

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
Π.Μ.Σ “ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ & ΔΙΚΤΥΑ”



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
UNIVERSITY OF PIRAEUS

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Αδόμητα (Ad Hoc) δίκτυα ασύρματων
επικοινωνιών**

Η φοιτήτρια
Κασιμοπούλου Αντωνία

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Αρίστη Γαλάνη

Πειραιάς 2017

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πίνακας Πινάκων.....	5
Πίνακας Σχημάτων.....	6
Εισαγωγή.....	8
1. Αδόμητα Δίκτυα.....	10
1.1. Ιστορική αναδρομή αδόμητων δικτύων.....	11
1.1.1. Αδόμητα δίκτυα πρώτης γενιάς.....	12
1.1.2. Αδόμητα δίκτυα δεύτερης γενιάς.....	13
1.1.3. Αδόμητα δίκτυα τρίτης γενιάς.....	14
1.2. Είδη αδόμητων δικτύων.....	15
1.2.1. Manets.....	15
1.2.2. Vanets.....	16
1.2.3. Δίκτυα Πλέγματος.....	17
1.2.4. Δίκτυα αισθητήρα.....	18
1.3. Χαρακτηριστικά αδόμητων δικτύων.....	19
1.4. Κατηγοριοποίηση αδόμητων δικτύων.....	21
1.4.1. Τοπολογία.....	21
1.4.2. Επικοινωνία.....	22
1.4.3. Διαμόρφωση του κόμβου.....	22
1.5. Εφαρμογές αδόμητων δικτύων.....	23
1.6. Προκλήσεις αδόμητων δικτύων.....	25
2. IEEE 802.11.....	29
2.1. Αρχιτεκτονική 802.11.....	30
2.2. Επίπεδο MAC.....	31
2.2.1. Πρόσβαση στο επίπεδο MAC.....	31
2.2.1.1. Πρόσβαση χωρίς συντονισμό.....	31
2.2.1.2. Πρόσβαση με συντονισμό.....	32
2.2.2. Μέθοδοι πρόσβασης στο επίπεδο MAC.....	33
2.2.2.1. PCF.....	33
2.2.2.2. DCF.....	34
2.3. Υποστήριξη δικτύου Ad Hoc.....	34
3. Πρωτόκολλα δρομολόγησης.....	37
3.1. Δρομολόγηση αδόμητων δικτύων.....	37
3.1.2. Ζητήματα δρομολόγησης αδόμητων δικτύων.....	38
3.2. Κατηγορίες πρωτοκόλλων δρομολόγησης.....	40

3.2.1. Ενεργά (Proactive) πρωτόκολλα δρομολόγησης	40
3.2.1.1. DVRP	40
3.2.1.2. LSRP	44
3.2.1.3. Διαφορές των DVRP και LSRP	47
3.2.2. Κατά απαίτηση (Reactive) πρωτόκολλα δρομολόγησης	47
3.2.3. Υβριδικά πρωτόκολλα δρομολόγησης (HRP)	54
3.3. Πρωτόκολλα δρομολόγησης για ad hoc δίκτυα	58
4. Πρωτόκολλα επικοινωνίας	62
4.1. Internet Protocol Suite	62
4.2. Internet Protocol (IP)	63
4.2.1.Είδη κίνησης.....	63
4.2.1.1. Transmission Control Protocol (TCP).....	63
4.2.1.2. User Datagram Protocol (UDP)	67
5. Πολυμεσικές εφαρμογές.....	70
5.1. Ήχος.....	70
5.2. Εικόνα.....	70
5.3. Βίντεο	72
5.5. Τεχνικές υλοποίησης στα MANETs.....	73
5.5.1. Ιεραρχική δρομολόγηση.....	74
5.5.2. Πρωτόκολλο RTP	76
5.5.3. MDC και FEC.....	76
5.5.4. Δρομολόγηση QoS.....	77
6. Ανάλυση πειραμάτων	79
6.1. Μοντέλα προσομοίωσης	79
6.1.1. NS-2.....	81
6.2. Περιβάλλον Προσομοίωσης.....	82
6.2.1. Εγκατάσταση περιβάλλοντος προσομοίωσης.....	82
6.2.2. NAM.....	83
6.3. Μελετώμενα πρωτόκολλα προσομοίωσης.....	84
6.3.1. AODV	84
6.3.2. DSDV.....	86
6.3.3. DSR.....	88
6.3.4. Σύγκριση των πρωτοκόλλων AODV, DSDV και DSR.....	89
6.4. Μελετώμενα χαρακτηριστικά προσομοίωσης.....	91
6.5. Γενικά χαρακτηριστικά πειραμάτων.....	92
7. Πειράματα.....	93

7.1. Πρώτο πείραμα προσομοίωσης.....	93
7.1.1. Βασικά χαρακτηριστικά.....	93
7.1.2. Ανάλυση αποτελεσμάτων.....	95
7.1.2.1. AODV.....	95
7.1.2.2. DSDV.....	99
7.1.2.3. DSR.....	103
7.1.3. Στατιστικοί πίνακες.....	106
7.1.4. Ανάλυση αποτελεσμάτων.....	108
7.1.5. Συμπεράσματα.....	109
7.2. Δεύτερο πείραμα προσομοίωσης.....	111
7.2.1. Βασικά χαρακτηριστικά.....	111
7.2.2. Ανάλυση αποτελεσμάτων.....	114
7.2.2.1. AODV.....	114
7.2.2.2. DSDV.....	117
7.2.2.4. DSR.....	121
7.2.3. Στατιστικοί πίνακες.....	124
7.2.4. Ανάλυση Αποτελεσμάτων.....	128
7.2.5. Συμπεράσματα.....	131
7.3. Σύγκριση πειραμάτων.....	132
7.3.1. AODV.....	133
7.3.2. DSDV.....	133
7.3.3. DSR.....	134
7.3.4. Σύνοψη παρατηρήσεων.....	135
8. Προκλήσεις και εξέλιξη της έρευνας στον χώρο των ad hoc δικτύων.....	137
8.1. Δρομολόγηση.....	138
8.2. Διαχείριση συμφόρησης.....	140
8.3. Διαχείριση ενέργειας.....	140
8.4. QoS.....	141
8.5. Ασφάλεια.....	142
8.6. Smart objects.....	144
8.7. Διαλειτουργικότητα με Δορυφορικά Δίκτυα.....	145
Επίλογος.....	147
Παράρτημα.....	148
Βιβλιογραφία – Παραπομπές.....	169
Εικόνες.....	172

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας	Περιεχόμενο	Σελίδα
1	Χαρακτηριστικά των πρωτοκόλλων AODV, DSDV, DSR και TORA	60
2	Χαρακτηριστικά των πρωτοκόλλων AODV, DSDV και DSR	90
3	Πείραμα 1: Συγκεντρωτικές και μέσες τιμές μετρήσεων	107
4	Πείραμα 1: Τιμές μετρήσεων Κόμβος πηγή: n0 Κόμβος προορισμός: n6	107
5	Πείραμα 1: Τιμές μετρήσεων Κόμβος πηγή: n6 Κόμβος προορισμός: n0	108
6	Πείραμα 2: Συγκεντρωτικές και μέσες τιμές μετρήσεων	125
7	Πείραμα 2: Τιμές μετρήσεων Κόμβος πηγή: n0 Κόμβος προορισμός: n6	125
8	Πείραμα 2: Τιμές μετρήσεων Κόμβος πηγή: n0 Κόμβος προορισμός: n5	126
9	Πείραμα 2: Τιμές μετρήσεων Κόμβος πηγή: n5 Κόμβος προορισμός: n0	126
10	Πείραμα 2: Τιμές μετρήσεων Κόμβος πηγή: n5 Κόμβος προορισμός: n6	127
11	Πείραμα 2: Τιμές μετρήσεων Κόμβος πηγή: n6 Κόμβος προορισμός: n0	127
12	Πείραμα 2: Τιμές μετρήσεων Κόμβος πηγή: n6 Κόμβος προορισμός: n5	128
13	Τιμές μετρήσεων του πρωτοκόλλου AODV στα δύο πειράματα	133
14	Τιμές μετρήσεων του πρωτοκόλλου DSDV στα δύο πειράματα	134
15	Τιμές μετρήσεων του πρωτοκόλλου DSR στα δύο πειράματα	135

Πίνακας Σχημάτων

Σχήμα	Περιεχόμενο	Σελίδα
1	Πείραμα 1: Μονοπάτι μεταξύ των κόμβων (25 – 67 s)	94
2	Πείραμα 1: Μονοπάτι μεταξύ των κόμβων (67 – 80 s)	95
3	Πείραμα 1: Ρυθμοαπόδοση των κόμβων (AODV)	96
4	Πείραμα 1: Καθυστέρηση λήψης των πακέτων (AODV)	96
5	Πείραμα 1: Αριθμός πακέτων που δεν παραλήφθηκαν (AODV)	97
6	Πείραμα 1: Αριθμός πακέτων που δεν παραλήφθηκαν (AODV)	97
7	Πείραμα 1: Μέση ρυθμοαπόδοση (AODV)	98
8	Πείραμα 1: Μέση καθυστέρηση (AODV)	98
9	Πείραμα 1: Ρυθμοαπόδοση των κόμβων (DSR)	99
10	Πείραμα 1: Καθυστέρηση λήψης των πακέτων (DSR)	99
11	Πείραμα 1: Αριθμός πακέτων που δεν παραλήφθηκαν (DSR)	100
12	Πείραμα 1: Αριθμός πακέτων που δεν παραλήφθηκαν (DSR)	101
13	Πείραμα 1: Μέση ρυθμοαπόδοση (DSR)	101
14	Πείραμα 1: Μέση καθυστέρηση (DSR)	102
15	Πείραμα 1: Μέση διακύμανση της καθυστέρησης (DSR)	102
16	Πείραμα 1: Μέση διακύμανση της καθυστέρησης (DSDV)	103
17	Πείραμα 1: Ρυθμοαπόδοση των κόμβων (DSR)	103
18	Πείραμα 1: Καθυστέρηση λήψης των πακέτων (DSR)	104
19	Πείραμα 1: Αριθμός πακέτων που δεν παραλήφθηκαν (DSR)	104
20	Πείραμα 1: Αριθμός πακέτων που δεν παραλήφθηκαν (DSR)	105
21	Πείραμα 1: Μέση ρυθμοαπόδοση (DSR)	105
22	Πείραμα 1: Μέση καθυστέρηση (DSR)	106
23	Πείραμα 1: Μέση διακύμανση της καθυστέρησης (DSR)	106
24	Πείραμα 2: Μονοπάτι μεταξύ των κόμβων (25 – 54 s)	112
25	Πείραμα 2: Μονοπάτι μεταξύ των κόμβων (54 – 66 s)	113
26	Πείραμα 2: Μονοπάτι μεταξύ των κόμβων (66 – 75 s)	113
27	Πείραμα 2: Μονοπάτι μεταξύ των κόμβων (75 – 80 s)	114
28	Πείραμα 2: Ρυθμοαπόδοση των κόμβων (AODV)	114
29	Πείραμα 2: Καθυστέρηση λήψης των πακέτων (AODV)	115
30	Πείραμα 2: Αριθμός πακέτων που δεν παραλήφθηκαν (AODV)	115
31	Πείραμα 2: Αριθμός πακέτων που δεν παραλήφθηκαν (AODV)	116
32	Πείραμα 2: Μέση ρυθμοαπόδοση (AODV)	116
33	Πείραμα 2: Μέση καθυστέρηση (AODV)	117
34	Πείραμα 2: Μέση διακύμανση της καθυστέρησης (AODV)	117
35	Πείραμα 2: Ρυθμοαπόδοση των κόμβων (DSDV)	118
36	Πείραμα 2: Καθυστέρηση λήψης των πακέτων (DSDV)	118
37	Πείραμα 2: Αριθμός πακέτων που δεν παραλήφθηκαν (DSDV)	119
38	Πείραμα 2: Αριθμός πακέτων που δεν παραλήφθηκαν (DSDV)	119
39	Πείραμα 2: Μέση ρυθμοαπόδοση (DSDV)	120
40	Πείραμα 2: Μέση καθυστέρηση (DSDV)	120
41	Πείραμα 2: Μέση διακύμανση της καθυστέρησης (DSDV)	121

42	Πείραμα 2: Ρυθμοαπόδοση των κόμβων (DSR)	121
43	Πείραμα 2: Καθυστερήση λήψης των πακέτων (DSR)	122
44	Πείραμα 2: Αριθμός πακέτων που δεν παραλήφθηκαν (DSR)	122
45	Πείραμα 2: Αριθμός πακέτων που δεν παραλήφθηκαν (DSR)	123
46	Πείραμα 2: Μέση ρυθμοαπόδοση (DSR)	123
47	Πείραμα 2: Μέση καθυστέρηση (DSR)	124
48	Πείραμα 2: Μέση διακύμανση της καθυστέρησης (DSR)	124

Εισαγωγή

Τα δίκτυα υπολογιστών που χρησιμοποιούνται στις επικοινωνίες, συνδέονται μεταξύ τους με τη βοήθεια του κατάλληλου υλικού (hardware). Ανάλογα με το μέσο σύνδεσης που επιλέγουμε χαρακτηρίζουμε τη σύνδεση ενσύρματη (σύνδεση με καλώδια) ή ασύρματη (σύνδεση χωρίς καλώδια). Η ενσύρματη σύνδεση πραγματοποιείται με τη χρήση καλωδίων και οπτικών ινών, ενώ η ασύρματη σύνδεση πραγματοποιείται μέσω του αέρα και με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Η ασύρματη δικτύωση παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα συγκριτικά με την ενσύρματη και σήμερα είναι ευρέως διαδεδομένη. Τα βασικότερα πλεονεκτήματά της είναι η ευκολία εγκατάστασης και χρήσης των δικτύων, το μειωμένο κόστος τους καθώς και η δυνατότητα κλιμάκωσης που παρέχουν. Τα δίκτυα αυτής της κατηγορίας μπορούν είτε να έχουν κυψελοτή δομή και να χρησιμοποιούν σταθμούς βάσης είτε να είναι αδόμητα. Στην πρώτη κατηγορία οι σταθμοί βάσης χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση των δεδομένων μεταξύ των κόμβων, οι οποίοι βρίσκονται στην εμβέλεια αυτών των σταθμών. Οι κόμβοι αυτοί μπορούν να είναι είτε πομποί επικοινωνίας είτε δέκτες επικοινωνίας. Στη δεύτερη περίπτωση δεν υπάρχουν σταθμοί βάσης ή κάποια συγκεκριμένη δομή στο δίκτυο και η μετάδοση πραγματοποιείται μεταξύ των κόμβων. Σε αυτή την περίπτωση οι κόμβοι εκτός από πομποί και δέκτες λαμβάνουν και ρόλο δρομολογητών όπου κρίνεται απαραίτητο, προκειμένου να πραγματοποιηθεί επιτυχώς η μετάδοση και λήψη των δεδομένων.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, θα μελετήσουμε την ασύρματη μέθοδο μετάδοσης δεδομένων, και συγκεκριμένα την υποκατηγορία των ασύρματων κινητών αδόμητων δικτύων (Mobile Ad hoc NETWORKS - MANETs).

Στην υποκατηγορία αυτή εντάσσονται τα ασύρματα δίκτυα που αποτελούνται από κινητούς κόμβους, οι οποίοι όπως αναφέραμε επικοινωνούν απ' ευθείας μεταξύ τους χωρίς να προϋπάρχει κάποια υποδομή που να ρυθμίζει την μεταξύ τους επικοινωνία. Οι κόμβοι αυτοί δεν έχουν σταθερή γεωγραφική θέση και μπορούν να είναι πομποί επικοινωνίας, δέκτες επικοινωνίας ή και ταυτόχρονα πομποί και δέκτες, και επικοινωνούν μεταξύ τους είτε άμεσα, εάν βρίσκονται εντός της εμβέλειας μετάδοσης ο ενός του άλλου, είτε έμμεσα μέσω των ενδιάμεσων κόμβων που υπάρχουν στο δίκτυο τη δεδομένη στιγμή και μπορούν να εξυπηρετήσουν την αιτούμενη επικοινωνία.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να μελετηθεί η ανωτέρω υποκατηγορία δικτύων, αναφορικά με τα πρωτόκολλα επικοινωνίας AODV, DSDV και DSR, με τη χρήση του προσομοιωτή NS-2. Αυτά τα τρία πρωτόκολλα επικοινωνίας επιλέχθηκαν διότι αποτελούν σήμερα τα βασικά πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται στα ασύρματα αδόμητα δίκτυα και το καθένα από αυτά διαθέτει τα δικά του ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και τρόπους λειτουργίας.

Θα πραγματοποιηθεί σύγκριση της συμπεριφοράς αυτών των πρωτοκόλλων στο είδος αυτών των δικτύων προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την απόδοσή τους ως προς ορισμένες παραμέτρους και συγκεκριμένα ως προς το

ποσοστό παράδοσης πακέτων, την καθυστέρηση λήψης των πακέτων, την ρυθμοαπόδοση και τη διακύμανση της καθυστέρησης.

Όλες οι παραπάνω παράμετροι θα μελετηθούν με εστίαση στην χαμηλή καθυστέρηση και διακύμανση της καθυστέρησης και όχι τόσο στο υψηλό ποσοστό παράδοσης πακέτων και την ρυθμοαπόδοση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η βάση των δύο πειραμάτων που θα διεξαχθούν στηρίζεται στη χρήση πολυμεσικών εφαρμογών και συγκεκριμένα αφορά στην πραγματοποίηση ενός video conference μεταξύ των κινητών κόμβων. Επομένως υπάρχει υψηλή απαίτηση για πολύ χαμηλή καθυστέρηση και γρήγορη αποστολή των πακέτων ώστε να μην σημειωθούν παρεμβολές στην επικοινωνία μεταξύ των κόμβων.

Στο πρώτο πείραμα η επικοινωνία αφορά στην ταυτόχρονη μετάδοση και λήψη δεδομένων μεταξύ δύο κινητών κόμβων με πέντε ενδιάμεσους κόμβους, ενώ στο δεύτερο πείραμα η επικοινωνία αφορά στην ταυτόχρονη μετάδοση και λήψη δεδομένων μεταξύ τριών κινητών κόμβων με τέσσερις ενδιάμεσους κόμβους.

Στην πρώτη περίπτωση η κίνηση των κόμβων δημιουργεί μία μοναδική εναλλαγή μονοπατιού, ενώ στη δεύτερη πραγματοποιούνται αρκετές εναλλαγές μονοπατιών και επομένως το σύστημα θεωρείται περισσότερο περίπλοκο.

Μετάπειτα πραγματοποιείται η σύγκριση των τριών αυτών πρωτοκόλλων καθώς και η εξαγωγή των συμπερασμάτων, με συγκριτική αξιολόγηση των στατιστικών πινάκων και των διαγραμμάτων που προέκυψαν από τα επιλεγμένα tcl scripts που εκτελέστηκαν.

Ολοκληρώνοντας, και με βασικό γνώμονα όπως προαναφέρθηκε την ομαλή και όσο το δυνατόν καλύτερη διεξαγωγή ενός video conference μεταξύ των κινητών κόμβων σε ένα αδόμητο δίκτυο (MANET), προκύπτουν τα συνολικά συμπεράσματα σχετικά με τα παραπάνω πρωτόκολλα και την αποτελεσματικότητά τους.

1. Αδόμητα Δίκτυα

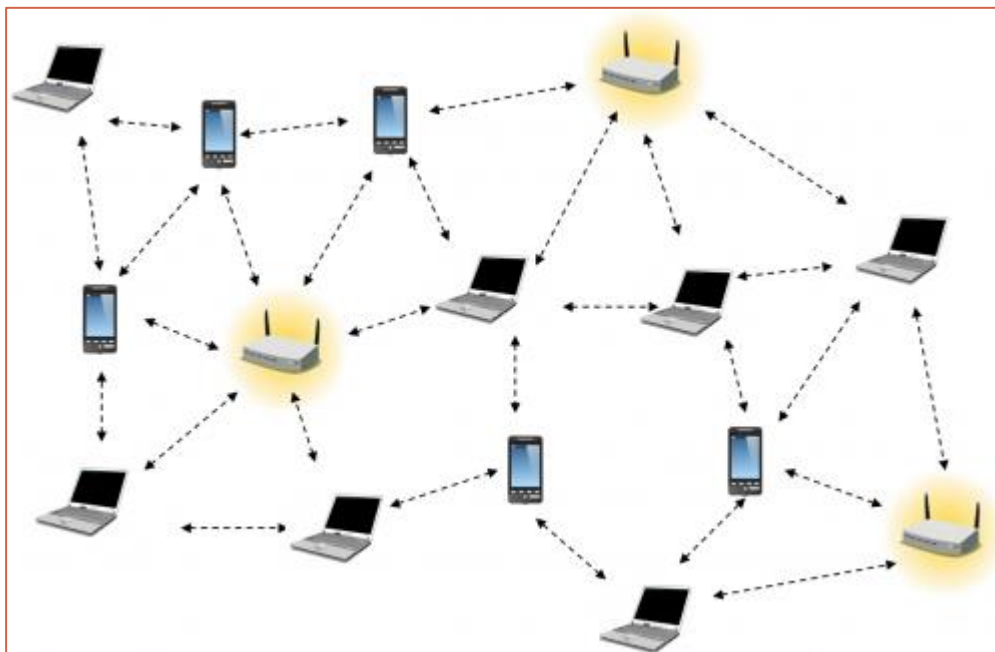
Τα ασύρματα δίκτυα αποτελούνται από ασύρματους κόμβους οι οποίοι επικοινωνούν με τα σημεία πρόσβασης με σκοπό να επικοινωνήσουν με άλλους κινητούς κόμβους. Για αυτό ακριβώς τον λόγο απαιτούν μόνο ένα άλμα για να επικοινωνήσουν και ονομάζονται δίκτυα ενός άλματος (single - hop wireless networks).

Η διαφορά ενός ασύρματου ad hoc δικτύου είναι ότι το δεύτερο είναι μία συλλογή κινητών κόμβων που σχηματίζει ένα προσωρινό δίκτυο χωρίς την υποστήριξη της κεντρικής διοίκησης ή κάποιων πρότυπων υποστηρικτικών συσκευών που είναι τακτικά διαθέσιμες ως συμβατικά δίκτυα.

Αυτό σημαίνει ότι στο ad hoc δίκτυο πιθανώς θα απαιτείται μόνο ένα άλμα για να επικοινωνήσουν δύο κόμβοι μεταξύ τους - εφόσον βρίσκονται ο ένας στην εμβέλεια της ακτίνας εκπομπής του άλλου - αλλά υπάρχει μεγάλη πιθανότητα, χωρίς την ύπαρξη σημείων πρόσβασης, να απαιτούνται περισσότερα από ένα άλματα για να επιτευχθεί επικοινωνία.

Τα παραπάνω άλματα γίνονται μέσω των κόμβων που βρίσκονται μεταξύ του κόμβου - πηγής και του κόμβου - προορισμού. Οι ενδιάμεσοι αυτοί κόμβοι, δρουν ως δρομολογητές προωθώντας τα πακέτα που λαμβάνουν στον επόμενο κόμβο που είναι πλησιέστερα στον κόμβο - προορισμό, μέχρις ότου το πακέτο να φτάσει στον στόχο του.

Στην εικόνα 1 παρατηρούμε τη μορφολογία ενός αδόμητου δικτύου.



Εικόνα 1: Δομή ad hoc δικτύου

Επομένως, ο κάθε κόμβος δύναται να λειτουργεί είτε ως κόμβος - πηγή, είτε ως κόμβος - προορισμός είτε ως δρομολογητής και συνεπώς η σύνθεση των ad hoc δικτύων είναι αρκετά πιο περίπλοκη από αυτή των απλών ασύρματων δικτύων.

Τέτοιοι τύποι δικτύων είναι κατάλληλοι για σενάρια όπου δεν υπάρχει σταθερή υποδομή ή δεν είναι δυνατή η ανάπτυξη του δικτύου. Τα ad hoc δίκτυα έχουν πολλές εφαρμογές σε διάφορους τομείς όπως στο στρατό, σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, σε διασκέψεις και σε δίκτυα αισθητήρων. Καθεμία από αυτές τις περιοχές εφαρμογής έχει τις δικές της ειδικές απαιτήσεις για τα πρωτόκολλα δρομολόγησης.

Δεδομένου του ότι οι κόμβοι του δικτύου είναι κινητοί, ένα δίκτυο ad hoc συνήθως έχει δυναμική τοπολογία, η οποία επιφέρει σοβαρές συνέπειες στα χαρακτηριστικά του δικτύου.

Οι κόμβοι συχνά εξοπλίζονται με μπαταρία, γεγονός που περιορίζει τη χωρητικότητα του CPU, της μνήμης και του εύρους ζώνης. Επιπλέον, τα ασύρματα μέσα θα επηρεάσουν τη συμπεριφορά του δικτύου, λόγω των διακυμάνσεων του εύρους ζώνης οι οποίες προκύπτουν από τα σχετικά υψηλά ποσοστά σφάλματος.

Αυτά τα μοναδικά επιθυμητά χαρακτηριστικά δημιουργούν νέες προκλήσεις στο σχεδιασμό των πρωτοκόλλων για τα ad hoc δίκτυα. Οι λειτουργίες του δικτύου όπως η δρομολόγηση, η κατανομή των διευθύνσεων, η επαλήθευση ταυτότητας και η αδειοδότηση πρέπει να σχεδιαστούν λαμβάνοντας υπόψη τη δυναμική τοπολογία στο δίκτυο. Προκειμένου να καθοριστούν οι διαδρομές μεταξύ των κόμβων που απαιτούν περισσότερα από ένα άλματα, θέτονται σε εφαρμογή ειδικά διαμορφωμένα πρωτόκολλα δρομολόγησης.

Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό αυτών των πρωτοκόλλων είναι η ικανότητά τους να αντιμετωπίζουν διαδρομές μέσω μιας δυναμικής τοπολογίας. Στα πιο απλά σενάρια, οι κόμβοι είναι ικανοί να επικοινωνούν κατευθείαν ο ένας με τον άλλον βρισκόμενοι και οι δύο στην εμβέλεια της ασύρματης μετάδοσης του άλλου κόμβου, αλλά στα πιο σύνθετα σενάρια απαιτούνται πιο περίπλοκες διεργασίες.

Επιπλέον, η παρουσία της ασύρματης επικοινωνίας και της κινητικότητας καθιστά ένα ad hoc δίκτυο τελείως διαφορετικό από ένα παραδοσιακό ενσύρματο δίκτυο και απαιτεί τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που χρησιμοποιούνται να βασίζονται σε νέες και διαφορετικές αρχές. Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης για τα παραδοσιακά ενσύρματα δίκτυα σχεδιάστηκαν για να υποστηρίξουν τεράστιο αριθμό κόμβων, αλλά έχουν ως δεδομένο ότι η σχετική θέση των κόμβων θα παραμείνει αμετάβλητη, γεγονός που δεν ισχύει στα ad hoc δίκτυα όπου οι κόμβοι είναι κινητοί (1).

1.1. Ιστορική αναδρομή αδόμητων δικτύων

Τα αδόμητα δίκτυα ασύρματων επικοινωνιών, είναι δίκτυα κατ' απαίτηση, τα οποία δεν στηρίζονται σε προϋπάρχουσες υποδομές. Ουσιαστικά, σε αντίθεση με τα διαχειριζόμενα ασύρματα δίκτυα όπου γίνεται χρήση των WAPs, εδώ δεν χρησιμοποιείται κάποια συσκευή για να συνδέει τις ασύρματες συσκευές επικοινωνίας και να δημιουργεί το δίκτυο. Επομένως, αντί να γίνεται η χρήση ενός σημείου πρόσβασης, στα ad hoc δίκτυα η προώθηση δεδομένων είναι δυναμική, δηλαδή ο κατάλληλος τη δεδομένη στιγμή κόμβος προωθεί τα δεδομένα στους υπόλοιπους κόμβους, ανάλογα πάντα με τη συνδεσιμότητα του δικτύου και τη ζήτηση που υπάρχει.

1.1.1. Αδόμητα δίκτυα πρώτης γενιάς

Στη δεκαετία του 1970 εμφανίστηκαν τα πρώτα ασύρματα ad hoc δίκτυα, τα Packet Radio Networks (PRNETs). Τα δίκτυα αυτά, χρηματοδοτήθηκαν από τον οργανισμό DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency). Οι Bolt, Beranek, Newman Technologies (BBN) και η SRI International ασχολήθηκαν με τον σχεδιασμό, τη διαμόρφωση και τον πειραματισμό των πρώτων αυτών συστημάτων. Παρόμοια πειράματα πραγματοποιήθηκαν στην κοινότητα HAM RADIO. Αργότερα, τα πειράματα της DARPA συμπεριέλαβαν το έργο Survivable Radio Network (SURAN) το οποίο πραγματοποιήθηκε το 1980.

Στα δίκτυα αυτά, το ραδιοφωνικό πακέτο ήταν μια μορφή μεταγωγής πακέτων η οποία εξελίχθηκε βαθμιαία και μέχρι τα μέσα του 1990 χρησιμοποιούνταν όχι μόνο για αποστολή κειμένων, αλλά και για αποστολή αρχείων (συμπεριλαμβανομένων και μικρών προγραμμάτων υπολογιστή). Επιπλέον, ασχολιόταν με τη διαχείριση επαναλαμβανομένων μεταδόσεων, τον έλεγχο απομακρυσμένων συστημάτων κ.τ.λ.

Η τεχνολογία αυτή ήταν ένα τεράστιο άλμα στις επικοινωνίες διότι υπήρχε πλέον η δυνατότητα για κάθε σταθμό να λειτουργεί ως ψηφιακός παραλήπτης συνδέοντας απομακρυσμένους σταθμούς μέσω των αδόμητων ασύρματων δικτύων.

Η πιο κοινή χρήση του PRNET είναι στο ερασιτεχνικό ραδιόφωνο με στόχο την κατασκευή ενός ασύρματου δικτύου υπολογιστών. Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το AX.25 το οποίο αναπτύχθηκε το 1970 και βασίστηκε στο ενσύρματο πρωτόκολλο δικτύου X.25. Το AX.25 περιλαμβάνει ένα πεδίο ασύρματου επαναλήπτη που επιτρέπει στους σταθμούς να επαναλαμβάνουν αυτόματα τα πακέτα έτσι ώστε να επεκτείνουν το φάσμα των πομπών.

Μάλιστα, το 1973 η Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), πραγματοποίησε έρευνα σχετικά με τη σκοπιμότητα της χρήσης μεταγωγής πακέτων ραδιοεπικοινωνιών για την παροχή αξιόπιστων επικοινωνιών μέσω υπολογιστών.

Το DARPA PRNET έχει εξελιχθεί κατά τη διάρκεια των χρόνων (1973-1987) για να γίνει ένα αξιόπιστο, ισχυρό και λειτουργικό πειραματικό δίκτυο. Τα έργα που αναλαμβάνει περιλαμβάνουν συσκευές δικτύου, πρωτόκολλα δρομολόγησης και πρωτόκολλα για την αυτοματοποιημένη διαχείριση του δικτύου.

Το λογισμικό που περιλαμβάνει, διαθέτει τη δυνατότητα «φόρτωσης» σε ένα PR είτε τοπικά (μέσω σειριακής διασύνδεσης), είτε μέσω του PRNET. Επιπλέον, συγκεντρώνει πληροφορίες σχετικά με την αμφίδρομη σχέση ποιότητας, κομβικής χωρητικότητας και χαρακτηριστικών της διαδρομής και παρέχει γνώσεις σχετικές με την παρακολούθηση και τον εντοπισμό των σφαλμάτων.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι τα εξής:

- Χρήση τεχνολογίας ραδιοσυχνότητας για την αποστολή και λήψη των δεδομένων.
- Δυνατότητα υποστήριξης πολυκατευθυντικότητας, διασποράς φάσματος και αμφίδρομης (half duplex) μετάδοσης και λήψης στα 400 Kbps με ποσοστά της τάξης των 100 Kbps, ενώ παράλληλα γίνεται η εφαρμογή του OSI μοντέλου.

- Δυνατότητα πραγματοποίησης πολλών μετρήσεων σχετικά με τη λαμβανόμενη ισχύ και το θόρυβο.
- Εντοπισμός σφαλμάτων μέσω του Cyclic Redundancy Checksum (32bit). Αν ένα πακέτο αποτύχει, αυτό απορρίπτεται και ο κόμβος που περιμένει τη λήψη περιμένει σήμα για αναμετάδοση η οποία γίνεται αυτόματα σε περίπτωση που δεν υπάρξει αναγνώριση.
- Εφαρμογή chip modulation στα 12.8 mchips/s, ρυθμός ο οποίος παράγει μια άμεση αλληλουχία διασποράς - φάσματος χρησιμοποιώντας μια ακολουθία ψευδοθορύβου.
- Δυνατότητα επιλογής 20 συχνοτήτων μεταξύ των 1718,4 MHz και των 1840 MHz για την επιλογή του καναλιού.

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που χρησιμοποιούνται στα PPNETs, σχεδιάστηκαν ειδικά έτσι ώστε να επιτρέψουν υψηλή αξιοπιστία και ταχύτητα και επομένως περιλαμβάνουν εγκαταστάσεις διαχείρισης δικτύου. Το αποτέλεσμα της διαχείρισης –σε συνδυασμό με τη χρήση του πρωτοκόλλου AX.25 που αναφέρθηκε προηγουμένως- είναι ότι η εγκατάσταση και η ανάπτυξη του DARPA PRNET είναι μια πολύ εύκολη και γρήγορη διαδικασία.

1.1.2. Αδόμητα δίκτυα δεύτερης γενιάς

Η δεύτερη γενιά ασύρματων αδόμητων δικτύων χρονολογείται μεταξύ του 1980 - 1983, όταν το δίκτυο ad hoc είχε περαιτέρω ενισχυθεί και υλοποιηθεί ως μέρος του έργου SURAN (Survivable Adaptive Radio Networks) που στόχευε στην παροχή ad hoc δικτύωσης με μικρές συσκευές χαμηλού κόστους και ισχύος. Αυτό επετεύχθη με τη χρήση αποτελεσματικών πρωτοκόλλων με στόχο τη βελτιωμένη επεκτασιμότητα και τη δυνατότητα επιβίωσης.

Το κύριο χαρακτηριστικό αυτής της γενιάς δικτύων ήταν η ενασχόλησή της με την παροχή μεταγωγής πακέτων στον τομέα των κινητών επικοινωνιών στο πεδίο μάχης, έναν τομέα όπου μέχρι τότε δεν είχαν πραγματοποιηθεί αρκετά βήματα.

Η γενιά αυτή παρουσίασε πολλές βελτιώσεις σε σχέση με την πρώτη. Αρχικά, αύξησε την απόδοση των συσκευών καθιστώντας τις μικρότερες, φθηνότερες και με δυνατότητα ανάγκης μικρότερης ισχύος. Επίσης οδήγησε στην επεκτασιμότητα των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνταν καθώς και σε ανθεκτικότητα στις ηλεκτρονικές επιθέσεις.

- **Παγκόσμια συστήματα κινητής πληροφορίας (GloMo):** Το έργο GloMo, είχε ως κύριο στόχο να κάνει το περιβάλλον κινητής ένα βασικό στέλεχος στην υποδομή των αμυντικών πληροφοριών, μέσω της παροχής μιας φιλικής προς τον χρήστη συνδεσιμότητας και πρόσβασης σε υπηρεσίες ασύρματων δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Οι πρωτοβουλίες που πήρε η GloMo, περιλαμβάνουν την αυτό - οργάνωση και την αυτό - θεραπεία των δικτύων αυτών μέσω επίπεδων αλλά και ιεραρχικών multihop αλγορίθμων δρομολόγησης, της λειτουργίας ασύρματης μεταφοράς (ATM) πάνω στα ασύρματα δίκτυα, των δικτύων δορυφορικών επικοινωνιών με τη χρήση ετερογενούς δικτύωσης, των επικαλύψεων IP καθώς και τέλος μέσω των

βελτιώσεων του δικτύου σε όλο το φάσμα του με στόχο την ασφάλεια και την επιβίωση των δικτύων ad hoc.

- **Βραχυπρόθεσμα ψηφιακά ραδιοσυστήματα (Near term Digital Radio System - NTDR):** Το σύστημα NDTR είναι ένα πειραματικό κινητό πακέτο ραδιοφωνικού δικτύου δεδομένων που συνδέει τα κέντρα των τακτικών επιχειρήσεων του στρατού σε μια συνδεδεμένη ταξιαρχία. Παρέχει αυτό - οργάνωση, αυτό - ίαση και χωρητικότητα στο δίκτυο. Η διαχείριση του ραδιοφωνικού δικτύου παρέχεται από ένα τερματικό δίκτυο διαχείρισης. Ο πρωταρχικός στόχος του NDTR είναι να παρέχει μεταφορά δεδομένων για το σύστημα ελέγχου του στρατού σε μονάδες της ταξιαρχίας. Οι γνώσεις που αποκομίστηκαν από αυτό το πειραματικό πεδίο παρέχουν ένα τμήμα της τεχνικής βάσης για τους κόμβους που πρόκειται να σχεδιαστούν στο μέλλον.

1.1.3. Αδόμητα δίκτυα τρίτης γενιάς

Η τρίτη γενιά κινητών ασύρματων δικτύων ξεκίνησε το 1990 και συνεχίζεται μέχρι και σήμερα. Με την εφεύρεση των φορητών υπολογιστών και των συσκευών επικοινωνίας που βασίζονται στο σύστημα των ραδιοκυμάτων, υπήρξε η ιδέα της συλλογής των κινητών κόμβων η οποία είχε προαποφασιστεί στα ερευνητικά συνέδρια που πραγματοποιήθηκαν και στα οποία τα αδόμητα δίκτυα κινητών επικοινωνιών αναβίωσαν ως μια πιθανή τεχνολογία.

Παρατηρούμε ότι υπάρχουν δύο βασικές εφαρμογές των κινητών αδόμητων δικτύων:

Bluetooth: Το Bluetooth πρωτοπαρουσιάστηκε το 1998. Το κύριο χαρακτηριστικό του είναι ότι γίνεται χρήση ραδιοκυμάτων για τη μετάδοση ασύρματων δεδομένων σε μικρές αποστάσεις και παράλληλα υπάρχει η δυνατότητα υποστήριξης πολλών χρηστών σε οποιοδήποτε περιβάλλον. Συγκεκριμένα, μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους μέχρι και οκτώ συσκευές σε ένα μικρό δίκτυο που λέγεται piconet. Επιπλέον, σε κάποιες ιδιαίτερες περιπτώσεις, μέχρι και δέκα από αυτά τα piconets μπορούν να συνυπάρξουν στο ίδιο εύρος φάσματος ενός ραδιοφώνου Bluetooth. Μία συσκευή Bluetooth μπορεί να λειτουργήσει τόσο ως πελάτης όσο και ως εξυπηρετητής. Για τη χρήση της εφαρμογής αυτής πρέπει να πραγματοποιηθεί η σύνδεση για την ανταλλαγή δεδομένων μέσω των δύο συσκευών Bluetooth. Η σύνδεση αυτή είναι δυνατή μόνο όταν η μία συσκευή ζητήσει σύνδεση από την άλλη συσκευή και η δεύτερη την αποδεχτεί.

Ad - hoc Sensor networks: Σε αντίθεση με τα τυπικά δίκτυα αισθητήρων τα οποία επικοινωνούν απευθείας με το κεντρικό χειριστήριο, ένα κινητό αδόμητο δίκτυο αισθητήρων ακολουθεί μια ευρύτερη ακολουθία επιχειρησιακών σεναρίων, απαιτώντας έτσι μια λιγότερο πολύπλοκη διαδικασία εγκατάστασης.

Ένα τέτοιο δίκτυο ή ένα υβριδικό αδόμητο δίκτυο αποτελείται από έναν αριθμό αισθητήρων τοποθετημένο σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Καθένας από τους αισθητήρες διαθέτει την ικανότητα κινητής επικοινωνίας καθώς και κάποιο επίπεδο νοημοσύνης έτσι ώστε να επεξεργάζεται τα σήματα και να μεταδίδει τα δεδομένα. Για τη στήριξη των δρομολογημένων επικοινωνιών μεταξύ δύο κινητών κόμβων, το πρωτόκολλο δρομολόγησης λαμβάνει αποφάσεις ανάλογα με τη

συνδεσιμότητα των κόμβων και τη διαδρομή των πακέτων. Αυτό καθιστά το αδόμητο κινητό δίκτυο αισθητήρων εξαιρετικά προσαρμόσιμο, έτσι ώστε να μπορεί να αναπτυχθεί σε όλα σχεδόν τα περιβάλλοντα. Τα δίκτυα αυτά είναι πολύ χρήσιμα σε διάφορα σενάρια και προωθούν την επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα συγκεκριμένων εφαρμογών όπως είναι οι στρατιωτικές και οι εργασιακές εφαρμογές (2).

1.2. Είδη αδόμητων δικτύων

Ο αυτοϋποστηριζόμενος χαρακτήρας των δικτύων ad hoc τα καθιστά αρκετά χρήσιμα σε καταστάσεις όπως οι φυσικές καταστροφές, οι έκτακτες στρατιωτικές επιχειρήσεις ή ακόμα και η γρήγορη μεταφορά πληροφοριών μεταξύ δύο υπολογιστών στο σπίτι. Παρόλα αυτά και παρ' όλη την ευκολία χρήσης και επεκτασιμότητας των δικτύων αυτών, υπάρχουν φυσικοί περιορισμοί καθώς και περιορισμοί απόδοσης σε πρακτικό επίπεδο.

Τα είδη των ad hoc δικτύων είναι τα ακόλουθα:

1.2.1. Manets

Τα MANETS αναφέρονται συχνά και ως «Multihop Wireless Ad Hoc Networks», δηλαδή κινητά αδόμητα ασύρματα δίκτυα πολλαπλών αλμάτων, διότι τα δρομολόγια μεταξύ των κόμβων σε αντίθεση με τα απλά ασύρματα δίκτυα απαιτούν συνήθως περισσότερα από ένα άλματα.

Στην γενική περίπτωση, τα δίκτυα αυτά σχηματίζονται δυναμικά από ένα αυτόνομο σύστημα κινητών κόμβων (mobile nodes). Οι κόμβοι αυτοί είναι ελεύθεροι να κινούνται τυχαία και ανεξέλεγκτα, με αποτέλεσμα η τοπολογία του δικτύου να μπορεί να μεταβληθεί ραγδαία και απροσδιόριστα. Ένα τέτοιο δίκτυο μπορεί να λειτουργεί σε πλήρη αυτονομία ή να διασυνδέεται με το Internet (ή γενικότερα κάποιο ενσύρματο δίκτυο). Εξαιτίας της φύσης τους, τα MANET δεν μπορούν να βασίζονται και κατά συνέπεια δεν απαιτούν την ύπαρξη οποιασδήποτε σταθερής υποδομής, όπως είναι για παράδειγμα ένας σταθμός βάσης. Σημαντικό ρόλο σε κάθε αδόμητο δίκτυο διαδραματίζει η ακτίνα μετάδοσης κάθε κόμβου. Συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερη είναι η ακτίνα μετάδοσης των κόμβων, τόσο μικρότερος θα είναι ο μέσος αριθμός μεταδόσεων που θα απαιτείται για την αποστολή ενός πακέτου από τον ένα κόμβο σε κάποιον άλλο. Από την άλλη μεριά η μικρή ακτίνα εκπομπής των κόμβων μειώνει την πιθανότητα συγκρούσεων καθώς και τις παρεμβολές μεταξύ των κόμβων. Με άλλα λόγια, όσο μικρότερη είναι η ακτίνα εκπομπής τόσο περισσότερες μεταδόσεις θα μπορούν να πραγματοποιούνται ταυτόχρονα. Επιπρόσθετα, η ακτίνα μετάδοσης παίζει καθοριστικό ρόλο και στην κατανάλωση ενέργειας κάθε κόμβου, η οποία είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος στα περισσότερα αδόμητα δίκτυα. Έτσι η ακτίνα μετάδοσης θα πρέπει να επιλέγεται όσο το δυνατό μικρότερη, φροντίζοντας όμως ταυτόχρονα να μην είναι τόσο μικρή ώστε το δίκτυο να παύει να είναι συνεκτικό.

Δυστυχώς, αν και η προσέγγιση της αδόμητης αρχιτεκτονικής των συστημάτων έχει πολλά πλεονεκτήματα, όπως την ευκολία ανάπτυξης, την αυτό - οργάνωση, την αυτό - διαμόρφωση, την αυτό - διαχείριση και την ανοχή σε σφάλματα, δυστυχώς δεν

έρχεται δωρεάν. Τα MANETs, εκτός από τα παραδοσιακά προβλήματα που κληρονομούν από τα ασύρματα δίκτυα, έχουν να αντιμετωπίσουν και πολλά προβλήματα που οφείλονται στην κίνησή τους, στην multihop φύση τους καθώς και στην έλλειψη σταθερής υποδομής.

Οι περιοχές εφαρμογής τους σχετίζονται με κινούμενες ασύρματες συσκευές και μπορεί να είναι από ένα smartphone που αποστέλλει κάποιο e-mail έως κάποια συσκευή βιντεοσκόπησης στο κράνος ενός πυροσβέστη.

1.2.2. Vanets

Τα VANETs (Vehicle Ad Hoc Networks), όπως και τα MANETs, αποτελούνται από ένα μεταβλητό πλήθος κινούμενων κόμβων που σχηματίζουν ένα ad hoc δίκτυο και επικοινωνούν χωρίς καμία εξάρτηση σε εγκαταστάσεις ή κάποιο σταθμό βάσης. Οι κόμβοι σε ένα VANET είναι κινούμενα οχήματα σε αστική ή μη περιοχή. Ουσιαστικά, τα VANETs αποτελούν ειδική περίπτωση των MANETs αλλά με περισσότερο προβλέψιμη κίνηση, μεγαλύτερες απαιτήσεις αξιοπιστίας επικοινωνίας και ασφάλειας αλλά και συγκεκριμένο εύρος εφαρμογών.

Στα VANETs υπάρχουν τρεις τύποι επικοινωνιών:

1. **V2V (Vehicle to Vehicle communication):** Επικοινωνία μεταξύ οχημάτων
2. **V2R (Vehicle to Roadside communication):** Επικοινωνία μεταξύ οχημάτων - υποδομών στο δρόμο
3. **Inter - vehicle communication:** Επικοινωνία που περιλαμβάνει τους δύο προηγούμενους τύπους (V2V και V2R) και επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ μακρινών σταθμών βάσης μέσω ενδιάμεσων οχημάτων ή και άλλων υποδομών

Το VANET είναι μια μορφή κινητού ad hoc δικτύου που παρέχει επικοινωνία μεταξύ οχημάτων ή μεταξύ οχημάτων και σταθερού εξοπλισμού σε κοντινή απόσταση και συνήθως περιγράφεται ως καθοδόν εξοπλισμός. Ο κύριος στόχος του είναι να παρέχει ασφάλεια και άνεση για τους επιβάτες. Για το σκοπό αυτό, μια ειδική ηλεκτρονική συσκευή τοποθετείται μέσα σε κάθε όχημα και παρέχει συνδεσιμότητα για όλους τους επιβάτες. Αυτό το δίκτυο έχει την τάση να λειτουργεί χωρίς κάποια υποδομή ή επικοινωνία μεταξύ πελάτη και σέρβερ. Κάθε όχημα εξοπλίζεται με μια συσκευή VANET που θα είναι ο κόμβος στο ad hoc δίκτυο και μπορεί να λάβει ή να μεταδώσει μηνύματα άλλων κόμβων μέσω του ασύρματου δικτύου. Προειδοποιήσεις σύγκρουσης, προειδοποιητικές πινακίδες κυκλοφορίας και επί τόπου ενημέρωση για την κίνηση στους δρόμους θα δώσουν στον οδηγό τα απαραίτητα εργαλεία για να αποφασίσει την βέλτιστη διαδρομή. Υπάρχουν επίσης πολυμέσα και εγκαταστάσεις σύνδεσης στο διαδίκτυο για τους επιβάτες, όλα μέσα στην ασύρματη κάλυψη του κάθε οχήματος. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα VANET είναι η αυτόματη πληρωμή για χώρους στάθμευσης και είσπραξης στα διόδια. Οι περισσότερες ανησυχίες που αφορούν στα MANETs αφορούν και στα VANETs, αλλά οι λεπτομέρειες διαφέρουν.

Αντί να κινούνται τυχαία, τα οχήματα κινούνται με οργανωμένο τρόπο. Η περισσότερο προβλέψιμη κίνηση σε σχέση με τα MANETs έγκειται στο γεγονός ότι τα οχήματα ακολουθούν το σχεδιασμό των αυτοκινητόδρομων και των πόλεων που είναι ήδη χαρτογραφημένα και επομένως περιορίζουν το εύρος πιθανών κινήσεων και διαδρομών.

Οι αλληλεπιδράσεις με τον καθοδόν εξοπλισμό μπορούν επίσης να χαρακτηριστούν από μεγάλη ακρίβεια. Τέλος, τα περισσότερα οχήματα περιορίζονται στο δικό τους φάσμα της κίνησης όπως για παράδειγμα υπάρχει η πιθανότητα να αναγκαστούν να ακολουθήσουν μια πλακόστρωτη εθνική οδό. Επιπλέον, το VANET ενσωματώνει πολλαπλές τεχνολογίες ad hoc όπως τις WiFi IEEE 802.11 b/g, WiMAX IEEE 802.16, Bluetooth, IRA και ZigBee για εύκολη, ακριβή και αποτελεσματική επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων σε δυναμική κινητικότητα. Αποτελεσματικά μέτρα όπως η επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων και έξοδοι για να εντοπίζονται τα αυτοκινούμενα οχήματα, μπορούν να ενεργοποιηθούν εύκολα και άμεσα.

Η ενέργεια στα VANETs είναι επίσης σημαντική, αλλά, λόγω της λειτουργίας του κινητήρα των οχημάτων η δρομολόγηση στα VANETs πρέπει να σχεδιάζεται με διαφορετική στρατηγική από τα MANETs. Η αξιοπιστία του δικτύου στα VANETs είναι καθοριστικής σημασίας, καθώς η βασικότερη εφαρμογή τους είναι η ασφάλεια στο δρόμο. Σε ένα τέτοιο δίκτυο απαιτούνται μεγάλες ταχύτητες, μικρή καθυστέρηση και αξιοπιστία. Οι απαιτήσεις αυτές είναι μια μεγάλη πρόκληση καθώς οι χρόνοι συνδέσεων μεταξύ των κόμβων είναι μικροί και οι αποσυνδέσεις πολλές. Το εύρος των εφαρμογών σχετίζεται αρχικά με την αποφυγή ατυχημάτων στο δρόμο, την ασφαλέστερη και πιο άνετη οδήγηση, την διαχείριση της κυκλοφοριακής ροής και στη συνέχεια με την ενημέρωση και την ψυχαγωγία. Αρκετές εταιρίες έχουν ήδη ενσωματώσει αυτό τον τύπο δικτύου στα αυτοκίνητα, που αν και σε πρώιμο στάδιο, αποτελεί το μέλλον στην εξέλιξη των ασύρματων επικοινωνιών.

Τα δίκτυα αυτά αναμένεται να εφαρμόσουν ποικιλία ασύρματων τεχνολογιών όπως το Dedicated Short Range Communications (DSRC) που είναι ένας τύπος WiFi. Άλλες υποψήφιες ασύρματες τεχνολογίες είναι οι κυψελωτές, οι δορυφορικές και οι WiMAX. Τα δίκτυα αυτά μπορούν να θεωρηθούν ως μέρος των έξυπνων συστημάτων μεταφορών (ITS).

1.2.3. Δίκτυα Πλέγματος

Ένα ασύρματο δίκτυο πλέγματος είναι ένα δίκτυο επικοινωνιών μεταξύ κόμβων που στηρίζεται στην τοπολογία πλέγματος. Τα δίκτυα αυτά χρησιμοποιούνται για να παρέχουν υποδομές επικοινωνίας χρησιμοποιώντας κινητούς ή σταθερούς κόμβους - χρήστες. Οι πελάτες του δικτύου αυτού είναι συνήθως φορητοί υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα και άλλος ασύρματος εξοπλισμός. Το δίκτυο με τη χρήση δρομολογητών και πυλών μεταδίδει τα δεδομένα από και προς τις ασύρματες συσκευές. Η επικοινωνία επομένως γίνεται μέσω του πλέγματος και όχι μέσω του διαδικτύου. Η τοπολογία πλέγματος παρέχει εναλλακτική διαδρομή για τη μετάδοση των δεδομένων από την πηγή στον προορισμό. Επίσης, δίνει γρήγορη εκ νέου διαμόρφωση όταν το πρώτο επιλεγμένο μονοπάτι αποτύχει. Τα δίκτυα αυτά πρέπει να είναι σε θέση να αυτό - οργανώνονται και να αυτό - συντηρούνται. Τα κύρια πλεονεκτήματά τους

είναι η υψηλή ταχύτητα, το χαμηλό κόστος, η γρήγορη ανάπτυξη, η υψηλή επεκτασιμότητα και η υψηλή διαθεσιμότητα. Λειτουργεί σε ζώνες συχνότητας 2.4 GHz και 5 GHz, ανάλογα με το φυσικό στρώμα που χρησιμοποιείται. Για παράδειγμα, αν χρησιμοποιείται το IEEE 802.11a η ταχύτητα μπορεί να φτάσει τα 54 Mbps. Ένα παράδειγμα εφαρμογής είναι τα ασύρματα δίκτυα πλέγματος σε κατοικημένη ζώνη όπου οι ράδιο συσκευές αναμετάδοσης είναι χτισμένες πάνω στις στέγες. Σε αυτή την περίπτωση, όταν ένας από τους κόμβους εξοπλιστεί με ενσύρματη σύνδεση στο διαδίκτυο, αυτός ο κόμβος θα γίνει ο κόμβος πύλης εισόδου (gateway). Οι άλλοι κόμβοι θα μπορούν να συνδεθούν στο ίντερνετ μέσω αυτού του κόμβου. Άλλες πιθανές υλοποιήσεις είναι οι αυτοκινητόδρομοι, οι επιχειρηματικές ζώνες και οι πανεπιστημιούπολεις.

1.2.4. Δίκτυα αισθητήρα

Οι πρόοδοι στις τεχνολογίες επεξεργασίας και μνήμης θα επιτρέψουν στους μικρούς και φθηνούς κόμβους τη δυνατότητα ανίχνευσης, επικοινωνίας και υπολογισμού. Τα δίκτυα με τέτοιους κόμβους καλούνται ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και μπορούν να συντονίσουν την εκτέλεση διανεμημένης ανίχνευσης των περιβαλλοντολογικών φαινομένων. Τα δίκτυα αυτά έχουν αναδειχθεί ως ένα πολλά υποσχόμενο εργαλείο για την παρακολούθηση (και πιθανώς την ενεργοποίηση) του φυσικού κόσμου, αξιοποιώντας τους ασύρματους αισθητήρες μπαταρίας των αυτό - οργανωμένων δικτύων έτσι ώστε να αισθάνονται, να επεξεργάζονται και να επικοινωνούν. Ένα δίκτυο αισθητήρα αποτελείται από πολλές μικροσκοπικές συσκευές χαμηλής ισχύος μιας χρήσης και από τους κόμβους που είναι χωρικά κατανεμημένοι έτσι ώστε να μπορούν να εκτελέσουν ένα σφαιρικό έργο στα πλαίσια εφαρμογής. Αυτοί οι κόμβοι δημιουργούν το δίκτυο επικοινωνώντας ο ένας με τον άλλο είτε απευθείας είτε μέσω άλλων κόμβων. Ένας ή περισσότεροι κόμβοι ανάμεσά τους θα λειτουργήσουν ως δεξαμενές που μπορούν να επικοινωνούν με τους χρήστες, είτε απευθείας είτε μέσω των υπάρχοντων ενσύρματων δικτύων. Αυτά τα δίκτυα μπορεί να αποτελούνται από ετερογενείς και κινητούς κόμβους αισθητήρων και η τοπολογία τους μπορεί να είναι τόσο απλή όσο η τοπολογία αστέρα (star topology). Η κλίμακα και η πυκνότητα ενός τέτοιου δικτύου ποικίλει ανάλογα με την εφαρμογή.

Το πιο σημαντικό κομμάτι του δικτύου αυτού είναι ο αισθητήρας που είναι απαραίτητος για την παρακολούθηση των φυσικών συνθηκών του πραγματικού κόσμου όπως ο ήχος, η θερμοκρασία, η υγρασία, η ένταση, η δόνηση, η πίεση, η κίνηση, οι ρύποι κ.τ.λ. σε διαφορετικές τοποθεσίες.

Τα δίκτυα αυτά θεωρούνται μια ιδιαίτερη περίπτωση των MANETs με ορισμένη ή και καθόλου κινητικότητα. Τα κύρια χαρακτηριστικά τους είναι το πολύ χαμηλό κόστος κατασκευής τους, η εύκολη χρήση τους, το μικρό τους μέγεθος και η στασιμότητά τους στο χώρο. Ο ρόλος τους είναι η συλλογή δεδομένων από το περιβάλλον στο οποίο είναι τοποθετημένοι και οι εφαρμογές τους σχετίζονται κυρίως με τις στρατιωτικές επιχειρήσεις σε εχθρικό περιβάλλον, την παρακολούθηση ευαίσθητων περιοχών φυσικού περιβάλλοντος, την αποφυγή καταστροφών με άμεση ενημέρωση από τους αισθητήρες για επικίνδυνες καταγεγραμμένες τιμές και άλλα. Συνήθως οι αισθητήρες παραμένουν ανενεργοί μέχρι ότου λάβει χώρα κάποια

μεταβολή κατάστασης στο περιβάλλον τους. Ένα πολύ σημαντικό ζήτημα στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι η διάρκεια ζωής τους, καθώς καθορίζεται πλήρως από την διαθέσιμη ενέργεια στις μπαταρίες.

Τα αρχικά δίκτυα τέτοιου τύπου αρχικά χρησιμοποιούνταν σε στρατιωτικές εφαρμογές. Αργότερα, το σχέδιο εφαρμογής τους θεωρήθηκε η παρακολούθηση του περιβάλλοντος και των ειδών χλωρίδας και πανίδας, η διαχείριση καταστροφών, η παραγωγή έξυπνων σπιτιών, η υγειονομική περίθαλψη, ο έλεγχος της κυκλοφορίας, η ανίχνευση των οχημάτων και η παρακολούθηση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία η μελέτη θα πραγματοποιηθεί πάνω στην πρώτη κατηγορία ασύρματων δικτύων, δηλαδή τα κινητά δίκτυα ad hoc (MANETS) (3) (4).

1.3. Χαρακτηριστικά αδόμητων δικτύων

Τα κινητά ad hoc δίκτυα διαθέτουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- **Κατανεμημένη λειτουργία:** Ένα από τα χαρακτηριστικά του MANET είναι ότι έχει κατανεμημένη λειτουργία, καθώς κάθε κόμβος λειτουργεί ανεξάρτητα και δεν υπάρχει ένας κεντρικός διακομιστής ή υπολογιστής για την διαχείριση αυτού του δικτύου. Αντ' αυτού, αυτή η λειτουργία διανέμεται μεταξύ όλων των λειτουργικών κόμβων. Κάθε κόμβος συνεργάζεται με έναν άλλο κόμβο για την υλοποίηση λειτουργιών όπως είναι η ασφάλεια και η δρομολόγηση.
- **Αυτονομία και έλλειψη σταθερής υποδομής:** Στα MANETs, δεν υπάρχει σταθερή υποδομή ή κεντρική διαχείριση. Κάθε κινητός κόμβος είναι αυτόνομος και λειτουργεί ως πομπός, ως δέκτης αλλά και ως δρομολογητής. Επομένως παρατηρείται πλήρης αυτονομία του δικτύου καθώς και των κόμβων, γεγονός που το καθιστά οικονομικά αποδοτικότερο και πιο εύκολα υλοποιήσιμο από τα συμβατικά ασύρματα δίκτυα.
- **Πολλαπλή δρομολόγηση:** Στην απλή περίπτωση όπου η αποστολή και η λήψη των πακέτων πραγματοποιείται μεταξύ δύο κόμβων που βρίσκονται εντός της εμβέλειας ο ενός του άλλου, οι κόμβοι αυτοί επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους με ένα άλμα (singlehop). Η πολλαπλή δρομολόγηση είναι μια χαρακτηριστική λειτουργία ενός αδόμητου δικτύου, όπου όταν πραγματοποιείται αποστολή πακέτων από μία πηγή σε έναν προορισμό, πιθανώς απαιτούνται παραπάνω από ένα άλματα (multihop) για τη μετάβαση αυτή από τον πομπό στο δέκτη, τα οποία πραγματοποιούνται μέσω των ενδιάμεσων κόμβων.
- **Δυναμική τοπολογία:** Οι κόμβοι σε ένα αδόμητο δίκτυο μετακινούνται αυθαίρετα και πολύ συχνά νέοι κόμβοι εισέρχονται σε ένα δίκτυο και άλλοι το εγκαταλείπουν. Επομένως η τοπολογία του δικτύου μπορεί να αλλάξει γρήγορα και απρόβλεπτα, αλλάζοντας έτσι και τη συνδεσιμότητα μεταξύ των κόμβων, οι οποίοι μπορούν να συνδέονται με μονοκατευθυντικές (ασύμμετρες) ή / και αμφίδρομες ζεύξεις. Επομένως τα δίκτυα αυτά οφείλουν να προσαρμόζονται σε αυτές τις απρόβλεπτες συνθήκες διάδοσης και κυκλοφορίας, καθώς και στα μοτίβα κινητικότητας των κόμβων. Αυτή η

κινητικότητα των κόμβων δημιουργεί συχνή αποσύνδεση. Ως εκ τούτου, για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, το MANET πρέπει να προσαρμοστεί στις συνθήκες κυκλοφορίας και μετάδοσης σύμφωνα με τα πρότυπα κινητικότητας των κόμβων του δικτύου κινητής τηλεφωνίας.

- **Διαφορετικές δυνατότητες των κόμβων:** Οι κόμβοι σε ένα αδόμητο δίκτυο μπορούν να διαφέρουν ως προς τις δυνατότητες που διαθέτουν για μετάδοση και λήψη δεδομένων, καθώς και ως προς τη ζώνη συχνοτήτων στην οποία εκπέμπουν, παράγοντες οι οποίοι ενδεχομένως οδηγούν σε ασύμμετρες ζεύξεις. Κάποιοι ακόμη τομείς στους οποίους μπορεί να διαφέρουν είναι το μέγεθος, η διάρκεια ζωής της μπαταρίας, η μνήμη και η ισχύς.
- **Διαμοιρασμός του μέσου πρόσβασης:** Όλοι οι κόμβοι μοιράζονται το ίδιο μέσο και επιπλέον η μετάδοση πακέτων από κάποιο κόμβο λαμβάνεται και από τους γειτονικούς κόμβους. Ως αποτέλεσμα, είναι πιθανόν να σπαταλιέται μεγάλο μέρος του εύρους ζώνης λόγω της σύγκρουσης πακέτων τα οποία εκ των υστέρων χάνονται.
- **Επεκτασιμότητα:** Ένα πολύ βασικό χαρακτηριστικό αυτών των δικτύων είναι η επεκτασιμότητα, καθώς σε διάφορα είδη δικτύων ad hoc όπως είναι τα δίκτυα αισθητήρα, απαιτείται η ύπαρξη πολύ μεγάλων αριθμών κόμβων, και επομένως οι τεχνικές επεκτασιμότητας είναι ζωτικής σημασίας.
- **Περιορισμένο εύρος ζώνης:** Τα MANETs έχουν μικρότερο εύρος ζώνης σε σχέση με τα ενσύρματα δίκτυα. Τα MANETs μπορούν να αντιμετωπίσουν προβλήματα με το ποσοστό των σφαλμάτων (bit error rate) καθώς και με το χαμηλότερο εύρος ζώνης, γιατί οι διαδρομές από το ένα άκρο στο άλλο χρησιμοποιούνται από διάφορους κόμβους του δικτύου. Επίσης, το κανάλι που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μπορεί να επηρεαστεί και από άλλους παράγοντες όπως η εξασθένηση και η παρεμβολή.
- **Περιορισμένη ασφάλεια:** Σε ένα τέτοιο δίκτυο όπου υπάρχει έλλειψη σταθερής υποδομής και οι κόμβοι είναι κινητοί, είναι προφανές ότι το σύστημα είναι περισσότερο ευάλωτο σε επιθέσεις όπως είναι οι υποκλοπές μηνυμάτων και η αλλοίωση των πληροφοριών. Επιπροσθέτως οι κλασσικές τεχνικές ασφαλείας που εφαρμόζονται και στα ενσύρματα δίκτυα εδώ συχνά δεν έχουν εφαρμογή και επομένως οι τρόποι προστασίας του δικτύου από κακόβουλες επιθέσεις είναι αρκετά περιορισμένη. Οι κινητές συσκευές έχουν υψηλότερο ρίσκο όσο αφορά την ασφάλεια σε σύγκριση με σταθερές λειτουργικές συσκευές, επειδή οι φορητές ενδέχεται να κλαπούν ή μπορεί η σύνδεσή τους να παραβιαστεί ασύρματα από κακόβουλους χρήστες. Οι πλαστογραφίες (spoofing) και οι επιθέσεις άρνησης υπηρεσιών (dos) είναι οι κύριες απειλές για την ασφάλεια.
- **Το πρόβλημα του κρυμμένου τερματικού:** Το πρόβλημα αυτό παρουσιάζεται όταν κάποιος κόμβος A θέλει να στείλει δεδομένα σε έναν κόμβο B και παράλληλα ένας κόμβος Γ θέλει να στείλει δεδομένα στον κόμβο B, αλλά ο κόμβος B δεν βρίσκεται στην ακτίνα κάλυψης του κόμβου Γ. Σε

αυτή την περίπτωση δεν μπορεί να ανιχνεύσει ότι ο κόμβος B είναι απασχολημένος και θα εκπέμψει κανονικά.

- **Το πρόβλημα του εκτεθειμένου τερματικού:** Στη περίπτωση αυτή αντιμετωπίζουμε το αντίστροφο πρόβλημα, όπου κάποιος κόμβος A πιθανώς δεν θα εκπέμψει σε ένα κόμβο B, επειδή θα νομίζει ότι είναι απασχολημένος γιατί ανιχνεύει εκπομπή από ένα κόμβο Γ σε ένα κόμβο Δ, μην αναγνωρίζοντας ότι αυτοί οι δύο κόμβοι βρίσκονται εκτός της εμβέλειάς του και επομένως δεν υπάρχει κίνδυνος σύγκρουσης (5).

1.4. Κατηγοριοποίηση αδόμητων δικτύων

Τα αδόμητα δίκτυα επικοινωνιών μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με κάποια βασικά χαρακτηριστικά τους όπως είναι η τοπολογία, η επικοινωνία μεταξύ των κόμβων καθώς και η διαμόρφωση του υλικού των κόμβων. Στα παρακάτω υποκεφάλαια παρουσιάζονται αυτές οι κατηγορίες των MANETs.

1.4.1. Τοπολογία

Τα κινητά αδόμητα δίκτυα μπορούν να υποδιαιρεθούν σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την τοπολογία τους:

- **Επίπεδα ad hoc δίκτυα:** Στα επίπεδα ad hoc δίκτυα, όλοι οι κόμβοι έχουν τις ίδιες αρμοδιότητες και δεν υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ των ξεχωριστών κόμβων, δηλαδή όλοι μπορούν να εκτελέσουν τις ίδιες λειτουργίες στο δίκτυο. Τα μηνύματα ελέγχου μεταδίδονται καθολικά σε όλο το δίκτυο, αλλά παράλληλα είναι κατάλληλα και για δυναμικές τοπολογίες. Η επεκτασιμότητα στο δίκτυο όμως μειώνεται όταν ο αριθμός των κόμβων αυξάνεται σημαντικά.
- **Ιεραρχικά ad hoc δίκτυα:** Τα ιεραρχικά ad hoc δίκτυα, αποτελούνται από διάφορες συστοιχίες, όπου κάθε μία αντιπροσωπεύει ένα ξεχωριστό δίκτυο και όλες είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους. Οι κόμβοι σε ένα τέτοιο δίκτυο μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο τύπους:
 - **Κύριοι κόμβοι:** Οι κόμβοι αυτοί διαχειρίζονται την συστοιχία που τους αντιστοιχεί και είναι υπεύθυνοι για τη μεταφορά των δεδομένων στην επόμενη συστοιχία.
 - **Κανονικοί κόμβοι:** Οι κόμβοι αυτοί επικοινωνούν μέσα στην συστοιχία απευθείας με άλλους κόμβους από άλλες συστοιχίες με τη βοήθεια των κύριων κόμβων.

Σε αυτή την κατηγορία δικτύου, δεν είναι απαραίτητη η προώθηση των μηνυμάτων ελέγχου κατά την διάρκεια της επικοινωνίας σε μια συστοιχία. Ο κύριος κόμβος είναι υπεύθυνος για την αλλαγή μιας σύνδεσης μεταξύ κόμβων σε διαφορετικές συστοιχίες. Σε αυτό το δίκτυο όμως, αν ένας κόμβος εμφανίσει κάποιο πρόβλημα, εκείνος ο τομέας του δικτύου δεν θα έχει την δυνατότητα να στείλει ή να λάβει μηνύματα από άλλους τομείς για όσο υπάρχει το πρόβλημα. Η ιεραρχική αρχιτεκτονική επομένως είναι καταλληλότερη για περιπτώσεις χαμηλής κινητικότητας στο δίκτυο.

- **Αθροιστικά ad hoc δίκτυα:** Τα αθροιστικά ad hoc δίκτυα έχουν ένα σύνολο από κόμβους που είναι τοποθετημένοι σε ζώνες. Ο κάθε κόμβος ανήκει σε δύο επίπεδα τοπολογίας, την χαμηλού επιπέδου τοπολογία (επίπεδο κόμβου) και την υψηλού επιπέδου τοπολογία (επίπεδο ζώνης). Επίσης κάθε κόμβος χαρακτηρίζεται από δύο αριθμούς ID, τον ID αριθμό του κόμβου και τον ID αριθμό της ζώνης. Η αθροιστική αρχιτεκτονική μπορεί να υποστηρίξει είτε επίπεδη είτε ιεραρχική αρχιτεκτονική.

1.4.2. Επικοινωνία

Ανάλογα με τη διαμόρφωση του δικτύου, η επικοινωνία μεταξύ των κόμβων μπορεί να είναι είτε μονού άλματος (singlehop) είτε πολλαπλών αλμάτων (multihop).

- **Single - Hop Ad Hoc δίκτυα:** Οι κόμβοι σε αυτή την κατηγορία, βρίσκονται στην περιοχή εμβέλειας ο ενός του άλλου και μπορούν να επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους. Τα single - hop δίκτυα είναι ο πιο απλός τύπος ad hoc δικτύου όπου όλοι οι κόμβοι βρίσκονται σε μια κοινή εμβέλεια, το οποίο σημαίνει ότι οι μεμονωμένοι κόμβοι μπορούν να επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους, χωρίς οποιαδήποτε βοήθεια άλλων ενδιάμεσων κόμβων. Οι κόμβοι αυτοί δεν χρειάζεται να είναι στατικοί. Ωστόσο θα πρέπει να παραμένουν εντός της εμβέλειας όλων των κόμβων, πράγμα που σημαίνει ότι ολόκληρο το δίκτυο θα πρέπει να μπορεί να κινηθεί ως ομάδα, επομένως δεν θα παρουσιάζεται κάποια αλλαγή στη μεταξύ τους επικοινωνία.
- **Multi -Hop Ad Hoc δίκτυα** Τα multi - hop δίκτυα διαφέρουν σε σχέση με τα single - hop, στο γεγονός ότι κάποιοι κόμβοι δεν είναι εντός της εμβέλειας ο ένας του άλλου και επομένως δεν υπάρχει η δυνατότητα άμεσης επικοινωνίας. Επομένως, η επικοινωνία αυτών των κόμβων πρέπει να προωθείται μέσω ενδιάμεσων κόμβων. Η βασική δυσκολία στα δίκτυα αυτά είναι η κινητικότητα των κόμβων, εφόσον η τοπολογία του δικτύου υπόκειται σε συνεχείς τροποποιήσεις. Το γενικό ζήτημα σε αυτή τη κατηγορία δικτύων είναι η ανάθεση ενός πρωτόκολλου δρομολόγησης το οποίο πρέπει να είναι προσαρμοσμένο στη γρήγορη τροποποίηση της τοπολογίας.

1.4.3. Διαμόρφωση του κόμβου

Μια περαιτέρω κατηγοριοποίηση των ad hoc δικτύων μπορεί να γίνει με βάση την διαμόρφωση του υλικού των κόμβων. Υπάρχουν δύο τύποι διαμορφώσεων των κόμβων, οι οποίοι είναι τα ομοιογενή και τα ετερογενή δίκτυα. Η διαμόρφωση των κόμβων σε ένα MANET είναι σημαντική και μπορεί να εξαρτηθεί πολύ από την πραγματική εφαρμογή.

- **Ομοιογενή Ad Hoc Δίκτυα:** Στα ομοιογενή δίκτυα ad hoc, όλοι οι κόμβοι έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά όσο αφορά στην διαμόρφωση του υλικού όπως ο επεξεργαστής, η μνήμη, η οθόνη και οι περιφερειακές συσκευές. Η πιο γνωστή εφαρμογή των ομοιογενών δικτύων είναι τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Στα ομοιογενή δίκτυα, οι εφαρμογές μπορούν να λειτουργήσουν μόνο υπό ορισμένες προϋποθέσεις.

- **Ετερογενή Ad Hoc Δίκτυα:** Στα ετερογενή δίκτυα, οι κόμβοι διαφέρουν ανάλογα με την διαμόρφωση του υλικού. Κάθε κόμβος έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά, πόρους και πολιτικές. Στα ad hoc δίκτυα αυτής της κατηγορίας, οι κόμβοι δεν μπορούν να παρέχουν τις ίδιες υπηρεσίες (6).

1.5. Εφαρμογές αδόμητων δικτύων

Τα δίκτυα αυτά είναι κατάλληλα για περιπτώσεις όπου μία υποδομή δεν είναι διαθέσιμη ή η ανάπτυξη μιας νέας υποδομής δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα. Οι ακόλουθες είναι οι πιο σημαντικές εφαρμογές:

- **Επιχειρηματικές εφαρμογές:** Μία από τις πιθανές χρήσεις των κινητών ad hoc δικτύων είναι σε κάποια επιχειρηματικά περιβάλλοντα όπου η ανάγκη για συνεργασία μεταξύ των υπολογιστών είναι ίσως πιο σημαντική έξω παρά μέσα στο περιβάλλον του γραφείου, όπως για παράδειγμα σε μια επαγγελματική συνάντηση εκτός γραφείου για την ενημέρωση κάποιων πελατών πάνω σε μια συγκεκριμένη εργασία. Έχουν αρχίσει εργασίες στην εισαγωγή των βασικών εννοιών της θεωρίας παιγνίων και των εφαρμογών τους στον τομέα των τηλεπικοινωνιών. Η θεωρία παιγνίων προέρχεται από την οικονομία και έχει εφαρμοστεί σε διάφορους τομείς. Ασχολείται με τη λήψη αποφάσεων πολλών ατόμων ταυτόχρονα, όπου κάθε ιθύνων προσπαθεί να μεγιστοποιήσει τη χρησιμότητά του. Η συνεργασία των χρηστών είναι απαραίτητη για τη λειτουργία ενός ad hoc δικτύου, επομένως η θεωρία παιγνίων προσφέρει μια καλή βάση για την ανάλυση των δικτύων. Οι άνθρωποι συχνά παίζουν παιχνίδια multiplayer στον ίντερνετ μέσω ενός απομακρυσμένου κόμβου. Το μοντέλο αυτό ονομάζεται μοντέλο πελάτη - εξυπηρετητή. Στην περίπτωση πολλαπλών χρηστών, κάθε χρήστης απλά συνδέεται σε έναν απλό σέρβερ / διακομιστή και αυτός προωθεί τα πακέτα για να συνδέσει τους χρήστες. Το μοντέλο αυτό έχει όμως σημαντικά μειονεκτήματα: ο χρήστης δεν μπορεί να παίξει παιχνίδια όπου δεν υπάρχει υποδομή του διαδικτύου, όταν η σύνδεση είναι πολύ κακή ή όταν ο σέρβερ δεν είναι διαθέσιμος (είτε επειδή έχει κατέβει είτε επειδή έχει φτάσει στο μέγιστο αριθμό χρηστών και του γίνεται άρνηση εισόδου). Ένα ακόμη μειονέκτημα είναι ότι περιορίζει τους παίκτες από το να επικοινωνούν, να βρίσκουν ένα παιχνίδι και να συμμετέχουν σε αυτό με τυχαίο τρόπο.
- **Στρατιωτικές εφαρμογές:** Οι αρχικές έρευνες πάνω στα ad hoc δίκτυα έγιναν λόγω των στρατιωτικών εφαρμογών. Η δυνατότητα να στηθεί γρήγορα ένα δίκτυο μεταξύ στρατιωτικών μονάδων σε εχθρικό έδαφος χωρίς καμία υποδομή για υποστήριξη, μπορεί να εξασφαλίσει φιλικές δυνάμεις με ένα σημαντικό πλεονέκτημα τακτικής στη μάχη. Για παράδειγμα, κάθε στρατιώτης μπορεί να κουβαλά μία κινητή συσκευή που αποτελεί έναν από τους κινητούς κόμβους στο ad hoc δίκτυο και συνδέει όλους τους στρατιώτες, τα τανκς και τα υπόλοιπα οχήματα. Οι πρόσφατες εξελίξεις στη ρομποτική έχουν προσφέρει την ιδέα των αυτοματοποιημένων πεδίων μάχης όπου τα μη επανδρωμένα οχήματα μάχης στέλνονται στη μάχη. Η στήριξη στρατιωτικών

εφαρμογών απαιτεί μηχανισμούς με αυτό – οργάνωση, που παρέχουν ισχυρή και αξιόπιστη επικοινωνία σε δυναμικά μεταβαλλόμενες καταστάσεις μάχης.

- **Λειτουργίες έκτακτης ανάγκης:** Μία ακόμα πολλά υποσχόμενη περιοχή εφαρμογής για τα ad hoc δίκτυα είναι αυτή των υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης που περιλαμβάνει λειτουργίες έρευνας, διάσωσης και αποκατάστασης μετά από καταστροφή. Για παράδειγμα, σε μια αεροπορική εταιρεία τοποθετούνται μικρές ασύρματες συσκευές στα γιλέκα διάσωσης των επιβατών κάτω από τα καθίσματα. Σε περίπτωση που το αεροπλάνο κάνει αναγκαστική προσγείωση στον νερό λόγω μηχανικών προβλημάτων, οι ομάδες έρευνας και διάσωσης θα έχουν τις ακριβείς τοποθεσίες των επιβατών (συντεταγμένες και πιθανόν και το βάθος) των θυμάτων μέσω των αναμεταδοτών. Έτσι, οι ομάδες διάσωσης μπορούν αποτελεσματικά να εντοπίσουν και να φτάσουν στα θύματα. Επίσης, οι ασύρματες συσκευές θα μπορούσαν να παρακολουθούν τα ζωτικά σημεία των επιβατών όπως ο καρδιακός ή ο αναπνευστικός ρυθμός έτσι ώστε να δοθεί προτεραιότητα στους επιβάτες που είναι ακόμα ζωντανοί. Μια παρόμοια εφαρμογή προκύπτει σε καταστροφές όπως οι σεισμοί, οι συσκοτίσεις ή οι βομβιστικές επιθέσεις. Η καταστροφή μπορεί να διαλύσει την υπάρχουσα υποδομή επικοινωνιών εμποδίζοντας τη σημαντική επικοινωνία μεταξύ των εργαζομένων έκτακτης ανάγκης. Οι ομάδες αντιμετώπισης κρίσιμων καταστάσεων μπορούν να στήσουν γρήγορα τα ad hoc δίκτυα έτσι ώστε να αντικαταστήσουν τις κατεστραμμένες υποδομές επιτρέποντας στις ομάδες να συντονίσουν καλύτερα τις προσπάθειές τους. Σε τέτοιες καταστάσεις τα ενσύρματα δίκτυα μπορεί να καταστραφούν. Θα υπάρξει η ανάγκη ενός ασύρματου δικτύου που θα χρειαστεί να στηθεί γρήγορα για τον συντονισμό της διάσωσης. Ένα παράδειγμα είναι ο σχεδιασμός των μελλοντικών επικοινωνιών δημόσιας ασφάλειας. Ένα ευρωπαϊκό πρόγραμμα που ονομάζεται Wireless Deployable Network System (WIDENS) επικέντρωσε τις εργασίες του σε αυτό τον τομέα. Το WIDENS είχε την ιδέα να χρησιμοποιήσει τα ad hoc δίκτυα ώστε να λειτουργούν μαζί με τα υπάρχοντα δίκτυα TETRA που χρησιμοποιούνται για τη δημόσια ασφάλεια.
- **Εφαρμογές σπιτιού, γραφείου και εκπαίδευσης:** Τα δίκτυα ad hoc έχουν επίσης εφαρμογές για περιβάλλοντα σπιτιού και γραφείου. Η πιο απλή και άμεση εφαρμογή τους είναι μέσω των laptops, των PDAs και άλλων συσκευών με τη δυνατότητα WLAN, χωρίς τη δυνατότητα ασύρματου σταθμού βάσης. Μια άλλη εφαρμογή που εμπίπτει στην κατηγορία του PAN είναι η αντικατάσταση καλωδίων μέσω ασύρματων ζεύξεων όπως και στο Bluetooth. Όλες οι περιφερειακές συσκευές μπορούν να συνδέσουν ένα κομπιούτερ μέσω ασύρματων συνδέσεων Bluetooth, εξαλείφοντας με αυτό τον τρόπο την ανάγκη για ενσύρματες συνδέσεις. Τα δίκτυα ad hoc επίσης επιτρέπουν την μετάδοση βίντεο και ήχου μέσω των ασύρματων κόμβων χωρίς κανένα σταθμό βάσης. Για παράδειγμα, το UWB παρέχει ένα αρκετά υψηλό εύρος ζώνης για να υποστηρίξει πολλές ροές πολυμέσων. Οι κόμβοι που είναι εξοπλισμένοι με UWB μπορούν να δημιουργήσουν αυτόνομα ένα ad

hoc δίκτυο που θα κάνει streaming βίντεο και ηχητικά υψηλής ποιότητας μεταξύ πολλών υπολογιστών μέσω ασύρματων συνδέσεων UWB. Επίσης από τα ad hoc δίκτυα μπορούν να επωφεληθούν και οι εκπαιδευτικές και ψυχαγωγικές δραστηριότητες. Για παράδειγμα, οι μαθητές που παρακολουθούν διαλέξεις, έχουν τη δυνατότητα μέσω των φορητών υπολογιστών να αποκτήσουν το πιο πρόσφατο υλικό του μαθημάτων από τον φορητό υπολογιστή του καθηγητή κατά τη διάρκεια του μαθήματος. Όσον αφορά στην αναψυχή, η κινητή και νομαδική φύση των ad hoc δικτύων επιτρέπει πιο «πλούσια» παιχνίδια multiplayer που μπορούν να ενσωματώσουν την κινητικότητα και την εγγύτητα των χρηστών στο εικονικό περιβάλλον του παιχνιδιού (7).

1.6. Προκλήσεις αδόμητων δικτύων

Η δικτύωση ad hoc έχει γίνει δημοφιλές πεδίο μελέτης κατά τη διάρκεια των τελευταίων χρόνων. Σχεδόν κάθε πτυχή του δικτύου έχει διερευνηθεί με τον ένα ή τον άλλο τρόπο σε διαφορετικά επίπεδα του προβλήματος. Ωστόσο, δεν υπάρχει απόλυτη επίλυση σε κάποιο από τα προβλήματα που έχουν βρεθεί ή τουλάχιστον κάποια μορφή συμφωνίας. Αντίθετα έχουν προκύψει περισσότερα ερωτήματα. Τα θέματα που χρήζουν επίλυσης είναι τα ακόλουθα:

- Επεκτασιμότητα
- Δρομολόγηση
- Ποιότητα εξυπηρέτησης
- Μοντέλο πελάτη - διακομιστή
- Ασφάλεια
- Εξοικονόμηση ενέργειας
- Συνεργασία κόμβων
- Διαλειτουργικότητα

Επεκτασιμότητα: Οι περισσότεροι από τους οραματιστές απεικονίζουν εφαρμογές που παίρνουν την επεκτασιμότητα ως δεδομένη στα ad hoc δίκτυα, όπως το όραμα μιας τεχνολογίας όπου τα δίκτυα αυτά μπορούν να είναι οποιοδήποτε μεγέθους. Παρόλα αυτά, είναι ασαφές πώς τόσο μεγάλα δίκτυα μπορούν να μεγαλώσουν πραγματικά. Τα δίκτυα ad hoc υποφέρουν από προβλήματα επεκτασιμότητας στη χωρητικότητα. Για να το εξετάσουμε αυτό ας δούμε ένα παράδειγμα. Σε ένα μη συνεργάσιμο δίκτυο που χρησιμοποιούνται πανκατευθυντικές κεραιές, η απόδοση ανά κόμβο μειώνεται με ρυθμό $1/\sqrt{N}$ όπου N ο αριθμός των κόμβων. Επομένως, σε ένα δίκτυο με 100 κόμβους μία απλή συσκευή παίρνει στην καλύτερη το 1/10 του θεωρητικού ρυθμού δεδομένων του δικτύου. Αυτό το πρόβλημα δεν μπορεί να λυθεί παρά μόνο στο επίπεδο του φυσικού στρώματος, για παράδειγμα με κατευθυντικές κεραιές όπου όμως το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραιάς θέτει κάποια όρια για τις επικοινωνίες. Αυτό απαιτεί τη διαμόρφωση νέων πρωτοκόλλων για να γίνουν οι παρακάμψεις. Η απόκτηση των διαδρομών και η τοποθεσία των υπηρεσιών είναι μόνο μερικά παραδείγματα εργασιών που απαιτούν σημαντικά έξοδα καθώς το

μέγεθος του δικτύου μεγαλώνει. Αν οι λιγοστοί πόροι σπαταληθούν με έντονη κυκλοφορία, αυτά τα δίκτυα ίσως δεν μακροημερέψουν. Επομένως, η επεκτασιμότητα είναι ένα μεγάλο ερευνητικό θέμα και πρέπει να ληφθεί υπόψη στο σχεδιασμό λύσεων για τα δίκτυα αυτά.

Δρομολόγηση: Η δρομολόγηση στα ασύρματα ad hoc δίκτυα είναι τετριμμένη λόγω του εξαιρετικά δυναμικού περιβάλλοντος. Ένα τέτοιο δίκτυο είναι μια συλλογή ασύρματων κινητών κόμβων που δυναμικά σχηματίζουν ένα προσωρινό δίκτυο χωρίς τη χρήση οποιασδήποτε υποδομής προϋπάρχοντος δικτύου ή κεντρικής διοίκησης. Σε ένα τυπικό ad hoc δίκτυο, οι κόμβοι επικοινωνούν για ένα χρονικό διάστημα προκειμένου να ανταλλάξουν πληροφορίες. Κατά τη διάρκεια ανταλλαγής των πληροφοριών αυτών, οι κόμβοι εξακολουθούν να κινούνται και έτσι το δίκτυο πρέπει να είναι έτοιμο να προσαρμόζεται συνεχώς καθορίζοντας διαδρομές μεταξύ τους χωρίς κάποια εξωτερική υποστήριξη.

Ποιότητα εξυπηρέτησης: Η ετερογένεια των υφιστάμενων εφαρμογών ίντερνετ έχει προκαλέσει τους σχεδιαστές δικτύων που έχουν κατασκευάσει το δίκτυο να παρέχουν μόνο την καλύτερη παροχή υπηρεσιών. Η φωνή, τα live video και η μεταφορά αρχείων είναι μόνο μερικές από τις εφαρμογές που έχουν πολύ διαφορετικές απαιτήσεις. Το QoS προσφέρει λύσεις που αναπτύσσονται για να ικανοποιήσουν τις αναδυόμενες απαιτήσεις αυτών των εφαρμογών. Το QoS πρέπει να εξασφαλίζεται από το δίκτυο για να παρέχει συγκεκριμένη απόδοση για μια δεδομένη ροή ή μια συλλογή ροών, με τον καθορισμό των παραμέτρων της όπως τη καθυστέρηση, τη διακύμανση, το εύρος ζώνης, τη πιθανότητα απώλειας πακέτων κ.τ.λ. Παρά τις τρέχουσες ερευνητικές προσπάθειες πάνω στον τομέα αυτό, το QoS στα ad hoc δίκτυα είναι ακόμα μια ανεξερεύνητη περιοχή. Όσον αφορά σε ζητήματα στην ευρωστία, στις πολιτικές δρομολόγησης και στους αλγορίθμους και τα πρωτόκολλα για πολλαπλές διαδρομές, πρέπει να καθοριστούν και να επιλυθούν οι προτεραιότητες που υπάρχουν.

Μοντέλο πελάτη – διακομιστή: Στο διαδίκτυο, ο πελάτης του δικτύου συνήθως χρησιμοποιεί ένα σέρβερ σαν συνεργάτη για δικτυακές συναλλαγές. Αυτοί οι σέρβερς / διακομιστές μπορούν να βρεθούν αυτόματα ή μέσω στατικής διαμόρφωσης (configuration). Στα δίκτυα ad hoc ωστόσο, η δομή του δικτύου δεν μπορεί να καθοριστεί από τη συλλογή ip διευθύνσεων σε υποδίκτυα. Μπορεί να μην υπάρχουν σέρβερς αλλά η ζήτηση για τις βασικές υπηρεσίες εξακολουθεί να υπάρχει. Η κατανομή διευθύνσεων, η ονοματοδοσία, ο έλεγχος ταυτότητας και η τοποθεσία των υπηρεσιών είναι μόνο κάποια παραδείγματα από τις βασικές υπηρεσίες που χρειάζονται, αλλά η τοποθεσία τους μέσα στο δίκτυο είναι άγνωστη και συχνά αλλάζει με τον χρόνο. Λόγω της αδόμητης φύσης αυτών των δικτύων και της κινητικότητας των κόμβων, απαιτείται μια διαφορετική προσέγγιση για τη διευθυνσιοδότηση. Επιπλέον, δεν είναι ακόμα σαφές ποιός θα είναι υπεύθυνος να διαχειριστεί τις διάφορες υπηρεσίες του δικτύου. Επομένως, ενώ υπάρχουν πολύ μεγάλες πρωτοβουλίες έρευνας σε αυτό τον τομέα, το ζήτημα της αλλαγής από το παραδοσιακό μοντέλο πελάτη - διακομιστή δεν έχει ακόμα αποσαφηνιστεί.

Ασφάλεια: Ένα σημαντικό θέμα που πρέπει να αντιμετωπιστεί είναι η ασφάλεια στα ad hoc δίκτυα. Οι στρατιωτικές εφαρμογές ή οι εμπιστευτικές συναντήσεις απαιτούν

υψηλό βαθμό ασφάλειας εναντίον των εχθρών αλλά και των ενεργών / παθητικών υποκλοπέων. Τα δίκτυα αυτά είναι ιδιαίτερα επιρρεπή σε κακόβουλη συμπεριφορά. Η έλλειψη οποιουδήποτε κεντροποιημένου δικτύου διαχείρισης ή πιστοποίησης καθιστά αυτές τις δυναμικά μεταβαλλόμενες ασύρματες δομές πολύ ευάλωτες στη διείσδυση, τις υποκλοπές, τις παρεμβολές κ.τ.λ. Η ασφάλεια γενικά θεωρείται το μεγαλύτερο εμπόδιο στις εμπορικές συναλλαγές.

Εξοικονόμηση ενέργειας: Τα συντηρητικά δίκτυα ενέργειας γίνονται ολοένα και πιο δημοφιλή μέσα στην έρευνα για τα ad hoc δίκτυα. Η εξοικονόμηση ενέργειας αυτή τη στιγμή εξετάζεται σε κάθε στρώμα της στοίβας πρωτοκόλλου. Υπάρχουν δύο κύρια ερευνητικά θέματα που είναι σχεδόν πανομοιότυπα: η μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής μιας απλής μπαταρίας και η μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής ολόκληρου του δικτύου. Η πρώτη σχετίζεται με εμπορικές συναλλαγές και θέματα συνεργασίας μεταξύ των κόμβων ενώ η δεύτερη είναι πιο θεμελιώδης, όπως για παράδειγμα στα στρατιωτικά περιβάλλοντα όπου η συνεργασία μεταξύ των κόμβων θεωρείται δεδομένη. Οι στόχοι μπορούν να επιτευχθούν είτε αναπτύσσοντας καλύτερες μπαταρίες είτε καθιστώντας τη λειτουργία των τερματικών του δικτύου πιο ενεργειακά αποδοτική. Η πρώτη προσέγγιση είναι πιθανόν να δώσει μια αύξηση έως 40% στη ζωή της μπαταρίας στο προσεχές μέλλον (με μπαταρίες Ly - Polymer). Όσον αφορά στην κατανάλωση ενέργειας της μπαταρίας, το κύριο ζήτημα είναι να πετύχουμε εξοικονόμηση ενέργειας μέσω της ανάπτυξης hardware χαμηλής ισχύος με τη χρήση τεχνικών όπως τις μεταβλητές clock speed CPUs, τη flash memory και το disk spin down. Ωστόσο, από την άποψη της δικτύωσης το ενδιαφέρον μας εστιάζεται στη δικτυακή διεπαφή της συσκευής / των συσκευών η οποία είναι συχνά η μεγαλύτερη καταναλώτρια ενέργειας. Η ενεργειακή απόδοση του δικτύου μπορεί να βελτιωθεί με την ανάπτυξη τεχνολογιών μετάδοσης / λήψης στο φυσικό στρώμα. Μεγάλο μέρος της έρευνας έχει πραγματοποιηθεί στα επίπεδα MAC και δρομολόγησης, ενώ ένα μικρό κομμάτι έχει γίνει σε επίπεδα μεταφοράς και εφαρμογών. Παρόλα αυτά εκκρεμεί να διεξαχθεί αρκετή ακόμα έρευνα σε όλα αυτά τα επίπεδα.

Συνεργασία κόμβων: Στενά συνδεδεμένη με ζητήματα ασφαλείας, η συνεργασία μεταξύ των κόμβων στέκεται στο δρόμο της εμπορικής εφαρμογής της τεχνολογίας. Για να λάβουμε τις αντίστοιχες υπηρεσίες από άλλους ανθρώπους, δεν υπάρχει άλλη επιλογή παρά να βασιζόμαστε στα δεδομένα των άλλων ανθρώπων. Παρόλα αυτά, όταν οι διαφορές στην ποσότητα και την προτεραιότητα των δεδομένων έρχονται στο προσκήνιο η κατάσταση γίνεται πολύ πιο περίπλοκη. Η ενθάρρυνση της συνεργασίας των κόμβων ίσως οδηγήσει στην εισαγωγή της τιμολόγησης, παρόμοια με την ιδέα που προτείνεται για τον έλεγχο συμφόρησης στο ίντερνετ. Τα καλά συμπεριφερόμενα μέλη του δικτύου πρέπει να επιβραβεύονται ενώ οι εγωιστικοί ή κακόβουλοι χρήστες θα πρέπει να χρεώνονται με υψηλότερα ποσοστά. Η εφαρμογή οποιουδήποτε είδους μηχανισμού χρέωσης είναι ωστόσο πολύ προκλητική και αυτά τα θέματα είναι ακόμα ανοιχτά.

Διαλειτουργικότητα: Η αυτό - οργάνωση των δικτύων ad hoc είναι πρόκληση όταν δύο ανεξάρτητα σχηματισμένα δίκτυα έρχονται κοντά το ένα με το άλλο. Αυτό είναι ένα ανεξερεύνητο θέμα έρευνας το οποίο έχει επιπτώσεις σε όλα τα επίπεδα στον

σχηματισμό του δικτύου. Όταν δύο αυτόνομα δίκτυα ad hoc μετακινούνται στην ίδια περιοχή, η επέμβαση του ενός στο άλλο θεωρείται αναπόφευκτη. Ιδανικά τα δίκτυα θα αναγνώριζαν την κατάσταση και θα συγχωνεύονταν. Το ζήτημα της ένωσης δύο δικτύων όμως δεν είναι ασήμαντο. Τα δίκτυα πιθανόν να χρησιμοποιούν διαφορετικό συγχρονισμό ή ακόμα και διαφορετικά MAC ή πρωτόκολλα δρομολόγησης. Η ασφάλεια επίσης καθίσταται ένα σημαντικό θέμα, θίγοντας το ζήτημα του εάν τα δίκτυα έχουν την ικανότητα να προσαρμοστούν στην εκάστοτε κατάσταση. Για παράδειγμα, μια στρατιωτική μονάδα που κινείται σε μια περιοχή που καλύπτεται από δίκτυο αισθητήρων θα μπορούσε να δημιουργήσει θέμα εάν η κινητή μονάδα χρησιμοποιούσε διαφορετικά πρωτόκολλα δρομολόγησης για την παροχή πληροφοριών θέσης, ενώ το δίκτυο αισθητήρων διαθέτει ένα απλό στατικό πρωτόκολλο δρομολόγησης. Ένας από τους σημαντικότερους στόχους της πρόσφατης έρευνας είναι να παρέχει την απρόσκοπτη ενσωμάτωση όλων των τύπων δικτύων. Αυτό εγείρει ερωτήματα στο πώς τα δίκτυα ad hoc θα μπορούσαν να σχεδιαστούν προκειμένου να είναι συμβατά με τα ασύρματα LANs και τα κυβελωτά δίκτυα 3^{ης} και 4^{ης} γενιάς (8).

2. IEEE 802.11

Η IEEE 802.11 είναι μια οικογένεια προτύπων της IEEE που σχεδιάστηκε με στόχο να επεκτείνει το Ethernet στην ασύρματη περιοχή. Υπάρχουν πολλές εκδόσεις της οικογένειας αυτής με διαφορετικό γράμμα στο τέλος του ονόματός της και είναι οι ακόλουθες:

802.11: Το πρότυπο 802.11 δημιουργήθηκε τον Ιούνιο του 1997 και αποτελεί το αρχικό πρότυπο για ασύρματη δικτύωση. Υποστηρίζει μέγιστο ρυθμό μετάδοσης μέχρι τα 2 Mbps, δηλαδή πολύ χαμηλή ταχύτητα για τις περισσότερες εφαρμογές που κυκλοφορούν σήμερα στην αγορά και επομένως πλέον δεν κατασκευάζονται προϊόντα αυτής της κατηγορίας.

802.11b: Η έκδοση αυτή παρουσιάστηκε τον Ιούλιο του 1999 και υποστηρίζει ρυθμό μετάδοσης στα 11 Mbps. Χρησιμοποιεί την ίδια μη ρυθμισμένη συχνότητα (2.4 GHz) με το πρότυπο 802.11. Το γεγονός αυτό μπορεί να οδηγήσει σε παρεμβολές αν υπάρχουν και άλλες κοντινές συσκευές που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα και επομένως καλό θα ήταν η εγκατάσταση συσκευών της ίδιας κατηγορίας να πραγματοποιείται σε μια λογική απόσταση μεταξύ τους. Τα πλεονεκτήματα αυτής της έκδοσης είναι ότι έχει χαμηλό κόστος και ότι το εύρος του σήματος είναι καλό και δεν εμποδίζεται εύκολα, ενώ τα μειονεκτήματα περιλαμβάνουν ότι έχει χαμηλή μέγιστη ταχύτητα καθώς και ότι όπως αναφέραμε παραπάνω παρουσιάζεται το ενδεχόμενο παρεμβολών.

802.11a: Η έκδοση 802.11a πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια που ήταν σε εξέλιξη η ανάπτυξη της έκδοσης 802.11b. Λόγω του υψηλού της κόστους χρησιμοποιείται συνήθως σε δίκτυα επιχειρήσεων. Υποστηρίζει ρυθμό μετάδοσης μέχρι 54 Mbps και τα σήματα βρίσκονται σε ρυθμισμένο φάσμα συχνοτήτων στα περίπου 5 GHz. Τα πλεονεκτήματα αυτής της έκδοσης είναι ότι έχει υψηλή μέγιστη ταχύτητα και ότι οι ρυθμιζόμενες συχνότητες εμποδίζουν τη παρουσία παρεμβολών από άλλες συσκευές. Στα μειονεκτήματά βρίσκεται το γεγονός ότι είναι αρκετά ακριβή έκδοση και ότι τα σήματα μικρότερης εμβέλειας παρεμποδίζονται ευκολότερα.

802.11g: Το 2002 και το 2003 τα προϊόντα WLAN υποστηρίζουν μία νέα έκδοση του προτύπου 802.11 που κυκλοφόρησε, η οποία προσπαθεί να συνδυάσει τα καλύτερα χαρακτηριστικά από τις προηγούμενες εκδόσεις 802.11a και 802.11b. Στα χαρακτηριστικά της είναι ο ρυθμός μετάδοσης μέχρι τα 54 Mbps και η χρήση της συχνότητας 2.4 GHz για μεγαλύτερη εμβέλεια. Η έκδοση αυτή είναι συμβατή με την 802.11b, γεγονός που σημαίνει ότι τα σημεία πρόσβασης της έκδοσης 802.11g θα λειτουργούν με προσαρμογείς ασύρματου δικτύου 802.11b και αντίστροφα. Θετικά στοιχεία αυτής της έκδοσης είναι η υψηλή μέγιστη ταχύτητα και η ποιότητα του εύρους του σήματος το οποίο δεν εμποδίζεται εύκολα, ενώ αρνητικό στοιχείο αποτελεί το γεγονός ότι είναι ακριβότερο από την έκδοση 802.11b καθώς και ότι οι συσκευές ενδέχεται να παρεμβαίνουν στη μη ρυθμιζόμενη συχνότητα σήματος.

802.11n: Η έκδοση αυτή σχεδιάστηκε το 2009 προκειμένου για να βελτιώσει την 802.11g στο μέγεθος του εύρους ζώνης που υποστηρίζεται από τη χρήση πολλαπλών ασύρματων σημάτων και κεραιών αντί μόνο ενός (τεχνολογία MIMO). Στις προδιαγραφές της περιλαμβάνεται εύρος ζώνης στα 300 Mbps καθώς και η παροχή

καλύτερης εμβέλειας συγκριτικά με τα προηγούμενα πρότυπα Wi – Fi, λόγω της αυξημένης ισχύος του σήματος καθώς και της συμβατότητάς της με τις προηγούμενες εκδόσεις 802.11b και 802.11g. Στα πλεονεκτήματά της συγκαταλέγονται η πολύ υψηλή μέγιστη ταχύτητα και το πολύ υψηλό εύρος σήματος που είναι ανθεκτικότερο σε παρεμβολές από εξωτερικές πηγές. Στα αρνητικά είναι το γεγονός ότι είναι πιο ακριβό από την έκδοση 802.11g καθώς και ότι η χρήση πολλαπλών σημάτων ίσως δημιουργήσει παρεμβολές σε κοντινά δίκτυα βασισμένα στα πρότυπα 802.11b και 802.11g.

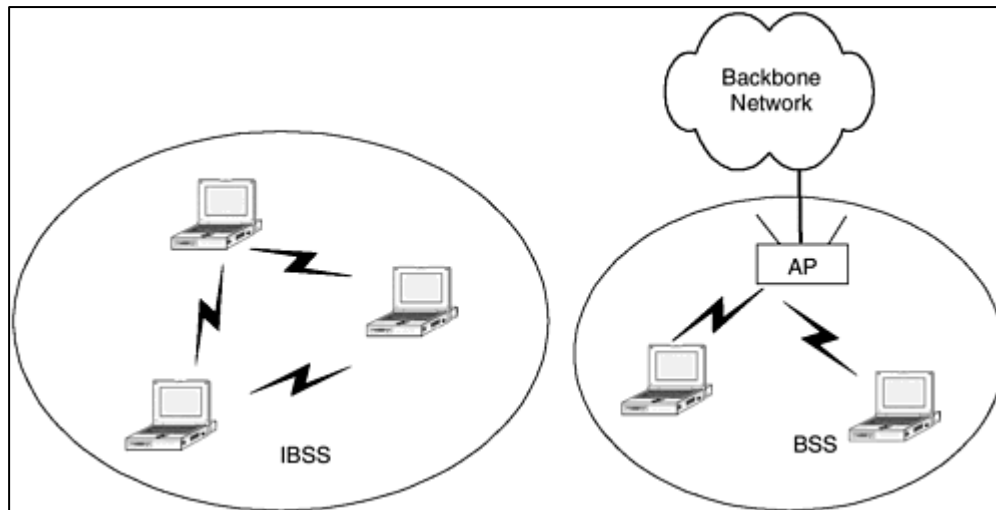
802.11ac: Η τελευταία γενιά σηματοδοσίας WiFi χρησιμοποιεί ασύρματη τεχνολογία διπλής ζώνης και υποστηρίζει ταυτόχρονες συνδέσεις και στις δύο ζώνες συχνοτήτων των 2.4 GHz και 5 GHz. Επίσης προσφέρει εύρος ζώνης έως 450 Mbps στη ζώνη των 2.4 GHz και έως 1300 Mbps στη ζώνη των 5 GHz. Τέλος είναι συμβατή με τις προηγούμενες εκδόσεις 802.11b, 802.11g και 802.11n.

802.11e: Η έκδοση αυτή αναφέρεται ως μία εγκεκριμένη τροποποίηση του προτύπου IEEE 802.11 το 2005 και η οποία ορίζει μια σειρά από βελτιώσεις ποιότητας υπηρεσιών (QoS) για εφαρμογές ασύρματου LAN, μέσω τροποποιήσεων στο επίπεδο ελέγχου πρόσβασης πολυμέσων (MAC). Θεωρείται κρίσιμης σημασίας για εφαρμογές ευαίσθητες στη καθυστέρηση όπως είναι οι υπηρεσίες φωνής ή οι τηλεδιασκέψεις. Αυτό το πετυχαίνει ελαχιστοποιώντας ή μεγιστοποιώντας τη μέση καθυστέρηση από άκρο σε άκρο, τη μέση διακύμανση της καθυστέρησης καθώς και το μέσο ποσοστό επιτυχούς παράδοσης πακέτων. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται μέσω των μηχανισμών DCF (Distributed Coordination Function) και PCF (Point Coordination Function), οι οποίοι αναλύονται στα παρακάτω υποκεφάλαια (9).

2.1.Αρχιτεκτονική 802.11

Η βασική δομή της αρχιτεκτονικής 802.11 περιλαμβάνει το Βασικό Σύνολο Υπηρεσιών BSS (Basic Service Set). Ένα τέτοιο σύνολο περιέχει τους ασύρματους σταθμούς (STA) καθώς και ένα κεντρικό σημείο πρόσβασης (access point). Όταν υπάρχουν πολλαπλά σύνολα υπηρεσιών (BSS), συνδέονται μέσω ενός καταναμημένου συστήματος και έτσι δημιουργείται ένα εκτεταμένο σύστημα υπηρεσιών ESS (Extended Service Set). Το BSS λειτουργεί στο ασύρματο μέσο ενώ το καταναμημένο σύστημα χρησιμοποιεί τα Μέσα Καταναμημένου Συστήματος (Distribution System Media). Τα σημεία πρόσβασης συνδέονται με το καταναμημένο σύστημα με σκοπό να γίνεται η μεταφορά των MAC SDU (Service Data Unit) μεταξύ των κόμβων που δεν βρίσκονται στο ίδιο BSS. Σε κάποιες περιπτώσεις οι σταθμοί IEEE 802.11 μπορούν να ομαδοποιηθούν και να δημιουργήσουν ένα αδόμητο δίκτυο το οποίο δεν περιλαμβάνει σημείο πρόσβασης. Ένα τέτοιο δίκτυο αποτελεί ένα ανεξάρτητο σύνολο υπηρεσιών IBSS (Independent Service Set).

Στην εικόνα 2 παρουσιάζεται η διαφορετική δομή των συνόλων υπηρεσιών IBSS και BSS.



Εικόνα 2: BSS και IBSS

2.2.Επίπεδο MAC

Το υπόστρωμα ελέγχου πρόσβασης πολυμέσων MAC, αποτελεί το χαμηλότερο υπόστρωμα του στρώματος ζεύξης δεδομένων (Επίπεδο 2) του μοντέλου OSI 7 επιπέδων.

Οι αρμοδιότητες του επιπέδου MAC είναι οι ακόλουθες:

- Καθορισμός συνθηκών υπό τις οποίες ένας κόμβος έχει πρόσβαση στο μέσο.
- Επίλυση πιθανών συγκρούσεων μεταξύ των κόμβων.
- Διόρθωση των σφαλμάτων επικοινωνίας που προκύπτουν στο φυσικό επίπεδο.
- Πραγματοποίηση δραστηριοτήτων όπως είναι η διευθυνσιοδότηση και ο έλεγχος ροής.

Το υπόστρωμα αυτό λειτουργεί ως διεπαφή μεταξύ του υποστρώματος ελέγχου λογικής σύνδεσης (LLC) και της φυσικής στρώσης του δικτύου. Εξομοιώνει ένα κανάλι πλήρους αμφίδρομης λογικής επικοινωνίας σε ένα δίκτυο πολλαπλών σημείων, το οποίο μπορεί να παρέχει unicast, multicast ή broadcast επικοινωνία.

2.2.1.Πρόσβαση στο επίπεδο MAC

Το επίπεδο MAC παρέχει στους χρήστες τον έλεγχο πρόσβασης στο μέσο, με ή χωρίς συντονισμό.

2.2.1.1. Πρόσβαση χωρίς συντονισμό

Στη πρόσβαση χωρίς συντονισμό (Contention – free Medium Access) οι συγκρούσεις μπορούν να αποφευχθούν με δύο τρόπους.

Στον πρώτο τρόπο εξασφαλίζεται ότι ο κάθε κόμβος θα χρησιμοποιήσει τους πόρους του ξεχωριστά. Αυτό πραγματοποιείται με κάποιες μεθόδους, όπου οι πιο χαρακτηριστικές από αυτές είναι οι παρακάτω:

- FDMA (Frequency Division Multiple Access): Στη μέθοδο αυτή, η ζώνη συχνοτήτων διαιρείται σε μικρότερες ζώνες συχνοτήτων και τα δεδομένα

αποστέλλονται μεταξύ δύο κόμβων χρησιμοποιώντας μόνο μία ζώνη. Όλοι οι άλλοι κόμβοι χρησιμοποιούν διαφορετική ζώνη συχνοτήτων.

- TDMA (Time Division Multiple Access): Οι πολλαπλές συσκευές χρησιμοποιούν την ίδια ζώνη συχνοτήτων και η μετάδοση βασίζεται σε περιοδικά χρονικά πλαίσια, τα οποία αποτελούνται από κάποιο σταθερό αριθμό θυρίδων εκπομπής, με σκοπό να διαχωρίσουν τη πρόσβαση που πραγματοποιείται στο μέσο από τη κάθε συσκευή. Με τη χρήση ενός χρονικά καθορισμένου προγράμματος ορίζεται ποιά συσκευή μπορεί να πραγματοποιήσει μετάδοση από συγκεκριμένη θυρίδα.
- CDMA (Carrier Division Multiple Access): Στη περίπτωση αυτή πραγματοποιούνται ταυτόχρονες προσβάσεις στο μέσο από διαφορετικούς κόμβους. Αν αυτοί οι κόμβοι είναι ορθογώνιοι μεταξύ τους, μπορούν να μεταδώσουν από τη ίδια ζώνη συχνοτήτων. Επιπλέον χρησιμοποιείται η μέθοδος FEC (Forward Error Correction) στο δέκτη για τη διόρθωση των παρεμβολών μεταξύ αυτών των ταυτόχρονων επικοινωνιών.

Στο δεύτερο τρόπο όλοι οι κόμβοι επιτρέπεται να αποκτήσουν πρόσβαση στο μέσο μετά από αίτημα. Υπάρχουν τρεις χαρακτηριστικοί τρόποι με τους οποίους επιτυγχάνεται η πρόσβαση:

- Πρωτόκολλα βασισμένα στη δημοσκόπηση (polling - based protocols): Μία συσκευή ελέγχου εκδίδει μικρά polling frames και ρωτάει τον κάθε σταθμό εάν θέλει να στείλει δεδομένα. Εάν δεν υπάρχουν δεδομένα προς αποστολή από κάποιο σταθμό, η συσκευή συνεχίζει την αναζήτηση στον επόμενο σταθμό κ.ο.κ.
- Χρήση token: Οι σταθμοί περνούν ένα polling request μεταξύ τους χρησιμοποιώντας ένα token και ένας σταθμός έχει τη δυνατότητα να στείλει δεδομένα μόνο εφόσον έχει στην κατοχή του αυτό το token.
- Πρωτόκολλα βασισμένα σε κρατήσεις (reservation - based protocols): Γίνεται χρήση στατικών χρονικών θυρίδων από τους κόμβους προκειμένου να εξασφαλίσουν τη μελλοντική τους πρόσβαση στο μέσο. Αυτά τα πρωτόκολλα είναι πολύ περίπλοκα και εξασφαλίζουν ότι οι άλλοι πιθανώς συγκρούμενοι κόμβοι σημειώνουν μια τέτοια κράτηση από τους γειτονικούς τους, με αποτέλεσμα να αποφευχθούν οι συγκρούσεις.

2.2.1.2.Πρόσβαση με συντονισμό

Στη πρόσβαση με συντονισμό (Contention – based Medium Access), οι κόμβοι πραγματοποιούν ταυτόχρονες μεταδώσεις και απαιτούνται μηχανισμοί που μειώνουν τον αριθμό των συγκρούσεων καθώς και επαναφέρουν το σύστημα μετά τη πραγματοποίησή τους.

Συγκεκριμένα, μία συσκευή στο δίκτυο θα προσπαθήσει να αποκτήσει πρόσβαση στο μέσο μόνο εάν έχει δεδομένα να στείλει. Για την αποφυγή προβλημάτων στο δίκτυο, χρησιμοποιείται η διαδικασία CSMA (Carrier Sense Multiple Access) μέσω της οποίας εντοπίζεται εάν το μέσο μεταφέρει κάποιο σήμα. Εάν κάποιο σήμα εντοπιστεί, αυτό σημαίνει ότι ήδη κάποια άλλη συσκευή πραγματοποιεί μετάδοση και επομένως

η αρχική συσκευή θα τεθεί σε αναμονή και θα επανεκκινήσει τη διαδικασία CCMA μετά από ορισμένο χρονικό διάστημα. Εάν δεν εντοπιστεί κάποιο σήμα, η συσκευή θα μεταδώσει κανονικά τα δεδομένα της. Το Ethernet και τα ασύρματα δίκτυα συνήθως χρησιμοποιούν αυτό τον τύπο πρόσβασης.

Είναι πιθανό ότι η διαδικασία CCMA μπορεί να αποτύχει και επομένως δύο συσκευές πιθανώς να μεταδώσουν ταυτόχρονα τα δεδομένα τους. Σε αυτή τη περίπτωση τα δεδομένα αυτά θα υποστούν ζημιά και θα χρειαστεί αναμετάδοση.

Τα συστήματα που βασίζονται σε contention – based πρόσβαση δεν ανταποκρίνονται καλά με βαριά χρήση των μέσων ή με υπερβολικά μεγάλο αριθμό συσκευών σε χρήση. Επιπλέον οι μηχανισμοί που απαιτούνται για τη διόρθωση των σφαλμάτων εξαιτίας των συγκρούσεων, μειώνουν περισσότερο τη απόδοση του δικτύου.

Το CSMA συνήθως εφαρμόζεται με κάποια μέθοδο που επιλύει το πρόβλημα των συγκρούσεων στο ασύρματο μέσο. Οι δύο πιο χαρακτηριστικές μέθοδοι είναι οι ακόλουθες:

- **Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD):** Στη μέθοδο αυτή, η τελική συσκευή παρακολουθεί το μέσο για τη παρουσία κάποιου σήματος. Εάν ένα τέτοιο σήμα απουσιάζει σημαίνει ότι το μέσο είναι ελεύθερο και επομένως η συσκευή μεταδίδει. Στη περίπτωση που εντοπιστούν άλλα σήματα που δείχνουν ότι κάποια άλλη συσκευή πραγματοποιούσε μετάδοση την ίδια χρονική περίοδο, όλες οι συσκευές σταματούν την αποστολή δεδομένων και προσπαθούν ξανά αργότερα. Οι παραδοσιακές μορφές του Ethernet χρησιμοποιούν αυτή τη μέθοδο.
- **Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA):** Η τελική συσκευή παρακολουθεί το μέσο για την παρουσία κάποιου σήματος. Εάν διαπιστωθεί ότι το μέσο είναι ελεύθερο, η συσκευή στέλνει μία ειδοποίηση στο μέσο ότι σκοπεύει να το χρησιμοποιήσει. Μόλις λάβει άδεια μετάδοσης, η συσκευή στέλνει τα δεδομένα. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται από τις ασύρματες τεχνολογίες δικτύου 802.11 (10).

2.2.2. Μέθοδοι πρόσβασης στο επίπεδο MAC

Το βασικό πρωτόκολλο MAC του 802.11 είναι το DCF (λειτουργία κατανεμημένου συντονισμού), το οποίο βασίζεται στη μέθοδο CSMA/CA, ενώ στα δομημένα WLAN πάνω στο DCF τρέχει το πρωτόκολλο PCF (λειτουργία συντονισμού από ένα σημείο), το οποίο προσφέρει στα τερματικά όπου χρειάζεται πρόσβαση στο κοινό μέσο χωρίς συγκρούσεις και ανταγωνισμούς.

2.2.2.1. PCF

Στη λειτουργία αυτή, ένας συντονιστής παρέχει μέσω μηχανισμού το δικαίωμα μετάδοσης σε ένα μόνο σταθμό σε ορισμένη χρονική στιγμή. Αυτή η μέθοδος πρόσβασής δεν μπορεί προφανώς να εφαρμοστεί σε δίκτυα ad hoc, επομένως η ανάλυση θα επικεντρωθεί στη μέθοδο DCF.

2.2.2.2. DCF

Στη μέθοδο αυτή, ένας κόμβος που πρόκειται να μεταδώσει ένα πακέτο παρακολουθεί τη δραστηριότητα του καναλιού και εάν αυτή είναι μηδενική για κάποια ορισμένη χρονική περίοδο DIFS (Distributed InterFrame Space), ο κόμβος μεταδίδει. Σε αντίθετη περίπτωση εξακολουθεί να παρακολουθεί το κανάλι και μόλις διαπιστώσει ότι είναι αδρανές για διάστημα DIFS μπαίνει σε διαδικασία μετάδοσης. Ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται η αποφυγή συγκρούσεων, έγκειται στο γεγονός ότι ορίζεται ένας τυχαίος χρόνος αναμονής προτού αρχίσει η μετάδοση, με σκοπό να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα σύγκρουσης με άλλα πακέτα. Επιπλέον, ο κόμβος τίθεται σε αναμονή και μεταξύ δύο διαδοχικών μεταδόσεων νέων πακέτων, ακόμα και αν το σύστημα είναι αδρανές για χρόνο DIFS.

Τεχνική διπλής χειραψίας: Στη τεχνική αυτή μεταδίδεται μια θετική επιβεβαίωση (ACK) λήψης του πακέτου από τον κόμβο προορισμό στον κόμβο πηγή μετά από ορισμένο χρόνο SIFS (Short InterFrame Space) που ορίζεται από τη στιγμή που θα σταλθεί το πακέτο δεδομένων. Όσο το SIFS είναι μικρότερο από το DIFS, κανένα κανάλι δεν μπορεί να εντοπίσει ελεύθερο κανάλι για χρονικό διάστημα DIFS πριν ολοκληρωθεί το ACK. Αν ο κόμβος που πραγματοποιεί τη μετάδοση δεν λάβει το ACK εντός ορισμένου χρόνου, αναπρογραμματίζει τη μετάδοση του πακέτου σύμφωνα με τους παραπάνω κανόνες αναμονής.

Τεχνική τετραπλής χειραψίας: Η τεχνική αυτή αποτελεί έναν προαιρετικό μηχανισμό γνωστό ως RTS / CTS (Request To Send / Clear To Send). Σύμφωνα με το μηχανισμό αυτό, ο κόμβος που θέλει να μεταδώσει ένα πακέτο ακολουθεί αρχικά τη διαδικασία που αναφέρθηκε στη τεχνική της διπλής χειραψίας, μόνο που μετά αντί να στείλει το πακέτο στέλνει το RTS, δηλαδή ένα μικρό πλαίσιο που λαμβάνει ο κόμβος προορισμός και απαντάει με το CTS πλαίσιο μετά από διάστημα SIFS. Μετέπειτα πραγματοποιείται η μετάδοση του πακέτου μονάχα στη περίπτωση που έχει παραληφτεί σωστά το πλαίσιο CTS. Τα πλαίσια RTS και CTS μεταφέρουν την πληροφορία του μήκους του πακέτου που πρόκειται να μεταδοθεί, η οποία πληροφορία μπορεί να διαβαστεί από όλους τους κόμβους, οι οποίοι με τη σειρά τους εάν είναι κρυμμένοι από κάποιον από τους κόμβους λήψης και μετάδοσης, μπορούν να βοηθήσουν στην αποφυγή σύγκρουσης καθυστερώντας την επιπλέον μετάδοση.

Η τεχνική αυτή βοηθάει πολύ αποτελεσματικά στην αποφυγή των συγκρούσεων αλλά καταναλώνει αρκετούς πόρους και αυξάνει την καθυστέρηση. Σε κάθε κόμβο δίνεται η δυνατότητα καθορισμού τιμής κατωφλιού RTS, ώστε ο μηχανισμός αυτός να χρησιμοποιείται μόνο στη περίπτωση που το πλαίσιο είναι μεγαλύτερο από αυτή τη τιμή (11).

2.3. Υποστήριξη δικτύου Ad Hoc

Όπως αναφέραμε στην ενότητα 2.1, δύο ή περισσότεροι σταθμοί 802.11 μπορούν να αποτελέσουν ένα δίκτυο ad hoc. Στο πρότυπο IEEE 802.11, ένα τέτοιο δίκτυο ονομάζεται ανεξάρτητο σύνολο βασικών υπηρεσιών (IBSS), το οποίο επιτρέπει σε αυτούς τους σταθμούς να επικοινωνούν μεταξύ τους χωρίς την ανάγκη ύπαρξης κεντρικής διοίκησης ή σημείου πρόσβασης. Επομένως, το IBSS θεωρείται η

υποστήριξη που παρέχεται από το πρότυπο IEEE 802.11 για τα κινητά αδόμητα δίκτυα. Λόγω της ευελιξίας του πρωτοκόλλου CSMA / CA σχετικά με τη σωστή μετάδοση και λήψη των δεδομένων, όλοι οι σταθμοί μέσα στο IBSS συγχρονίζονται σε ένα κοινό ρολόι. Το πρότυπο καθορίζει μια χρονισμένη λειτουργία συγχρονισμού TSF (Timing Synchronization Function), για τη επίτευξη του συγχρονισμού του ρολογιού μεταξύ των σταθμών.

Σε ένα δίκτυο με υποδομές, ο συγχρονισμός του ρολογιού παρέχεται από το σημείο πρόσβασης και όλοι οι σταθμοί συγχρονίζονται το δικό τους ρολόι σύμφωνα με αυτό. Στο IBSS λόγω της έλλειψης κεντρικής υποδομής, ο συγχρονισμός επιτυγχάνεται μέσω ενός καταναμημένου αλγορίθμου. Και στις δύο περιπτώσεις χρησιμοποιούνται ειδικά καρτέ που ονομάζονται beacons, τα οποία περιέχουν τις πληροφορίες χρονισμού. Το TSF απαιτεί δύο βασικές λειτουργίες, την απόκτηση συγχρονισμού και τη συντήρηση συγχρονισμού.

Απόκτηση συγχρονισμού: Αυτή η λειτουργία πραγματοποιείται όταν κάποιος σταθμός θελήσει να συμμετάσχει σε κάποιο ήδη υπάρχον IBSS. Η ανακάλυψη των υφιστάμενων IBSS είναι αποτέλεσμα μιας διαδικασίας σάρωσης του ασύρματου μέσου, κατά τη διάρκεια της οποίας ο σταθμός δέκτης συντονίζεται σε διαφορετικές ραδιοσυχνότητες αναζητώντας συγκεκριμένα πλαίσια ελέγχου. Μόνο εάν η διαδικασία σάρωσης δεν αποκαλύψει κάποιο υπάρχον IBSS, θα αρχίσει η διαδικασία δημιουργίας ενός καινούργιου IBSS. Η διαδικασία σάρωσης μπορεί να είναι είτε ενεργητική είτε παθητική.

- **Ενεργητική διαδικασία σάρωσης:** Η ενεργή σάρωση περιλαμβάνει τη δημιουργία πλαισίων ανίχνευσης και την επακόλουθη διαδικασία των ληφθέντων πλαισίων απόκρισης ανίχνευσης. Ο σταθμός που αποφασίζει να ξεκινήσει μια ενεργή σάρωση έχει μία λίστα με τις ραδιοσυχνότητες των καναλιών που θα σαρωθούν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Για κάθε κανάλι που θα σαρωθεί, στέλνεται ένας ανιχνευτής (probe) με προορισμό εκπομπής μέσω της μεθόδου πρόσβασης DCF. Ταυτόχρονα γίνεται εκκίνηση του ProbeTimer. Αν δεν υπάρξει απάντηση στον ανιχνευτή που λήφθηκε, προτού το ProbeTimer φτάσει στο MinChannelTime, επιλέγεται το επόμενο κανάλι στη λίστα. Σε διαφορετική περίπτωση ο σταθμός συνεχίζει τη σάρωση στο ίδιο κανάλι μέχρι το ProbeTimer να φτάσει στο MaxChannelTime. Στη συνέχεια ο σταθμός επεξεργάζεται όλα τα αποτελέσματα του ανιχνευτή, τα οποία αμέσως μετά στέλνονται μέσω μιας απλής μετάδοσης πλαισίου στο σταθμό που είχε αρχικά ξεκινήσει τη σάρωση. Σε ένα IBSS, μόνο ο σταθμός που πραγματοποίησε τη τελευταία μετάδοση beacon θα ανταποκριθεί σε ένα αίτημα ανιχνευτή, έτσι ώστε να αποφευχθεί η σπατάλη εύρους ζώνης μέσω της χρησιμοποίησης επαναλαμβανόμενων πλαισίων ελέγχου. Επίσης, ένας τουλάχιστον σταθμός σε ένα IBSS πρέπει να είναι σε ετοιμότητα να δεχτεί κάποιο αίτημα ανιχνευτή, μέχρι τουλάχιστον να ληφθεί κάποιο καινούργιο beacon. Μπορεί να υπάρξουν περισσότεροι από ένα σταθμοί που θα ανταποκριθούν σε ένα τέτοιο αίτημα, ιδιαίτερα στη περίπτωση που παραπάνω από ένα σταθμοί μετέδωσαν ένα beacon, είτε επειδή δεν παρέλαβαν επιτυχώς

το προηγούμενο, είτε επειδή υπήρξε σύγκρουση μεταξύ των μεταδόσεων των beacons.

- **Παθητική διαδικασία σάρωσης:** Στη παθητική διαδικασία ο σταθμός κάνει αναζήτηση στα κανάλια για κάποιο πλαίσιο beacon, το οποίο περιέχει όχι μόνο πληροφορίες χρονισμού και συγχρονισμού αλλά και το πλήρες σύνολο παραμέτρων του IBSS. Αυτό το σύνολο παραμέτρων περιλαμβάνει το αναγνωριστικό IBSS (IBSSid), τη παράμετρο aBeaconPeriod, τους υποστηριζόμενους ρυθμούς δεδομένων και τις παραμέτρους που σχετίζονται με τις λειτουργίες διαχείρισης του IBSS όπως είναι η διαχείριση εξοικονόμησης ενέργειας.

Συντήρηση συγχρονισμού: Κάθε σταθμός διαθέτει έναν TCF χρονομετρητή. Οι σταθμοί περιμένουν να λάβουν beacons με συγκεκριμένο ρυθμό ο οποίος ορίζεται από τη παράμετρο aBeaconPeriod. Αυτή η παράμετρος ορίζεται από το σταθμό που εκκινεί το IBSS και μετέπειτα χρησιμοποιείται από οποιοδήποτε άλλο σταθμό συμμετέχει σε αυτό το IBSS. Οι σταθμοί χρησιμοποιούν τους χρονομετρητές TCF στην έναρξη των περιόδων και των διαστημάτων των beacons. Στην αρχή κάθε διαστήματος beacon ο κάθε σταθμός πραγματοποιεί την ακόλουθη διαδικασία:

- Αναστολή της μείωσης του backoff χρονοδιακόπτη για τη περίπτωση όπου εκκρεμεί κάποια μετάδοση.
- Δημιουργία ενός τυχαίου διαστήματος καθυστέρησης, ομοιόμορφα κατανομημένου μεταξύ του μηδενός και της διπλάσιας ελάχιστης τιμής του contention window.
- Αναμονή της τυχαίας καθυστέρησης.
- Παύση του χρονοδιακόπτη, ακύρωση της εκκρεμούς μετάδοσης του beacon και επαναφορά του χρονοδιακόπτη backoff στην περίπτωση που το beacon φτάσει προτού λήξει ο χρονομετρητής τυχαίας καθυστέρησης.
- Αποστολή ενός πλαισίου beacon στην περίπτωση που ο χρονομετρητής τυχαίας καθυστέρησης έχει λήξει και δεν έχει ληφθεί beacon.

Ο σταθμός αποστολής θέτει τη χρονική σήμανση του beacon στη τιμή του χρονοδιακόπτη TSF τη στιγμή της μετάδοσης του beacon. Κατά τη διάρκεια λήψης αυτού του beacon, ο σταθμός αποστολής ελέγχει τη χρονική σήμανση. Αν η χρονική σήμανση του beacon έχει τεθεί αργότερα από το χρονοδιακόπτη TSF του σταθμού, ο χρονοδιακόπτης αυτός ορίζεται στη τιμή της ληφθείσας χρονικής σήμανσης. Επομένως, όλοι οι σταθμοί μέσα σε ένα IBSS συγχρονίζονται το χρονοδιακόπτη τους TSF στον ταχύτερο χρονοδιακόπτη TSF (12).

3. Πρωτόκολλα δρομολόγησης

3.1. Δρομολόγηση αδόμητων δικτύων

Ένα κινητό δίκτυο ad hoc είναι μια ομάδα κινητών ασύρματων κόμβων που σχηματίζουν συνεργατικά ένα δίκτυο χωρίς την υποστήριξη κεντρικών υποδομών. Αυτά τα δίκτυα δημιουργούνται όταν χρειάζεται και κατασκευάζονται από παρόμοιους κόμβους χωρίς ιεραρχία. Σε αυτά τα δίκτυα δεν υπάρχει σταθερή υποδομή ή σταθμός βάσης για τις επικοινωνίες. Αν τα δίκτυα καλύπτουν μια μικρή περιοχή τότε η δρομολόγηση δεν κρίνεται απαραίτητη. Αν όμως τα δίκτυα καλύπτουν μεγάλη περιοχή, η συνδεσιμότητα πρέπει να επιτευχθεί με τη χρήση ad hoc δρομολόγησης. Κάθε κόμβος πρέπει να λειτουργήσει ως δρομολογητής στέλνοντας και προωθώντας πακέτα από και προς άλλους κόμβους. Οι υπηρεσίες διαμόρφωσης που απαιτούνται, διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με τη φύση του δικτύου, τη φύση των συμμετεχόντων και τις εφαρμογές που υποστηρίζονται. Κάθε συσκευή πρέπει να μπορεί να παράγει, να δρομολογεί και να καταναλώνει δεδομένα.

Η δρομολόγηση είναι ένα θεμελιώδες στοιχείο της λειτουργίας των δικτύων ad hoc. Οι κόμβοι δημιουργούν και διαχειρίζονται το δίκτυο συνεργατικά χωρίς την υποστήριξη κεντρικής υποδομής, λαμβάνοντας υπόψη τις αλλαγές στο δίκτυο όπως που σχετίζονται με την κινητικότητα των κόμβων, τη μη σταθερή τοπολογία και τους περιορισμούς που αφορούν τους πόρους των κόμβων. Επιπλέον, πρέπει να εξασφαλιστεί η ασφάλεια στις λειτουργίες δρομολόγησης για την αποφυγή επιθέσεων από κακόβουλους κόμβους, προστατεύοντας παράλληλα την επικοινωνία των μη - επιτρεπόμενων προσβάσεων.

Η δρομολόγηση είναι η διαδικασία μεταφοράς πληροφορίας από μία πηγή σε έναν προορισμό. Αυτή η έννοια χρησιμοποιείται από τις αρχές της δεκαετίας του 1970. Σήμερα, κερδίζει ολοένα και περισσότερη δημοφιλία λόγω της εξέλιξης στα δίκτυα και τις τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών καθώς και τον ερχομό του ίντερνετ. Η δρομολόγηση είναι υπεύθυνη για τον καθορισμό των βέλτιστων διαδρομών δρομολόγησης και τη μεταφορά των πακέτων ανάμεσα στους κόμβους. Οι πληροφορίες δρομολόγησης αποθηκεύονται σε πίνακες δρομολόγησης. Οι αλγόριθμοι δρομολόγησης επιτρέπουν στους κόμβους να επιλέξουν τις βέλτιστες διαδρομές για τη δρομολόγηση των πακέτων στον προορισμό τους.

Στα MANETs, δεν υπάρχουν υποστηρικτικές υποδομές ή κεντρική διοίκηση που μπορούν να βοηθήσουν στην επικοινωνία μεταξύ δύο κόμβων. Επιπλέον, ένας κόμβος προορισμού θα μπορούσε να είναι έξω από την εμβέλεια ενός κόμβου πηγής. Σε αυτές τις περιπτώσεις, τα πρωτόκολλα δρομολόγησης είναι πάντα απαραίτητα να στέλνουν τα πακέτα από την πηγή στον προορισμό. Κάθε κόμβος πρέπει να μπορεί να διαβιβάσει τα δεδομένα από τους άλλους κόμβους, ανεξάρτητα από τις αλλαγές στη τοπολογία του δικτύου ad hoc ή εξαιτίας της αποτυχίας ενός κόμβου.

Τα χαρακτηριστικά που περιορίζουν αυτούς τους τύπους δικτύου είναι η δυναμική τοπολογία, το περιορισμένο εύρος ζώνης, οι διαφορετικές συνδέσεις χωρητικότητας, το υψηλό ποσοστό σφαλμάτων, η περιορισμένη φυσική ασφάλεια και η περιορισμένη χωρητικότητα των μπαταριών. Αυτά τα χαρακτηριστικά καθιστούν τα πρωτόκολλα δρομολόγησης απαραίτητα για τη λειτουργία τέτοιων δικτύων. Τα πρωτόκολλα αυτά

πρέπει να εκτελέσουν τον κύριο στόχο τους, ο οποίος είναι να χρησιμοποιούνται οι διαδρομές μεταξύ των διαφορετικών κόμβων σωστά και αποτελεσματικά. Ιδανικά, τα μηνύματα πρέπει να στέλνονται με κάποιο πρωτόκολλο που επιτρέπει τη μικρότερη δυνατή κατανάλωση εύρους ζώνης και ενέργειας. Άλλα προβλήματα που πρέπει να εξεταστούν είναι οι ασύμμετρες συνδέσεις, η ποιότητα των συνδέσεων (διαφορετική κατά τη λήψη και την αποστολή) και το routing overhead (που μπορεί να προκληθεί λόγω της κινητικότητας των κόμβων). Σε τέτοιες περιπτώσεις, οι παρωχημένες διαδρομές πρέπει να αποθηκευτούν σε πίνακες δρομολόγησης και παράλληλα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι παρεμβολές και η δυναμική τοπολογία.

Η δρομολόγηση είναι δύσκολο εγχείρημα λόγω της συνεχής εναλλαγής της τοπολογίας στο δίκτυο. Οι κόμβοι θα αλλάζουν τη θέση τους κυρίως λόγω της κινητικότητάς τους. Η οργάνωση, η λειτουργία και η διαχείριση του δικτύου εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του ίδιου του δικτύου. Δεν υπάρχει σταθερή τοπολογία και οι συσκευές είναι απολύτως κινητές και μπορούν να μετακινηθούν ελεύθερα η μία στη εμβέλεια της άλλης. Εφόσον κάθε κόμβος είναι δρομολογητής έχει περιορισμένη εμβέλεια επικοινωνίας. Η ενέργεια είναι περιορισμένη, καθώς οι κινητές συσκευές γενικά λειτουργούν με μπαταρία η οποία είναι εξαντλήσιμη και το διαθέσιμο ποσό της ενέργειας για κάθε συσκευή μπορεί να ποικίλλει. Το μέσο μετάδοσης είναι προσβάσιμο σε οποιονδήποτε στο εύρος του κατάλληλου εξοπλισμού και έτσι πρέπει να υπάρχει διαμοιρασμός στη μετάδοση του φυσικού μέσου. Η ταυτότητα πρέπει να σχετίζεται με τη διεύθυνση η οποία παρέχεται δυναμικά καθώς είναι δύσκολο να συσχετιστεί με μια καθορισμένη ταυτότητα. Οι συσκευές έχουν περισσότερη φυσική ευπάθεια λόγω του μικρού μεγέθους τους επομένως μπορούν να κλαπούν εύκολα και ενδεχομένως να τροποποιηθούν. Έτσι, η σχέση ιδιοκτήτη - κόμβου δεν είναι σταθερή εφόσον ο δεύτερος μπορεί να παρεκτραπεί. Οι συσκευές για σύνδεση μπορούν να προέλθουν από οπουδήποτε χωρίς κεντρική διοίκηση. Ως αποτέλεσμα, αυτές οι ιδιότητες έχουν δύο σημαντικά εμπόδια. Πρώτον οι κόμβοι δεν πρέπει να θεωρούνται αξιόπιστοι χωρίς την κατάλληλη πιστοποίηση των ίδιων, του χρήστη ή και των δυο και δεύτερον οι κεντρικές υπηρεσίες μπορεί να μην είναι διαθέσιμες επειδή μπορεί να είναι εκτός εμβέλειας ή εκτός λειτουργίας.

3.1.2. Ζητήματα δρομολόγησης αδόμητων δικτύων

Στα αδόμητα δίκτυα, υπάρχουν κάποιοι βασικοί παράγοντες οι οποίοι πρέπει να ληφθούν υπόψη προκειμένου να πραγματοποιηθεί η δρομολόγηση:

- **Απρόβλεπτο περιβάλλον:** Τα δίκτυα ad hoc μπορεί να αναπτυχθούν σε άγνωστα εδάφη, επικίνδυνες συνθήκες ή ακόμα και σε εχθρικά περιβάλλοντα όπου η αλλοίωση ή η πραγματική καταστροφή ενός κόμβου αποτελεί μεγάλη πιθανότητα. Ανάλογα με το περιβάλλον, οι αποτυχίες των κόμβων μπορεί να είναι ένα συχνό φαινόμενο.
- **Αναξιοπιστία του ασύρματου μέσου:** Η επικοινωνία μέσω του ασύρματου μέσου είναι αναξιόπιστη και υπόκειται σε σφάλματα. Επίσης, λόγω των

περιβαλλοντολογικών συνθηκών όπως τα υψηλά επίπεδα ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών (EMI) ή των κακών καιρικών συνθηκών, η ποιότητα της ασύρματης σύνδεσης μπορεί να είναι απρόβλεπτη.

- **Κόμβοι με περιορισμένους πόρους:** Οι κόμβοι σε ένα MANET τυπικά λειτουργούν με μπαταρία καθώς και με περιορισμένες δυνατότητες αποθήκευσης και επεξεργασίας. Επιπλέον, μπορεί να βρίσκονται σε περιοχές όπου δεν είναι δυνατόν να επαναφορτιστούν και επομένως έχουν περιορισμένο χρόνο ζωής. Εξαιτίας αυτών των περιορισμών πρέπει να διαθέτουν αλγορίθμους που είναι ενεργειακά αποδοτικοί αλλά και να λειτουργούν με περιορισμένους πόρους επεξεργασίας και μνήμης. Το διαθέσιμο εύρος ζώνης του ασύρματου μέσου μπορεί επιπλέον να περιοριστεί επειδή οι κόμβοι ίσως δεν είναι σε θέση να θυσιάσουν την καταναλωμένη ενέργεια λειτουργώντας σε πλήρη ταχύτητα σύνδεσης.
- **Δυναμική τοπολογία:** Η τοπολογία σε ένα ασύρματο ad hoc δίκτυο μπορεί να αλλάζει συνεχώς εξαιτίας της κινητικότητας των κόμβων. Καθώς οι κόμβοι κινούνται εντός και εκτός του εύρους η μία της άλλης, ορισμένες συνδέσεις χαλάνε αλλά και νέες συνδέσεις δημιουργούνται. Ως αποτέλεσμα αυτών των ζητημάτων, τα MANETs είναι επιρρεπή σε πολυάριθμους τύπους σφαλμάτων.
- **Σφάλματα μετάδοσης:** Η αναξιοπιστία του ασύρματου μέσου και ο απρόβλεπτος χαρακτήρας του περιβάλλοντος ίσως οδηγήσουν κάποια απεσταλμένα πακέτα να καταλήξουν αλλοιωμένα ή / και με σφάλματα.
- **Αποτυχίες κόμβων:** Οι κόμβοι μπορούν να αποτύχουν οποιαδήποτε στιγμή λόγω των διαφορετικών τύπων επικίνδυνων συνθηκών του περιβάλλοντος. Επίσης μπορεί να φύγουν από το δίκτυο είτε οικειοθελώς είτε εάν εξαντληθεί το ενεργειακό απόθεμα.
- **Αποτυχίες σύνδεσης:** Οι αποτυχίες των κόμβων καθώς και οι μεταβαλλόμενες περιβαλλοντολογικές συνθήκες (π.χ. τα αυξημένα επίπεδα EMI) μπορεί να οδηγήσουν στο να σπάσουν οι συνδέσεις μεταξύ των κόμβων. Οι αποτυχίες σύνδεσης οδηγούν τον κόμβο - πηγή να ανακαλύπτει νέες διαδρομές μέσω άλλων συνδέσεων.
- **Βλάβες διαδρομής:** Όταν η τοπολογία του δικτύου αλλάζει λόγω αλλαγών που οφείλονται σε αποτυχίες των κόμβων ή των συνδέσεων και / ή λόγω προσθήκης κόμβων ή συνδέσεων στο δίκτυο, οι διαδρομές συχνά βγαίνουν εκτός χρόνου και επομένως εσφαλμένες. Ανάλογα με το πρωτόκολλο μεταφοράς δικτύου, τα πακέτα που προωθούνται μέσω των κλασικών διαδρομών μπορεί τελικά είτε να αποτύχουν είτε να καθυστερήσουν.
- **Κορεσμένοι κόμβοι ή σύνδεσμοι:** Λόγω της τοπολογίας του δικτύου και της φύσης των πρωτοκόλλων δρομολόγησης, ορισμένοι κόμβοι ή συνδέσεις μπορεί να πολυχρησιμοποιηθούν και να προκληθεί συμφόρηση με αποτέλεσμα να γίνουν ακόμα μεγαλύτερες καθυστερήσεις ή απώλειες πακέτων (13).

3.2. Κατηγορίες πρωτοκόλλων δρομολόγησης

Η ταξινόμηση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους. Τα υπάρχοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης των MANETs μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες: τα κατά απαίτηση on - demand (reactive), τα ενεργά table - driven (proactive), και τα κατ' απαίτηση - ενεργά (υβριδικά) πρωτόκολλα, ανάλογα με το πότε και πώς ανακαλύπτουν τις διαδρομές και τις αποθηκεύουν (στρατηγική και δομή).

3.2.1. Ενεργά (Proactive) πρωτόκολλα δρομολόγησης

Τα proactive πρωτόκολλα επιτρέπουν τη κράτηση ενημερωμένων πληροφοριών δρομολόγησης σε ένα πίνακα δρομολόγησης. Ο πίνακας αυτός ανταλλάσσεται περιοδικά με όλους τους άλλους κόμβους καθώς και όταν αλλάζει η τοπολογία του δικτύου. Έτσι, όταν ένας κόμβος πρέπει να στείλει ένα πακέτο η διαδρομή είναι άμεσα διαθέσιμη. Παρόλα αυτά οι περισσότερες από τις πληροφορίες δρομολόγησης που ανταλλάσσονται είναι ανεπιθύμητες. Αν ένας κόμβος πηγή θέλει να στείλει δεδομένα σε ένα κόμβο προορισμό, το μόνο που έχει να κάνει είναι να εντοπίσει τον κόμβο προορισμό στο προπαρασκευασμένο τραπέζι τοπολογίας που έχει αποθηκευτεί στον κόμβο πηγή - τον ίδιο δηλαδή. Η ανάλυση του πίνακα είναι γρηγορότερη και απαιτεί λιγότερη ενέργεια από τη διαδικασία έρευνας ολόκληρου του δικτύου για ένα προορισμό. Αν οι κόμβοι του δικτύου δεν έχουν συχνή κινητικότητα, τότε ο πίνακας τοπολογίας δεν θα καταναλώσει πάρα πολλή ενέργεια.

Στα αδόμητα δίκτυα που βασίζονται σε αυτά τα πρωτόκολλα, η κατανάλωση της ενέργειας και του εύρους ζώνης αυξάνεται λόγω της ανταλλαγής των πινάκων τοπολογίας μεταξύ των κόμβων μετά από κάθε αλλαγή στην τοποθεσία των κόμβων. Αυτό συμβαίνει ακόμα και αν το δίκτυο είναι σε κατάσταση αναμονής (π.χ. δεν γίνεται μετάδοση δεδομένων στο δίκτυο). Το ιδανικό πλαίσιο του δικτύου για αυτά τα πρωτόκολλα είναι τα δίκτυα χαμηλής - ή και καθόλου - κινητικότητας.

Στην ενεργή δρομολόγηση όλες οι διαδρομές σε όλους τους προορισμούς υπολογίζονται εκ των προτέρων και ενημερώνονται με περιοδικά μηνύματα ενημέρωσης. Αυτή η κατηγορία μπορεί να υποδιαιρεθεί σε δύο υποκατηγορίες:

3.2.1.1. DVRP

Στην υποκατηγορία αυτή θα μελετήσουμε τα DVRP πρωτόκολλα (Distance Vector Routing Protocols), όπου υπάρχει η απαίτηση ο δρομολογητής να ενημερώνει με περιοδικό τρόπο τους γειτονικούς του κόμβους για την αλλαγή της τοπολογίας. Το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιεί την απόσταση προκειμένου να αποφασίσει τη καλύτερη διαδρομή προώθησης πακέτων.

Οι δρομολογητές που χρησιμοποιούν αυτό το πρωτόκολλο δεν γνωρίζουν ολόκληρη τη διαδρομή προς ένα προορισμό αλλά χρησιμοποιούν τις ακόλουθες δύο μεθόδους:

- Υπολογισμός της επόμενης διεύθυνσης κόμβου ή διεπαφής εξόδου στην οποία μπορεί να προωθηθεί ένα πακέτο.
- Υπολογισμός της διαδρομής με τη μικρότερη απόσταση ώστε να καταλήξει ένα πακέτο στον προορισμό του. Κάθε κόμβος διατηρεί ένα

table με πληροφορίες σχετικά με τις αποστάσεις που έχει από όλους τους υπόλοιπους κόμβους. Η πιο σύντομη απόσταση υπολογίζεται χρησιμοποιώντας διάφορες μετρήσεις διαδρομής.

Οι αναβαθμίσεις πραγματοποιούνται περιοδικά σε αυτό το πρωτόκολλο, όταν ολόκληρος ή μέρος ενός πίνακα δρομολόγησης στέλνεται σε όλους τους γειτονικούς του πίνακες που είναι ρυθμισμένοι να χρησιμοποιούν το ίδιο πρωτόκολλο. Μόλις ο δρομολογητής έχει όλες τις απαιτούμενες πληροφορίες, είναι σε θέση να τροποποιήσει το δικό του πίνακα δρομολόγησης για να αποθηκεύσει τις αλλαγές και στη συνέχεια να ενημερώσει τους γειτονικούς του για τις αλλαγές αυτές. Αυτή η διαδικασία περιγράφεται ως «routing by rumor» διότι οι δρομολογητές βασίζονται αποκλειστικά στις πληροφορίες που λαμβάνουν από τους γείτονές τους και δεν διαθέτουν καμία εγγύηση ότι αυτή η πληροφορία είναι έγκυρη και αληθής. Υπάρχουν βέβαια κάποια διαθέσιμα χαρακτηριστικά στο πρωτόκολλο αυτό, προκειμένου να βοηθήσουν στην αστάθεια και τις ανακριβείς πληροφορίες δρομολόγησης.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων πρωτοκόλλων δρομολόγησης είναι το RIP (Routing Information Protocol), το IGRP (Interior Gateway Routing Protocol) και το EIGRP (Enhanced IGRP).

RIP (Routing Information Protocol): Το πρωτόκολλο αυτό είναι ένα από τα παλαιότερα της κατηγορίας distance vector και χρησιμοποιεί τον αριθμό των βημάτων (hops) ως μετρική δρομολόγησης. Αποτρέπει τη δημιουργία βρόγχων στη δρομολόγηση θέτοντας συγκεκριμένο όριο στον αριθμό των επιτρεπόμενων βημάτων από την πηγή μέχρι τον προορισμό τον αριθμό 15. Σε περίπτωση που μια διαδρομή υπολογιστεί στα 16 βήματα, θεωρείται ανέφικτη και δεν πραγματοποιείται. Στα περιβάλλοντα δικτύωσης το RIP δεν προτιμάται για δρομολόγηση, δεδομένου ότι ο χρόνος σύγκλισης και η δυνατότητα επεκτασιμότητας είναι χαμηλές σε σχέση με τα πρωτόκολλα EIGRP, IS - IS και OSPF. Εν τούτοις, είναι εύκολη η διαδικασία ρύθμισής του επειδή δεν απαιτεί επιπλέον παραμέτρους όπως συμβαίνει στα άλλα πρωτόκολλα. Χρησιμοποιεί το UDP ως πρωτόκολλο μεταφοράς του, και του έχει παραχωρηθεί ο αριθμός θύρας 520.

Υπάρχουν τρεις εκδοχές του πρωτοκόλλου αυτού, το RIPv1, το RIPv2 και το RIPvng.

- **RIPv1:** Δημοσιεύθηκε το 1988 και χρησιμοποιεί διευθυνσιοδότηση χωρίς κλάσεις. Οι περιοδικές ενημερώσεις δρομολόγησης δεν περιέχουν πληροφορίες υποδικτύου και ούτε προσφέρουν υποστήριξη VLSM. Αυτός ο περιορισμός καθιστά αδύνατη την ύπαρξη υποδικτύων διαφορετικού μεγέθους μέσα στο ίδιο δίκτυο. Επίσης δεν παρέχεται υποστήριξη για έλεγχο ταυτότητας δρομολογητή και έτσι το πρωτόκολλο αυτό είναι αρκετά ευάλωτο σε επιθέσεις.
- **RIPv2:** Αναπτύχθηκε το 1993 και ταυτοποιήθηκε οριστικά το 1998. Περιλαμβάνει τη δυνατότητα μεταφοράς πληροφοριών υποδικτύου. Με στόχο τη διατήρηση της συμβατότητας από τον προορισμό προς τον αποστολέα (backwards) διατηρήθηκε το όριο των 15 βημάτων όπως στην εκδοχή RIPv1. Διαθέτει εγκαταστάσεις για πλήρη διαλειτουργικότητα με τις παλαιότερες προδιαγραφές καθώς και για πραγματοποίηση λεπτομερών προσαρμογών

διαλειτουργικότητας. Σε μία προσπάθεια να μειώσει τον περιττό φόρτο στους κεντρικούς υπολογιστές που δεν συμμετέχουν στη δρομολόγηση, το RIPv2 μεταδίδει ολόκληρο τον πίνακα δρομολόγησης στους δρομολογητές στη διεύθυνση 224.0.0.9 σε αντίθεση με τον RIPv1 που μεταδίδει παντού. Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό που προστέθηκε σε αυτή την έκδοση είναι οι ετικέτες διαδρομής που επιτρέπουν τη διάκριση μεταξύ των δρομολογίων που αντλήθηκαν από το πρωτόκολλο RIP και αυτών που αντλήθηκαν από άλλα πρωτόκολλα.

- **RIPng (next generation):** Αποτελεί επέκταση του RIPv2 για την υποστήριξη του πρωτοκόλλου IPV6. Σε αντίθεση με το RIPv2, το RIPng δεν υποστηρίζει τον έλεγχο ταυτότητας ενημερώσεων του RIPv1 και επίσης απαιτεί ειδική κωδικοποίηση του επόμενου hop για να θέσει ένα σύνολο καταχωρήσεων διαδρομής. Το RIPng στέλνει τις ενημερώσεις του στη θύρα UDP 521.

IGRP (Interior Gateway Routing Protocol): Το πρωτόκολλο αυτό αναπτύχθηκε από τη Cisco το 1980 προκειμένου να δοθεί μια εναλλακτική στο πρωτόκολλο RIP το οποίο προσέφερε τον μέγιστο αριθμό των 15 hops και μία μόνο μετρική δρομολόγησης. Το IGRP χρησιμοποιείται από τους δρομολογητές για την ανταλλαγή πληροφοριών δρομολόγησης μέσα σε ένα αυτόνομο σύστημα. Υποστηρίζει πολλαπλές μετρήσεις για κάθε διαδρομή, συμπεριλαμβανομένων αυτών σχετικά με το εύρος ζώνης, το φορτίο, τη καθυστέρηση και την αξιοπιστία. Για τη σύγκριση δύο διαδρομών, αυτές οι μετρήσεις συνδυάζονται σε μία μονή μετρική χρησιμοποιώντας μία φόρμουλα η οποία μπορεί να προσαρμοστεί μέσω της χρήσης προκαθορισμένων σταθερών. Ο μέγιστος αριθμός hops που μπορεί να επιτευχθεί είναι 255 και οι ενημερώσεις δρομολόγησης μεταδίδονται κάθε 90 δευτερόλεπτα. Το IGRP χρησιμοποιεί για την επικοινωνία τον αριθμό πρωτοκόλλου 9. Το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιεί δρομολόγηση χωρίς κλάση και επίσης υποστηρίζει δρομολόγηση πολλαπλών διαδρομών φτάνοντας έως και τις έξι παράλληλες διαδρομές. Λόγω του γεγονότος ότι δεν περιέχει πεδίο για μάσκα υποδικτύου, ο δρομολογητής υποθέτει ότι όλες οι άλλες διευθύνσεις υποδικτύων έχουν την ίδια μάσκα υποδικτύου με αυτή που είχε ρυθμιστεί για τις εν λόγω διασυνδέσεις. Αυτό όμως έρχεται σε αντίθεση με τα πρωτόκολλα που έχουν classfull δρομολόγηση και στα οποία μπορούν να χρησιμοποιούνται μάσκες υποδικτύου μεταβλητού μήκους. Γενικά τα classless πρωτόκολλα δρομολόγησης όπως το IGRP σπαταλάνε μεγάλο χώρο διευθύνσεων IP και για αυτό έχουν χάσει τη δημοφιλία τους.

EIGRP (Enhanced IGRP): Προκειμένου να αντιμετωπιστούν λοιπόν τα παραπάνω θέματα όπως είναι η σπατάλη διευθύνσεων IP, δημιουργήθηκε το EIGRP. Το πρωτόκολλο αυτό προσθέτει υποστήριξη για VLSM και τον αλγόριθμο DUAL προκειμένου να πραγματοποιείται καλύτερη δρομολόγηση και χωρίς βρόχους. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιεί ανακάλυψη - ανάκτηση γειτονιάς προκειμένου να ενημερωθεί δυναμικά για τους άλλους δρομολογητές στα άμεσα συνδεδεμένα δίκτυα. Τα πακέτα «Hello» αποστέλλονται περιοδικά για την παρακολούθηση της κατάστασης των συνδέσεων. Επιπλέον, χρησιμοποιείται ένα αξιόπιστο πρωτόκολλο μεταφοράς που παρέχει την εγγυημένη και διατεταγμένη παράδοση των πακέτων στους γείτονες. Οι υπολογισμοί διαδρομής πραγματοποιούνται από τον αλγόριθμο

DUAL, ο οποίος χρησιμοποιεί πληροφορίες απόστασης για να επιλέξει αποτελεσματικές διαδρομές, χωρίς βρόχους.

DSDV (Destination - Sequenced Distance Vector): Αποτελεί τροποποίηση του συμβατικού αλγορίθμου δρομολόγησης Bellman – Ford. Στον DSDV προστίθεται ένα νέο χαρακτηριστικό, η σειρά αριθμού. Αυτό το χαρακτηριστικό εισάγεται στην κάθε καταχώρηση του πίνακα δρομολόγησης και για κάθε κόμβο.

Σε αυτό το πρωτόκολλο, κάθε κόμβος του δικτύου διατηρεί έναν πίνακα δρομολόγησης που περιέχει όλους τους πιθανούς προορισμούς, τον αριθμό των βημάτων (hops) που πρέπει να κάνει ένα δεδομένο πακέτο ώστε να φτάσει στον προορισμό που θέλει καθώς και τον αριθμό ακολουθίας που αντιστοιχεί στον κόμβο προορισμού. Ο αριθμός ακολουθίας χρησιμοποιείται για να κάνει τον διαχωρισμό των παλιών διαδρομών από τις καινούργιες αλλά και για την αποφυγή σχηματισμού βρόγχων. Επιπλέον, ο σταθμός μεταδίδει τον πίνακα δρομολόγησης του όταν προκύψει κάποια σημαντική αλλαγή στον πίνακά του από την τελευταία απεσταλμένη ενημέρωση. Η ενημέρωση των πινάκων δρομολόγησης μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους.

Με τον πρώτο τρόπο αποστέλλεται ολόκληρος ο πίνακας δρομολόγησης στους γειτονικούς κόμβους και μπορεί να περιέχεται σε πολλά πακέτα. Με τον δεύτερο τρόπο στέλνονται από τον εκάστοτε πίνακα δρομολόγησης μόνο οι καταχωρήσεις όπου έχει υπάρξει αλλαγή μετά τη τελευταία ενημέρωση και μπορούν να περιέχονται μόνο σε ένα πακέτο. Ο δεύτερος τρόπος χρησιμοποιείται συνήθως όταν το δίκτυο είναι σχετικά σταθερό ώστε να αποφευχθεί η παραπάνω συμφόρηση στο δίκτυο. Κάθε πακέτο αναβάθμισης διαδρομής περιέχει επιπλέον τον μοναδικό αριθμό ακολουθίας και επιλέγεται κάθε φορά η διαδρομή με τον μεγαλύτερο, δηλαδή με τον πιο πρόσφατο αριθμό ακολουθίας. Εάν δύο διαδρομές διαθέτουν τον ίδιο αριθμό ακολουθίας τότε επιλέγεται η διαδρομή με την καλύτερη μέτρηση σε κάποιο άλλο χαρακτηριστικό όπως είναι το πόσο σύντομη είναι η διαδρομή. Οι σταθμοί καθυστερούν τη μετάδοση μιας ενημέρωσης αναβάθμισης θέτοντας το χρόνο με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφευχθούν οι ενημερώσεις που θα προέκυπταν εάν επρόκειτο να βρεθεί άμεσα καλύτερη διαδρομή.

Το πρωτόκολλο αυτό μπορεί να προκαλέσει υπερφόρτωση των κόμβων και των μηνυμάτων στο δίκτυο με σκοπό να διατηρήσει τις διαδρομές που έχει ρυθμιστεί να πραγματοποιηθούν. Για κάθε διαδρομή, η μετάδοση των δεδομένων από ένα κόμβο θα περιέχει το νέο αριθμό ακολουθίας, τη διεύθυνση της διαδρομής, των αριθμό των hops που απαιτούνται για να φτάσει στη νέα διαδρομή και τη νέα ακολουθία που σφραγίστηκε μέχρι τον προορισμό. Τα πλεονεκτήματα του DSDV είναι ότι εγγυάται διαδρομές χωρίς παρουσία βρόγχων, μειώνει το πρόβλημα μέτρησης μέχρι το άπειρο (infinite loop), βοηθάει στην αποφυγή επιπλέον κίνησης με αυξητικές ενημερώσεις και διατηρεί μόνο την καλύτερη διαδρομή, μειώνοντας έτσι το μέγεθος του χώρου στους πίνακες δρομολόγησης. Παρόλα αυτά, κάποιοι περιορισμοί του είναι ότι δεν υποστηρίζει δρομολόγηση πολλαπλών διαδρομών και είναι δύσκολο να διατηρήσει τις διαφημίσεις στους πίνακες δρομολόγησης για μεγαλύτερα δίκτυα.

WRP (Wireless Routing Protocol): Στο πρωτόκολλο αυτό κάθε κόμβος διατηρεί ένα πίνακα απόστασης, ένα πίνακα δρομολόγησης, ένα πίνακα κόστους συνδέσεων

και μία λίστα αναμετάδοσης μηνυμάτων (MRL). Οι κόμβοι ανταλλάσσουν πίνακες δρομολόγησης με τους γείτονές τους χρησιμοποιώντας περιοδικά μηνύματα ενημέρωσης. Οι κόμβοι που υπάρχουν στη λίστα απάντησης των μηνυμάτων ενημέρωσης (η οποία δημιουργήθηκε μέσω της MRL) είναι υποχρεωμένοι να επιβεβαιώσουν τη παραλαβή του μηνύματος ενημέρωσης. Εάν δεν υπάρξει αλλαγή στον πίνακα ενημέρωσης από τη τελευταία ενημέρωση, ο εκάστοτε κόμβος πρέπει να στείλει ένα αδρανές μήνυμα Hello ώστε να εξασφαλίσει τη συνδεσιμότητα. Κατά τη λήψη του μηνύματος ενημέρωσης, ο κόμβος τροποποιεί τον πίνακα απόστασης και αναζητά καλύτερες διαδρομές χρησιμοποιώντας τις νέες πληροφορίες που έλαβε. Κάθε νέα διαδρομή που έχει βρεθεί αποστέλλεται στους αρχικούς κόμβους προκειμένου να ενημερώσουν τους πίνακές τους. Επιπλέον, πραγματοποιείται αναβάθμιση κάποιου πίνακα δρομολόγησης εάν το νέο μονοπάτι είναι καλύτερο από το προηγούμενο. Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό αυτού του αλγόριθμου είναι ότι ελέγχει τη συνοχή όλων των γειτόνων του κάθε φορά που εντοπίζει οποιαδήποτε αλλαγή σύνδεσης σε κάποιον από αυτούς. Με αυτό τον τρόπο εξαλείφονται οι καταστάσεις βρόχου με καλύτερο τρόπο και επίσης επιτυγχάνεται καλύτερη σύγκλιση.

3.2.1.2. LSRP

Στην κατηγορία των πρωτοκόλλων LSRP (Link State Routing Protocols), η μεθοδολογία εκτελείται από κάθε κόμβο μεταγωγής στο δίκτυο, δηλαδή από κάθε κόμβο που μία δεδομένη στιγμή προωθεί πακέτα, δηλαδή δρα ως δρομολογητής. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι ότι ο κάθε κόμβος κατασκευάζει ένα χάρτη με τη συνδεσιμότητα του δικτύου σε μορφή γραφήματος, ο οποίος παρουσιάζει αναλυτικά τη συνδεσιμότητα μεταξύ όλων των κόμβων. Στη συνέχεια, ο καθένας από αυτούς υπολογίζει ξεχωριστά την επόμενη λογική διαδρομή από και προς οποιοδήποτε προορισμό στο δίκτυο, χρησιμοποιώντας μόνο το τοπικό αντίγραφο του χάρτη που διαθέτει και χωρίς να επικοινωνήσει με κανέναν άλλο κόμβο. Αμέσως μετά, διαμορφώνεται ο πίνακας δρομολόγησης του κάθε κόμβου ο οποίος θα είναι βασισμένος στη συλλογή από τις καλύτερες διαδρομές που έχουν καταγραφεί. Το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο του Dijkstra για να καθορίσει τις διαδρομές με το μικρότερο κόστος και να αναβαθμίσει τους γειτονικούς δρομολογητές του κάθε δρομολογητή ξεχωριστά όταν αλλάζει ο αντίστοιχος χάρτης δρομολόγησής του.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων πρωτοκόλλων είναι το IS - IS (Intermediate System to Intermediate System), το OSPF (Open Shortest Path First) και το NLSP (NetWare Link Services Protocol).

IS - IS (Intermediate System – Intermediate System): Το πρωτόκολλο αυτό ανήκει στην οικογένεια πρωτοκόλλων δρομολόγησης IP και είναι πρωτόκολλο εσωτερικής πύλης για το ίντερνετ (IGP) που χρησιμοποιείται για τη διανομή πληροφοριών δρομολόγησης IP μέσω ενός αυτόνομου συστήματος (AS) στο δίκτυο. Στο IS – IS οι δρομολογητές ανταλλάσσουν πληροφορίες τοπολογίας με τους κοντινότερους γειτονικούς τους, οι οποίες μεταδίδονται μέσω του AS έτσι ώστε κάθε δρομολογητής να έχει πλήρη εικόνα της τοπολογίας. Η εικόνα αυτή μετέπειτα χρησιμοποιείται για

τον υπολογισμό των διαδρομών με τη χρήση κάποιας παραλλαγής του αλγορίθμου Dijkstra. Συγκεκριμένα, κάθε δρομολογητής μεταδίδει πληροφορίες σχετικά με τη τοπική του κατάσταση (τις χρήσιμες διασυνδέσεις, τους προσβάσιμους γείτονες και το κόστος χρήσης της κάθε διεπαφής) στους άλλους δρομολογητές χρησιμοποιώντας ένα μήνυμα σύνδεσης - Link State PDU (LSP). Ο κάθε δρομολογητής που λαμβάνει το μήνυμα, το χρησιμοποιεί για να στήσει μία ολόιδια βάση δεδομένων που περιγράφει την τοπολογία του AS. Από αυτή τη βάση δεδομένων ο κάθε δρομολογητής υπολογίζει τον δικό του πίνακα δρομολόγησης χρησιμοποιώντας είτε τον αλγόριθμο Dijkstra είτε τον αλγόριθμό SPF (Shortest Path First). Αυτός ο πίνακας δρομολόγησης περιλαμβάνει όλους τους προορισμούς για τους οποίους γνωρίζει το πρωτόκολλο δρομολόγησης οι οποίοι σχετίζονται με την διεύθυνση του επόμενου κόμβου καθώς και με την εξερχόμενη διεπαφή. Το πρωτόκολλο αυτό επαναυπολογίζει τις διαδρομές όταν αλλάζει η τοπολογία του δικτύου, παρέχει υποστήριξη πολλαπλών διαδρομών με το ίδιο κόστος και επίσης προσφέρει δυνατότητα αυθεντικοποίησης έτσι ώστε μόνο οι πιστοποιημένοι δρομολογητές να έχουν τη δυνατότητα να συμμετάσχουν στις ανταλλαγές δρομολόγησης για το AS. Τέλος, προσφέρει μια ιεραρχία πολλαπλών επιπέδων που ονομάζεται δρομολόγηση περιοχής (Area Routing) όπου οι πληροφορίες τοπολογίας μιας προκαθορισμένης περιοχής δεν είναι ορατές από τους δρομολογητές που βρίσκονται εκτός αυτής της περιοχής. Αυτή η ιεραρχία επιτρέπει ένα επιπλέον επίπεδο προστασίας δρομολόγησης καθώς και μείωση της κίνησης.

OSPF (Open Shortest Path First): Το πρωτόκολλο αυτό βρίσκεται στη κατηγορία link - state protocols όπου όλοι οι δρομολογητές στον τομέα δρομολόγησης ανταλλάσσουν πληροφορίες και έτσι γνωρίζουν τη πλήρη τοπολογία του δικτύου. Επειδή ακριβώς κάθε δρομολογητής γνωρίζει αυτή την τοπολογία, το πρωτόκολλο αυτό δημιουργεί μια εξαιρετικά γρήγορη σύγκλιση.

Το OSPF αντικατέστησε σε μεγάλο βαθμό το πρωτόκολλο RIP στα εταιρικά δίκτυα. Είναι ουσιαστικά loop - free και διαθέτει ως μέγιστη τιμή hop αυτή των διαδρομών που έχουν την ίδια μετρική τιμή. Υποστηρίζει έλεγχο ταυτότητας με τη χρήση κωδικών και άλλων μεθόδων και επιπλέον συγκλίνει γρηγορότερα από τον RIP δεδομένου ότι οι ενημερώσεις δρομολόγησης αποστέλλονται αμέσως κάθε φορά και όχι περιοδικά. Επιπλέον, χρησιμοποιεί λιγότερο εύρος ζώνης εφόσον η μετάδοση λαμβάνει χώρα μόνο όταν συμβαίνουν αλλαγές δρομολόγησης. Υποστηρίζει τη λογική ομαδοποίηση των τμημάτων του δικτύου σε περιοχές και ανακοινώνει τις διαδρομές εκτός ενός αυτόνομου συστήματος μέσα σε ένα αυτόνομο σύστημα, με αποτέλεσμα να μπορεί να υπολογίσει τα κόστη για να προσεγγίσει τα εξωτερικά δίκτυα. Δεδομένου ότι το OSPF ανακοινώνει μάσκες διαδικτύου, υποστηρίζει CIDR, VLSM, Subnetting και μη συνεχή τμήματα δικτύου.

NLSP (NetWare Link Services Protocol): Το NLSP είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης για το Internetwork Packet Exchange, βασισμένο στο IS - IS πρωτόκολλο που αναπτύχθηκε από τον ISO. Επιτρέπει στους διακομιστές NetWare να ανταλλάσσουν πληροφορίες δρομολόγησης και εξυπηρέτησης χωρίς υψηλά έξοδα εκπομπής όπως παρατηρούνται στο πρωτόκολλο RIP. Αντί να αναμεταδίδει περιοδικά τις πληροφορίες κάθε λίγα λεπτά, το NLSP μεταδίδει κάθε δύο ώρες ή

όποτε υπάρχει αλλαγή σε μία διαδρομή ή υπηρεσία, καθιστώντας το πιο κατάλληλο για χρήση σε κάποιο δίκτυο ευρείας περιοχής. Οι δρομολογητές που χρησιμοποιούν αυτό το πρωτόκολλο, ανταλλάσσουν πληροφορίες σχετικά με τις δικτυακές συνδέσεις, το κόστος των διαδρομών, τους αριθμούς δικτύου IPX και τους τύπους των μέσων. Μέσω αυτών των πληροφοριών δημιουργούν τους πίνακες δρομολόγησης.

Το NLSP είναι αποτελεσματικό με διάφορους τρόπους. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε μια σύνδεση WAN επειδή η υποστήριξη της συμπίεσης κεφαλίδας IPX καθιστά δυνατή τη μείωση του μεγέθους των πακέτων. Το NLSP υποστηρίζει επίσης τη διευθυνσιοδότηση πολλαπλής διανομής έτσι ώστε οι πληροφορίες δρομολόγησης να αποστέλλονται μόνο σε άλλους δρομολογητές NLSP και όχι σε όλες τις συσκευές, όπως κάνει το RIP. Επιπλέον, το NLSP υποστηρίζει εξισορρόπηση φορτίου σε παράλληλες διαδρομές και βελτιώνει την ακεραιότητα σύνδεσης. Ελέγχει περιοδικά τους συνδέσμους για τη συνδεσιμότητα και την ακεραιότητα των δεδομένων των πληροφοριών δρομολόγησης. Εάν αποτύχει ένας σύνδεσμος, το NLSP μεταβαίνει σε έναν εναλλακτικό σύνδεσμο και ενημερώνει τις βάσεις δεδομένων τοπολογίας δικτύου που είναι αποθηκευμένες σε κάθε κόμβο όταν οι αλλαγές συνδεσιμότητας συμβαίνουν οπουδήποτε στην περιοχή δρομολόγησης. Όσον αφορά την δυνατότητα κλιμάκωσης, το NLSP μπορεί να υποστηρίζει μέχρι 127 hops (το RIP υποστηρίζει μόνο 15 hops) και επιτρέπει ιεραρχική διεύθυνση κόμβων δικτύου, η οποία επιτρέπει στα δίκτυα να περιέχουν χιλιάδες LAN και διακομιστές.

Τα Link State Routing Protocols όπως το IS - IS και το OSPF επιλέγουν έναν καθορισμένο δρομολογητή σε κάθε σύνδεση για να πραγματοποιήσουν flooding στις πληροφορίες της τοπολογίας. Στα MANETs όμως επικρατεί μια διαφορετική έννοια της σύνδεσης όπου τα πακέτα μπορούν να αποστέλλονται από την ίδια διεπαφή και επομένως απαιτείται διαφορετική προσέγγιση για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας flooding.

OLSR (Optimized Link State Routing Protocol): Το πρωτόκολλο OLSR (Optimized Link State Routing Protocol) σχεδιάστηκε για τα κινητά αδόμητα δίκτυα και χρησιμοποιεί μηνύματα Hello και TC (Topology Control) προκειμένου να ανακαλύψει και να μεταδώσει πληροφορίες κατάστασης σύνδεσης στα δίκτυα αυτής της κατηγορίας. Με τη χρήση των μηνυμάτων Hello ο κάθε κόμβος ανακαλύπτει πληροφορίες για αποστάσεις διαδρομών μέχρι δύο hops και διαλέγει ένα σύνολο από MPRs (MultiPle Relays). Τα MPRs είναι αυτά που καθιστούν το πρωτόκολλο OLSR μοναδικό σε σχέση με κάθε άλλο πρωτόκολλο της κατηγορίας link state. Συγκεκριμένα, ο σκοπός τους είναι να στέλνουν μηνύματα μεταξύ των κόμβων καθώς και να καθορίζουν την κατάλληλη διαδρομή από οποιαδήποτε πηγή προς οποιοδήποτε επιλεγμένο προορισμό. Η διαδρομή προώθησης για τα μηνύματα TC δεν μοιράζεται μεταξύ όλων των κόμβων αλλά εξαρτάται από την πηγή, δηλαδή μόνο το υποσύνολο των κόμβων που έχουν επιλεγθεί ως MPRs λαμβάνει πληροφορίες κατάστασης σύνδεσης και επιλεγμένης διαδρομής. Επομένως, η πηγή - κόμβος που λειτουργεί ως MPR δηλώνει τη κατάσταση σύνδεσης μόνο στους επιλεγμένους MPRs κόμβους με περιοδικό τρόπο στα μηνύματα ελέγχου.

OLSRv2: Η δεύτερη έκδοση του πρωτοκόλλου OLSR κυκλοφόρησε τον Απρίλιο του 2014 από τον IETF. Διαθέτει πολλά από τα βασικά χαρακτηριστικά του OLSR όπως είναι η επιλογή και η διάδοση του MPR. Οι βασικές διαφορές του με την αρχική έκδοση είναι η ευελιξία και ο αρθρωτός σχεδιασμός που χρησιμοποιούν τα κοινόχρηστα στοιχεία. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιεί για μορφοποίηση πακέτου το packetbb και για πρωτόκολλο ανακάλυψης γειτονιάς το NHDP, τα οποία σχεδιάστηκαν για να είναι κοινά για τα πρωτόκολλα επόμενης γενιάς που θα κυκλοφορήσει το IETF για τα MANETs. Μία ακόμα διαφορά της έκδοσης αυτής με την αρχική αφορά στον χειρισμό των πολλαπλών διευθύνσεων και των διεπαφών των ενεργοποιημένων κόμβων.

3.2.1.3. Διαφορές των DVRP και LSRP

Τα περισσότερα κλασικά πρωτόκολλα δρομολόγησης σήμερα εντάσσονται στην κατηγορία των Distance Vector Protocols. Τα κύρια μειονεκτήματα τέτοιων αλγορίθμων είναι η αντίστοιχη ποσότητα δεδομένων που απαιτούνται για τη συντήρηση και η αργή αντίδραση σχετικά με την αναδιάρθρωση και τις αποτυχίες, επομένως προτιμώνται για δίκτυα μικρής κλίμακας. Τα Link State Protocols είναι πιο επεκτάσιμα αλλά πιο περίπλοκα από τα Distance Vector Protocols και προτιμώνται κυρίως για μεγάλα δίκτυα. Συγκεκριμένα, σε αυτή τη κατηγορία οι δρομολογητές μοιράζονται πληροφορίες μεταξύ τους σχετικά με τη προσβασιμότητα άλλων δικτύων καθώς και διάφορες μετρήσεις που θα βοηθήσουν να καθοριστεί το καλύτερο μονοπάτι. Οι μετρήσεις αυτές όμως δεν αφορούν μόνο στον αριθμό των hops όπως συμβαίνει με τα Distance Vector Protocols αλλά και σε άλλους παράγοντες όπως είναι η ταχύτητα της σύνδεσης και η κυκλοφοριακή συμφόρηση, οι οποίοι καθορίζονται από τους σχεδιαστές του εκάστοτε δικτύου. Επίσης, στα Link State Protocols υπάρχει λιγότερη επιβάρυνση μετάδοσης και αντιδρούν πιο γρήγορα σε αλλαγές στη συνδεσιμότητα του δικτύου, αλλά απαιτούν πολύ περισσότερη μνήμη και επεξεργασία από τα Distance Vector Protocols. Τα Distance Vector Protocols είναι πιο απλά, απαιτούν μικρότερη διαχείριση και είναι όντως ιδιαίτερα αποτελεσματικά σε μικρά δίκτυα. Ωστόσο διαθέτουν κακές ιδιότητες σύγκλισης (διαδικασίες ενημέρωσης των πινάκων δρομολόγησης από τους δρομολογητές και μεταξύ τους συμφωνίας σχετικά με τις βέλτιστες διαδρομές προώθησης των πακέτων) και δεν κλιμακώνονται καλά. Σε σύγκριση με τα πρωτόκολλα της κατηγορίας link state όμως, προσφέρουν μικρότερη υπολογιστική πολυπλοκότητα και μικρότερη ανάγκη αριθμού αποστολής μηνυμάτων. Συνολικά, παρ' όλες τις διαφορές τους και τα δύο πρωτόκολλα είναι εξίσου αποτελεσματικά στις περισσότερες συνθήκες.

3.2.2. Κατά απαίτηση (Reactive) πρωτόκολλα δρομολόγησης

Τα reactive πρωτόκολλα ονομάζονται και on demand πρωτόκολλα. Στην δρομολόγηση κατ' απαίτηση οι διαδρομές για ένα συγκεκριμένο προορισμό υπολογίζονται μόνο αν είναι απαραίτητο. Η ανακάλυψη της διαδρομής ενεργοποιείται κάθε φορά που μία πηγή θέλει να στείλει δεδομένα για να εντοπίσει ένα κόμβο προορισμό. Η διαδρομή διατηρείται μέσω της διαδικασίας συντήρησης διαδρομής έως ότου να μην είναι πλέον απαραίτητη.

Με αυτό τον τρόπο, η υπερφόρτωση της επικοινωνίας μειώνεται και διατηρείται η ισχύς της μπαταρίας σε σύγκριση με τα proactive πρωτόκολλα. Δεν υπάρχει πίνακας δρομολόγησης για κάθε κόμβο. Για τη μετάδοση των δεδομένων σε κάποιο συγκεκριμένο κόμβο, η διαδικασία ανακάλυψης διαδρομής αρχίζει με τη μετάδοση σε όλους τους κόμβους που ψάχνουν τον κόμβο προορισμό. Όταν ο κόμβος προορισμός λάβει το μήνυμα, ανταποκρίνεται στο αίτημα να σχεδιάσει διαδρομή στον κόμβο πηγή. Η διαδικασία έχει ολοκληρωθεί μόλις βρεθεί μια διαδρομή ή μόλις έχουν εξεταστεί όλες οι πιθανές παραλλαγές διαδρομής. Μόλις καθοριστεί μια διαδρομή, συντηρείται μέσω της διαδικασίας συντήρησης διαδρομής είτε μέχρι να γίνει απρόσιτος ο προορισμός από την πηγή από οποιαδήποτε διαδρομή, είτε μέχρι η διαδρομή να μην είναι πλέον επιθυμητή.

Ένα δίκτυο που χρησιμοποιεί τέτοιο πρωτόκολλο δεν θα χρησιμοποιεί σωστές πληροφορίες δρομολόγησης για όλους τους κόμβους και συνεχώς. Ως εναλλακτική λύση, μια τέτοια πληροφορία λαμβάνεται κατ' απαίτηση. Αν ένας κόμβος θελήσει να μεταδώσει ένα μήνυμα και δεν διαθέτει επαρκείς πληροφορίες δρομολόγησης για να το στείλει στον προορισμό, οι πληροφορίες αυτές πρέπει να αποκτηθούν. Τυπικά, ο κάθε κόμβος θέλει τουλάχιστον να προσδιορίσει το επόμενο βήμα (μεταξύ των γειτόνων του) για το πακέτο. Αν και ο κόμβος θα μπορούσε απλά να μεταδώσει το πακέτο σε όλους τους γειτονικούς κόμβους, αυτό θα οδηγούσε σε μεγάλη συμφόρηση σε πολλές περιπτώσεις. Ωστόσο, τέτοιες εκπομπές χρησιμοποιούνται συνήθως μόνο στη διαδικασία ανακάλυψης διαδρομής δεδομένου ότι δεν υπάρχει καμιά πληροφορία για το επόμενο βήμα.

Το πλεονέκτημα αυτών των πρωτοκόλλων βρίσκεται στο γεγονός ότι το ασύρματο κανάλι δεν απαιτεί να μεταφέρει μεγάλο αριθμό πληροφοριών υπερφόρτωσης δρομολόγησης οι οποίες δεν χρησιμοποιούνται πλέον. Βέβαια, αυτό το πλεονέκτημα μπορεί να μειωθεί σε ορισμένα σενάρια όπου υπάρχει μεγάλη κίνηση σε ένα ευρύ φάσμα κόμβων. Επιπλέον, αυτά τα σενάρια έχουν μεγάλη επίδραση στην απόδοση του δικτύου. Στη περίπτωση όπου υπάρχουν μεγάλα ποσά κίνησης σε αρκετούς κόμβους, η κίνηση στη ρύθμιση της διαδρομής μπορεί να αυξηθεί περισσότερο από το σταθερό υπόβαθρο της κίνησης προκειμένου να διατηρεί τις σωστές πληροφορίες δρομολόγησης σε κάθε κόμβο. Επίσης, αν υπάρχει επαρκής χωρητικότητα, η συμπαγής απόδοση (αυξημένη υπερφόρτωση) ίσως δεν επηρεάσει άλλες μεθόδους απόδοσης όπως είναι η ρυθμοαπόδοση (throughput) ή η καθυστέρηση.

Αυτά τα πρωτόκολλα προσπαθούν να μειώσουν την υπερφόρτωση που συναντήσαμε στα ενεργά πρωτόκολλα, μειώνοντας τον αριθμό των περιοδικών πακέτων αναβάθμισης που στέλνονται στο δίκτυο και υπολογίζοντας τις διαδρομές μόνο εφόσον είναι απαραίτητο. Ο κύριος περιορισμός των πρωτοκόλλων αυτών είναι η αρχική καθυστέρηση που εισάγουν, η οποία αποτελεί έναν περιορισμό για τις διαδραστικές συσκευές που πρέπει να διασφαλίσουν την ποιότητα των υπηρεσιών (π.χ. ο ήχος και τα διαδραστικά βίντεο).

DSR (Dynamic Source Routing): Είναι ένας απλός αλγόριθμος βασισμένος στην έννοια της δρομολόγησης πηγής. Συγκεκριμένα, οι κόμβοι της πηγής καθορίζουν τις πηγές δυναμικά και μόνο εφόσον χρειάζεται. Δίνει τη δυνατότητα στον αποστολέα να

καθορίσει τη διαδρομή που θα ακολουθήσει το πακέτο μέχρι τον προορισμό. Οι κόμβοι διατηρούν κρυφή μνήμη, της οποίας η είσοδος περιλαμβάνει τον προορισμό και τη λίστα των κόμβων από τους οποίους θα πάρουν αυτούς τους προορισμούς. Αυτές οι εισοδοί ενημερώνονται καθώς μαθαίνουν νέες διαδρομές.

Στον αλγόριθμο DSR, υπάρχουν δύο βασικοί μηχανισμοί που συνεργάζονται για να επιτρέψουν την ανακάλυψη και τη διατήρηση των διαδρομών και αυτοί είναι η Ανακάλυψη Διαδρομής (Route Discovery) και η Συντήρηση Διαδρομής (Route Maintenance). Στον πρώτο μηχανισμό, ο κόμβος - πηγή αποκτά έναν προορισμό σε κάποιον άλλο κόμβο, αλλά αυτό συμβαίνει μόνο όταν ο κόμβος - πηγή επιχειρεί να στείλει ένα πακέτο στον κόμβο που επιθυμεί αλλά δεν ξέρει τι διαδρομή να ακολουθήσει. Στον δεύτερο μηχανισμό, ο κόμβος - πηγή μπορεί να αντιληφθεί αν έχει αλλάξει η τοπολογία του δικτύου και να μην χρησιμοποιήσει πλέον τη διαδρομή που είχε για κάποιον συγκεκριμένο κόμβο. Στην περίπτωση που γνωρίζει κάποια άλλη διαδρομή για τον κόμβο - προορισμό, θα την χρησιμοποιήσει. Αυτός ο μηχανισμός, όπως και ο προηγούμενος, θα μπει σε λειτουργία μόνο εφόσον ο ένας κόμβος θέλει να στείλει ένα πακέτο σε κάποιον άλλο κόμβο. Αν υπάρχει έγκυρη καταχώρηση για τον προορισμό ο κόμβος στέλνει το πακέτο χρησιμοποιώντας αυτή τη διαδρομή, αλλιώς ο κόμβος - πηγή κινεί τη διαδικασία ανακάλυψης διαδρομής.

Το DSR δεν χρησιμοποιεί περιοδικά μηνύματα και αυτός είναι ο λόγος που μειώνει την υψηλή απόδοση του εύρους ζώνης και διατηρεί την μπαταρία των συσκευών. Αυτά τα μηνύματα χρησιμοποιούνται μόνο όταν είναι απαραίτητο. Το DSR επίσης μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί σε αλλαγές. Παρόλα αυτά, όταν αποθηκεύει μία μονή διαδρομή το δίκτυο μπορεί να υπερφορτωθεί όταν η κινητικότητα είναι υψηλή. Στη λειτουργία Super Restrictive (SR) - που είναι βασισμένη στο DSR αλλά με κάποιες βελτιστοποιήσεις - προστίθεται μια λίστα για να αποθηκεύσει αρκετές διαδρομές στον ίδιο κόμβο. Το πρόβλημα που θα μπορούσε να προκύψει εδώ είναι ότι ο κατάλογος αποθήκευσης είναι τόσο μεγάλος που θα οδηγούσε πέρα από την αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας, στην αύξηση του χρόνου της διαδικασίας σε κάθε κόμβο.

AODV (Ad Hoc On - Demand Distance Vector): Αποτελεί εξέλιξη του DSDV και ένα απλό, αποτελεσματικό και αποδοτικό πρωτόκολλο δρομολόγησης για τα MANETs. Εισάγει την έννοια της δρομολόγησης κατ' απαίτηση, δηλαδή κρατάει πληροφορία μόνο από αυτούς τους κόμβους που συμμετέχουν στη μετάδοση των δεδομένων. Ο αλγόριθμος βεβαιώνεται ότι οι κόμβοι που δεν είναι στην ενεργή διαδρομή δεν διατηρούν πληροφορία για τη διαδρομή αυτή. Επίσης διατηρεί τις διαδρομές ελεύθερες από βρόχους ακόμα και όταν αλλάζουν οι συνδέσεις στους ενεργούς δρομολογητές. Η ανακάλυψη της διαδρομής επιτυγχάνεται με ένα μήνυμα που εκπέμπεται από την πηγή (αίτηση διαδρομής RREQ). Όταν αυτό το πακέτο φτάσει είτε στον προορισμό του είτε σε κάποιον ενδιάμεσο κόμβο που έχει ενεργή διαδρομή για τον προορισμό, ένα νέο μήνυμα (απάντηση διαδρομής RREP) επιστρέφει πίσω στην πηγή. Επίσης, οι ενδιάμεσοι κόμβοι ενημερώνουν τους πίνακες δρομολόγησής τους ενώ ταξιδεύουν πίσω στην πηγή. Με αυτό τον τρόπο ο χρόνος της διαδικασίας, η χρήση της μνήμης και ο έλεγχος της κυκλοφορίας μειώνονται. Αυτό το πρωτόκολλο λειτουργεί αρκετά καλά όταν η κινητικότητα δεν είναι αρκετά

υψηλή. Κάποια μειονεκτήματα του AODV είναι ότι ο αλγόριθμος απαιτεί οι κόμβοι στο ενδιάμεσο μέσο να μπορούν να ανιχνεύσουν ο ένας τις εκπομπές του άλλου. Κατά τον ίδιο τρόπο, θα μπορούσε να προκύψει overhead στο εύρος ζώνης όταν ένα μήνυμα RREQ ταξιδέψει από τον ένα κόμβο στον άλλο στη διαδικασία ανακάλυψης των πληροφοριών της διαδρομής.

Οι ανενεργοί αλγόριθμοι όπως είναι ο AODV, δημιουργούν διαδρομές κατά παραγγελία αλλά πρέπει να μειώσουν όσο το δυνατόν περισσότερο τον χρόνο απόκρισης. Με τη χρήση τους μπορεί να εξαλειφθεί σε μεγάλο βαθμό η ανάγκη μετάδοσης περιοδικών εκπομπών στο σύστημα. Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιεί συμμετρικούς δεσμούς μεταξύ των γειτονικών κόμβων. Δεν επιχειρεί να ακολουθήσει διαδρομές μεταξύ δύο κόμβων όπου ο ένας από αυτούς δεν μπορεί να ακούσει τον άλλον. Οι ανενεργοί κόμβοι, δηλαδή αυτοί που δεν έχουν συμμετάσχει σε καμία ανταλλαγή πακέτων μέχρι τώρα, δεν περιέχουν πληροφορίες δρομολόγησης. Οι κόμβοι δεν συμμετέχουν σε καμία περιοδική αλλαγή πινάκων δρομολόγησης. Κάθε κόμβος μπορεί να αντιληφθεί τους γειτονικούς του κόμβους χρησιμοποιώντας εκπομπές μετάδοσης γνωστές ως μηνύματα «hello» (hello messages).

Οι γειτονικοί πίνακες δρομολόγησης οργανώνονται με στόχο:

- Την βελτιστοποίηση του χρόνου απόκρισης στις τοπικές κινήσεις που πραγματοποιούνται από τους κόμβους.
- Τον γρήγορο χρόνο απόκρισης στα αιτήματα που πραγματοποιούνται για νέα δρομολόγια.

MAODV (Multicast AODV): Το πρωτόκολλο AODV θεωρείται από πολλούς ερευνητές ως το πιο δημοφιλές πρωτόκολλο δρομολόγησης για MANETs, γεγονός που έχει οδηγήσει σε πολλές αλλαγές και βελτιώσεις με στόχο τη βελτίωση πολλών προβλημάτων που προκύπτουν στα κινητά αδόμητα δίκτυα.

Ένα τέτοιο πρόβλημα είναι η έλλειψη υποστήριξης multicast στα δίκτυα αυτά, μιας λειτουργίας που είναι πολύ χρήσιμη για την δυνατότητα επικοινωνίας με πολλαπλούς κόμβους και για την μείωση του control traffic overhead. Αυτή η υποστήριξη προστέθηκε στο πρωτόκολλο AODV, οδηγώντας στο πρωτόκολλο MAODV.

Το πρωτόκολλο αυτό μοιράζεται την ίδια αρχιτεκτονική με το AODV με κάποιες μόνο μετατροπές καθώς και την προσθήκη της ενεργοποίησης πολυεκπομπής (Multicast activation – MACT) και των ομαδικών μηνυμάτων Hello (Group Hello messages - GRPH).

Ο κάθε κόμβος μεταδίδει μηνύματα RREQ στο δίκτυο που τώρα υποστηρίζουν IP διευθυνσιοδότηση πολλαπλών προορισμών, και η κάθε μία από τις διευθύνσεις θα απαντήσει με πακέτα RREP όπως ακριβώς συνέβαινε και με το πρωτόκολλο AODV. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι μόλις ληφθεί το RREP πακέτο, η πηγή θα στείλει ένα MACT στον κόμβο προορισμού που θα ενεργοποιήσει μία διαδρομή πολυεκπομπής. Τα πολλαπλά μονοπάτια προστίθενται σε ένα δέντρο παράδοσης πολλαπλών εκπομπών που είναι αποθηκευμένο στη πηγή. Το δέντρο αυτό καταγράφει όλους τις multicast προορισμούς και επιτρέπει στον κόμβο να ενημερωθεί για αυτούς τους προορισμούς από το ίδιο το δέντρο χωρίς να μεταδώσει κάποιο RREQ μήνυμα.

Ο πρώτος κόμβος που θα συμμετάσχει στην multicast ομάδα θα γίνει ο αρχηγός της και θα είναι υπεύθυνος για την διατήρηση της ομάδας μέσω της μετάδοσης μηνυμάτων GRP. Τα μηνύματα αυτά αποθηκεύουν τις διευθύνσεις IP των ηγετών και επίσης χρησιμοποιούνται για να συγχρονίσουν την multicast ομάδα με τη χρήση αυξόντων αριθμών ακολουθίας. Αν ένας κόμβος αποσυνδεθεί από την ομάδα, έχει τη δυνατότητα να επανασυνδεθεί χρησιμοποιώντας τη διεύθυνση IP του αρχηγού πριν σχηματίσει νέο δέντρο, γεγονός το οποίο μειώνει σημαντικά το routing overhead.

TORA (Temporary Ordered Routing Algorithm): Είναι ένα προσαρμοστικό πρωτόκολλο δρομολόγησης χωρίς βρόχους που συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των πρωτοκόλλων proactive και reactive και βασίζεται στην έννοια της αντίστροφης σύνδεσης. Αρχικά, η δρομολόγηση αρχίζει με proactive διαδρομές και μετά οι δρομολογητές ζητάνε επιπλέον δρομολόγια από τους κόμβους μέσω του reactive flooding. Ο σκοπός είναι να ελαχιστοποιηθεί το φορτίο του δικτύου και αυτό επιτυγχάνεται με την αποσύνδεση της δημιουργίας δυνητικά μεγάλων μηνυμάτων ελέγχου εξαιτίας του ρυθμού των τοπολογικών αλλαγών.

Το πρωτόκολλο γενικά βασίζεται στην αδυναμία του δικτύου να διατηρεί πάντα την πιο σύντομη διαδρομή. Για κάθε πιθανή διαδρομή προς ένα κόμβο, διατηρεί τη διαδρομή βασισμένο σε μια μέτρηση που λέγεται βάρος. Σε αυτό το πρωτόκολλο, κάθε κόμβος διατηρεί πληροφορίες μονάχα για τον γειτονικό του κόμβο. Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα ύπαρξης πολλαπλών διαδρομών προς των προορισμό χωρίς την απαίτηση επιπλέον λειτουργιών. Σε περίπτωση αποτυχίας δρομολόγησης το σφάλμα διορθώνεται τοπικά. Στα πολύ πειστικά σενάρια υπάρχει η πιθανότητα ύπαρξης απεριόριστου χρόνου σύγκλισης. Σε περιπτώσεις διάσπασης του δικτύου το πρωτόκολλο μπορεί να ανιχνεύσει και να διαγράψει όλες τις πλέον μη έγκυρες διαδρομές.

Στα μειονεκτήματα, αυτό το πρωτόκολλο έχει υψηλή κατανάλωση ενέργειας σε αντίθεση με άλλα πρωτόκολλα αυτού του τύπου. Το κύριο πλεονέκτημά του είναι ότι εξαρτάται από την ποσότητα των ενεργοποιημένων κόμβων, όπου η αντίδραση στην κίνηση της κυκλοφορίας εξαρτάται από τον όγκο της.

LG (Lee Gerla): Ένα ακόμα πρωτόκολλο βασισμένο στο DSR είναι το Lee Gerla. Σε αυτό το πρωτόκολλο, ο βαθμός των ασυνεχών διαδρομών αναλύεται καθώς οι διαδρομές αυτές βρίσκονται στη διαδικασία της ανακάλυψής τους. Επιτρέπει δύο πακέτα που έχουν φτάσει σε έναν ενδιάμεσο κόμβο να μεταδοθούν μέχρι το τέλος της διαδρομής. Με αυτό τον τρόπο, μπορούμε να ανακαλύψουμε ασυνεχείς διαδρομές για κάποιο συγκεκριμένο προορισμό. Παρόλα αυτά, διερευνήθηκε ότι η LG λειτουργεί χειρότερα από το πρωτόκολλο DSR..

RLG: Το RLG είναι τροποποίηση του LG. Στο συγκεκριμένο πρωτόκολλο διακόπτεται η διάδοση μίας διαδρομής όταν ανιχνευτεί ότι το τελευταίο λαμβανόμενο πακέτο προήλθε από την ίδια πηγή με το προηγούμενο. Γενικά το RLG εισάγει πολύ μεγάλη υπερφόρτωση χωρίς να προσφέρει τρομερά οφέλη.

ADSR (Abbreviated Dynamic Source Routing): Το ADSR χρησιμοποιεί τη χρονική ενημέρωση των κόμβων για να υπολογίσει την καταλληλότητα των υποψήφιων μονοπατιών. Οι διαδρομές επιλέγονται με βάση την σχετική σταθερότητα των ενδιάμεσων κόμβων, η οποία βασίζεται στην κατά μέσο όρο συνδεσιμότητα και

κινητικότητα των κόμβων, στην υπολειπόμενη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, στη σταθερότητα του σήματος, στο ποσοστό πληρότητας, στη χωρητικότητα αποθήκευσης, στην επεξεργαστική ισχύ κ.τ.λ. Ουσιαστικά επιχειρεί να λύσει το πρόβλημα του πρωτοκόλλου TCP για τα MANETs.

Αυτό το πρωτόκολλο όμως δεν λειτουργεί καλά στα ασύρματα δίκτυα λόγω του υψηλού ποσοστού εύρεσης σφαλμάτων. Αν η εκ νέου ανακάλυψη της διαδρομής απαιτεί περισσότερο χρόνο από το «τέλος χρόνου επαναμεταβίβασης» (Retransfer Time Over - RTO), η αναμεταβίβαση του πακέτου έχει αναπτυχθεί και το RTO θα μειωθεί εκθετικά, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει κορεσμό στα δίκτυα. Για να αποφευχθεί αυτό χρησιμοποιούνται βοηθητικοί κόμβοι, οι οποίοι αναλαμβάνουν την αναβάθμιση των διαδρομών μέσω της χρήσης ενεργών πακέτων. Αυτό το πρωτόκολλο βελτιώνει τη συμμόρφωση για τη κυκλοφορία TCP, ωστόσο χρειάζεται τη χρήση ενός βοηθητικού κόμβου. Το ADSR προσφέρει ένα καλό ποσοστό παράδοσης πακέτων και μία κανονικοποιημένη κυκλοφορία δρομολόγησης με μειωμένο overhead.

AQOR (Ad Hoc QoS On - Demand Routing Protocol): Το πρωτόκολλο αυτό προσφέρει την παροχή υποστήριξης ποιότητας παροχής υπηρεσιών (QoS) όσο αφορά στο εύρος ζώνης και στις καθυστερήσεις από άκρη σε άκρη στα MANETs. Είναι ένα σύστημα δρομολόγησης και σηματοδότησης βασισμένο σε κρατήσεις στους πόρους και επιτρέπει τη λήψη αποφάσεων αποδοχής και διατήρησης των πόρων. Το AQOR ενσωματώνει την αναζήτηση της διαδρομής, όταν αυτό απαιτείται, μεταξύ της πηγής και του προορισμού, τις ρυθμίσεις στην σηματοδότηση, στη διατήρηση και στη κράτηση σε πόρους καθώς και την δρομολόγηση με άλματα. Έχει δημιουργηθεί βάσει της δρομολόγησης AODV, κάνοντας εξερεύνηση των διαδρομών μόνο όταν αυτό χρειάζεται. Ο μηχανισμός εύρεσης της διαδρομής γίνεται όταν αυτό απαιτείται, διαβιβάζοντας τα RREQ και RREP πακέτα μεταξύ των κόμβων πηγών και των κόμβων προορισμών. Ο μηχανισμός αναζήτησης της διαδρομής ξεκινάει όταν ο κόμβος μεταδίδει RREQ πακέτα με απαιτήσεις QoS στους γειτονικούς κόμβους. Οι γειτονικοί κόμβοι που πληρούν τα κριτήρια προσθέτουν μια καταχώρηση διαδρομής στον πίνακα δρομολόγησης του κόμβου προέλευσης και προωθούν τα RREQ πακέτα μέχρι αυτά να φτάσουν στον προορισμό τους. Αμέσως μετά αποστέλλεται ένα πακέτο RREP πίσω κατά μήκος της αντίστροφης διαδρομής, διατηρώντας το εύρος ζώνης σε κάθε κόμβο.

Το AQOR χρησιμοποιεί χρονοδιακόπτες για να εντοπίσει τις διαδρομές που έχουν σπάσει και να ενεργοποιήσει τη διαδικασία ανάκτησης διαδρομής. Αν ένας κόμβος λάβει ένα πακέτο δεδομένων προτού λήξει η κράτησή του, ενεργοποιείται αυτή η διαδικασία ανάκτησης διαδρομής, όπου ο κόμβος πηγή ξεκινάει ξανά τη διαδικασία ανακάλυψης διαδρομής μεταδίδοντας ξανά ένα πακέτο RREQ. Αυτή όμως η επανάληψη της διαδικασίας κάθε φορά που κάποια διαδρομή παύει να υφίσταται, δημιουργεί μεγάλες καθυστερήσεις στη μετάδοση και λήψη των πακέτων.

Το πρωτόκολλο QoS MMT (QoS Multi – Mesh Tree) που σχεδιάστηκε ειδικά για το AQOR, επιτρέπει σε κάθε κόμβο να έχει προβεί εκ των προτέρων σε ανακάλυψη πολλαπλών διαδρομών, όπου ορίζεται μία διαδρομή ως κύρια και οι υπόλοιπες ως δευτερεύουσες. Σε περίπτωση που αποτύχει η κύρια διαδρομή, κάποια από τις

δευτερεύουσες διαδρομές θα οριστεί ως κύρια. Αυτή η παροχή οδηγεί σε γρήγορη ανάκτηση διαδρομής και χαμηλές καθυστερήσεις.

Τέλος, το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιεί τους πίνακες δρομολόγησης προκειμένου να αποθηκεύει τις διαθέσιμες διαδρομές. Κάθε φορά που αποτυγχάνει μια διαδρομή, το AQOR πρέπει να ενημερώσει τις καταχωρήσεις στον πίνακα δρομολόγησης του, γεγονός που μερικές φορές μπορεί να οδηγήσει σε ασυνεπείς καταχωρήσεις λόγω της υψηλής δυναμικής φύσης της τοπολογίας του δικτύου.

ESAODV (Extra Secure Ad Hoc On - Demand Vector): Στα πρωτόκολλα που προσφέρουν ασφάλεια στη δρομολόγηση μπορεί να βρεθεί το SAODV το οποίο είναι βασισμένο στο πρωτόκολλο AODV. Προσθέτει τα μέσα για απόκτηση ελέγχου ταυτότητας, ακεραιότητας και μη αποκήρυξης των πακέτων ελέγχου δρομολόγησης με τη χρήση ασύμμετρης κρυπτογραφίας και αλυσίδων κατακερματισμού. Παρόλα αυτά, είναι ευάλωτο σε επιθέσεις από κακόβουλους κόμβους που θα θελήσουν να προωθήσουν τα πακέτα μέσω των ίδιων. Για να το πετύχουν αυτό, αυτοί οι κόμβοι θα κάνουν τους άλλους να πιστέψουν ότι η διαδρομή μέσα από αυτούς είναι η πιο σύντομη.

ARIADNE: Το πρωτόκολλο αυτό είναι βασισμένο στο DSR και στη χρήση του TESLA για τον έλεγχο ταυτότητας. Χρησιμοποιεί βασική συμμετρική κρυπτογραφία και αλυσίδες κατακερματισμού για να προσφέρει ασφάλεια στη διαδρομή και στα μηνύματα λάθους. Ένας μετρητής χρόνου χρησιμοποιείται για την αποφυγή των βρόγχων. Παρόλα αυτά, όταν αναμεταδοθεί το πακέτο, εισάγει επίσης πρόσθετες πληροφορίες που μπορεί να προκαλέσουν υπερφόρτωση του δικτύου χωρίς πρόσθετη πληροφόρηση.

SEAD: (Secure Efficient Ad Hoc Distance Vector): Το SEAD αποτελεί τροποποίηση του αλγορίθμου DSDV. Χρησιμοποιεί αλυσίδες κατακερματισμού για να παρέχει ασφάλεια στη διαδρομή αλλά και μετρητές για την αποφυγή βρόγχων. Παρόλα αυτά, η ύπαρξη ενός μυστικού υποτίθεται ότι πρέπει να μοιραστεί με σκοπό την πιστοποίηση της πηγής του κάθε μηνύματος.

ARAN (Authenticated Routing for Ad Hoc Networks): Το ARAN θεσπίζει τον έλεγχο της ταυτότητας και την ακεραιότητα του μηνύματος. Βασίζεται στην ύπαρξη ενός δημόσιου κλειδιού από έναν έμπειρο διακομιστή κλειδιών ανά κόμβο. Επιπλέον, κάθε ενδιάμεσος κόμβος θα επικυρώσει και θα υπογράψει τα μηνύματα που λαμβάνει, γεγονός που προκαλεί υψηλή κατανάλωση των μπαταριών των συσκευών κατά την επεξεργασία αυτών των κρυπτογραφικών λειτουργιών, καθώς και την δημιουργία μερικών σημαντικών καθυστερήσεων.

MAODDP (Mobile Ad Hoc On - Demand Data Delivery Protocol): Το MAODRP βασίζεται στην δημιουργία διαδρομών και στην ταυτόχρονη μετάδοση δεδομένων. Για τη θέσπιση της ασφάλειας, απαιτείται η χρήση ενός διακομιστή πιστοποίησης εμπιστοσύνης όπου το δημόσιο κλειδί του είναι γνωστό από όλους τους κόμβους. Κάθε κόμβος έχει ένα πιστοποιητικό με καθορισμένη διάρκεια ζωής. Σε κάθε δρομολόγηση, οι ενδιάμεσοι κόμβοι θα εξαγάγουν και θα ελέγχουν το πιστοποιητικό του προηγούμενου κόμβου και θα προσκολλούν το δικό τους πιστοποιητικό. Αυτό μπορεί να προκαλέσει καθυστερήσεις στην επικοινωνία αλλά και μεγάλη κατανάλωση των μπαταριών των συσκευών.

SRP (Secure Routing Protocol): Το πρωτόκολλο αυτό βασίζεται στην συμμετρική κρυπτογραφία και δεν εγείρει απαιτήσεις για τον κάθε ενδιαμέσο κόμβο να μεταφέρει οποιαδήποτε λειτουργία κρυπτογράφησης έτσι ώστε να μην υπερφορτώνει τους ενδιαμέσους κόμβους. Το SRP μπορεί εύκολα να προστεθεί σε έναν μεγάλο αριθμό πρωτοκόλλων. Περιλαμβάνει πλεόνασμα διαδρομών, γεγονός που επιτρέπει την εξασφάλιση της επικοινωνίας μεταξύ του προορισμού και της πηγής σε περίπτωση που αποτύχουν όλες οι διαδρομές. Παρόλα αυτά, αν το πλεόνασμα είναι υψηλό η κίνηση στο δίκτυο μπορεί να αυξηθεί υπερβολικά (14) (15) (16).

3.2.3. Υβριδικά πρωτόκολλα δρομολόγησης (HRP)

Τα υβριδικά πρωτόκολλα συνδυάζουν τις ιδιότητες των δύο πρώτων πρωτοκόλλων, ώστε να δημιουργηθούν εύκαμπτα πρωτόκολλα δρομολόγησης με παραμέτρους που προσαρμόζονται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών και περιβαλλόντων. Τα πρωτόκολλα αυτά αναζητούν την ισορροπία μεταξύ των ενεργών και των κατ' απαίτηση πρωτοκόλλων.

Τα βασικά χαρακτηριστικά τους είναι ότι απαιτούν λιγότερη μνήμη και επεξεργαστική ισχύ από τα Link State Routing Protocols καθώς και ότι εξυπηρετούν τους ενεργοποιημένους κόμβους μέσω του reactive flooding.

Κάποια χαρακτηριστικά υβριδικά πρωτοκόλλα δρομολόγησης είναι τα ακόλουθα:

ZRP (Zone Routing Protocol): Το ZRP ήταν το πρώτο υβριδικό πρωτόκολλο δρομολόγησης με χαρακτηριστικά τόσο από τα reactive όσο και από τα proactive πρωτόκολλα. Εάν ο προορισμός ενός πακέτου βρίσκεται στην ίδια ζώνη με την προέλευσή του, τότε χρησιμοποιείται το proactive πρωτόκολλο IARP (Intra Zone Routing Protocol) όπου με τον ήδη αποθηκευμένο πίνακα δρομολόγησης, στέλνει το πακέτο στον προορισμό του. Με αυτή τη μέθοδο εξαλείφονται οι καθυστερήσεις δρομολόγησης μέσα στη ζώνη. Αν τώρα η διαδρομή εκτείνεται έξω από τη ζώνη προέλευσης του πακέτου, αναλαμβάνει το reactive πρωτόκολλο IERP (Inter Zone Routing Protocol) που ελέγχει κάθε διαδοχική ζώνη της διαδρομής προκειμένου να διαπιστώσει αν ο προορισμός βρίσκεται μέσα σε εκείνη τη ζώνη. Μόλις επιβεβαιωθεί ότι η ζώνη περιέχει τον κόμβο προορισμού, χρησιμοποιείται το proactive πρωτόκολλο ή ένας αποθηκευμένος πίνακας διαδρομής. Με αυτό τον τρόπο μειώνεται ο έλεγχος του overhead για τις μεγαλύτερες διαδρομές.

FSR (Fisheye State Protocol): Αυτό το proactive ad hoc πρωτόκολλο δρομολόγησης διαθέτει μηχανισμούς που βασίζονται στα Link State Protocols και χρησιμοποιούνται στα ενσύρματα δίκτυα. Ουσιαστικά, μειώνει το overhead της αναβάθμισης δρομολόγησης στα δίκτυα μεγάλης κλίμακας χρησιμοποιώντας τη τεχνική fisheye. Η τεχνική αυτή δίνει τη δυνατότητα στους κόμβους να διατηρούν ακριβείς πληροφορίες για τους γειτονικούς κόμβους και όχι τόσο ακριβείς πληροφορίες για τους πιο μακρινούς. Το πρωτόκολλο αυτό ελαχιστοποιεί το καταναλωμένο εύρος ζώνης καθώς και το μέγεθος των μηνυμάτων των πληροφοριών τοπολογίας, καθώς δεν περιέχονται τα δεδομένα για τους μη γειτονικούς κόμβους. Το FSR είναι ιδανικό για MANETs μεγάλης κλίμακας διότι ελέγχεται το overhead και διότι υποστηρίζει υψηλά επίπεδα κινητικότητας.

FZRP (Fisheye Zone Routing Protocol): Το πρωτόκολλο FZRP συνδυάζει το πρωτόκολλο δρομολόγησης ζώνης με τη τεχνική fisheye. Δημιουργείται μια ζώνη δρομολόγησης πολλαπλών επιπέδων τα οποία συσχετίζονται με διαφορετικούς ρυθμούς ενημέρωσης της κατάστασης σύνδεσης. Ο κόμβος πηγή δημιουργεί ένα πακέτο RREQ που μεταδίδεται στους κόμβους μέχρι να φτάσει στον κόμβο προορισμό και προωθείται κατά μήκος των ορίων της ζώνης. Οι κόμβοι στην περιφέρεια προωθούν το πακέτο σε διαφορετική ζώνη αν ο κόμβος προορισμός δεν βρίσκεται στη δική τους ζώνη. Επιπλέον, χρησιμοποιείται ένα πεδίο TTL μέσα στα πακέτα προκειμένου να καλυφθεί η ζώνη στην οποία προωθούνται τα πακέτα ενημέρωσης. Ο πίνακας δρομολόγησης κάθε κόμβου περιλαμβάνει καταχωρήσεις για τους κόμβους μέσα στη δική του ζώνη αλλά και για τους κόμβους στην εκτεταμένη ζώνη δηλαδή αυτή που βρίσκεται μετά την inner ζώνη. Οι καταχωρήσεις αυτές όμως δεν είναι πολύ ακριβείς διότι οι συχνότητες ενημέρωσης είναι διαφορετικές σε κάθε ζώνη.

LANMAR (Landmark Ad Hoc Routing): Το LANMAR δημιουργεί υποδίκτυα ομάδων κόμβων τα οποία είναι πιθανόν να κινηθούν μαζί. Κάθε φορά ορίζεται ένας κόμβος (landmark node) και ο πίνακας δρομολόγησης αποτελείται μόνο από τους κόμβους που βρίσκονται εντός του εύρους του εκάστοτε landmark κόμβου. Κατά τη διάρκεια της προώθησης ενός πακέτου, ελέγχεται αν ο προορισμός βρίσκεται στο εύρος του κόμβου προώθησης. Εάν αυτό ισχύει το πακέτο προωθείται ενώ σε αντίθετη περίπτωση στέλνεται στον κοντινότερο landmark κόμβο που βρίσκεται πιο κοντά στον κόμβο προορισμό. Κατά τη διαδικασία ενημέρωσης κατάστασης της σύνδεσης, οι κόμβοι ανταλλάσσουν ενημερώσεις τοπολογίας με τους ακριβώς διπλανούς τους κόμβους. Ορίζεται ένα διάστημα απόστασης το οποίο υπολογίζεται με βάση των αριθμό των landmark κόμβων και το οποίο προστίθεται σε κάθε πακέτο ενημέρωσης. Ως αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας, οι πίνακες δρομολόγησης με μικρότερες καταχωρήσεις αριθμών ακολουθίας αντικαθίστανται με μεγαλύτερες.

SLURP (Scalable Location Update Based Routing Protocol): Το SLURP αναπτύσσει μια κλιμακωτή αρχιτεκτονική για δίκτυα μεγάλης κλίμακας. Ένας μηχανισμός ενημέρωσης θέσης διατηρεί πληροφορίες ενημέρωσης τοποθεσίας όλων των κόμβων, μέσω της χαρτογράφησης αναγνωριστικών κόμβων σε συγκεκριμένες γεωγραφικές υποπεριοχές του δικτύου. Οποιοσδήποτε κόμβος σε αυτή την περιοχή είναι υπεύθυνος για την αποθήκευση των τρεχόντων πληροφοριών όλων των κόμβων στην ίδια περιοχή. Κατά τη διαδικασία προώθησης ενός πακέτου, ο κόμβος αποστολέας χρησιμοποιεί έναν απλό γεωγραφικό πρωτόκολλο δρομολόγησης για να το προωθήσει, αφού όμως πρώτα ενημερωθεί από τους κόμβους στην ίδια γεωγραφική περιοχή σχετικά με την τοποθεσία του κόμβου προορισμού. Λόγω του γεγονότος ότι το κόστος ενημέρωσης της τοποθεσίας εξαρτάται από την ταχύτητα των κόμβων, απαιτείται μεγαλύτερος αριθμός μηνυμάτων ενημέρωσης τοποθεσίας για να επιτευχθούν υψηλότερες ταχύτητες.

ZHLS (Zone based Hierarchical Link State Routing Protocol): Στο πρωτόκολλο αυτό ορίζονται οι μη επικαλυπτόμενες ζώνες στις οποίες ο κάθε κόμβος διαθέτει αναγνωριστικό κόμβου και ζώνης. Αυτά τα αναγνωριστικά υπολογίζονται χρησιμοποιώντας κάποιο εξωτερικό εργαλείο όπως το GPS. Η ιεραρχία χωρίζεται σε

δύο επίπεδα, την τοπολογία επιπέδου κόμβου και την τοπολογία επιπέδου ζώνης. Όταν απαιτείται μια διαδρομή για έναν προορισμό σε άλλη ζώνη, ο κόμβος πηγή μεταδίδει ένα αίτημα τοποθεσίας επιπέδου ζώνης στις υπόλοιπες ζώνες. Με αυτή τη τεχνική απαιτείται μόνο ο κόμβος και το αναγνωριστικό ζώνης του για να ανακαλυφθεί μία διαδρομή. Δεν υπάρχει ανάγκη για ενημερώσεις όσο ο κόμβος παραμένει στην περιοχή του και απαιτείται ενημέρωση τοποθεσίας μόνο εάν ο κόμβος αλλάξει περιοχή. Το μόνο μειονέκτημα αυτού του πρωτοκόλλου είναι ότι όλοι οι κόμβοι πρέπει να διαθέτουν έναν προ-ρυθμισμένο χάρτη στατικής ζώνης για να αναγνωρίζουν όλες τις ζώνες του δικτύου, επομένως είναι πιο κατάλληλο για δίκτυα που αναπτύσσονται σε καθορισμένο όριο.

HOPNET (Hybrid Ant Colony Optimization): Το HOPNET βασίζεται στη δρομολόγηση ζώνης και στο ACO (Ant Colony Optimization). Χρησιμοποιεί proactive ανίχνευση διαδρομής μέσα σε μια ζώνη και reactive επικοινωνία μεταξύ των ζωνών. Ο αλγόριθμος αυτός δανείζεται χαρακτηριστικά από τα πρωτόκολλα ZRP και DSR και τα συνδυάζει με συστήματα βασισμένα στο ACO.

Οι αποτυχίες σύνδεσης αντιμετωπίζονται εντός μιας ζώνης χωρίς να συμβεί flooding στο δίκτυο. Οι πίνακες δρομολόγησης της inter και της intra ζώνης διατηρούνται πάντοτε και μπορούν να ανακαλύψουν εκ νέου και με απόλυτη αποτελεσματικότητα μια νέα διαδρομή σε περίπτωση αποτυχίας σύνδεσης.

LRHR (Link Reliability based Hybrid Routing): Οι συχνές αλλαγές τοπολογίας στα MANETs πιθανώς απαιτούν δυναμική αλλαγή των στρατηγικών των on demand και των table driven πρωτοκόλλων. Το πρωτόκολλο LRHR επιτυγχάνει αυτή την αλλαγή με πολύ προσαρμοστικό τρόπο. Συγκεκριμένα, ο κάθε κόμβος λειτουργεί σε ανάμεικτη λειτουργία λήψης ώστε να αντιλαμβάνεται οποιαδήποτε μετάδοση πακέτου στη γειτονιά και ρυθμίζει πολλαπλές διαδρομές από τη πηγή προς τον προορισμό. Ο αλγόριθμος αυτός εκχωρεί κάποια weights (βάρη) μεταξύ των συνδέσεων τα οποία εξαρτώνται από την αξιοπιστία των συνδέσεων. Όσο πιο υψηλή τιμή έχει ένα weight τόσο πιο υψηλή είναι η αξιοπιστία του. Στο τέλος επιλέγεται η διαδρομή με το μεγαλύτερο άθροισμα των weights μέχρι τον προορισμό. Ο LRHR λειτουργεί κατά βάση σε table driven mode και αλλάζει σε on demand mode μόνο εφόσον η πηγή δεν έχει διαδρομή προς τον προορισμό ή εάν το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ μιας νέας ανακάλυψης διαδρομής και της προηγούμενης είναι μεγαλύτερο από το ελάχιστο χρονικό διάστημα διαδρομής. Η διαδικασία ανακάλυψης διαδρομής στον LRHR είναι παρόμοια με του DSR ενώ οι διαδικασίες διατήρησης διαδρομής βασίζονται στα edge weights μεταξύ των κόμβων.

ANSI (Ad hoc Networking with Swarm Intelligence): Το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιεί τη μέθοδο Swarm Intelligence (SI) προκειμένου να επιλέξει τις καλύτερες διαδρομές μέσα στο δίκτυο. Επιτρέπει την ύπαρξη αυτό - οργανωτικών συστημάτων και βοηθάει στη διατήρηση των πληροφοριών κατάστασης του δικτύου. Το πρωτόκολλο αυτό εκμεταλλεύεται τις βασικές αρχές του ACO που επιτρέπουν τη διατήρηση πολλαπλών διαδρομών προς ένα προορισμό. Οι κόμβοι που χρησιμοποιούν reactive routing χρησιμοποιούν τις επιπλέον διαδρομές σε περίπτωση αποτυχίας σύνδεσης, ενώ οι κόμβοι που χρησιμοποιούν proactive routing επιλέγουν το καλύτερο μονοπάτι. Επιπλέον επιτυγχάνεται η διαχείριση τοπικής διαδρομής με

ενίσχυση, λόγω της μετακίνησης των πακέτων δεδομένων καθώς και ενός σαφή μηχανισμού ανακάλυψης γειτονιάς.

Mobility Aware Protocol Synthesis for Efficient Routing: Στο πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιείται ένα νέο είδος μέτρησης για τον υπολογισμό της κινητικότητας των κόμβων σε ένα δίκτυο. Με τη μέτρηση αυτή οι κόμβοι μπορούν να ταξινομηθούν σε διαφορετικές κατηγορίες κινητικότητας, οι οποίες με τη σειρά τους καθορίζουν την κατάλληλη κάθε φορά τεχνική δρομολόγησης για το συγκεκριμένο ζεύγος πηγής – προορισμού. Συγκεκριμένα, υπολογίζεται η συνολική χρονική διάρκεια που οι κόμβοι είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους και στη συνέχεια σχεδιάζεται ένα πλαίσιο πρωτοκόλλου το οποίο λειτουργεί πάνω από το στρώμα δικτύου και καθορίζει τη βέλτιστη κάθε φορά τεχνική δρομολόγησης. Ένα πλεονέκτημα αυτού του πρωτοκόλλου είναι ότι απαιτούνται ελάχιστες αλλαγές στα πρωτότυπα πρωτόκολλα δρομολόγησης για να εξασφαλιστεί η ολοκλήρωση της διαδικασίας.

CEDAR: Το πρωτόκολλο αυτό αποτελεί περισσότερο ένα πλαίσιο δρομολόγησης για τις απαιτήσεις QoS παρά ένα απλό MANET πρωτόκολλο δρομολόγησης. Το CEDAR εγκαθιδρύει δυναμικά έναν πυρήνα στο δίκτυο και στην συνέχεια αυξάνει διαδοχικά την κατάσταση της σύνδεσης των συνδέσμων υψηλού εύρους ζώνης στους κόμβους του πυρήνα. Το CEDAR διαθέτει τρία βασικά χαρακτηριστικά.

- Το πρώτο είναι η δημιουργία και η διατήρηση μιας υποδομής δρομολόγησης που ονομάζεται πυρήνας για την εκτέλεση των υπολογισμών της εκάστοτε διαδρομής. Ένα υποσύνολο των κόμβων επιλέγεται για να σχηματίσει ένα δικτυακό κορμό (backbone) μέσα στο δίκτυο. Αυτή η δομή χρησιμοποιείται για την αποστολή μηνυμάτων εκπομπής. Κάθε κεντρικός κόμβος διατηρεί την τοπική τοπολογία των κόμβων στον τομέα του και επίσης εκτελεί υπολογισμούς για την δρομολόγηση για λογαριασμό αυτών των κόμβων.
- Το δεύτερο χαρακτηριστικό του CEDAR είναι η διάδοση των μηνυμάτων κατάστασης στις συνδέσεις υψηλού εύρους και στις σταθερές ζεύξεις στον πυρήνα. Αυτά τα μηνύματα αποστέλλονται μέσω του κεντρικού κόμβου και ειδοποιούν τον πυρήνα για την αύξηση ή μείωση του διαθέσιμου εύρους ζώνης. Για τις ασταθείς ζεύξεις που ανεβαίνουν και πέφτουν συχνά, υπάρχει διασφάλιση ότι η κατάσταση της σύνδεσης που αντιστοιχεί σε δυναμικές συνδέσεις διατηρείται τοπική. Ως εκ τούτου, οι σχετικές πληροφορίες για το QoS διαδίδονται με αποτελεσματικό τρόπο. Εντός του κεντρικού δικτύου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε ad hoc πρωτόκολλο δρομολόγησης.
- Το τρίτο και τελευταίο χαρακτηριστικό του CEDAR είναι ένας αλγόριθμος υπολογισμού της πορείας QoS ο οποίος εκτελείται στους κεντρικούς κόμβους του δικτύου. Για την εγκαθίδρυση QoS διαδρομών ο κόμβος προέλευσης έρχεται σε επαφή με τον κυρίαρχο κόμβο με ένα Route Request (RREQ) που περιέχει πληροφορίες για την πηγή, τον προορισμό και το απαιτούμενο εύρος ζώνης. Ο κόμβος πηγή αρχίζει έπειτα μία εκπομπή από τον πυρήνα για να βρει την θέση του δέκτη και ταυτόχρονα να ανακαλύψει την διαδρομή του πυρήνα. Έτσι υπολογίζεται μια διαδρομή QoS αν αυτό είναι εφικτό και στην συνέχεια καθιερώνεται. Αυτό περιλαμβάνει την πιθανή ανακάλυψη του κυρίαρχου του

προορισμού και ενός βασικού μονοπατιού προς αυτό. Διαφορετικά, αν ο κυρίαρχος του κόμβου προέλευσης έχει ήδη αποθηκευτεί προσωρινά και έχει καθιερώσει μια κεντρική διαδρομή στον κυρίαρχο του κόμβου προορισμού, τότε ο κυρίαρχος κόμβος προέλευσης προχωρά στην φάση της εγκατάστασης της διαδρομής QoS. Αν ο κυρίαρχος του κόμβου προέλευσης δεν γνωρίζει την τοποθεσία του κόμβου προορισμού, εντοπίζει πρώτα τον κυρίαρχο του κόμβου προορισμού και ταυτόχρονα εγκαθιστά ένα βασικό μονοπάτι σε αυτό. Αυτό ενεργοποιεί την φάση υπολογισμού της διαδρομής. Μια κεντρική διαδρομή (core) από την πηγή στον προορισμό οδηγεί σε ένα μονοπάτι από τον κυρίαρχο της πηγής στον κυρίαρχο του προορισμού. Ο κυρίαρχος της πηγής προσπαθεί στην συνέχεια να βρει το συντομότερο, ευρύτερο και μακρύτερο αποδεκτό μονοπάτι κατά μήκος του κεντρικού μονοπατιού. Με βάση τις τοπικές πληροφορίες, ο κυρίαρχος της πηγής διαλέγει τον πιο απομακρυσμένο τομέα μέχρι να βρει ένα αποδεκτό μονοπάτι. Στην συνέχεια υπολογίζει την πιο σύντομη και ευρύτερη διαδρομή προς αυτόν τον τομέα, καταλήγοντας σε κάποιο κόμβο με βάση τις τοπικές πληροφορίες. Μόλις δημιουργηθεί αυτό το μονοπάτι, ο κυρίαρχος του προορισμού χρησιμοποιεί στη συνέχεια την τοπική του κατάσταση για να βρει το συντομότερο, ευρύτερο και μακρύτερο αποδεκτό μονοπάτι στον τομέα κατά μήκος του κεντρικού μονοπατιού (core). Τελικά, είτε εγκαθιδρύεται μια διαδρομή προς τον προορισμό, είτε ο αλγόριθμος αναφέρει ότι δεν βρέθηκε αποδεκτή διαδρομή.

Load Balancing in MANET - Shortest Path Routing: Σε αυτό το πρωτόκολλο χρησιμοποιείται η εξισορρόπηση φορτίου προκειμένου να καταστεί αποτελεσματική η δρομολόγηση στα MANETs. Έχει παρατηρηθεί ότι το φορτίο είναι μέγιστο στο κέντρο του δικτύου και μειώνεται ωστόσο γίνεται ελάχιστο στα άκρα του. Έτσι, επιλέγονται έναντι των πιο σύντομων διαδρομών, εκείνες όπου οι κόμβοι απέχουν όσο το δυνατόν περισσότερο από το κέντρο του δικτύου. Η παραπάνω διαδικασία γίνεται με τη χρήση των κατάλληλων μετρήσεων που περιλαμβάνουν τον αριθμό και τη τοποθεσία των κόμβων καθώς και το μέγεθος των πινάκων δρομολόγησης που έχει ο καθένας και βοηθάει στην εξισορρόπηση του φορτίου στα αδόμητα κινητά δίκτυα (17) (18).

3.3. Πρωτόκολλα δρομολόγησης για ad hoc δίκτυα

Τα αδόμητα δίκτυα επικοινωνιών απαιτούν συγκεκριμένες προδιαγραφές δρομολόγησης προκειμένου να υποστηρίξουν την κλιμάκωση εκατοντάδων κινητών κόμβων χωρίς την ύπαρξη υποδομών. Κάποια βασικά πρωτόκολλα από τις παραπάνω κατηγορίες που είναι κατάλληλα για αυτό τον τύπο δικτύων, είναι τα AODV, DSDV, DSR, TORA, OLSR και ZRP.

Κάποιες βασικές ελλείψεις που παρουσιάζουν τα υπάρχοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης είναι οι ακόλουθες:

- Εύρεση της πιο σύντομης διαδρομής από την πηγή στον προορισμό, αλλά, σε ορισμένα πιο απαιτητικά σενάρια όπου η πιο σύντομη διαδρομή παρουσιάζει συμφόρηση, χρησιμοποίηση ενός διαφορετικού μονοπατιού που πιθανώς είναι πιο αποτελεσματικό αλλά παράλληλα είναι μεγαλύτερο σε μήκος.
- Μη ύπαρξη λύσης σε όλα τα προβλήματα δρομολόγησης όπως είναι η μείωση του φόρτου του δικτύου, η απώλεια πακέτων και η καθυστέρηση.
- Καθορισμός μόνο μίας πρωταρχικής διαδρομής με ενδεχόμενη συνέπεια, αν για κάποιο λόγο αυτή η διαδρομή αποτύχει το πρωτόκολλο να πρέπει να ανακαλύψει εκ νέου διαδρομή, γεγονός που καταναλώνει επιπλέον χρόνο και ισχύ.
- Επιβάρυνση με επιπλέον φόρτο στους κόμβους, όσον αφορά στο μέγεθος μνήμης, στην ισχύ επεξεργασίας και στην κατανάλωση ενέργειας.
- Τα περισσότερα υπάρχοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης στα MANETs βρίσκουν οποιαδήποτε διαδρομή από την πηγή στον προορισμό, αλλά αυτή η διαδρομή δεν είναι απαραίτητως η βέλτιστη. Οι επιλεγμένες διαδρομές συχνά δεν είναι αποδοτικές για διάφορες εφαρμογές.
- Τα περισσότερα υπάρχοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης στέλνουν ένα μήνυμα hello ή κάποια επιβεβαίωση μεταξύ των κόμβων για την αποστολή και λήψη των πακέτων, γεγονός το οποίο αυξάνει αρκετά τον φόρτο και την καθυστέρηση στο δίκτυο.
- Η μη ενασχόληση με την αξιοπιστία των συνδέσμων, που σχετίζεται με χαρακτηριστικά όπως είναι ο διαθέσιμος ρυθμός δεδομένων, η καθυστέρηση και η διάρκεια ζωής της μπαταρίας του κόμβου, οδηγεί στο γεγονός ότι η καθορισμένη διαδρομή δεν εγγυάται την απρόσκοπτη παράδοση των δεδομένων από την πηγή στον προορισμό.

Τα βασικά χαρακτηριστικά που οφείλουν να έχουν τα πρωτόκολλα δρομολόγησης σε ένα ad hoc δίκτυο είναι τα ακόλουθα:

- **Κατανεμημένη λειτουργία:** Τα πρωτόκολλα αυτής της κατηγορίας πρέπει να μπορούν να διανεμηθούν και να μην εξαρτώνται από κάποιο κεντρικό κόμβο ελέγχου. Προφανώς αυτό είναι ένα χαρακτηριστικό που οφείλουν να έχουν και τα πρωτόκολλα στα σταθερά δίκτυα, με τη διαφορά ότι στα αδόμητα δίκτυα οι κόμβοι μπορούν να εισέλθουν στο δίκτυο ή να εξέλθουν από αυτό όποτε θέλουν και εξαιτίας αυτής της κινητικότητας το δίκτυο μπορεί να διασπαστεί.
- **Απαλλαγή από βρόγχους:** Με στόχο την βελτίωση της συνολικής απόδοσης του δικτύου, τα πρωτόκολλα πρέπει να εγγυώνται ότι οι διαδρομές θα είναι απαλλαγμένες από βρόγχους. Αυτό το χαρακτηριστικό προσφέρει την αποφυγή της σπατάλης του εύρους ζώνης καθώς και της κατανάλωσης του CPU.
- **Λειτουργία βασισμένη στη ζήτηση:** Για τη μείωση του control overhead στο δίκτυο καθώς και για τη μείωση των σπαταλών στους πόρους μέχρι το

αναγκαίο όριο, το πρωτόκολλο οφείλει να είναι reactive, δηλαδή να αντιδρά μόνο όποτε απαιτείται καθώς και να μη μεταδίδει περιοδικά μηνύματα πληροφοριών.

- **Μονοκατευθυντική υποστήριξη σύνδεσης:** Το ράδιο περιβάλλον πρέπει να μπορεί να προκαλέσει το σχηματισμό μονοκατευθυντικών συνδέσεων. Η χρήση τέτοιου είδους συνδέσεων και όχι μόνο των αμφίδρομων βελτιώνει την επίδοση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης.
- **Ασφάλεια:** Το ράδιο περιβάλλον είναι ιδιαίτερα ευάλωτο σε μιμητικές επιθέσεις, έτσι για την εξασφάλιση της επιθυμητής συμπεριφοράς από το εκάστοτε πρωτόκολλο δρομολόγησης απαιτούνται κάποια προληπτικά μέτρα ασφαλείας. Η αυθεντικοποίηση και η κρυπτογράφηση είναι οι βασικοί τομείς στους οποίους πρέπει να εστιάσουμε και το πρόβλημα στο ζήτημα αυτό έγκειται στα κλειδιά διαμοιρασμού μεταξύ των κόμβων. Μία λύση είναι η χρήση του tunneling για τη μεταφορά των πακέτων, δηλαδή της μετάδοσης των δεδομένων με στόχο να χρησιμοποιηθούν μόνο για ιδιωτική χρήση.
- **Εξοικονόμηση ενέργειας:** Οι κόμβοι σε ένα αδόμητο δίκτυο μπορεί να είναι φορητοί υπολογιστές και οι πελάτες τους όπως τα PDAs διαθέτουν πολύ περιορισμένη ενέργεια μπαταρίας και χρησιμοποιούν κάποιας μορφής αναμονή για την εξοικονόμηση ενέργειας. Επομένως είναι σημαντικό ότι το πρωτόκολλο δρομολόγησης θα προσφέρει υποστήριξη για τέτοιου είδους αναμονές.
- **Υποστήριξη πολλαπλών διαδρομών:** Για τη μείωση του αριθμού των αντιδράσεων στις τοπολογικές αλλαγές και τη μείωση της συμφόρησης, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν πολλαπλές διαδρομές. Αν κάποια διαδρομή κριθεί αναξιόπιστη ή πάψει να υφίσταται είναι πιθανό ότι κάποια άλλη αποθηκευμένη διαδρομή θα μπορούσε να είναι έγκυρη και έτσι να εξοικονομηθεί χρόνος και ενέργεια από το πρωτόκολλο δρομολόγησης επιλέγοντάς την αντί να προβεί σε νέα διαδικασία αναζήτησης διαδρομής.
- **Υποστήριξη ποιότητας υπηρεσιών (QoS):** Κρίνεται απαραίτητο για το πρωτόκολλο δρομολόγησης να προσφέρει υποστήριξη για κάποιο είδος ποιότητας υπηρεσιών. Αυτό προφανώς εξαρτάται από το σκοπό του κάθε δικτύου. Θα μπορούσε για παράδειγμα να αφορά υποστήριξη για εφαρμογές πραγματικού χρόνου.

Κανένα από τα πρωτόκολλα που κυκλοφορούν δεν διαθέτουν όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά, αλλά προφανώς τα περισσότερα αναπτύσσονται ακόμα από τους κατασκευαστές και παράλληλα δημιουργούνται ολοένα και νέα πρωτόκολλα που στόχο έχουν να υποστηρίξουν αυτό το πολύπλοκο είδος δικτύων (19) (20).

Στον πίνακα 1 παρουσιάζεται τα επιθυμητά χαρακτηριστικά που διαθέτουν τα τέσσερα βασικά πρωτόκολλα AODV, DSDV, DSR και TORA.

Χαρακτηριστικά/Πρωτόκολλα	AODV	DSDV	DSR	TORA
Κατανεμημένη λειτουργία	NAI	NAI	NAI	NAI
Απαλλαγή από βρόχους	NAI	NAI	NAI	NAI

Λειτουργία βασισμένη στη ζήτηση	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Μονοκατευθυντική υποστήριξη σύνδεσης	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
Ασφάλεια	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
Εξοικονόμηση ενέργειας	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
Υποστήριξη πολλαπλών διαδρομών	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Υποστήριξη ποιότητας υπηρεσιών	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
Περιοδικές μεταδόσεις	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ
Λειτουργία multicast	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ

Πίνακας 1

4. Πρωτόκολλα επικοινωνίας

Στις τηλεπικοινωνίες, ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας είναι ένα σύστημα κανόνων που επιτρέπει σε δύο ή περισσότερες οντότητες ενός συστήματος επικοινωνίας να μεταδίδουν πληροφορίες μέσω οποιασδήποτε μεταβολής μιας φυσικής οντότητας. Αυτοί είναι οι κανόνες (πρότυπα) που καθορίζουν τη σύνταξη, τη σημασιολογία και το συγχρονισμό της επικοινωνίας καθώς και τις πιθανές μεθόδους ανάκλησης σφαλμάτων. Τα πρωτόκολλα μπορούν να υλοποιηθούν μέσω υλικού, λογισμικού, ή συνδυασμού και των δύο.

Επομένως τα συστήματα επικοινωνιών χρησιμοποιούν τα πρωτόκολλα με σκοπό να ανταλλάσσουν διάφορα μηνύματα. Το κάθε μήνυμα έχει μία ακριβή έννοια που αποσκοπεί στο να προκαλέσει μια απάντηση από ένα πλήθος προκαθορισμένων πιθανών απαντήσεων για τη συγκεκριμένη περίπτωση. Η συγκεκριμένη συμπεριφορά είναι συνήθως ανεξάρτητη από τον τρόπο εφαρμογής της. Επίσης, τα πρωτόκολλα επικοινωνίας πρέπει να συμφωνηθούν από τα εμπλεκόμενα μέρη. Για την επίτευξη μιας συμφωνίας, κάποιο πρωτόκολλο πιθανώς να χρειαστεί να αναπτυχθεί σε τεχνικό πρότυπο. Τα πολλαπλά πρωτόκολλα συχνά περιγράφουν διαφορετικές πτυχές μιας ενιαίας επικοινωνίας. Μία ομάδα πρωτοκόλλων που έχουν σχεδιαστεί να δουλεύουν μαζί είναι γνωστή ως σουίτα πρωτοκόλλων (protocol suite).

4.1. Internet Protocol Suite

Η σουίτα πρωτοκόλλων ίντερνετ αποτελεί το εννοιολογικό μοντέλο και το σύνολο των πρωτοκόλλων επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται στο διαδίκτυο και σε παρόμοια δίκτυα υπολογιστών. Η γνωστή του ονομασία είναι η TCP / IP επειδή τα αρχικά πρωτόκολλα στη σουίτα είναι το TCP (Transmission Control Protocol) και το IP (Internet Protocol).

Αυτή η σουίτα πρωτοκόλλων παρέχει επικοινωνία δεδομένων από άκρο σε άκρο, καθορίζοντας επακριβώς τον τρόπο με τον οποίο τα δεδομένα πρέπει να πακετοποιηθούν, να μεταδοθούν, να αντιμετωπιστούν, να δρομολογηθούν και να ληφθούν. Αυτή η λειτουργικότητα είναι οργανωμένη σε τέσσερα επίπεδα που χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση όλων των σχετικών πρωτοκόλλων ανάλογα με το πεδίο της σχετικής δικτύωσης.

Από χαμηλά προς ψηλά, τα επίπεδα (layers) του μοντέλου διαστρωμάτωσης TCP / IP είναι τα ακόλουθα:

- **Επίπεδο συνδέσμου:** Περιέχει τρόπους επικοινωνίας για δεδομένα που παραμένουν σε ένα μόνο τμήμα του δικτύου.
- **Επίπεδο δικτύου:** Συνδέει τα ανεξάρτητα δίκτυα προσφέροντας έτσι διαδίκτυωση μέσω της μεταφοράς των πακέτων δεδομένων από τον αποστολέα στον παραλήπτη.
- **Επίπεδο μεταφοράς:** Είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά μηνυμάτων ανεξαρτήτως του δικτύου, με παράλληλο έλεγχο σφαλμάτων, κατάτμηση και ρύθμιση ροής.
- **Επίπεδο εφαρμογής:** Αναλαμβάνει τη διαδικασία για την επεξεργασία ανταλλαγής δεδομένων για εφαρμογές

4.2. Internet Protocol (IP)

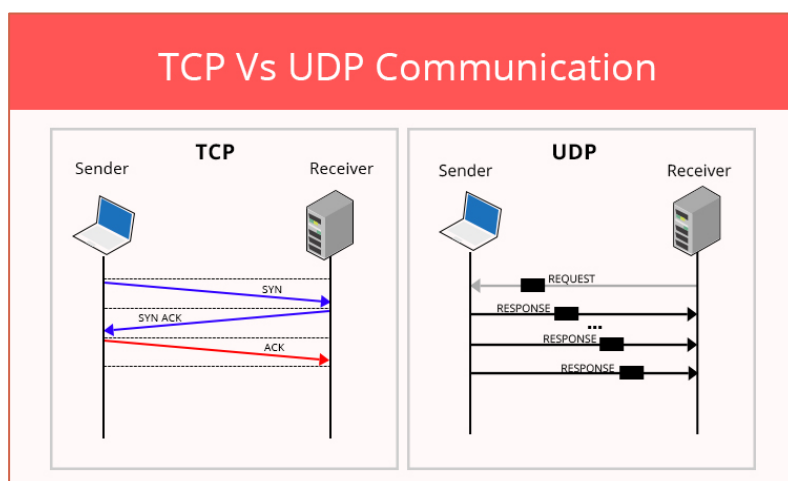
Το πρωτόκολλο ίντερνετ (IP) βρίσκεται στο επίπεδο δικτύου του μοντέλου διαστρωμάτωσης TCP / IP. Αποτελεί το κύριο πρωτόκολλο επικοινωνίας που μεταδίδει τα δεδομένα σε ένα διαδίκτυο. Καθορίζει τη μορφή των πακέτων που στέλνονται καθώς και τους μηχανισμούς προώθησής τους από τον έναν υπολογιστή στον άλλον μέσω των δρομολογητών. Για αυτό ακριβώς το λόγο, το συγκεκριμένο πρωτόκολλο χρησιμοποιεί συγκεκριμένους τρόπους διευθυνσιοδότησης για την ενθυλάκωση των πακέτων δεδομένων.

Η πρώτη έκδοση του πρωτοκόλλου που γνώρισε μεγάλη αποδοχή και χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα είναι η IPv4. Λόγω όμως του γεγονότος ότι οι διευθύνσεις δεν ήταν πλέον αρκετές, αναπτύχθηκε τα τελευταία χρόνια η έκδοση IPv6 της οποίας η χρήση αυξάνεται συνεχώς.

4.2.1.Είδη κίνησης

Υπάρχουν δύο τύποι IP κίνησης, το TCP (Transmission Control Protocol) και το UDP (User / Universal Datagram Protocol). Το TCP είναι προσανατολισμένο στη σύνδεση, δηλαδή μόλις δημιουργηθεί μία σύνδεση τα δεδομένα μπορούν να σταλούν αμφίδρομα. Το UDP είναι ένα απλούστερο πρωτόκολλο ίντερνετ που δεν απαιτεί σύνδεση και στο οποίο τα πολλαπλά μηνύματα στέλνονται ως πακέτα σε τεμάχια.

Στην εικόνα 3 παρουσιάζεται ο τρόπος μετάδοσης δεδομένων στα πρωτόκολλα TCP και UDP.



Εικόνα 3: Τρόπος μετάδοσης δεδομένων των TCP και UDP

4.2.1.1. Transmission Control Protocol (TCP)

Το πρωτόκολλο ελέγχου μεταφοράς βρίσκεται στο επίπεδο μεταφοράς του μοντέλου διαστρωμάτωσης TCP / IP. Ο σκοπός του πρωτοκόλλου αυτού είναι να επιβεβαιώνει τη σωστή μετάδοση και λήψη των δεδομένων, να μεταφέρει τα δεδομένα μεταξύ του επιπέδου δικτύου και του επιπέδου εφαρμογής χωρίς σφάλματα καθώς και να εμφανίζει τα δεδομένα με τη σωστή σειρά στο επίπεδο εφαρμογής. Τέτοιες εφαρμογές αποτελούν συνήθως τα audio και video streaming.

Το πρωτόκολλο αυτό εφαρμόζεται σχεδόν παντού εφόσον οι περισσότερες υπηρεσίες βασίζονται σε αυτό, όπως είναι το FTP (File Transfer Protocol) και το HTTP (HyperText Transfer Protocol).

Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι τα ακόλουθα:

- Η μεταφορά δεδομένων γίνεται μέσω σύνδεσης η οποία καθορίζεται από κάποιο σήμα έναρξης και κάποιο σήμα λήξης (connection oriented).
- Καταλληλότητα για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή αξιοπιστία και ο χρόνος μετάδοσης δεν είναι πολύ κρίσιμος.
- Χρήση του από πολλά γνωστά πρωτόκολλα όπως είναι τα HTTP, HTTPS, FTP, SMTP και Telnet.
- Αναδιάταξη των πακέτων δεδομένων με καθορισμένη σειρά.
- Περιορισμένη δυνατότητα πολύ υψηλών ταχυτήτων.
- Δυνατότητα απόλυτης εγγύησης ότι τα δεδομένα που μεταφέρονται θα παραμείνουν άθικτα και θα φτάσουν με την ίδια σειρά με την οποία στάλθηκαν.
- Το μέγεθος της κεφαλίδας του είναι 20 bytes.
- Τα κοινά πεδία κεφαλίδας που περιέχει είναι τα source port, destination port, και check sum.
- Ανάγνωση των δεδομένων ως ροή από bytes, χωρίς παράλληλη μετάδοση διακριτικών ενδείξεων στα όρια μηνυμάτων σήματος.
- Δυνατότητα ελέγχου ροής (flow control).
- Υποχρεωτική ύπαρξη τριών πακέτων για την απαιτούμενη ρύθμιση μιας σύνδεσης υποδοχής προτού μπορούν να σταλούν δεδομένα των χρηστών.
- Χειρισμός του ελέγχου της αξιοπιστίας μετάδοσης των δεδομένων και της συμφόρησης.
- Πραγματοποίηση ελέγχου και αποκατάστασης σφαλμάτων. Τα λανθασμένα πακέτα μεταδίδονται εκ νέου από την πηγή στον προορισμό.
- Τα πεδία που περιέχει είναι τα ακόλουθα: Sequence Number, Ack number, Data offset, Reserved, Control bit, Window, Urgent Pointer, Options, Padding, Check Sum, Source port και Destination port.
- Η δομή του περιλαμβάνει τμήματα επιβεβαίωσης και παρέχει 3 – way handshake: SYN (Synchronize), SYN-ACK (Synchronize – Acknowledgment), ACK (Acknowledgment).

Οι βασικοί τύποι πρωτοκόλλων TCP είναι οι ακόλουθοι:

- **TCP Tahoe:** Αναφέρεται στον αλγόριθμο ελέγχου συμφόρησης TCP. Ο τύπος αυτού του πρωτοκόλλου βασίζεται στη αρχή της «Διατήρησης των πακέτων», δηλαδή εάν η σύνδεση πραγματοποιείται στη διαθέσιμη χωρητικότητα του εύρους ζώνης τότε κανένα πακέτο δεν εισάγεται στο δίκτυο εάν πρώτα δεν εξαχθεί κάποιο πακέτο από αυτό. Όταν προκύπτει συμφόρηση

στο δίκτυο, το TCP Tahoe μειώνει το ποσοστό αποστολής δεδομένων και τον αριθμό των παραθύρων συμφόρησης σε ένα μόνο παράθυρο.

- **TCP Reno:** Αποτελεί τον πιο διαδεδομένο τύπο πρωτοκόλλου TCP. Χρησιμοποιεί τέσσερα στάδια μετάδοσης, τα slow start, congestion avoidance, fast retransmit και fast recovery.
- **TCP New Reno:** Αποτελεί μια μικρή τροποποίηση του Reno. Έχει τη δυνατότητα να ανιχνεύει πολλαπλές απώλειες πακέτων και επιπλέον είναι πολύ πιο αποτελεσματικός στην αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου σε σχέση με τον Reno.
- **TCP Vegas:** Αποτελεί έναν αλγόριθμο αποφυγής συμφόρησης που δίνει περισσότερη έμφαση στην καθυστέρηση των πακέτων παρά στην απώλειά τους, χρησιμοποιώντας την πληροφορία ως σήμα για να αποφασιστεί ο ρυθμός με τον οποίο πρέπει να αποστέλλονται τα πακέτα.
- **TCP Sink:** Αποτελεί έναν αλγόριθμο που δημιουργεί και στέλνει ACK πακέτα στον αποστολέα με σκοπό να ενημερώσει ότι έλαβε τα πακέτα που είχαν σταλθεί και εν συνεχεία απελευθερώνει τα πακέτα που έχουν ήδη παραληφθεί (21).

Προβλήματα που αντιμετωπίζει το TCP στα ασύρματα δίκτυα

Το πρωτόκολλο αυτό αρχικά σχεδιάστηκε για να λειτουργεί σε σταθερά δίκτυα. Τα ποσοστά σφαλμάτων στα ενσύρματα δίκτυα είναι πολύ χαμηλά και το TCP χρησιμοποιεί την απώλεια πακέτων ως ένδειξη για τον κορεσμό του δικτύου, τον οποίο και αντιμετωπίζει αποτελεσματικά με προσαρμογές στο παράθυρο συμφόρησης (congestion window). Το αδόμητο κινητό δίκτυο πολλαπλών αλμάτων (multihop) φέρνει νέες προκλήσεις στο πρωτόκολλο TCP λόγω των συνεχών αλλαγών στη τοπολογία του δικτύου, των αποσυνδέσεων, της ποικιλίας σε δυνατότητες σύνδεσης καθώς και στο υψηλό ποσοστό σφαλμάτων. Στα ασύρματα κινητά αδόμητα δίκτυα η απώλεια των πακέτων συνήθως δεν προκαλείται από τον κορεσμό του δικτύου αλλά από το υψηλό ποσοστό σφαλμάτων από το ασύρματο μέσο και από τις συχνές αποσυνδέσεις λόγω της κινητικότητας. Κατά συνέπεια απαιτούνται μηχανισμοί αντιμετώπισης τέτοιων συμβάντων, γεγονός όμως που μειώνει την αξιοποίηση του εύρους ζώνης του δικτύου. Επιπροσθέτως, η ποικιλία στη δυνατότητα των συνδέσεων θα μπορούσε να προκαλέσει ασύμμετρες συνδέσεις και καθυστερημένο ACK, το οποίο με τη σειρά του μπορεί να επηρεάσει τη ρύθμιση του παραθύρου συμφόρησης. Ως αποτέλεσμα, οι μηχανισμοί της πρότυπης ροής ελέγχου του TCP και του ελέγχου συμφόρησης δεν λειτουργούν καλά στα κινητά αδόμητα δίκτυα.

Βασικά θέματα που προκύπτουν στα MANETs εξαιτίας του TCP:

1. **Απώλεια καναλιών** λόγω των υψηλών ποσοστών σφάλματος τα οποία προκύπτουν συνήθως στις ακόλουθες περιπτώσεις:
 - **Εξασθένηση σήματος** η οποία οφείλεται στη μείωση της έντασης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο δέκτη (για παράδειγμα εξαιτίας της

μεγάλης απόστασης) και οδηγεί σε χαμηλές τιμές SNR (Signal to Ratio).

- **Μετατόπιση Doppler** εξαιτίας των ταχυτήτων που υπάρχουν στον αποστολέα και τον παραλήπτη με αποτέλεσμα να καθυστερεί η μετάδοση και η τελική λήψη του σήματος.
- **Multipath fading** όπου τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ανακλώνται πάνω σε αντικείμενα με αποτέλεσμα το σήμα να ταξιδεύει από πολλαπλά μονοπάτια μέχρι τον τελικό προορισμό του. Αυτό το ζήτημα μπορεί να οδηγήσει σε διακυμάνσεις στο εύρος, τη φάση και τη γωνία με την οποία το σήμα θα καταλήξει στον παραλήπτη.

2. **Ασυμμετρία μονοπατιού** η οποία μπορεί να εμφανιστεί υπό πολλές μορφές με πιο χαρακτηριστικές τις ακόλουθες:

- **Ασυμμετρία του εύρους ζώνης** η οποία οφείλεται στη χρήση των πολλών διαφορετικών ταχυτήτων μετάδοσης.
- **Ασυμμετρία του ποσοστού απωλειών** που οφείλεται στο γεγονός ότι η αντίστροφη διαδρομή (από τον παραλήπτη στον αποστολέα) παρουσιάζει πολύ περισσότερες απώλειες από την αρχική διαδρομή (από τον αποστολέα στον παραλήπτη). Στα MANETs αυτή η ασυμμετρία δημιουργείται από το γεγονός ότι η επιρρέπεια στα λάθη εξαρτάται από τοπικούς περιορισμούς οι οποίοι διαφέρουν ανάλογα με τον τόπο. Συχνά η ασυμμετρία αυτή οδηγεί σε ασυμμετρία του εύρους ζώνης.
- **Ασυμμετρία των πιθανών διαδρομών** η οποία προκύπτει εξαιτίας της έλλειψης δύναμης μετάδοσης καθώς και της ύπαρξης διακριτών μονοπατιών για τα δεδομένα TCP και τα ACKs των TCP. Αν το μήκος του backward path είναι μεγαλύτερο από το μήκος του forward path (από άποψη αριθμού κόμβων), τότε το πρώτο θα αποτελέσει σημείο συμφόρησης εξαιτίας του γεγονότος ότι η ρυθμοαπόδοση (throughput) μειώνεται πολύ όσο αυξάνεται ο αριθμός των κόμβων. Η ασυμμετρία αυτή επομένως μπορεί να οδηγήσει σε ασυμμετρία του εύρους ζώνης, και έγκειται στο επιλεγμένο πρωτόκολλο δρομολόγησης να επιλέξει συμμετρικές διαδρομές όπου κάτι τέτοιο είναι δυνατόν.

3. **Διαμέριση δικτύου** η οποία οφείλεται στη κινητικότητα των κόμβων και στη περιορισμένη διαθέσιμη ενέργεια. Αυτή η συγκεκριμένη κατάσταση δημιουργείται συνήθως όταν δύο κόμβοι απομακρυνθούν μεταξύ τους και ο TCP agent του πρώτου δεν μπορεί να λάβει το TCP ACK του δεύτερου. Αν η αποσύνδεση διαρκέσει περισσότερο από το RTO (Retransmission TimeOut), ο αποστολέας TCP θα σταματήσει – διότι ο TCP agent του πρώτου θα ενεργοποιήσει τον αλγόριθμο exponential backoff - και το RTO θα διπλασιαστεί. Το πρόβλημα εδώ έγκειται στο γεγονός ότι ακόμα και όταν το δίκτυο συνδεθεί ξανά, ο αποστολέας TCP θα συνεχίσει να είναι σε κατάσταση backoff.

4. **Αποτυχίες δρομολόγησης** οι οποίες είναι ένα πολύ συχνό φαινόμενο στα MANETs και οφείλονται στη κινητικότητα των κόμβων καθώς και στην επαναλαμβανόμενη αποτυχία μετάδοσης εξαιτίας του contention στο επίπεδο του συνδέσμου. Ο χρόνος που θα χρειαστεί για τον επανακαθορισμό της δρομολόγησης στα MANETs εξαρτάται από το πρωτόκολλο δρομολόγησης, το μοτίβο κινητικότητας των κόμβων καθώς και τα χαρακτηριστικά της κίνησης. Εάν ο αποστολέας TCP δεν έχει πληροφόρηση σχετικά με το γεγονός επανακαθορισμού της διαδρομής, η ρυθμοαπόδοση και η καθυστέρηση της συνεδρίας θα μειωθούν εξαιτίας της μεγάλης περιόδου αδράνειας. Μετά τον επανακαθορισμό της διαδρομής το TCP θα αντιμετωπίσει πολύ έντονες διακυμάνσεις στο RTT (Round Trip Time), οι οποίες πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τον υπολογισμό του νέου RTO. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην κατάσταση backoff το TCP δεν υπολογίζει το RTT και αυξάνει εκθετικά το RTO.
5. **Περιορισμοί ισχύος** οι οποίοι προκαλούνται από το γεγονός ότι οι μπαταρίες που κουβαλάει ο κάθε κινητός κόμβος έχουν περιορισμένες δυνατότητες σχετικά με την παροχή και την επεξεργασία ενέργειας. Αυτό αποτελεί ένα μεγάλο ζήτημα στα MANETs, καθώς κάθε κόμβος δρα ως αποστολέας, παραλήπτης και δρομολογητής ταυτόχρονα, απαιτώντας έτσι μεγάλα ποσά ενέργειας ώστε να προωθεί και να καθυστερεί πακέτα. Γενικά στα ad hoc δίκτυα υπάρχουν δύο βασικά προβλήματα ενέργειας:
 - **Αποθήκευση ενέργειας** που στοχεύει στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Οι στρατηγικές που ακολουθήθηκαν, εστίασαν σε διάφορα σημεία των κινητών συσκευών όπως τις μεταδόσεις στο φυσικό επίπεδο, τα λειτουργικά συστήματα και τις εφαρμογές.
 - **Έλεγχος ενέργειας** που στοχεύει στην προσαρμογή της μετάδοσης ενέργειας των κινητών κόμβων ανάλογα με τη κατάσταση. Ο έλεγχος αυτός μπορεί να εφαρμοστεί από κοινού και στους agents δρομολόγησης και μεταφοράς για να βελτιώσει την απόδοση των MANETs.

Αυτοί οι περιορισμοί ισχύος αποκαλύπτουν και το εξίσου μεγάλο πρόβλημα συνεργασίας μεταξύ των κόμβων, καθώς οι ίδιοι πολλές φορές δεν θα συμμετάσχουν σε διαδικασίες δρομολόγησης και προώθησης πακέτων με σκοπό να σώσουν ενέργεια στις μπαταρίες (22).

4.2.1.2. User Datagram Protocol (UDP)

Το πρωτόκολλο αυτό βρίσκεται στο επίπεδο μεταφοράς του μοντέλου διαστρωμάτωσης TCP / IP, είναι ευρέως διαδεδομένο και χρησιμοποιείται από διάφορα προγράμματα για την αποστολή σύντομων μηνυμάτων (datagrams) μεταξύ υπολογιστών. Τα πακέτα που στέλνονται μπορεί να φτάσουν στον παραλήπτη με λάθος σειρά, διπλά ή και καθόλου αν υπάρχει συμφόρηση στο δίκτυο.

Προτιμάται κυρίως για την αποστολή σύντομων μηνυμάτων ή σε περιπτώσεις που τα πακέτα πρέπει να σταλθούν αρκετά σύντομα ώστε να μην υπάρξει διακοπή στη ροή της μετάδοσης, όπως είναι η περίπτωση του video conferencing.

Μερικές σημαντικές εφαρμογές που το χρησιμοποιούν είναι το DNS (Domain Name System) και το VoIP (Voice over IP).

Κύρια χαρακτηριστικά

- Αποστολή δεδομένων χωρίς ανάγκη θέσπισης κάποιας μορφής σύνδεσης μεταξύ του αποστολέα και του παραλήπτη (connectionless).
- Καταλληλότητα για εφαρμογές που απαιτούν γρήγορη και αποτελεσματική μετάδοση όπως είναι τα παιχνίδια ή για διακομιστές που απαντούν σε σύντομα ερωτήματα από μεγάλο όγκο χρηστών - πελατών.
- Χρήση του από πολλά γνωστά πρωτόκολλα όπως είναι τα DNS, VOIP, DHCP, TFTP, SNMP και RIP.
- Μη δυνατότητα προώθησης των πακέτων σε σειρά, αφού όλα είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Εάν απαιτηθεί καθορισμένη σειρά, αυτό πρέπει να διευθετηθεί από το επίπεδο εφαρμογής.
- Ύπαρξη πολύ υψηλών ταχυτήτων επειδή δεν επιχειρείται αποκατάσταση σφαλμάτων.
- Καμία εγγύηση ότι τα μηνύματα ή τα πακέτα που στάλθηκαν θα φτάσουν τελικά στον προορισμό τους.
- Το μέγεθος της κεφαλίδας είναι 8 bytes.
- Τα κοινά πεδία κεφαλίδας που περιέχει είναι τα source port, destination port, και check sum.
- Τα πακέτα στέλνονται μεμονωμένα και ελέγχεται η ακεραιότητά τους μόνο εάν φτάσουν στον προορισμό τους.
- Τα πακέτα έχουν καθορισμένα όρια, δηλαδή μία λειτουργία ανάγνωσης στην υποδοχή του δέκτη θα αποδώσει ένα ολόκληρο μήνυμα όπως είχε αρχικά αποσταλεί.
- Μη ύπαρξη σειράς στα μηνύματα ή συνδέσεων παρακολούθησης.
- Μη ύπαρξη επιλογής για έλεγχο ροής.
- Δυνατότητα ελέγχου σφαλμάτων όπου απλά απορρίπτονται τα εσφαλμένα πακέτα, δηλαδή δεν επιχειρείται προσπάθεια αποκατάστασης σφάλματος.
- Τα πεδία που περιέχει είναι τα ακόλουθα: Length, Source port, Destination port και Check Sum.
- Μη δυνατότητα επιβεβαίωσης ή χειραψίας.

Χρήση του UDP στα MANETs

Η χρήση του UDP σε εφαρμογές video – streaming πραγματικού χρόνου είναι η προφανής επιλογή για την μείωση της καθυστέρησης που μπορεί να προκύψει, δεδομένου ότι τέτοιου είδους εφαρμογές απαιτούν τα πακέτα να στέλνονται όσο πιο γρήγορα γίνεται και να μην μεταδίδονται και αναμεταδίδονται όπως στην περίπτωση

του TCP. Παρόλα αυτά το UDP παρουσιάζει δύο βασικά προβλήματα τα οποία είναι τα ακόλουθα:

- Ύπαρξη πιθανών περιορισμών στη χρήση του εύρους ζώνης διότι η μη ελεγχόμενη μετάδοση των πακέτων βίντεο χωρίς τον απαιτούμενο έλεγχο συμφόρησης ή ροής κίνησης, μπορεί να οδηγήσει σε πολύ υψηλά ποσοστά απώλειας πακέτων.
- Ύπαρξη μεγάλης πιθανότητας να δημιουργηθεί πρόβλημα στις εφαρμογές που βασίζονται στο tel και βρίσκονται στο ίδιο δίκτυο, σε ορισμένες περιπτώσεις όπου «τρέχουν» εφαρμογές TCP και παράλληλα υπάρχει μη ελεγχόμενη μετάδοση πακέτων βίντεο (23) (24).

5. Πολυμεσικές εφαρμογές

Οι πολυμεσικές εφαρμογές στα ad hoc δίκτυα, δηλαδή τα δίκτυα συνεχούς ροής - streaming media - περιλαμβάνουν ήχο, εικόνα και βίντεο. Η μετάδοση πολυμέσων μέσα από τα αδόμητα ασύρματα δίκτυα δεν είναι πάντοτε αποδοτική διότι υπάρχουν ιδιαίτερα υψηλές απαιτήσεις, τόσο όσον αφορά στους πόρους του δικτύου - υψηλό εύρος ζώνης και χαμηλοί χρόνοι καθυστέρησης - όσο και όσον αφορά στην ποιότητα στον τελικό χρήστη. Η μετάδοση των δεδομένων επιτυγχάνεται συνήθως με τη συμπίεση και την κωδικοποίηση των δεδομένων ώστε να φτάσουν στον τελικό χρήστη με την καλύτερη δυνατή ποιότητα.

5.1. Ήχος

Στα δίκτυα ad hoc, η μετάδοση του ήχου πραγματοποιείται μέσω της συμπίεσης διότι διαφορετικά θα απαιτούνταν υπερβολικά υψηλό εύρος ζώνης και θα ήταν σχεδόν αδύνατη η μετάδοσή του. Η συμπίεση αυτή πρέπει να είναι αρκετά υψηλού επιπέδου διότι το ανθρώπινο αυτί μπορεί να αντιληφθεί άμεσα οποιαδήποτε ηχητική παραμόρφωση λόγω της ιδιαίτερης ευαισθησίας του.

Η συμπίεση αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους: την κωδικοποίηση κυματομορφών (waveform coding) και την αντιληπτική κωδικοποίηση (perceptual coding). Η πρώτη κωδικοποίηση χρησιμοποιεί τον μετασχηματισμό Fourier πάνω στο ηχητικό κύμα, ενώ η δεύτερη χρησιμοποιεί τις γνώσεις πάνω στον τρόπο λειτουργίας του ανθρώπινου αυτιού και δίνει την δυνατότητα στον συμπιεσμένο ηχητικό κύμα να ακούγεται ακριβώς ίδιο με το αρχικό κύμα όταν φτάσει στον τελικό χρήστη.

Ένα θέμα που πρέπει να αντιμετωπιστεί στην μετάδοση ήχου είναι ότι υπάρχει συχνά η απαίτηση από τον τελικό χρήστη για αναπαραγωγή μουσικής ακόμα και αν δεν είναι επαρκής ο διαθέσιμος ρυθμός μετάδοσης. Για αυτή την περίπτωση έχουν αναπτυχθεί διάφορα πρωτόκολλα όπως το RTSP (Real Time Streaming Protocol) δηλαδή το πρωτόκολλο συνεχούς ροής πραγματικού χρόνου όπου οι εφαρμογές αναπαραγωγής μέσω των χρησιμοποιούν ένα buffer για τα δεδομένα που λαμβάνονται από τον διακομιστή, δηλαδή τα αποθηκεύουν προσωρινά μέχρι να μπορούν να τα μεταδώσουν.

5.2. Εικόνα

Στη μετάδοση ήχου χρησιμοποιείται το πρότυπο JPEG το οποίο σχεδιάστηκε από την ομάδα Joint Photographic Experts Group σε συνεργασία με την Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU-TS).

Ανάλογα με τις απαιτήσεις που υπάρχουν για την ποιότητα της εικόνας και τον λόγο της συμπίεσης, το αποτέλεσμα μπορεί να διαφέρει όπως ακολούθως:

- 10:1 έως 20:1 – υψηλή ποιότητα
- 30:1 έως 50:1 – μέτρια ποιότητα
- 60:1 έως 100:1 – κακή ποιότητα

Αυτή η μορφή κωδικοποίησης έχει αντιληπτική βάση και στηρίζεται στο ότι το ανθρώπινο μάτι είναι περισσότερο ευαίσθητο στις χρωματικές συνιστώσες μιας εικόνας παρά στη φωτεινότητά της καθώς και στο ότι διαθέτει πεπερασμένη ικανότητα να διακρίνει αλλαγές στη φωτεινότητα.

Αποτελεί συνδυασμό των ακόλουθων τεχνικών συμπίεσης:

- Μετασχηματισμός (DCT)
- Στατιστική (Huffman)
- Προβλεπτική (DPCM)
- Μήκος διαδρομής (RLE)

Η συμπίεση JPEG περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

1. **Προετοιμασία εικόνας - μπλοκ:** Στην διαδικασία αυτή τα διάφορα χρωματικά κανάλια κωδικοποιούνται ως διαφορετικές εικόνες και μετά η κάθε εικόνα χωρίζεται σε μπλοκ που το καθένα είναι 8×8 pixels και μεταδίδονται με πρώτο το πάνω αριστερά και τελευταίο το κάτω δεξιά.
2. **Ευθύς μετασχηματισμός DCT:** Σε κάθε μπλοκ εφαρμόζεται μετασχηματισμός DCT. Πριν την εφαρμογή του DCT αφαιρείται η τιμή 128 από κάθε pixel (άρα τελικά οι τιμές του μπλοκ θα λαμβάνουν τιμές στο διάστημα $[-128 \ 127]$ αντί στο διάστημα $[0 \ 255]$). Ο συντελεστής $F(0,0)$ ονομάζεται DC ενώ οι υπόλοιποι συντελεστές ονομάζονται AC.
3. **Κβαντισμός:** Γίνεται η χρήση πινάκων κβαντισμού οι οποίοι χρησιμοποιούν την ευαισθησία του ματιού σε σχέση με τις διαβαθμίσεις της φωτεινότητας. Στον πίνακα αυτό όσο μικρότερος είναι ο αντίστοιχος συντελεστής τόσο μεγαλύτερη θεωρείται η ικανότητα του ματιού να διακρίνει στη συγκεκριμένη συχνότητα.
4. **Κωδικοποίηση:** Κατά τη κωδικοποίηση συντελούνται τα ακόλουθα στάδια:
 - **Διανυσματοποίηση του μπλοκ** η οποία γίνεται από τους κβαντισμένους συντελεστές με zig - zag scanning.
 - **Διαφορική κωδικοποίηση** των συντελεστών DC γειτονικών μπλοκ.
 - **Κωδικοποίηση μήκους διαδρομής** για τους AC συντελεστές κάθε μπλοκ.
 - **Huffman coding** στα σύμβολα που προέκυψαν από τη διαφορική κωδικοποίηση και την κωδικοποίηση του μήκους διαδρομής.
5. **Δημιουργία πλαισίου:** Στο τελευταίο στάδιο δημιουργείται το πλαίσιο, αρχικά με την προσθήκη της ένδειξης αρχής και τέλους του πλαισίου και στη συνέχεια με την τοποθέτηση των επικεφαλίδων, των περιεχομένων της εικόνας και των δεδομένων του μπλοκ.

Μέθοδοι Κωδικοποίησης JPEG

Η βασική μορφή κωδικοποίησης της JPEG είναι η ακολουθιακή κωδικοποίηση (sequential mode) που εξετάστηκε παραπάνω και η οποία υποστηρίζει άλλες τρεις μορφές κωδικοποίησης:

- **Ιεραρχική κωδικοποίηση (Hierarchical mode):** Στη μέθοδο αυτή η εικόνα αναπαρίσταται σε διάφορες αναλύσεις όπου η καθεμία εξ' αυτών κωδικοποιείται ως το σύνολο των διαφορών της με την αμέσως χαμηλότερη ανάλυση, επομένως δεν έχουμε άσκοπη επανάληψη δεδομένων.
- **Προοδευτική κωδικοποίηση (Progressive mode):** Η κωδικοποίηση αυτή χρησιμοποιείται για τη μετάδοση εικόνων σε πραγματικό χρόνο. Οι συντελεστές DCT του μπλοκ μεταδίδονται με πολλαπλά «περάσματα» της εικόνας, όπου στο καθένα από αυτά η ποιότητα της εικόνας αυξάνεται επομένως ο χρήστης επιλέγει αν θέλει ολοκληρώσει τη λήψη της ή να τη βελτιώσει.
- **Μη απωλεστική κωδικοποίηση (Lossless mode):** Αυτή η κωδικοποίηση δεν περιλαμβάνει κβαντισμό και χρησιμοποιείται σε ιδιαίτερες περιπτώσεις όπου δεν επιτρέπεται η μετάδοση πληροφορίας, όπως στην κωδικοποίηση των ιατρικών εικόνων.

5.3. Βίντεο

Η μετάδοση βίντεο χωρίς προηγουμένως να γίνει η συμπίεσή του είναι μία σχεδόν αδύνατη διαδικασία διότι απαιτεί τεράστιους πόρους και επιβαρύνει κατά πολύ το ασύρματο μέσο μετάδοσης. Όλα τα συστήματα συμπίεσης περιλαμβάνουν δύο αλγόριθμους: έναν κωδικοποιητή στην πηγή και έναν αποκωδικοποιητή στον προορισμό. Συνήθως η κωδικοποίηση είναι πολύ πιο χρονοβόρα και περίπλοκη από την αποκωδικοποίηση εφόσον αποσκοπεί στην γρήγορη αποκωδικοποίηση όταν φτάσει στον τελικό χρήστη. Υπάρχουν και κάποια συστήματα συμπίεσης όπου η κωδικοποίηση συντελείται άμεσα, συνήθως σε πολυμέσα πραγματικού χρόνου.

Συχνά το βίντεο που αποκωδικοποιείται δεν είναι ακριβώς ίδιο με το αρχικό βίντεο και ένα τέτοιο σύστημα συμπίεσης είναι απωλεστικό. Στην περίπτωση όμως που το τελικό βίντεο είναι ακριβώς ίδιο με το αρχικό το σύστημα συμπίεσης είναι μη απωλεστικό.

Η κωδικοποίηση που χρησιμοποιείται στα βίντεο είναι η MPEG (Moving Pictures Experts Group). Η κωδικοποίηση αυτή χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο κωδικοποίησης που χρησιμοποιείται για την εικόνα δηλαδή τον JPEG (Joint Photographic Experts Group). Τον αλγόριθμο αυτό τον εφαρμόζει για κάθε καρέ και προσθέτει κάποια επιπλέον χαρακτηριστικά για την κίνηση μεταξύ των καρέ που μεταδίδονται.

Η κωδικοποίηση MPEG - 4 καθορίζεται από το ISO / IEC Moving Picture Experts Group και αποτελεί πρότυπο για την συμπίεση και την αποσυμπίεση του βίντεο.

Οι κύριες τεχνολογίες που περιλαμβάνει είναι οι ακόλουθες:

- Παροχή Ψηφιακής διαχείρισης δικαιωμάτων (IPMP).
- Δυνατότητα μετατροπής των δεδομένων MPEG - 4 σε άλλους τύπους σημάτων που είναι συμβατοί με οποιοδήποτε διαθέσιμο δίκτυο.

- Δυνατότητα για τους τελικούς χρήστες για αλληλεπίδραση με διάφορα κινούμενα αντικείμενα.
- Δυνατότητα δημιουργίας πολυμεσικών αντικειμένων από τους προγραμματιστές, τα οποία θα διαθέτουν καλύτερη ποιότητα και θα είναι πιο εύχρηστα και ευέλικτα.

Επιπλέον το MPEG - 4 παρέχει χρονική και χωρική κλιμακωσιμότητα. Ο πρώτος όρος σημαίνει ότι όταν διαχωρίζεται το βασικό επίπεδο μιας ροής από τα επίπεδα βελτίωσης, θα είναι και πάλι σε θέση να αποκωδικοποιηθεί. Με τον δεύτερο όρο ορίζεται ότι η ροή μπορεί να περιλαμβάνει πολλά επίπεδα όπου το καθένα από αυτά θα αντιστοιχεί σε μια υποστηριζόμενη ανάλυση.

Τέλος το MPEG - 4 διαθέτει και τη δυνατότητα οπτικοακουστικής αλληλεπίδρασης με τη μεριά του δέκτη.

Τύποι πλαισίων

Στη διαδικασία συμπίεσης του βίντεο, το κάθε πλαίσιο φτάνει στον χρήστη μέσω των GoP (Group of Pictures). Ένα πλαίσιο είναι μια πλήρης εικόνα που αποτυπώνεται κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος. Κάποια πλαίσια χρησιμοποιούνται ως σημείο αναφοράς για την πρόβλεψη των άλλων πλαισίων και αναφέρονται και ως πλαίσια αναφοράς. Το πλαίσιο συμπιέζεται με τη χρήση διαφόρων αλγορίθμων όπου ο καθένας από αυτούς παρουσιάζει διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η βασική διαφορά αυτών των αλγορίθμων έγκειται στο ποσό της συμπίεσης των δεδομένων και ονομάζονται τύποι πλαισίων ή τύποι εικόνας.

Οι τρεις βασικοί τύποι πλαισίων που χρησιμοποιούνται είναι οι ακόλουθοι:

- **I - Πλαίσια:** Τα πλαίσια αυτά είναι τα λιγότερο συμπιεσμένα και δεν απαιτούν άλλα πλαίσια για την αποκωδικοποίηση.
- **P - Πλαίσια:** Τα πλαίσια αυτά είναι μικρότερα από τα I - Πλαίσια και έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιούν δεδομένα από άλλα πλαίσια αναφοράς.
- **B - Πλαίσια:** Τα B - πλαίσια μπορούν να χρησιμοποιούν δεδομένα τόσο από τα I - πλαίσια όσο και από τα P - πλαίσια. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιούν μελλοντικά πλαίσια ως πλαίσια αναφοράς με σκοπό να αυξηθεί το ποσοστό της συμπίεσης δεδομένων (25).

5.5. Τεχνικές υλοποίησης στα MANETs

Οι πρώτες εμπορικές εφαρμογές της ad hoc τεχνολογίας που έκαναν την εμφάνισή τους το 1990, επέτρεπαν στις συσκευές του δικτύου να δημιουργήσουν ένα αδόμητο δίκτυο μονού άλματος, η οποία αποτελεί την απλούστερη μορφή αυτού του είδους δικτύων διασυνδέοντας συσκευές που είναι στο ίδιο εύρος μετάδοσης. Ωστόσο, σύντομα προέκυψε το μοντέλο δικτύου πολλαπλών αλμάτων, δηλαδή τα MANETs, που επέκτεινε τη δυνατότητα ανταλλαγής πληροφοριών με οποιοδήποτε ασύρματο κόμβο χωρίς την ανάγκη ανάπτυξης της οποιασδήποτε υποδομής δικτύου. Στα δίκτυα αυτά, οι συσκευές επικοινωνούν απευθείας – ρυθμίζοντας τις ασύρματες διεπαφές των συσκευών τους σε λειτουργία ad hoc, όχι μόνο για να ανταλλάσσουν

πληροφορίες μεταξύ τους αλλά και για να καθυστερούν την κίνηση άλλων κόμβων που δεν μπορούν να επικοινωνήσουν απευθείας. Για το λόγο αυτό, οι συσκευές πρέπει να παρέχουν συνεργατικά τις λειτουργίες που παρέχονται συνήθως από την υποδομή του δικτύου όπως είναι οι διακομιστές και οι διακομιστές.

Επιπλέον, ένα τέτοιο δίκτυο δεν λειτουργεί μόνο σε απομονωμένη λειτουργία αλλά μπορεί να συνδεθεί με ένα σενάριο μεγαλύτερου δικτύου. Με την εμφάνιση νεότερων αρχιτεκτονικών δικτύων, εμφανίζονται νέα σενάρια ως εφαρμογές των MANETs όπως είναι οι έξυπνες πόλεις και το IoT. Υπό αυτή την έννοια, τα δίκτυα αυτά καθίστανται αναπόσπαστο κομμάτι των δικτύων επόμενης γενιάς (4G) εξαιτίας της ευελιξίας τους, της ικανότητας αυτό-οργάνωσης, της έλλειψης υποδομών, της ευκολίας συντήρησης, των δυνατοτήτων αυτοδιοίκησης και της αποτελεσματικότητας του κόστους.

Η υποστήριξη πολυμεσικών εφαρμογών στα δίκτυα αυτά και ιδιαίτερα η υποστήριξη βίντεο, παρουσιάζει αρκετές προκλήσεις λόγω της δυσκολίας παροχής συγκεκριμένης ποιότητας στο κοινόχρηστο ασύρματο μέσο αλλά και λόγω της τοπολογίας των MANETs. Αυτά τα ζητήματα επιβάλλουν τη δημιουργία νέων πρωτοκόλλων δρομολόγησης που στόχο έχουν την επίτευξη αποτελεσματικών διαδρομών μεταξύ των κόμβων όπου οι πληροφορίες είναι διαθέσιμες στον κόμβο προορισμού με αξιοπιστία και εντός χρονικού ορίου. Επομένως, τα πρωτόκολλα δρομολόγησης πρέπει να παρουσιάζουν καλή επίδοση από την άποψη του overhead, της συμφόρησης διαδρομής καθώς και της κατανάλωσης του εύρους ζώνης ακόμα και αν παρουσιαστούν αλλαγές στο φορτίο της κυκλοφορίας ή στον αριθμό των κόμβων.

Εκτός από τα πρωτόκολλα δρομολόγησης, η μετάδοση βίντεο μπορεί να βελτιωθεί μέσω τεχνικών διασταυρούμενων επιπέδων, καθώς ορισμένες λειτουργίες δεν μπορούν να αποδοθούν σε ένα μόνο επίπεδο. Τέτοιες πρακτικές λύσεις μπορούν να βελτιώσουν τις επικοινωνίες συλλογής πληροφοριών από διάφορα επίπεδα σχετικά με τη δρομολόγηση ή την κατάσταση του δικτύου, προκειμένου οι εφαρμογές πολυμέσων να μπορέσουν να προσαρμόσουν τους ρυθμούς μετάδοσης ή ακόμα και να ζητήσουν κάποια πακέτα που χάθηκαν πρόσφατα. Αυτό το είδος της τεχνικής θα μπορούσε να είναι πολύ ευέλικτο στη διαχείριση καταστάσεων που αφορούν στη συμφόρηση του δικτύου ή στην σημαντική υποβάθμιση της ποιότητας των βίντεο που προκαλείται από την κινητικότητα των κόμβων.

Επομένως, πάρα την πολυπλοκότητα της παροχής υψηλής ποιότητας υπηρεσιών για πολυμεσικές εφαρμογές στα κινητά αδόμητα δίκτυα, υπάρχουν αρκετές επιλογές που μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα της μετάδοσης που περιλαμβάνουν τη δρομολόγηση, τη μεταφορά και τα επίπεδα εφαρμογής. Παρακάτω παρουσιάζονται τρεις βασικές μέθοδοι με τις οποίες μπορεί να βελτιωθεί η ποιότητα της μετάδοσης των πολυμεσικών εφαρμογών στα MANETs.

5.5.1. Ιεραρχική δρομολόγηση

Η ιεραρχική δρομολόγηση παρουσιάστηκε ως ένας τρόπος οργάνωσης μεγάλων ad hoc δικτύων σε ομάδες (clusters), με στόχο τη βελτίωση της αποδοτικότητας του δικτύου. Αν και ο μηχανισμός ομαδοποίησης πιθανώς θα οδηγήσει σε αύξηση στον έλεγχο της κυκλοφορίας και την πολυπλοκότητα, τα πρωτόκολλα δρομολόγησης

μπορούν να επωφεληθούν από τις ιεραρχικές δομές έτσι ώστε η δρομολόγηση πλημμύρας (flooding), ιδιαίτερα στα proactive πρωτόκολλα, μπορεί να περιοριστεί μέσα σε ομάδες και οι κόμβοι μπορούν να διευθετηθούν σε εικονικές ομάδες για τη βελτιστοποίηση των επικοινωνιών και την μείωση των παρεμβολών. Επομένως, το δίκτυο που θα προκύπτει θα μπορεί να κλιμακωθεί καλά όσο μεγαλώνει το δίκτυο.

Σε ένα ιεραρχικό περιβάλλον η ποιότητα της υπηρεσίας μπορεί να επιτευχθεί σε δύο επίπεδα, στο επίπεδο εντός ομάδας (intra cluster) και στο επίπεδο μεταξύ των ομάδων(inter cluster):

- **Intra Cluster:** Στη περίπτωση αυτή αναφερόμαστε σε μηχανισμούς που λειτουργούν μέσα στην ίδια ομάδα σαν να ήταν ολόκληρο δίκτυο. Υπάρχει η δυνατότητα προσθήκης πληροφοριών σχετικά με τη καθυστέρηση κάθε κόμβου καθώς και τη κατανάλωση του εύρους ζώνης
- **Inter Cluster:** Σε αυτή την περίπτωση αναφερόμαστε σε μηχανισμούς που αφορούν παραπάνω από μία ομάδες. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου μηχανισμού είναι η περίπτωση όπου κάθε κεφαλή της ομάδας λαμβάνει μία εκτίμηση των απωλειών του καναλιού εξόδου προς τις άλλες ομάδες και μετέπειτα του δίνεται η δυνατότητα να συμπεριλάβει άλλη διαδρομή σε κάποια άλλη ομάδα, προκειμένου να εξισορροπήσει τον φόρτο κυκλοφορίας όταν οι απώλειες θα έχουν ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο όριο.

Από την άλλη πλευρά, η κινητικότητα των κόμβων καθιστά δύσκολη τη δημιουργία και διατήρηση διαδρομών στα ad hoc δίκτυα. Οι ευκαιριακές στρατηγικές καθώς και οι μηχανισμοί ARQ παρέχουν οφέλη στην απόδοση και βελτιώνουν την ποιότητα υπηρεσιών (QoS) στη μετάδοση βίντεο παρέχοντας στον χρήστη υψηλότερη QoE. Επομένως προτείνεται η τεχνική διασταυρούμενων επιπέδων που χρησιμοποιεί πληροφορίες από τα επίπεδα MAC, δρομολόγησης και εφαρμογής, προκειμένου να αυξηθεί το συνολικό ποσοστό παράδοσης πακέτων και στη περίπτωση μετάδοσης βίντεο, προκειμένου να μειωθούν οι απώλειες πλαισίων και επομένως να αποφευχθούν οι διακοπές στην αναπαραγωγή. Αυτό το είδος δρομολόγησης βασίζεται στο γεγονός ότι οι γειτονικοί κόμβοι του κόμβου προορισμού μπορούν να βοηθήσουν στην ανάκτηση χαμένων πακέτων στη περίπτωση αλλαγής μια διαδρομής. Στη μέθοδο αυτή οι γειτονικοί κόμβοι μπορούν να «ακούσουν» τα πακέτα που στέλνονται στη ακτίνα μετάδοσής τους, ακόμα και αν αυτά τα πακέτα δεν στέλνονται σε αυτούς. Αυτή η μέθοδος ονομάζεται Wireless Broadcast Advantage (WBA). Αυτή η δυνατότητα από το στρώμα σύνδεσης μπορεί να βοηθήσει το πρωτόκολλο δρομολόγησης να βελτιώσει την απόδοση του δικτύου καθώς και την συνδεσιμότητα. Οι γειτονικοί κόμβοι μπορούν να αποθηκεύσουν προσωρινά τα πακέτα βίντεο που πιθανώς θα είναι χρήσιμα για τον κόμβο προορισμό σε περίπτωση που μετακινηθεί εκτός εμβέλειας και αλλάξει η καθορισμένη διαδρομή μετάδοσης των πακέτων. Αν συμβεί αυτό, οι γειτονικοί κόμβοι θα διαβιβάσουν στον κόμβο προορισμό τα πακέτα που χάθηκαν κατά τη διάρκεια της μετάδοσης.

5.5.2. Πρωτόκολλο RTP

Το πρωτόκολλο RTP (Realtime Transport Protocol) δημιουργήθηκε με στόχο τη μεταφορά δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Το πρωτόκολλο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για μονόδρομη επικοινωνία όπως είναι οι εφαρμογές βίντεο κατά απαίτηση, είτε για αμφίδρομη επικοινωνία όπως είναι οι τηλεδιασκέψεις.

Το πρωτόκολλο αυτό βρίσκεται στο επίπεδο εφαρμογής του μοντέλου OSI και συνήθως λειτουργεί πάνω από το πρωτόκολλο UDP, προσφέροντας έτσι καλύτερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Προσφέρει υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων και μπορεί να παραμετροποιηθεί εύκολα, μέσω διαδικασιών μεταβολής στη μορφή της κεφαλίδας. Στα μειονεκτήματά του είναι ότι δεν παρέχει κάποιο μηχανισμό που να εξασφαλίζει την επιτυχή μεταφορά των δεδομένων αλλά ούτε και κάποια εγγύηση για την ποιότητα της μετάδοσης.

Η βασική λειτουργία αυτού του πρωτοκόλλου στηρίζεται στους δύο ακόλουθους μηχανισμούς:

- **Μηχανισμός χρονοσήμανσης (Timestamping):** Ο μηχανισμός αυτός παρέχει πληροφορίες συγχρονισμού που αφορούν στις εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Ο κόμβος πηγή τοποθετεί στο πακέτο που πρόκειται να στείλει μία χρονοσήμανση, την οποία χρησιμοποιεί ο κόμβος προορισμός προκειμένου να παρουσιάσει τα δεδομένα στο σωστό χρόνο. Η χρονοσήμανση παρέχει σήματα χρονοισμού ώστε οι παραλήπτες να έχουν τη δυνατότητα να ανακατασκευάσουν τα δεδομένα που έλαβαν σύμφωνα με τον επιθυμητό τρόπο. Τέλος, ο μηχανισμός αυτός προσφέρει υπηρεσίες συγχρονισμού διαφορετικών ροών δεδομένων όπως είναι ο ήχος και το βίντεο.
- **Μηχανισμός σειριακής αρίθμησης των πακέτων (Sequence numbering):** Ο μηχανισμός αυτός απαιτείται λόγω της χρήσης του πρωτοκόλλου UDP με το οποίο δεν παρέχεται εξασφάλιση της σωστής σειράς παράδοσης των πακέτων. Με τη σειριακή αρίθμηση τα πακέτα αριθμούνται προτού αποσταλούν και επομένως μόλις τα λάβει ο κόμβος προορισμός μπορεί να τα τοποθετήσει στη σωστή σειρά. Επιπλέον, ο μηχανισμός αυτός βοηθάει στην ανίχνευση των απωλειών των πακέτων, δηλαδή την ανίχνευση της περίπτωσης όπου κάποιο πακέτο δεν έχει παραληφθεί, εφόσον έχει ληφθεί το αμέσως επόμενο.

5.5.3. MDC και FEC

Στο επίπεδο εφαρμογής έχουν προταθεί αρκετές λύσεις προκειμένου οι εφαρμογές να προσαρμόζονται στον εκάστοτε τύπο απωλειών όπως είναι η συμφόρηση ή η διακοπή μιας σύνδεσης λόγω αλλαγής στην τοπολογία του δικτύου. Τέτοιες λύσεις αποτελούν δύο τεχνικές κωδικοποίησης βίντεο που είναι η Multiple Description Coding (MDC) και η Forward Error Correction (FEC).

- **MDC:** Η τεχνική αυτή ενισχύει την ανθεκτικότητα στα σφάλματα ενός συστήματος απεικόνισης βίντεο μέσω της παροχής πολλαπλών ροών βίντεο

με πλεοναστικές και βελτιωτικές πληροφορίες. Αυτή η τεχνική είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε μεταδόσεις πολλαπλών σημείων προς σημείο λόγω του διαχωρισμού των διαδρομών των πακέτων. Αυτό το σύστημα καθιστά τις απώλειες πακέτων πιο ανεξάρτητες και παράλληλα αυξάνει την πιθανότητα παράδοσης πακέτων. Ως θετική συνέπεια της χρήσης αυτής της τεχνικής, οι κινητές συσκευές με μειωμένες ικανότητες επεξεργασίας μπορούν να ζητήσουν μόνο μία περιγραφή (description) προκειμένου να τρέξουν τη ροή σε χαμηλότερο ρυθμό. Επιπλέον, οι συσκευές με περιορισμένο εύρος ζώνης μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτή τη μέθοδο για να αποφύγουν τη συμφόρηση.

- **FEC:** Ένας ακόμα ενδιαφέρον μηχανισμός που χρησιμοποιείται για να ελαχιστοποιήσει την απροβλεπτότητα της απώλειας των πακέτων είναι ο FEC. Σε αυτή την τεχνική προστίθενται πλεονάζοντα δεδομένα στο ήδη συμπιεσμένο σήμα, γεγονός που επιτρέπει στον δέκτη να διορθώσει ορισμένα σφάλματα χωρίς την ανάγκη αναμετάδοσης των πακέτων. Ωστόσο αυτός ο πλεονασμός δεδομένων αυξάνει τον συνολικό όγκο των δυαδικών ψηφίων που απαιτούνται για τη μετάδοση κάποιου συγκεκριμένου περιεχομένου και επομένως μειώνεται η απόδοση της συμπίεσης. Επιπλέον το FEC εισάγει traffic overhead, το οποίο είναι ένα ακόμα ζήτημα που πρέπει να ληφθεί υπόψη. Ο βαθμός προστασίας που παρέχεται από την τεχνική αυτή, εξαρτάται από το ποσό του πλεονασμού που θα προστεθεί στα δεδομένα που πρόκειται να μεταδοθούν. Όσο υψηλότερο είναι το ποσοστό πλεονασμού, τόσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση ενάντια στις απώλειες (26).

5.5.4. Δρομολόγηση QoS

Η μετάδοση βίντεο μπορεί να βελτιωθεί μέσω πρόσθετων μηχανισμών και τεχνικών διασταυρούμενων επιπέδων στα πρωτόκολλα δρομολόγησης προκειμένου να λυθούν ή να μετριαστούν οι περιορισμοί στα MANETs. Η μετάδοση ευαίσθητων δεδομένων σε αυτά τα δίκτυα απαιτεί την υποστήριξη ενός μηχανισμού QoS, ο οποίος δεν θα διαχωρίζει τη δρομολόγηση από τη διαχείριση QoS, καθώς αυτό το γεγονός θα μπορούσε να οδηγήσει να στην επιλογή αναποτελεσματικών διαδρομών και συνεπώς θα μείωνε την πιθανότητα ικανοποίησης των απαιτήσεων ποιότητας υπηρεσιών των επικοινωνιών σε ένα κινητό αδόμητο δίκτυο.

Ένα σημαντικό πρωτόκολλο δρομολόγησης που περιλαμβάνει παροχή ποιότητας υπηρεσιών αποτελεί το πρωτόκολλο AQA - AODV (Adaptive QoS - Aware Ad hoc On - Demand Distance Vector). Το πρωτόκολλο αυτό είναι βασισμένο στο AODV αλλά περιλαμβάνει τρία επιπλέον χαρακτηριστικά:

- Έναν αλγόριθμο που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης και επιτρέπει στους κόμβους να γνωρίζουν τους διαθέσιμους πόρους τους αναφορικά με το εύρος ζώνης. Η πληροφόρηση αυτή χρησιμοποιείται από την εκάστοτε εφαρμογή βίντεο για να τροποποιήσει μία παράμετρο κωδικοποίησης προκειμένου να συνθέσει μία ροή βίντεο που μπορεί να υποστηριχθεί από το δίκτυο.

- Έναν μηχανισμό διασταυρούμενων επιπέδων για την ενημέρωση του στρώματος εφαρμογής σχετικά με το διαθέσιμο εύρος ζώνης, με την οποία ο κόμβος πηγή μπορεί να προσαρμόσει εύκολα του ρυθμό μετάδοσης.
- Ένα νέο μηχανισμό ανάκτησης διαδρομής που είναι υπεύθυνος για την αποκατάσταση των συνδέσεων μετά από κάποια αποτυχία σύνδεσης καθώς και για την υλοποίηση ενός πίνακα προσωρινής μνήμης που αποθηκεύει τις πληροφορίες σχετικά με τις καθορισμένες συνδέσεις και τις απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσιών που διαθέτει η καθεμία (27).

6. Ανάλυση πειραμάτων

6.1. Μοντέλα προσομοίωσης

Τα κινητά αδόμητα δίκτυα (MANETs) είναι δυναμικά δίκτυα που αποτελούνται από κινητούς κόμβους οι οποίοι μπορούν να ανταλλάσσουν μηνύματα μεταξύ τους με την προϋπόθεση ότι βρίσκονται εντός μιας συγκεκριμένης εμβέλειας μετάδοσης. Αυτοί οι κόμβοι που βρίσκονται σε μια τέτοια εμβέλεια ονομάζονται γειτονικοί κόμβοι ή γείτονες. Ως γειτονιά ορίζεται κάθε ομάδα κόμβων η οποία έχει το χαρακτηριστικό ότι όλοι οι κόμβοι αυτής της ομάδας είναι γείτονες μεταξύ τους. Τέτοιοι κόμβοι είναι συνήθως οι φορητοί υπολογιστές, τα PDAs ή τα κινητά τηλέφωνα. Αυτές οι συσκευές διαθέτουν διεπαφές δικτύου Bluetooth ή / και IEEE 802.11 (WiFi) και επικοινωνούν μεταξύ τους με αποκεντρωμένο τρόπο. Η κινητικότητα αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό των MANETs. Λόγω του γεγονότος ότι δεν υπάρχει συντονισμός και διαμόρφωση πριν από την εγκατάσταση ενός MANET, υπάρχουν πολλές προκλήσεις στις διαδικασίες αυτές.

Εξαιτίας λοιπόν του υψηλού κόστους και της έλλειψης ευελιξίας αυτών των δικτύων, ο πειραματισμός επιτυγχάνεται συνήθως μέσω της προσομοίωσης. Υπάρχουν πολλά εργαλεία για την προσομοίωση των δικτύων MANETs, συμπεριλαμβανομένων των ns-2, ns-3, OMNET++ και GlomoSim, η βασική περιγραφή των οποίων είναι η εξής:

Ns-2: Ο προσομοιωτής δικτύου ns-2 (Network simulator - 2) πρωτοεμφανίστηκε τον Νοέμβριο του 1996 και είναι ένας προσομοιωτής δικτύου διακριτών συμβάντων ανοιχτού κώδικα (open source). Χρησιμοποιείται για την προσομοίωση πρωτοκόλλων δικτύου με διαφορετικές τοπολογίες δικτύου και είναι ικανό να προσομοιώνει τόσο ενσύρματα όσο και ασύρματα δίκτυα όπως είναι τα ασύρματα LAN και τα MANETs. Ο ns-2 στηρίχτηκε στη γλώσσα C++ και παρέχει τη διεπαφή διαμόρφωσης μέσω της OTcl δηλαδή της αντικειμενοστραφούς διαλέκτου της γλώσσας Tcl. Ο χρήστης περιγράφει την τοπολογία του δικτύου γράφοντας πρόγραμμα στην γλώσσα OTcl, και το κύριο πρόγραμμα ns-2 προσομοιώνει αυτή την τοπολογία με συγκεκριμένες παραμέτρους. Επίσης ο προσομοιωτής αυτός περιλαμβάνει έναν network animator (NAM) ο οποίος χρησιμοποιείται για την γραφική αναπαράσταση και προβολή του δικτύου. Ο προσομοιωτής ns-2 είναι ο πιο κοινός και ευρέως χρησιμοποιούμενος προσομοιωτής για ερευνητική εργασία. Η διεπαφή NAM περιέχει χαρακτηριστικά ελέγχου που επιτρέπουν τους χρήστες να «τρέξουν» την προσομοίωση, να την σταματήσουν ή να κάνουν μια μικρή παύση. Στον προσομοιωτή αυτό, οι αυθαίρετες τοπολογίες δικτύου μπορούν να καθοριστούν προσδιορίζοντας τους δρομολογητές, τις συνδέσεις και τα κοινόχρηστα μέσα. Οι φυσικές δραστηριότητες του δικτύου είναι υπό επεξεργασία και περιμένουν στην ουρά υπό τη μορφή γεγονότων σε προγραμματισμένη σειρά. Αυτά τα γεγονότα επεξεργάζονται σύμφωνα με την καθορισμένη ώρα που τροποποιείται παράλληλα με την επεξεργασία των γεγονότων. Παρόλα αυτά η προσομοίωση δεν είναι πραγματικού χρόνου και θεωρείται εικονική.

Ns-3: Ο σχεδιασμός του προσομοιωτή δικτύου ns-3 (Network simulator - 3) ξεκίνησε στα μέσα του 2006 και βρίσκεται ακόμα υπό ανάπτυξη. Όπως και ο ns-2, ο ns-3 είναι προσομοιωτής διακριτών συμβάντων ανοιχτού κώδικα. Ο προσομοιωτής αυτός

θεωρείται ως αντικαταστάτης του ns-2 και όχι ως επέκτασή του. Δεν περιέχει API OTcl και είναι βασισμένο σε δύο γλώσσες προγραμματισμού, την C++ και την Python. Οι υλοποιήσεις των προσομοιώσεων δικτύου μπορούν να γραφτούν καθαρά σε C++ ενώ παράλληλα κάποια κομμάτια μπορούν να γραφτούν και σε Python. Υποστηρίζει τόσο την προσομοίωση όσο και την εξομοίωση χρησιμοποιώντας sockets. Για τη ανάλυση της κυκλοφορίας του δικτύου χρησιμοποιούνται εξειδικευμένα εργαλεία όπως το Wireshark που διαβάζει αρχεία ανίχνευσης. Το ns-3 παρέχει ένα ρεαλιστικό περιβάλλον και ο κώδικάς του είναι καλά οργανωμένος.

OMNET++: Ο OMNET++ είναι διαθέσιμος στο κοινό από τον Σεπτέμβριο του 1997 και σήμερα έχει έναν μεγάλο αριθμό χρηστών. Σε αντίθεση με τους προσομοιωτές ns-2 και ns-3, δεν είναι σχεδιασμένος μόνο για προσομοιώσεις δικτύων αλλά και για μοντελοποίηση πολυεπεξεργαστών, διανεμημένων συστημάτων λογισμικού και αξιολόγησης της απόδοσης σύνθετων συστημάτων λογισμικού. Ωστόσο, συνήθως χρησιμοποιείται μόνο για προσομοιώσεις δικτύων υπολογιστών. Ο OMNET++ είναι προσομοιωτής διακριτών συμβάντων, περιλαμβάνει ένα ανοιχτό πλαίσιο αρχιτεκτονικής δικτύου και είναι component - based. Το κίνητρο πίσω από την ανάπτυξη του OMNET++ ήταν να δημιουργηθεί ένα δυνατό εργαλείο προσομοίωσης ανοιχτού κώδικα διακριτών συμβάντων που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από ακαδημαϊκούς, εκπαιδευτικούς και ερευνητές για την προσομοίωση δικτύων υπολογιστών κατανεμημένων και παράλληλων συστημάτων. Οι διανομές του OMNET++ είναι διαθέσιμες και στα δύο συστήματα Windows και UNIX. Σχεδιάστηκε με βάση την προσέγγιση που είναι προσανατολισμένη στο component (component - based) και προωθεί τα δομημένα και επαναχρησιμοποιούμενα μοντέλα. Επιπλέον, περιλαμβάνει μία εκτεταμένη γραφική διεπαφή χρήστη (GUI) και υποστήριξη πληροφοριών.

GlomoSiM: Ο GlomoSiM (Global Mobile Information System Simulator) είναι ένα περιβάλλον προσομοίωσης που χρησιμοποιείται για ασύρματα δίκτυα μεγάλης κλίμακας. Συγκεκριμένα χρησιμοποιεί παράλληλη προσομοίωση διακριτών συμβάντων που βασίζεται στη γλώσσα Parsec. Επιπλέον χρησιμοποιεί και τον μεταγλωττιστή Parsec με σκοπό να μεταγλωττίσει την προσομοίωση των πρωτοκόλλων. Ο GlomoSiM είναι ικανός να προσομοιώσει ένα δίκτυο που περιέχει χιλιάδες κόμβους και ετερογενείς επικοινωνιακές συνδέσεις και επίσης υποστηρίζει την άμεση δορυφορική επικοινωνία, την επικοινωνία πολλαπλών ασύρματων κόμβων και τα περισσότερα από τα παραδοσιακά πρωτόκολλα ίντερνετ. Σχεδιάστηκε ως ένα σύνολο ενοτήτων βιβλιοθήκης, το καθένα από τα οποία προσομοιώνει ένα συγκεκριμένο ασύρματο πρωτόκολλο επικοινωνίας από τη στοίβα πρωτοκόλλων. Είναι επομένως ένας προσομοιωτής βασισμένος σε βιβλιοθήκες που επιτρέπει παράλληλες και διαδοχικές ενέργειες και αποτελεί την ιδανική επιλογή για τα ασύρματα δίκτυα.

Η μελέτη λοιπόν και η δοκιμή νέων πρωτοκόλλων στα αδόμητα δίκτυα γίνεται με τη χρήση μοντέλων εξομοιωτών που αναπαριστούν ένα πραγματικό δίκτυο και τον τρόπο που αυτό λειτουργεί με πολύ μεγάλη ακρίβεια.

6.1.1. NS-2

Η διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του εξομοιωτή ns-2. Ο προσομοιωτής αυτός παρουσιάζει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Πλεονεκτήματα

- Μη υψηλό κόστος και μη απαίτηση ακριβού εξοπλισμού.
- Δυνατότητα ελεύθερης διανομής του.
- Ανοικτού κώδικα.
- Δυνατότητα προσομοίωσης και ελέγχου πολύ περίπλοκων σεναρίων.
- Γρήγορη δυνατότητα απόκτησης των αποτελεσμάτων που ζητάει ο χρήστης και δυνατότητα δοκιμής ακόμα περισσότερων ιδεών σε ακόμα μικρότερο χρονικό πλαίσιο.
- Υποστήριξη πολύ μεγάλου αριθμού πρωτοκόλλων και πλατφόρμων.
- Προσφορά πολλών επιλογών διαμόρφωσης της προσομοίωσης.
- Προσομοιωτής ιδιαίτερης δημοφιλίας.
- Δυνατότητα εκ των προτέρων εντοπισμού σφαλμάτων στο στάδιο σχεδιασμού της προσομοίωσης.
- Δυνατότητα χρήσης υπεραναλυτικών και αριθμητικών τεχνικών.

Μειονεκτήματα

- Δυσκολία μοντελοποίησης του πραγματικού συστήματος λόγω της ιδιαίτερα περίπλοκης δομής του.
- Συχνά αναξιόπιστος εντοπισμός σφαλμάτων
- Απαίτηση από τα συστήματα μεγάλης κλίμακας για αρκετούς πόρους για διαμόρφωση.
- Αργό και επομένως υπολογιστικά ακριβό από την άποψη ότι ένα λεπτό πραγματικού χρόνου μπορεί να αντιστοιχεί σε αρκετές ώρες προσομοίωσης.
- Δυσκολία καθορισμού του σωστού επιπέδου της πολυπλοκότητας του μοντέλου από σχεδιαστικής άποψης.
- Στατιστική αβεβαιότητα για τα αποτελέσματά του.
- Η δομή του είναι ανοικτού κώδικα και επομένως το documentation που παρέχεται δεν είναι πάντα ανανεωμένο ή ίσως είναι και περιορισμένο σε σχέση με την τρέχουσα έκδοση του προσομοιωτή.
- Δυσκολία στο debugging.
- Μεγάλες απαιτήσεις σε μνήμη και αποθηκευτικό χώρο για τα αρχεία εξόδου.
- Πιθανή ύπαρξη ασυνεπειών στον κώδικα, ανάλογα με την έκδοση του προσομοιωτή

Η τρέχουσα έκδοση του προσομοιωτή ns-2 που επιλέχθηκε είναι η ns.2.35 (28) (29).

6.2. Περιβάλλον Προσομοίωσης

Το περιβάλλον στο οποίο πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση των πειραμάτων που παρουσιάζονται στα επόμενα κεφάλαια αναλύεται στην παρούσα ενότητα.

6.2.1. Εγκατάσταση περιβάλλοντος προσομοίωσης

Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον windows 7 στα 32 bits. Οι τελευταίες εκδόσεις του επιλεγμένου προσομοιωτή ns-2 εκτελούνται μόνο σε περιβάλλον Linux. Για αυτό το λόγο η εγκατάστασή του στα windows απαιτεί ένα επιπλέον λογισμικό που θα μας παρέχει το απαιτούμενο περιβάλλον Linux.

Το λογισμικό που επιλέχθηκε είναι το Cygwin και η λήψη του πραγματοποιήθηκε στον ακόλουθο σύνδεσμο: <https://cygwin.com/install.html>

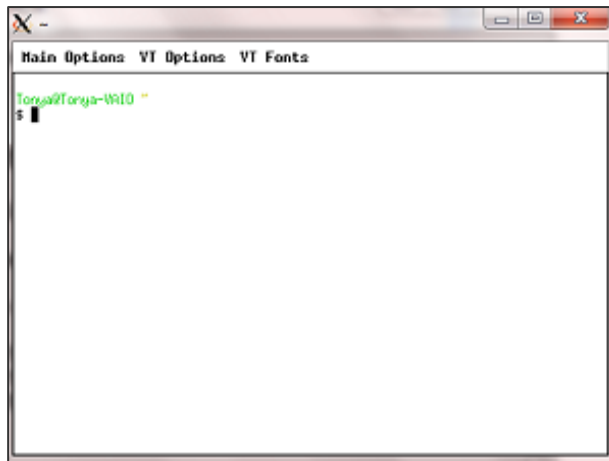
Αμέσως μετά τη λήψη του λογισμικού, πραγματοποιούμε την εγκατάστασή του, κατά τη διάρκεια της οποίας λαμβάνουμε και εγκαθιστούμε τον προσομοιωτή ns-2.

Μετά την ολοκλήρωση της εγκατάστασης και των 2 προγραμμάτων, ακολουθούμε την ακόλουθη διαδικασία:

- Πραγματοποίηση εκκίνησης του λογισμικού Cygwin. Στην οθόνη εμφανίζεται το όνομα χρήστη δίπλα στο όνομα του υπολογιστή με την ακόλουθη μορφή:
όνομα_χρήστη@όνομα_υπολογιστή
Στη παρούσα περίπτωση εμφανίζεται η γραμμή: Tonya@Tonya-Vaio όπου όνομα_χρήστη: Tonya και όνομα_υπολογιστή: Tonya-Vaio.
- Δημιουργία του φακέλου **home** στο ακόλουθο μονοπάτι στον τοπικό δίσκο C του υπολογιστή μας: *C:\cygwin\home*
- Δημιουργία του φακέλου **Tonya** (το όνομα χρήστη) στο ακόλουθο μονοπάτι μέσα στο φάκελο home: *C:\cygwin\home\Tonya*.
- Στο περιβάλλον Cygwin πληκτρολογείται η εντολή: *source .bashrc* με στόχο την ενεργοποίηση του νέου μονοπατιού που δημιουργήθηκε στα προηγούμενα βήματα, μέσω του οποίου θα «τρέχουν» τα tcl αρχεία.

Η πραγματοποίηση της έναρξης του προσομοιωτή ns-2, απαιτεί την εκτέλεση κάθε φορά των δύο ακόλουθων βημάτων:

- Στο περιβάλλον Cygwin πληκτρολογείται ο ακόλουθος κώδικας: *startxwin* και αναδύεται το παράθυρο 1:



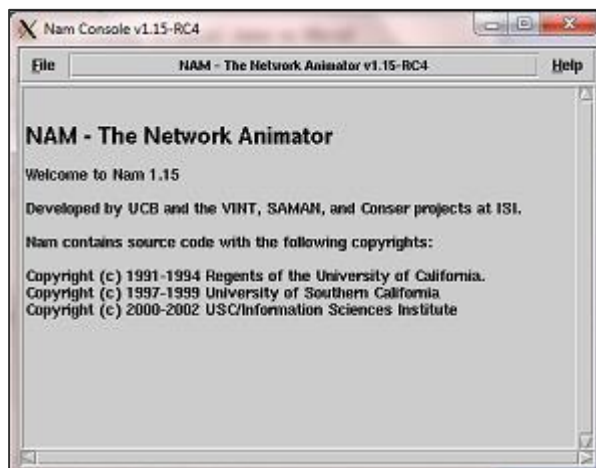
Παράθυρο 1

- Στη συνέχεια πληκτρολογείται κώδικας της ακόλουθης μορφής: *ns file.tcl*, όπου το *file.tcl* αποτελεί το αρχείο που είναι γραμμένο σε κώδικα tcl και αποθηκευμένο στο μονοπάτι *C:\cygwin\home\Tonya*. Κατά την εκτέλεση αυτού του κώδικα θα ανοίξει το περιβάλλον προσομοίωσης ns-2 και θα δημιουργηθούν τα δύο αρχεία *file.nam* και *file.tr* (τα οποία βέβαια πρέπει να έχουν οριστεί με αυτή την ονομασία μέσα στο αρχείο tcl, ή και με κάποια άλλη ονομασία της επιλογής μας). Το αρχείο *file.nam* είναι το αρχείο ίχνους του NAM ενώ το αρχείο *file.tr* είναι το αρχείο ίχνους του ns-2 (30).

6.2.2. NAM

Ο NAM (Network Emulator) είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται για τη γραφική απεικόνιση της τοπολογίας των αρχείων που είναι γραμμένα στη γλώσσα tcl. Είναι γραμμένο στη γλώσσα Tcl / TK και χρησιμοποιεί τις πληροφορίες ίχνους του αρχείου nam του αντίστοιχου αρχείου tcl, προκειμένου να αναπαραστήσει γραφικά την αιτούμενη προσομοίωση. Υποστηρίζει διάταξη τοπολογίας, κινούμενη εικόνα των πακέτων, καθώς και διάφορα εργαλεία ελέγχου των δεδομένων.

Το παράθυρο 2 που παρουσιάζεται παρακάτω απεικονίζει την μορφή του εργαλείου NAM.



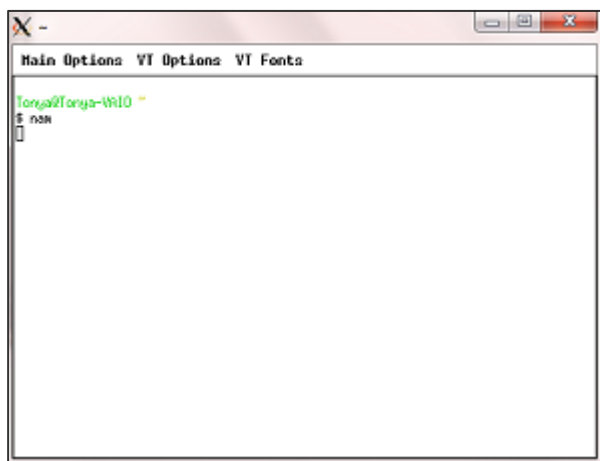
Παράθυρο 2

Πάνω αριστερά υπάρχει η επιλογή File που περιλαμβάνει ένα μενού με τις ακόλουθες επιλογές που παρέχουν καθορισμένες δυνατότητες:

- New Nam Editor: Δημιουργία μιας τοπολογίας της επιλογής του χρήστη με τα διαθέσιμα εργαλεία που προσφέρει το περιβάλλον NAM.
- Open: Μετάβαση από το χρήστη σε κάποιο αρχείο ίχνους NAM από κάποιο μονοπάτι της επιλογής του και στη συνέχεια άνοιγμα αυτού του αρχείου.
- WinList: Άνοιγμα της τρέχουσας ανοιχτή λίστας αρχείων ίχνους NAM.
- Quit: Έξοδος από το περιβάλλον NAM.

Για τη πραγματοποίηση της έναρξης του εργαλείου NAM, πρέπει να εκτελούνται κάθε φορά τα δύο ακόλουθα βήματα:

- Στο περιβάλλον Cygwin πληκτρολογείται ο κώδικας: *startxwin* και αναδύεται το παράθυρο 3
- Στο αναδυόμενο παράθυρο πληκτρολογείται ο ακόλουθος κώδικας: *nam*



Παράθυρο 3

6.3. Μελετώμενα πρωτόκολλα προσομοίωσης

Στην προσομοίωση που θα πραγματοποιηθεί με τη χρήση του ns-2, θα μελετηθούν τα τρία πρωτόκολλα δρομολόγησης AODV, DSDV και DSR, τα οποία θεωρούνται κατάλληλα για εφαρμογή σε ένα αδόμητο δίκτυο επικοινωνιών. Το πρωτόκολλο TORA δεν θα μελετηθεί σε αυτή τη μελέτη, διότι δυστυχώς παρουσιάζει προβλήματα και δεν μπορούν να εξαχθούν ακριβή αποτελέσματα σχετικά με τη συμπεριφορά του.

6.3.1. AODV

Κύρια χαρακτηριστικά (AODV)

- Μηχανισμός μετάδοσης ανακάλυψης διαδρομών.
- Αποτελεσματικότητα εύρους ζώνης (μικρή κεφαλίδα πληροφοριών)
- Ανταποκρίσιμος σε αλλαγές στην τοπολογία του δικτύου.
- Δρομολόγηση χωρίς βρόγχο (loop free) με χρήση αριθμών ακολουθίας διαδρομής.

- Δημιουργία και αποθήκευση μόνο των αναγκαίων διαδρομών από τους κόμβους.
- Ελαχιστοποιημένη ανάγκη μετάδοσης.
- Μείωση απαιτήσεων μνήμης και περιττών επαναλήψεων.
- Γρήγορη απόκριση στη διακοπή συνδέσεων στις ενεργές διαδρομές.
- Επεκτάσιμος σε μεγάλους αριθμούς κόμβων.
- Μη διατήρηση από τους κόμβους που δεν βρίσκονται στην επιλεγμένη διαδρομή, των αλλαγών των πληροφοριών στους πίνακες δρομολόγησης.

Ανακάλυψη διαδρομής: Η διαδικασία ανακάλυψης διαδρομής ξεκινάει όταν ένας κόμβος πηγή χρειάζεται να επικοινωνήσει με έναν άλλο κόμβο για τον οποίο δεν διαθέτει πληροφορίες δρομολόγησης. Ο κάθε κόμβος διατηρεί δύο μετρητές, τον `node_sequence_number` και τον `broadcast_id`. Ο κόμβος πηγής μεταδίδει στους γειτονικούς κόμβους ένα αίτημα διαδρομής που λέγεται RREQ. Η δομή του RREQ είναι η ακόλουθη: `<src_addr, src_sequence_#, broadcast_id, dest_addr, dest_sequence_#, hop_cnt>`. Οι δύο μετρητές του κόμβου αναγνωρίζουν με μοναδικό τρόπο το αίτημα RREQ. Η τιμή του μετρητή `broadcast_id` αυξάνεται κάθε φορά που ο κόμβος πηγή εκδίδει ένα αίτημα RREQ. Ο κάθε γειτονικός κόμβος μπορεί να ανταποκριθεί στο αίτημα με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι να ικανοποιήσει το αίτημα διαδρομής στέλνοντας μία απάντηση δρομολόγησης (RREP). Ο δεύτερος τρόπος είναι να αναμεταδώσει το αίτημα διαδρομής στους δικούς του γειτονικούς κόμβους, αυξάνοντας την τιμή του μετρητή `hop_count` κατά ένα. Εάν ένας κόμβος λάβει ένα αίτημα RREQ που έχει τα ίδια `<src_addr, broadcast_id>` με κάποιο προηγούμενο αίτημα, το κάνει απευθείας drop. Εάν ένας κόμβος δεν μπορεί να ικανοποιήσει το αίτημα διαδρομής τότε αποθηκεύει τα ακόλουθα δεδομένα: τα destination IP και Source IP, τον μετρητή `broadcast_id`, τον χρόνο λήξης (που χρησιμοποιείται για τη διαδικασία αντίστροφης διαδρομής «reverse path process») και την `src_sequence_#`.

Ρύθμιση αντίστροφης διαδρομής «reverse path process»: Στη ρύθμιση αυτή, σε κάθε αίτημα διαδρομής RREQ υπάρχουν τα `<src_sequence_#>` και `<the last dest_sequence_#>`. Το πρώτο χρησιμοποιείται για να διατηρεί τις πιο πρόσφατες πληροφορίες σχετικά με την αντίστροφη διαδρομή προς την πηγή. Το δεύτερο υποδεικνύει πόσο πρόσφατη είναι μια διαδρομή προτού γίνει αποδεκτή από την πηγή. Καθώς το αίτημα RREQ ταξιδεύει από τον κόμβο πηγή σε άλλους προορισμούς, ρυθμίζει αυτόματα την αντίστροφη πορεία από τους άλλους προορισμούς προς την πηγή. Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται επειδή κάθε κόμβος καταγράφει τη διεύθυνση του γειτονικού κόμβου από όπου έλαβε το πρώτο αντίγραφο του αιτήματος RREQ. Αυτές οι καταχωρήσεις διατηρούνται για επαρκή χρόνο ώστε το αίτημα RREQ να προλάβει να διασχίσει το δίκτυο και να δώσει μια απάντηση.

Ρύθμιση προώθησης διαδρομής «forward path process»: Στη διαδικασία αυτή, ο κόμβος που λαμβάνει μια απάντηση δρομολόγησης RREP μεταδίδει την πρώτη απάντηση RREP για μια δεδομένη πηγή προς την ίδια την πηγή χρησιμοποιώντας τη διαδικασία της αντίστροφης διαδρομής που έχει ήδη καθοριστεί. Οι κόμβοι που δεν

βρίσκονται στην διαδρομή που έχει προσδιοριστεί από το RREP, θα λήξουν μετά από 3.000 ms και θα διαγράψουν όλους τους δείκτες αντίστροφης διαδρομής. Η διαδικασία αυτή προσφέρει το πλεονέκτημα ότι ο αριθμός των απαντήσεων RREP που στέλνονται προς την πηγή είναι ο μικρότερος δυνατός. Επιπλέον η πηγή έχει τη δυνατότητα να ξεκινήσει αμέσως τη μετάδοση δεδομένων αφού λάβει το πρώτο RREP και μπορεί αργότερα να αναβαθμίσει τις πληροφορίες του αν εντοπίσει κάποια καλύτερη διαδρομή.

Διατήρηση διαδρομής: Στον αλγόριθμο AODV, η κίνηση των κόμβων που δεν βρίσκονται κατά μήκος κάποιας ενεργής διαδρομής δεν επηρεάζει τη διαδρομή προς τον προορισμό. Σε περίπτωση μετακίνησης του κόμβου πηγής, μπορεί εύκολα να ξεκινήσει από την αρχή η διαδικασία εντοπισμού νέας διαδρομής. Σε περίπτωση μετακίνησης του κόμβου προορισμού ή των ενδιάμεσων κόμβων που μεσολαβούν ώστε να φτάσει το μήνυμα στον προορισμό του, αποστέλλεται ένα ειδικό αίτημα RREP προς τους επηρεαζόμενους κόμβους. Για τον εντοπισμό των κινήσεων των κόμβων μπορούν να χρησιμοποιηθούν περιοδικά μηνύματα hello ή αναγνωρίσεις του link - layer (LLACKS) που έχουν πολύ μικρότερη καθυστέρηση από τα hello messages. Στην περίπτωση που κάποιος κόμβος δεν είναι προσβάσιμος, το ειδικό αίτημα RREP αποστέλλεται πίσω στην πηγή και περιέχει έναν νέο αριθμό ακολουθίας καθώς και στη θέση του hop count την τιμή ∞.

Διατήρηση τοπικής συνδεσιμότητας κόμβων: Οι κόμβοι λαμβάνουν πληροφορίες για τους γειτονικούς τους κόμβους με κάποιον από τους δύο ακόλουθους τρόπους:

- Αναβάθμιση των τοπικών πληροφοριών συνδεσιμότητας κάθε κόμβου, κάθε φορά που αυτός λαμβάνει μετάδοση από κάποιον γειτονικό κόμβο,
- Αν ένας κόμβος αντιληφθεί ότι κάποιος γειτονικός του κόμβος δεν του έχει αποστείλει κανένα πακέτο μέσα στο hello_interval, πραγματοποιεί μετάδοση ενός hello message που περιέχει την ταυτότητα αυτού του κόμβου καθώς και τον αριθμό ακολουθίας του.

Τρόπος λειτουργίας των μηνυμάτων hello: Τα hello messages δεν μεταδίδονται εκτός των γειτονικών κόμβων του κόμβου που τα αποστέλλει επειδή περιέχουν μία τιμή TTL (Time To Leave) 1. Οι γειτονικοί κόμβοι που λαμβάνουν ένα hello message αναβαθμίζουν τις τοπικές τους πληροφορίες συνδεσιμότητας και τις στέλνουν στον κόμβο που μετέδωσε το μήνυμα αυτό. Η λήψη ενός μηνύματος hello από κάποιον καινούργιο γειτονικό κόμβο ή η αποτυχία λήψης δύο συνεχόμενων μηνυμάτων hello από κάποιο κόμβο που υπήρχε την γειτονιά, υποδεικνύει ότι η τοπική συνδεσιμότητα έχει αλλάξει.

6.3.2. DSDV

Κύρια χαρακτηριστικά (DSDV)

- Μικρή γνώση της γενικής τοπολογίας του δικτύου.
- Εγγύηση μη ύπαρξης βρόγχων.
- Δυνατότητα γρήγορης αντίδρασης σε οποιαδήποτε αλλαγή τοπολογίας.

- Μη ύπαρξη καθυστέρησης εξαιτίας της ανακάλυψης διαδρομών.
- Μείωση του μεγέθους του χώρου στον πίνακα δρομολόγησης, μέσω της επιλογής του καλύτερου δυνατού μονοπατιού έναντι της διατήρησης πολλαπλών διαδρομών προς τον προορισμό.
- Δημιουργία μεγάλης επιβάρυνσης στο δίκτυο λόγω της απαίτησης περιοδικών μηνυμάτων ενημέρωσης.
- Δυσκολία υπολογισμού της καθυστέρησης στην εκάστοτε διαδρομή που πρόκειται να πραγματοποιηθεί.
- Συνεχής διατήρηση όλων των διαδρομών προς όλους τους κόμβους.

Ανακάλυψη διαδρομής: Στον αλγόριθμο αυτό, τα πακέτα μεταδίδονται μέσω των κόμβων με RT που αποθηκεύονται σε κάθε κόμβο. Κάθε κόμβος με RT περιέχει όλους τους πιθανούς προορισμούς από ένα κόμβο σε ένα άλλον καθώς και τον αριθμό των hops για την κάθε διαδρομή. Ο κάθε κόμβος εκδίδει έναν αριθμό ακολουθίας ο οποίος συνδέεται σε κάθε νέο μήνυμα ενημέρωσης RT. Υπάρχουν δύο διαφορετικοί μέθοδοι ενημέρωσης RT:

- Full dump, όπου μεταφέρονται όλες οι πληροφορίες των πινάκων δρομολόγησης αλλά μεταδίδονται σχετικά σπάνια.
- Incremental dumps, όπου μεταφέρονται μόνο οι πληροφορίες που άλλαξαν από το τελευταίο full dump, τοποθετείται μόνο σε μία μονάδα δεδομένων του δικτύου και αν δεν είναι δυνατή η μεταφορά τους πραγματοποιείται η μέθοδος full dump.

Κάθε κόμβος διατηρεί στατιστικά δεδομένα σχετικά με τη μέση χρονική διάρκεια που απαιτείται προκειμένου να φτάσει ένα μήνυμα από τον ένα κόμβο στον άλλο. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται για να μειωθεί ο αριθμός των αναμεταδόσεων των πιθανών καταχωρήσεων δρομολόγησης που μπορούν να φτάσουν σε ένα κόμβο από διαφορετικά μονοπάτια αλλά με τον ίδιο αριθμό ακολουθίας. Το DSDV χρησιμοποιεί μόνο συνδέσεις διπλής κατεύθυνσης μεταξύ των κόμβων.

Η κατασκευή του πίνακα δρομολόγησης αρχίζει υπό τη συνθήκη ότι κάθε κόμβος στο δίκτυο θα ανταλλάσσει περιοδικά μηνύματα με τους γείτονές του για τη δημιουργία πολλαπλών μονοπατιών σε κάθε άλλο κόμβο του δικτύου. Κάθε μεμονωμένη διαδρομή προς οποιοδήποτε προορισμό φέρει ετικέτα με έναν αριθμό ακολουθίας προορισμού που εκδίδεται από τον κόμβο προορισμού. Οποιαδήποτε διαδρομή προς κάποιο προορισμό με μεγαλύτερο αριθμό ακολουθίας προορισμού, αντικαθιστά την ίδια διαδρομή με μικρότερο αριθμό ακολουθίας προορισμού στον RT του κόμβου. Κάθε κόμβος ειδοποιεί αμέσως όταν συμβεί οποιαδήποτε σημαντική αλλαγή στον πίνακα δρομολόγησής του. Το γεγονός αυτό μπορεί να συμβεί λόγω αποτυχίας σύνδεσης με τον γειτονικό ή τους γειτονικούς κόμβους, αλλά ο κόμβος περιμένει για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα προκειμένου να διαφημίσει αυτές τις αλλαγές. Το διάστημα αυτό υπολογίζεται, διατηρώντας, για κάθε προορισμό, ένα μέσο όρο των πιο πρόσφατων ενημερώσεων των δρομολογίων. Αυτή η μέθοδος διαφήμισης χρησιμοποιείται από το πρωτόκολλο αυτό προκειμένου να ελαχιστοποιεί τον αριθμό

των ενημερώσεων διαδρομής που μεταδίδονται από ένα κόμβο. Επιπλέον, όταν ένας κόμβος λαμβάνει μια ενημέρωση διαδρομής προς ένα προορισμό από κάποιον από τους γειτονικούς κόμβους του και λίγα δευτερόλεπτα αργότερα λαμβάνει δεύτερη ενημέρωση από διαφορετικό γειτονικό κόμβο για την ίδια διαδρομή και με τον ίδιο αριθμό ακολουθίας προορισμού αλλά με μικρότερο αριθμό βημάτων, ο κόμβος αυτόματα μεταδίδει την αλλαγή στον πίνακα δρομολόγησής του. Εάν δεν υπήρχε αυτό το είδος κανόνα, οι κόμβοι θα έπρεπε να διαφημίσουν δύο ενημερώσεις διαδρομής μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα. Επομένως οι γειτονικοί κόμβοι μεταδίδουν τις νέες ενημερώσεις διαδρομής στους γείτονές τους, επειδή κάθε κόμβος διατηρεί έναν πίνακα με τη διεύθυνση προορισμού, τον τελευταίο χρόνο διακανονισμού και το μέσο χρόνο ρύθμισης αυτής της διεύθυνσης. Ο κάθε κόμβος χρησιμοποιεί τις πληροφορίες στον πίνακα δρομολόγησης για τον έλεγχο της σταθερότητας μιας διαδρομής προς έναν προορισμό.

Συντήρηση διαδρομής: Το πρωτόκολλο δρομολόγησης DSDV διατηρεί όλες τις διαδρομές στους πίνακες δρομολόγησης του κάθε κόμβου, επομένως δεν παρουσιάζεται η ανάγκη εύρεσης νέων διαδρομών.

6.3.3. DSR

Κύρια χαρακτηριστικά (DSR)

- Λειτουργία του κάθε μηχανισμού μονάχα έπειτα από αίτημα.
- Μη απαίτηση αποστολής περιοδικών πακέτων οποιουδήποτε είδους και σε κανένα επίπεδο.
- Υποστήριξη μονοδιάστατων και ασύμμετρων διαδρομών.
- Εξαιρετική απόδοση σε δρομολόγηση ασύρματων ad hoc δικτύων.
- Πολύ χαμηλό κόστος δρομολόγησης ακόμα και με συνεχή κίνηση.
- Πλήρως αυτό - οργανωμένο και αυτό - ρυθμιζόμενο δίκτυο.

Ανακάλυψη διαδρομής: Όταν ο κόμβος πηγή θέλει να στείλει ένα πακέτο σε έναν κόμβο προορισμό, τοποθετεί στην κεφαλίδα του πακέτου μία διαδρομή που δίνει την ακολουθία των hops που πρέπει να ακολουθήσει το πακέτο ώστε να φτάσει στον προορισμό. Ο κόμβος πηγή λαμβάνει τη κατάλληλη διαδρομή ψάχνοντας στον πίνακα δρομολόγησής του (routing table). Σε περίπτωση που δεν βρεθεί καμία διαδρομή, ξεκινάει το πρωτόκολλο ανακάλυψης διαδρομής (Route Discovery Protocol) το οποίο βρίσκει δυναμικά μια νέα διαδρομή προς την πηγή προορισμό.

- **Αποστολέας:** Ο αποστολέας μεταδίδει ένα αίτημα διαδρομής πακέτου Route Request Packet (RREQ), το οποίο περιέχει ένα μοναδικό ID αιτήματος καθώς και τη διεύθυνση του αποστολέα.
- **Δέκτης:** Αν ο δέκτης είναι ο κόμβος προορισμός ή περιλαμβάνει διαδρομή προς τον προορισμό, στέλνει μία απάντηση διαδρομής πακέτου Route Reply Packet (RREP). Σε περίπτωση που ο δέκτης είναι η πηγή και σε περίπτωση που ήδη βρίσκεται στον πίνακα δρομολόγησης RREQ, το πακέτο απορρίπτεται. Σε κάθε άλλη περίπτωση, προσαρμόζεται η διεύθυνση του

κόμβου στον πίνακα δρομολόγησης του RREQ, και αφού αναβαθμιστεί εκ νέου ο πίνακας αναμεταδίδεται και πάλι.

Μόλις το αίτημα RREQ φτάσει στον κόμβο προορισμό, πρέπει να σταλεί μια απάντηση RREP στον κόμβο πηγή. Ο κόμβος προορισμός εξετάζει τα δικά του στοιχεία ώστε να βρει μια διαδρομή πίσω στην πηγή. Εάν βρει μια τέτοια διαδρομή, την χρησιμοποιεί ώστε να στείλει την απάντηση RREP πίσω στον κόμβο πηγή, αλλιώς ξεκινάει εκ νέου τη διαδικασία ανακάλυψης διαδρομής. Στα πρωτόκολλα που απαιτούν αμφίροπες συνδέσεις όπως στο 802.11, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η λίστα ανεστραμμένης διαδρομής του πακέτου RREQ έτσι ώστε να αποφευχθεί δεύτερη απόπειρα ανακάλυψης διαδρομής.

Συντήρηση διαδρομής: Κάθε κόμβος που μεταδίδει ένα πακέτο είναι υπεύθυνος να επιβεβαιώνει καθ' όλη τη διάρκεια της διαδρομής του προς τον προορισμό ότι λαμβάνεται από κάθε ενδιάμεσο κόμβο. Η επιβεβαίωση αυτή πραγματοποιείται με ένα τυποποιημένο τμήμα του επιπέδου MAC (όπως τα ACKs των link layers στο 802.11). Εάν δεν υπάρξει τέτοια επιβεβαίωση, ένα ειδικό λογισμικό DSR αναλαμβάνει την ευθύνη να στείλει πίσω αυτό το τμήμα ACK. Όταν οι αναμεταδόσεις ενός πακέτου σε κάποιο κόμβο φτάσουν στον μέγιστο αριθμό, στέλνεται ένα πακέτο σφάλματος διαδρομής Route Error Packet (RERR) από τον κόμβο πίσω στην πηγή, προσδιορίζοντας την σύνδεση που διακόπηκε. Τότε, ο κόμβος πηγή αφαιρεί από τον πίνακα δρομολόγησης τη σύνδεση που διακόπηκε. Η αναμετάδοση του αρχικού πακέτου αποτελεί λειτουργία των ανώτερων στρωμάτων όπως είναι το TCP. Εκεί γίνεται αναζήτηση στον πίνακα δρομολόγησης για κάποια άλλη διαδρομή ή ξεκινάει μια νέα διαδικασία ανακάλυψης διαδρομής (31) (32).

6.3.4. Σύγκριση των πρωτοκόλλων AODV, DSDV και DSR

Τα παραπάνω πρωτόκολλα που αναλύσαμε παρουσιάζουν μεταξύ τους τόσο κοινά όσο και ξεχωριστά χαρακτηριστικά.

Συγκεκριμένα, και τα τρία πρωτόκολλα προσφέρουν αποφυγή βρόγχων αλλά διαφέρουν στην απόδοσή τους ανάλογα με το σενάριο στο οποίο συμμετέχουν. Επίσης όλα τα πρωτόκολλα καθορίζουν τη διαδρομή που θα ακολουθηθεί με βάση των μικρότερο δυνατό αριθμό βημάτων από την πηγή μέχρι τον προορισμό. Όμως το AODV χρησιμοποιεί τον αριθμό ακολουθίας για να ανακαλύψει την πιο νέα διαδρομή και επιπλέον προσφέρει δυνατότητες multicasting. Το DSR χρησιμοποιεί το αίτημα διαδρομής RREQ, και για αυτό το λόγο δεν προτιμάται για δίκτυα μεγάλης κλίμακας και γενικότερα για δυναμικά δίκτυα. Παρόμοια το DSDV δημιουργεί περιττές ανταλλαγές πληροφοριών δρομολόγησης, και για αυτό το λόγο είναι ακατάλληλο για πολύ μεγάλα δίκτυα.

Οι πληροφορίες δρομολόγησης είναι πάντα διαθέσιμες στο πρωτόκολλο DSDV. Το DSR επιτρέπει στους κόμβους να καταγράφουν πολλαπλές διαδρομές στη κρυφή τους μνήμη, επομένως συνδέεται με χαμηλότερα ποσοστά overhead σε περίπτωση χαμένων συνδέσεων. Αντίθετα, το AODV παρουσιάζει το μεγαλύτερο overhead σε αντίστοιχες περιπτώσεις. Παρόλα αυτά, το φορτίο της δρομολόγησης είναι το χαμηλότερο στο DSDV, καθώς δεν δημιουργούνται καθυστερήσεις κατά την

ανακάλυψη διαδρομής. Παράλληλα, το DSR διατηρεί την κρυφή μνήμη της διαδρομής και επομένως παρουσιάζει το δεύτερο χαμηλότερο φορτίο δρομολόγησης μετά το AODV.

Στον πίνακα 2 παρουσιάζεται ένας πίνακας με τα συγκριτικά χαρακτηριστικά των τριών παραπάνω πρωτοκόλλων δρομολόγησης (AODV, DSDV και DSR):

Χαρακτηριστικά/Πρωτόκολλα	AODV	DSDV	DSR
Μέθοδος δρομολόγησης	Νεότερο και συντομότερο μονοπάτι	Συντομότερο μονοπάτι	Συντομότερο μονοπάτι
Διατήρηση διαδρομών	Πίνακας δρομολόγησης	Πίνακας δρομολόγησης	Κρυφή μνήμη
Ενημέρωση πληροφοριών δρομολόγησης	Όποτε απαιτείται	Περιοδικά και όποτε απαιτείται	Όποτε απαιτείται
Αποφυγή βρόγχων	Ναι	Ναι	Ναι
Κινητικότητα	Καλή απόδοση σε υψηλή κινητικότητα	Δεν αποδίδει καλά	Δεν αποδίδει καλά σε υψηλή κινητικότητα
Λειτουργία multicasting	Ναι	Όχι	Όχι
Μέγεθος δικτύου	Προτιμάται από το DSR για μεγάλα δίκτυα	Όχι κατάλληλο για μεγάλα δίκτυα	Συμπεριφέρεται καλύτερα από το DSDV
Καθυστερήση	Χαμηλότερη από το DSR	Η ελάχιστη συγκριτικά με τα άλλα δύο πρωτόκολλα	Υψηλότερη από το AODV
Κατανάλωση πόρων	Χαμηλότερη από το DSR	Η μέγιστη συγκριτικά με τα άλλα δύο πρωτόκολλα	Υψηλότερη από το AODV
Μέθοδος σύνδεσης	Αμφίδρομη	Μονοκατευθυντική	Αμφίδρομη
Υπερφόρτωση δρομολόγησης	Υψηλότερη από το DSR	Η ελάχιστη συγκριτικά με τα άλλα δύο πρωτόκολλα	Χαμηλότερη από το AODV
Διόρθωση σπασμένων συνδέσεων	Υψηλή κατανάλωση χρόνου	Διαχείριση στον ελάχιστο χρόνο συγκριτικά με τα άλλα δύο πρωτόκολλα	Καταναλώνει χαμηλότερο χρόνο από το AODV

Πίνακας 2

6.4. Μελετώμενα χαρακτηριστικά προσομοίωσης

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα μελετήσουμε δύο σενάρια προσομοίωσης. Η ανάλυση θα πραγματοποιηθεί πάνω στα τρία πρωτόκολλα δρομολόγησης AODV, DSR, και DSDV και θα εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την απόδοση του δικτύου, αναφορικά με τα εξής ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- **Ρυθμοαπόδοση (Throughput):** Η ρυθμοαπόδοση υπολογίζει τον ρυθμό με τον οποίο ένας κόμβος στέλνει δεδομένα σε κάποιο άλλο κόμβο συναρτήσει του χρόνου. Μετριέται σε bits/second και εξαρτάται από το διαθέσιμο εύρος ζώνης, τη διαθέσιμη αναλογία σήματος προς θόρυβο καθώς και τους περιορισμούς του υλικού.

Μέση ρυθμοαπόδοση (Average throughput): Η μέση ρυθμοαπόδοση στο δίκτυο, καθορίζει το μέσο ρυθμό με τον οποίο στέλνονται δεδομένα στο δίκτυο συναρτήσει του χρόνου, δηλαδή υπολογίζει τη μέση τιμή όλων των ρυθμοαποδόσεων μεταξύ των ζεύξεων όλων των κόμβων που στέλνουν και λαμβάνουν δεδομένα. Ο υπολογισμός του προκύπτει από το συνολικό άθροισμα όλων των ρυθμοαποδόσεων όλων των ζεύξεων στο δίκτυο και εν συνεχεία από τη διαίρεση αυτής της τιμής με τον αριθμό των ζεύξεων.

- **Καθυστέρηση (Delay):** Η καθυστέρηση καθορίζει το χρόνο που απαιτείται για ένα πακέτο προκειμένου να φτάσει από τη πηγή στον προορισμό. Μετριέται σε seconds και εξαρτάται από τη τοποθεσία του συγκεκριμένου ζευγαριού κόμβων μεταξύ των οποίων πραγματοποιείται η επικοινωνία.

Μέση καθυστέρηση (Average delay): Η μέση καθυστέρηση στο δίκτυο, καθορίζει το μέσο χρόνο που απαιτείται για όλα τα πακέτα προκειμένου να φτάσουν από τη πηγή στον προορισμό. Ο υπολογισμός του προκύπτει από το συνολικό άθροισμά όλων των χρόνων λήψης των πακέτων σε κάθε ζεύξη και εν συνεχεία με τη διαίρεση αυτής της τιμής με τον αριθμό των ζεύξεων.

- **Διακύμανση της καθυστέρησης (Jitter):** Η διακύμανση της καθυστέρησης καθορίζει τη καθυστέρηση στην παραλαβή των πακέτων δηλαδή τη μεταβολή στον χρόνο καθυστέρησης. Μετριέται σε seconds και η κύρια αιτία ύπαρξής της είναι οι στατιστικές διαφορές στο φόρτο του δικτύου. Σε συνθήκες χαμηλού φορτίου η διακύμανση είναι ασήμαντη ενώ σε υψηλά ανταγωνιστικά φορτία μπορεί να λάβει πολύ μεγάλες τιμές. Δημιουργεί μεγάλα προβλήματα σε υπηρεσίες πραγματικού χρόνου όπως είναι η φωνή και το live βίντεο.

Μέση διακύμανση της καθυστέρησης (Average Jitter): Η μέση διακύμανση της καθυστέρησης καθορίζει τη μέση μεταβολή του χρόνου καθυστέρησης στο δίκτυο. Ο υπολογισμός του προκύπτει από το συνολικό άθροισμα όλων των μεταβολών καθυστέρησης σε κάθε ζεύξη και εν συνεχεία με τη διαίρεση αυτής της τιμής με τον αριθμό των ζεύξεων.

- **Ποσοστό παράδοσης πακέτων (Packet delivery ratio):** Το ποσοστό παράδοσης πακέτων καθορίζει το ποσοστό των ληφθέντων πακέτων και είναι ο λόγος των ληφθέντων πακέτων προς τα σταλθέντα πακέτα (33).

6.5. Γενικά χαρακτηριστικά πειραμάτων

Οι κόμβοι έχουν εύρος μετάδοσης τα 250 μέτρα και εύρος παρεμβολών τα 550 μέτρα. Το πρωτόκολλο MAC που επιλέχθηκε είναι το 802.11 και ο μέγιστος αριθμός πακέτων σε αναμονή είναι τα 50 πακέτα. Ο μέγιστος ρυθμός αποστολής δεδομένων είναι στα 48 Mbps ενώ ο βασικός ρυθμός αποστολής δεδομένων έχει οριστεί στα 24 Mbps.

Ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων έχει οριστεί για το πρώτο πείραμα στο 1 Mbps και για το δεύτερο πείραμα στο 0.6 Mbps.

Επίσης ορίστηκε όριο για το RTS (request to send) στον αριθμό 2000. Το RTS είναι αίτημα αποστολής , αποστέλλεται από την πηγή στον προορισμό και ζητά άδεια για να στείλει το επόμενο πακέτο δεδομένων. Όσο αυξάνεται η τιμή του στέλνει και λιγότερα αιτήματα. Η τιμή του συνήθως κυμαίνεται από την τιμή 0 μέχρι την τιμή 2347.

Ο τύπος κίνησης που εφαρμόζεται είναι το CBR (Constant Bit Rate) με πρωτόκολλο μεταφοράς το UDP (User Data Protocol). Ο λόγος που προτιμήθηκε το πρωτόκολλο μεταφοράς UDP έναντι του TCP (Transport Control Protocol), είναι ότι η προσομοίωση αφορά σε video conference και το πρωτόκολλο UDP ενδείκνυται ακριβώς για αυτό το σκοπό. Σκοπός είναι να στέλνονται όσο περισσότερα πακέτα γίνονται χωρίς μεγάλη καθυστέρηση ώστε να κυλάει ομαλά το live streaming, και το UDP εξυπηρετεί σε αυτό ακριβώς τον σκοπό. Σε αντίθεση, το πρωτόκολλο TCP αποστέλλει τα πακέτα μόνο εφόσον έχει σιγουρευτεί ότι θα φτάσουν τον προορισμό τους, και ενώ εγγυάται μεγαλύτερο ποσοστό παράδοσης πακέτων και είναι ιδανικό για video streaming, στην περίπτωση του live streaming θα προκαλέσει διακοπές στη μετάδοση και πρόβλημα στη επικοινωνία μεταξύ των συνομιλητών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα παλιά πακέτα κάθε φορά θα πρέπει να αναμεταδοθούν εφόσον δεν στάλθηκαν και παράλληλα τα νέα πακέτα θα πρέπει να βρίσκονται στην ουρά περιμένοντας να σταλθούν πρώτα τα παλιά πακέτα. Σε αντίθεση το πρωτόκολλο UDP στέλνει πάντα και άμεσα τα πακέτα και ακόμα και αν κάποια δεν καταφέρουν να φτάσουν στον προορισμό τους η μετάδοση και λήψη δεδομένων συνεχίζεται απρόσκοπτα και κυλάει ομαλά η επικοινωνία. Επομένως η ιδανική επιλογή για video conference είναι το πρωτόκολλο UDP.

Το μέγεθος κάθε πακέτου που μεταδίδεται είναι 512 bytes ενώ ο ρυθμός μετάδοσης κάθε κόμβου είναι στο 1Mbps.

Τα πρωτόκολλα που μελετήθηκαν είναι τα AODV, DSDV και DSR.

7. Πειράματα

Στο παρακάτω κεφάλαιο θα παρουσιαστούν και θα αναλυθούν διεξοδικά τα δύο πειράματα που πραγματοποιήσαμε με τη χρήση του προσομοιωτή ns-2. Θα εξαχθούν τα στατιστικά αποτελέσματα μέσω των tel scripts καθώς και οι γραφικές αναπαραστάσεις των χαρακτηριστικών των δύο προσομοιώσεων ως προς το ποσοστό αποστολής των πακέτων, τη ρυθμοαπόδοση, τη καθυστέρηση καθώς και τις διακυμάνσεις της καθυστέρησης, για κάθε πρωτόκολλο ξεχωριστά. Στο τέλος, θα εξαχθούν τα συνολικά συμπεράσματα από τις παρατηρήσεις μας.

7.1. Πρώτο πείραμα προσομοίωσης

Το πρώτο πείραμα προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκε, εστίασε στην επικοινωνία μεταξύ 2 κινητών κόμβων σε ένα αδόμητο δίκτυο επικοινωνιών (MANET) όπου πραγματοποιήθηκε μόνο μία εναλλαγή διαδρομής. Ο σκοπός του πειράματος αυτού είναι να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τη συμπεριφορά των τριών πρωτοκόλλων, στην απλή περίπτωση ταυτόχρονης μετάδοσης και λήψης δεδομένων μεταξύ 2 κινητών κόμβων όπου ανάμεσα τους παρεμβάλλονται και άλλοι κόμβοι εν κινήσει. Οι παρατηρήσεις μας εστιάζονται στην επίτευξη του στόχου της ελάχιστης δυνατής καθυστέρησης και διακύμανσης της καθυστέρησης μετάδοσης και λήψης των πακέτων, λόγω της διενέργειας του video conferencing, δηλαδή της πολυμεσικής εφαρμογής με τις υψηλότερες απαιτήσεις διατήρησης επικοινωνίας. Το ποσοστό επιτυχούς αποστολής και λήψης πακέτων μας ενδιαφέρει σε δεύτερο επίπεδο, διότι το κύριο ζήτημά μας είναι η συνεχής μετάδοση πακέτων ανεξάρτητα των απωλειών – αρκεί βέβαια αυτές οι απώλειες να μη είναι ιδιαίτερα υψηλές ώστε να υπερκαλύπτουν την ταχύτητα μετάδοσης και λήψης πακέτων και να δημιουργούν πρόβλημα στην επικοινωνία μεταξύ των κόμβων.

7.1.1. Βασικά χαρακτηριστικά

Το σενάριο της προσομοίωσης αποτελείται από 7 κινητούς κόμβους οι οποίοι έχουν καθορισμένες θέσεις στο χώρο κατά την έναρξη της προσομοίωσης. Αφορά σε ένα video conference όπου η επικοινωνία πραγματοποιείται μεταξύ 2 κόμβων και υπάρχουν 5 ενδιάμεσοι κόμβοι στο χώρο. Στο πρώτο σενάριο προσομοίωσης έχει καθοριστεί επικοινωνία μεταξύ 2 κόμβων, των n0 και n6. Ο κόμβος n0 στέλνει δεδομένα στον κόμβο n6 και ταυτόχρονα ο κόμβος n6 στέλνει δεδομένα στον κόμβο n0.

Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, ορισμένοι από τους κόμβους έχουν οριστεί να κινηθούν στο χώρο σε συγκεκριμένες συντεταγμένες και με διακυμάνσεις στην ταχύτητά τους.

Οι κόμβοι έχουν οριστεί ως οι n0, n1, n2, n3, n4, n5 και n6. Οι θέσεις τους είναι οι ακόλουθες: $n_i(x,y)$ όπου n_i = κόμβος, $i=0,1,2,3,4,5,6$, x = μήκος (m) και y = πλάτος (m):

- n0(226,280)
- n1(443,363)
- n2(404,129)

- n3(608,231)
- n4(623,415)
- n5(597,97)
- n6(743,222)

Η τοπολογία της προσομοίωσης έχει μήκος 1000 μέτρα και πλάτος 550 μέτρα. Η διάρκεια της προσομοίωσης είναι 80 δευτερόλεπτα. Η χρονική στιγμή έναρξης αποστολής των πακέτων έχει οριστεί στα 25 δευτερόλεπτα και η χρονική στιγμή διακοπής αποστολής των πακέτων έχει οριστεί στα 80 δευτερόλεπτα. Η κίνηση των κόμβων αρχίζει στο 25^ο δευτερόλεπτο από τη στιγμή έναρξης της προσομοίωσης.

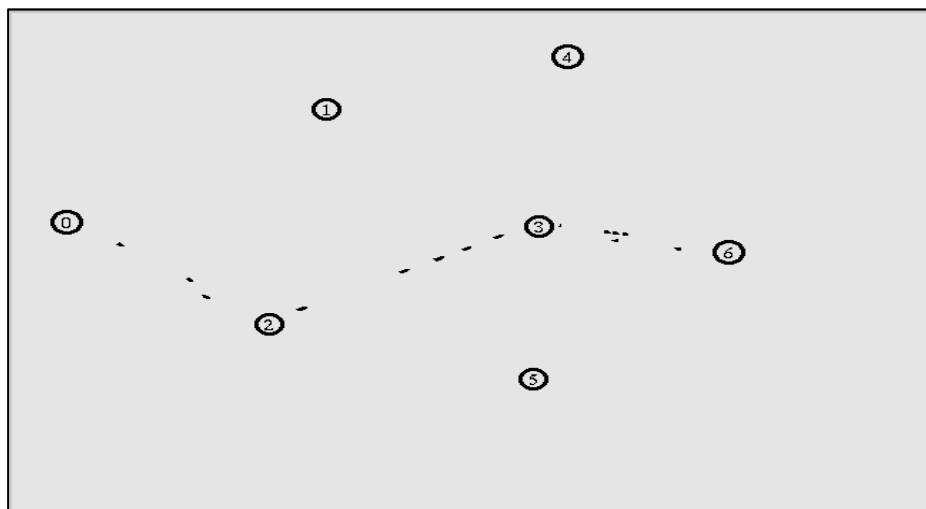
Η κίνηση των κόμβων έχει καθοριστεί ως ακολούθως:

- Ο κόμβος n0 στο 25^ο λεπτό κινείται στη θέση (250,300) με ταχύτητα 25 m/s
- Ο κόμβος n0 στο 45^ο λεπτό κινείται στη θέση (250,250) με ταχύτητα 40 m/s
- Ο κόμβος n2 στο 25^ο λεπτό κινείται στη θέση (430,180) με ταχύτητα 35 m/s
- Ο κόμβος n2 στο 45^ο λεπτό κινείται στη θέση (400,150) με ταχύτητα 30 m/s
- Ο κόμβος n3 στο 25^ο λεπτό κινείται στη θέση (600,250) με ταχύτητα 15 m/s
- Ο κόμβος n3 στο 65^ο λεπτό κινείται στη θέση (600,350) με ταχύτητα 25 m/s
- Ο κόμβος n4 στο 50^ο λεπτό κινείται στη θέση (620,400) με ταχύτητα 25 m/s
- Ο κόμβος n4 στο 65^ο λεπτό κινείται στη θέση (620,300) με ταχύτητα 20 m/s

Οι κόμβοι αλλάζουν συχνά θέσεις κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, αλλά σχηματίζονται μόνο 2 μονοπάτια μεταξύ τους, τα οποία είναι τα παρακάτω:

Μονοπάτια μεταξύ των κόμβων στο χρονικό διάστημα 25 – 67s

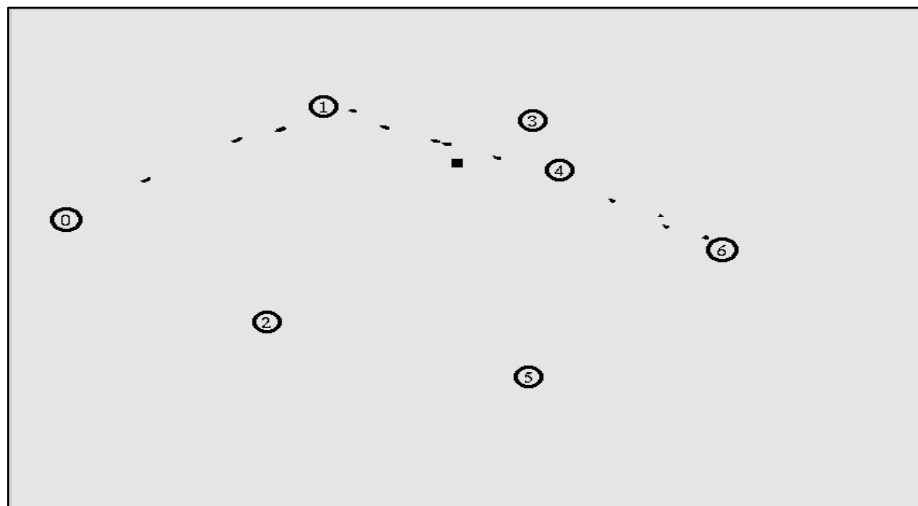
Στο σχήμα 1 παρατηρούμε ότι αρχικά η μετάδοση των δεδομένων μεταξύ των κόμβων n0 και n6, πραγματοποιείται με τη χρήση του μονοπατιού **n0 – n2 – n3 – n6**.



Σχήμα 1

Μονοπάτια μεταξύ των κόμβων στο χρονικό διάστημα 67 – 80s

Στο σχήμα 2 παρατηρούμε ότι στο 67^ο sec της προσομοίωσης μετακινούνται οι κόμβοι n3 και n4. Στο σημείο αυτό πραγματοποιείται αλλαγή μονοπατιού για την αποστολή και λήψη δεδομένων μεταξύ των κόμβων n0 και n6 και επιλέγεται ως βέλτιστο μονοπάτι για τους 2 κόμβους το **n0 – n1 – n4 – n6**.



Σχήμα 2

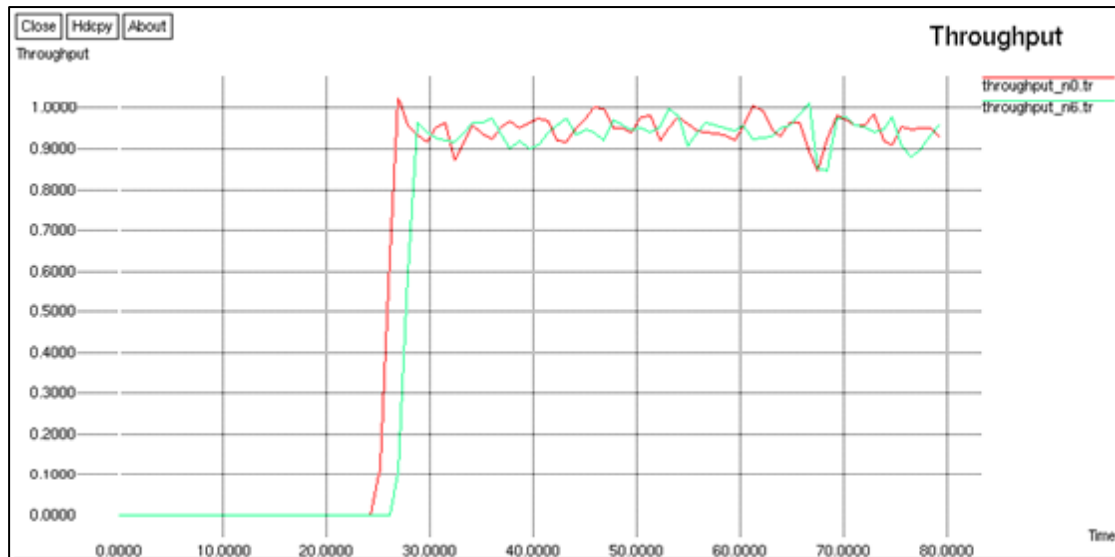
7.1.2. Ανάλυση αποτελεσμάτων

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα από τα πρωτόκολλα:

7.1.2.1. AODV

Ρυθμοαπόδοση στους κόμβους n0 και n6

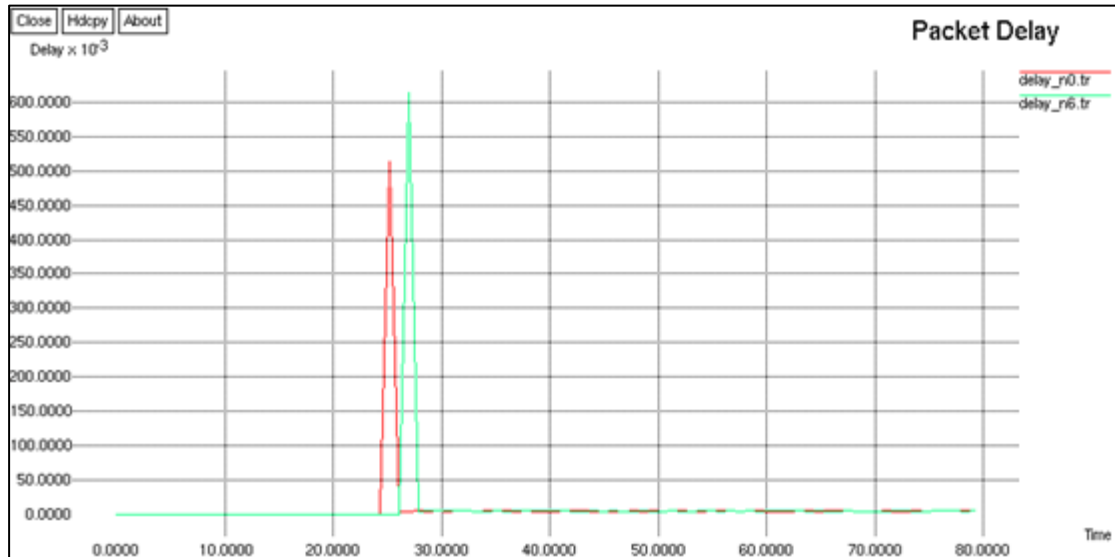
Στο σχήμα 3 παρατηρούμε ότι στο 25^ο sec που αρχίζει η μετάδοση των πακέτων, οι 2 κόμβοι δεν παρουσιάζουν μεγάλο εύρος στις τιμές τους με τη μόνη διαφορά να έγκειται στο γεγονός ότι η λήψη δεδομένων αργεί να ξεκινήσει περίπου 1,5 sec για τον κόμβο n6. Ακόμα και λίγο μετά το 65^ο λεπτό και γύρω στο 67^ο sec που αλλάζει η θέση των κόμβων n3 και n4 και επιλέγεται η δεύτερη διαδρομή από τους κόμβους n0 και n6 για να στείλουν τα πακέτα τους, παρατηρείται μια πολύ μικρή μείωση της ρυθμοαπόδοσης και στους 2 κόμβους της τάξης των 0.1 Mbps, η οποία όμως επανέρχεται στα αρχικά της επίπεδα αμέσως μετά.



Σχήμα 3

Καθυστέρηση λήψης των πακέτων από τους κόμβους n0 και n6

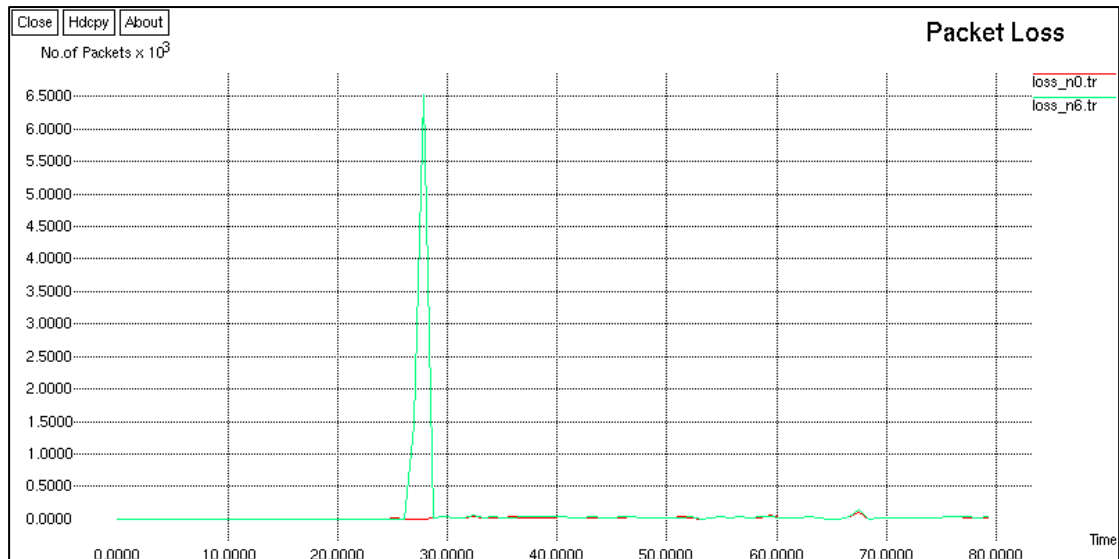
Στο σχήμα 4 παρατηρούμε ότι υπάρχει μια πολύ μικρής διάρκειας καθυστέρηση στην λήψη των πακέτων στο χρονικό διάστημα από 23 - 28 sec (δηλαδή διάρκειας περίπου 5 sec) . Αυτή εντοπίζεται λοιπόν στην έναρξη της μετάδοσης και μετά το 28^ο sec η καθυστέρηση είναι αμελητέα. Η μέγιστη καθυστέρηση για τον κόμβο n6 είναι 600 ms και εντοπίζεται περίπου στο 27^ο λεπτό, ενώ η μέγιστη καθυστέρηση για τον κόμβο n0 είναι 500 ms και εντοπίζεται περίπου στο 26^ο sec.



Σχήμα 4

Απώλεια πακέτων από τους κόμβους n0 και n6

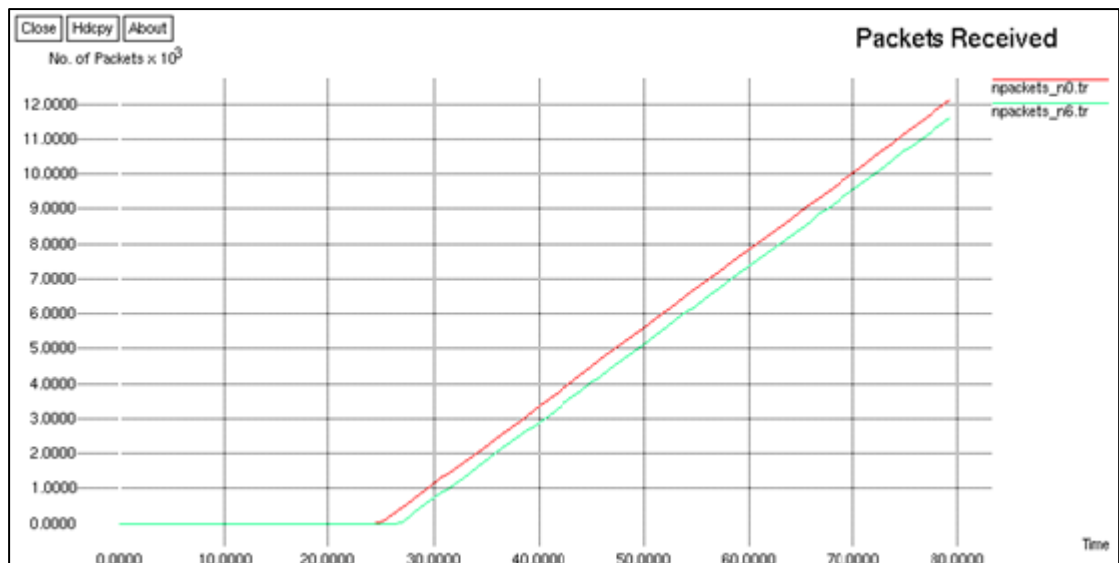
Στο σχήμα αυτό παρατηρούμε ότι ο κόμβος n0 έχει σχεδόν μηδενική απώλεια πακέτων ενώ ο κόμβος n6 στο διάστημα 26 - 29 sec παρουσιάζει μια μικρή απώλεια πακέτων. Στη χρονική στιγμή των 28 sec παρουσιάζει τη μεγαλύτερη απώλεια σε πακέτα της τάξης των περίπου 650 πακέτων.



Σχήμα 5

Αριθμός παραληφθέντων πακέτων από τους κόμβους n0 και n6

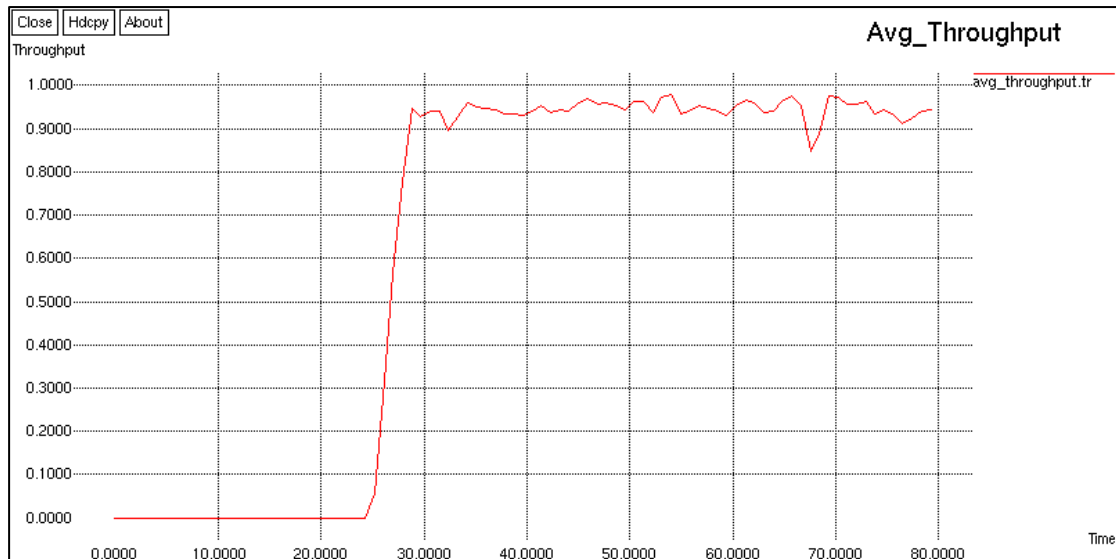
Στο σχήμα 6 παρατηρούμε ότι οι δύο κόμβοι παρέλαβαν συνολικά περίπου 24000 πακέτα και αναλογικά ο κόμβος n0 έλαβε λίγο μεγαλύτερο αριθμό πακέτων. Αυτό δικαιολογείται και από το προηγούμενο διάγραμμα όπου διαπιστώνουμε ότι ο κόμβος n6 παρουσίασε στη χρονική στιγμή των 28s μια αισθητή απώλεια πακέτων.



Σχήμα 6

Μέση ρυθμοαπόδοση

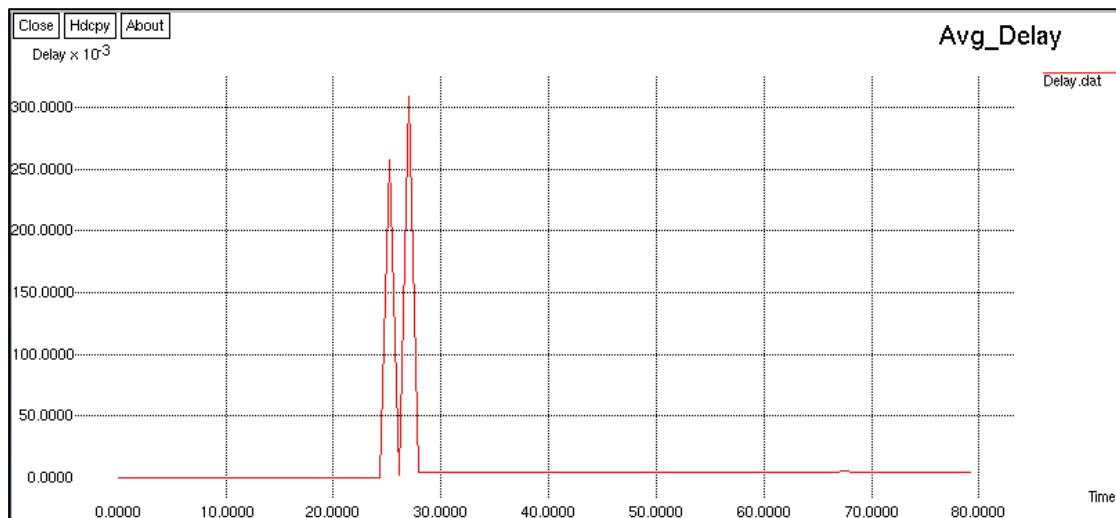
Στο σχήμα 7 παρατηρούμε ότι η ρυθμοαπόδοση κυμαίνεται από περίπου 0,9 Mbps μέχρι 1 Mbps. Παρουσιάζει μια στιγμιαία πτώση στα 0,86 Mbps που οφείλεται στην αλλαγή μονοπατιού για την αποστολή και τη λήψη δεδομένων μεταξύ των κόμβων αλλά αμέσως μετά επανέρχεται στα προηγούμενα επίπεδα.



Σχήμα 7

Μέση καθυστέρηση

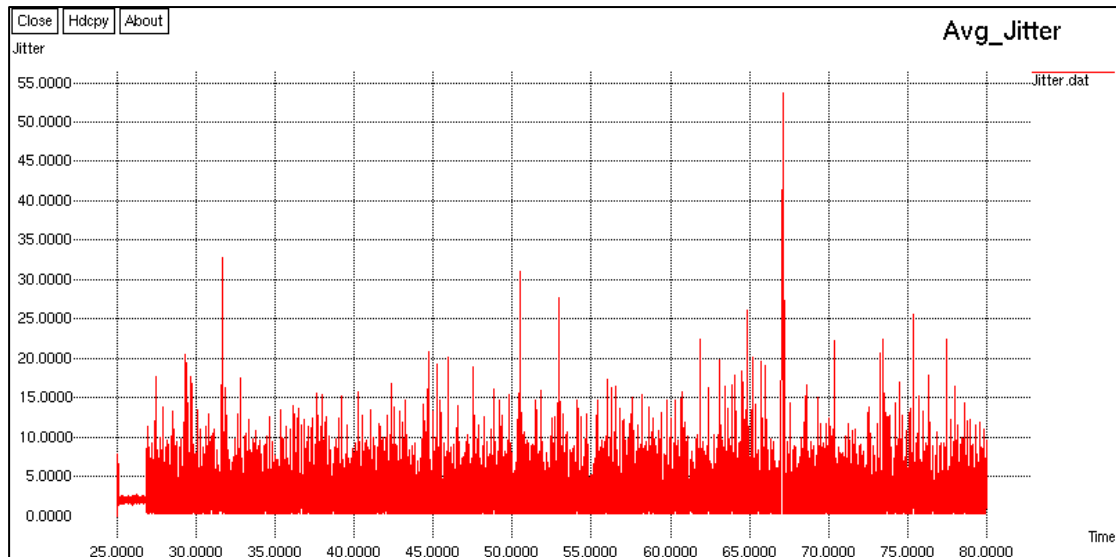
Στο σχήμα 8 παρατηρούμε ότι η μέση καθυστέρηση κυμαίνεται από το 25^ο μέχρι το περίπου 28^ο λεπτό μεταξύ των 250 και 300 ms και στη χρονική στιγμή των περίπου 26 sec είναι μηδενική.



Σχήμα 8

Μέση διακύμανση της καθυστέρησης

Στο σχήμα 9 παρατηρούμε ότι η μέση διακύμανση της καθυστέρησης κυμαίνεται περίπου στα 10 - 15 ms καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης με ελάχιστες διακυμάνσεις. Τη χρονική στιγμή των 67 sec εκτινάχθηκε στα περίπου 55 ms αλλά αμέσως επανήλθε στα πρότερα επίπεδα.

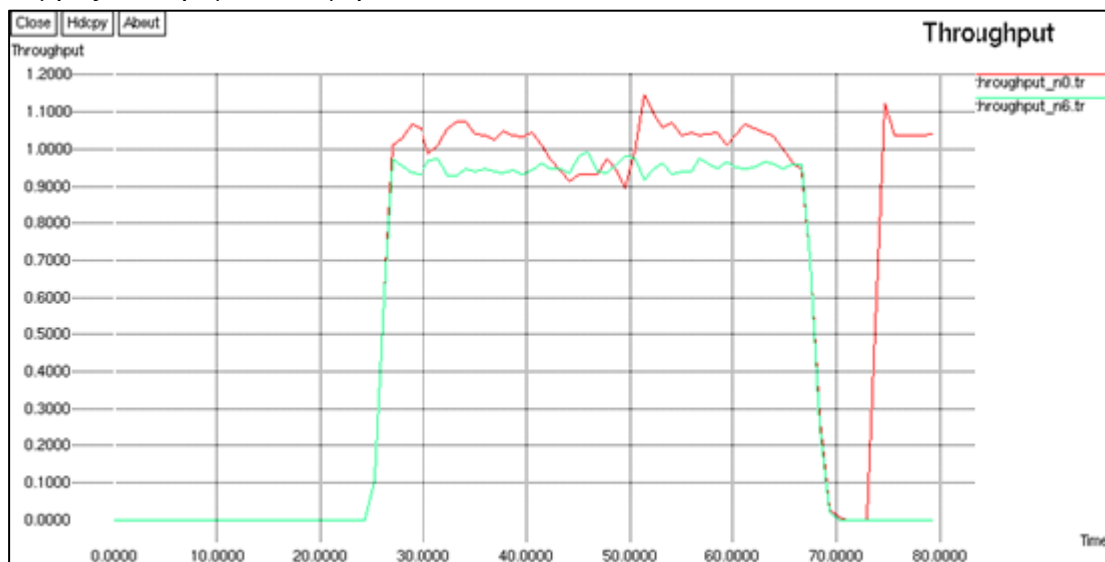


Σχήμα 9

7.1.2.2. DSDV

Ρυθμοαπόδοση στους κόμβους n0 και n6

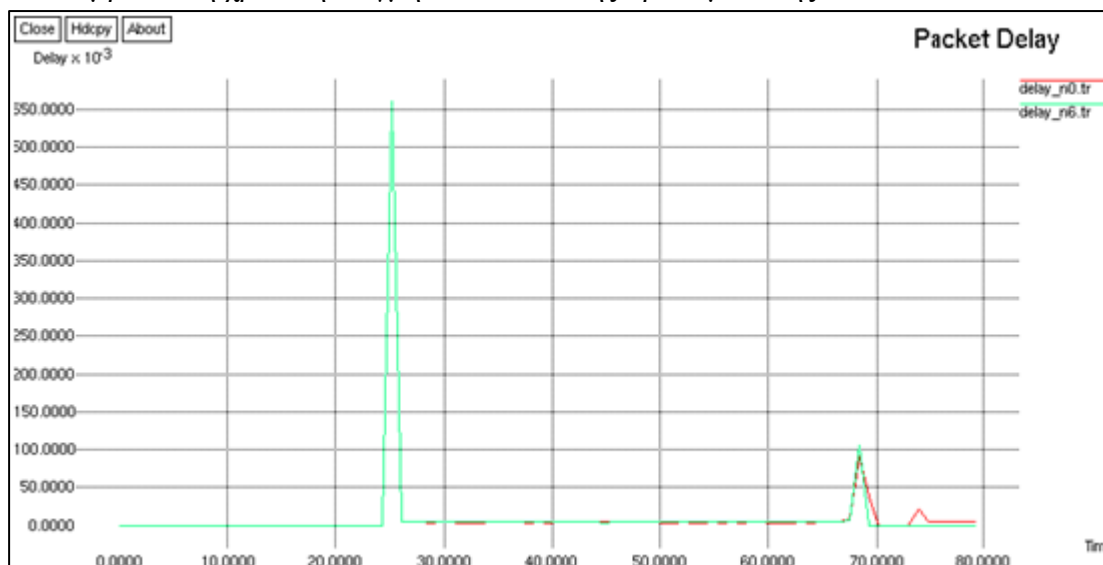
Στο σχήμα 10 παρατηρούμε ότι στο 25^ο sec που αρχίζει η μετάδοση των πακέτων, οι 2 κόμβοι παρουσιάζουν ρυθμοαπόδοση κοντά στο 1 Mbps με τον κόμβο n6 να παρουσιάζει καλύτερες αποδόσεις από τον κόμβο n0 κατά περίπου 0,1 Mbps. Οι 2 κόμβοι στο χρονικό διάστημα των 69^ο - 73^ο sec περίπου αποκτούν μηδενική ρυθμοαπόδοση. Αυτό οφείλεται στην αλλαγή διαδρομής για την αποστολή των πακέτων από τους 2 κόμβους στο 67^ο sec. Μετά από το 73^ο sec περίπου ο κόμβος n0 επανέρχεται στα αρχικά επίπεδα ρυθμοαπόδοσης της τάξης των 1,2 Mbps ενώ ο κόμβος n6 παραμένει σε μηδενικά επίπεδα.



Σχήμα 10

Καθυστέρηση λήψης των πακέτων από τους κόμβους n0 και n6

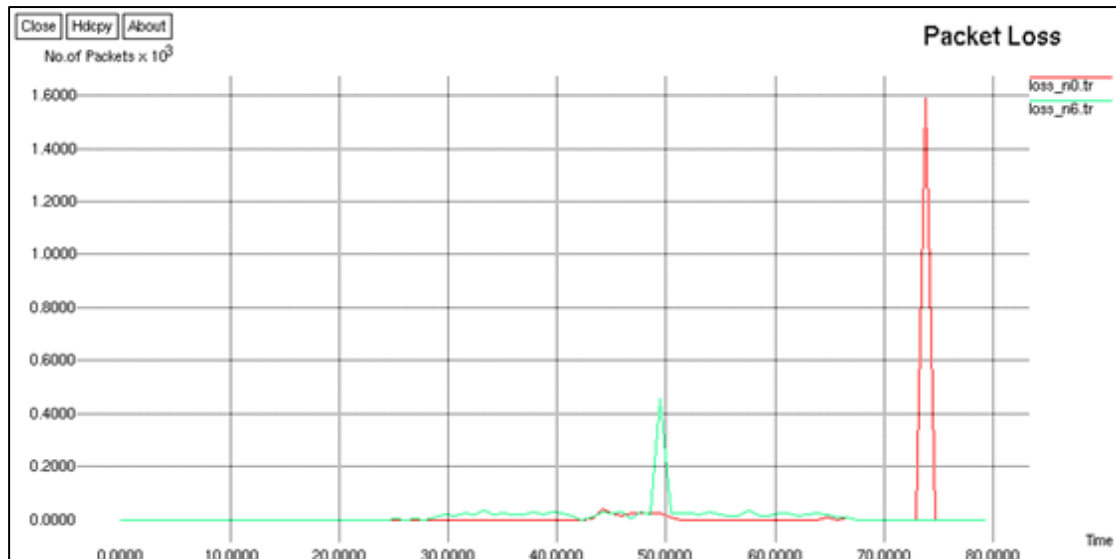
Στο σχήμα 11 παρατηρούμε ότι υπάρχει μια μικρή διάρκεια καθυστέρηση στην λήψη των πακέτων στο χρονικό διάστημα από 24 - 26 sec (δηλαδή διάρκειας περίπου 3 sec) και για τους 2 κόμβους. Η μέγιστη τιμή της είναι στα 550 ms στη χρονική στιγμή των 25 sec. Μια επιπλέον μικρή καθυστέρηση της τάξης των 100 ms εντοπίζεται για τους 2 κόμβους τη χρονική στιγμή των 68 sec και οφείλεται στην αλλαγή διαδρομής που επιλέγεται από τους κόμβους για την αποστολή πακέτων στο 67^ο sec. Τέλος, μια ακόμα ανεπαίσθητη αισθητή απώλεια πακέτων παρατηρείται για τον κόμβο n0 τη χρονική στιγμή των 73 sec της προσομοίωσης.



Σχήμα 11

Απώλεια πακέτων από τους κόμβους n0 και n6

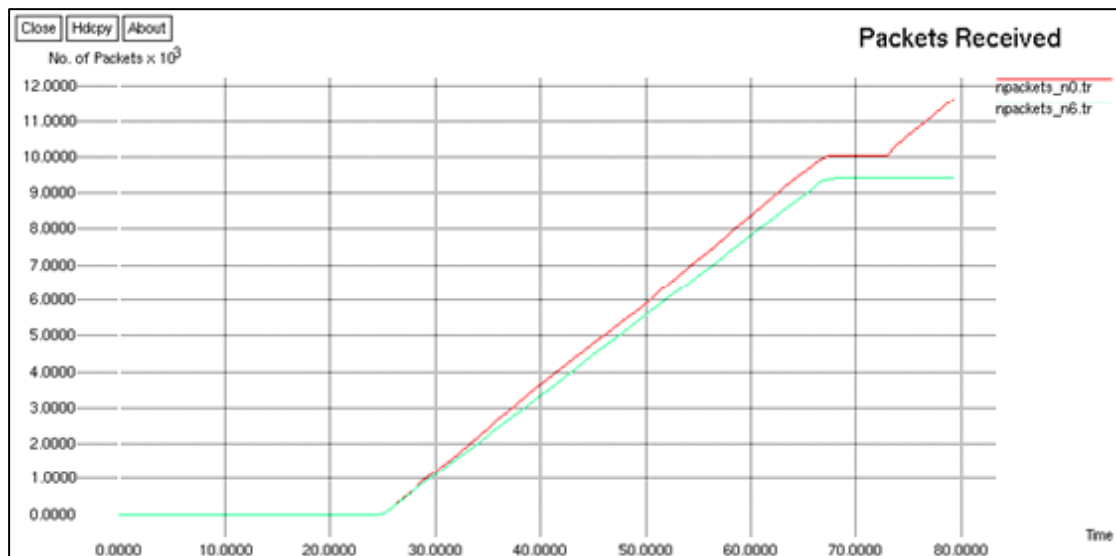
Στο σχήμα 12 παρατηρούμε ότι ο κόμβος n6 στο χρονικό διάστημα 27 – 67 sec παρουσιάζει πολύ μικρές συνεχείς απώλειες πακέτων εκτός από τη χρονική στιγμή 49 sec όπου παρατηρείται μια απότομη απώλεια περίπου 430 πακέτων. Ο κόμβος n0 παρουσιάζει γενικά μηδενική απώλεια πακέτων εκτός από το χρονικό διάστημα 73 - 75 sec όπου παρατηρείται μια απότομη απώλεια πακέτων. Η μέγιστη τιμή της είναι στα 74 sec όπου παρουσιάζεται απώλεια περίπου 1800 πακέτων.



Σχήμα 12

Αριθμός παραληφθέντων πακέτων από τους κόμβους n0 και n6

Στο σχήμα 13 παρατηρούμε ότι οι δύο κόμβοι παρέλαβαν συνολικά περίπου 20000 πακέτα και αναλογικά ο κόμβος n0 έλαβε ένα λίγο μεγαλύτερο αριθμό πακέτων. Στη χρονική στιγμή των 67 sec όπου πραγματοποιείται αλλαγή διαδρομής από τους 2 κόμβους για την αποστολή δεδομένων παρατηρείται μια διακοπή παραλαβής πακέτων και για τους 2 κόμβους. Για τον κόμβο n0 αυτό συνεχίζεται μέχρι και το τέλος της προσομοίωσης, ενώ για τον κόμβο n6 τη χρονική στιγμή των 73 sec η παραλαβή πακέτων επανέρχεται με τον πρότερο ρυθμό

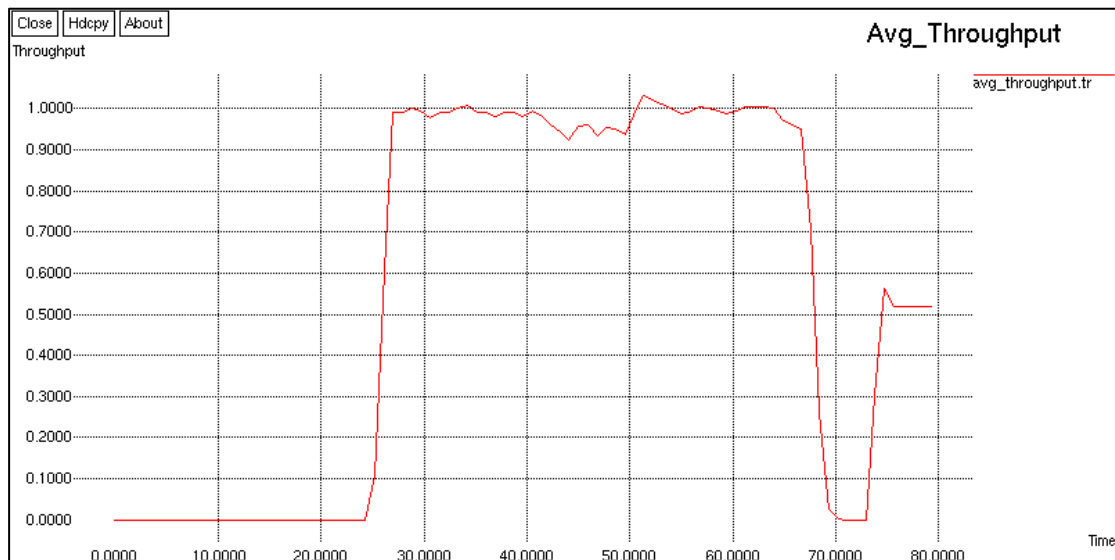


Σχήμα 13

Μέση ρυθμοαπόδοση

Στο σχήμα 14 παρατηρούμε ότι η ρυθμοαπόδοση κυμαίνεται από περίπου 0,95 Mbps μέχρι 1,1 Mbps και παρουσιάζει μια απότομη πτώση τη χρονική περίοδο 67 - 73 sec στα 0,05 Mbps που οφείλεται στην αλλαγή μονοπατιού για την αποστολή και λήψη

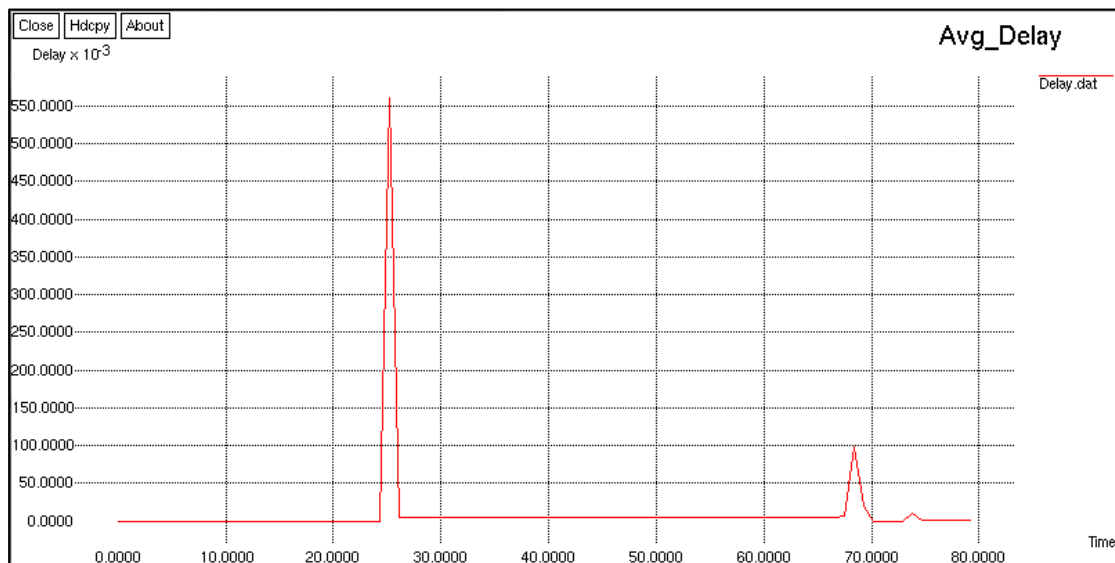
δεδομένων μεταξύ των κόμβων. Αμέσως μετά όμως επανακάμπει και κυμαίνεται περίπου στα 0,5 Mbps μέχρι και το τέλος της προσομοίωσης



Σχήμα 14

Μέση καθυστέρηση

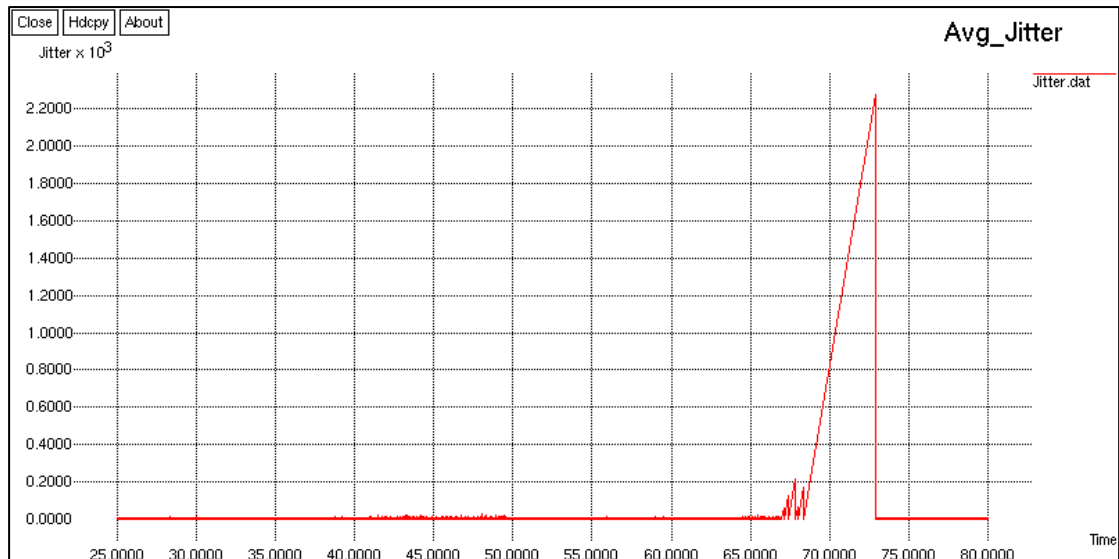
Στο σχήμα 15 παρατηρούμε ότι η μέση καθυστέρηση στο περίπου 26^ο sec κυμάνθηκε στα 550 ms και στο περίπου 68^ο sec άγγιξε τα 100 ms.



Σχήμα 15

Μέση διακύμανση της καθυστέρησης

Στο σχήμα 16 παρατηρούμε ότι η μέση διακύμανση της καθυστέρησης ήταν μηδενική σχεδόν σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης, εκτός από τη στιγμή αλλαγής διαδρομής για τη μετάδοση δεδομένων μεταξύ των κόμβων όπου εκτινάχθηκε στα περίπου 2,2 sec αλλά μετά από κάποιο χρονικό διάστημα επανήλθε και πάλι σε μηδενικά επίπεδα.

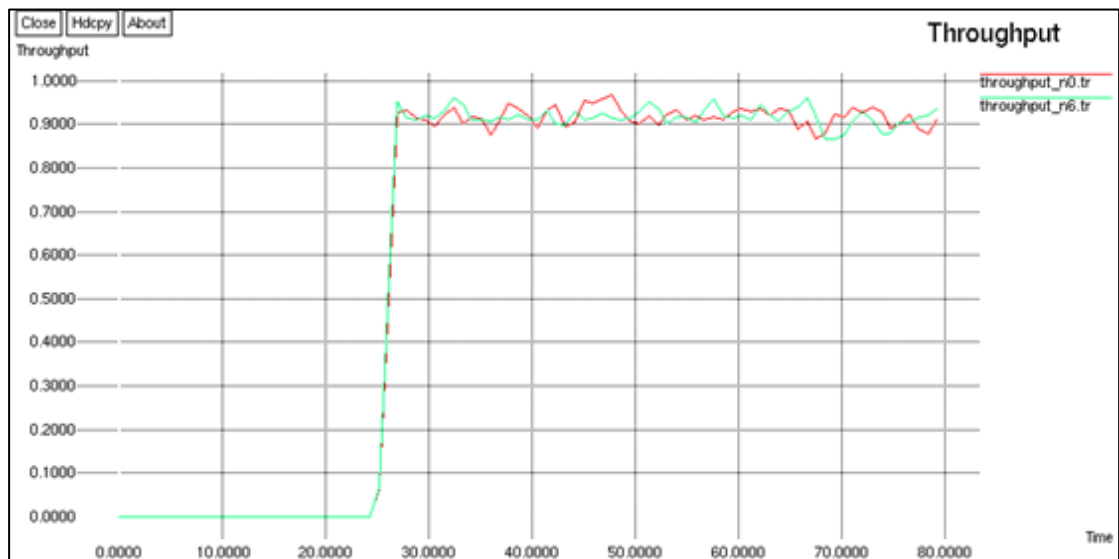


Σχήμα 16

7.1.2.3. DSR

Ρυθμοαπόδοση στους κόμβους n0 και n6

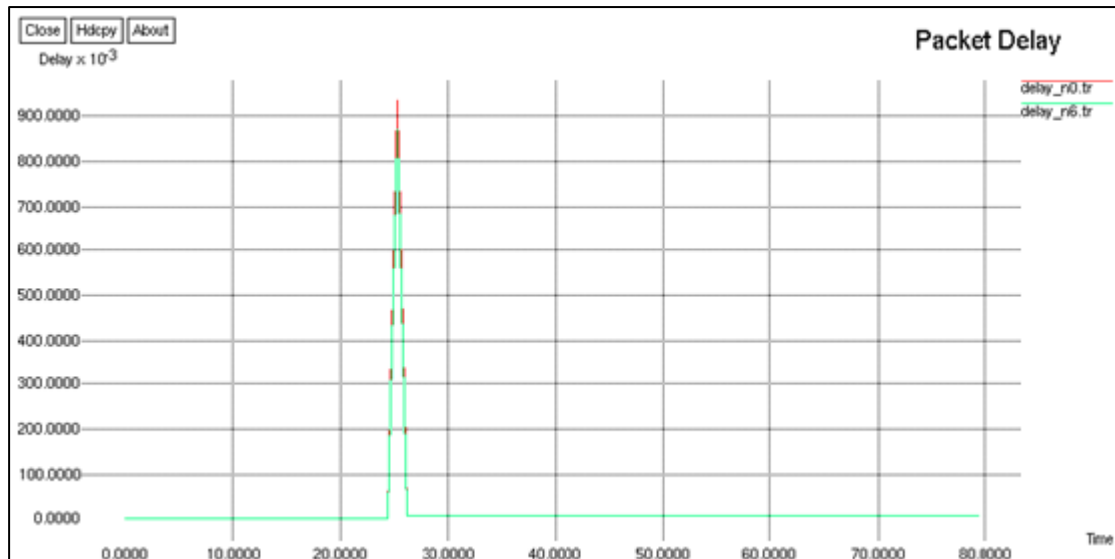
Στο σχήμα 17 παρατηρούμε ότι στο 25^o sec που αρχίζει η μετάδοση των πακέτων και οι δύο κόμβοι δεν παρουσιάζουν μέχρι το τέλος της προσομοίωσης μια σταθερή ρυθμοαπόδοση της τάξης των περίπου 0.9 Mbps.



Σχήμα 17

Καθυστέρηση λήψης των πακέτων από τους κόμβους n0 και n6

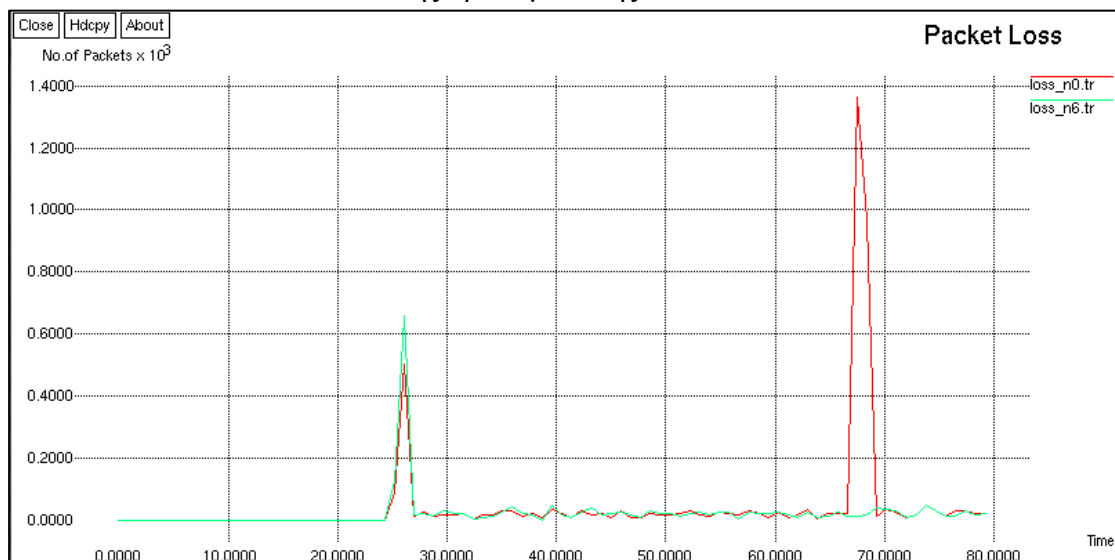
Στο σχήμα 18 παρατηρούμε ότι υπάρχει μια μικρής διάρκειας καθυστέρηση στην λήψη των πακέτων στο χρονικό διάστημα από 24 - 26 sec (δηλαδή διάρκειας περίπου 3 sec) και για τους 2 κόμβους όπως και στο πρωτόκολλο DSDV. Η διαφορά είναι ότι εδώ η μέγιστη τιμή της αγγίζει σχεδόν το 1 sec ενώ στο DSDV άγγιζε περίπου τα 500 ms. Από τα 26 sec η καθυστέρηση λήψης των πακέτων επανέρχεται σε μηδενικά επίπεδα.



Σχήμα 18

Απώλεια πακέτων από τους κόμβους n0 και n6

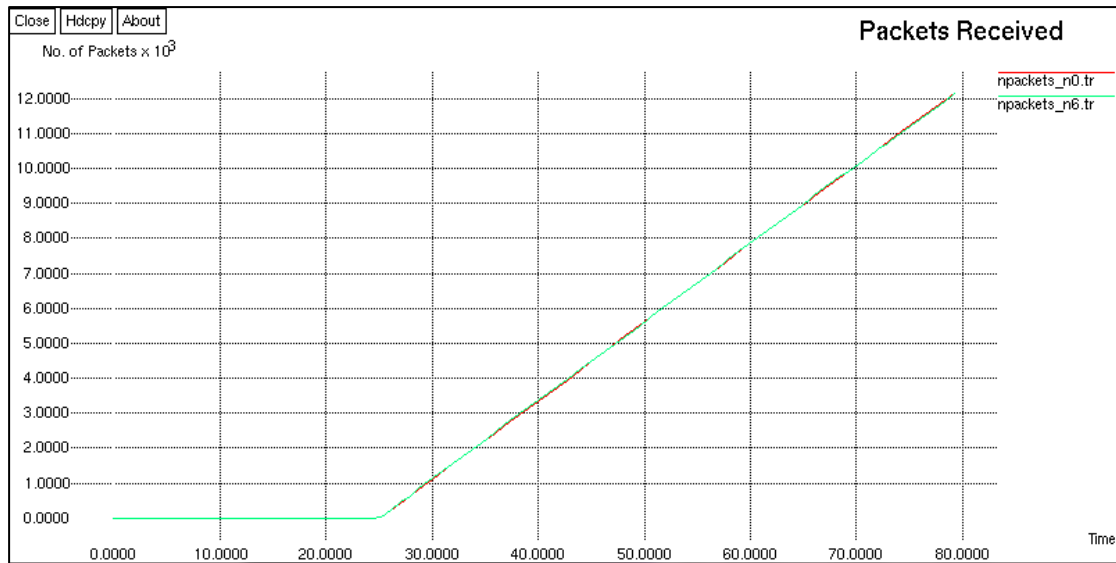
Στο σχήμα 19 παρατηρούμε ότι οι δύο κόμβοι στο χρονικό διάστημα 25 – 27 sec παρουσιάζουν μια συνολική απώλεια 1100 πακέτων με τον κόμβο n0 να χάνει περίπου 500 πακέτα και τον κόμβο n6 να χάνει περίπου 600 πακέτα. Ο κόμβος n6 μετά από αυτό το διάστημα παρουσιάζει μηδενικές απώλειες πακέτων, ενώ ο κόμβος n0 στο χρονικό διάστημα 67 – 69 sec που πραγματοποιείται η αλλαγή διαδρομής παρουσιάζει μια μερική απώλεια πακέτων η οποία παρουσιάζει τη μέγιστη απώλεια των 1400 πακέτων στα 68 sec της προσομοίωσης.



Σχήμα 19

Αριθμός παραληφθέντων πακέτων από τους κόμβους n0 και n6

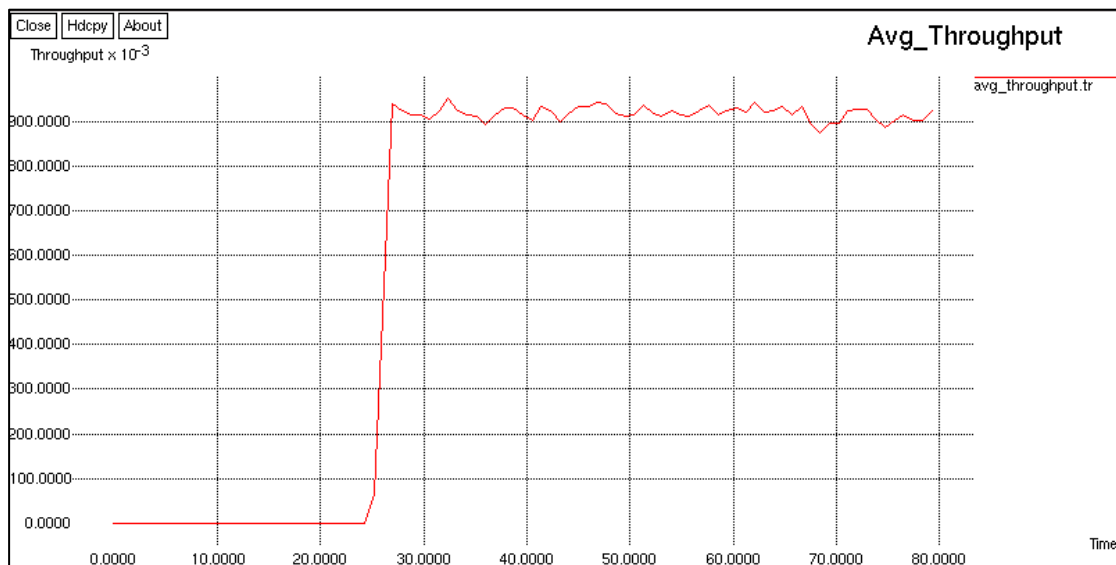
Στο σχήμα 20 παρατηρούμε ότι οι δύο κόμβοι παρέλαβαν συνολικά περίπου 24000 πακέτα με σχεδόν ίση κατανομή λήψης των πακέτων, δηλαδή από περίπου 12000 πακέτα ο κάθε κόμβος.



Σχήμα 20

Μέση ρυθμοαπόδοση

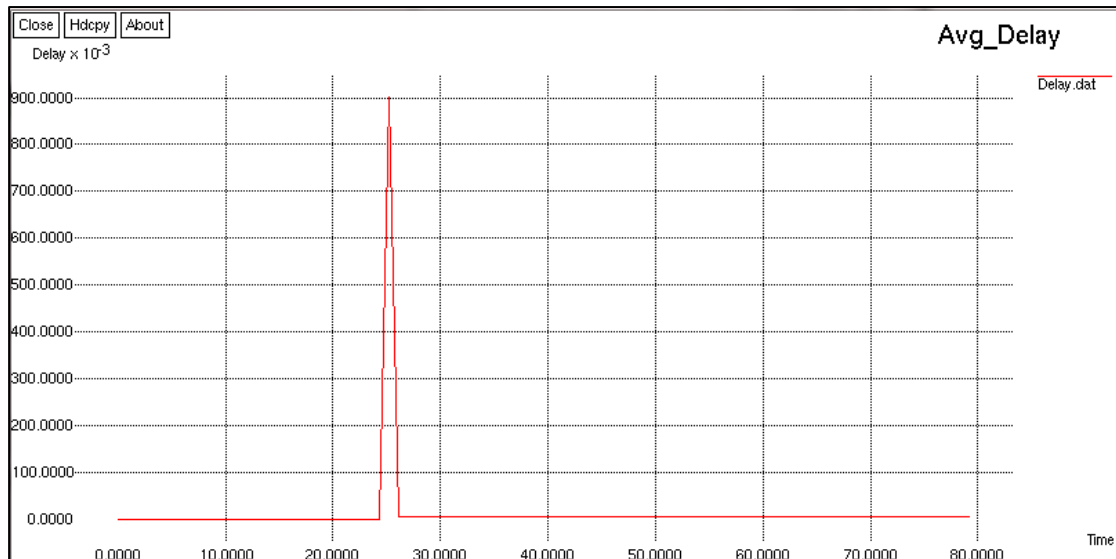
Στο σχήμα 21 παρατηρούμε ότι η ρυθμοαπόδοση κυμαίνεται από περίπου 0,9 Mbps μέχρι περίπου 1,1 Mbps και παρουσιάζει μια στιγμιαία ανεπαίσθητη πτώση στα 0,88 Mbps που οφείλεται στην αλλαγή μονοπατιού για την αποστολή και λήψη δεδομένων μεταξύ των κόμβων στο 67^ο sec της προσομοίωσης.



Σχήμα 21

Μέση καθυστέρηση

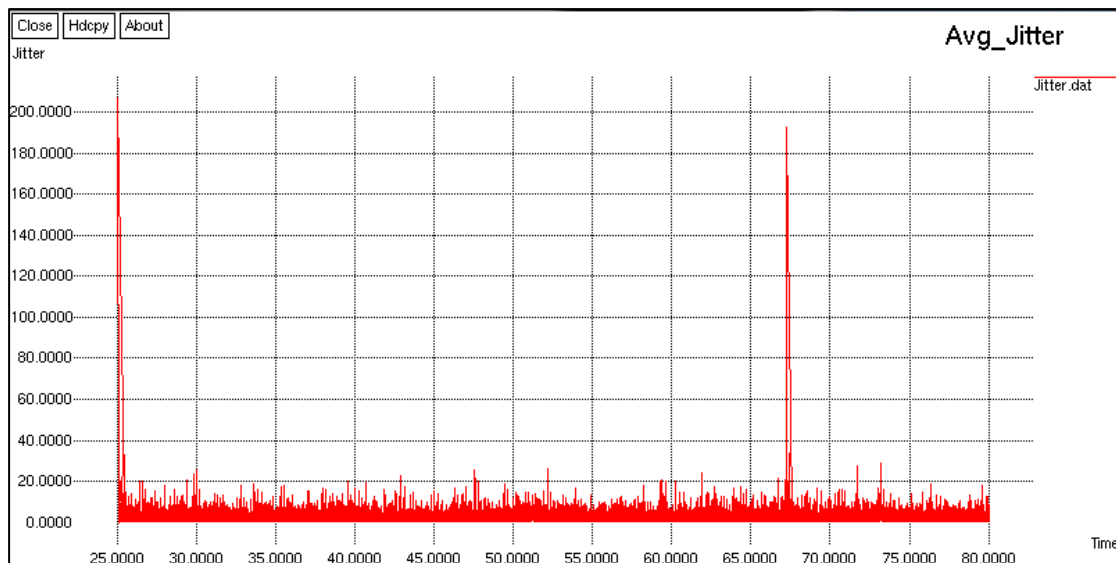
Στο σχήμα 22 παρατηρούμε ότι η μέση καθυστέρηση στο σύστημα είναι σχεδόν μηδενική εκτός από το χρονικό διάστημα των 24 - 26 sec όπου αγγίζει τα 900 ms.



Σχήμα 22

Μέση διακύμανση της καθυστέρησης

Στο σχήμα 23 παρατηρούμε ότι η μέση διακύμανση της καθυστέρησης κυμαινόταν περίπου στα 10 ms καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης με ελάχιστες διακυμάνσεις, πέρα από τη χρονική στιγμή των περίπου 67 sec όπου εκτινάχθηκε στα περίπου 200 ms.



Σχήμα 23

7.1.3. Στατιστικοί πίνακες

Οι στατιστικοί πίνακες που εξήχθησαν στο πρώτο πείραμα παρουσιάζονται στο ακόλουθο υποκεφάλαιο.

Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται τα στατιστικά αποτελέσματα των τριών πρωτοκόλλων AODV, DSDV και DSR που μελετήθηκαν ως προς τις ακόλουθες παραμέτρους: τον αριθμό των απεσταλμένων πακέτων (Sent Packets), τον αριθμό των παραληφθέντων πακέτων (Received Packets), το ποσοστό παράδοσης πακέτων (Packet Delivery Ratio

– PDR), τη μέση ρυθμοαπόδοση (Avg Throughput), τη μέση καθυστέρηση (Avg Delay) και τη μέση διακύμανση της καθυστέρησης (Avg Jitter).

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	AODV	DSDV	DSR
Sent Packets	26856	26856	26856
Received Packets	23587	19411	24581
Lost Packets	3269	5632	2231
PDR (%)	87.82	72.28	91.53
Avg Throughput(Kbps)	878,34	934,24	915,46
Avg Delay (ms)	225.89	183,46	183,68
Avg Jitter (ms)	15,92	30,23	11,70

Πίνακας 3

Στον πίνακα 4 παρουσιάζονται τα στατιστικά αποτελέσματα των τριών πρωτοκόλλων στη ζεύξη του κόμβου πηγής (SrcNode) n0 και του κόμβου προορισμού (DestNode) n6 ως προς τις ακόλουθες παραμέτρους: τον αριθμό των απεσταλμένων πακέτων (Sent Packets), τον αριθμό των παραληφθέντων πακέτων (Received Packets), το ποσοστό παράδοσης πακέτων (Packet Delivery Ratio – PDR), τη μέση ρυθμοαπόδοση (Avg Throughput), τη μέση καθυστέρηση (Avg Delay), τη μέση διακύμανση της καθυστέρησης σε 5 μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν (Avg Jitter1, Avg Jitter2, Avg Jitter3, Avg Jitter4, Avg Jitter5) καθώς και τη μέση διακύμανση της καθυστέρησης που προκύπτει από το μέσο όρο των 5 παραπάνω μετρήσεων (Avg Jitter).

SrcNode: n0 DestNode n6	AODV	DSDV	DSR
Sent Packets	13428	13428	13428
Received Packets	11772	9408	12303
PDR(%)	87,67	70,06	91,62
Avg Throughput(Kbps)	876,72	892,92	916,37
Avg Delay (ms)	226,83	238,03	158,92
Avg Jitter1 (ms)	3,92	3,09	3,11
Avg Jitter2 (ms)	4,91	4,15	4,18
Avg Jitter3 (ms)	3,26	48,38	3,91
Avg Jitter4 (ms)	3,56	60,26	4,51
Avg Jitter5 (ms)	62,36	66,14	43,76
Avg Jitter (ms)	15,60	27,65	11,89

Πίνακας 4

Στον πίνακα 5 παρουσιάζονται τα στατιστικά αποτελέσματα των τριών πρωτοκόλλων στη ζεύξη του κόμβου πηγής (SrcNode) n6 και του κόμβου προορισμού (DestNode) n0 ως προς τις ακόλουθες παραμέτρους: τον αριθμό των απεσταλμένων πακέτων (Sent Packets), τον αριθμό των παραληφθέντων πακέτων (Received Packets), το ποσοστό παράδοσης πακέτων (Packet Delivery Ratio – PDR), τη μέση ρυθμοαπόδοση (Avg Throughput), τη μέση καθυστέρηση (Avg Delay), τη μέση διακύμανση της καθυστέρησης σε 5 μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν (Avg Jitter1, Avg Jitter2, Avg Jitter3, Avg Jitter4, Avg Jitter5) καθώς και τη μέση διακύμανση της

καθυστερήσης που προκύπτει από το μέσο όρο των 5 παραπάνω μετρήσεων (Avg Jitter).

SrcNode: n6 DestNode n0	AODV	DSDV	DSR
Sent Packets	13428	13428	13428
Received Packets	11815	10003	12278
PDR (%)	87,99	74,49	91,44
Avg Throughput(Kbps)	879,96	975,56	914,54
Avg Delay (Kbps)	224,94	128,88	208,44
Avg Jitter1 (ms)	3,89	2,30	3,71
Avg Jitter2 (ms)	4,88	3,39	4,80
Avg Jitter3 (ms)	3,83	2,31	4,36
Avg Jitter4 (ms)	4,42	3,17	5,85
Avg Jitter5 (ms)	64,14	83,35	38,81
Avg Jitter (ms)	16,23	18,90	11,51

Πίνακας 5

7.1.4. Ανάλυση αποτελεσμάτων

AODV

Στο πρωτόκολλο AODV είχαμε ποσοστό παράδοσης πακέτων στο 87,82% και λήφθηκαν τα 23587 πακέτα από τα 26856 συνολικά. Η μέση ρυθμοαπόδοση κυμάνθηκε στα 878,34 Kbps, η μέση καθυστέρηση στα 225,89ms και η μέση διακύμανση της καθυστέρησης στα 15,92 ms.

Από τα δεδομένα που λήφθηκαν από τους 2 κόμβους μεταξύ των οποίων πραγματοποιήθηκε η επικοινωνία, προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

Κόμβος πηγή: n0 Κόμβος προορισμός: n6

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη διαδρομή από τον κόμβο n0 στον κόμβο n6, το ποσοστό ληφθέντων πακέτων έφτασε στο 87,67%, η μέση ρυθμοαπόδοση στα 876,72 Kbps και η μέση καθυστέρηση στα 226,83 ms. Από τις 5 μέσες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, η διακύμανση της καθυστέρησης κυμάνθηκε περίπου στα 15,60 ms.

Κόμβος πηγή: n6 Κόμβος προορισμός: n0

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη διαδρομή από τον κόμβο n0 στον κόμβο n6, το ποσοστό ληφθέντων πακέτων έφτασε στο 87,99%, η μέση ρυθμοαπόδοση στα 879,96 Kbps, και η μέση καθυστέρηση στα 224,94 ms. Από τις 5 μέσες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, η διακύμανση της καθυστέρησης κυμάνθηκε περίπου στα 16,23 ms.

DSDV

Στο πρωτόκολλο DSDV είχαμε ποσοστό παράδοσης πακέτων στο 72,28% και λήφθηκαν τα 19411 πακέτα από τα 26856 συνολικά. Η μέση ρυθμοαπόδοση κυμάνθηκε στα 934,24 Kbps, η μέση καθυστέρηση στα 157,197 ms και η μέση διακύμανση της καθυστέρησης στα 30,23 ms.

Από τα δεδομένα που λήφθηκαν από τους 2 κόμβους μεταξύ των οποίων πραγματοποιήθηκε η επικοινωνία, προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

Κόμβος πηγή: n0 Κόμβος προορισμός: n6

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη διαδρομή από τον κόμβο n0 στον κόμβο n6, το ποσοστό ληφθέντων πακέτων έφτασε στο 70,06%, η μέση ρυθμοαπόδοση στα 892,92 Kbps, και η μέση καθυστέρηση στα 238,03 ms. Από τις 5 μέσες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, η διακύμανση της καθυστέρησης κυμάνθηκε περίπου στα 27,65 ms. Εδώ παρατηρούμε ότι ενώ στις 2 πρώτες μετρήσεις το jitter ήταν σε επίπεδα παρόμοια με του πρωτοκόλλου AODV, στις 3επόμενες μετρήσεις εκτινάχτηκαν στα 48,38 ms, στα 60,26 ms και μετά στα 66,14 ms.

Κόμβος πηγή: n6 Κόμβος προορισμός: n0

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη διαδρομή από τον κόμβο n0 στον κόμβο n6, το ποσοστό ληφθέντων πακέτων έφτασε στο 74,49%, η μέση ρυθμοαπόδοση στα 975,56 Kbps, και η μέση καθυστέρηση στα 128,88 ms. Από τις 5 μέσες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, η διακύμανση της καθυστέρησης κυμάνθηκε στα 18,90 ms.

DSR

Στο πρωτόκολλο DSR είχαμε ποσοστό παράδοσης πακέτων στο 91,53% και λήφθηκαν τα 24581 πακέτα από τα 26856 συνολικά. Η μέση ρυθμοαπόδοση κυμάνθηκε στα 915,46 Kbps, η μέση καθυστέρηση στα 183,68 ms και η μέση διακύμανση της καθυστέρησης στα 11.70 ms.

Από τα δεδομένα που λήφθηκαν από τους 2 κόμβους μεταξύ των οποίων πραγματοποιήθηκε η επικοινωνία, προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

Κόμβος πηγή: n0 Κόμβος προορισμός: n6

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη διαδρομή από τον κόμβο n0 στον κόμβο n6, το ποσοστό ληφθέντων πακέτων έφτασε στο 91,62%, η μέση ρυθμοαπόδοση στα 916,37 Kbps, και η μέση καθυστέρηση στα 158,92 ms. Από τις 5 μέσες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, η διακύμανση της καθυστέρησης κυμάνθηκε περίπου στα 11,89 ms.

Κόμβος πηγή: n6 Κόμβος προορισμός: n0

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη διαδρομή από τον κόμβο n0 στον κόμβο n6, το ποσοστό ληφθέντων πακέτων έφτασε στο 91,44%, η μέση ρυθμοαπόδοση στα 914,54 Kbps, και η μέση καθυστέρηση στα 208,44 ms. Από τις 5 μέσες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, η διακύμανση της καθυστέρησης κυμάνθηκε σε χαμηλά ποσοστά στα περίπου 11,51 ms.

7.1.5. Συμπεράσματα

Ολοκληρώνοντας το πρώτο πείραμα και αναλύοντας τα στατιστικά δεδομένα που προέκυψαν ως προς την συμπεριφορά των 3 πρωτοκόλλων AODV, DSDV και DSR, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

Το πρωτόκολλο AODV συμπεριφέρθηκε πολύ καλά στην επικοινωνία μεταξύ των 2 κόμβων και πραγματοποίησε με επιτυχία την αποστολή πακέτων, αγγίζοντας το

αρκετά καλό ποσοστό του 87,82%. Η μέση ρυθμοαπόδοση και η μέση καθυστέρηση που παρουσίασε ήταν σε καλά επίπεδα και παρόμοια με τα άλλα πρωτόκολλα και οι διακυμάνσεις της καθυστέρησης δεν ξεπέρασαν τα 16 ms. Η απώλεια πακέτων από τους 2 κόμβους, πραγματοποιήθηκε στη αρχή της μετάδοσης και μετέπειτα όλα ήταν ομαλά. Το πρωτόκολλο αυτό συμπεριφέρθηκε πιο καλά από όλα στην αλλαγή μονοπατιού που πραγματοποιήθηκε λόγω της κίνησης μεταξύ των ασύρματων κόμβων, δεδομένου ότι ούτε η ρυθμοαπόδοση, ούτε η μέση καθυστέρηση ούτε όμως και οι διακυμάνσεις της καθυστέρησης παρουσίασαν μεγάλες αλλαγές. Αντιθέτως, οι διακυμάνσεις ήταν στιγμιαίες κατά τη χρονική στιγμή της αλλαγής μονοπατιού και αμέσως μετά επανήλθαν όλες οι τιμές στα πρότερα επίπεδα. Επομένως το πρωτόκολλο αυτό, αν και δεν άγγιξε τις πιο υψηλές τιμές ρυθμοαπόδοσης και λήψης πακέτων που παρουσίασε το πρωτόκολλο DSR, είχε τη πιο σταθερή συμπεριφορά.

Το πρωτόκολλο DSDV συμπεριφέρθηκε καλά στην επικοινωνία μεταξύ των 2 κόμβων και πραγματοποίησε με επιτυχία την αποστολή πακέτων, αγγίζοντας το ποσοστό του 72,28%. Το ποσοστό αυτό δεν είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικό και πιθανώς να δημιουργήσει προβλήματα στο video conference λόγω του περίπου 25% ποσοστού απώλειας πακέτων. Η μέση ρυθμοαπόδοση του κινήθηκε σε ικανοποιητικό επίπεδο. Η μέση καθυστέρηση που παρουσίασε ήταν σε πιο χαμηλό επίπεδο σε σχέση με τα 2 πρωτόκολλα (DSR και DSDV), αλλά παρατηρούμε ότι η καθυστέρηση που πραγματοποιήθηκε ξεχωριστά σε κάθε κόμβο είχε μεγάλη διαφορά. Συγκεκριμένα, στον κόμβο n6 άγγιξε τα 238,03ms ενώ στον κόμβο n0 τα 128,88ms. Παρόμοια συμπεριφορά παρατηρούμε και στις διακυμάνσεις της καθυστέρησης, όπου οι μέσες τιμές από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν έχουν διακύμανση από τα 2 ms μέχρι και τα 80 ms. Κατά τη διάρκεια αλλαγής μονοπατιού και για χρονικό διάστημα διάρκειας περίπου 5 sec η μέση ρυθμοαπόδοση στο πρωτόκολλο αυτό έπεσε στο 0 και αυξήθηκε απότομα η καθυστέρηση παραλαβής πακέτων. Αμέσως μετά από αυτό το διάστημα, σε αντίθεση με το πρωτόκολλο AODV που επανήλθε στα πρότερα επίπεδα ρυθμοαπόδοσης, το πρωτόκολλο αυτό ανέβηκε στα μόλις 550 Kbps και παρέμεινε σε αυτά τα επίπεδα μέχρι το τέλος της προσομοίωσης. Επομένως συμπεραίνουμε ότι το πρωτόκολλο αυτό αν και σε γενικές στιγμές ανταποκρίνεται ικανοποιητικά σε μία προσομοίωση με κινητούς κόμβους, όταν πραγματοποιείται αλλαγή του μονοπατιού με το οποίο θα σταλούν τα δεδομένα, ο αλγόριθμος αυτός δεν ανταπεξέρχεται γρήγορα και άμεσα, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται προβλήματα στην επικοινωνία.

Το πρωτόκολλο DSR συμπεριφέρθηκε πολύ καλά στην επικοινωνία μεταξύ των 2 κόμβων και πραγματοποίησε με επιτυχία την αποστολή πακέτων, αγγίζοντας το αρκετά καλό ποσοστό του 91,53%, το υψηλότερο ποσοστό μεταξύ των 3 πρωτοκόλλων. Η μέση ρυθμοαπόδοση που παρουσίασε ήταν η δεύτερη υψηλότερη. Η μέση καθυστέρησή του ήταν στο ίδιο επίπεδο με το πρωτόκολλο DSDV, αλλά παρουσίασε τα χαμηλότερα επίπεδα διακύμανσης της καθυστέρησης σε σχέση με τα υπόλοιπα πρωτόκολλα.. Οι διακυμάνσεις της καθυστέρησης κυμάνθηκαν από 4 ms μέχρι περίπου 44 ms. Το πρωτόκολλο αυτό συμπεριφέρθηκε καλά στην αλλαγή μονοπατιού που πραγματοποιήθηκε λόγω της κίνησης μεταξύ των ασύρματων κόμβων και η ρυθμοαπόδοση του παρέμεινε σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της

προσομοίωσης. Επομένως το πρωτόκολλο αυτό, είναι σταθερό και αξιόπιστο όπως και το πρωτόκολλο AODV αλλά παρουσιάζει κάποιες διακυμάνσεις.

7.2. Δεύτερο πείραμα προσομοίωσης

Το δεύτερο πείραμα προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκε, εστίασε στην επικοινωνία μεταξύ 3 κινητών κόμβων σε ένα αδόμητο δίκτυο επικοινωνιών (MANET) όπου πραγματοποιήθηκαν αρκετές εναλλαγές διαδρομών και τα μονοπάτια μεταβάλλονταν σε τακτά χρονικά διαστήματα. Ο σκοπός του πειράματος αυτού είναι να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τη συμπεριφορά των τριών πρωτοκόλλων, στην πιο σύνθετη περίπτωση ταυτόχρονης μετάδοσης και λήψης δεδομένων μεταξύ 3 κινητών κόμβων όπου ανάμεσα τους παρεμβάλλονται και άλλοι κόμβοι εν κινήσει και πραγματοποιούνται αρκετές εναλλαγές διαδρομών, ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την προσαρμοστικότητα και την απόδοσή τους καθώς και σχετικά με την απόδοση του συνολικού συστήματος. Οι παρατηρήσεις μας εστιάζονται και πάλι στην επίτευξη του στόχου της ελάχιστης δυνατής καθυστέρησης και διακύμανσης της καθυστέρησης μετάδοσης και λήψης των πακέτων, λόγω της διενέργειας του video conferencing, δηλαδή της πολυμεσικής εφαρμογής με τις υψηλότερες απαιτήσεις διατήρησης επικοινωνίας. Το ποσοστό επιτυχούς αποστολής και λήψης πακέτων μας ενδιαφέρει σε δεύτερο επίπεδο, διότι το κύριο ζήτημά μας είναι η συνεχής μετάδοση πακέτων ανεξάρτητα των απωλειών που προκύπτουν από την συχνή εναλλαγή διαδρομών λόγω της διαρκούς κίνησης των κόμβων που βρίσκονται στο δίκτυο.

7.2.1. Βασικά χαρακτηριστικά

Το σενάριο της προσομοίωσης αποτελείται από 7 κινητούς κόμβους οι οποίοι έχουν καθορισμένες θέσεις στο χώρο κατά την έναρξη της προσομοίωσης. Αφορά σε ένα video conference όπου η επικοινωνία πραγματοποιείται μεταξύ 3 κόμβων και υπάρχουν 4 ενδιάμεσοι κόμβοι στο χώρο. Στο πρώτο σενάριο προσομοίωσης έχει καθοριστεί επικοινωνία μεταξύ 3 κόμβων, των n0, n5 και n6. Ο κόμβος n0 στέλνει δεδομένα στους κόμβους n1 και n6, ο κόμβος n5 στέλνει δεδομένα στους κόμβους n0 και n6 και ο κόμβος n6 στέλνει δεδομένα στους κόμβους n0 και n5.

Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, ορισμένοι από τους κόμβους έχουν οριστεί να κινηθούν στο χώρο σε συγκεκριμένες συντεταγμένες και με διακυμάνσεις στην ταχύτητά τους.

Οι κόμβοι έχουν οριστεί ως οι n0, n1, n2, n3, n4, n5 και n6. Οι θέσεις τους είναι οι ακόλουθες: $n_i(x,y)$ όπου n_i = κόμβος, $i=0,1,2,3,4,5,6$, x = μήκος (m) και y = πλάτος (m):

- n0(402,360)
- n1(555,454)
- n2(735,444)
- n3(554,330)
- n4(792,296)
- n5(870,430)

- n6(632,250)

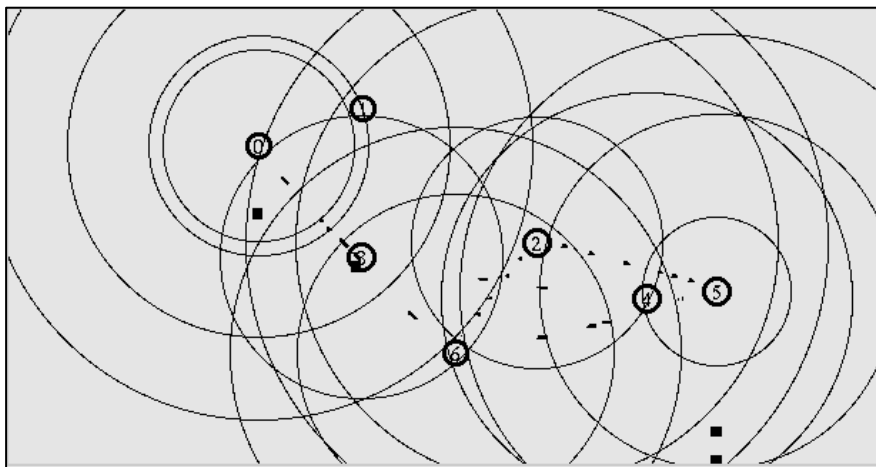
Η τοπολογία της προσομοίωσης έχει μήκος 1050 μέτρα και πλάτος 550 μέτρα. Η διάρκεια της προσομοίωσης είναι 80 δευτερόλεπτα. Η χρονική στιγμή έναρξης αποστολής των πακέτων έχει οριστεί στα 25 δευτερόλεπτα και η χρονική στιγμή διακοπής αποστολής των πακέτων έχει οριστεί στα 80 δευτερόλεπτα. Η κίνηση των κόμβων αρχίζει στο 25^ο δευτερόλεπτο από τη στιγμή έναρξης της προσομοίωσης. Η κίνηση των κόμβων έχει καθοριστεί ως ακολούθως:

- Ο κόμβος n0 στο 25^ο λεπτό κινείται στη θέση (470,425) με ταχύτητα 35 m/s
- Ο κόμβος n0 στο 35^ο λεπτό κινείται στη θέση (400,360) με ταχύτητα 30 m/s
- Ο κόμβος n1 στο 45^ο λεπτό κινείται στη θέση (730,345) με ταχύτητα 25 m/s
- Ο κόμβος n2 στο 25^ο λεπτό κινείται στη θέση (700,340) με ταχύτητα 45 m/s
- Ο κόμβος n4 στο 45^ο λεπτό κινείται στη θέση (760,350) με ταχύτητα 20 m/s
- Ο κόμβος n5 στο 25^ο λεπτό κινείται στη θέση (850,300) με ταχύτητα 45 m/s
- Ο κόμβος n5 στο 65^ο λεπτό κινείται στη θέση (870,430) με ταχύτητα 40 m/s
- Ο κόμβος n6 στο 45^ο λεπτό κινείται στη θέση (620,250) με ταχύτητα 50 m/s
- Ο κόμβος n6 στο 65^ο λεπτό κινείται στη θέση (240,255) με ταχύτητα 20 m/s

Οι κόμβοι αλλάζουν συχνά θέσεις κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Τα κύρια μονοπάτια που σχηματίζονται μεταξύ των κόμβων n0, n5 και n6 είναι τα ακόλουθα:

Μονοπάτια μεταξύ των κόμβων στο χρονικό διάστημα 25 – 54s

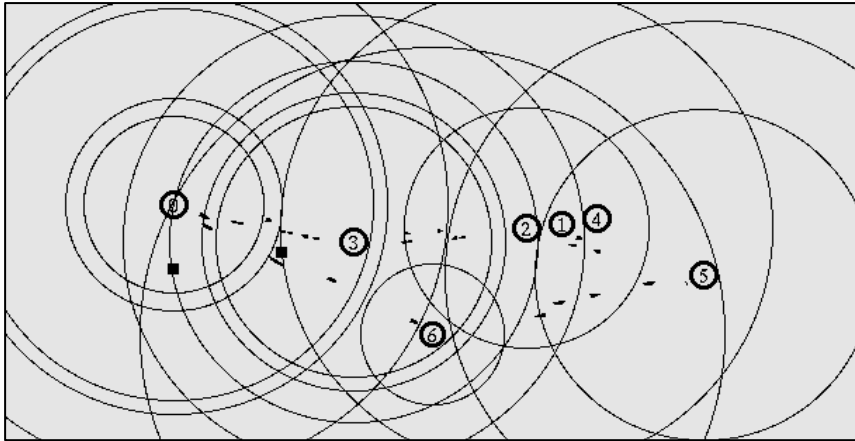
Στο σχήμα 24 παρατηρούμε ότι αρχικά η μετάδοση των δεδομένων μεταξύ των κόμβων n0 και n6, πραγματοποιείται με τη χρήση του μονοπατιού **n0 – n3 – n6**, η μετάδοση των δεδομένων μεταξύ των κόμβων n0 και n5 πραγματοποιείται με τη χρήση των μονοπατιών **n0 – n3 – n6 – n2 – n5**, **n0 – n1 – n2 – n5** και **n0 – n3 – n4 – n5** και η μετάδοση των δεδομένων n5 και n6 πραγματοποιείται με τη χρήση των μονοπατιών **n5 – n4 – n6** και **n5 – n2 – n6**.



Σχήμα 24

Μονοπάτια μεταξύ των κόμβων στο χρονικό διάστημα 54 – 66s

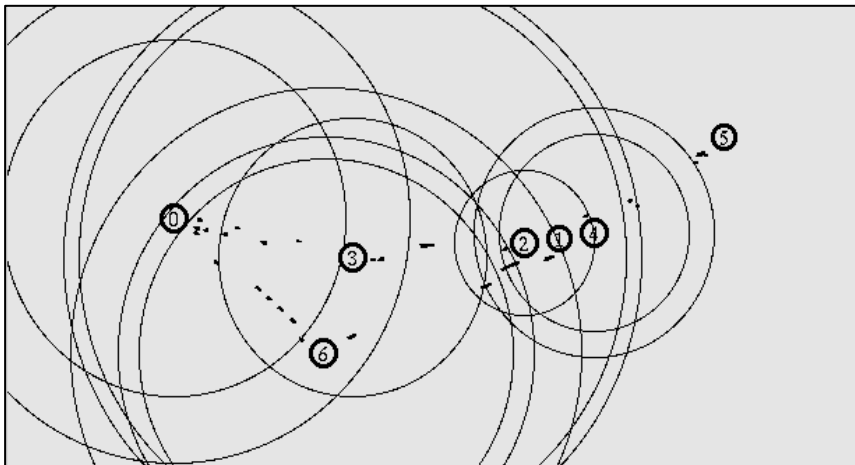
Στο σχήμα 25 παρατηρούμε ότι η μετάδοση των δεδομένων μεταξύ των κόμβων n0 και n6, πραγματοποιείται χωρίς τη χρήση ενδιάμεσων κόμβων, η μετάδοση των δεδομένων μεταξύ των κόμβων n0 και n5 πραγματοποιείται με τη χρήση του μονοπατιού **n0 - n3 - n2 - n1 - n4 - n5** και η μετάδοση των δεδομένων n5 και n6 πραγματοποιείται χωρίς τη χρήση ενδιάμεσων κόμβων.



Σχήμα 25

Μονοπάτια μεταξύ των κόμβων στο χρονικό διάστημα 66 – 75s

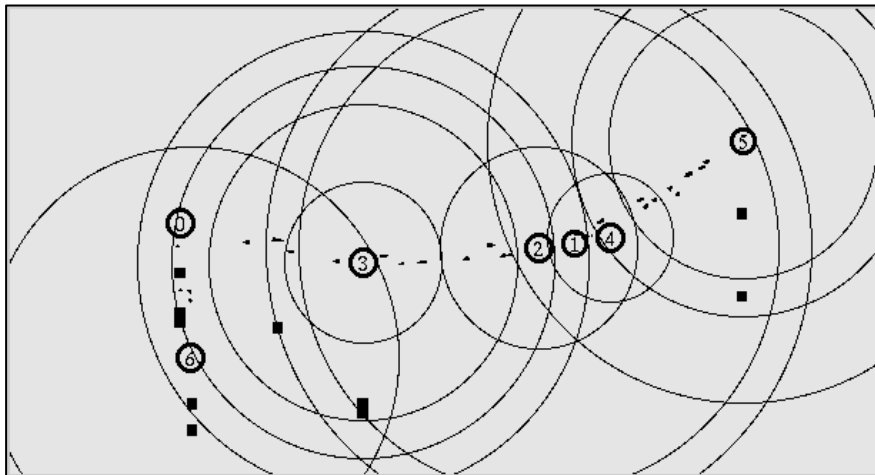
Στο σχήμα 26 παρατηρούμε ότι η μετάδοση των δεδομένων μεταξύ των κόμβων n0 και n6, πραγματοποιείται και πάλι χωρίς τη χρήση ενδιάμεσων κόμβων, η μετάδοση των δεδομένων μεταξύ των κόμβων n0 και n5 πραγματοποιείται με τη χρήση του μονοπατιού **n0 - n3 - n2 - n1 - n4 - n5** και η μετάδοση των δεδομένων n5 και n6 πραγματοποιείται με τη χρήση του μονοπατιού **n5 - n4 - n6**.



Σχήμα 26

Μονοπάτια μεταξύ των κόμβων στο χρονικό διάστημα 75– 80s

Στο σχήμα 27 παρατηρούμε ότι η μετάδοση των δεδομένων μεταξύ των κόμβων n0 και n6, πραγματοποιείται χωρίς τη χρήση ενδιάμεσων κόμβων, η μετάδοση των δεδομένων μεταξύ των κόμβων n0 και n5 πραγματοποιείται με τη χρήση του μονοπατιού **n0 - n3 - n2 - n1 - n4 - n5** και η μετάδοση των δεδομένων n5 και n6 πραγματοποιείται με τη χρήση του μονοπατιού **n5 - n4 - n1 - n2 - n3 - n0 - n6**.



Σχήμα 27

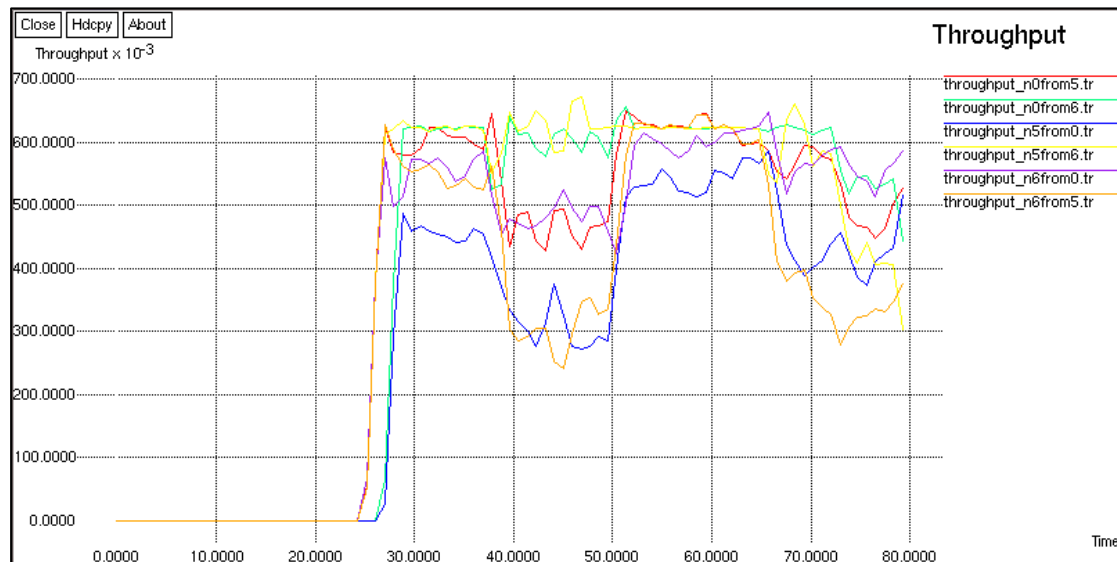
7.2.2. Ανάλυση αποτελεσμάτων

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα από τα πρωτόκολλα:

7.2.2.1. AODV

Ρυθμοαπόδοση στους κόμβους n0, n5 και n6

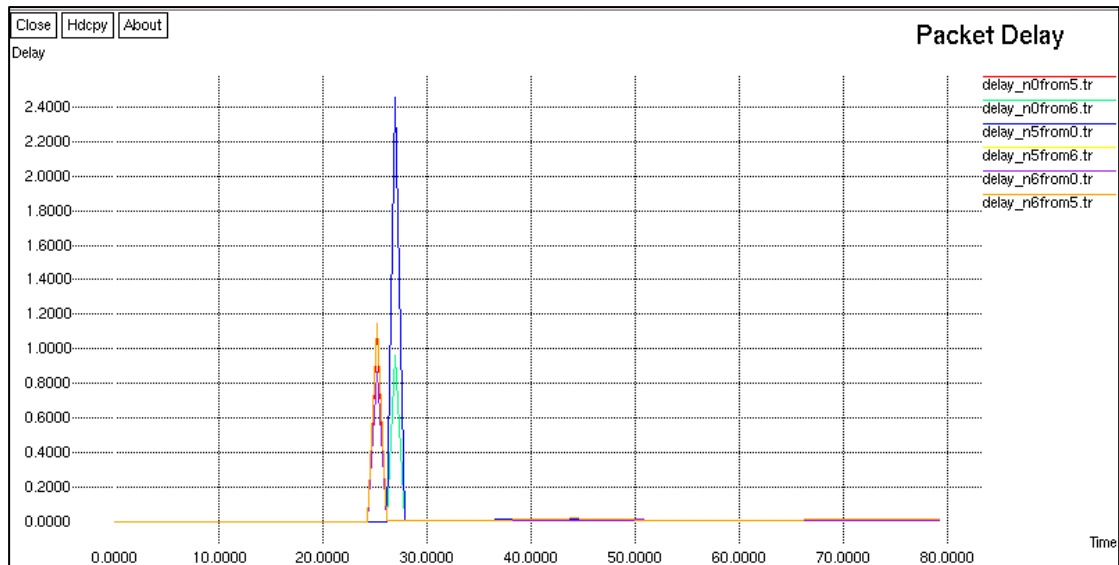
Στο σχήμα 28 παρατηρούμε ότι η ρυθμοαπόδοση των τριών κόμβων ήταν σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης μεταξύ των 0,4 – 0,65 Mbps. Την χαμηλότερη απόδοση παρατηρούμε στον κόμβο n6 από τον κόμβο n5 καθώς και στον κόμβο n5 από τον κόμβο n0, που μάλιστα στη χρονική περίοδο 40 - 50 sec κυμάνθηκε κοντά στα 0,3 Mbps.



Σχήμα 28

Καθυστέρηση λήψης των πακέτων από τους κόμβους n0, n5 και n6

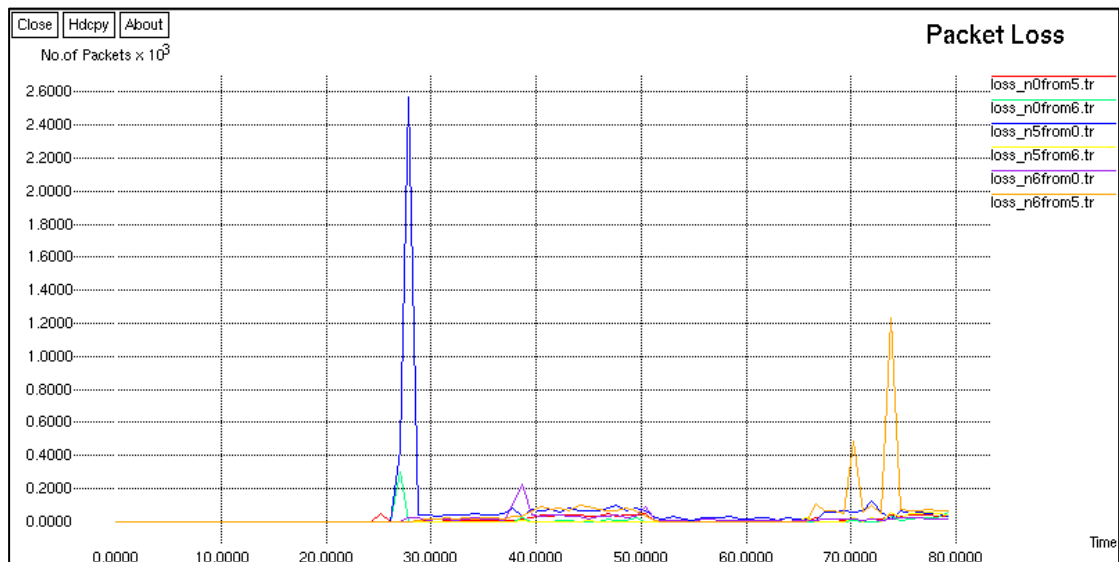
Στο σχήμα 29 παρατηρούμε ότι μεταξύ των 23 – 28 sec παρουσιάζεται μια καθυστέρηση στην λήψη των πακέτων σε σχεδόν όλες τις ζεύξεις κόμβων, με τη μεγαλύτερη να έχει διάρκεια 2,4 sec.



Σχήμα 29

Απώλεια πακέτων από τους κόμβους n0, n5 και n6

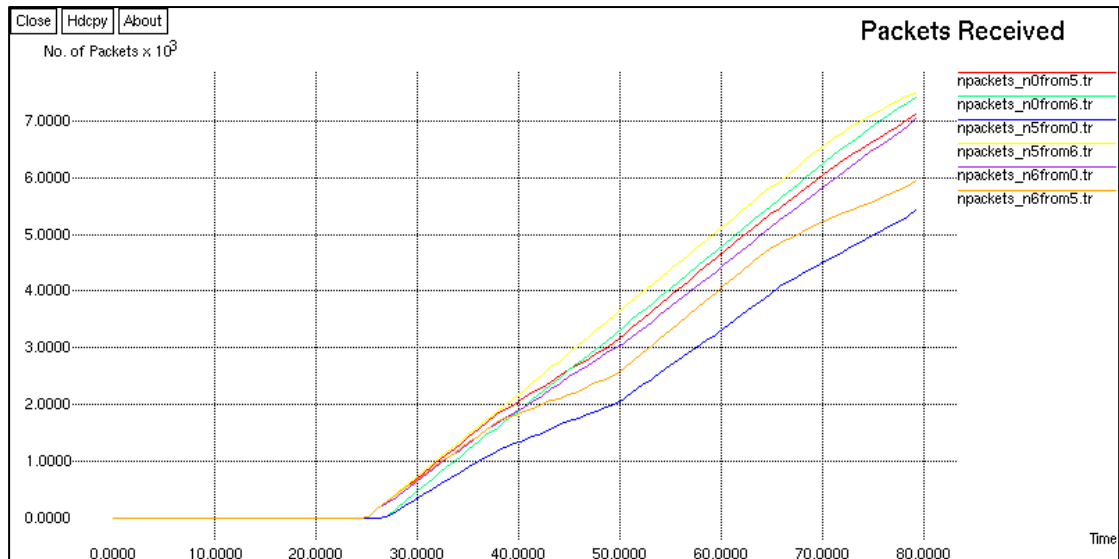
Στο σχήμα 30 παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη απώλεια πακέτων παρατηρείται το χρονικό διάστημα 25 – 30 sec, όπου ο κόμβος n5 δεν παραλαμβάνει περίπου 2600 πακέτα από τον κόμβο n0. Μια επίσης αισθητή απώλεια πακέτων παρατηρείται μετά το 70^ο sec της προσομοίωσης όπου ο κόμβος n6 δεν παραλαμβάνει περίπου 1200 πακέτα από τον κόμβο n5. Παρατηρούνται και κάποιες ακόμα μικρές απώλειες και σε άλλες χρονικές στιγμές της προσομοίωσης.



Σχήμα 30

Αριθμός παραληφθέντων πακέτων από τους κόμβους n0, n5 και n6

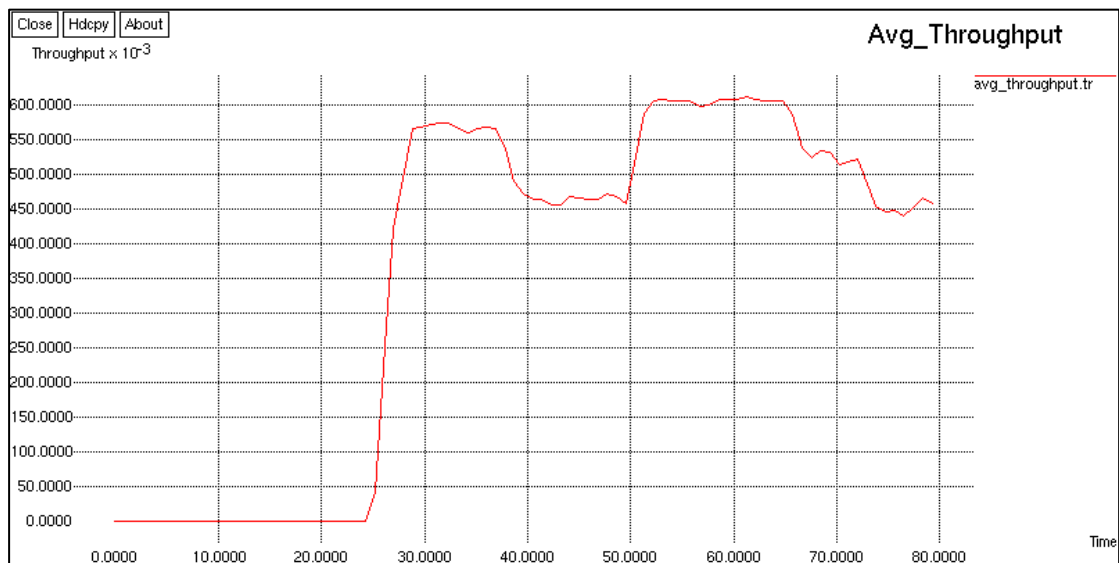
Στο σχήμα 31 παρατηρούμε ότι οι 3 κόμβοι παρέλαβαν από 5000 – 7000 πακέτα περίπου ο καθένας από την κάθε διεύθυνση αποστολής.



Σχήμα 31

Μέση ρυθμοαπόδοση

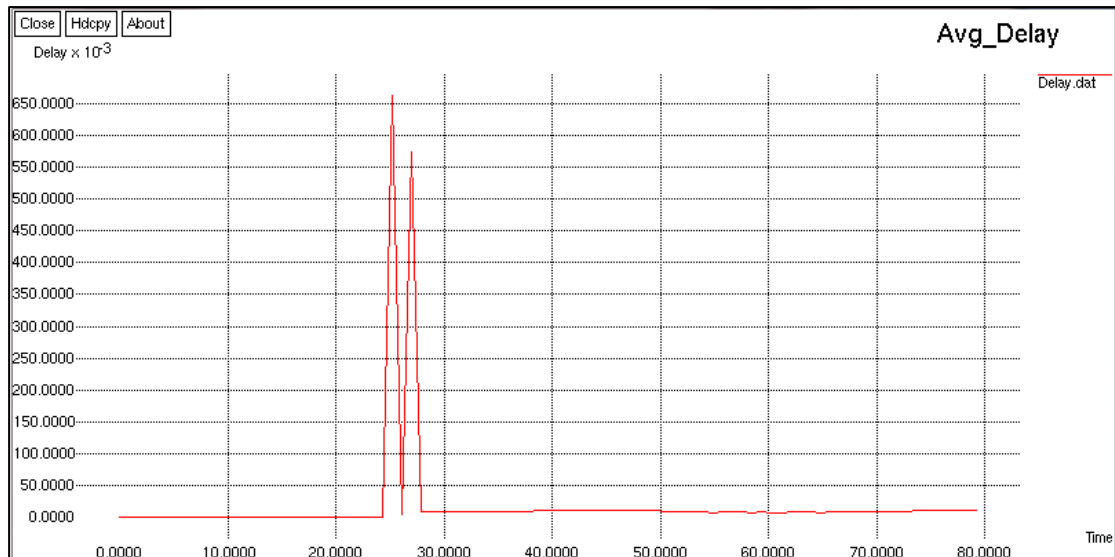
Στο σχήμα 32 παρατηρούμε ότι η ρυθμοαπόδοση κυμαίνεται από περίπου 0,45 Mbps μέχρι περίπου 0,6 Mbps. Στα χαμηλότερα επίπεδα πέφτει κατά τις χρονικές περιόδους των 40 - 50 sec και 73 - 80 sec.



Σχήμα 32

Μέση καθυστέρηση

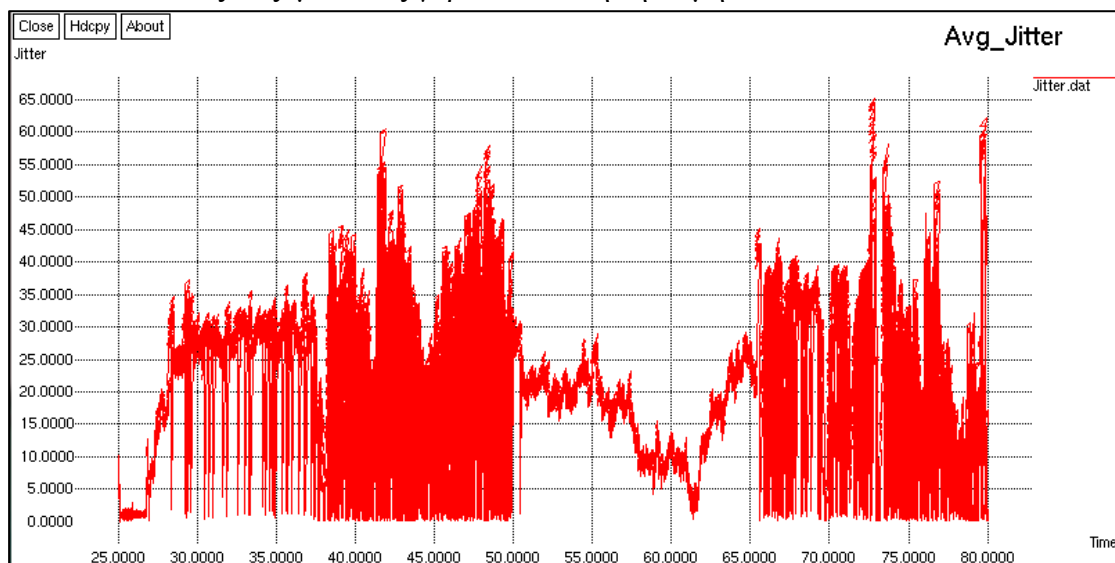
Στο σχήμα 33 παρατηρούμε ότι η μέση καθυστέρηση σε όλους τους κόμβους αγγίζει τα περίπου 650 ms στο 25^o sec και ξεπερνάει κατά λίγο τα 550 ms στο 27^o sec.



Σχήμα 33

Μέση διακύμανση της καθυστέρησης

Στο σχήμα 34 παρατηρούμε ότι η μέση διακύμανση της καθυστέρησης κυμαινόταν περίπου στα 20 ms καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης με ελάχιστες εξαιρέσεις αλλά και έντονες αυξομειώσεις γύρω από αυτή την τιμή.

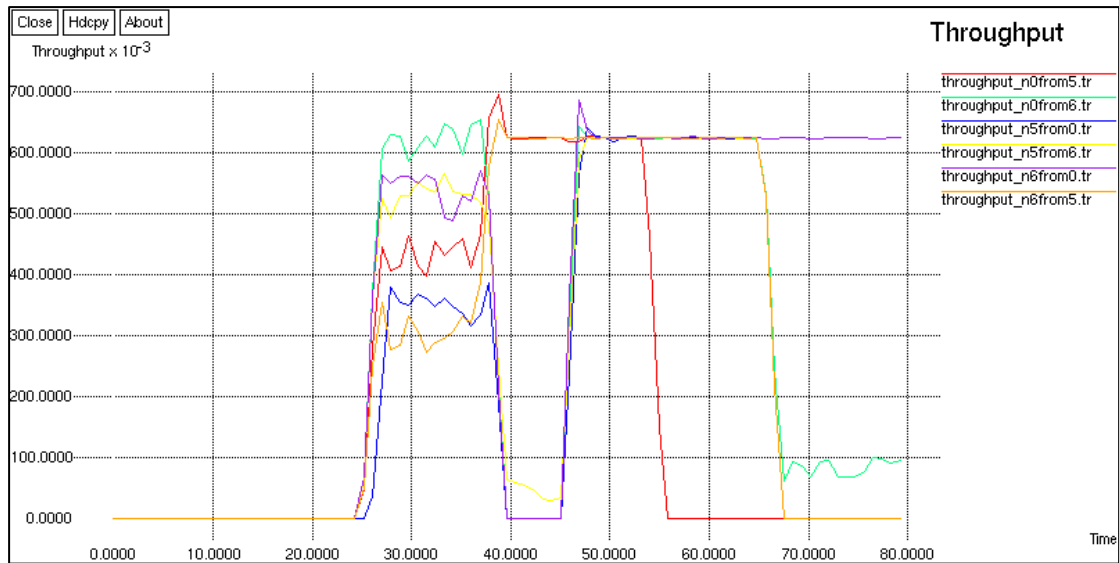


Σχήμα 34

7.2.2.2. DSDV

Ρυθμοαπόδοση στους κόμβους n0, n5 και n6

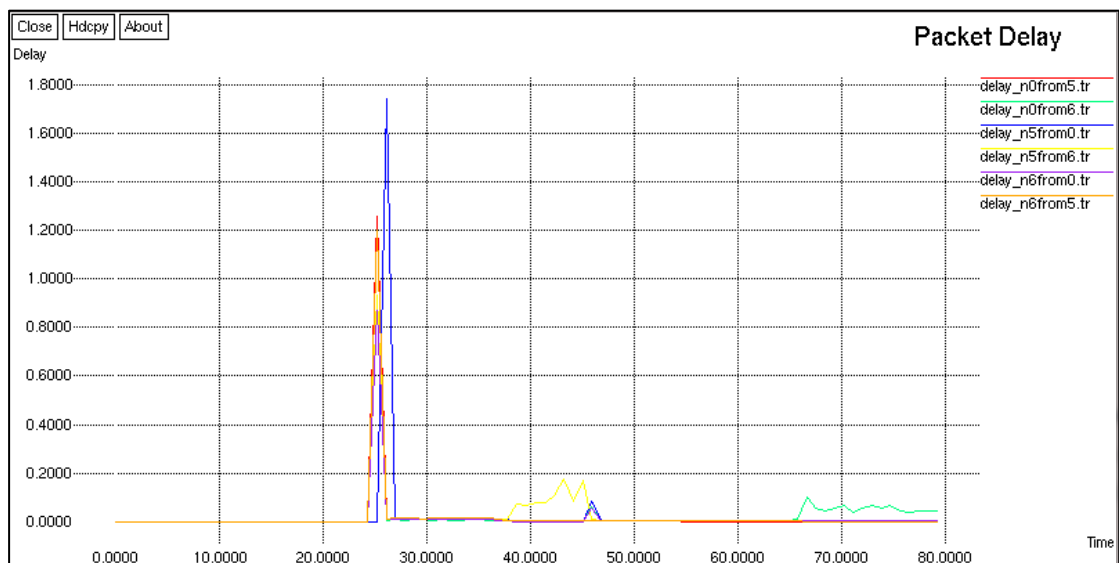
Στο σχήμα 35 παρατηρούμε ότι μέχρι το 40^o sec η ρυθμοαπόδοση των κόμβων κυμαινόταν από τα 0,3 μέχρι τα 0,65 Mbps. Στην υπόλοιπη όμως διάρκεια της προσομοίωσης παρατηρούμε ότι το πρωτόκολλο δεν «συμπεριφέρεται καλά» αφού σε σχεδόν όλους τους κόμβους ανά τακτά χρονικά διαστήματα η ρυθμοαπόδοση εμφανίζει απότομες διακυμάνσεις και συχνά βρίσκεται σε μηδενικά επίπεδα, δημιουργώντας έτσι μεγάλα προβλήματα στη μετάδοση.



Σχήμα 35

Καθυστέρηση λήψης των πακέτων από τους κόμβους n0, n5 και n6

Στο σχήμα 36 παρατηρούμε ότι μεταξύ των 20 – 30 sec υπάρχει μια μικρής διάρκειας καθυστέρηση στην λήψη των πακέτων από κάποιες ζεύξεις κόμβων, με τη μεγαλύτερη να έχει διάρκεια 1,8 sec. Παρατηρούνται επίσης και κάποιες ακόμα καθυστερήσεις που δεν ξεπερνούν τα 0,2 sec τα χρονικά διαστήματα 38 – 48 sec και 67 – 80 sec.

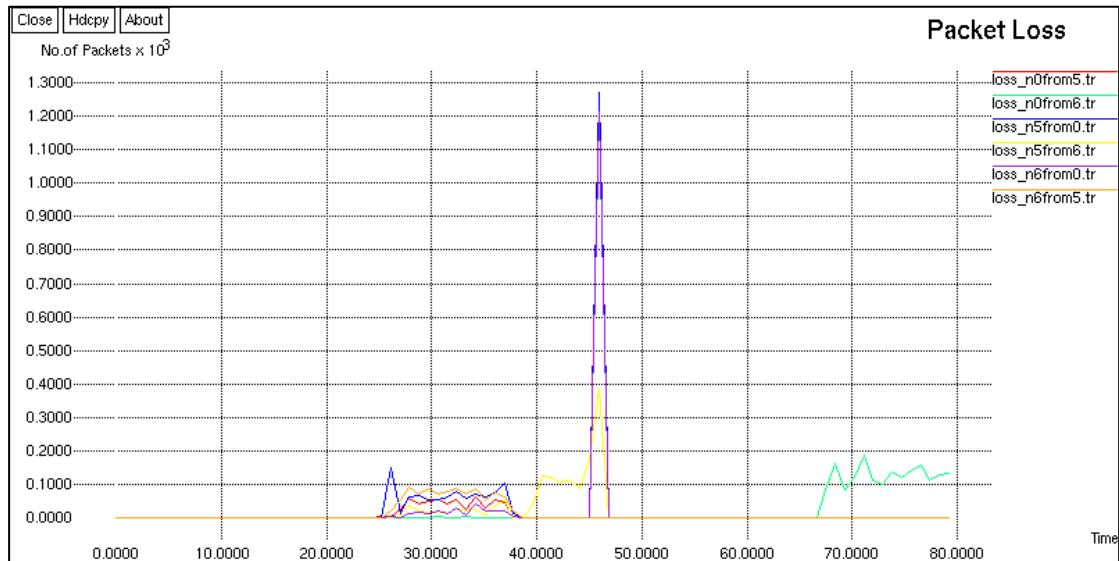


Σχήμα 36

Απώλεια πακέτων από τους κόμβους n0, n5 και n6

Στο σχήμα 37 παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη απώλεια πακέτων παρατηρείται περίπου στο 45^ο sec της προσομοίωσης, όπου οι κόμβοι n5 και n6 δεν παραλαμβάνουν περίπου 1300 πακέτα ο καθένας από τον κόμβο n0. Μικρές ακόμα απώλειες πακέτων παρατηρούνται τη χρονική περίοδο 25 – 38 sec όπου σχεδόν όλες οι κόμβοι παρουσιάζουν απώλειες περίπου 100 πακέτων / sec. Τέλος, ο κόμβος n0 δεν

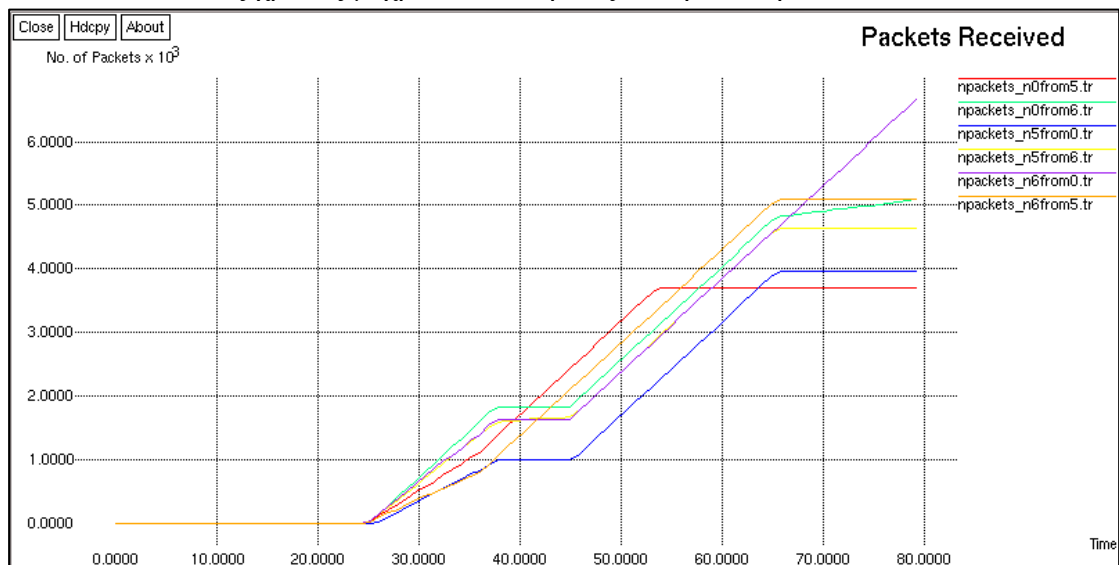
λαμβάνει περίπου 100 πακέτα / sec, από το περίπου 68^ο sec μέχρι και το τέλος της προσομοίωσης.



Σχήμα 37

Αριθμός παραληφθέντων πακέτων από τους κόμβους n0, n5 και n6

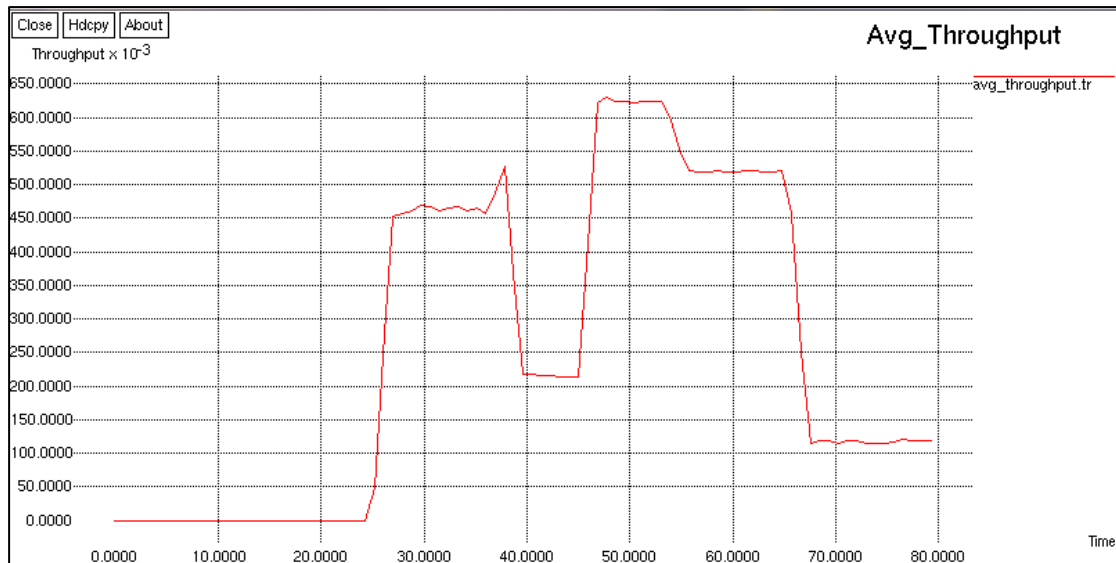
Στο σχήμα 38 παρατηρούμε ότι οι κόμβοι παρέλαβαν από περίπου 3500 – 6000 πακέτα. Στο πρωτόκολλο αυτό παρατηρούμε ότι κατά τα χρονικά διαστήματα όπου πραγματοποιείται αλλαγή διαδρομής, σταματάει η παραλαβή των πακέτων και απαιτείται κάποιος χρόνος μέχρι να εκκινήσει ξανά η ανωτέρω διαδικασία.



Σχήμα 38

Μέση ρυθμοαπόδοση

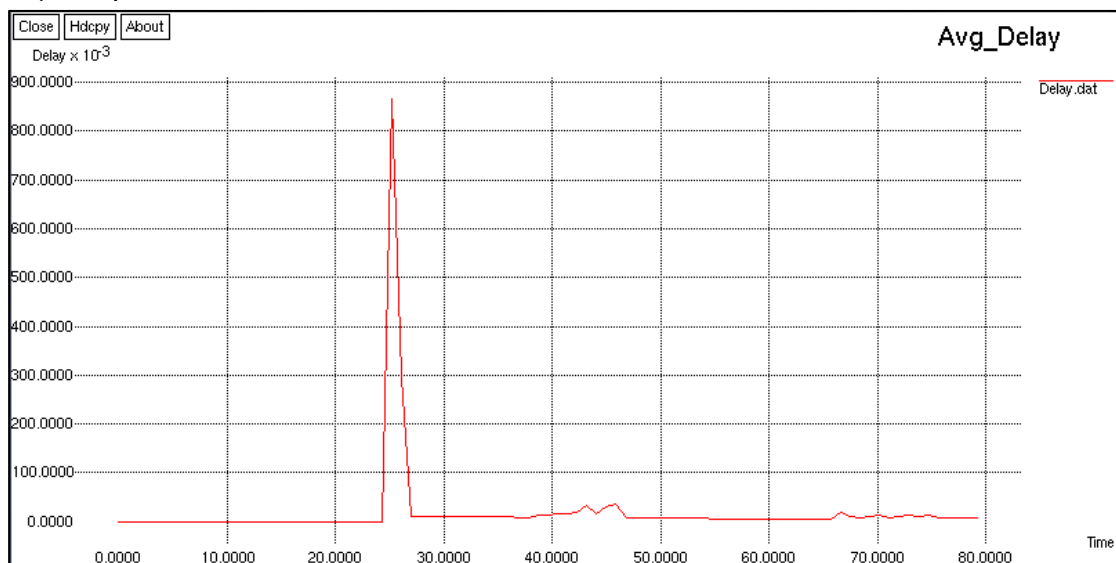
Στο σχήμα 39 παρατηρούμε ότι η μέση ρυθμοαπόδοση παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις. Συγκεκριμένα κυμαίνεται από 0,12 Mbps αγγίζοντας μέχρι και τα 0,62 Mbps. Στο χαμηλότερο επίπεδο βρίσκεται από το 68^ο sec της προσομοίωσης μέχρι και το τέλος της, ενώ στο υψηλότερο επίπεδο βρίσκεται στο χρονικό διάστημα 47-52 sec.



Σχήμα 39

Μέση καθυστέρηση

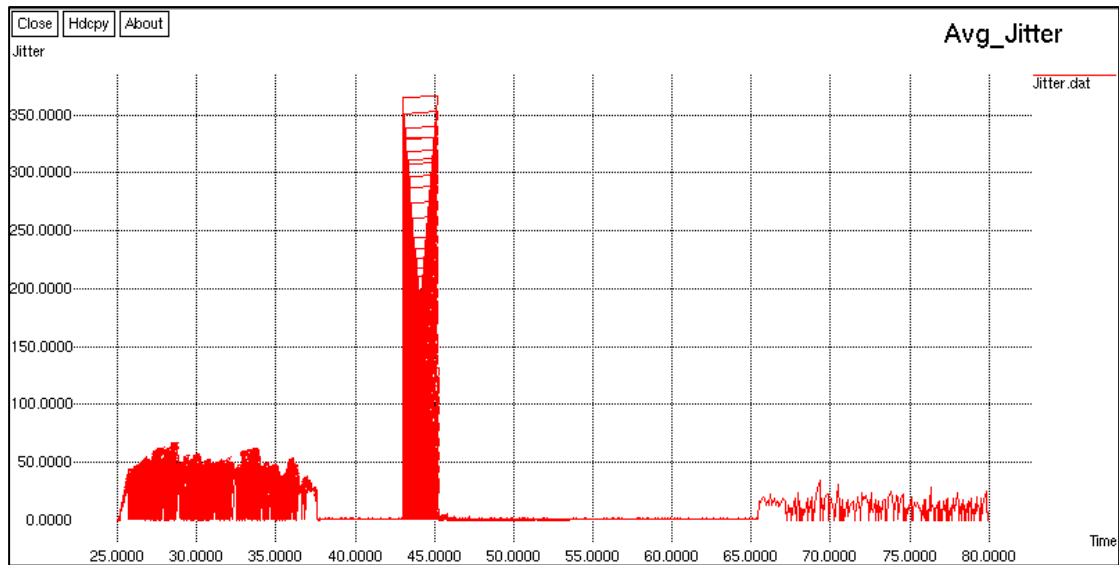
Στο σχήμα 40 παρατηρούμε ότι η μέση καθυστέρηση στο σύστημα άγγιξε περίπου τα 850 ms στο χρονικό διάστημα των περίπου 25 – 27 sec. Στις υπόλοιπες χρονικές περιόδους ήταν σχεδόν μηδενική εκτός από κάποιες μεμονωμένες στιγμές που κυμάνθηκε από 5 – 35 ms.



Σχήμα 40

Μέση διακύμανση της καθυστέρησης

Στο σχήμα 41 παρατηρούμε ότι η μέση διακύμανση της καθυστέρησης δεν ξεπέρασε τα 50 ms, εκτός από το χρονικό διάστημα των περίπου 43 - 45 sec όπου εκτινάχθηκε στα περίπου 350 ms. Σε αρκετά διαστήματα παρουσίασε μηδενικές τιμές.

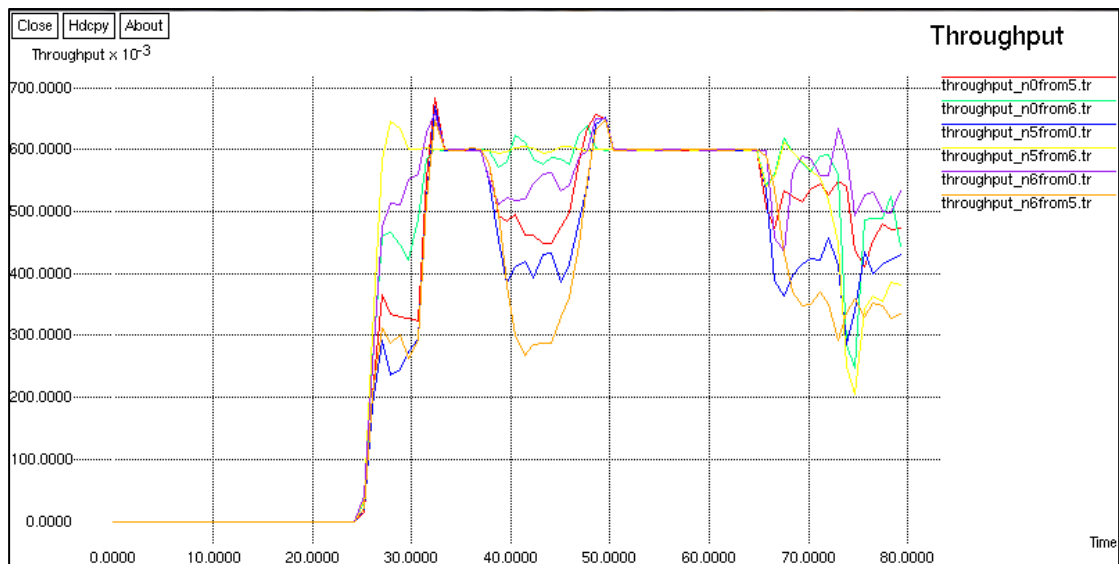


Σχήμα 41

7.2.2.4. DSR

Ρυθμοαπόδοση στους κόμβους n0, n5 και n6

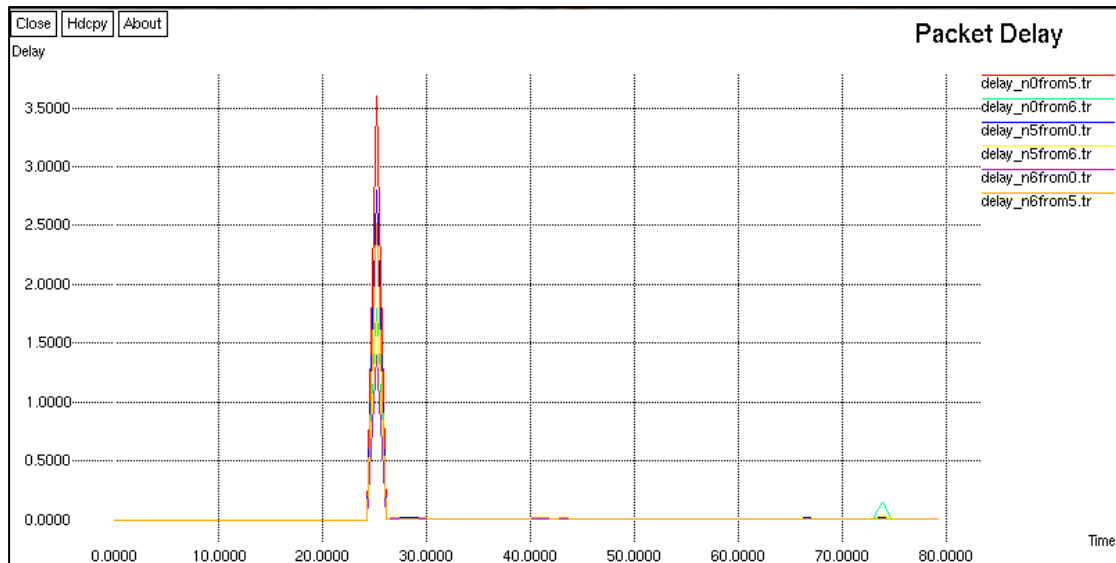
Στο σχήμα 42 παρατηρούμε ότι η ρυθμοαπόδοση όλων των κόμβων κυμαίνεται από τα 0,2 μέχρι τα 0,68 Mbps. Το πρωτόκολλο αυτό παρουσιάζει ιδανική συμπεριφορά τα χρονικά διαστήματα 33 - 38 sec και 50 - 65 sec όπου η ρυθμοαπόδοση βρίσκεται σταθερά στα 0,6 Mbps.



Σχήμα 42

Καθυστέρηση λήψης των πακέτων από τους κόμβους n0, n5 και n6

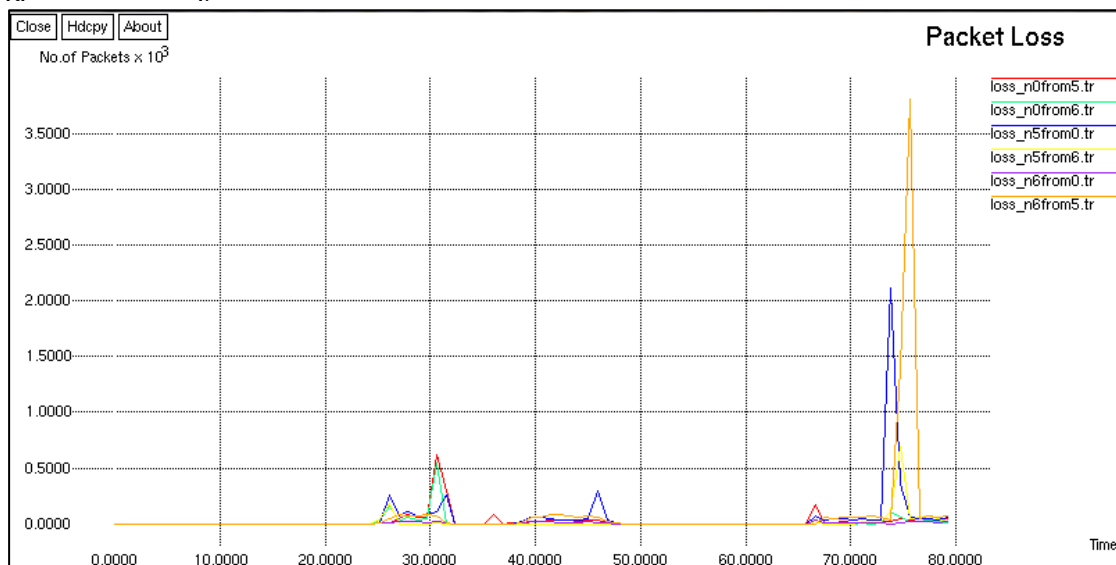
Στο σχήμα 43 παρατηρούμε ότι μεταξύ των 20 – 30 sec υπάρχει μια μικρής διάρκειας καθυστέρηση στην λήψη των πακέτων από κάποιες ζεύξεις κόμβων, με τη μεγαλύτερη να έχει διάρκεια 3,5 sec.



Σχήμα 43

Απώλεια πακέτων από τους κόμβους n0, n5 και n6

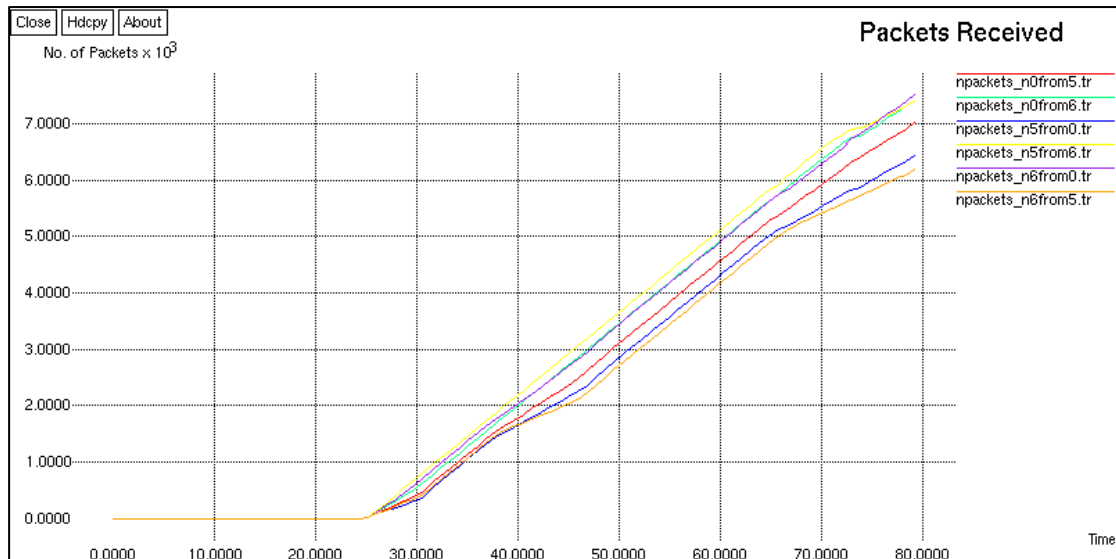
Στο σχήμα 44 παρατηρούμε ότι οι μεγαλύτερες απώλειες πακέτων παρατηρούνται μετά το 70^ο sec της προσομοίωσης, με τη μέγιστη απώλεια της τάξης των περίπου 3500 πακέτων να παρουσιάζει ο κόμβος n6 από τον κόμβο n5. Κάποιες μικρότερες απώλειες που δεν ξεπερνούν τα 500 πακέτα / sec παρατηρούνται και σε πρότερα χρονικά διαστήματα.



Σχήμα 44

Αριθμός παραληφθέντων πακέτων από τους κόμβους n0, n5 και n6

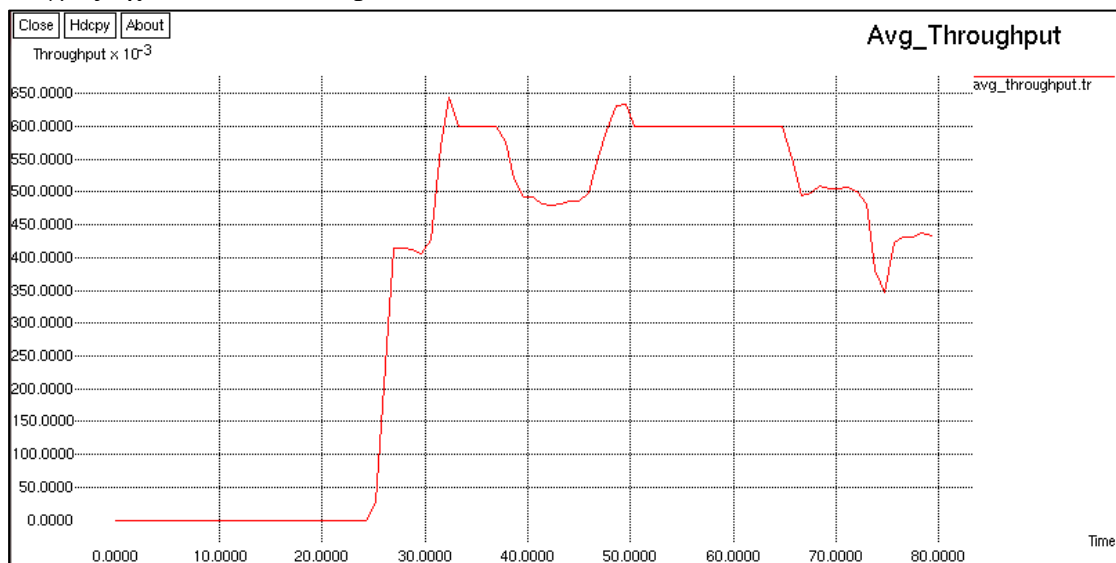
Στο σχήμα 45 παρατηρούμε ότι οι όλοι κόμβοι παρέλαβαν περίπου 6000 - 7000 πακέτα από κάθε άλλο κόμβο με σχετικά σταθερό ρυθμό.



Σχήμα 45

Μέση ρυθμοαπόδοση

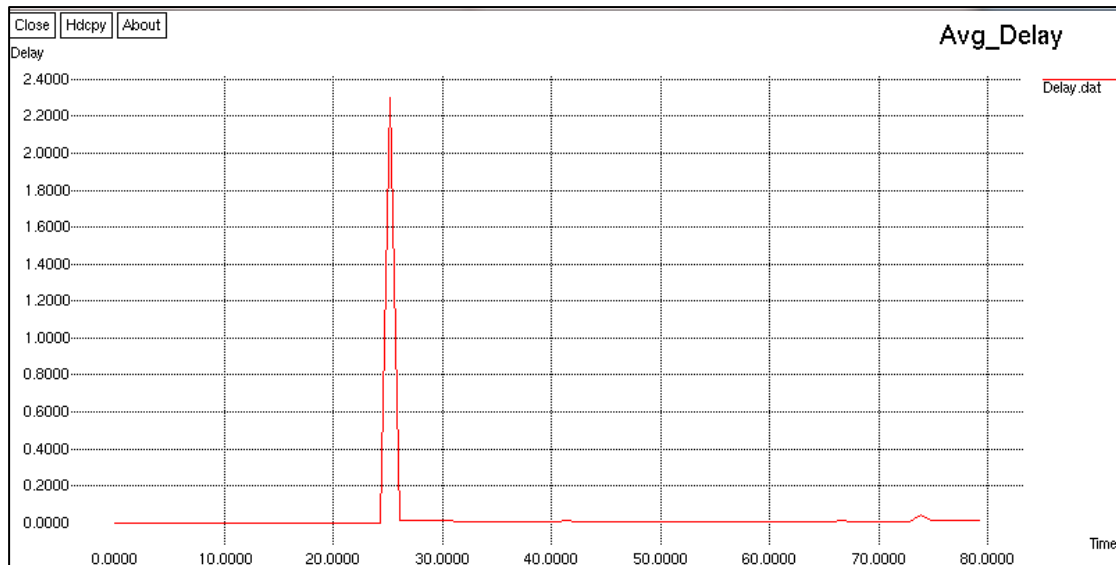
Στο σχήμα 46 παρατηρούμε ότι η ρυθμοαπόδοση καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης κυμαίνεται πάνω από τα 0,35 Mbps, αγγίζοντας και σε μεμονωμένες στιγμές σχεδόν τα 0,65 Mbps.



Σχήμα 46

Μέση καθυστέρηση

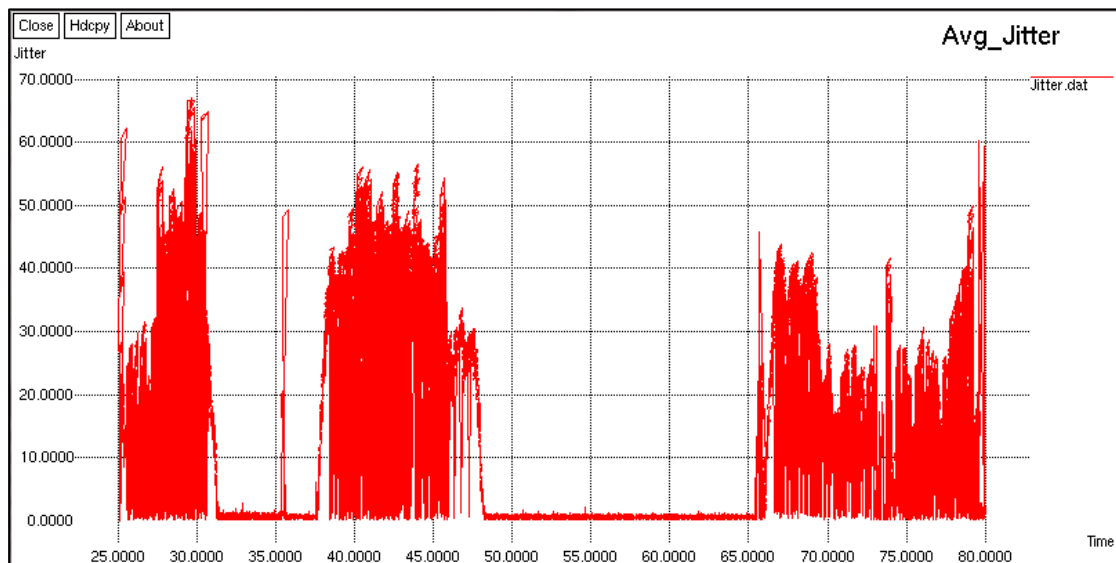
Στο σχήμα 47 παρατηρούμε ότι στο χρονικό διάστημα των 24 – 26 sec η μέση καθυστέρηση σε όλους τους κόμβους άγγιξε σχεδόν τα 2,4 sec. Στα περίπου 41 sec η καθυστέρηση διήρκησε 100 ms ενώ στα περίπου 75 sec διήρκησε περίπου 130 ms.



Σχήμα 47

Μέση διακύμανση της καθυστέρησης

Στο σχήμα 48 παρατηρούμε ότι η μέση διακύμανση της καθυστέρησης κυμάνθηκε γύρω στα 30 ms και υπήρχαν χρονικά διαστήματα όπου ήταν σχεδόν μηδενική.



Σχήμα 48

7.2.3. Στατιστικοί πίνακες

Οι στατιστικοί πίνακες που εξήχθησαν στο δεύτερο πείραμα παρουσιάζονται στο ακόλουθο υποκεφάλαιο.

Στον πίνακα 6 παρουσιάζονται τα στατιστικά αποτελέσματα των τριών πρωτοκόλλων AODV, DSDV και DSR που μελετήθηκαν ως προς τις ακόλουθες παραμέτρους: τον αριθμό των απεσταλμένων πακέτων (Sent Packets), τον αριθμό των παραληφθέντων πακέτων (Received Packets), το ποσοστό παράδοσης πακέτων (Packet Delivery Ratio – PDR), τη μέση ρυθμοαπόδοση (Avg Throughput), τη μέση καθυστέρηση (Avg Delay) και τη μέση διακύμανση της καθυστέρησης (Avg Jitter).

	AODV	DSDV	DSR
Sent Packets	48342	48342	48342
Received Packets	40693	28461	43878
Lost Packets	11138	26658	7311
Packets Delivery Ratio (PDR) (%)	84,18	58,87	90,77
Avg Throughput (ms)	505,69	487,21	544,76
Avg Delay (ms)	194,02	129,98	116,86
Avg Jitter (ms)	20,54	44,53	33,28

Πίνακας 6

Στον πίνακα 7 παρουσιάζονται τα στατιστικά αποτελέσματα των τριών πρωτοκόλλων στη ζεύξη του κόμβου πηγής (SrcNode) n0 και του κόμβου προορισμού (DestNode) n5 ως προς τις ακόλουθες παραμέτρους: τον αριθμό των απεσταλμένων πακέτων (Sent Packets), τον αριθμό των παραληφθέντων πακέτων (Received Packets), το ποσοστό παράδοσης πακέτων (Packet Delivery Ratio – PDR), τη μέση ρυθμοαπόδοση (Avg Throughput), τη μέση καθυστέρηση (Avg Delay), τη μέση διακύμανση της καθυστέρησης σε 5 μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν (Avg Jitter1, Avg Jitter2, Avg Jitter3, Avg Jitter4, Avg Jitter5) καθώς και τη μέση διακύμανση της καθυστέρησης που προκύπτει από το μέσο όρο των 5 παραπάνω μετρήσεων (Avg Jitter).

SrcNode: n0 DestNode n5	AODV	DSDV	DSR
Sent Packets	8057	8057	8057
Received Packets	5678	2748	7103
PDR(%)	70,47	34,11	88,16
Avg Throughput(Kbps)	423,01	462,24	529,01
Avg Delay (ms)	297,69	294,38	158,21
Avg Jitter1 (ms)	6,31	5,25	4,72
Avg Jitter2 (ms)	8,26	7,15	6,11
Avg Jitter3 (ms)	7,99	2,49	4,84
Avg Jitter4 (ms)	5,48	3,46	5,52
Avg Jitter5 (ms)	88,94	145,27	259,7
Avg Jitter (ms)	23,40	32,72	56,18

Πίνακας 7

Στον πίνακα 8 παρουσιάζονται τα στατιστικά αποτελέσματα των τριών πρωτοκόλλων στη ζεύξη του κόμβου πηγής (SrcNode) n0 και του κόμβου προορισμού (DestNode) n6 ως προς τις ακόλουθες παραμέτρους: τον αριθμό των απεσταλμένων πακέτων (Sent Packets), τον αριθμό των παραληφθέντων πακέτων (Received Packets), το ποσοστό παράδοσης πακέτων (Packet Delivery Ratio – PDR), τη μέση ρυθμοαπόδοση (Avg Throughput), τη μέση καθυστέρηση (Avg Delay), τη μέση διακύμανση της καθυστέρησης σε 5 μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν (Avg Jitter1,

Avg Jitter2, Avg Jitter3, Avg Jitter4, Avg Jitter5) καθώς και τη μέση διακύμανση της καθυστέρησης που προκύπτει από το μέσο όρο των 5 παραπάνω μετρήσεων (Avg Jitter).

SrcNode: n0 DestNode n6	AODV	DSDV	DSR
Sent Packets	8057	8057	8057
Received Packets	7256	6778	7625
PDR(%)	90,00	84,13	94,64
Avg Throughput(Kbps)	540,43	504,79	567,89
Avg Delay (ms)	153,07	57,47	106,05
Avg Jitter1 (ms)	4,00	3,09	3,24
Avg Jitter2 (ms)	5,42	5,43	4,60
Avg Jitter3 (ms)	2,81	3,68	3,24
Avg Jitter4 (ms)	4,21	4,56	4,56
Avg Jitter5 (ms)	133,79	185,61	103,14
Avg Jitter (ms)	30,05	40,47	23,76

Πίνακας 8

Στον πίνακα 9 παρουσιάζονται τα στατιστικά αποτελέσματα των τριών πρωτοκόλλων στη ζεύξη του κόμβου πηγής (SrcNode) n5 και του κόμβου προορισμού (DestNode) n0 ως προς τις ακόλουθες παραμέτρους: τον αριθμό των απεσταλμένων πακέτων (Sent Packets), τον αριθμό των παραληφθέντων πακέτων (Received Packets), το ποσοστό παράδοσης πακέτων (Packet Delivery Ratio – PDR), τη μέση ρυθμοαπόδοση (Avg Throughput), τη μέση καθυστέρηση (Avg Delay), τη μέση διακύμανση της καθυστέρησης σε 5 μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν (Avg Jitter1, Avg Jitter2, Avg Jitter3, Avg Jitter4, Avg Jitter5) καθώς και τη μέση διακύμανση της καθυστέρησης που προκύπτει από το μέσο όρο των 5 παραπάνω μετρήσεων (Avg Jitter).

SrcNode: n5 DestNode n0	AODV	DSDV	DSR
Sent Packets	8057	8057	8057
Received Packets	6717	3530	7060
PDR(%)	83,37	43,81	87,63
Avg Throughput(Kbps)	500,27	532,88	525,97
Avg Delay (ms)	272,63	127,80	167,98
Avg Jitter1 (ms)	5,97	3,24	4,24
Avg Jitter2 (ms)	7,83	4,27	5,88
Avg Jitter3 (ms)	4,64	1,18	7,78
Avg Jitter4 (ms)	6,06	1,81	11,50
Avg Jitter5 (ms)	111,57	158,80	130,40
Avg Jitter (ms)	27,21	33,86	31,96

Πίνακας 9

Στον πίνακα 10 παρουσιάζονται τα στατιστικά αποτελέσματα των τριών πρωτοκόλλων στη ζεύξη του κόμβου πηγής (SrcNode) n5 και του κόμβου

προορισμού (DestNode) n6 ως προς τις ακόλουθες παραμέτρους: τον αριθμό των απεσταλμένων πακέτων (Sent Packets), τον αριθμό των παραληφθέντων πακέτων (Received Packets), το ποσοστό παράδοσης πακέτων (Packet Delivery Ratio – PDR), τη μέση ρυθμοαπόδοση (Avg Throughput), τη μέση καθυστέρηση (Avg Delay), τη μέση διακύμανση της καθυστέρησης σε 5 μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν (Avg Jitter1, Avg Jitter2, Avg Jitter3, Avg Jitter4, Avg Jitter5) καθώς και τη μέση διακύμανση της καθυστέρησης που προκύπτει από το μέσο όρο των 5 παραπάνω μετρήσεων (Avg Jitter).

SrcNode: n5 DestNode n6	AODV	DSDV	DSR
Sent Packets	8057	8057	8057
Received Packets	6839	5499	7114
PDR(%)	84,88	68,25	88,30
Avg Throughput(Kbps)	509,35	557,26	529,92
Avg Delay (ms)	227,34	121,04	151,00
Avg Jitter1 (ms)	5,30	3,26	3,92
Avg Jitter2 (ms)	7,10	4,50	5,01
Avg Jitter3 (ms)	5,75	3,09	9,14
Avg Jitter4 (ms)	8,28	4,61	8,59
Avg Jitter5 (ms)	67,96	124,55	152,37
Avg Jitter (ms)	18,88	28,00	35,81

Πίνακας 10

Στον πίνακα 11 παρουσιάζονται τα στατιστικά αποτελέσματα των τριών πρωτοκόλλων στη ζεύξη του κόμβου πηγής (SrcNode) n6 και του κόμβου προορισμού (DestNode) n0 ως προς τις ακόλουθες παραμέτρους: τον αριθμό των απεσταλμένων πακέτων (Sent Packets), τον αριθμό των παραληφθέντων πακέτων (Received Packets), το ποσοστό παράδοσης πακέτων (Packet Delivery Ratio – PDR), τη μέση ρυθμοαπόδοση (Avg Throughput), τη μέση καθυστέρηση (Avg Delay), τη μέση διακύμανση της καθυστέρησης σε 5 μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν (Avg Jitter1, Avg Jitter2, Avg Jitter3, Avg Jitter4, Avg Jitter5) καθώς και τη μέση διακύμανση της καθυστέρησης που προκύπτει από το μέσο όρο των 5 παραπάνω μετρήσεων (Avg Jitter).

SrcNode: n6 DestNode n0	AODV	DSDV	DSR
Sent Packets	8057	8057	8057
Received Packets	7676	5142	7359
PDR(%)	95,27	63,82	91,34
Avg Throughput(Kbps)	573,39	383,24	548,07
Avg Delay (ms)	90,82	98,86	57,85
Avg Jitter1 (ms)	3,93	4,94	3,23
Avg Jitter2 (ms)	5,53	8,62	4,46
Avg Jitter3 (ms)	5,21	34,32	6,38
Avg Jitter4 (ms)	6,55	49,73	5,92
Avg Jitter5 (ms)	97,34	286,76	91,11

Avg Jitter (ms)	23,71	76,87	22,22
------------------------	-------	-------	-------

Πίνακας 11

Στον πίνακα 12 παρουσιάζονται τα στατιστικά αποτελέσματα των τριών πρωτοκόλλων στη ζεύξη του κόμβου πηγής (SrcNode) n6 και του κόμβου προορισμού (DestNode) n5 ως προς τις ακόλουθες παραμέτρους: τον αριθμό των απεσταλμένων πακέτων (Sent Packets), τον αριθμό των παραληφθέντων πακέτων (Received Packets), το ποσοστό παράδοσης πακέτων (Packet Delivery Ratio – PDR), τη μέση ρυθμοαπόδοση (Avg Throughput), τη μέση καθυστέρηση (Avg Delay), τη μέση διακύμανση της καθυστέρησης σε 5 μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν (Avg Jitter1, Avg Jitter2, Avg Jitter3, Avg Jitter4, Avg Jitter5) καθώς και τη μέση διακύμανση της καθυστέρησης που προκύπτει από το μέσο όρο των 5 παραπάνω μετρήσεων (Avg Jitter).

SrcNode: n6 DestNode n5	AODV	DSDV	DSR
Sent Packets	8057	8057	8057
Received Packets	6547	4764	7617
PDR(%)	81,26	59,13	94,54
Avg Throughput(Kbps)	487,67	482,82	567,67
Avg Delay (ms)	122,58	80,31	60,07
Avg Jitter1 (ms)	4,78	3,58	3,34
Avg Jitter2 (ms)	6,84	4,31	4,73
Avg Jitter3 (ms)	20,65	0,45	13,29
Avg Jitter4 (ms)	18,31	0,80	12,50
Avg Jitter5 (ms)	111,71	242,07	114,90
Avg Jitter (ms)	32,46	50,24	29,75

Πίνακας 12

7.2.4. Ανάλυση Αποτελεσμάτων

AODV

Στο πρωτόκολλο AODV είχαμε ποσοστό παράδοσης πακέτων στο 84,18% και λήφθηκαν τα 40693 πακέτα από τα 48342 συνολικά. Η μέση ρυθμοαπόδοση κυμάνθηκε στα 505,69 Kbps, η μέση καθυστέρηση στα 194,02 ms και η μέση διακύμανση της καθυστέρησης στα 20,54 ms.

Από τα δεδομένα που λήφθηκαν από τους 3 κόμβους μεταξύ των οποίων πραγματοποιήθηκε η επικοινωνία, προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

Κόμβος πηγή: n0 Κόμβος προορισμός: n5

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη διαδρομή από τον κόμβο n0 στον κόμβο n5, το ποσοστό ληφθέντων πακέτων έφτασε στο 70,47%, η μέση ρυθμοαπόδοση στα 423,01 Kbps και η μέση καθυστέρηση στα 297,69 ms. Από τις 5 μέσες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, η διακύμανση της καθυστέρησης κυμάνθηκε περίπου στα 23,40 ms.

Κόμβος πηγή: n0 Κόμβος προορισμός: n6

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη διαδρομή από τον κόμβο n0 στον κόμβο n6, το ποσοστό ληφθέντων πακέτων έφτασε στο 90,00%, η μέση ρυθμοαπόδοση στα 540,43 Kbps, και η μέση καθυστέρηση στα 153,07 ms. Από τις 5 μέσες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, η διακύμανση της καθυστέρησης κυμάνθηκε περίπου στα 30,05 ms.

Κόμβος πηγή: n5 Κόμβος προορισμός: n0

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη διαδρομή από τον κόμβο n5 στον κόμβο n0, το ποσοστό ληφθέντων πακέτων έφτασε στο 83,37%, η μέση ρυθμοαπόδοση στα 500,27 Kbps και η μέση καθυστέρηση στα 272,63 ms. Από τις 5 μέσες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, η διακύμανση της καθυστέρησης κυμάνθηκε περίπου στα 27,21 ms.

Κόμβος πηγή: n5 Κόμβος προορισμός: n6

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη διαδρομή από τον κόμβο n5 στον κόμβο n6, το ποσοστό ληφθέντων πακέτων έφτασε στο 84,88%, η μέση ρυθμοαπόδοση στα 509,35 Kbps, και η μέση καθυστέρηση στα 227,34 ms. Από τις 5 μέσες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, η διακύμανση της καθυστέρησης κυμάνθηκε περίπου στα 18,88 ms.

Κόμβος πηγή: n6 Κόμβος προορισμός: n0

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη διαδρομή από τον κόμβο n6 στον κόμβο n0, το ποσοστό ληφθέντων πακέτων έφτασε στο 95,27%, η μέση ρυθμοαπόδοση στα 573,39 Kbps και η μέση καθυστέρηση στα 90,82 ms. Από τις 5 μέσες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, η διακύμανση της καθυστέρησης κυμάνθηκε περίπου στα 23,71 ms.

Κόμβος πηγή: n6 Κόμβος προορισμός: n5

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη διαδρομή από τον κόμβο n6 στον κόμβο n5, το ποσοστό ληφθέντων πακέτων έφτασε στο 81,6%, η μέση ρυθμοαπόδοση στα 487,67 Kbps, και η μέση καθυστέρηση στα 122,58 ms. Από τις 5 μέσες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, η διακύμανση της καθυστέρησης κυμάνθηκε περίπου στα 32,46 ms.

DSDV

Στο πρωτόκολλο DSDV είχαμε ποσοστό παράδοσης πακέτων στο 58,87% και λήφθηκαν τα 28461 πακέτα από τα 48342 συνολικά. Η μέση ρυθμοαπόδοση κυμάνθηκε στα 487, 21 Kbps, η μέση καθυστέρηση στα 129,98 ms και η μέση διακύμανση της καθυστέρησης στα 44,53 ms.

Από τα δεδομένα που λήφθηκαν από τους 3 κόμβους μεταξύ των οποίων πραγματοποιήθηκε η επικοινωνία, προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

Κόμβος πηγή: n0 Κόμβος προορισμός: n5

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη διαδρομή από τον κόμβο n0 στον κόμβο n5, το ποσοστό ληφθέντων πακέτων έφτασε στο μόλις 34,11%, η μέση ρυθμοαπόδοση στα 462,24 Kbps, και η μέση καθυστέρηση στα 294,38 ms. Από τις 5 μέσες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, η διακύμανση της καθυστέρησης κυμάνθηκε περίπου στα 32,72 ms.

Κόμβος πηγή: n0 Κόμβος προορισμός: n6

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη διαδρομή από τον κόμβο n0 στον κόμβο n6, το ποσοστό ληφθέντων πακέτων έφτασε στο 84,13%, η μέση ρυθμοαπόδοση στα 504,79 Kbps, και η μέση καθυστέρηση στα 57,47 ms. Από τις 5 μέσες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, η διακύμανση της καθυστέρησης κυμάνθηκε στα 40,47 ms.

Κόμβος πηγή: n5 Κόμβος προορισμός: n0

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη διαδρομή από τον κόμβο n5 στον κόμβο n0, το ποσοστό ληφθέντων πακέτων έφτασε στο μόλις 43,81%, η μέση ρυθμοαπόδοση στα 532,88 Kbps και η μέση καθυστέρηση στα 127,80 ms. Από τις 5 μέσες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, η διακύμανση της καθυστέρησης κυμάνθηκε περίπου στα 33,86 ms.

Κόμβος πηγή: n5 Κόμβος προορισμός: n6

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη διαδρομή από τον κόμβο n5 στον κόμβο n6, το ποσοστό ληφθέντων πακέτων έφτασε στο 68,25%, η μέση ρυθμοαπόδοση στα 557,26 Kbps, και η μέση καθυστέρηση στα 121,04 ms. Από τις 5 μέσες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, η διακύμανση της καθυστέρησης κυμάνθηκε περίπου στα 28,00 ms.

Κόμβος πηγή: n6 Κόμβος προορισμός: n0

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη διαδρομή από τον κόμβο n6 στον κόμβο n0, το ποσοστό ληφθέντων πακέτων έφτασε στο 63,82%, η μέση ρυθμοαπόδοση στα 383,24 Kbps και η μέση καθυστέρηση στα 98,86 ms. Από τις 5 μέσες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, η διακύμανση της καθυστέρησης κυμάνθηκε περίπου στα 76,87 ms.

Κόμβος πηγή: n6 Κόμβος προορισμός: n5

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη διαδρομή από τον κόμβο n6 στον κόμβο n5, το ποσοστό ληφθέντων πακέτων έφτασε στο 59,13%, η μέση ρυθμοαπόδοση στα 482,82 Kbps, και η μέση καθυστέρηση στα 80,31 ms. Από τις 5 μέσες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, η διακύμανση της καθυστέρησης κυμάνθηκε περίπου στα 50,24 ms.

DSR

Στο πρωτόκολλο DSR είχαμε ποσοστό παράδοσης πακέτων στο 90,77% και λήφθηκαν τα 43878 πακέτα από τα 48342 συνολικά. Η μέση ρυθμοαπόδοση κυμάνθηκε στα 544,76 Kbps, η μέση καθυστέρηση στα 116,86 ms και η μέση διακύμανση της καθυστέρησης στα 33.28 ms.

Από τα δεδομένα που λήφθηκαν από τους 3 κόμβους μεταξύ των οποίων πραγματοποιήθηκε η επικοινωνία, προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

Κόμβος πηγή: n0 Κόμβος προορισμός: n5

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη διαδρομή από τον κόμβο n0 στον κόμβο n5, το ποσοστό ληφθέντων πακέτων έφτασε στο 88,16%, η μέση ρυθμοαπόδοση στα 529,01 Kbps, και η μέση καθυστέρηση στα 158,21 ms. Από τις 5 μέσες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, η διακύμανση της καθυστέρησης κυμάνθηκε περίπου στα 56,18 ms.

Κόμβος πηγή: n0 Κόμβος προορισμός: n6

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη διαδρομή από τον κόμβο n0 στον κόμβο n6, το ποσοστό ληφθέντων πακέτων έφτασε στο 94,64%, η μέση ρυθμοαπόδοση στα 567,89 Kbps, και η μέση καθυστέρηση στα 106,05 ms. Από τις 5 μέσες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, η διακύμανση της καθυστέρησης κυμάνθηκε σε χαμηλά ποσοστά στα περίπου 23,76 ms.

Κόμβος πηγή: n5 Κόμβος προορισμός: n0

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη διαδρομή από τον κόμβο n5 στον κόμβο n0, το ποσοστό ληφθέντων πακέτων έφτασε στο μόλις 87,63%, η μέση ρυθμοαπόδοση στα 525,97 Kbps και η μέση καθυστέρηση στα 167,98 ms. Από τις 5 μέσες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, η διακύμανση της καθυστέρησης κυμάνθηκε περίπου στα 31,96 ms.

Κόμβος πηγή: n5 Κόμβος προορισμός: n6

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη διαδρομή από τον κόμβο n5 στον κόμβο n6, το ποσοστό ληφθέντων πακέτων έφτασε στο 88,30%, η μέση ρυθμοαπόδοση στα 529,92 Kbps, και η μέση καθυστέρηση στα 151,00 ms. Από τις 5 μέσες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, η διακύμανση της καθυστέρησης κυμάνθηκε περίπου στα 35,81 ms.

Κόμβος πηγή: n6 Κόμβος προορισμός: n0

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη διαδρομή από τον κόμβο n6 στον κόμβο n0, το ποσοστό ληφθέντων πακέτων έφτασε στο 91,34%, η μέση ρυθμοαπόδοση στα 548,07 Kbps και η μέση καθυστέρηση στα 57,85 ms. Από τις 5 μέσες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, η διακύμανση της καθυστέρησης κυμάνθηκε περίπου στα 22,22ms.

Κόμβος πηγή: n6 Κόμβος προορισμός: n5

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη διαδρομή από τον κόμβο n6 στον κόμβο n5, το ποσοστό ληφθέντων πακέτων έφτασε στο 94,54%, η μέση ρυθμοαπόδοση στα 567,67 Kbps, και η μέση καθυστέρηση στα 60,07 ms. Από τις 5 μέσες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, η διακύμανση της καθυστέρησης κυμάνθηκε περίπου στα 29,75 ms.

7.2.5. Συμπεράσματα

Ολοκληρώνοντας το δεύτερο πείραμα και αναλύοντας τα στατιστικά δεδομένα που προέκυψαν ως προς την συμπεριφορά των 3 πρωτοκόλλων AODV, DSDV και DSR, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

Το πρωτόκολλο AODV συμπεριφέρθηκε αρκετά καλά στην επικοινωνία μεταξύ των 3 κόμβων και πραγματοποίησε με επιτυχία την αποστολή πακέτων, αγγίζοντας το αρκετά καλό ποσοστό του 84,18%, παρόμοιο με αυτό που πέτυχε στο πρώτο πείραμα. Η μέση ρυθμοαπόδοση του ήταν η δεύτερη καλύτερη μεταξύ των 3 πρωτοκόλλων αλλά η μέση καθυστέρηση που παρουσίασε κυμάνθηκε στο υψηλότερο επίπεδο σε σχέση με τα άλλα δύο πρωτόκολλα. Γενικά το πρωτόκολλο αυτό συμπεριφέρθηκε αρκετά ομαλά στις συχνές εναλλαγές μονοπατιών και η μέση ρυθμοαπόδοση δεν έπεσε κάτω από τα 0,45 Mbps. Παρομοίως, ούτε η μέση καθυστέρηση ούτε οι

διακυμάνσεις της σημείωσαν ιδιαίτερες αυξομειώσεις. Επομένως το πρωτόκολλο αυτό, αν και δεν άγγιξε τις πιο υψηλές τιμές ρυθμοαπόδοσης και λήψης πακέτων που παρουσίασε το πρωτόκολλο DSR, παρουσίασε τη πιο σταθερή συμπεριφορά.

Το πρωτόκολλο DSDV συμπεριφέρθηκε ανεκτά στην επικοινωνία μεταξύ των 3 κόμβων και δεν πραγματοποίησε με ιδιαίτερη επιτυχία την αποστολή πακέτων, αγγίζοντας το ποσοστό του μόλις 58,87%. Εδώ παρατηρούμε ότι το πρωτόκολλο αυτό δεν ανταποκρίνεται πολύ καλά στις συχνές εναλλαγές διαδρομών μεταξύ των κόμβων για την αποστολή και τη λήψη των πακέτων. Συγκεκριμένα, κάθε φορά που πραγματοποιούνταν εναλλαγή στη διαδρομή, η ρυθμοαπόδοση συχνά έπεφτε στο 0 και αργούσε αρκετά δευτερόλεπτα να επανέλθει. Επιπλέον σε αρκετά σημεία της μετάδοσης παρατηρούμε ότι η λήψη των πακέτων έπεφτε σε μηδενικά επίπεδα. Η μέση ρυθμοαπόδοση σε ορισμένες χρονικές περιόδους έπεσε και μέχρι τα μόλις 0,1 Mbps, ενώ παρατηρούμε πολύ μεγάλες αποκλίσεις σε κάθε κόμβο σχετικά με τα ποσοστά λήψης των πακέτων. Επιπλέον, το πρωτόκολλο αυτό παρουσίασε τη μεγαλύτερη μέση τιμή διακύμανσης της καθυστέρησης, ενώ σε ορισμένες ζεύξεις κόμβων και για συγκεκριμένες περιόδους, οι μεμονωμένες τιμές διακύμανσης της καθυστέρησης ξεπέρασαν ακόμα και τα 250 ms, τιμή υπερβολικά υψηλή για την ομαλή διεξαγωγή ενός video conference. Επομένως συμπεραίνουμε ότι το πρωτόκολλο αυτό δεν είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για τη διεξαγωγή ενός video conference όπου συμμετέχουν κινητοί κόμβοι και παρουσιάζεται συχνή εναλλαγή μονοπατιών για τη μετάδοση και τη λήψη των δεδομένων. Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνονται αυτές οι εναλλαγές, η επικοινωνία θα δυσκολεύει περισσότερο, όποτε ίσως το πρωτόκολλο αυτό ενδείκνυται καλύτερα για μια επικοινωνία χωρίς ιδιαίτερες μεταβολές.

Το πρωτόκολλο DSR συμπεριφέρθηκε πάρα πολύ καλά στην επικοινωνία μεταξύ των 3 κόμβων και πραγματοποίησε με επιτυχία την αποστολή πακέτων, αγγίζοντας το αρκετά καλό ποσοστό του 90.77%, το υψηλότερο και πάλι ποσοστό μεταξύ των 3 πρωτοκόλλων. Η μέση ρυθμοαπόδοση που παρουσίασε ήταν η υψηλότερη αγγίζοντας τα 544,76 Mbps. Η μέση καθυστέρησή του ήταν και πάλι στο ίδιο επίπεδο με το πρωτόκολλο DSDV, και παρουσίασε τα δεύτερα χαμηλότερα επίπεδα διακύμανσης της καθυστέρησης μετά το πρωτόκολλο AODV. Το πρωτόκολλο αυτό συμπεριφέρθηκε πολύ καλά στις συχνές αλλαγές μονοπατιών που πραγματοποιήθηκαν και η μέση ρυθμοαπόδοση του δεν έπεσε σχεδόν ποτέ κάτω από τα 0,45 Mbps.

7.3. Σύγκριση πειραμάτων

Στα δύο παραπάνω πειράματα που πραγματοποιήσαμε, συγκρίναμε τη συμπεριφορά των τριών πρωτοκόλλων AODV, DSDV και DSR σε ένα αδόμητο δίκτυο που αποτελείται από κινητούς κόμβους και πραγματοποιείται διεξαγωγή ενός video conference.

Στο πρώτο πείραμα η επικοινωνία πραγματοποιήθηκε μεταξύ 2 κόμβων και οι κινήσεις των κόμβων καθώς και τα μονοπάτια που δημιουργήθηκαν με στόχο την

αποστολή και τη λήψη των δεδομένων δεν δημιούργησαν ιδιαίτερες μεταβολές στο σύστημα.

Στο δεύτερο πείραμα η επικοινωνία πραγματοποιήθηκε μεταξύ 3 κόμβων. Στο πείραμα αυτό, οι θέσεις των κόμβων μεταβάλλονταν σε τακτά χρονικά διαστήματα. Επιπλέον τα μονοπάτια που δημιουργήθηκαν με στόχο την αποστολή και τη λήψη των δεδομένων άλλαζαν αρκετές φορές με αποτέλεσμα το σύστημα αυτό να θεωρείται ιδιαίτερα απαιτητικό σε σχέση με αυτό του πρώτου πειράματος.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι συγκριτικοί πίνακες με τα στατιστικά δεδομένα που λήφθηκαν από τα τρία πρωτοκόλλα για καθένα από τα δύο πειράματα, καθώς και τα συμπεράσματα που εξάγονται από αυτούς τους πίνακες.

7.3.1. AODV

Στον παρακάτω πίνακα παρατηρούμε ότι το πρωτόκολλο AODV παρουσίασε σχετικά σταθερή συμπεριφορά στα δύο πειράματα, και παρουσιάστηκαν ελάχιστες μεταβολές στη απόδοση του δικτύου, παρόλο που στο δεύτερο πείραμα υπήρξαν αρκετές εναλλαγές μονοπατιών μεταξύ των κόμβων.

Συγκεκριμένα, το ποσοστό παράδοσης πακέτων στο δεύτερο πείραμα παρουσίασε μια μικρή μείωση που δεν γίνεται ιδιαίτερα αισθητή. Παράλληλα η μέση καθυστέρηση και η μέση διακύμανση της καθυστέρησης κυμάνθηκαν και στα δύο πειράματα στα ίδια περίπου επίπεδα.

Να τονίσουμε εδώ βέβαια ότι οι τιμές της καθυστέρησης και στα δύο πειράματα ήταν υψηλότερες στο πρωτόκολλο αυτό συγκριτικά με τα άλλα δύο πρωτόκολλα.

Συμπερασματικά το πρωτόκολλο αυτό είχε πολύ σταθερή συμπεριφορά και μας αποδεικνύει ότι μπορεί να διατηρήσει την απόδοση του δικτύου σε καλά επίπεδα και χωρίς ιδιαίτερες μεταβολές σε ένα δίκτυο MANET.

Στον πίνακα 13 παρουσιάζονται τα μέσα στατιστικά αποτελέσματα του πρωτοκόλλου AODV στα δύο πειράματα που πραγματοποιήθηκαν ως προς τις ακόλουθες παραμέτρους: το ποσοστό παράδοσης πακέτων (Packet Delivery Ratio – PDR), τη μέση καθυστέρηση (Avg Delay) και τη μέση διακύμανση της καθυστέρησης (Avg Jitter). Επιπλέον υπολογίζεται η μεταβολή της τιμής αυτών των παραμέτρων συγκριτικά στα δύο πειράματα που πραγματοποιήθηκαν.

AODV	ΠΡΩΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ	ΔΕΥΤΕΡΟ ΠΕΙΡΑΜΑ	ΜΕΤΑΒΟΛΗ
PDR (%)	87,82	84,18	-3,64
Avg Delay (ms)	225,89	194,02	-31,87
Avg Jitter (ms)	15,92	20,54	+4,62

Πίνακας 13

7.3.2. DSDV

Στον παρακάτω πίνακα παρατηρούμε ότι το πρωτόκολλο DSDV δεν ανταποκρίθηκε όσο καλά επιθυμούσαμε στις μεταβολές που πραγματοποιήθηκαν στο δεύτερο πείραμα συγκριτικά με το πρώτο. Συγκεκριμένα, στο δεύτερο πείραμα όπου υπήρξε η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ τριών κόμβων έναντι των δύο του πρώτου πειράματος, το ποσοστό παράδοσης των πακέτων έπεσε σχεδόν κατά 15%.

Όμως, το κύριο σημείο όπου πρέπει να εστιάσουμε είναι στην επίσης κατά σχεδόν 15% υψηλότερη διακύμανση της καθυστέρησης στο δίκτυο, γεγονός που δημιουργεί πολλά προβλήματα σε πολυμεσικές εφαρμογές ιδιαίτερα απαιτητικές, όπως είναι αυτή του live audio και live video.

Η καθυστέρηση ήταν χαμηλότερη κατά μέσο όρο στο δίκτυο περίπου 54ms στο δεύτερο πείραμα, από ότι στο πρωτόκολλο AODV όπου μειώθηκε κατά περίπου 31ms.

Συμπερασματικά το πρωτόκολλο αυτό δεν παρουσίασε ιδιαίτερα σταθερή συμπεριφορά στη διεξαγωγή των 2 πειραμάτων και δεν θεωρείται ως η ιδανική επιλογή για τη διεξαγωγή ενός video conference σε ένα δίκτυο MANET, καθώς αποδεικνύεται ότι με την αύξηση των ζεύξεων ή / και των κόμβων και των μονοπατιών στο δίκτυο, η απόδοση θα πέφτει με μεγάλους ρυθμούς.

Στον πίνακα 14 παρουσιάζονται τα μέσα στατιστικά αποτελέσματα του πρωτοκόλλου DSDV στα δύο πειράματα που πραγματοποιήθηκαν ως προς τις ακόλουθες παραμέτρους: το ποσοστό παράδοσης πακέτων (Packet Delivery Ratio – PDR), τη μέση καθυστέρηση (Avg Delay) και τη μέση διακύμανση της καθυστέρησης (Avg Jitter). Επιπλέον υπολογίζεται η μεταβολή της τιμής αυτών των παραμέτρων συγκριτικά στα δύο πειράματα που πραγματοποιήθηκαν.

DSDV	ΠΡΩΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ	ΔΕΥΤΕΡΟ ΠΕΙΡΑΜΑ	ΜΕΤΑΒΟΛΗ
PDR (%)	72,28	58,87	-13,41
Avg Delay (ms)	183,46	129,98	-53,48
Avg Jitter (ms)	30,23	44,53	+14,30

Πίνακας 14

7.3.3. DSR

Στον παρακάτω πίνακα παρατηρούμε ότι στο πρωτόκολλο DSR το ποσοστό παράδοσης πακέτων στο δεύτερο πείραμα ήταν ελάχιστα χαμηλότερο σε σύγκριση με το δεύτερο πείραμα.

Παράλληλα, η μέση καθυστέρηση κυμάνθηκε στα χαμηλότερα επίπεδα σε σύγκριση με τα άλλα δύο πρωτόκολλα, αλλά η διακύμανση της καθυστέρησης που αποτελεί πολύ σημαντική μεταβλητή για την ομαλή διεξαγωγή του video conference σε παρουσίασε αύξηση περίπου 20% σε σύγκριση με το δεύτερο πείραμα.

Συμπερασματικά το πρωτόκολλο αυτό θεωρείται ιδανικό για εφαρμογές όπως είναι το audio και video streaming όπου πρωταρχικό μας μέλημα είναι η επιτυχής παράδοση των πακέτων ανεξάρτητα της καθυστέρησης ή των μεταβολών αυτής. Όσον αφορά όμως στη διεξαγωγή live εφαρμογών, πιθανώς θα δημιουργούνται κάποια προβλήματα αλλά σε γενικές γραμμές η απόδοσή του θεωρείται ικανοποιητική.

Στον πίνακα 15 παρουσιάζονται τα μέσα στατιστικά αποτελέσματα του πρωτοκόλλου DSR στα δύο πειράματα που πραγματοποιήθηκαν ως προς τις ακόλουθες παραμέτρους: το ποσοστό παράδοσης πακέτων (Packet Delivery Ratio – PDR), τη μέση καθυστέρηση (Avg Delay) και τη μέση διακύμανση της καθυστέρησης (Avg Jitter). Επιπλέον υπολογίζεται η μεταβολή της τιμής αυτών των παραμέτρων συγκριτικά στα δύο πειράματα που πραγματοποιήθηκαν.

DSR	ΠΡΩΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ	ΔΕΥΤΕΡΟ ΠΕΙΡΑΜΑ	ΜΕΤΑΒΟΛΗ
PDR (%)	91,53	90,77	-0,76
Avg Delay (ms)	183,68	116,86	-66,82
Avg Jitter (ms)	11,70	33,28	+21,58

Πίνακας 15

7.3.4. Σύνοψη παρατηρήσεων

Με την ολοκλήρωση των δύο πειραμάτων για καθένα από τα τρία μελετώμενα πρωτόκολλα AODV, DSDV και DSR, καθώς και με τη σύγκριση των παραμέτρων του καθενός από τα πρωτόκολλα αυτά αναφορικά με τα δύο πειράματα, τα οποία πραγματοποιήθηκαν με στόχο την διεξαγωγή ενός video conference σε αδόμητο δίκτυο με κινητούς κόμβους, προκύπτουν οι ακόλουθες συνολικές παρατηρήσεις:

- Τα πρωτόκολλα AODV και DSR παρουσίασαν την καλύτερη επίδοση όσον αφορά στο ποσοστό παράδοσης πακέτων, με το πρωτόκολλο DSR να παρουσιάζει τη συνολικά πιο σταθερή συμπεριφορά. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι ενώ στο πρώτο πείραμα δημιουργήθηκε μονάχα ένα μονοπάτι μεταξύ των κόμβων και δεν υπήρξαν ιδιαίτερες εναλλαγές συγκριτικά με το δεύτερο πείραμα που ήταν αρκετά πιο πολύπλοκο, στον αλγόριθμο DSR το ποσοστό παράδοσης πακέτων μεταβλήθηκε λιγότερο από 1% και παράλληλα και στα δύο πειράματα δεν έπεσε κάτω από το 90%. Το πρωτόκολλο AODV είχε επίσης πολύ καλή απόδοση και η μεταβολή του ποσοστού παράδοσης πακέτων δεν μεταβλήθηκε παραπάνω από 4%. Η διαφορά του με το πρωτόκολλο DSR αφορά στο γεγονός ότι αυτό το ποσοστό ποτέ δεν άγγιξε το 90%. Στην περίπτωση του πρωτοκόλλου DSDV στο πρώτο πείραμα παρουσιάστηκε ένα ποσοστό λίγο πάνω από 70% ενώ στο δεύτερο πείραμα η απόδοσή του έπεσε πάνω από 10 ποσοστιαίες μονάδες, γεγονός που φανερώνει ότι σε κάποιο ακόμα πιο πολύπλοκο σενάριο η πτώση του ποσοστού παράδοσης πακέτων θα είναι ακόμα μεγαλύτερη.
- Όσον αφορά στη μέση καθυστέρηση, χαμηλότερη μέση τιμή επέδειξαν τα πρωτόκολλα DSDV και DSR, αφού και στα δύο πειράματα η μεγαλύτερη τιμή κυμάνθηκε και στα δύο πρωτόκολλα στα 185 ms. Από την άλλη πλευρά το AODV παρουσίασε μεγαλύτερη μέση καθυστέρηση συγκριτικά με τα άλλα δύο πρωτόκολλα και στα δύο πειράματα αγγίζοντας τα 226 ms στο πρώτο πείραμα και τα 194 ms στο δεύτερο. Παρατηρούμε όμως ότι το πρωτόκολλο AODV έχει πιο σταθερή συμπεριφορά από την άποψη ότι η μεταβολή της μέσης καθυστέρησης στα δύο πειράματα σε σύγκριση με τη μεταβολή που παρατηρείται στα άλλα δύο πρωτόκολλα, είναι μικρότερη και λιγότερο αισθητή. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το πρωτόκολλο αυτό είναι πιο αξιόπιστο σε μεγάλες αλλαγές στην τοπολογία του δικτύου καθώς και σε συχνές εναλλαγές μονοπατιών.
- Τα πρωτόκολλα AODV και DSR παρουσίασαν χαμηλότερες τιμές στη μέση διακύμανση της καθυστέρησης, με το πρωτόκολλο AODV να παρουσιάζει

υψηλότερη μέση διακύμανση από το DSR στο πρώτο πείραμα και χαμηλότερη στο δεύτερο πείραμα. Εδώ παρατηρούμε ότι η μέση τιμή της διακύμανσης της καθυστέρησης στο πρωτόκολλο AODV αυξήθηκε πολύ λιγότερο συγκριτικά στα δύο πειράματα, σε σχέση με το πρωτόκολλο DSR όπου σχεδόν διπλασιάστηκε. Το πρωτόκολλο DSDV παρουσίασε τη μεγαλύτερη διακύμανση της καθυστέρησης συγκριτικά με τα άλλα δύο πρωτόκολλα και στα δύο πειράματα με διαφορά πάνω από 10 ms σε κάθε πείραμα.

Συμπερασματικά, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η επιλογή του καταλληλότερου πρωτοκόλλου για τη διεξαγωγή video conference ανάμεσα στα AODV, DSDV και DSR εξαρτάται από την πολυπλοκότητα του πειράματος και έγκειται ανάμεσα στα πρωτόκολλα AODV και DSR. Το πρωτόκολλο DSDV δεν θα προτιμηθεί, διότι ενώ από άποψη ρυθμοαπόδοσης σε πολύ απλά σενάρια παρουσιάζει πολύ υψηλές αποδόσεις αλλά και γενικά προσφέρει μέτριες τιμές καθυστέρησης, παρουσιάζει αρκετά ασταθή συμπεριφορά στο δίκτυο και παράλληλα αρκετά υψηλές διακύμανσης καθυστέρησης και χαμηλά ποσοστά παράδοσης πακέτων αναλογικά με την πολυπλοκότητα του πειράματος. Προτιμάται για video streaming ή γενικά πιο απλές εφαρμογές χαμηλότερων απαιτήσεων.

Τώρα αναφορικά με τα πρωτόκολλα AODV και DSR, προκύπτει το συμπέρασμα ότι ενώ το πρωτόκολλο DSR παρουσιάζει πολύ καλές τιμές στις παραμέτρους που μελετήθηκαν – καλύτερες συγκριτικά με όλα τα πρωτόκολλα – όσο αυξάνει η πολυπλοκότητα του συστήματος και η κίνηση των κόμβων δημιουργεί συχνές εναλλαγές μονοπατιών, η απόδοσή του πέφτει αρκετά. Αντίθετα, το πρωτόκολλο AODV ενώ παρουσιάζει λίγο χαμηλότερη επίδοση από το πρωτόκολλο DSR, είναι αρκετά σταθερό σε αλλαγές και παρατηρούμε ότι οι διακυμάνσεις του στις τιμές των παραμέτρων είναι πολύ χαμηλές.

Επομένως, προτείνεται η επιλογή του πρωτοκόλλου DSR σε περιπτώσεις χαμηλής κινητικότητας των κόμβων ανεξάρτητα του αριθμού ή της διάταξής τους, και παράλληλα προτείνεται η επιλογή του πρωτοκόλλου AODV σε πιο σύνθετα σενάρια όπου πραγματοποιούνται αρκετές κινήσεις των κόμβων καθώς και συχνές εναλλαγές μονοπατιών για την αποστολή και τη λήψη των δεδομένων.

8. Προκλήσεις και εξέλιξη της έρευνας στον χώρο των ad hoc δικτύων

Τα αδόμητα κινητά δίκτυα επικοινωνιών φέρουν, όπως αναλύσαμε, πολλές δυσκολίες τόσο στην υλοποίησή τους όσο και στη μετέπειτα λειτουργία τους, λόγω της μορφολογίας τους. Η συνεχής αναζήτηση εκ μέρους των ερευνητών, για την εξεύρεση νέων τεχνολογιών και τεχνικών που θα βοηθήσουν στην καλύτερη εγκατάσταση και λειτουργία αυτών των δικτύων, αποτελεί σήμερα ζήτημα μείζονος σημασίας.

Οι πρόσφατες ερευνητικές τάσεις αφορούν στους ακόλουθους τομείς:

- **Δρομολόγηση:** Η δρομολόγηση αποτελεί ένα βασικό πεδίο έρευνας στα MANETs, καθώς προκύπτουν συχνές αλλαγές στην τοπολογία του δικτύου. Απαιτείται ένα αποτελεσματικό πρωτόκολλο δρομολόγησης προκειμένου να αντιμετωπίσει τις αρκετά κυμαινόμενες συνθήκες στο δίκτυο.
- **Δυνατότητα multicasting και geocasting:** Η υπηρεσία multicasting υποστηρίζει την ταυτόχρονη επικοινωνία των χρηστών με άλλους χρήστες σε μία ομάδα, ενώ η υπηρεσία geocasting υποστηρίζει την επικοινωνία μεταξύ χρηστών που βρίσκονται σε συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή.
- **Υπηρεσίες εντοπισμού τοποθεσίας:** Οι υπηρεσίες αυτές χρησιμοποιούν το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (GPS) ή την τεχνική γεωγραφικού εντοπισμού βάσει του δικτύου, προκειμένου να εντοπιστεί η τοποθεσία των χρηστών.
- **Ομαδοποίηση:** Η ομαδοποίηση είναι μια μέθοδος κατανομής των κόμβων σε ομάδες για την παροχή ενός βολικού πλαισίου για τη διαχείριση των πόρων και τη δρομολόγηση.
- **Διαχείριση κινητικότητας:** Σε ένα περιβάλλον αδόμητου δικτύου, οι κόμβοι μπορούν να κινούνται χωρίς περιορισμούς από μέρος σε μέρος. Η διαχείριση της κινητικότητας αφορά στην αποθήκευση, τη διατήρηση και την επανάκτηση των πληροφοριών των θέσεων των κινητών κόμβων.
- **Διαχείριση συμφόρησης:** Στο είδος αυτών των δικτύων όπου δεν υπάρχουν σταθερές υποδομές και οι κόμβοι κινούνται τυχαία στο χώρο χωρίς σταθερές ταχύτητες, η τοπολογία του δικτύου μεταβάλλεται συνεχώς και το πρόβλημα της συμφόρησης είναι πολύ συχνό, δηλαδή του φαινομένου όπου το προσφερόμενο φορτίο στο δίκτυο είναι περισσότερο από τους διαθέσιμους πόρους. Η εύρεση τεχνικών διαχείρισης της συμφόρησης είναι καίριας σημασίας.
- **Διαχείριση ενέργειας:** Μία προσέγγιση διαχείρισης της ενέργειας θα βοηθούσε στη μείωση κατανάλωσης ενέργειας και επομένως στη παράταση της διάρκειας ζωής των κινητών κόμβων. Εξαιτίας του γεγονότος ότι οι περισσότερες συσκευές λειτουργούν με μπαταρίες, οι μελλοντικές έρευνες οφείλουν να εστιάσουν στον τομέα αυτό.
- **TCP / UDP:** Τα TCP και UDP πρωτόκολλα είναι τα βασικά που χρησιμοποιούνται στο ίντερνετ. Οι εφαρμογές δεδομένων που τρέχουν στα

MANETs απαιτούν πρωτόκολλα στο επίπεδο μεταφοράς όπως τα παραπάνω που θα βοηθάνε στην μετάδοση των πακέτων μέσω των συνδέσεων που δημιουργούνται.

- **Διευθυνσιοδότηση IP:** Ένα από τα πλέον σημαντικά ζητήματα αποτελεί ο ορισμός IP διευθύνσεων που ανατίθενται στο αδόμητο δίκτυο. Η διευθυνσιοδότηση καθώς και η διεύθυνση αυτόματης διαμόρφωσης έχουν προσελκύσει μεγάλη προσοχή στα MANETs.
- **Πολλαπλή πρόσβαση:** Ένα σημαντικό ζήτημα είναι να αναπτυχθούν αποτελεσματικά πρωτόκολλα πρόσβασης στο μέσο τα οποία βελτιστοποιούν την επαναχρησιμοποίηση του φάσματος και επομένως μεγιστοποιούν την αθροιστική χρήση των καναλιών στα MANETs.
- **Ασύρματη διασύνδεση:** Οι κινητοί κόμβοι βασίζονται στην ασύρματη διασύνδεση για τη μετάδοση των δεδομένων. Η προώθηση και η λήψη των πακέτων καθώς και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται στις κεραίες αποτελούν ζητήματα που χρήζουν περαιτέρω έρευνας.
- **Ασφάλεια:** Οι κινητοί κόμβοι στα αδόμητα δίκτυα είναι εξαιρετικά ευάλωτοι σε κακόβουλες επιθέσεις επομένως τα ζητήματα ασφαλείας είναι σημαντικά προκειμένου να αποτρέψουν πιθανές επιθέσεις, απειλές και τρωτά σημεία στο σύστημα.
- **QoS:** Αυτό το ζήτημα αφορά στην ανίχνευση και στη διόρθωση σφαλμάτων όταν προκύψουν αποτυχίες στο δίκτυο. Έχουν εισαχθεί τεχνικές σφάλματος για τη συντήρηση σε περίπτωση που προκύψει αποτυχία όταν ένας κόμβος κινηθεί, συμμετάσχει σε κάποιο δίκτυο ή αποχωρήσει από αυτό. Η ποιότητα της υπηρεσίας (QoS) και οι πολυμεσικές εφαρμογές απαιτούν υψηλό εύρος ζώνης, χαμηλή καθυστέρηση και μεγάλη αξιοπιστία.

Κάποιες έρευνες που πραγματοποιούνται την τρέχουσα περίοδο αφορούν στους παρακάτω τομείς:

8.1. Δρομολόγηση

Ένας βασικός τομέας πάνω στον οποίο επιτελείται διαρκής έρευνα είναι η εύρεση νέων πρωτοκόλλων, πιο χρηστικών και αποτελεσματικών σε αυτό το είδος των δικτύων, γεγονός που αποδεικνύεται άλλωστε και από τον μεγάλο αριθμό τους που ολοένα αυξάνει.

Μεγάλη ανάπτυξη των τελευταίο καιρό παρουσιάζεται στην ανάπτυξη πρωτοκόλλων δρομολόγησης που είναι βασισμένα στη δυναμική διευθυνσιοδότηση (Dynamic Address based Routing Protocols – DARP). Στα πρωτόκολλα αυτά, το δίκτυο εκχωρεί διευθύνσεις δρομολόγησης σε κάθε κόμβο, με βάση την τοποθεσία του εκάστοτε κόμβου στο δίκτυο. Το DARP έχει την ικανότητα να εφαρμόσει ιεραρχική δρομολόγηση με εφικτό τρόπο και παράλληλα να μειώσει το ποσό πληροφοριών δρομολόγησης που διατηρεί ο κάθε κόμβος. Η χαρτογράφηση μεταξύ των διευθύνσεων των κόμβων και των διευθύνσεων δρομολόγησης, πραγματοποιείται από ένα πίνακα DHT (Distributed Hash Table).

Σε ένα τέτοιο πρωτόκολλο, σχηματίζεται ένα δέντρο το οποίο αποτελείται από $L + 1$ επίπεδα, όπου L είναι το μήκος της διεύθυνσης ενός leaf κόμβου σε bits. Τα υπόλοιπα επίπεδα μοιράζονται το πρόθεμα της διεύθυνσης $L - K$ που αντιπροσωπεύεται από μία ομάδα leaf κόμβων. Κάθε leaf κόμβος έχει L sibling κόμβους. Για τη δρομολόγηση των πακέτων, κάθε κόμβος διατηρεί σχέσεις με τους sibling κόμβους στον πίνακα δρομολόγησης

Η δυναμική δρομολόγηση διευθύνσεων πραγματοποιείται από τον DHT, όπου ο κάθε κόμβος χρησιμοποιεί τις περιοδικές ενημερώσεις δρομολόγησης των γειτόνων του (οι οποίες περιλαμβάνουν και τις καταχωρήσεις των sibling κόμβων), προκειμένου να ανακαλύψουν μία μη απασχολημένη εικονική διεύθυνση δρομολόγησης μόλις εισέλθει στο δίκτυο. Ουσιαστικά, κάθε κενή καταχώρηση σε μία ενημέρωση δρομολόγησης κάποιου γειτονικού κόμβου μας υποδεικνύει ένα κενό υπό – δέντρο, το οποίο αντιπροσωπεύει το σύνολο ελεύθερων και έγκυρων διευθύνσεων δρομολόγησης.

Σε κάθε πίνακα ενημέρωσης δρομολόγησης υπάρχουν L καταχωρήσεις και η καθεμία από αυτές απαρτίζεται από τέσσερα πεδία: το αναγνωριστικό id του sibling κόμβου, το id του δικτύου, το κόστος της διαδρομής και τη διαδρομή της δρομολόγησης.

Πλεονεκτήματα του DARP

- Η προώθηση των πακέτων δεν απαιτεί ανακάλυψη διαδρομής και επομένως μειώνεται το control overhead.
- Κατά τη χρονική περίοδο που εκχωρούνται οι διευθύνσεις από το στρώμα του δικτύου μέσω της μεθόδου DHT, υπάρχει η δυνατότητα εύκολης εύρεσης του προορισμού από ένα κόμβο, με τη χρησιμοποίηση του κοινού προθέματος διεύθυνσης κατά τη διαδικασία προώθησης των πακέτων, μειώνοντας έτσι την καθυστέρηση της παράδοσής τους στον προορισμό αυτό.
- Απαίτηση ενημερώσεων των υπό –δέντρων εξαιτίας της κινητικότητας των κόμβων, οι οποίες πραγματοποιούνται στις περιοδικές ενημερώσεις δρομολογίων με ελάχιστο επιπλέον κόστος.
- Στην περίπτωση πολλαπλών διαδρομών, υπάρχει η δυνατότητα διατήρησης από ένα κόμβο όλων των πιθανών διαδρομών στον πίνακά δρομολόγησης του.
- Στη περίπτωση που υπάρξει αποτυχία της τρέχουσας διαδρομής, πραγματοποιείται η προώθηση των πακέτων από τον κόμβο στο αμέσως επόμενο διαθέσιμο μονοπάτι, μειώνοντας με αυτό τον τρόπο την καθυστέρηση στην λήψη των πακέτων.

Μειονεκτήματα του DARP

- Απαίτηση περιοδικών ενημερώσεων των πινάκων δρομολόγησης για τη διατήρηση της τοπολογίας και της προώθησης των πακέτων, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το control overhead του δικτύου.

- Μη προσδιορισμός της ακριβούς απόστασης μεταξύ των κόμβων από την τοπολογία δέντρο, εξαιτίας του περιορισμού του προθέματος κοινής διεύθυνσης.
- Η επέκταση του δέντρου, πιθανώς εξαιτίας της αύξησης των επιπέδων του δέντρου, ή η μείωση του δέντρου εξαιτίας της πιθανής μείωσης των επιπέδων του δέντρου, πιθανώς να προκαλέσει διαταραχή στη φυσική τοπολογία του δικτύου. Για τη διατήρηση των σχέσεων μεταξύ του αναγνωριστικού του κόμβου και της διεύθυνσής του απαιτείται κάποιος αριθμός ενημερώσεων που πιθανώς θα επηρεάσουν το overhead στο δίκτυο.
- Συχνή εμφάνιση του προβλήματος του κρυμμένου τερματικού σε αυτό το είδος πρωτοκόλλων, γεγονός το οποίο παράγει υψηλό routing overhead (34).

8.2. Διαχείριση συμφόρησης

Στο μεγάλο ζήτημα της συμφόρησης που συναντάται στα MANETs λόγω των συνεχών αλλαγών τοπολογίας στο δίκτυο, εξετάζονται σήμερα κάποιες τεχνικές που έχουν ως στόχο να μειώσουν το πρόβλημα και να βελτιώσουν την συνολική απόδοση του δικτύου. Σε αυτό το είδος δικτύων που χρησιμοποιεί κοινούς πόρους και οι πολλαπλοί αποστολείς είναι πιθανό να μοιράζονται το εύρος ζώνης, είναι απαραίτητο να ρυθμιστεί ο ρυθμός δεδομένων που στέλνονται από τον αποστολέα με τέτοιο τρόπο ώστε να μην δημιουργηθεί υπερφόρτωση. Οι κύριες τεχνικές που εξετάζονται σήμερα είναι οι ακόλουθες:

- **C3TCP:** Το C3TCP αποτελεί ένα Cross Layer σύστημα διαχείρισης της συμφόρησης, το οποίο υπολογίζει το εύρος ζώνης και τη καθυστέρηση στο επίπεδο της σύνδεσης με στόχο να πετύχει υψηλή απόδοση στο δίκτυο. Όταν παράγεται ένα πακέτο ACK στον κόμβο προορισμό, η ανατροφοδότηση που περιλαμβάνεται στο αντίστοιχο πακέτο δεδομένων επαναλαμβάνεται ξανά και συνεπώς μεταδίδεται στον αποστολέα. Το σύστημα C3TCP περιορίζει δυναμικά το μέγεθος παραθύρου του αποστολέα, βασισμένο σε συγκεκριμένες μετρήσεις. Προκειμένου να διατηρηθεί η εφαρμογή του TCP χωρίς τροποποιήσεις, όλη η λογική του C3TCP περιλαμβάνεται ως πρόσθετο στο πρωτόκολλο που εφαρμόζεται.
- **NRED:** Το σύστημα NRED (Neighborhood RED) είναι σε θέση να βελτιώσει την ακεραιότητα του TCP μέσω της ανίχνευσης της πρόωρης συμφόρησης, απορρίπτοντας τα πακέτα αναλογικά με τη χρήση του εύρους ζώνης του καναλιού. Στο σύστημα αυτό, κάθε κόμβος υπολογίζει τον αριθμό των πακέτων που βρίσκονται στην ουρά στη γειτονιά του. Αν το μήκος της ουράς υπερβαίνει ένα συγκεκριμένο όριο, τα πακέτα αρχίζουν να απορρίπτονται με πιθανότητα που αυξάνεται αναλογικά με το χρόνο (35).

8.3. Διαχείριση ενέργειας

Οι κινητές συσκευές στα MANETs έχουν περιορισμένους πόρους όπως μνήμη, ενέργεια, εύρος ζώνης κ.τ.λ. τα οποία πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο σε καταστάσεις όπου κρίνεται απαραίτητο. Όσο λιγότερο χρησιμοποιεί ένας κόμβος

αυτούς τους πόρους, τόσο λιγότερη ενέργεια καταναλώνει στο δίκτυο. Έχουν προταθεί διάφοροι μέθοδοι διαχείρισης της ενέργειας προκειμένου να μην καταναλώνεται άσκοπα.

Μία χαρακτηριστική μέθοδος που εξετάζεται σήμερα και έχει ήδη εφαρμοστεί σε κάποια πρωτόκολλα είναι η ACO (Ant Colony Optimization - Βελτιστοποίηση της αποικίας των μυρμηγκιών).

Στη μέθοδο αυτή βρίσκεται πάντα η βέλτιστη δυνατή λύση σύμφωνα με τις φυσικές ενέργειες των μυρμηγκιών απ' όπου έλαβε και το όνομά της. Η ACO στοχεύει στην ενημέρωση μόνο των τοπικών πληροφοριών στο δίκτυο προκειμένου να μειωθεί η κατανάλωση της ενέργειας, γεγονός που αποτελεί το κύριο προτέρημά της έναντι της RREQ μεθόδου. Με αυτό τον τρόπο, διατηρείται μεγάλο ποσοστό της διαθέσιμης μνήμης και ενέργειας και παράλληλα επιλέγεται το βέλτιστο μονοπάτι.

Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι υπολογίζεται κάθε φορά η υπολειπόμενη ενέργεια κάθε κόμβου με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πιθανότητα να επιλεγεί κάποιος κόμβος που έχει περισσότερη διαθέσιμη ενέργεια. Αυτή η αυτο-καταλυτική προσέγγιση είναι αυτο-διαχειριζόμενη και απαιτεί τον ελάχιστο δυνατό χειρισμό. Επομένως, από την άποψη της κατανάλωσης ενέργειας μπορεί να επιλεγεί η πιο αποτελεσματική διαδρομή.

Στο άμεσο μέλλον οι εργασίες των ερευνητών στρέφονται όχι μόνο στην εφαρμογή αυτού του συστήματος σε διάφορα πρωτόκολλα με δυνατότητες multicasting, αλλά και στην εφαρμογή του στο υλικό (hardware) με στόχο να διαπιστωθούν περαιτέρω δυνατότητες (36).

8.4. QoS

Μία νέα πρόταση στον τομέα της ποιότητας υπηρεσιών αποτελεί ένα υβριδικό stateless (δεν αποθηκεύει κάποια πληροφορία) QoS μοντέλο που ονομάζεται HybQoS και αφορά στη διαφοροποίηση των υπηρεσιών για ασύρματα MANETs. Το μοντέλο αυτό πραγματοποιεί κράτηση των πόρων προτού το χρησιμοποιήσει η ροή, σε αντίθεση με άλλα μοντέλα όπου οι πόροι καθορίζονται αποκλειστικά για τη ροή και δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν από καμιά άλλη κυκλοφορία.

Το HybQoS στοχεύει στην ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης στη κυκλοφορία των πολυμέσων με τη χρήση κατανεμημένων μηχανισμών ελέγχου που υποστηρίζουν την κίνηση σε πραγματικό χρόνο καθώς και τη διαφοροποίηση των υπηρεσιών. Για το σκοπό αυτό, ένας έλεγχος αποδοχής με μία προσωρινή διαδικασία κράτησης (Temporary Reservation Process - TRP) χρησιμοποιούνται για τη κυκλοφορία πραγματικού χρόνου στο UDP και παράλληλα προτείνονται δύο συστήματα ρύθμισης προκειμένου να διασφαλιστεί η καλή χρήση των πόρων. Το μοντέλο αυτό προσπαθεί να κρατήσει αρκετά πλεονεκτήματα αλλά και να απορρίψει κάποια μειονεκτήματα από τις stateless και stateful (αποθηκεύει τις αλλαγές στο δίκτυο) προσεγγίσεις, ενώ παράλληλα για την ανανέωση των πληροφοριών κατάστασης ανά ροή, χρησιμοποιεί την ελάχιστη δυνατή πληροφορία από τους κόμβους χωρίς να στηρίζεται σε πολύπλοκους μηχανισμούς.

Το πρόγραμμα δρομολόγησης και η TRP πραγματοποιούν τη διαδικασία ανακάλυψης διαδρομών και κράτησης εύρους ζώνης και στη συνέχεια ορίζεται συγκεκριμένο διαθέσιμο εύρος ζώνης για τον κάθε κόμβο. Πολλές εφαρμογές πολυμέσων όπως το VoIP είναι ευαίσθητα στη καθυστέρηση ή σε αλλαγές στο εύρος ζώνης, επομένως η παροχή πληροφοριών για τη πραγματική κατάσταση του δικτύου μπορεί να φανεί χρήσιμη για την αποδοχή ενός νέου κόμβου στο δίκτυο. Η απόφαση αυτή πραγματοποιείται με το μηχανισμό ελέγχου εισόδου όπου ο ταξινομητής είναι σε θέση να διαφοροποιήσει τις ροές ανάλογα με τις απαιτήσεις τους σε ποιότητα υπηρεσιών – ροές υπηρεσιών βέλτιστης προσπάθειας ή ροές υπηρεσιών πραγματικού χρόνου. Τα ταξινομημένα πακέτα ρυθμίζονται με τη χρήση των συστημάτων ρύθμισης ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής και τις απαιτήσεις του δικτύου. Όπως στη περίπτωση των stateless περιπτώσεων, το HybQoS μοντέλο δεν απαιτεί την υποστήριξη τεχνολογίας MAC που υποστηρίζει QoS για να παράσχει διαφοροποίηση υπηρεσιών. Αντίθετα, οι υπηρεσίες πραγματικού χρόνου είναι ήδη σχεδιασμένες για να χρησιμοποιηθούν από υπάρχουσες ασύρματες τεχνολογίες MAC (37).

8.5. Ασφάλεια

Στα MANETs, η ασφάλεια είναι ένα από τα πιο σημαντικά ζητήματα, επειδή τα δίκτυα αυτά είναι πιο ευάλωτα σε επιθέσεις από ό,τι τα ενσύρματα δίκτυα ή αλλά ασύρματα δίκτυα. Ανάλογα με το κάθε επίπεδο σύμφωνα με το μοντέλο OSI, υπάρχουν κάποια χαρακτηριστικά ασφαλείας που πρέπει να ληφθούν υπόψη:

- Επίπεδο Εφαρμογής: Σε αυτό το επίπεδο, τα θέματα του ενδιαφέροντος, βασίζονται σε ευάλωτες εφαρμογές που εκτελούνται στο μηχάνημα του χρήστη και στην εκτέλεση ανεπιθύμητων ιών, σκουληκιών (worms) ή άλλων κακόβουλων κωδικών.
- Επίπεδο Μετάδοσης: Στο επίπεδο αυτό επικυρώνεται και εξασφαλίζεται η επικοινωνία από άκρο σε άκρο μέσω της κρυπτογράφησης.
- Επίπεδο Δικτύου: Σε αυτό το επίπεδο προστατεύονται τα πρωτόκολλα δρομολόγησης και η προώθηση των πακέτων. Τα ζητήματα ασφαλείας στο επίπεδο δικτύου αφορούν στο πρωτόκολλο προστασίας δρομολόγησης και στους μηχανισμούς προώθησης.
- Επίπεδο Ζεύξης Δεδομένων: Το σημαντικό θέμα αυτού του επιπέδου είναι η προστασία του πρωτοκόλλου Media Access Protocol (MAC) και η παροχή υποστηρίξιμης ασφαλείας για τη σύνδεση πρωτοκόλλων.
- Φυσικό Επίπεδο: Σε αυτό το επίπεδο αποτρέπονται οι παρεμβολές που επιδιώκουν να προκαλέσουν άρνηση υπηρεσιών στα MANETs.

Οι πιθανές τεχνικές που μπορούν να ακολουθηθούν στον τομέα της ασφαλείας και μελετούνται το τρέχον διάστημα είναι οι ακόλουθες:

- Η απόκτηση πιστοποιητικών από τους κόμβους μέσω άλλων δικτύων ή η διαπραγματεύση των δικών τους πιστοποιητικών.
- Η λειτουργία μερικών κόμβων ως παρατηρητών.

- Η διερεύνηση των πακέτων που πραγματοποιούν διαγνωστική αξιολόγηση διαδρομών στο δίκτυο.
- Η καθιέρωση επιπέδων εμπιστοσύνης.
- Η χρήση ιδιωτικών ή δημόσιων κλειδιών και ψηφιακών υπογραφών.
- Η παροχή κινήτρων για καλή συμπεριφορά.

Επιπλέον, επειδή ο κάθε κόμβος οφείλει να μεγιστοποιήσει το επίπεδο εξυπηρέτησής του και να καθορίσει μεθόδους αντιμετώπισης των κόμβων που δεν συμπεριφέρονται κατάλληλα, ίσως αποδειχθούν χρήσιμες οι τεχνικές θεωρίας παιγνίου. Επιπλέον, η ικανότητα αυτό – οργάνωσης των δικτύων αυτών μπορεί να βελτιωθεί με την εξερεύνηση αλγορίθμων μάθησης από τους κόμβους.

Επιθέσεις υφαρπαγής συνόδου (Session hijacking)

Τα αδόμητα κινητά δίκτυα υποφέρουν πολύ συχνά από επιθέσεις υφαρπαγής συνόδου (Session hijacking). Στις επιθέσεις αυτές ο επιτιθέμενος υφαρπάζει ή ανακτά τον έλεγχο μιας συνόδου. Αυτό μπορεί να συμβεί τόσο στο επίπεδο του δικτύου όσο και στο επίπεδο της εφαρμογής. Στο επίπεδο του δικτύου προηγείται παρεμβολή και υποκλοπή, ενώ στο επίπεδο της εφαρμογής απαιτείται η απόκτηση των IDS συνόδων.

Η χρήση του IDS (Intrusion Detection System) το οποίο ανιχνεύει κακόβουλες δραστηριότητες ή κόμβους σε ένα δίκτυο, κρίνεται απολύτως απαραίτητη σε αυτό το τύπο δικτύων καθώς αποτελεί το πρώτο μέσο προστασίας τους. Λόγω της έλλειψης κεντρικής διοίκησης, τοποθετείται και αναπτύσσεται σε κάθε κόμβο του δικτύου ξεχωριστά, σε αντίθεση με τα σταθερά δίκτυα όπου απλά συμπεριφέρεται ως ένα επιπλέον επίπεδο άμυνας πέραν αυτού του τείχους προστασίας που εγκαθίσταται σε αυτά.

Ένα μεγάλο μειονέκτημα του IDS στα MANETs είναι ότι δεν λειτουργεί αποτελεσματικά σε περίπτωση κρυπτογραφημένης κίνησης. Μία νέα μέθοδος ανίχνευσης εισβολών που προτάθηκε είναι η EAAK (Encanced Adaptive Acknowledgment) η οποία έχει ως σκοπό να διαχειριστεί τις τρεις βασικές αδυναμίες των μεθόδων IDS, δηλαδή την περιορισμένη ισχύ μετάδοσης, το collision από τη πλευρά του δέκτη καθώς και τη false misbehavior.

Το EAACK παρέχει υψηλότερο επίπεδο ασφάλειας στο σύστημα του δικτύου, επιδεικνύοντας ικανότητες υψηλής ανίχνευσης κακόβουλων κόμβων και κακόβουλων δραστηριοτήτων στα δίκτυα. Επιπλέον, παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι δεν επηρεάζει τη απόδοση του δικτύου με κανένα τρόπο, ακόμα και στη περίπτωση κρυπτογραφημένης κίνησης.

Το EAACK αποτελείται από τρία βασικά μέρη, το ACK, το SACK και το MRA.

- **ACK:** Σύστημα αναγνώρισης απ' άκρο σε άκρο στο δίκτυο που στοχεύει στη μείωση της υπερφόρτωσης σε αυτό όταν εντοπίζεται ελαττωματική συμπεριφορά από τους κόμβους.
- **SACK:** Παροχή δυνατότητας σε ομάδες των τριών κόμβων στο δίκτυο να δουλεύουν σε ομάδες προκειμένου να εντοπίζουν τους ελαττωματικούς κόμβους. Για κάθε τέτοια ομάδα κόμβων σε μία διαδρομή, ο τρίτος κόμβος στέλνει ένα πακέτο αναγνώρισης στον πρώτο. Η διαδικασία αυτή επιτελείται

με στόχο να εντοπιστούν οι ελαττωματικοί κόμβοι σε περίπτωση περιορισμένης ισχύος μετάδοσης.

- **MRA:** Για την ενεργοποίηση τους συστήματος MRA, ο κόμβος πηγή αναζητά πρώτα μια εναλλακτική διαδρομή προς τον κόμβο προορισμό. Εάν δεν βρεθεί άλλη, ο κόμβος πηγή στέλνει αίτημα δρομολόγησης για να εντοπίσει άλλη διαδρομή. Το σύστημα MRA συμβάλλει στην παράκαμψη των ελαττωματικών κόμβων, μέσω ενός πακέτου MRA που στέλνεται στον κόμβο προορισμό μέσω αυτής της εναλλακτικής διαδρομής και περιλαμβάνει πληροφορίες για το πακέτο που στάλθηκε. Ο κόμβος προορισμός εξετάζει την τοπική του βάση πληροφοριών για να εξετάσει αν το έχει όντως λάβει. Εάν διαπιστωθεί ότι έχει ήδη ληφθεί, προκύπτει το συμπέρασμα ότι αυτή είναι μια αναφορά false misbehavior και όποιος την έστειλε μαρκάρεται ως κακόβουλος χρήστης. Σε αντίθετη περίπτωση, η αναφορά γίνεται αποδεκτή (38) (39).

8.6. Smart objects

Οι δυνατότητες που προσφέρονται από το IoT καθιστούν δυνατή την ανάπτυξη ενός μεγάλου αριθμού εφαρμογών όπου σήμερα μόνο ένα μικρό μέρος τους είναι διαθέσιμο. Νέες εφαρμογές που θα είναι βασισμένες στο IoT θα μπορούν να βελτιώσουν τη ποιότητα της ζωής μας και αυτά τα περιβάλλοντα θα είναι εξοπλισμένα με αντικείμενα (objects) τα οποία θα έχουν συνεχώς αυξανόμενη νοημοσύνη. Οι εφαρμογές που θα προκύψουν θα απαιτούν κινητά αντικείμενα που είναι διαρκώς προσβάσιμα στο διαδίκτυο, δίνοντάς τους την δυνατότητα να επικοινωνούν μεταξύ τους και να επεξεργάζονται τις πληροφορίες που γίνονται αντιληπτές από το περιβάλλον.

Τα αντικείμενα θα πρέπει να μεταδίδονται μεταξύ διαφορετικών υποδικτύων ενώ κινούνται και ο χρόνος διακοπής της επικοινωνίας πρέπει να ελαχιστοποιηθεί προκειμένου να υπάρξει υποστήριξη ευαίσθητων εφαρμογών. Με στόχο τη μείωση της συμφόρησης του δικτύου αλλά και του χρόνου παράδοσης πακέτων, θα επιλεγθούν reactive πρωτόκολλα και μία διαφημιστική προσέγγιση ενός proactive agent. Παρόλα αυτά, ο στόχος της απρόσκοπτης παράδοσης πακέτων είναι ακόμα δύσκολα προσεγγίσιμος και οφείλουν να βρεθούν λύσεις στα ακόλουθα σημεία:

- Η διαχείριση των διευθύνσεων IP των κινητών αντικειμένων κατά τη διάρκεια της παράδοσης πακέτων, όπου, ακόμα και με τη χρήση του IPv6 υπάρχουν κάποια χαρακτηριστικά όπως η ανακάλυψη σύγκρουσης διεύθυνσης που δεν επιτρέπουν την απρόσκοπτη παράδοση των πακέτων.
- Η μείωση του χρόνου διατήρησης της διαδρομής στα reactive πρωτόκολλα με στόχο τη μείωση του χρόνου κατά την οποία υπάρχει ενημέρωση σπασμένης σύνδεσης.
- Ένας εναλλακτικός τρόπος μείωσης του χρόνου παράδοσης είναι η διατήρηση των εναλλακτικών διαδρομών στη πραγματική πύλη, με αποτέλεσμα οι σπασμένες διαδρομές να μην προκαλέσουν απώλεια κάποιου agent.

Επομένως, στα 4G ασύρματα δίκτυα, το MANET είναι ο προτιμώμενος τύπος δικτύου για κόμβους που απέχουν πολύ από τα δομημένα δίκτυα, αλλά οι επιδόσεις κατά τη διάρκεια των παραδόσεων πακέτων είναι ακόμα υπό διερεύνηση (40).

8.7. Διαλειτουργικότητα με Δορυφορικά Δίκτυα

Τα MANETs αποτελούνται ως γνωστόν από κινητούς κόμβους οι οποίοι υποφέρουν από διάφορους περιορισμούς που αφορούν το διαθέσιμο εύρος ζώνης, την καθυστέρηση, την κατανάλωση ενέργειας καθώς και την κινητικότητά τους. Αυτοί οι περιορισμοί αυξάνουν τη δυσκολία εξασφάλισης υψηλού QoS για τις επιθυμητές εφαρμογές. Επιπλέον, η τυχαία κίνηση των κόμβων καθώς και η συνεχή αλλαγή της τοπολογίας στο δίκτυο αποτελούν συνήθως γρήγορους και απρόβλεπτους παράγοντες. Κατά τη διάρκεια λοιπόν της δυναμικής κινητικότητας αυτών των κόμβων, το δίκτυο μπορεί να διασπαστεί σε ξεχωριστές ομάδες που είναι ασύνδετες μεταξύ τους. Σε τέτοια σενάρια, οι δορυφορικές επικοινωνίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά προκειμένου να συνδέσουν αυτές τις ομάδες όπου κρίνεται απαραίτητο.

Επομένως, η εξέλιξη της διαλειτουργικότητας των MANETs με τα δορυφορικά δίκτυα είναι μείζονος σημασίας και σήμερα μελετούνται οι ακόλουθες προσεγγίσεις στο ζήτημα αυτό:

- **P2PNET:** Το δίκτυο P2PNET (Peer to Peer Network) προσφέρει επικοινωνία χωρίς διακομιστές και βασίζεται στο MANET. Σε αυτή τη προσέγγιση παρέχεται η δυνατότητα υποστήριξης επικοινωνίας μεταξύ προσωρινών ομάδων. Συγκεκριμένα, κάποιοι κόμβοι διαθέτουν δυνατότητες δορυφορικής επικοινωνίας και λειτουργούν ως πύλες προκειμένου να επιτρέψουν σε άλλους κόμβους που δεν έχουν πρόσβαση στο ίντερνετ να συνδεθούν μέσω των ιδίων. Το P2PNET υποστηρίζει VoIP καθώς και instant messaging. Είναι κατάλληλο για χρήση σε περιπτώσεις φυσικών καταστροφών και πεδίων μάχης καθώς σχεδιάστηκε για περιβάλλοντα χωρίς υποδομές, διακομιστές και δυνατότητα σύνδεσης στο ίντερνετ. Σήμερα πραγματοποιούνται πολλά πειράματα σε αυτό τον τομέα που εστιάζουν στις επικοινωνίες multihop καθώς και στην προσθήκη δορυφορικών πυλών στην αρχιτεκτονική του συστήματος.
- **DUMBONET:** Το DUMBONET (Digital Ubiquitous Mobile Broadband Optimized Link State Protocol Network) σχεδιάστηκε για επείγοντα σενάρια και επιχειρήσεις διάσωσης και υλοποιείται με τη χρήση δορυφορικών συνδέσεων. Σε αυτό το δίκτυο συνδέονται δύο απομακρυσμένες ομάδες ενός αδόμητου δικτύου με ένα δορυφορικό δίκτυο μέσω του γεωστατικού δορυφόρου IPStar και παράλληλα γίνεται χρήση του πρωτοκόλλου OLSR, σύμφωνα με το οποίο όλες οι συσκευές είναι συνδεδεμένες στο ίδιο ιδιωτικό υποδίκτυο που χρησιμοποιείται για τη δρομολόγηση της μεταξύ τους κυκλοφορίας.
- **SAVION:** Το σύστημα αυτό προτείνει μια νέα αρχιτεκτονική αδόμητου δικτύου που βασίζεται σε ένα ειδικό πρωτόκολλο που επιτρέπει μία πλήρως δικτυωμένη διαμόρφωση όπου γίνεται χρήση αυτορυθμιζόμενων κόμβων

αναμετάδοσης σε περίπτωση εμφάνισης προβλημάτων σε ένα κινητό αδόμητο δίκτυο. Συγκεκριμένα, προτείνεται η ενσωμάτωση ενός δορυφόρου για εφαρμογές έκτακτης ανάγκης. Συγκεκριμένα, τα πακέτα δεδομένων των διαφορετικών ομάδων δρομολογούνται μέσω δορυφορικών συνδέσεων σε περίπτωση διαμοιρασμού ενός δικτύου MANET.

- **MONET:** Αυτός ο μηχανισμός προτάθηκε για τη βελτιστοποίηση των υβριδικών ad hoc δικτύων και εστιάζει στην απ' άκρο σε άκρο βελτιστοποίηση της διαχείρισης των πόρων, συνυπολογίζοντας τις συνέπειες τόσο στο MANET δίκτυο όσο και στο δορυφορικό δίκτυο με το οποίο συνεργάζεται. Στο τωρινό στάδιο μελετώνται η αναδιοργάνωση του δικτύου MANET με σκοπό να συνδεθεί με τα δορυφορικά σημεία πρόσβασης, η αναδιοργάνωση αυτών των σημείων πρόσβασης, η επιλογή της χρήσης των κατάλληλων σημείων πρόσβασης, η χρήση του δορυφόρου με σκοπό να αναμεταδίδει δεδομένα μεταξύ των υποομάδων του δικτύου MANET καθώς και η προσαρμογή της δρομολόγησης σύμφωνα με την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου με στόχο τη βελτίωση της διαχείρισης της χρήσης των διαθέσιμων πόρων (41).

Επίλογος

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε μελέτη τεχνικών υλοποίησης των αδόμητων δικτύων κινητών επικοινωνιών καθώς και συγκριτική αξιολόγηση αυτών με εστίαση στη μετάδοση πολυμεσικών εφαρμογών. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε δύο μέρη, όπου στο πρώτο μέρος συμπεριλήφθηκε το θεωρητικό κομμάτι και στο δεύτερο μέρος συμπεριλήφθηκε το τεχνικό κομμάτι, δηλαδή η προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της. Το Α' μέρος περιλαμβάνει τα κεφάλαια 1 – 5 και το Β' μέρος περιλαμβάνει τα κεφάλαια 6 – 8.

Στο πρώτο κεφάλαιο πραγματοποιήθηκε η θεωρητική περιγραφή των αδόμητων δικτύων. Δόθηκε ο ορισμός τους, πραγματοποιήθηκε ιστορική αναδρομή και μετά έγινε η περιγραφή των ειδών των αδόμητων δικτύων καθώς και των χαρακτηριστικών τους. Επιπλέον παρουσιάστηκαν οι εφαρμογές που υπάρχουν στα δίκτυα αυτά αλλά και οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάστηκε το πρότυπο IEEE.11 και η αρχιτεκτονική του με εστίαση στην πρόσβαση στο επίπεδο MAC. Επιπλέον παρουσιάστηκαν οι μέθοδοι με τις οποίες πραγματοποιείται η πρόσβαση στα αδόμητα δίκτυα επικοινωνιών.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύθηκαν τα τρέχοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης για τα δίκτυα MANETs καθώς και οι διάφορες υποκατηγορίες τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάστηκε η περιγραφή των πρωτοκόλλων επικοινωνίας και των δύο βασικών ειδών κίνησης UDP και TCP καθώς και των χαρακτηριστικών τους.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν οι πολυμεσικές εφαρμογές και πιο εξελιγμένοι μέθοδοι υλοποίησής τους στα αδόμητα κινητά δίκτυα.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν τα διαθέσιμα μοντέλα προσομοίωσης και ορίστηκε ως επιλεγμένο το ns – 2. Πραγματοποιήθηκε η αναλυτική περιγραφή του και ορίστηκε το περιβάλλον όπου θα λάβει χώρα η προσομοίωση. Μελετήθηκε διεξοδικά ο τρόπος λειτουργίας των τριών επιλεγμένων πρωτοκόλλων (AODV, DSDV, DSR) πάνω στα οποία θα πραγματοποιηθεί η συγκριτική αξιολόγηση. Τέλος αναλύθηκαν τα τεχνικά χαρακτηριστικά που θα ληφθούν υπόψη για τη σύγκριση της συμπεριφοράς των τριών πρωτοκόλλων καθώς και τα γενικά τεχνικά χαρακτηριστικά της προσομοίωσης.

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη διεξαγωγή των δύο πειραμάτων στον προσομοιωτή ns – 2 αναφορικά για καθένα από τα τρία πρωτόκολλα. Τα συμπεράσματα αυτά εξήχθησαν με τη χρήση tcl scripts και έχουν τη μορφή πινάκων που περιλαμβάνουν στατιστικά αλλά και γραφημάτων μέσω της χρήσης του xgraph. Επιπλέον πραγματοποιήθηκε η σύγκριση του καθενός από τα τρία πρωτόκολλα αναφορικά με τα δύο πειράματα στα οποία έλαβαν μέρος.

Στο όγδοο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν οι τομείς στους οποίους πραγματοποιείται έρευνα τα τελευταία χρόνια προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοση των δικτύων MANET. Τέλος παρουσιάστηκαν κάποιες πολύ πρόσφατες τεχνολογίες, οι οποίες χρησιμοποιούνται για αυτό ακριβώς τον σκοπό, δηλαδή την μελλοντική ανάπτυξη και βελτίωση των κινητών αδόμητων δικτύων.

Παράρτημα

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα tcl scripts χρησιμοποιήθηκαν για τη εξαγωγή των στατιστικών συμπερασμάτων καθώς και για την απεικόνιση των γραφικών αναπαραστάσεων.

Τα scripts αυτά είναι τα ακόλουθα:

Project1.tcl

Το αρχείο αυτό χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή του πρώτου πειράματος. Περιλαμβάνει όλα τα χαρακτηριστικά του δικτύου και των κόμβων που τον απαρτίζουν. Η εκτέλεσή του πραγματοποιήθηκε τρεις φορές, μία για καθένα από τα πρωτόκολλα AODV, DSDV και DSR. Για καθεμία από τις φορές αυτές, μεταβλήθηκε η τιμή της σειράς set val(rp) στην ονομασία του αντίστοιχου πρωτοκόλλου. Κατά την εκτέλεση αυτού του αρχείου, αποτυπώθηκαν γραφικά τα αποτελέσματα από τη ρυθμοαπόδοση σε κάθε κόμβο, τη καθυστέρηση σε κάθε κόμβο, την απώλεια πακέτων από κάθε κόμβο και τη συνολική λήψη πακέτων από κάθε κόμβο. Επιπλέον, υπολογίστηκε και σχεδιάστηκε γραφικά η μέση ρυθμοαπόδοση του δικτύου συναρτήσει του χρόνου.

Τρόπος εκτέλεσης αρχείου

Στο περιβάλλον cygwin εκτελούμε τον κώδικα:

```
ns Project1.tcl
```

Αρχείο

```
set val(chan) Channel/WirelessChannel ; # επιλογή του καναλιού μετάδοσης
set val(prop) Propagation/TwoRayGround ; # επιλογή του τρόπου μετάδοσης
set val(netif) Phy/WirelessPhy ; # επιλογή του φυσικού μέσου
set val(mac) Mac/802_11 ; # επιλογή του MAC πρωτοκόλλου
set val(ifq) Queue/DropTail/PriQueue ; # επιλογή του τύπου ουράς αναμονής των πακέτων (στην
επιλογή του πρωτοκόλλου DSR επιλέχθηκε η CmuPri Queue)
set val(ll) LL ; # επιλογή του επιπέδου ζεύξης
set val(ant) Antenna/OmniAntenna ; # επιλογή του τύπου της κεραίας
set val(ifqlen) 50 ; # καθορισμός του μήκους της ουράς
set val(nn) 7 ; # καθορισμός του αριθμού των κόμβων
set val(rp) AODV, DSDV, DSR ; # επιλογή του πρωτοκόλλου δρομολόγησης (AODV, DSDV και
DSR).
set val(x) 1000 ; # καθορισμός του μήκους X της τοπολογίας
set val(y) 550 ; # καθορισμός του πλάτους Y της τοπολογίας
Mac/802_11 set RTSThreshold_ 2000 # καθορισμός ορίου για το RTS (request to send)
Mac/802_11 set basicRate_ 24Mb # καθορισμός του βασικού ρυθμού μετάδοσης
Mac/802_11 set dataRate_ 48Mb # καθορισμός του μέγιστου ρυθμού μετάδοσης
# Καθορισμός αρχείων καταγραφής του throughput
set f0 [open throughput_n0.tr w]
set f1 [open throughput_n6.tr w]
# Καθορισμός αρχείων καταγραφής του packet loss
set f2 [open loss_n0.tr w]
set f3 [open loss_n6.tr w]
# Καθορισμός αρχείων καταγραφής του packet delay
set f4 [open delay_n0.tr w]
set f5 [open delay_n6.tr w]
# Καθορισμός των αρχείων καταγραφής των received packets
set f6 [open npackets_n0.tr w]
```



```

set f7 [open npackets_n6.tr w]
# Καθορισμός του αρχείου καταγραφής της μέσης ρυθμοαπόδοσης του δικτύου
set f8 [avg_throughput.tr w]
# Δημιουργία ενός αντικειμένου προσομοίωσης του ns2
set ns_ [new Simulator]
set ns_ newtrace
#Καθορισμός του αντικειμένου καταγραφής γεγονότων
set tracefd [open project1.tr w]
$ns_ trace-all $tracefd
# Δημιουργία του αρχείου καταγραφής της αναπαράστασης της προσομοίωσης μέσω του NAM
set namtrace [open project1.nam w]
# Δημιουργία του αντικειμένου παρακολούθησης των γεγονότων του NAM
$ns_ namtrace-all-wireless $namtrace $val(x) $val(y)
# Δημιουργία της τοπολογίας και των διαστάσεών της
set topo [new Topography]
$topo load_flatgrid 1000 550
# Δημιουργία του αντικειμένου GOD (General Operations Director) που χρησιμοποιείται για την
αποθήκευση πληροφοριών σχετικά με την κατάσταση του περιβάλλοντος, του δικτύου και των κόμβων
μέσα σε αυτό
create-god $val(nn)
# Καθορισμός των παραμέτρων των κόμβων
$ns_ node-config -adhocRouting $val(rp) \
-llType $val(ll) \
-macType $val(mac) \
-ifqType $val(ifq) \
-ifqLen $val(ifqlen) \
-antType $val(ant) \
-propType $val(prop) \
-phyType $val(netif) \
-channelType $val(chan) \
-topoInstance $topo \
-agentTrace ON \
-routerTrace ON \
-macTrace OFF \
-movementTrace ON
# Δημιουργία των κόμβων
for {set i 0} {$i < $val(nn)} {incr i} {
set node_($i) [$ns_ node]
$node_($i) random-motion 0 ;# απενεργοποίηση της τυχαίας κίνησης των κόμβων
}
# Καθορισμός των αρχικών συντεταγμένων των κόμβων
$node_(0) set X_ 226.0
$node_(0) set Y_ 280.0
$node_(1) set X_ 443.0
$node_(1) set Y_ 363.0
$node_(2) set X_ 404.0
$node_(2) set Y_ 129.0
$node_(3) set X_ 608.0
$node_(3) set Y_ 231.0
$node_(4) set X_ 623.0
$node_(4) set Y_ 415.0
$node_(5) set X_ 597.0

```

```

$node_(5) set Y_ 97.0
$node_(6) set X_ 743.0
$node_(6) set Y_ 222.0
# Καθορισμός των κινήσεων των κόμβων ( $ns_at TIME " NODE setdest X Y SPEED"
$ns_ at 25.0 " $node_(0) setdest 250.0 300.0 25.0 "
$ns_ at 45.0 " $node_(0) setdest 250.0 250.0 40.0 "
$ns_ at 25.0 " $node_(2) setdest 430.0 180.0 35.0 "
$ns_ at 45.0 " $node_(2) setdest 400.0 150.0 30.0 "
$ns_ at 25.0 " $node_(3) setdest 600.0 250.0 15.0 "
$ns_ at 65.0 " $node_(3) setdest 600.0 350.0 25.0 "
$ns_ at 50.0 " $node_(4) setdest 620.0 400.0 25.0 "
$ns_ at 65.0 " $node_(4) setdest 620.0 300.0 20.0 "
# Καθορισμός της ροής κίνησης μεταξύ των κόμβων
set agent1 [new Agent/UDP] ; # Δημιουργία ενός UDP agent
set sink1 [new Agent/LossMonitor] ; # Δημιουργία του υποδοχέα της κίνησης UDP
$ns_ attach-agent $node_(0) $agent1 ; # Προσάρτηση του agent στον κόμβο πηγή
$ns_ attach-agent $node_(6) $sink1 ; # Προσάρτηση του agent στον κόμβο προορισμό
$ns_ connect $agent1 $sink1 ; # Σύνδεση των κόμβων
set cbr1 [new Application/Traffic/CBR] ; # Δημιουργία της υπηρεσίας CBR (Constant Bit Rate)
$cbr1 set packetSize_ 512 ; # Καθορισμός του μεγέθους του πακέτου
$cbr1 set rate_ 1Mb ; # Καθορισμός του ρυθμού μετάδοσης του CBR
$cbr1 attach-agent $agent1 ; # Προσάρτηση της υπηρεσίας στον agent
set agent2 [new Agent/UDP] ; # Δημιουργία ενός UDP agent
set sink2 [new Agent/LossMonitor] ; # Δημιουργία του υποδοχέα της κίνησης UDP
$ns_ attach-agent $node_(6) $agent2 ; # Προσάρτηση του agent στον κόμβο πηγή
$ns_ attach-agent $node_(0) $sink2 ; # Προσάρτηση του agent στον κόμβο προορισμό
$ns_ connect $agent2 $sink2 ; # Σύνδεση των κόμβων
set cbr2 [new Application/Traffic/CBR] ; # Δημιουργία της υπηρεσίας CBR (Constant Bit Rate)
$cbr2 set packetSize_ 512 ; # Καθορισμός του μεγέθους του πακέτου
$cbr2 set rate_ 1Mb ; # Καθορισμός του ρυθμού μετάδοσης του CBR
$cbr2 attach-agent $agent2 ; # Προσάρτηση της υπηρεσίας στον agent
# Καθορισμός του μεγέθους των κόμβων στον network animator
for {set i 0} {$i < $val(nn)} {incr i} {
    $ns_ initial_node_pos $node_($i) 20
}
# Αρχικοποίηση των σημαίων
set holdtime 0
set holdtime1 0
set holdseq 0
set holdseq1 0
set holdrate1 0
set holdrate2 0
# Συνάρτηση που καταγράφει τα στατιστικά στοιχεία
proc record {} {
    global sink1 sink2 f0 f1 f2 f3 holdtime holdtime1 holdseq holdseq1 f4 f5 holdrate1 holdrate2 f6 f7 f8
}
set ns [Simulator instance] # Καθορισμός ενός στιγμιότυπου του simulator
set time 0.9 ; # Καθορισμός του χρόνου δειγματοληψίας
# Καθορισμός μετρητών στους κόμβους- προορισμούς
set bw0 [$sink1 set bytes_]
set bw1 [$sink2 set bytes_]
set bw2 [$sink1 set nlost_]

```

```

set bw3 [$sink2 set nlost_]
set bw4 [$sink1 set lastPktTime_]
set bw5 [$sink1 set npkts_]
set bw6 [$sink2 set lastPktTime_]
set bw7 [$sink2 set npkts_]
set now [$ns now]
# Καταγραφή του bit rate στα αρχεία καταγραφής
puts $f0 "$now [expr ((bw0+$holdrate1)*8)/(2*$time*1000000)]"
puts $f1 "$now [expr ((bw1+$holdrate2)*8)/(2*$time*1000000)]"
puts $f8 "$now [expr (((bw0+$holdrate1)*8)/(2*$time*1000000) +
((bw1+$holdrate2)*8)/(2*$time*1000000))/2]"
# Καταγραφή του packet loss rate στα αρχεία
puts $f2 "$now [expr $bw2/$time]"
puts $f3 "$now [expr $bw3/$time]"
# Καταγραφή του packet delay στα αρχεία
if { $bw5 > $holdseq } {
puts $f4 "$now [expr ($bw4 - $holdtime)/($bw5 - $holdseq)]"
} else {
puts $f4 "$now [expr ($bw5 - $holdseq)]"
}
if { $bw7 > $holdseq1 } {
puts $f5 "$now [expr ($bw6 - $holdtime1)/($bw7 - $holdseq1)]"
} else {
puts $f5 "$now [expr ($bw7 - $holdseq1)]"
}
puts $f6 "$now [expr $bw5]"
puts $f7 "$now [expr $bw7]"
# Επαναφορά των μεταβλητών
$sink1 set bytes_ 0
$sink2 set bytes_ 0
$sink1 set nlost_ 0
$sink2 set nlost_ 0
set holdtime $bw4
set holdseq $bw5
set holdrate1 $bw0
set holdrate2 $bw1
$ns at [expr $now+$time] "record" ;# Προγραμματισμός της εγγραφής
}
$ns_ at 0.0 "record" # Έναρξη της εγγραφής
$ns_ at 25.0 "$cbr1 start" ;# Έναρξη της μετάδοσης του cbr1
$ns_ at 25.0 "$cbr2 start" ;# Έναρξη της μετάδοσης του cbr2
$ns_ at 80.0 "stop" # Διακοπή της προσομοίωσης
# Επαναφορά των κόμβων
for {set i 0} {$i < $val(nn)} {incr i} {
$ns_ at 80.0 "$node_($i) reset";
}
# Τερματισμός της προσομοίωσης
$ns_ at 80.01 "puts \"NS EXITING...\" ; $ns_ halt" #
proc stop {} {
global ns_ tracefd f0 f1 f2 f3 f4 f5 f6 f7 f8
# Κλείσιμο των αρχείων καταγραφής
close $f0

```

```

close $f1
close $f2
close $f3
close $f4
close $f5
close $f6
close $f7
close $f8
# Σχεδιασμός των στατιστικών που παρήχθησαν μέσω του xgraph σε μορφή γραφημάτων
exec xgraph throughput_n0.tr throughput_n6.tr -geometry 800x400 -t "Throughput" -x "Time" -y
"Throughput" -bg white &
exec xgraph loss_n0.tr loss_n6.tr -geometry 800x400 -t "Packet Loss" -x "Time" -y "No.of Packets" -
bg white &
exec xgraph delay_n0.tr delay_n6.tr -geometry 800x400 -t "Packet Delay" -x "Time" -y "Delay" -bg
white &
exec xgraph npackets_n0.tr npackets_n6.tr -geometry 800x400 -t "Packets Received" -x "Time" -y
"No. of Packets" -bg white &
exec xgraph avg_throughput.tr -geometry 800x400 -t "Avg_Throughput" -x "Time" -y "Throughput" -
bg white &
exec nam project1.nam & # Εκτέλεση του network emulator
# Επαναφορά του αρχείου καταγραφής
$ns_ flush-trace
close $tracefd
exit 0
}
# Εκτέλεση της προσομοίωσης
puts "Starting Simulation..."
$ns_ run

```

Project2.tcl

Το αρχείο αυτό χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή του δεύτερου πειράματος. Περιλαμβάνει όλα τα χαρακτηριστικά του δικτύου και των κόμβων που τον απαρτίζουν. Η εκτέλεσή του πραγματοποιήθηκε τρεις φορές, μία για καθένα από τα πρωτόκολλα AODV, DSDV και DSR. Για καθεμία από τις φορές αυτές, μεταβλήθηκε η τιμή της σειράς set val(rp) στην ονομασία του αντίστοιχου πρωτοκόλλου. Κατά την εκτέλεση αυτού του αρχείου, αποτυπώθηκαν γραφικά τα αποτελέσματα από τη ρυθμοαπόδοση σε κάθε κόμβο, τη καθυστέρηση σε κάθε κόμβο, την απώλεια πακέτων από κάθε κόμβο και τη συνολική λήψη πακέτων από κάθε κόμβο. Επιπλέον, υπολογίστηκε και σχεδιάστηκε γραφικά η μέση ρυθμοαπόδοση του δικτύου συναρτήσει του χρόνου.

Τρόπος εκτέλεσης αρχείου

Στο περιβάλλον cygwin εκτελούμε τον κώδικα:

```
ns Project2.tcl
```

Αρχείο

```

set val(chan) Channel/WirelessChannel ;# επιλογή του καναλιού μετάδοσης
set val(prop) Propagation/TwoRayGround ;# επιλογή του τρόπου μετάδοσης
set val(netif) Phy/WirelessPhy ;# επιλογή του φυσικού μέσου
set val(mac) Mac/802_11 ;# επιλογή του MAC πρωτοκόλλου

```

```

set val(ifq) Queue/DropTail/PriQueue ; # επιλογή του τύπου ουράς αναμονής των
πακέτων (στην επιλογή του πρωτοκόλλου DSR επιλέχθηκε η CmuPri Queue)
set val(ll) LL ; # επιλογή του επιπέδου ζεύξης
set val(ant) Antenna/OmniAntenna ; # επιλογή του τύπου της κεραίας
set val(ifqlen) 50 ; # καθορισμός του μήκους της ουράς
set val(nn) 7 ; # καθορισμός του αριθμού των κόμβων
set val(rp) AODV ; # επιλογή του πρωτοκόλλου δρομολόγησης (AODV, DSDV
και DSR).
set val(x) 1050 ; # καθορισμός του μήκους X της τοπολογίας
set val(y) 550 ; # καθορισμός του πλάτους Y της τοπολογίας
Mac/802_11 set RTSThreshold_ 2000 # καθορισμός ορίου για το RTS (request to send)
Mac/802_11 set basicRate_ 24Mb # καθορισμός του βασικού ρυθμού μετάδοσης
Mac/802_11 set dataRate_ 48Mb # καθορισμός του μέγιστου ρυθμού μετάδοσης
# Καθορισμός αρχείων καταγραφής του throughput
set f0 [open throughput_n6from0.tr w]
set f1 [open throughput_n0from6.tr w]
set f2 [open throughput_n5from0.tr w]
set f3 [open throughput_n0from5.tr w]
set f4 [open throughput_n6from5.tr w]
set f5 [open throughput_n5from6.tr w]
# Καθορισμός αρχείων καταγραφής του packet loss
set f6 [open loss_n6from0.tr w]
set f7 [open loss_n0from6.tr w]
set f8 [open loss_n5from0.tr w]
set f9 [open loss_n0from5.tr w]
set f10 [open loss_n6from5.tr w]
set f11 [open loss_n5from6.tr w]
# Καθορισμός αρχείων καταγραφής του packet delay
set f12 [open delay_n6from0.tr w]
set f13 [open delay_n0from6.tr w]
set f14 [open delay_n5from0.tr w]
set f15 [open delay_n0from5.tr w]
set f16 [open delay_n6from5.tr w]
set f17 [open delay_n5from6.tr w]
# Καθορισμός των αρχείων καταγραφής των received packets
set f18 [open npackets_n6from0.tr w]
set f19 [open npackets_n0from6.tr w]
set f20 [open npackets_n5from0.tr w]
set f21 [open npackets_n0from5.tr w]
set f22 [open npackets_n6from5.tr w]
set f23 [open npackets_n5from6.tr w]
# Καθορισμός του αρχείου καταγραφής της μέσης ρυθμοαπόδοσης του δικτύου
set f24 [open avg_throughput.tr w]
# Δημιουργία ενός αντικειμένου προσομοίωσης του ns2
set ns_ [new Simulator]
# Επιλογή της καινούργιας μεθόδου μορφοποίησης των αρχείων καταγραφής
set ns_ newtrace
#Καθορισμός του αντικειμένου καταγραφής γεγονότων
set tracefd [open project2.tr w]
$ns_ trace-all $tracefd
# Δημιουργία του αρχείου καταγραφής της αναπαράστασης της προσομοίωσης μέσω του NAM
set namtrace [open project2.nam w]

```

```

# Δημιουργία του αντικειμένου παρακολούθησης των γεγονότων του NAM
$ns_ namtrace-all-wireless $namtrace $val(x) $val(y)
# Δημιουργία της τοπολογίας και των διαστάσεών της
set topo [new Topography]
$topo load_flatgrid 1050 550
# Δημιουργία του αντικειμένου GOD (General Operations Director) που χρησιμοποιείται για την
αποθήκευση πληροφοριών σχετικά με την κατάσταση του περιβάλλοντος, του δικτύου και των κόμβων
μέσα σε αυτό
create-god $val(nn)
# Καθορισμός των παραμέτρων των κόμβων
$ns_ node-config -adhocRouting $val(rp) \
-llType $val(ll) \
-macType $val(mac) \
-ifqType $val(ifq) \
-ifqLen $val(ifqlen) \
-antType $val(ant) \
-propType $val(prop) \
-phyType $val(netif) \
-channelType $val(chan) \
-topoInstance $topo \
-agentTrace ON \
-routerTrace ON \
-macTrace OFF \
-movementTrace ON
# Δημιουργία των κόμβων
for {set i 0} {$i < $val(nn)} {incr i} {
set node_($i) [$ns_ node]
$node_($i) random-motion 0 ; # απενεργοποίηση της τυχαίας κίνησης των κόμβων
}
# Καθορισμός των αρχικών συντεταγμένων των κόμβων
$node_(0) set X_ 402.0
$node_(0) set Y_ 360.0
$node_(1) set X_ 555.0
$node_(1) set Y_ 454.0
$node_(2) set X_ 735.0
$node_(2) set Y_ 444.0
$node_(3) set X_ 554.0
$node_(3) set Y_ 330.0
$node_(4) set X_ 792.0
$node_(4) set Y_ 296.0
$node_(5) set X_ 870.0
$node_(5) set Y_ 430.0
$node_(6) set X_ 632.0
$node_(6) set Y_ 250.0
#Καθορισμός των κινήσεων των κόμβων ( $ns_at TIME " NODE setdest X Y SPEED)
$ns_ at 25.0 " $node_(0) setdest 470.0 425.0 35.0 "
$ns_ at 35.0 " $node_(0) setdest 400.0 360.0 30.0 "
$ns_ at 45.0 " $node_(1) setdest 730.0 345.0 25.0 "
$ns_ at 25.0 " $node_(2) setdest 700.0 340.0 45.0 "
$ns_ at 45.0 " $node_(4) setdest 760.0 350.0 20.0 "
$ns_ at 25.0 " $node_(5) setdest 850.0 300.0 45.0 "
$ns_ at 65.0 " $node_(5) setdest 870.0 430.0 40.0 "

```



```

$ns_ at 45.0 " $node_(6) setdest 620.0 250.0 50.0 "
$ns_ at 65.0 " $node_(6) setdest 240.0 255.0 20.0 "
# Καθορισμός της ροής κίνησης μεταξύ των κόμβων
set agent1 [new Agent/UDP] ; # Δημιουργία ενός UDP agent
set sink [new Agent/LossMonitor] ; # Δημιουργία του υποδοχέα της κίνησης UDP
$ns_ attach-agent $node_(0) $agent1 ; # Προσάρτηση του agent στον κόμβο πηγή
$ns_ attach-agent $node_(6) $sink1 ; # Προσάρτηση του agent στον κόμβο προορισμό
$ns_ connect $agent1 $sink1 ; # Σύνδεση των κόμβων
set cbr1 [new Application/Traffic/CBR] ; # Δημιουργία της υπηρεσίας CBR (Constant Bit Rate)
$cbr1 set packetSize_ 512 ; # Καθορισμός του μεγέθους του πακέτου
$cbr1 set rate_ 0.6Mb ; # Καθορισμός του ρυθμού μετάδοσης του CBR
$cbr1 attach-agent $agent1 ; # Προσάρτηση της υπηρεσίας στον agent
set agent2 [new Agent/UDP] ; # Δημιουργία ενός UDP agent
set sink2 [new Agent/LossMonitor] ; # Δημιουργία του υποδοχέα της κίνησης UDP $ns_ attach-agent
$node_(6) $agent2 ; # Προσάρτηση του agent στον κόμβο πηγή
$ns_ attach-agent $node_(0) $sink2 ; # Προσάρτηση του agent στον κόμβο προορισμό
$ns_ connect $agent2 $sink2 ; # Σύνδεση των κόμβων
set cbr2 [new Application/Traffic/CBR] ; # Δημιουργία της υπηρεσίας CBR (Constant Bit Rate)
$cbr2 set packetSize_ 512 ; # Καθορισμός του μεγέθους του πακέτου
$cbr2 set rate_ 0.6Mb ; # Καθορισμός του ρυθμού μετάδοσης του CBR
$cbr2 attach-agent $agent2 ; # Προσάρτηση της υπηρεσίας στον agent
set agent3 [new Agent/UDP] ; # Δημιουργία ενός UDP agent
set sink [new Agent/LossMonitor] ; # Δημιουργία του υποδοχέα της κίνησης UDP
$ns_ attach-agent $node_(5) $agent3 ; # Προσάρτηση του agent στον κόμβο πηγή
$ns_ attach-agent $node_(0) $sink3 ; # Προσάρτηση του agent στον κόμβο προορισμό
$ns_ connect $agent3 $sink3 ; # Σύνδεση των κόμβων
set cbr3 [new Application/Traffic/CBR] ; # Δημιουργία της υπηρεσίας CBR (Constant Bit Rate)
$cbr3 set packetSize_ 512 ; # Καθορισμός του μεγέθους του πακέτου
$cbr3 set rate_ 0.6Mb ; # Καθορισμός του ρυθμού μετάδοσης του CBR
$cbr3 attach-agent $agent3 ; # Προσάρτηση της υπηρεσίας στον agent
set agent4 [new Agent/UDP] ; # Δημιουργία ενός UDP agent
set sink4 [new Agent/LossMonitor] ; # Δημιουργία του υποδοχέα της κίνησης UDP $ns_ attach-agent
$node_(5) $agent4 ; # Προσάρτηση του agent στον κόμβο πηγή
$ns_ attach-agent $node_(6) $sink4 ; # Προσάρτηση του agent στον κόμβο προορισμό
$ns_ connect $agent4 $sink4 ; # Σύνδεση των κόμβων
set cbr4 [new Application/Traffic/CBR] ; # Δημιουργία της υπηρεσίας CBR (Constant Bit Rate)
$cbr4 set packetSize_ 512 ; # Καθορισμός του μεγέθους του πακέτου
$cbr4 set rate_ 0.6Mb ; # Καθορισμός του ρυθμού μετάδοσης του CBR
$cbr4 attach-agent $agent4 ; # Προσάρτηση της υπηρεσίας στον agent
set agent5 [new Agent/UDP] ; # Δημιουργία ενός UDP agent
set sink [new Agent/LossMonitor] ; # Δημιουργία του υποδοχέα της κίνησης UDP
$ns_ attach-agent $node_(6) $agent5 ; # Προσάρτηση του agent στον κόμβο πηγή
$ns_ attach-agent $node_(0) $sink5 ; # Προσάρτηση του agent στον κόμβο προορισμό
$ns_ connect $agent5 $sink5 ; # Σύνδεση των κόμβων
set cbr5 [new Application/Traffic/CBR] ; # Δημιουργία της υπηρεσίας CBR (Constant Bit Rate)
$cbr5 set packetSize_ 512 ; # Καθορισμός του μεγέθους του πακέτου
$cbr5 set rate_ 0.6Mb ; # Καθορισμός του ρυθμού μετάδοσης του CBR
$cbr5 attach-agent $agent5 ; # Προσάρτηση της υπηρεσίας στον agent
set agent6 [new Agent/UDP] ; # Δημιουργία ενός UDP agent
set sink6 [new Agent/LossMonitor] ; # Δημιουργία του υποδοχέα της κίνησης UDP $ns_ attach-agent
$node_(6) $agent6 ; # Προσάρτηση του agent στον κόμβο πηγή
$ns_ attach-agent $node_(5) $sink2 ; # Προσάρτηση του agent στον κόμβο προορισμό

```

```

$ns_ connect $agent6 $sink6          ; # Σύνδεση των κόμβων
set cbr6 [new Application/Traffic/CBR] ; # Δημιουργία της υπηρεσίας CBR (Constant Bit Rate)
$cbr6 set packetSize_ 512           ; # Καθορισμός του μεγέθους του πακέτου
$cbr6 set rate_ 0.6Mb                ; # Καθορισμός του ρυθμού μετάδοσης του CBR
$cbr6 attach-agent $agent6          ; # Προσάρτηση της υπηρεσίας στον agent
# Καθορισμός του μεγέθους των κόμβων στον network animator
for {set i 0} {$i < $val(nn)} {incr i} {
$ns_ initial_node_pos $node_($i) 20
}
# Αρχικοποίηση των σημαίων
set holdtime1 0
set holdtime2 0
set holdtime3 0
set holdtime4 0
set holdtime5 0
set holdtime6 0
set holdseq1 0
set holdseq2 0
set holdseq3 0
set holdseq4 0
set holdseq5 0
set holdseq6 0
set holdrate1 0
set holdrate2 0
set holdrate3 0
set holdrate4 0
set holdrate5 0
set holdrate6 0
# Συνάρτηση που καταγράφει τα στατιστικά στοιχεία
proc record {} {
global sink1 sink2 sink3 sink4 sink5 sink6 f0 f1 f2 f3 f4 f5 f6 f7 f8 f9 f10 f11 f12 f13 f14 f15 f16 f17
f18 f19 f20 f21 f22 f23 f24 holdtime1 holdtime2 holdtime3 holdtime4 holdtime5 holdtime6 holdseq1
holdseq2 holdseq3 holdseq4 holdseq5 holdseq6 holdrate1 holdrate2 holdrate3 holdrate4 holdrate5
holdrate6
set ns [Simulator instance] # Καθορισμός ενός στιγμιότυπου του simulator
set time 0.9 ; # Καθορισμός του χρόνου δειγματοληψίας
# Καθορισμός μετρητών στους κόμβους- προορισμούς
set bw0 [$sink set bytes_]
set bw1 [$sink2 set bytes_]
set bw2 [$sink set nlost_]
set bw3 [$sink2 set nlost_]
set bw4 [$sink set lastPktTime_]
set bw5 [$sink set npkts_]
set bw6 [$sink2 set lastPktTime_]
set bw7 [$sink2 set npkts_]
set bw8 [$sink3 set nlost_]
set bw9 [$sink4 set nlost_]
set bw10 [$sink5 set nlost_]
set bw11 [$sink6 set nlost_]
set bw12 [$sink1 set lastPktTime_]
set bw13 [$sink1 set npkts_]
set bw14 [$sink2 set lastPktTime_]

```

```

set bw15 [$sink2 set npkts_]
set bw16 [$sink3 set lastPktTime_]
set bw17 [$sink3 set npkts_]
set bw18 [$sink4 set lastPktTime_]
set bw19 [$sink4 set npkts_]
set bw20 [$sink5 set lastPktTime_]
set bw21 [$sink5 set npkts_]
set bw22 [$sink6 set lastPktTime_]
set bw23 [$sink6 set npkts_]
set now [$ns now]
# Καταγραφή του bit rate στα αρχεία καταγραφής
puts $f0 "$now [expr ((bw0+$holdrate1)*8)/(2*$time*1000000)]"
puts $f1 "$now [expr ((bw1+$holdrate2)*8)/(2*$time*1000000)]"
puts $f2 "$now [expr ((bw2+$holdrate3)*8)/(2*$time*1000000)]"
puts $f3 "$now [expr ((bw3+$holdrate4)*8)/(2*$time*1000000)]"
puts $f4 "$now [expr ((bw4+$holdrate5)*8)/(2*$time*1000000)]"
puts $f5 "$now [expr ((bw5+$holdrate6)*8)/(2*$time*1000000)]"
puts $f24 "$now [expr (((bw0+$holdrate1)*8)/(2*$time*1000000) +
((bw1+$holdrate2)*8)/(2*$time*1000000) + ((bw2+$holdrate3)*8)/(2*$time*1000000) +
((bw3+$holdrate4)*8)/(2*$time*1000000) + ((bw4+$holdrate5)*8)/(2*$time*1000000) +
((bw5+$holdrate6)*8)/(2*$time*1000000))/6]"
# Καταγραφή του packet loss rate στα αρχεία
puts $f0 "$now [expr ((bw0+$holdrate1)*8)/(2*$time*1000000)]"
puts $f1 "$now [expr ((bw1+$holdrate2)*8)/(2*$time*1000000)]"
puts $f2 "$now [expr ((bw2+$holdrate3)*8)/(2*$time*1000000)]"
puts $f3 "$now [expr ((bw3+$holdrate4)*8)/(2*$time*1000000)]"
puts $f4 "$now [expr ((bw4+$holdrate5)*8)/(2*$time*1000000)]"
puts $f5 "$now [expr ((bw5+$holdrate6)*8)/(2*$time*1000000)]"
if { $bw13 > $holdseq1 } {
puts $f12 "$now [expr ($bw12 - $holdtime1)/($bw13 - $holdseq1)]"
} else {
puts $f12 "$now [expr ($bw13 - $holdseq1)]"
}
if { $bw15 > $holdseq2 } {
puts $f13 "$now [expr ($bw14 - $holdtime2)/($bw15 - $holdseq2)]"
} else {
puts $f13 "$now [expr ($bw15 - $holdseq2)]"
}
if { $bw17 > $holdseq3 } {
puts $f14 "$now [expr ($bw16 - $holdtime3)/($bw17 - $holdseq3)]"
} else {
puts $f14 "$now [expr ($bw17 - $holdseq3)]"
}
if { $bw19 > $holdseq4 } {
puts $f15 "$now [expr ($bw18 - $holdtime4)/($bw19 - $holdseq4)]"
} else {
puts $f15 "$now [expr ($bw19 - $holdseq4)]"
}
if { $bw21 > $holdseq5 } {
puts $f16 "$now [expr ($bw20 - $holdtime5)/($bw21 - $holdseq5)]"
} else {
puts $f16 "$now [expr ($bw21 - $holdseq5)]"
}

```

```

}
if { $bw23 > $holdseq6 } {
puts $f17 "Snow [expr ($bw22 - $holdtime6)/($bw23 - $holdseq6)]"
} else {
puts $f17 "Snow [expr ($bw23 - $holdseq6)]"
}
puts $f18 "Snow [expr $bw13]"
puts $f19 "Snow [expr $bw15]"
puts $f20 "Snow [expr $bw17]"
puts $f21 "Snow [expr $bw19]"
puts $f22 "Snow [expr $bw21]"
puts $f23 "Snow [expr $bw23]"
# Επαναφορά των μεταβλητών
$sink1 set bytes_ 0
$sink2 set bytes_ 0
$sink3 set bytes_ 0
$sink4 set bytes_ 0
$sink5 set bytes_ 0
$sink6 set bytes_ 0
$sink1 set nlost_ 0
$sink2 set nlost_ 0
$sink3 set nlost_ 0
$sink4 set nlost_ 0
$sink5 set nlost_ 0
$sink6 set nlost_ 0
set holdtime1 $bw12
set holdtime2 $bw14
set holdtime3 $bw16
set holdtime4 $bw18
set holdtime5 $bw20
set holdtime6 $bw22
set holdseq1 $bw13
set holdseq2 $bw15
set holdseq3 $bw17
set holdseq4 $bw19
set holdseq5 $bw21
set holdseq6 $bw23
set holdrate1 $bw0
set holdrate2 $bw1
set holdrate3 $bw2
set holdrate4 $bw3
set holdrate5 $bw4
set holdrate6 $bw5
$ns at [expr $now+$time] "record" ;# Προγραμματισμός της εγγραφής
}
$ns_ at 0.0 "record" # Έναρξη της εγγραφής
$ns_ at 25.0 "$cbr1 start" ;# Έναρξη της μετάδοσης του cbr1
$ns_ at 25.0 "$cbr2 start" ;# Έναρξη της μετάδοσης του cbr2
$ns_ at 25.0 "$cbr3 start" ;# Έναρξη της μετάδοσης του cbr3
$ns_ at 25.0 "$cbr4 start" ;# Έναρξη της μετάδοσης του cbr4
$ns_ at 25.0 "$cbr5 start" ;# Έναρξη της μετάδοσης του cbr5
$ns_ at 25.0 "$cbr6 start" ;# Έναρξη της μετάδοσης του cbr6

```

```

$ns_ at 80.0 "stop" # Διακοπή της προσομοίωσης
# Επαναφορά των κόμβων
for {set i 0} {$i < $val(nn)} {incr i} {
$ns_ at 80.0 "$node_($i) reset";
}
# Τερματισμός της προσομοίωσης
$ns_ at 80.01 "puts \"NS EXITING...\" ; $ns_ halt" #
proc stop {} {
global ns_ tracefd f0 f1 f2 f3 f4 f5 f6 f7 f8 f9 f10 f11 f12 f13 f14 f15 f16 f17 f18 f19 f20 f21 f22 f23
f24
# Κλείσιμο των αρχείων καταγραφής
close $f0
close $f1
close $f2
close $f3
close $f4
close $f5
close $f6
close $f7
close $f8
close $f9
close $f10
close $f11
close $f12
close $f13
close $f14
close $f15
close $f16
close $f17
close $f18
close $f19
close $f20
close $f21
close $f22
close $f23
close $f24
# Σχεδιασμός των στατιστικών που παρήχθησαν μέσω του xgraph σε μορφή γραφημάτων
exec xgraph throughput_n0from5.tr throughput_n0from6.tr throughput_n5from0.tr
throughput_n5from6.tr throughput_n6from0.tr throughput_n6from5.tr -geometry 800x400 -
"Throughput" -x "Time" -y "Throughput" -bg white &
exec xgraph loss_n0from5.tr loss_n0from6.tr loss_n5from0.tr loss_n5from6.tr loss_n6from0.tr
loss_n6from5.tr -geometry 800x400 -t "Packet Loss" -x "Time" -y "No.of Packets" -bg white &
exec xgraph delay_n0from5.tr delay_n0from6.tr delay_n5from0.tr delay_n5from6.tr delay_n6from0.tr
delay_n6from5.tr -geometry 800x400 -t "Packet Delay" -x "Time" -y "Delay" -bg white &
exec xgraph npackets_n0from5.tr npackets_n0from6.tr npackets_n5from0.tr npackets_n5from6.tr
npackets_n6from0.tr npackets_n6from5.tr -geometry 800x400 -t "Packets Received" -x "Time" -y "No.
of Packets" -bg white &
exec xgraph avg_throughput.tr -geometry 800x400 -t "Avg_Throughput" -x "Time" -y "Throughput" -
bg white &
exec nam project2.nam & # Εκτέλεση του network emulator
# Επαναφορά του αρχείου καταγραφής
$ns_ flush-trace

```

```

close $tracefd
exit 0
}
# Εκτέλεση της προσομοίωσης
puts "Starting Simulation..."
$ns_ run

```

Stats.awk

Το αρχείο αυτό χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό στατιστικών δεδομένων, για καθένα από τα δύο πειράματα που πραγματοποιήθηκαν. Τα δεδομένα που εξάγονται αφορούν σε ένα επιλεγμένο κόμβο πηγή (src) και σε ένα επιλεγμένο κόμβο προορισμό (dst). Αυτά είναι ο αριθμός των σταλθέντων πακέτων, ο αριθμός των παραληφθέντων πακέτων, το ποσοστό παράδοσης πακέτων, η μέση ρυθμοαπόδοση του κόμβου προορισμού, η μέση καθυστέρηση αποστολής πακέτων από τον κόμβο πηγή στον κόμβο προορισμό και πέντε μέσες μετρήσεις της διακύμανσης της καθυστέρησης αποστολής πακέτων από τον κόμβο πηγή στον κόμβο προορισμό.

Τρόπος εκτέλεσης αρχείου

Τα δεδομένα αυτά προκύπτουν με την εκτέλεση του παρακάτω γενικού κώδικα στο περιβάλλον cygwin, για κάθε ζευγάρι επιλεγμένων κόμβων:

```
awk -f Stats.awk src= dst= flow= pkt= file.tr,
```

όπου εκχωρούμε τιμές στις ακόλουθες μεταβλητές:

src: αριθμός του κόμβου πηγής

dst: αριθμός του κόμβου προορισμού

flow: ροή της κίνησης (εκχωρούμε την τιμή 1)

pkt: μέγεθος του πακέτου (στα δύο πειράματα εκχωρούμε τη τιμή 512)

Συγκεκριμένα, για καθένα από τα δύο πειράματα εκτελούμε τον παρακάτω κώδικα:

Πείραμα 1

```
awk -f Stats.awk src= dst= flow= pkt= project1.tr , όπου οι μεταβλητές src και dst μπορούν να λάβουν τις τιμές 1,2.
```

Πείραμα 2

```
awk -f Stats.awk src= dst= flow= pkt= project2.tr , όπου οι μεταβλητές src και dst μπορούν να λάβουν τις τιμές 1,2,3,4,5,6.
```

Αρχείο

```

BEGIN {
recvdSize = 0
startTime = 1e6
stopTime = 0
recvs = 0
sends = 0
seqno = -1
droppedPackets = 0
receivedPackets = 0
#sendpkts=0
#recvpkts=0
}
{

```



```

# Παρακάτω καθορίζονται τα δεδομένα για τις 2 διαθέσιμες μεθόδους μορφοποίησης των αρχείων
καταγραφής. Στα 2 πειράματα η μέθοδος μορφοποίησης που επιλέχθηκε είναι η καινούργια (set
ns_newtrace)
# Μορφοποίηση αρχείων καταγραφής: Κανονική
if ($2 != "-t") {
event = $1
time = $2
if (event == "+" || event == "-") node_id = $3
if (event == "r" || event == "d") node_id = $4
flow_id = $8
pkt_id = $12
pkt_size = $6
flow_t = $5
level = "AGT"
}
# Μορφοποίηση αρχείων καταγραφής: Καινούργια
if ($2 == "-t") {
event = $1
time = $3
node_id = $5
flow_id = $39
pkt_id = $41
pkt_seq_no = $47
pkt_size = $37
flow_t = $45
level = $19
dest_id = $33
src_id = $31
#printf("time: %s packet sz: %s flow_id: %s flow_t: %s level: %s dest_id: %s src_id: %s event:
%s\n",time,pkt_size,flow_id,flow_t, level,dest_id,src_id,event)
}
# Υπολογισμός του ποσοστού παράδοσης πακέτων
# if (( event == "s" ) && ( $35 == "cbr" ) && ( $19=="AGT" )) { sends++; }
# if (( event == "r" ) && ( $35 == "cbr" ) && ( $19=="AGT" )) { recvs++; }
if (( src_id == src ) && ( event == "s" ) && ( level == "AGT" ) && ( pkt_size >= pkt ) && ( flow_id
== flow )) { sends++; sendpkts[pkt_id]++;}
if (( dest_id == dst ) && ( event == "r" ) && ( level == "AGT" ) && ( pkt_size >= pkt ) && ( flow_id
== flow )) { recvs++; recvpkts[pkt_id]++;}
if( src_id == src ) && ( pkt_size >= pkt ) && ( flow_id == flow ) && level == "AGT" && event ==
"s" && seqno < pkt_seq_no) {
seqno = pkt_seq_no;
} else if( dest_id == dst ) && ( event == "r" ) && ( level == "AGT" ) && ( pkt_size >= pkt ) && (
flow_id == flow )) {
receivedPackets++;
} else if (( src_id == src ) && ( event == "d" ) && ( level == "AGT" ) && ( pkt_size >= pkt ) && (
flow_id == flow )){
droppedPackets++;
}
}
# Αποθήκευση του χρόνου αποστολής των πακέτων
if (level == "AGT" && flow_id == flow && src_id == src &&
sendTime[pkt_id] == 0 && (event == "+" || event == "s") && pkt_size >= pkt) {

```

```

#printf("storing packet send time          time = %s node_id: %s flow_id: %s pkt_id:
%s\n",time,node_id,flow_id,pkt_id)
if (time < startTime) {
startTime = time
}
sendTime[pkt_id] = time
this_flow = flow_t
}
# Ενημέρωση του συνολικού μεγέθους των ληφθέντων πακέτων και αποθήκευση του χρόνου άφιξης
των πακέτων
if (level == "AGT" && flow_id == flow && dest_id == dst &&
event == "r" && pkt_size >= pkt) {
#printf("storing packet recv time time = %s node_id: %s flow_id: %s pkt_id:
%s\n",time,node_id,flow_id,pkt_id)
if (time > stopTime) {
stopTime = time
}
# Αφαίρεση της κεφαλίδας
hdr_size = pkt_size % pkt
pkt_size -= hdr_size
# Αποθήκευση του μεγέθους των ληφθέντων πακέτων
recvdSize += pkt_size
# Αποθήκευση του χρόνου λήψης των πακέτων
recvTime[pkt_id] = time
if (sendTime[pkt_id] == 0)
printf("recvd packet that wasn't sent pkt_id: %s time: %s\n\n",pkt_id,time)
}
}
END {
print "\n";
print "GeneratedPackets = " seqno+1;
print "PacketSequence = " seqno;
print "Sends = " sends;
print "Recvs = " recvs;
print "ReceivedPackets = " receivedPackets;
print "Packet Delivery Ratio = " receivedPackets/(seqno+1)*100
"%";
print "Total Dropped MANET Packets = " droppedPackets;
print "Average End-to-End Delay  = " n_to_n_delay * 1000 " ms";
print "\n";
for (i in sendpkts) {
if (sendpkts[i] > 1)
printf("pkt_id: %s count: %s\n",i,sendpkts[i])
}
# for (j in recvdPkts) {
# printf("recvdPkts[%s]: %s\n",i,recvdPkts[i])
# }
# Υπολογισμός της απώλειας των πακέτων (%)
# lostPkts = 0
# for (i in sentPkts) {
# found = 0
# #printf("sentPkts[%s]: %s\n",i,sentPkts[i])

```

```

# for (j in recvdPkts) {
# if (sentPkts[i] == recvdPkts[j]) {
# found = 1
# break
# }
# }
# if (found == 0) {
# lostPkts = lostPkts + 1
# #printf("lost packet: %s\n",sentPkts[i])
# }
# }
# Υπολογισμός του αριθμού των πακέτων που απέτυχαν να μεταδοθούν
# failed = 0
# for (i in sendTime) {
# if (sendTime[i] != 0 && (!(i in recvTime) || recvTime[i] == 0))
# failed = failed + 1
# }
# printf("failed: %s\n",lostPkts)
# Υπολογισμός της μέσης καθυστέρησης
delay = avg_delay = recvdNum = 0
for (i in recvTime) {
if (sendTime[i] == 0) {
printf("\nError in delay.awk: receiving a packet that wasn't sent %g\n",i)
}
delay += recvTime[i] - sendTime[i]
recvdNum ++
}
#printf("revdNum: %s\n",recvdNum)
if (recvdNum != 0) {
avg_delay = delay / recvdNum
} else {
avg_delay = 0
}
# Υπολογισμός των μέσων διακυμάνσεων της καθυστέρησης
jitter1 = jitter2 = jitter3 = jitter4 = jitter5 = 0
prev_time = delay = prev_delay = processed = deviation = 0
prev_delay = -1
for (i=0; processed<recvdNum; i++) {
if(recvTime[i] != 0) {
if(prev_time != 0) {
delay = recvTime[i] - prev_time
e2eDelay = recvTime[i] - sendTime[i]
if(delay < 0) delay = 0
if(prev_delay != -1) {
jitter1 += abs(e2eDelay - prev_e2eDelay)
jitter2 += abs(delay-prev_delay)
jitter3 += (abs(e2eDelay-prev_e2eDelay) - jitter3) / 16
jitter4 += (abs(delay-prev_delay) - jitter4) / 16
}
deviation += (e2eDelay-avg_delay)*(e2eDelay-avg_delay)
prev_delay = delay
prev_e2eDelay = e2eDelay

```

```

}
prev_time = recvTime[i]
processed++
}
}
if (recvNum != 0) {
jitter1 = jitter1*1000/recvNum
jitter2 = jitter2*1000/recvNum
}
if (recvNum > 1) {
jitter5 = sqrt(deviation/(recvNum-1))
}
if (recvNum == 0) {

printf("#####\n" \
"# Warning: no packets were received, simulation may be too short #\n" \

"#####\n\n")
}
printf("\n")
printf(" %15s: %g\n", "flowID", flow)
printf(" %15s: %s\n", "flowType", this_flow)
printf(" %15s: %d\n", "srcNode", src)
printf(" %15s: %d\n", "destNode", dst)
printf(" %15s: %g\n", "startTime", startTime)
printf(" %15s: %g\n", "stopTime", stopTime)
printf(" %15s: %g\n", "receivedPkts", recvNum)
printf(" %15s: %g\n", "failedPkts", failed)
# printf(" %15s: %g\n", "delivery%", (recvNum/(recvNum+failed)))
printf(" %15s: %g\n", "delivery%", (recvs/sends))
printf(" %15s: %g\n", "avgTput[kbps]", (recvSize/(stopTime-startTime))*(8/1000))
printf(" %15s: %g\n", "avgDelay[ms]", avg_delay*1000)
printf(" %15s: %g\n", "avgJitter1[ms]", jitter1)
printf(" %15s: %g\n", "avgJitter2[ms]", jitter2)
printf(" %15s: %g\n", "avgJitter3[ms]", jitter3*1000)
printf(" %15s: %g\n", "avgJitter4[ms]", jitter4*1000)
printf(" %15s: %g\n", "avgJitter5[ms]", jitter5*1000)

# %9s %4s %4s %6s %5s %13s %14s %13s %15s %15s %15s %15s %15s\n\n", \
# "flow","flowType","src","dst","start","stop","receivedPkts", \
# "avgTput[kbps]","avgDelay[ms]","avgJitter1[ms]","avgJitter2[ms]", \
# "avgJitter3[ms]","avgJitter4[ms]","avgJitter5[ms]")
# printf(" %6g %9s %4d %4d %6d %5d %13g %14s %13s %15s %15s %15s %15s\n\n", \
# flow,this_flow,src,dst,startTime, stopTime, recvNum, \
# (recvSize/(stopTime-startTime))*(8/1000),avg_delay*1000, \
# jitter1,jitter2,jitter3*1000,jitter4*1000,jitter5*1000)
}
# Συνάρτηση που υπολογίζει την απόλυτη τιμή μιας μεταβλητής
function abs(value) {
if (value < 0) value = 0-value
return value
}

```

AvgDelay.awk

Το αρχείο αυτό χρησιμοποιήθηκε για την γραφική απεικόνιση της μέσης καθυστέρησης συναρτήσεως του χρόνου για καθένα από τα δύο πειράματα που πραγματοποιήθηκαν.

Η διαφοροποίηση στον κώδικα έγκειται στο γεγονός ότι ο αριθμός των agents στο πρώτο πείραμα είναι 2, ενώ στο δεύτερο πείραμα είναι 6, και δεδομένου ότι ο παρακάτω κώδικας υπολογίζει το αθροιστικό delay στους agents συναρτήσεως του χρόνου, απαιτείται η αριθμητική πράξη της διαίρεσης προκειμένου να βρεθεί η μέση τιμή.

Συγκεκριμένα, για το πρώτο πείραμα η γραμμή κώδικα:

```
printf("%g %g\n", time, inst_delay*1000)
```

μεταβάλλεται σε:

```
printf("%g %g\n", time, (inst_delay*1000)/2)
```

ενώ για το δεύτερο πείραμα, η γραμμή κώδικα μεταβάλλεται σε:

```
printf("%g %g\n", time, (inst_delay*1000)/6)
```

Τρόπος εκτέλεσης αρχείου

Στο περιβάλλον cygwin αρχικά εκτελούμε τον ακόλουθο κώδικα για τα 2 αντίστοιχα πειράματα:

```
awk -f AvgDelay.awk Project1.tr > File1.dat
```

```
awk -f AvgDelay.awk Project2.tr > File2.dat
```

Τα 2 αρχεία File1 και File2 αποτελούν αρχεία δεδομένων τα οποία δημιουργούνται και αποθηκεύουν τις αντίστοιχες τιμές της μέσης καθυστέρησης συναρτήσεως του χρόνου, με τη χρήση του αντίστοιχου γενικού αρχείου καταγραφής του κάθε πειράματος (Project1.tr, Project2.tr).

Στο δεύτερο βήμα εκτελούμε τον παρακάτω κώδικα για την γραφική απεικόνιση της μέσης καθυστέρησης για καθένα από τα δύο πειράματα, με τη χρήση του xgraph:

```
xgraph File1.dat -geometry 800x400 -t "AvgDelay" -x "Time" -y "Delay" -bg white
```

```
xgraph File2.dat -geometry 800x400 -t "AvgDelay" -x "Time" -y "Delay" -bg white
```

Αρχείο

```
BEGIN{
prev_time=-1
}
{
# Μορφοποίηση αρχείων καταγραφής: Κανονική
if ($2 != "-t") {
event = $1
time = $2
if (event == "+" || event == "-") node_id = $3
if (event == "r" || event == "d") node_id = $4
flow_id = $8
pkt_id = $12
pkt_size = $6
flow_t = $5
level = "AGT"
}
# Μορφοποίηση αρχείων καταγραφής :Καινούργια
```

```

if ($2 == "-t") {
event = $1
time = $3
node_id = $5
flow_id = $39
pkt_id = $41
pkt_size = $37
flow_t = $45
level = $19
}
# Αποθήκευση χρόνου αποστολής των πακέτων
if (level == "AGT" && sendTime[pkt_id] == 0 && (event == "+" || event == "s")) {
if (time < startTime) {
startTime = time
}
sendTime[pkt_id] = time
this_flow = flow_t
}
#Ενημέρωση του συνολικού μεγέθους των πακέτων και αποθήκευση του χρόνου άφιξης των πακέτων
if (level == "AGT" && event == "r") {
num_rcv++
if (time > stopTime) {
stopTime = time
}
# Αποθήκευση του μεγέθους των ληφθέντων πακέτων
rcvdSize += pkt_size
# Αποθήκευση του χρόνου άφιξης των πακέτων
recvTime[pkt_id] = time
}
delay=recvTime[pkt_id]-sendTime[pkt_id]
printf("%g %g\n", time, delay*1000)
}
END{
}
}

```

AvgJitter.awk

Το αρχείο αυτό χρησιμοποιήθηκε για την γραφική απεικόνιση της μέσης διακύμανσης της καθυστέρησης συναρτήσεως του χρόνου για καθένα από τα δύο πειράματα που πραγματοποιήθηκαν.

Η διαφοροποίηση στον κώδικα έγκειται στο γεγονός ότι ο αριθμός των agents στο πρώτο πείραμα είναι 2, ενώ στο δεύτερο πείραμα είναι 6, και δεδομένου ότι ο παρακάτω κώδικας υπολογίζει το αθροιστικό jitter στους agents συναρτήσεως του χρόνου, απαιτείται η αριθμητική πράξη της διαίρεσης προκειμένου να βρεθεί η μέση τιμή.

Συγκεκριμένα, για το πρώτο πείραμα η γραμμή κώδικα:

```
printf("%f %f\n", \recvTime[i], jitter1*1000/tmp_rcv)
```

μεταβάλλεται σε:

```
printf("%f %f\n", \recvTime[i], (jitter1*1000/tmp_rcv)/2)
```

ενώ για το δεύτερο πείραμα, η γραμμή κώδικα μεταβάλλεται σε:


```
printf("%f %f\n", \recvTime[i], (jitter1*1000/tmp_recv)/6)
```

Τρόπος εκτέλεσης αρχείου

Στο περιβάλλον cygwin αρχικά εκτελούμε τον ακόλουθο κώδικα για τα 2 αντίστοιχα πειράματα:

```
awk -f AvgJitter.awk Project1.tr > File1.dat
```

```
awk -f AvgJitter.awk Project2.tr > File2.dat
```

Τα 2 αρχεία File1 και File2 αποτελούν αρχεία δεδομένων τα οποία δημιουργούνται και αποθηκεύουν τις αντίστοιχες τιμές της μέσης διακύμανσης της καθυστέρησης συναρτήσεως του χρόνου, με τη χρήση του αντίστοιχου γενικού αρχείου καταγραφής του κάθε πειράματος (Project1.tr, Project2.tr).

Στο δεύτερο βήμα εκτελούμε τον παρακάτω κώδικα για την γραφική απεικόνιση της μέσης διακύμανσης της καθυστέρησης για καθένα από τα δύο πειράματα, με τη χρήση του xgraph:

```
xgraph File1.dat -geometry 800x400 -t "AvgJitter" -x "Time" -y "Jitter" -bg white
```

```
xgraph File2.dat -geometry 800x400 -t "AvgJitter" -x "Time" -y "Jitter" -bg white
```

Αρχείο

```
BEGIN {  
num_recv = 0  
}  
{  
# Μορφοποίηση αρχείων καταγραφής: Κανονική  
if ($2 != "-t") {  
event = $1  
time = $2  
if (event == "+" || event == "-") node_id = $3  
if (event == "r" || event == "d") node_id = $4  
flow_id = $8  
pkt_id = $12  
pkt_size = $6  
flow_t = $5  
level = "AGT"  
}  
# Μορφοποίηση αρχείων καταγραφής :Καινούργια  
if ($2 == "-t") {  
event = $1  
time = $3  
node_id = $5  
flow_id = $39  
pkt_id = $41  
pkt_size = $37  
flow_t = $45  
level = $19  
}  
# Αποθήκευση χρόνου αποστολής των πακέτων  
if (level == "AGT" && node_id == src &&  
sendTime[pkt_id] == 0 && (event == "+" || event == "s") && pkt_size >= pkt) {  
sendTime[pkt_id] = time  
}  
# Αποθήκευση χρόνου άφιξης των πακέτων
```

```

if (level == "AGT" && node_id == dst &&
event == "r" && pkt_size >= pkt) {
recvTime[pkt_id] = time
num_recv ++
}
}
END {
# Υπολογισμός της μέσης διακύμανσης της καθυστέρησης συναρτήσει του χρόνου
jitter1 = jitter2 = jitter3 = jitter4 = tmp_recv = 0
prev_time = delay = prev_delay = processed = currTime = 0
prev_delay = -1
for (i=0; processed<num_recv; i++) {
if(recvTime[i] != 0) {
tmp_recv++
if(prev_time != 0) {
delay = recvTime[i] - prev_time
e2eDelay = recvTime[i] - sendTime[i]
if(delay < 0) delay = 0
if(prev_delay != -1) {
jitter1 += abs(e2eDelay - prev_e2eDelay)
jitter2 += abs(delay-prev_delay)
jitter3 += (abs(e2eDelay-prev_e2eDelay) - jitter3) / 16
jitter4 += (abs(delay-prev_delay) - jitter4) / 16
}
currTime += delay
if (currTime >= tic) {
printf("%f %f\n", \
recvTime[i],jitter1*1000/tmp_recv)
jitter1 = jitter2 = jitter3 = jitter4 = 0
currTime = 0
tmp_recv = 0
}
prev_delay = delay
prev_e2eDelay = e2eDelay
}
prev_time = recvTime[i]
processed++
}
}
}
END {
}
# Συνάρτηση που δίνει την απόλυτη τιμή μιας μεταβλητής
function abs(value) {
if (value < 0) value = 0-value
return value
}
}

```

Βιβλιογραφία – Παραπομπές

1. Ad hoc network - An Overview, P. Visalakshi, Mahesh Mishra, H. Yusuf, Snehasish Maity, International Journal of Modern Engineering Research (IJMER), pp. 27–29, 2013
2. Ευρυζωνικές Τεχνολογίες, Κωνσταντίνος Ταλιέρης, Ιούνιος 2015
3. <http://ns2tutor.weebly.com/simulation-of-adhoc-networks.html>
4. Μελέτη και ανάλυση επίδοσης πρωτοκόλλων δρομολόγησης σε κινητά ad hoc δίκτυα με βάση ενεργειακά κριτήρια, Διπλωματική Εργασία, Σπυρίδων Κ. Τραχανάς, Μάιος 2011
5. A Study of Ad - Hoc Wireless Networks: Various Issues in Architectures and Protocols, International Journal of Computer Applications, Volume 122, No.6, Sushmita Kopekar, Amresh Kumar, July 2015
6. Wireless Multi – hop Ad - hoc Networks: A Review, IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE) Volume 16, Issue 2, pp. 54-62, Chander Prabha, Dr. Surender Kumar, Dr. Ravinder Khanna, April 2014
7. Mobile Ad - Hoc Networks Applications and Its Challenges, Communications and Network, 8, pp. 138-146, Naeem Raza, Muhammad Umar Aftab, Muhammad Qasim Akbar, Omair Ashraf, Muhammad Irfan, 2016
8. Applications, Advantages and Challenges of Ad Hoc Networks, Journal of Academia and Industrial Research (JAIR), Volume 2, Issue 8, pp. 453-457, D. Helen, D. Arivazhagan, January 2014
9. IEEE 802.11 Ad Hoc Networks: Protocols, Performance and Open Issues, Volume 8, Issue 2-3, pp. 135-145, Giuseppe Anastasi, Marco Conti, Enrico Gregori, July 2005
10. A Comparative Study of MAC Layer Protocols for Mobile Ad - Hoc Networks, International Journal of Information and Computation Technology, Volume 4, pp. 351-362, Risheek Kumar, 2014
11. Medium Access Control Protocols in Mobile Ad Hoc Networks: Problems and Solutions, Journal Communications & Mobile Computing, Special Issue on Ad Hoc Wireless Networks, Volume 6, Issue 2, pp. 151-170, Hongqiang Zhai, Yuguang Fang March 2006
12. Δρομολόγηση και Πολυμεσικές Εφαρμογές σε Ασύρματα Κινητά Δίκτυα MANET και VANET, Διπλωματική Εργασία, Ενέα Τσανάι, Οκτώβριος 2014
13. A Review of Routing Protocols for Mobile Ad – Hoc NETWORKS (MANET), International Journal of Information and Education Technology, Vol. 3, No. 1, pp. 1-5, Alex Hinds, Michael Ngulube, Shaoying Zhu, Hussain Al - Aqrabi, February 2013
14. A Study on Dynamic Address based Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks, Indian Journal of Science and Technology, Vol. 9 (Special Issue), pp. 1-7, Sanjeev Kumar Prasad, Karamjit Bhatia, Tripti Sharma, December 2016
15. AODV Multicast Features, Helsinki University of Technology, Janne Salmi, April 2000
16. Reactive, Proactive MANET Routing Protocol Comparison, International Journal of Video & Image Processing and Network Security, Vol. 12, No. 5, pp. 22-17, K. Ramesh Reddy, S.Venkata Raju, N.Venkatadri, October 2012
17. A survey on Hybrid Routing Protocols in MANETs, International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication, Vol. 1, Issue. 12, pp. 882-887, Parinaz Shahbazi, December 2013

18. On the Performance of the Current MANET Routing Protocols for VoIP, HTTP, and FTP Applications, Journal of Computer Networks and Communications, Waheb A. Jabbar, Mahamod Ismail, Rosdiadee Nordin, February 2014
19. <https://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/node177.html>, Tom Henderson, 2011
20. A review: Mobile Ad Hoc Routing Protocols, International Journal of Future Generation Communication and Networking Vol. 9, No. 2, pp. 193-198, Himanshu Walia, Er. Mandeep Singh, Dr. Rahul Malhotra, 2016
21. Performance analysis of MANET Routing Protocols with UDP and TCP under VBR traffic, Shazia Abbasi, Khalid Mohammadani, Sindh University Research Journal (Science Series), Shahnawaz Shah, December 2015
22. Μελέτη, Σχεδιασμός και Ανάλυση Υβριδικών, Αδόμητων δικτύων Ασύρματων Σταθμών, Διπλωματική Εργασία, Αθανάσιος Χ. Μπάμης, Ιούλιος 2006
23. Experimental analysis of UDP performance in Mobile Ad Hoc Networks with Different Routing Protocols and varying payload, International Journal of Distributed and Parallel Systems (IJDPS), Vol. 2, No. 6, Bikash Chandra Singh, Tapan Kumar Godder , Md. Sipon Miah, H. M. AbdulAwal, 2011
24. <http://www.ece.ubc.ca/~teerawat/publications/NS2/11-Agent-UDP.pdf>, Introduction to Network Simulator NS2, Issariyakul and E. Hossain, 2008
25. Δρομολόγηση και Πολυμεσικές Εφαρμογές σε Ασύρματα Κινητά Δίκτυα MANET και VANET, Διπλωματική Εργασία, Ενέα Τσανάι, Οκτώβριος 2014
26. Μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων σε ασύρματα κινητά Ad Hoc δίκτυα, Διπλωματική Εργασία, Γιώργος Αδάμ, Φεβρουάριος 2013
27. Mobile Ad Hoc Networks: A comparative Study of QoS Routing Protocols, International Journal of Scientific Engineering and Technology, Vol.2, Issue 1, pp. 771-775, Anjeev Gangwar, Dr. Saurabh Pal, Dr. Krishan Kumar, January 2012
28. <http://ns2tutor.weebly.com/simulation-of-adhoc-networks.html>
29. http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/4106/13/13_chapter%205.pdf
30. Performance analysis of Routing Protocols in wireless mesh and ad hoc networks, Sureshbabu Ramalingam, Subramanian Srinivasan, Lakshmikanth Yerradoddi, 2011
31. Performance comparison of Ad Hoc Network Routing Protocols, International Journal of Computer Networks and Communication (IJCNC), Vol. 6, No. 2, Mandeep Kaur Gulati, Krishan Kumar, March 2014
32. Μελέτη πρωτοκόλλων δρομολόγησης σε κινητά δίκτυα ειδικού σκοπού (MANETs) με χρήση του προσομοιωτή NS2, Διπλωματική Εργασία, Άννα Αναργύρου, 2010
33. Performance Evaluation of Unicast Routing Protocols in MANETs – Current State and Future Prospects, International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM), Vol. 11, No. 1, Mohammad Alnabhan, Mahmoud Alshuqran, Mustafa Hammad, Mohammad Al Nawayseh, 2017
34. Ad Hoc High - Dynamic Routing Protocol Simulation and Research, Wireless Communications, Networking and Applications. Lecture Notes in Electrical Engineering, Vol. 238, Chen L., Yang R., Huang M., 2016
35. An approach for Congestion Control in Mobile Ad hoc Networks, International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development, Vol. 3, Issue 7, Saurabh Sharma, Dipti Jindal, Dr. Rashi Agarwal, May 2017

36. Energy Optimization in Ad - hoc Networks Using Ant Colony Optimization, International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET), Vol 4, Issue 1, Palak, January 2016
37. An Improved Hybrid Technique for Energy and Delay Routing in Mobile Ad -Hoc Networks, International Journal of Applied Engineering Research, Vol. 12, No. 1, pp. 134-139, Mustafa Hamid Hassan, Ravie Chandren Muniyandi, 2017
38. Session Hijacking in Mobile Ad - Hoc Networks: Trends, Problems and Future, Research Journal of Mathematics and Computer Science (RJMCS), Vol. 1, Issue 1, Oyebode Aduragbemi, 2017
39. EAACK: Enhanced Adaptive Acknowledgment for MANET, Middle - East Journal of Scientific Research, pp. 1205-1208, G. Micheal and A.R. Arunachalam, 2014
40. Middleware Implementation in Cloud - MANET Mobility Model for Internet of Smart Devices, International Journal of Computer Science and Network Security, Vol. 17, No. 5, Tanweer Alam, May 2017
41. MANET - Satellite Network Interoperability Issues and Challenges: An Overview, International Journal of Trend in Research and Development, Vol. 3, pp. 537-539, Naveen Kumar Chaudhary, 2017

Εικόνες

1. <http://www.thelifenetwork.org/images/adhoc.png>, Admission control in wireless ad hoc networks: a survey, Lyes Khoukhi, Hakim Badis, Leila Merghem – Boulahia, Moez Esseghir, 2013
2. <http://flylib.com/books/4/215/1/html/2/files/11fig03.gif>, IP in Wireless Networks, Basavaraj Patil, Yousuf Saifullah, Stefano Faccin, Srinivas Sreemanthula, Lachu Aravamudhan, Sarvesh Sharma, Risto Mononen, 2001
3. <https://s3.amazonaws.com/oodles-technologies1/blog-images/b9571cd0-b0df-45aa-8388-96f1fba9874b.jpeg>