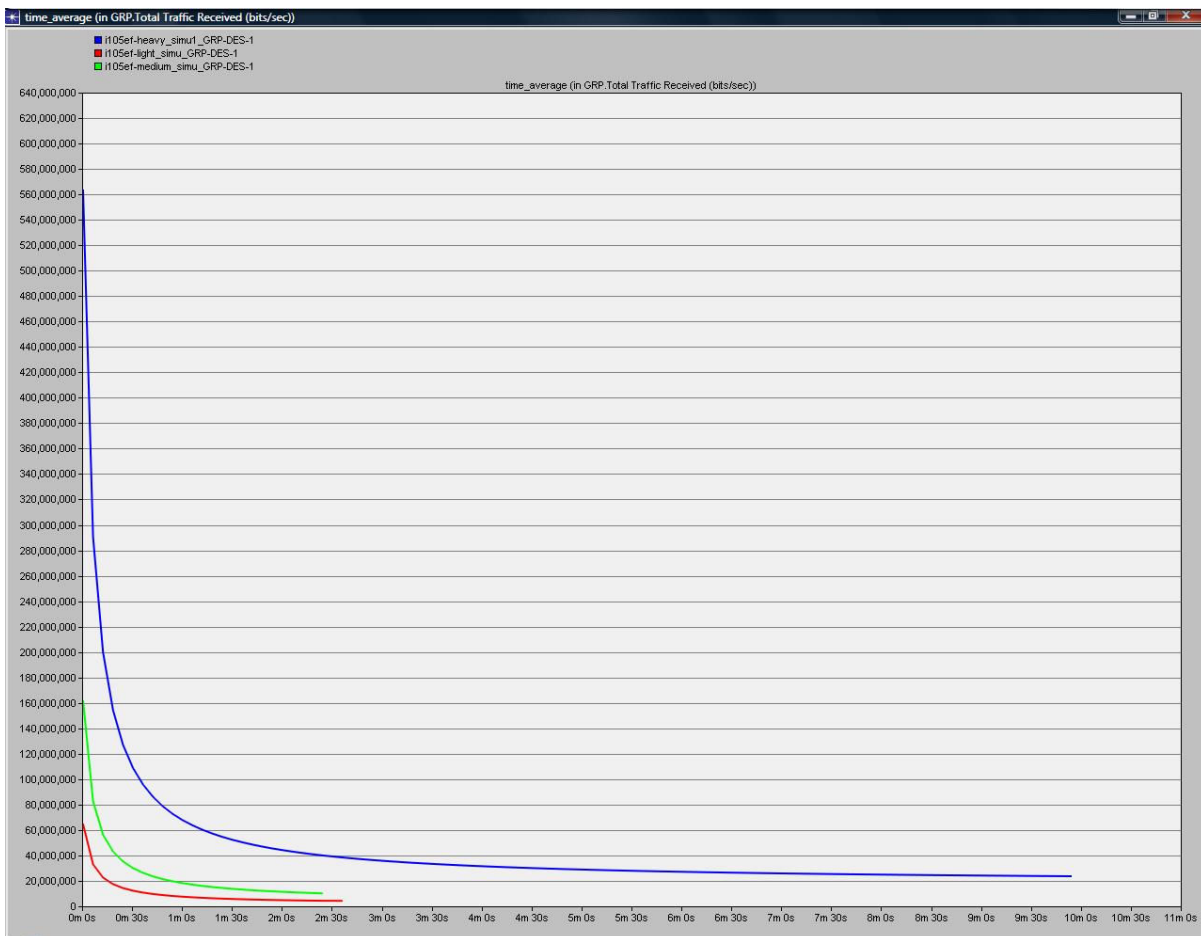
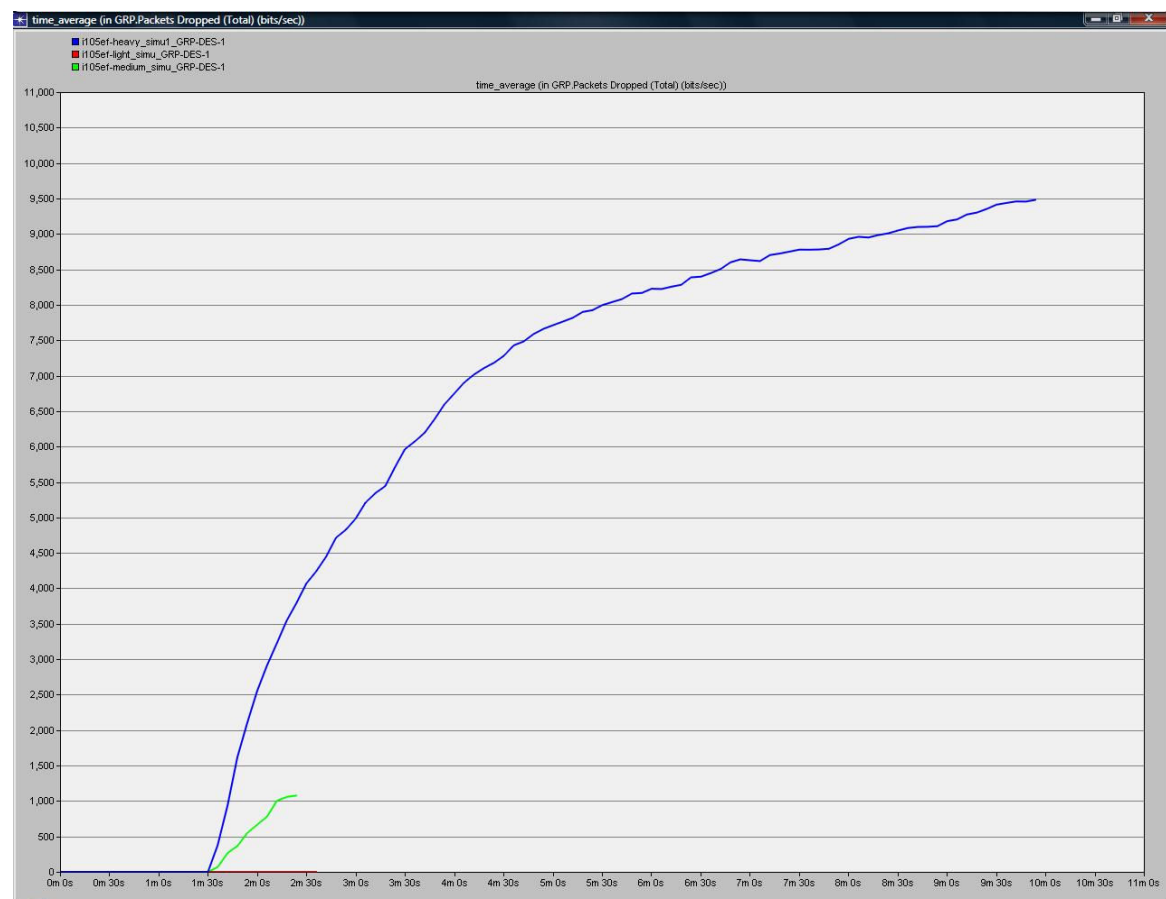
Attribute: IP Processing Information

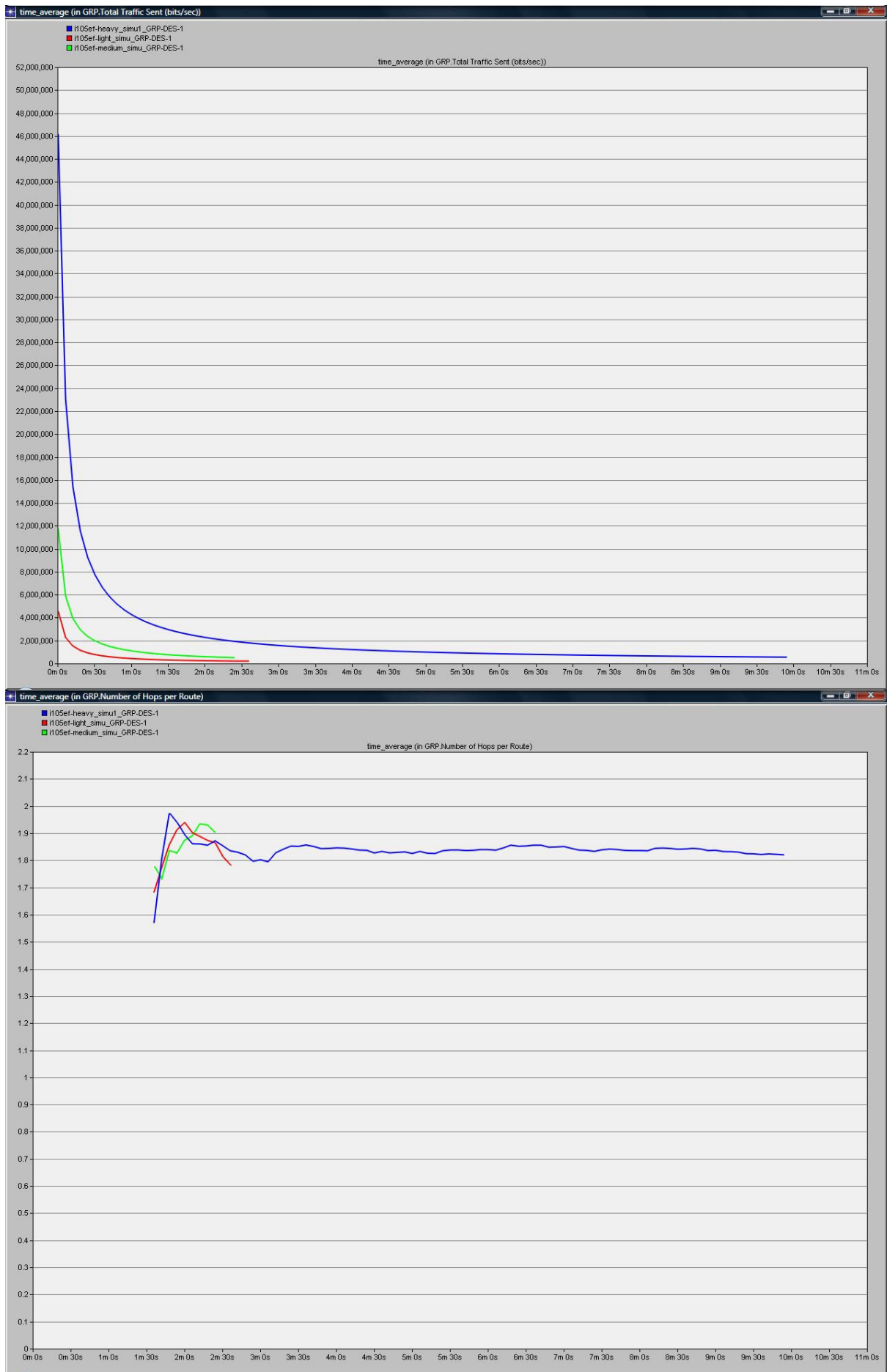
Processing Scheme	Central Processing
Backplane Transfer Rate	Not Used
Datagram Switching Rate	500,000
Datagram Forwarding Rate	Efficiency Mode
Forwarding Rate Units	packets/second
Memory Size	16 MB

Attribute: Wireless LAN Parameters

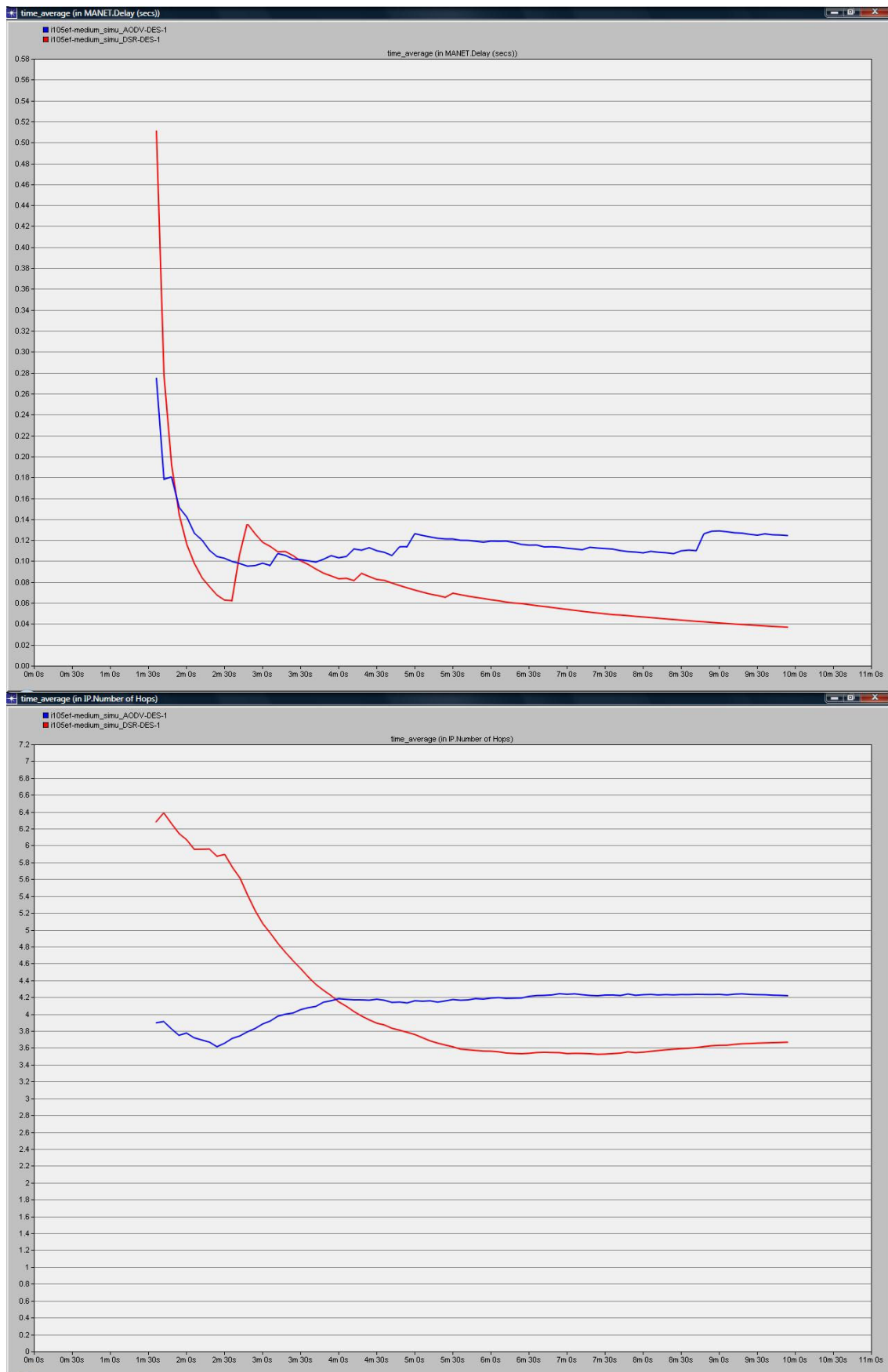
BSS Identifier	Auto Assigned
Access Point Functionality	Disabled
Physical Characteristics	OFDM (802.11a)
Data Rate	12 Mbps
Channel Settings	Auto Assigned
Transmit Power	0.0039
Packet Reception-Power Threshold	-95
Rts Threshold	None
Fragmentation Threshold	2000
CTS-to-self Option	Enabled
Short Retry Limit	7
Long Retry Limit	4
AP Beacon Interval	0.02
Max Receive Lifetime	0.5
Buffer Size	256000
Roaming Capability	Disabled
Large Packet Processing	Drop
PCF Parameters	Disabled
HCF Parameters	Not Supported

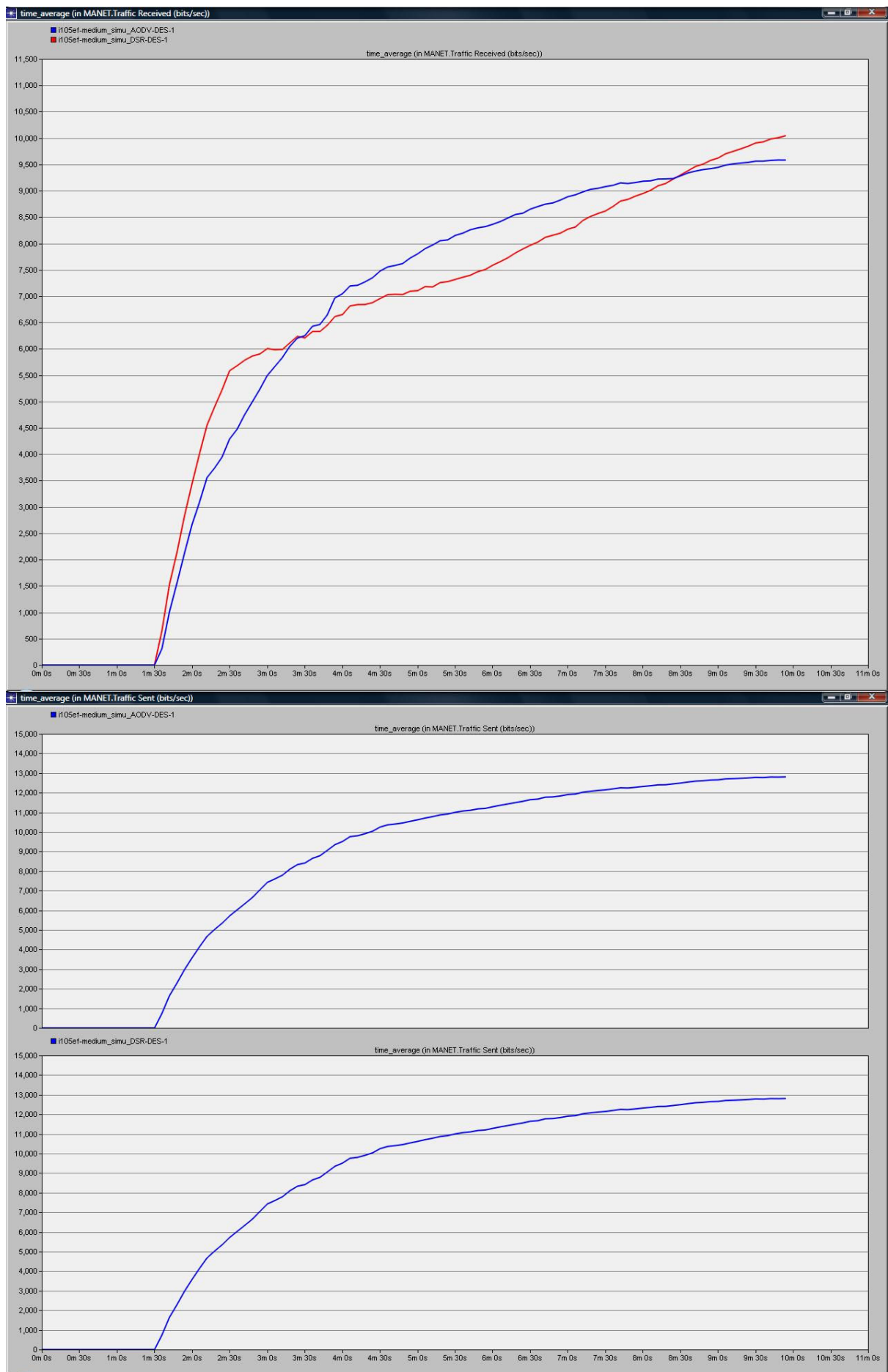
Πιο κάτω παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις που πήραμε για GRP

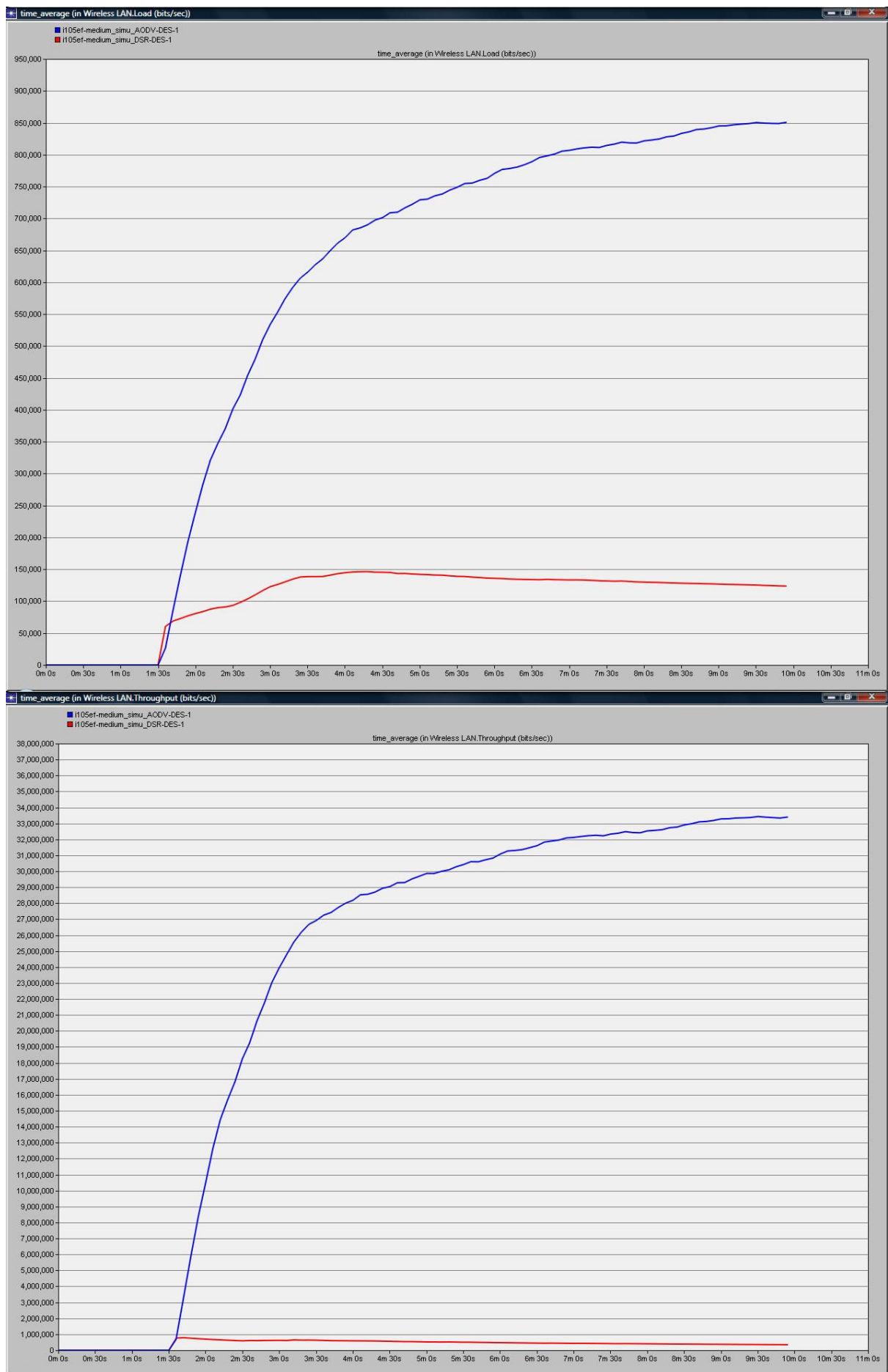




Εδώ φαίνονται οι συγκρίσεις των αλγορίθμων AODV με DSR για το medium σενάριο.

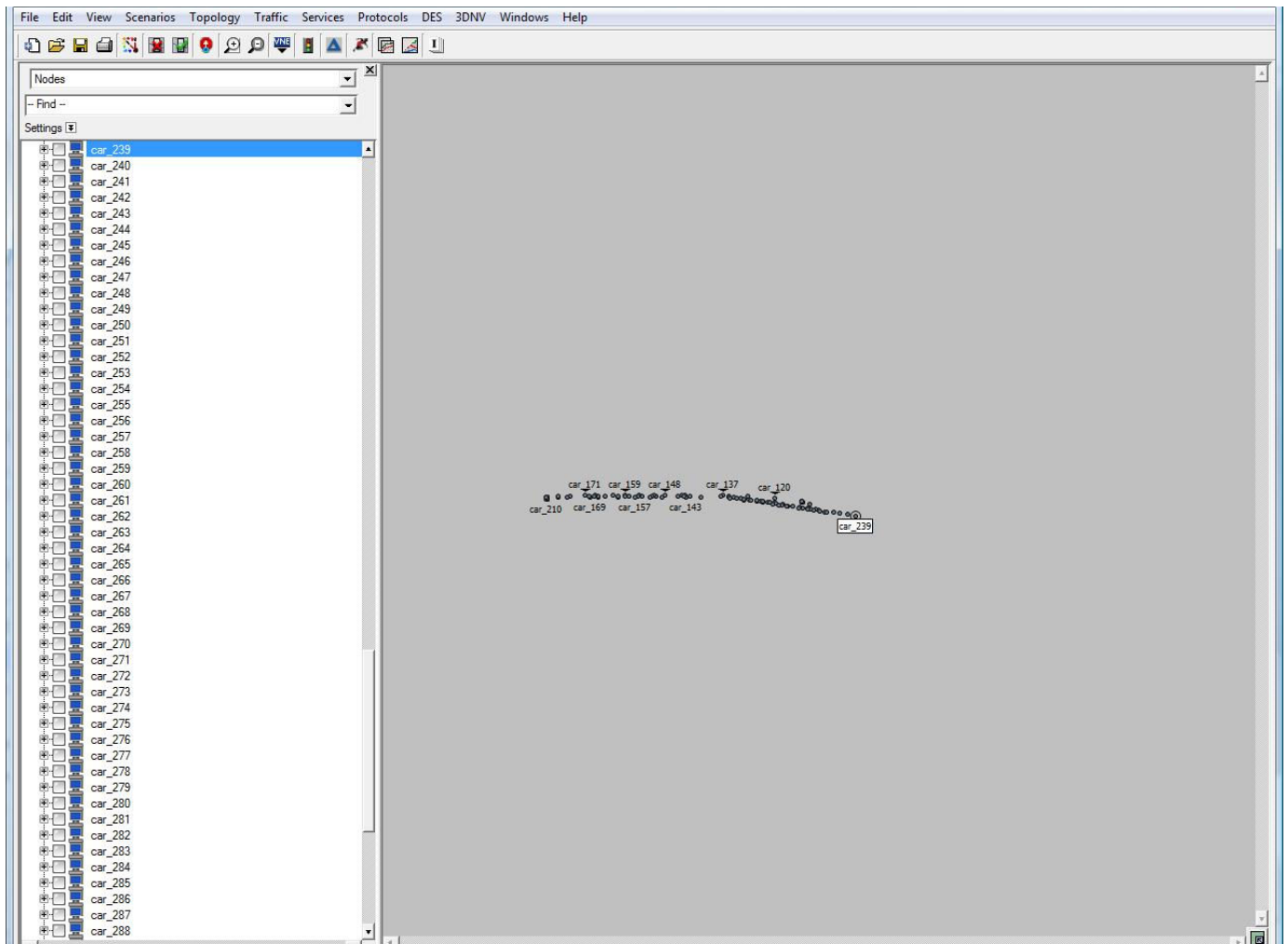




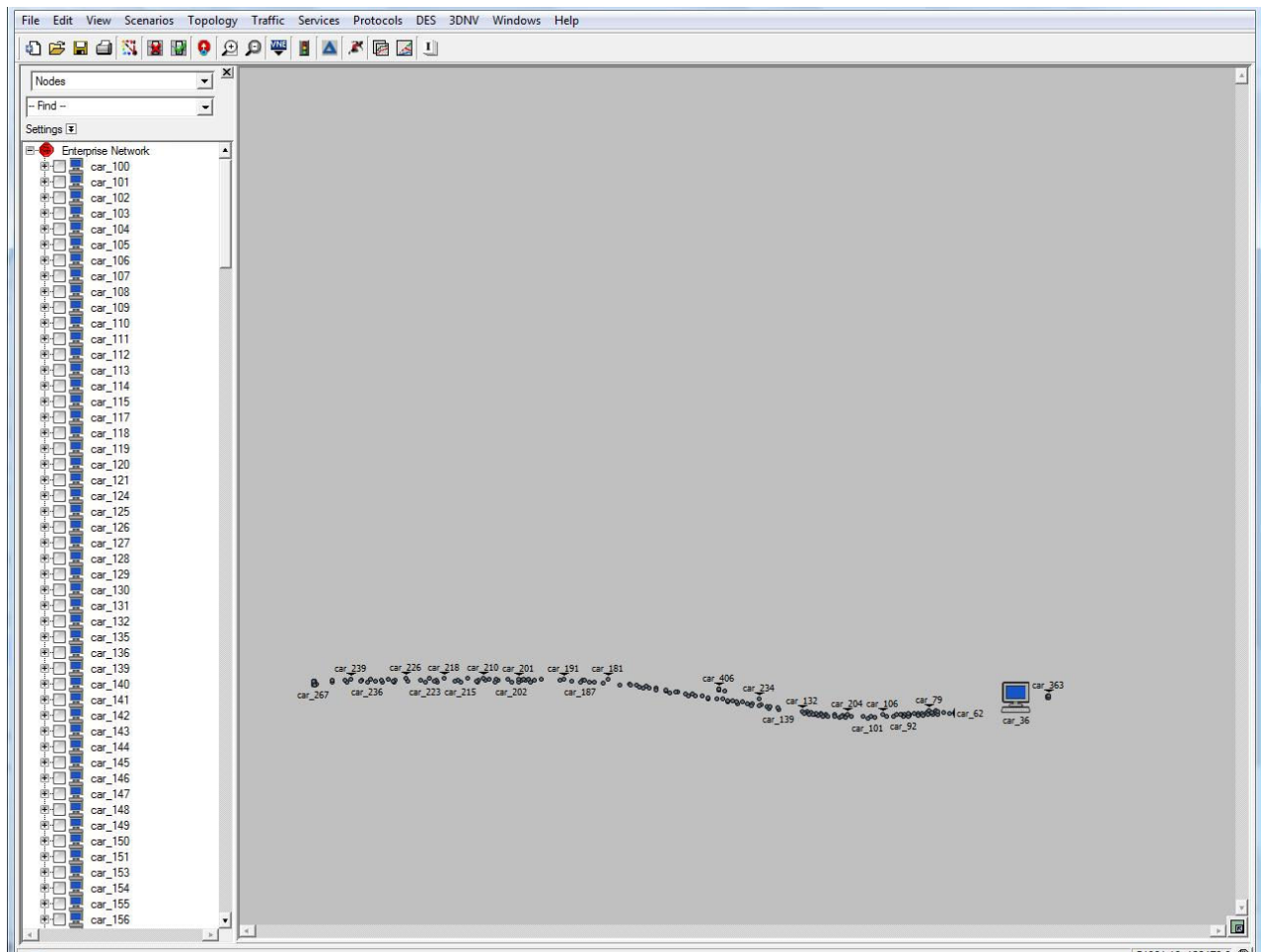




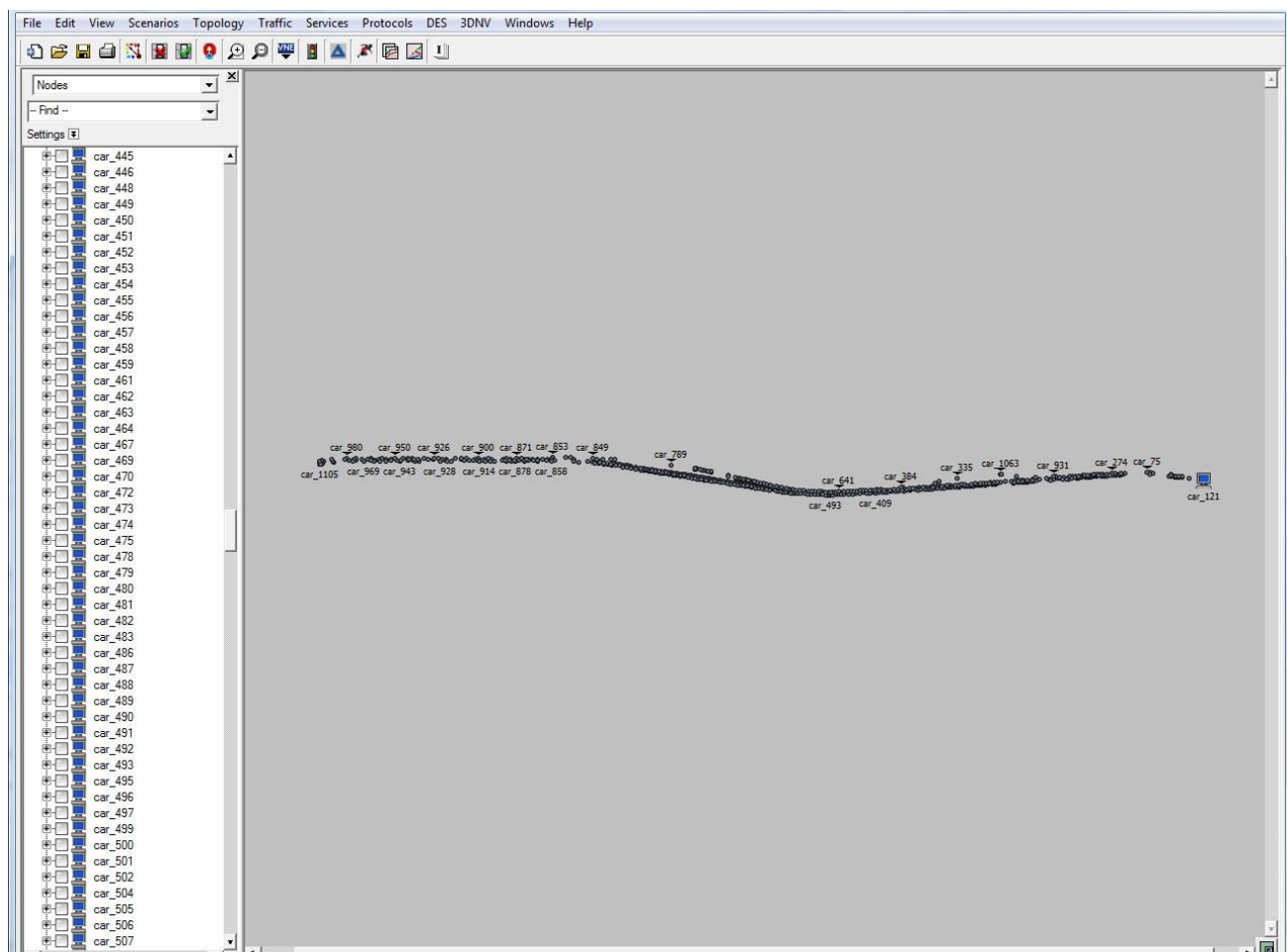
Πιο κάτω βλέπουμε τα screenshots των σεναρίων light, medium και heavy που χρησιμοποιήσαμε.



Σενάριο Light



Σενάριο Medium



Σενάριο Heavy

Πιο κάτω παρουσιάζουμε τις γραφικές παραστάσεις των τριών σεναρίων του DSR μετά από τις αλλαγές που κάναμε στο δίκτυο, όσο αφορά τον αριθμό των κόμβων που στέλνουν δεδομένα.

