

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ



ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΙΣ ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ
ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ**

**ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΙΔΙΚΟΥ ΣΚΟΠΟΥ
(MANETS)**

Γεωργαλή Ζωή ΜΕ13059

Επιβλέπων Καθηγητής: Μηλιώνης Απόστολος

Διπλωματική Εργασία
που υποβλήθηκε στο Τμήμα Ψηφιακών συστημάτων
του Πανεπιστημίου Πειραιώς ως μέρος των
απαιτήσεων για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού
Διπλώματος Ειδίκευσης στις Ψηφιακές Επικοινωνίες και Δίκτυα

Πειραιάς

Φεβρουάριος 2016

Δήλωσης αυθεντικότητας / ζητήματα Copyright

Το άτομο το οποίο εκπονεί την Διπλωματική Εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στην βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (εμπορικός, μη κερδοσκοπικός ή εκπαιδευτικός), της φύσης του υλικού, που χρησιμοποιεί (τμήμα του κειμένου, πίνακες, σχήματα, εικόνες ή χάρτες), του ποσοστού και της σημαντικότητας του τμήματος, που χρησιμοποιεί σε σχέση με το όλο κείμενο υπό copyright, και των πιθανών συνεπειών της χρήσης αυτής στην αγορά ή στη γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου

Εξεταστική Επιτροπή

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή που ορίστηκε από τη ΓΣΕΣ του Τμήματος Ψηφιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Πειραιώς σύμφωνα με τον Κανονισμό Λειτουργίας του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Στις Ψηφιακές Επικοινωνίες και Δίκτυα.

Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

-(Επιβλέπων)

-

-

Η έγκριση της Διπλωματικής Εργασίας από το Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Πειραιώς δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων της συγγραφέα

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου που με την ηθική και οικονομική τους υποστήριξη συνέβαλλαν ουσιαστικά ώστε να γίνει πραγματικότητα η υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Καθώς και τις αδερφές μου για την υπομονή που υπέδειξαν όλο αυτό το χρονικό διάστημα.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Κ. Μηλιώνη Απόστολο για την καθοδήγηση και τη βοήθεια του καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής της διπλωματικής μου εργασίας.

Πίνακας Περιεχομένων

Δήλωσης αυθεντικότητας / ζητήματα Copyright	- 2 -
Εξεταστική Επιτροπή	- 3 -
Ευχαριστίες.....	- 4 -
Πίνακας Περιεχομένων	- 5 -
Πίνακας Εικόνων.....	- 7 -
Πίνακας Πινάκων	- 7 -
Πίνακας Διαγραμμάτων	- 8 -
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	- 11 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΙΔΙΚΟΥ ΣΚΟΠΟΥ (MOBILE AD-HOC NETWORKS- MANETS)	- 12 -
Στόχος της εργασίας.....	- 13 -
Μεθοδολογία Εργασίας	- 13 -
Δομή της εργασίας	- 14 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΙΔΙΚΟΥ ΣΚΟΠΟΥ (MANETS).....	- 15 -
2.1 Εισαγωγή	- 15 -
2.2 Ιστορικά στοιχεία των Mobile Ad-Hoc δικτύων	- 16 -
2.3 Τα Χαρακτηριστικά των Mobile Ad-Hoc δικτύων.....	- 17 -
2.4 Εφαρμογές των δικτύων MANET	- 18 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ MOBILE AD-HOC ΔΙΚΤΥΩΝ	- 19
-	-
3.1 Βασικά χαρακτηριστικά των πρωτοκόλλων	- 19 -
3.2 Ειδική αναφορά στα πρωτόκολλα δρομολόγησης	- 23 -
3.3 Τα Proactive ή Table driven Πρωτόκολλα Δρομολόγησης.....	- 24 -
3.3.1 Το πρωτόκολλο Optimized Link State Routing Protocol (OLSR).....	- 24 -
3.3.2 Το Πρωτόκολλο Destination-Sequenced Distance Vector (DSDV)	- 25 -
3.4 Τα Reactive ή On-Demand Πρωτόκολλα Δρομολόγησης	- 26 -
3.4.1 Το πρωτόκολλο Δρομολόγησης Ad-Hoc On-Demand Distance Vector (AODV)-	27 -
3.4.2 Το πρωτόκολλο Δρομολόγησης Ad Hoc On-Demand Multipath Distance Vector (AOMDV).....	- 29 -
3.4.3 Το πρωτόκολλο Δρομολόγησης Dynamic Source Routing (DSR)	- 29 -
3.5 Υβριδικά (Hybrid) πρωτόκολλα δρομολόγησης.....	- 31 -
3.6 Το Πρωτόκολλο Δρομολόγησης Greedy Perimeter Stateless Routing (GPSR).....	- 31 -

Κεφάλαιο 4: Παράμετροι απόδοσης Δικτύων MANET: Μοντέλα Κινητικότητας - Μοντέλα Διάδοσης-Τύπος Κίνησης Δεδομένων	32 -
4.1 Μοντέλα κινητικότητας.....	33 -
4.2 Ατομικά Μοντέλα Κινητικότητας	35 -
4.3 Ομαδικά μοντέλα κινητικότητας.....	39 -
4.4 Μοντέλο Κινητικότητας Τυχαίων Στάσεων (Random Waypoint Mobility Model)	40 -
4.5 Μοντέλο Κινητικότητας Τυχαίας Κατεύθυνσης (Random Direction Mobility Model) ..	41 -
4.6 Απώλειες Ισχύος κατά τη Διαδρομή ασύρματης ακτινοβολίας (Pathloss).....	41 -
4.6.1 Απώλειες Ελεύθερου Χώρου	42 -
4.6.2 Απώλειες Σκίασης.....	46 -
4.7 Η συνδυασμένη επίδραση απωλειών Ελεύθερης Διαδρομής και Σκίασης	47 -
4.8 Η συνάρτηση κατανομής της απώλειας ισχύος από το συνδυασμό απωλειών ελεύθερης διαδρομής και σκίασης	47 -
4.9 Ανάλυση της συνδεσιμότητας MANETs δικτύων.....	47 -
4.10 Τύποι εφαρμογών και επιδώσεις τους σε δίκτυα MANETs	49 -
Κεφάλαιο 5 : Προσομοιώσεις Απόδοσης Πρωτοκόλλων των MANETs.....	51 -
5.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	51 -
5.1.1 Δημιουργία Σεναρίων παραγωγής δεδομένων και συνδέσεων των κόμβων και σεναρίων κίνησης των κόμβων	51 -
5.1.2 Παράμετροι που μετρήθηκαν:	53 -
5.1.3 Παράμετροι που μεταβλήθηκαν:	53 -
5.1.4 Παράμετροι παραμετροποίησης αρχείου προσομοίωσης όπως δηλώθηκαν:-	53 -
5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ	55 -
Πείραμα 1: Μεταβολή του αριθμού των συνδέσεων και του αριθμού των κόμβων	55 -
Πείραμα 2: Μεταβολή της κινητικότητας των κόμβων	64
Πείραμα 3: Μεταβολή του ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων και της πυκνότητας των κόμβων	75
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	84
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	86
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	87

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Μοντέλο κινητικότητας Τυχαίου Περιπάτου	- 36 -
Εικόνα 2: Μοντέλο Κινητικότητας Gauss-Markov	- 36 -
Εικόνα 3: Μοντέλο Κινητικότητας Τμήματος Πόλης.....	- 38 -
Εικόνα 4: Ανάλυση τύπων mobile κίνησης σε δίκτυα MANET (Πηγή CISCO VNI MOBILE 2011).....	- 50 -

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1: Σχήματα μετάδοσης δεδομένων.....	- 23 -
Πίνακας 2: Στοιχεία Πεδίων Πίνακα Δρομολόγησης AODV	- 28 -
Πίνακας 3: Υποκατηγορίες των Ατομικών Μοντέλων Κινητικότητας	- 35 -
Πίνακας 4: Ομαδικά Μοντέλα Κινητικότητας.....	- 40 -
Πίνακας 5: Εύρος τιμών γ για διάφορα περιβάλλοντα διάδοσης	- 46 -
Πίνακας 6: Μεταβολή του μέγιστου αριθμού συνδέσεων και του αριθμού των κόμβων	- 55 -
Πίνακας 7: Routing Packets μεταβάλλοντας τον αριθμό των μέγιστων συνδέσεων και τον αριθμό των κόμβων του δικτύου	- 56 -
Πίνακας 8: Packet Delivery Ratio μεταβάλλοντας τον αριθμό των μέγιστων συνδέσεων και τον αριθμό των κόμβων του δικτύου	- 58 -
Πίνακας 9: Normalized Routing Load μεταβάλλοντας τον αριθμό των μέγιστων συνδέσεων και τον αριθμό των κόμβων του δικτύου.....	- 59 -
Πίνακας 10: Average end to end delay (ms) μεταβάλλοντας τον αριθμό των μέγιστων συνδέσεων και τον αριθμό των κόμβων του δικτύου.....	- 61 -
Πίνακας 11: Μεταβολή της μέγιστης ταχύτητας των κόμβων και του χρόνου παύσης κίνησής τους.....	64
Πίνακας 12: Routing Packets μεταβάλλοντας την μέγιστη ταχύτητα και τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων.....	65
Πίνακας 13: Packet Delivery Ratio μεταβάλλοντας την μέγιστη ταχύτητα και τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων.....	67
Πίνακας 14: Normalized Routing Load μεταβάλλοντας την μέγιστη ταχύτητα και τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων.....	69
Πίνακας 15: Average end to end delay (ms) μεταβάλλοντας την μέγιστη ταχύτητα και τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων.....	72
Πίνακας 16: Μεταβολή του ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων και της πυκνότητας των κόμβων	75
Πίνακας 17: Routing Packets μεταβάλλοντας τον ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων και την πυκνότητα των κόμβων.....	76
Πίνακας 18: Packet Delivery Ratio μεταβάλλοντας τον ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων και την πυκνότητα των κόμβων.....	78
Πίνακας 19: Normalized Routing Load μεταβάλλοντας τον ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων και την πυκνότητα των κόμβων	79
Πίνακας 20: Average end to end delay (ms) μεταβάλλοντας τον ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων και την πυκνότητα των κόμβων	82

Πίνακας Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Τα Routing Packets για 50 κόμβους μεταβάλλοντας τον μέγιστο αριθμό συνδέσεων	56
Διάγραμμα 2: Τα Routing Packets για 75 κόμβους μεταβάλλοντας τον μέγιστο αριθμό συνδέσεων	57
Διάγραμμα 3: Τα Routing Packets για 75 κόμβους μεταβάλλοντας τον μέγιστο αριθμό συνδέσεων	57
Διάγραμμα 4: Τα Packet Relief Ratio για 50 κόμβους μεταβάλλοντας τον μέγιστο αριθμό συνδέσεων	58
Διάγραμμα 6: Packet Relief Ratio για 75 κόμβους μεταβάλλοντας τον μέγιστο αριθμό συνδέσεων	59
Διάγραμμα 7: : Normalized Routing Load για 60 κόμβους μεταβάλλοντας τον μέγιστο αριθμό συνδέσεων	60
Διάγραμμα 8: Normalized Routing Load για 75 κόμβους μεταβάλλοντας τον μέγιστο αριθμό συνδέσεων	60
Διάγραμμα 9: Average end to end delay (ms) για 50 κόμβους μεταβάλλοντας τον μέγιστο αριθμό συνδέσεων	62
Διάγραμμα 10: Average end to end delay (ms) για 60 κόμβους μεταβάλλοντας τον μέγιστο αριθμό συνδέσεων	62
Διάγραμμα 11: Average end to end delay (ms) για 75 κόμβους μεταβάλλοντας τον μέγιστο αριθμό συνδέσεων	63
Διάγραμμα 12: Routing Packets για max_speed=10 m/sec μεταβάλλοντας τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων.....	65
Διάγραμμα 13: Routing Packets για max_speed=20 m/sec μεταβάλλοντας τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων.....	65
Διάγραμμα 14: Routing Packets για max_speed=30 m/sec μεταβάλλοντας τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων.....	66
Διάγραμμα 15: Packet Relief Ratio για max_speed=10 m/sec μεταβάλλοντας τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων.....	67
Διάγραμμα 16: Packet Delivery Ratio για max_speed=20 m/sec μεταβάλλοντας τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων.....	68
Διάγραμμα 17: Packet Delivery Ratio για max_speed=30 m/sec μεταβάλλοντας τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων.....	68
Διάγραμμα 18: Normalized Routing Load για max_speed=10 m/sec μεταβάλλοντας τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων	70
Διάγραμμα 19: Normalized Routing Load για max_speed=20 m/sec μεταβάλλοντας τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων	70
Διάγραμμα 20: Normalized Routing Load για max_speed=30 m/sec μεταβάλλοντας τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων.....	71
Διάγραμμα 21: Average end to end delay (ms) για max_speed=10 m/sec μεταβάλλοντας τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων	72
Διάγραμμα 22: Average end to end delay (ms) για max_speed=20 m/sec μεταβάλλοντας τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων	73
Διάγραμμα 23: Average end to end delay (ms) για max_speed=30 m/sec μεταβάλλοντας τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων	73

Διάγραμμα 24: Τα Routing Packets για rate=1 packet/sec μεταβάλλοντας την πυκνότητα των κόμβων	76
Διάγραμμα 25: Τα Routing Packets για rate=5 packets/sec μεταβάλλοντας την πυκνότητα των κόμβων	76
Διάγραμμα 26: Τα Routing Packets για rate=10 packets/sec μεταβάλλοντας την πυκνότητα των κόμβων	77
Διάγραμμα 27: Packet Delivery Ratio για rate=1 packet/sec μεταβάλλοντας την πυκνότητα των κόμβων	78
Διάγραμμα 28: Packet Delivery Ratio για rate=5 packets/sec μεταβάλλοντας την πυκνότητα των κόμβων	78
Διάγραμμα 29: Packet Delivery Ratio για rate=10 packets/sec μεταβάλλοντας την πυκνότητα των κόμβων	79
Διάγραμμα 30: Normalized Routing Load για rate=1 Int/sec μεταβάλλοντας την πυκνότητα των κόμβων	80
Διάγραμμα 31: Normalized Routing Load για rate=5 packets/sec μεταβάλλοντας την πυκνότητα των κόμβων	80
Διάγραμμα 32: Normalized Routing Load για rate=10 packets/sec μεταβάλλοντας την πυκνότητα των κόμβων	80
Διάγραμμα 33: Average end to end delay (ms) για rate=1 packet/sec μεταβάλλοντας την πυκνότητα των κόμβων	82
Διάγραμμα 34: Average end to end delay (ms) για rate=5 packets/sec μεταβάλλοντας την πυκνότητα των κόμβων	83
Διάγραμμα 35: Average end to end delay (ms) για rate=10 packets/sec μεταβάλλοντας την πυκνότητα των κόμβων	83

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γρήγορη και ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας έχει κάνει όλο και περισσότερες εταιρίες και οργανισμούς παγκοσμίως να καταλάβουν τα πλεονεκτήματα της χρήσης των δικτύων υπολογιστών για την καλύτερη και ευκολότερη λειτουργία και ανάπτυξη τους.

Τα δίκτυα υπολογιστών αποτελούν ένα σύστημα μονάδων υπολογιστών που μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους. Ταξινομούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες τα ενσύρματα (wired) και τα ασύρματα (wireless) δίκτυα. Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με τα Mobile Ad-Hoc Networks (MANETS) τα οποία είναι υποκατηγορία των ασύρματων δικτύων για τον λόγο αυτό θα δώσουμε έμφαση σε αυτά.

Η ιστορία των ασύρματων δικτύων ξεκινά την δεκαετία του 1970. Στο πανεπιστήμιο της Χαβάη δημιουργήθηκε το 1971 ένα πειραματικό δίκτυο το ALOHANET που ήταν το πρώτο δίκτυο στο οποίο χρησιμοποιήθηκε συνδυασμός της ραδιοεπικοινωνίας και των δικτύων υπολογιστών. Το δίκτυο αυτό πρόσφερε αμφίδρομη επικοινωνία με σκοπό την επικοινωνία με την ηπειρωτική χώρα των Ηνωμένων Πολιτειών χρησιμοποιώντας την τοπολογία STAR. Κατά την διάρκεια της δεκαετίας του ογδόντα η επικοινωνία αυτή αναπτύχθηκε και στα τέλη της δεκαετίας του ενενήντα το ενδιαφέρον για τα ασύρματα δίκτυα έφτασε στην κορυφή λόγω της ραγδαίας ανάπτυξης του ίντερνετ.

Στο αντικείμενο της εργασίας αυτής δεν εμπίπτει η ενασχόληση με το γενικότερο αντικείμενο των ασύρματων δικτύων αλλά ειδικότερα η ενασχόληση με το υποσύνολο εκείνο των ασύρματων δικτύων που προσδιορίζονται ως κινητά δίκτυα ειδικού σκοπού (Mobile Ad-Hoc Networks - MANETS)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΙΔΙΚΟΥ ΣΚΟΠΟΥ (MOBILE AD-HOC NETWORKS-MANETS)

Ως κινητά δίκτυα ειδικού σκοπού (MANETs) ονομάζονται τα δίκτυα που αποτελούνται από ασύρματες κινητές συσκευές οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους ασυρματικά και έχουν την ιδιότητα χωρικά να κινούνται χωρίς περιορισμό. Τα δίκτυα της κατηγορίας αυτής είναι ικανά να ρυθμίζουν και να διαχειρίζονται τις λειτουργίες τους μόνα τους χωρίς την εξάρτηση εξωτερικών παραγόντων. Η χωρική κατανομή των συσκευών που μετέχουν σε ένα δίκτυο της κατηγορίας αυτής καθώς και οι συνδέσεις μεταξύ τους αλλάζουν με γρήγορο και απρόβλεπτο τρόπο χρονικά. Για τη σωστή λειτουργία ενός τέτοιου δικτύου οι συσκευές που δραστηριοποιούνται σε τέτοια περιβάλλοντα πέρα από το να ανταλλάσσουν δεδομένα, έχουν την υποχρέωση να προωθούν την κίνηση των υπόλοιπων δεδομένων που δεν τις αφορούν προς τις υπόλοιπες συσκευές του δικτύου αναλαμβάνοντας αρμοδιότητες δρομολογητή και να αποθηκεύουν (buffering) πληροφορίες για τη σωστή δρομολόγηση και την αξιόπιστη μεταφορά των δεδομένων. Το πρόβλημα οξύνεται όταν οι συγκεκριμένες συσκευές βρίσκονται ταυτόχρονα διασυνδεδεμένες και στο διαδίκτυο

Η έντονη ερευνητική δραστηριότητα τα τελευταία χρόνια για τη χρήση των φορητών ηλεκτρονικών υπολογιστών και των πρωτοκόλλων adhoc ασύρματης δικτύωσης τύπου 802.11/Wi-Fi έχει πυροδοτήσει εκτεταμένη έρευνα γύρω από τα MANETs. Στα πλαίσια των συγκεκριμένων ερευνητικών δραστηριοτήτων ερευνούνται και αξιολογούνται τα MANETs ως προς διάφορες παραμέτρους, δηλαδή:

- Βαθμός κινητικότητας κόμβων
- Πλήθος κόμβων
- Μέγιστος βαθμός διασυνδεσιμότητας κόμβων
- Αξιοπιστία πρωτοκόλλων δρομολόγησης
- Βαθμός απώλειας πακέτων (packet drop rate)
- Ποσόστωση πλεονασματικής πληροφορίας (packet overhead)
- Άκρη σε άκρη καθυστέρηση των πακέτων (end to end delay)
- Ωφέλιμη ρυθμοαπόδοση (throughput) του δικτύου

Στόχος της εργασίας

Με βάση τα παραπάνω η εργασία θα κινηθεί στους παρακάτω άξονες

- Στην ιστορική παρουσίαση της ανάπτυξης των συγκεκριμένων δικτύων από την αφετηρία ανάπτυξής τους έως και τη σημερινή εποχή καθώς και στις εφαρμογές των δικτύων αυτών.
- Στην παρουσίαση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης των δικτύων αυτών ανάλογα και τον τύπο της κίνησης που εξυπηρετούν.
- Στην παρουσίαση των διαφορετικών μοντέλων κινητικότητας (mobility models) που οριοθετούν το περιβάλλον μέσα στο οποίο καλούνται να λειτουργήσουν και να αποδώσουν τα εν λόγω δίκτυα.
- Στην πραγματοποίηση προσομοιώσεων ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για τη λειτουργία των εν λόγω δικτύων ανάλογα με τον τύπο των πρωτοκόλλων δρομολόγησης που χρησιμοποιούν.
- Στην εξαγωγή συμπερασμάτων για τη χρηστικότητα και την αξιοπιστία των συγκεκριμένων δικτύων με βάση τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων.
- Στην ανάδειξη σημείων για μελλοντική ερευνητική εργασία.

Μεθοδολογία Εργασίας

Η ολοκλήρωση της εργασίας θα βασισθεί σε επιλεκτική σύννοψη της υπάρχουσας βιβλιογραφίας για να παρουσιασθούν τα σπουδαιότερα πρωτόκολλα δρομολόγησης αλλά και τα περιβάλλοντα κινητικότητας στα οποία λειτουργούν τα εν λόγω δίκτυα.

Επιπλέον, θα πραγματοποιηθούν προσομοιώσεις για συγκεκριμένα σενάρια λειτουργίας των εν λόγω δικτύων τα οποία θα διαφοροποιούνται στο μοντέλο κινητικότητας των χρησιμοποιούμενων συσκευών αλλά και στα χρησιμοποιούμενα πρωτόκολλα δρομολόγησης.

Όπως αναφέρθηκε και πριν στόχος των προσομοιώσεων θα είναι να αναδείξουν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των διαφόρων χρησιμοποιούμενων πρωτοκόλλων ανάλογα και με το μοντέλο κινητικότητας και να υποδείξουν πιθανά σημεία βελτίωσης για περαιτέρω μελλοντική ερευνητική δουλειά.

Δομή της εργασίας

Η εργασία έχει την παρακάτω δομή:

Εισαγωγή: Αναγραφή κάποιων εισαγωγικών στοιχείων.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στο θεματικό αντικείμενο της εργασίας και πληροφορίες για το σκοπό της.

Κεφάλαιο 2: Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιασθούν μια ιστορική αναδρομή και χρήσεις (που χρησιμοποιούνται και για ποιον σκοπό) των δικτύων MANETS.

Κεφάλαιο 3: Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιασθούν τα διάφορα τηλεπικοινωνιακά πρωτόκολλα που έχουν αναπτυχθεί για τα δίκτυα αυτά. Πέρα από μια απλή αναφορά, η παρουσίαση αυτή θα είναι όσο το δυνατό συγκριτική, παρουσιάζοντας τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του κάθε πρωτοκόλλου.

Κεφάλαιο 4: Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιασθούν τα διάφορα μοντέλα κινητικότητας (mobility models) που περιγράφουν τα περιβάλλοντα κινητικότητας στα οποία καλούνται να λειτουργήσουν τα συγκεκριμένα δίκτυα. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, δεν θα γίνει μια απλή βιβλιογραφική αναφορά, αλλά η παρουσίαση αυτή θα είναι όσο το δυνατό συγκριτική, παρουσιάζοντας τις διαφοροποιήσεις του περιβάλλοντος που περιγράφει το κάθε μοντέλο.

Κεφάλαιο 5: Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιασθούν τα αποτελέσματα προσομοιώσεων για συγκεκριμένα σενάρια λειτουργίας των εν λόγω δικτύων. Τα σενάρια αυτά θα διαφοροποιούνται ως προς τον τύπο των δεδομένων υπό διαχείριση, τα πρωτόκολλα λειτουργίας αλλά και το περιβάλλον κινητικότητας. Μια τέταρτη διάσταση στην παραμετροποίηση των σεναρίων αποτελεί και ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων συσκευών. Επίσης παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και πιθανή μελλοντική έρευνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΙΔΙΚΟΥ ΣΚΟΠΟΥ (MANETS)

2.1 Εισαγωγή

Την τελευταία δεκαετία τα δίκτυα MANETs αποτελούν μία από τις αιχμές του δόρατος στο πεδίο των κινητών υπηρεσιών με τεράστιο μέρος της δραστηριότητας αυτής να αναλώνεται στην βελτιστοποίηση των πρωτοκόλλων λειτουργίας τους. Για ποιό λόγο υπάρχει αυτή η δραστηριοποίηση; Τα δίκτυα αυτής της μορφής δεν απαιτούν κάποιο ιδιαίτερο δικτυακό περιβάλλον για να λειτουργήσουν. Η πρόκληση στα δίκτυα αυτά είναι η μεγιστοποίηση των δυνατοτήτων τους χωρίς τη δέσμευση επιπλέον πόρων από εκείνους που διατίθενται ήδη από το πεδίο των κινητών επικοινωνιών, χωρίς να υπάρχει εξάρτηση από τη γεωγραφική θέση του χρήστη. Για να γίνει κάτι τέτοιο θα πρέπει οι συσκευές αυτές να διασφαλίζουν τις παρακάτω προϋποθέσεις:

- Δυνατότητα ανίχνευσης επιπλέον συσκευών στο δίκτυο
- Δυνατότητα αξιόπιστης ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ των συγκεκριμένων συσκευών
- Δυνατότητα δυναμικής ένταξης νέων συσκευών στο δίκτυο ανεξάρτητα από την τοπολογία του δικτύου
- Δυνατότητα διαχείρισης του δικτύου και δρομολόγησης των πακέτων που διακινούνται σε αυτά.

. Η δρομολόγηση των πακέτων αποτελεί δύσκολο πρόβλημα γιατί το περιβάλλον δρομολόγησης δεν είναι στατικό αλλά μεταβάλλεται δυναμικά και ως προς τη γεωγραφικότητα αλλά και ως προς το πλήθος των κόμβων που φιλοξενεί. Αυτό αντιτίθεται στην λογική των στατικών δικτύων όπου η δρομολόγηση βασίζεται σε πίνακες που είναι μόνιμα αποθηκευμένοι στους κόμβους του δικτύου και δεν αλλάζουν σε συνάρτηση με το χρόνο. Αν ένας συνδρομητής προστεθεί σε ένα τέτοιο δίκτυο τότε ο πίνακας αυτός επαναυπολογίζεται δυναμικά και ξαναφορτώνεται στους κόμβους του δικτύου στατικά σε χρόνο που δε λειτουργεί για να μη δημιουργήσει μεγάλες διακοπές χρηστών. Κάτι τέτοιο δεν μπορεί να γίνει φυσικά στα MANETs όπου τα παραπάνω προβλήματα πρέπει να επιλύονται σε πραγματικό χρόνο χωρίς διακοπή των χρηστών.

2.2 Ιστορικά στοιχεία των Mobile Ad-Hoc δικτύων

Τα πρώτα δίκτυα της μορφής αυτής αναπτύχθηκαν τη δεκαετία του 1970 (Packet Radio Networks) ενώ η ανάπτυξη έγινε για στρατιωτικούς σκοπούς. Η μετάδοση των δεδομένων γινόταν μέσω ραδιοφωνικών καναλιών, που ήταν κοινά για κάθε τύπο εκπομπής. Τα συγκεκριμένα δίκτυα ευνοούσαν την κινητικότητα των χρηστών. Λόγω της ασύρματης φύσης της διάδοσης στα δίκτυα αυτά ήταν εύκολη η εγκατάσταση και η επεκτασιμότητα τους. Επίσης ήταν δυνατός τόσο ο εμπλουτισμός του δικτύου με νέους κόμβους, όσο και η ελάττωση του αριθμού των κόμβων του δικτύου χωρίς να διαταράσσεται η λειτουργία του.

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό των εν λόγω δικτύων είναι η πλήρης αυτοματοποίησή τους που οφείλεται κυρίως στη δομή και στα επιμέρους συστατικά τους. Συγκεκριμένα τα δίκτυα αυτής της μορφής αποτελούνταν από ένα φυσικό υποδίκτυο με στόχο να παρέχει τα μέσα διασύνδεσης των χρηστών και μια ομάδα υπολογιστών και τερματικών που αντάλλασσαν δεδομένα μεταξύ τους με το πρωτόκολλο Data Link Control (HDLC) σε πραγματικό χρόνο.

Την επόμενη δεκαετία προέκυψε η δεύτερη γενιά των συγκεκριμένων δικτύων, γνωστή με το όνομα Survivable Adaptive Radio Network (SURAN). Τα συγκεκριμένα δίκτυα αναπτύχθηκαν για να παρέχουν υπηρεσίες μεταγωγής πακέτων μέσω τεχνολογιών κινητής τηλεφωνίας σε περιβάλλοντα μάχης χρησιμοποιώντας τις αποδεδειγμένες ιδιότητες των δικτύων της προηγούμενης γενιάς αλλά μεταφέροντας πακέτα δεδομένων μικρότερου μεγέθους.

Τέλος, το 1990 αναπτύχθηκε η τρίτη γενιά των συγκεκριμένων δικτύων που έχουμε έως και σήμερα, δηλαδή τα MANETs. Οι μεγαλύτερες καινοτομίες που εισήχθησαν είναι η χρήση Bluetooth και τα Ad-Hoc δίκτυα αισθητήρων. Η τεχνολογία Bluetooth αναπτύχθηκε γύρω στο 1998 και έχει τη δυνατότητα να υποστηρίζει πολλούς χρήστες μέσω ενός ραδιοπεριβάλλοντος που του δόθηκε το όνομα piconet. Ένας Bluetooth client μπορεί να υποστηρίξει το πολύ δέκα τέτοια μικρά δίκτυα, ενώ το δίκτυο μπορεί να λειτουργήσει σε τρόπο πελάτη-εξυπηρετητή, με τρόπο όμως που ορίζεται αυστηρά για κάθε ομάδα συσκευών πριν την έναρξη ανταλλαγής πληροφοριών.

2.3 Τα Χαρακτηριστικά των Mobile Ad-Hoc δικτύων

Τα δίκτυα των παραπάνω μορφών λειτουργούν με τη χρήση των κόμβων τους (δηλαδή των συσκευών που λειτουργούν στο περιβάλλον τους) όχι μόνο για τη λήψη πληροφορίας αλλά και για την προώθηση πληροφοριών σε άλλους κόμβους.

Αποτελούνται από συσκευές, που στη γενική περίπτωση κινούνται χωρικά ελεύθερα, με χρήση των πρωτοκόλλων επικοινωνίας Bluetooth και 802.11. Τα δίκτυα λειτουργούν χωρίς την ύπαρξη ενός κεντρικού εξυπηρετητή αλλά μπορούν να λειτουργήσουν και ως μέρος ενός δικτύου με ένα ή περισσότερους εξυπηρετητές. Ως φυσικά μέσα μετάδοσης της πληροφορίας χρησιμοποιούνται ασύρματες κεραίες είτε μονοκατευθυντικές είτε πολυκατευθυντικές, με μεταβαλλόμενο εύρος φάσματος και ισχύ. Η διασυνδεσιμότητα των κόμβων μπορεί να μεταβάλλεται με βάση τη θέση τους, το ύψος των παρεμβολών και την εμβέλεια των πομποδεκτών. Η μεταβολή είναι μια τυχαία συνάρτηση χωρικής και χρονικής τοπολογίας.

Κύρια χαρακτηριστικά των Mobile Ad-Hoc δικτύων :

1. Δεν υπάρχει ενσύρματο μέσο δικτύωσης αλλά η διασύνδεση των κόμβων γίνεται ασυρματικά.
2. Η τοπολογία του δικτύου είναι δυναμική Αυτό οφείλεται τόσο στην κινητικότητα όσο και στη δυνατότητα να μεταβάλλεται το πλήθος των κόμβων.
3. Για την εξοικονόμηση ενέργειας αρκετές συσκευές μπορούν να εγκαταλείπουν το δίκτυο και μετά να επανέρχονται σ' αυτό (temporal sleep mode). Το φαινόμενο αυτό επηρεάζει σημαντικά τη λειτουργία του δικτύου καθώς οι συσκευές αυτές δεν μπορούν να προωθήσουν δεδομένα στους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου.
4. Οι κόμβοι έχουν περιορισμένη δυνατότητα κατανάλωσης ενέργειας και εξαρτώνται από τις δυνατότητες των μπαταριών που τους υποστηρίζουν. Αυτό έχει άμεσες συνέπειες στο πλήθος και στη φύση των εφαρμογών που μπορεί να υποστηριχθούν.
5. Περιορισμένη αποθηκευτική ικανότητα λόγω περιορισμένης μνήμης στις συσκευές.
6. Δυνατότητα για δυναμική αυξομείωση του πλήθους των συσκευών.

7. Λόγω της περιορισμένης δυνατότητας των αποκωδικοποιητών και διαμορφωτών που χρησιμοποιούνται από τις συσκευές, το εύρος ζώνης που χρησιμοποιείται από τα δίκτυα αυτής της μορφής είναι αρκετά περιορισμένο γεγονός που στις περισσότερες περιπτώσεις ανάλογα με το πλήθος των συσκευών που χρησιμοποιούνται μπορεί να δημιουργήσει φαινόμενα υψηλού συνωστισμού στο διαδίκτυο.
8. Οι συσκευές αποτελούνται από φθηνά ηλεκτρονικά που δεν μπορούν να υποστηρίξουν πολυσύνθετες εφαρμογές.

2.4 Εφαρμογές των δικτύων MANET

Είναι προφανές ότι τα συγκεκριμένα δίκτυα εφαρμόζονται πρακτικά σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν σταθερές υποδομές ενσυρμάτων δικτύων. Χωρίς να εξαντλούμε τη λίστα αναφέρουμε τις παρακάτω γενικές περιπτώσεις.

- Χρήση σε κρίσιμες καταστάσεις (διασώσεις, φυσικές καταστροφές κλπ)
- Χρήση σε στρατιωτικές εφαρμογές και ασκήσεις για επικοινωνία μεταξύ των εμπλεκομένων.
- Χρήση σε συνεδριακούς χώρους και χώρους διδασκαλίας για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των συμμετεχόντων.
- Χρήση για επιμερισμό φάσματος σε αστικό περιβάλλον με υψηλή πυκνότητα χρηστών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ MOBILE AD-HOC ΔΙΚΤΥΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύονται τα πρωτόκολλα δρομολόγησης των mobile Ad-Hoc δικτύων. Για την αποδοτικότητα των δικτύων αυτών μία από τις πιο σημαντικές παραμέτρους είναι ποιο πρωτόκολλο δρομολόγησης θα επιλεγεί για τον σκοπό αυτό. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι κανένα από τα ήδη υπάρχοντα πρωτόκολλα δεν λειτουργεί το ίδιο ικανοποιητικά σε όλες τις μεταβολές που μπορεί να προκύψουν σε ένα τέτοιο δίκτυο. Γι' αυτό ανάλογα με τις πιθανές μεταβολές που μπορούν να εμφανιστούν θα πρέπει να επιλέγεται και το κατάλληλο πρωτόκολλο έτσι ώστε η απόδοση του δικτύου να είναι η καλύτερη δυνατή. Στις επόμενες παραγράφους αναλύονται εκτενώς τα περισσότερα υπάρχοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης που χρησιμοποιούνται αυτή τη στιγμή στα manets.

3.1 Βασικά χαρακτηριστικά των πρωτοκόλλων

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης έχουν ως στόχο να ανακαλύψουν διαδρομές μεταξύ των κινητών κόμβων ώστε να μεταφερθούν με επιτυχία τα πακέτα δεδομένων από τον κόμβο-αποστολέα στον κόμβο-παραλήπτη. Αυτό επιτυγχάνεται με έναν πίνακα που διατηρούν όλοι οι κόμβοι που είναι μέρος του δικτύου. Στον πίνακα αυτό διατηρούνται πληροφορίες για τον ενδιάμεσο κόμβο θα σταλεί έτσι ώστε το απεσταλμένα δεδομένα να φτάσουν με επιτυχία στον προορισμό τους. Για να γίνει αυτό θα πρέπει οι αποθηκευμένες πληροφορίες του πίνακα να είναι έγκυρες για να βρουν τα απεσταλμένα δεδομένα τη σωστή διαδρομή μέχρι τον παραλήπτη τους. Στα δίκτυα τα οποία ανήκει μικρός αριθμός κινητών κόμβων και παρουσιάζουν μικρή κινητικότητα αυτό επιτυγχάνεται με ευκολία όχι όμως και σε αντίθετες περιπτώσεις.

Λόγω του ότι τα mobile Ad-Hoc δίκτυα παρουσιάζουν μεγάλη μεταβολή τόσο στον αριθμό και στη θέση την οποία βρίσκονται οι κινητοί κόμβοι την κάθε στιγμή που το αποτελούν, όσο και στην ταχύτητα που αυτοί κινούνται άλλα και στα τεχνικά χαρακτηριστικά τους. Θα πρέπει το πρωτόκολλο δρομολόγησης που χρησιμοποιείται να έχει την ικανότητα να προσαρμόζεται γρήγορα στις αλλαγές και να αποδίδει εξίσου καλά σε όλες τις περιπτώσεις.

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης των mobile Ad-Hoc δικτύων χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες τα Proactive ή Table driven και τα Reactive ή On Demand τα οποία αναλύονται εκτενώς σε επόμενα υποκεφάλαια.

Τα Proactive ή Table driven πρωτόκολλα δρομολόγησης που χρησιμοποιούνται στα Manets, λόγω του ότι δεν γνωρίζουν πότε αλλάζει η κατάσταση του δικτύου, για να καταφέρουν να διατηρούν ενήμερους τον κάθε πίνακα που υπάρχει σε κάθε κόμβο για την κατάσταση του δικτύου την κάθε στιγμή λειτουργούν προληπτικά αποστέλλοντας πακέτα δρομολόγησης (routing packets). Τα πακέτα αυτά ανάλογα με το πρωτόκολλο δρομολόγησης αποστέλλονται σε διάφορες περιοδικές χρονικές στιγμές. Οι περιοδικές αυτές χρονικές στιγμές θα πρέπει να επιλέγονται με μεγάλη προσοχή έτσι ώστε να συμβαδίζουν με τους χρόνους που εμφανίζονται αλλαγές στο δίκτυο. Σε διαφορετική περίπτωση δημιουργούνται διάφορα προβλήματα τόσο στο δίκτυο όσο και στην δρομολόγηση των πακέτων. Κάποια από τα προβλήματα που μπορούν να προκύψουν είναι τα παρακάτω:

Αδυναμία να εντοπιστεί ο κόμβος προορισμού των απεσταλμένων πακέτων, εάν το πρωτόκολλο δρομολόγησης στέλνει με ποιο αργό ρυθμό τα πακέτα δρομολόγησης από τον ρυθμό που μεταβάλλεται η κατάσταση του δικτύου.

Αποστολή πακέτων δρομολόγησης χωρίς να υπάρχει λόγος και να δημιουργείται συμφόρηση, εάν το πρωτόκολλο δρομολόγησης στέλνει με ποιο γρήγορο ρυθμό τα πακέτα δρομολόγησης από τον ρυθμό που μεταβάλλεται η κατάσταση του δικτύου.

Τα reactive ή on-demand driven πρωτόκολλα δρομολόγησης που χρησιμοποιούνται στα Manets, λειτουργούν με τελείως διαφορετικό τρόπο, δηλαδή δεν αποστέλλουν πακέτα δρομολόγησης προληπτικά αλλά μόνο όταν παρουσιαστεί κάποια σημαντική μεταβολή στο δίκτυο.

Δρομολόγηση σε MAC επίπεδο

Όταν η δρομολόγηση πραγματοποιείται σε επίπεδο MAC, έχει το χαρακτηριστικό ότι χρησιμοποιεί τις φυσικές διευθύνσεις των συσκευών. Οι διευθύνσεις αυτές είναι οι headers που προηγούνται οποιασδήποτε άλλης πληροφορίας δρομολόγησης. Έτσι επιτυγχάνεται ανεξαρτησία από την πληροφορία των παραπάνω επιπέδων του OSI και μπορούν να δρομολογηθούν όλα τα πακέτα του IP τύπου.

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης των mobile Ad-Hoc δικτύων χρησιμοποιούν τεχνικές δρομολόγησης ανάλογες με αυτές του IEEE 802.1D πρωτοκόλλου καθώς και των bridging protocols. Αυτό τους προσδίδει το πλεονέκτημα να ανεξαρτητοποιούνται από το operating system του κάθε κόμβου που συμμετέχει στο δίκτυο καθώς και από τα υπόλοιπα επίπεδα του OSI. Πολύ σημαντικό στις μέρες μας που η τεχνολογία αναπτύσσεται με ραγδαίους ρυθμούς. Έτσι ώστε να μπορούν όλοι οι κόμβοι να επικοινωνούν μεταξύ τους ανεξάρτητα από το αν χρησιμοποιούν νέες ή παλιές τεχνολογίες.

Τα flat routing protocols ονομάστηκαν έτσι διότι ακολουθούν ένα ενιαίο αδιαβάθμητο επίπεδο δρομολόγησης. Στο επίπεδο αυτό δεν υπάρχει ιεραρχία μεταξύ των κόμβων δρομολόγησης αλλά όλοι είναι ισοδύναμοι με τις ίδιες αρμοδιότητες τους κατά τη δρομολόγηση των πακέτων. Ένα τέτοιο σχήμα είναι πολύ πιο ευέλικτο, το κόστος που πληρώνει κάποιος είναι οι απαιτήσεις λογισμικού που είναι αυξημένες για κάθε κόμβο. Το αντίθετο συμβαίνει στο ιεραρχικό μοντέλο δρομολόγησης όπου ανάλογα τη διαβάθμιση κάθε κόμβου, οι αρμοδιότητες διαφέρουν. Το μοντέλο αυτό της δρομολόγησης χρησιμοποιείται κατά κόρο στο Internet γιατί είναι το περισσότερο αποτελεσματικό.

|

Μια άλλη επιλογή για τη δρομολόγηση είναι η χρήση του GPS (Global Positioning System). Η επιλογή αυτή αν και θεωρούνταν ιδιαίτερα εξειδικευμένη στο παρελθόν ωστόσο στις μέρες μας αποτελεί κάτι το σύνηθες γιατί η τεχνολογία έχει ελαττώσει σημαντικά το κόστος του απαιτούμενου hardware.

Όπως καταλαβαίνει κανείς από τις προηγούμενες αναλύσεις για να λυθεί το πρόβλημα της δρομολόγησης στα MANET θα πρέπει να υιοθετηθούν κάποια κριτήρια ανάλογα με τη φύση του δικτύου. Είναι δυνατό ο ίδιος αλγόριθμος να μην αποτελεί τη βέλτιστη επιλογή για δρομολόγηση για το ίδιο δίκτυο όταν τα κριτήρια σχεδιασμού είναι διαφορετικά.

Οι παραδοχές που κάνουμε για τα δίκτυα MANET είναι οι παρακάτω:

Το πλήθος των κόμβων είναι μικρό σχετικά με ανώτατο όριο τους εκατό.

Ο κάθε κόμβος διαθέτει ένα ενσωματωμένο υπολογιστικό σύστημα , το οποίο διαθέτει την ελάχιστη απαιτητή υπολογιστική ισχύ. Η μνήμη του κάθε κόμβου είναι μικρή και η μπαταρία του έχει περιορισμένη αυτονομία.

Η τοπολογία του δικτύου ανανεώνεται δυναμικά. Σε κάθε στιγμιότυπο λειτουργίας το δίκτυο παραμένει συνεκτικό ενώ ο μέγιστος βαθμός συνεκτικότητας δεν μπορεί να ξεπερνά τα δέκα βήματα (hops).

Η κινητικότητα των κόμβων είναι τέτοια ώστε να παραμένουν στα όρια του MANET δικτύου για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα.

Η κίνηση δεδομένων στο δίκτυο ακολουθεί τη μορφή του bursty traffic όπου συνεχείς περίοδοι ομαλής μεταφοράς δεδομένων μπορεί να διακόπτονται από εκρήξεις μεταφοράς πληροφορίας ανάλογα και με τη φύση των εξυπηρετούμενων εφαρμογών

Οι ταυτόχρονες συνδέσεις στο δίκτυο παραμένουν περιορισμένες ώστε να μην απαιτούνται πρωτόκολλα ελέγχου συμφόρησης (congestion control protocols)

Σημαντικό κριτήριο στην επιλογή των πρωτοκόλλων δρομολόγησης αποτελεί το γεγονός ότι οι κόμβοι έχουν περιορισμένους πόρους επεξεργασίας και μνήμης αλλά και περιορισμένες δυνατότητες σε ότι αφορά την κατανάλωση ενέργειας. Για το λόγο αυτό οι απαιτήσεις ενός πρωτοκόλλου δρομολόγησης σε ότι αφορά τα ανωτέρω πρέπει να είναι όσο το δυνατό λιγότερες. Με άλλα λόγια τα πρωτόκολλα δρομολόγησης πρέπει να υποστηρίζουν το Power Adaptive Routing.

Σε αντίθεση με το κριτήριο που επικρατούσε στο παρελθόν δηλαδή αυτό της συντομότερης διαδρομής, οι συγκεκριμένοι αλγόριθμοι δεν προσπαθούν να βελτιστοποιήσουν τις απώλειες ισχύος λόγω μακρινής διαδρομής αλλά να εξοικονομούν την περισσότερη ενέργεια. Έτσι επιλέγεται πάντα η διαδρομή που οδηγεί στην μικρότερη κατανάλωση ενέργειας. Είναι προφανές ότι για να είναι αποδοτικοί οι συγκεκριμένοι αλγόριθμοι, απαιτείται να υπάρξει μεταξύ των κόμβων ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με τα διατηρούμενα αποθέματα ενέργειας σε κάθε κόμβο. Αυτό τείνει να επιβαρύνει την επιφόρτιση (overhead) των πακέτων του δικτύου σε σχέση με τη χρήσιμη πληροφορία.

Βασίζόμενοι στην παραπάνω ανάλυση καταλαβαίνουμε ότι σε δίκτυα MANET δεν μπορούν να αποδώσουν στατικά πρωτόκολλα, αλλά ευνοούνται τα διαδραστικά (reactive) πρωτόκολλα, εφόσον το πλήθος των κόμβων διατηρείται μικρό, δηλαδή

λιγότεροι από εκατό. Τα διαδραστικά πρωτόκολλα δεν επιβαρύνουν το δίκτυο σε σχέση με τα προκαθορισμένα πρωτόκολλα όπου η δρομολόγηση είναι εξ αρχής ενσωματωμένη. Ο λόγος είναι ότι τα συγκεκριμένα πρωτόκολλα μεταδίδουν περιοδικά πληροφορίες που αφορούν τη δρομολόγηση των πακέτων στο δίκτυο ακόμη και όταν η κίνηση στο δίκτυο είναι πολύ χαμηλή ή ανύπαρκτη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την κατανάλωση ενέργειας από τους κόμβους στο MANET χωρίς να υφίσταται ουσιαστικά κάποιος λόγος.

3.2 Ειδική αναφορά στα πρωτόκολλα δρομολόγησης

Η αποδοτική ικανότητα των mobile Ad-Hoc δικτύων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που χρησιμοποιούν. Τα ήδη υπάρχοντα πρωτόκολλα για τέτοιου είδους δίκτυα είναι αρκετά. Όλα χρησιμοποιούν το MAC επίπεδο για την δρομολόγηση και κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον τρόπο που ανακαλύπτουν τα μονοπάτια για να μεταφέρουν τα δεδομένα από τον κόμβο αποστολέα στον κόμβο προορισμού, και με ποιόν τρόπο προσπαθούν να προσαρμοστούν στις διάφορες μεταβολές που προκύπτουν στο δίκτυο και πόσο αποτελεσματικά το πετυχαίνουν. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω υπάρχουν τα proactive πρωτόκολλα δρομολόγησης τα οποία δημιουργούν διαδρομές μεταξύ όλων των κόμβων προληπτικά για την περίπτωση που ζητηθεί να γίνει αποστολή δεδομένων από έναν από αυτούς τους κόμβους σε κάποιον άλλο. Μία άλλη κατηγορία είναι τα reactive πρωτόκολλα τα οποία δημιουργούν διαδρομές μόνο κατ' απαίτηση, δηλαδή όταν ζητηθεί από κάποιον κόμβο αποστολέα να στείλει δεδομένα σε κάποιον κόμβο παραλήπτη τότε δημιουργείται η διαδρομή μεταξύ των δύο. Και υπάρχει και μία άλλη κατηγορία που χρησιμοποιεί και τους δύο παραπάνω τρόπους και τα πρωτόκολλα αυτά ονομάζονται υβριδικά

Όνομα	Μεταδοση μηνύματος προς
Unicast	έναν μόνο κόμβο προορισμού
Broadcast	όλους τους κόμβους του δικτύου
Multicast	μερικούς κόμβους προορισμού
Anycast	τους κοντινότερους κόμβους προορισμού
Geocast	προς τους κόμβους που βρίσκονται σε συγκεκριμένη περιοχή

Πίνακας 1: Σχήματα μετάδοσης δεδομένων

3.3 Τα Proactive ή Table driven Πρωτόκολλα Δρομολόγησης

Η λειτουργία των proactive πρωτοκόλλων δρομολόγησης είναι η εξής:

Κάθε κόμβος που ανήκει σε ένα mobile Ad-Hoc δίκτυο διατηρεί έναν πίνακα δρομολόγησης, ο πίνακας αυτός ενημερώνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Οι πιθανές διαδρομές μεταξύ των κόμβων δημιουργούνται προληπτικά και όχι κατ' απαίτηση. Οι κόμβοι που συμμετέχουν σε αυτές τις πιθανές διαδρομές είτε ως ενδιάμεσοι κόμβοι είτε ως αποστολείς ή παραλήπτες έχουν αποθηκευμένες τις απαραίτητες πληροφορίες στους πίνακες τους. Έτσι όταν υπάρξει κάποια μετάδοση δεδομένων από έναν κόμβο σε κάποιον άλλο χρησιμοποιείται η κατάλληλη ήδη σχηματισμένη διαδρομή για τον σκοπό αυτό. Τα mobile Ad-Hoc δίκτυα από τη φύση τους παρουσιάζουν μεγάλες μεταβολές στο πέρασμα του χρόνου. Οι μεταβολές αυτές μπορεί να έχουν σχέση με τους κόμβους που αποτελούν το δίκτυο, κόμβοι που ήταν συνδεδεμένοι στο δίκτυο αποφασίζουν να αποσυνδεθούν ή καινούργιοι κόμβοι αποφασίζουν να συνδεθούν σε αυτό. Ή να έχουν σχέση με τον όγκο των πακέτων δρομολόγησης που πλημμυρίζουν το δίκτυο σε τακτά χρονικά διαστήματα έτσι ώστε να ενημερωθούν οι πίνακες δρομολόγησης των κόμβων. Ο συγκεκριμένος τύπος πρωτοκόλλων δρομολόγησης δεν είναι πολύ αποδοτικός σε τέτοιες μεταβολές λόγω της περιοδικής ενημέρωσης των πινάκων που υπάρχουν στους κόμβους. Πολλές φορές η καθυστέρηση των ενημερώσεων αυτών έχει ως αποτέλεσμα τα απεσταλμένα δεδομένα να μη βρίσκουν ποτέ τον προορισμό τους. Ή η μεταφορά τους να καθυστερεί αισθητά λόγω της υπερφόρτωσης του δικτύου από τα πακέτα δρομολόγησης. Τα πιο γνωστά proactive πρωτόκολλα είναι το DSDV και το DSDV τα οποία αναλύονται εκτενώς σε επόμενα υποκεφάλαια.

3.3.1 Το πρωτόκολλο Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)

Το OLSR ανήκει στην κατηγορία των proactive πρωτοκόλλων που αναλύσαμε στην προηγούμενη υποενότητα. Ως τέτοιο δημιουργεί προληπτικά διαδρομές και φροντίζει για την διατήρησή τους. Σε αντίθεση με τα άλλα πρωτόκολλα που ανήκουν στην κατηγορία των proactive πρωτοκόλλων είναι ότι μεταδίδει μικρό αριθμό πακέτων ελέγχου. Το πρωτόκολλο OLSR ανήκει στην κατηγορία των πρωτοκόλλων κατάστασης σύνδεσης (link state), και μεταδίδει σύμφωνα με τον αλγόριθμο της πλημμύρας τις πληροφορίες σύνδεσης (link information).

Η λειτουργία του OLSR είναι η ακόλουθη:

Όλοι οι κόμβοι βρίσκουν τους γειτονικούς κόμβους που απέχουν από αυτούς ένα βήμα (hop) στέλνοντας πακέτα HELLO, στη συνέχεια οι κόμβοι παραλήπτες στέλνουν πακέτα απάντησης τα οποία περιέχουν τους δικούς τους γειτονικούς κόμβους που απέχουν από αυτούς ένα βήμα. Με τον τρόπο αυτό όλοι οι κόμβοι του δικτύου αποθηκεύουν στους πίνακες τους όλους τους γειτονικούς κόμβους που απέχουν από αυτούς μέχρι δύο βήματα. Κάθε ομάδα κόμβων που ανήκει σε μια γειτονιά προτείνει έναν κόμβο από όλους να παίξει τον ρόλο του Multipoint Relays (MPRs), δηλαδή του κόμβου που θα αποστέλλει ή θα μεταβιβάζει τα πακέτα δρομολόγησης.

Στη συνέχεια όταν ο πίνακας ενός κόμβου ενημερωθεί με όλους τους κόμβους που ανήκουν στην γειτονιά του, στέλνει σε όλους τους κόμβους του δικτύου τα κατάλληλα πακέτα ελέγχου Topology Control (TC). Έτσι ώστε να ενημερωθούν οι πίνακες όλων των κόμβων για την κατάσταση του δικτύου.

Είναι λογικό το συγκεκριμένο πρωτόκολλο να μεταδίδει μικρότερο αριθμό πακέτων ελέγχου, λόγω του ότι τα πακέτα ελέγχου τα στέλνουν μόνο οι Multipoint Relays της κάθε γειτονιάς και όχι όλοι οι κόμβοι που είναι μέρος αυτής.

3.3.2 Το Πρωτόκολλο Destination-Sequenced Distance Vector (DSDV)

Το DSDV πρωτόκολλο είναι και αυτό ένα proactive πρωτόκολλο όπως και το DSDV. Για να δημιουργήσει τις διαδρομές μεταξύ των κόμβων χρησιμοποιεί μια βελτιωμένη έκδοση του αλγορίθμου δρομολόγησης Bellman - Ford έτσι ώστε να αποφεύγονται τα loops. Ως proactive πρωτόκολλο λειτουργεί και αυτό περιοδικά για την ενημέρωση των πινάκων που διατηρούνται στους κόμβους του δικτύου.

Στους πίνακες δρομολόγησης των κόμβων υπάρχουν τρεις βασικές πληροφορίες ο αριθμό των βημάτων που απέχει ο κάθε κόμβος από αυτόν, όλα τα μονοπάτια από τον συγκεκριμένο κόμβο σε όλους τους άλλους, και ένας αύξων αριθμός που χαρακτηρίζει την πληροφορία για το κάθε μονοπάτι. Εάν έρθει κάποια πληροφορία σε κάποιον κόμβο με μικρότερο αύξων αριθμό ο κόμβος δεν ενημερώνει τον πίνακα του. Η ενημέρωση των πινάκων γίνεται μόνο σε αντίθετη περίπτωση. Όταν ο αύξων αριθμός της νέας πληροφορίας είναι ίδιος με τον αύξων αριθμό της υπάρχουσας πληροφορίας στον πίνακα τότε ελέγχεται εάν ο αριθμός των βημάτων είναι διαφορετικός. Και ο πίνακας ενημερώνεται μόνο αν τα βήματα της νέας διαδρομής είναι λιγότερα.

Χρησιμοποιεί την μέθοδο της πλημμύρας (flooding) για να εντοπίσει νέες διαδρομές μεταξύ των κόμβων του δικτύου. Καθώς και τα πακέτα RREQ. Ο κάθε κόμβος αποστολέας για να αποστείλει τα πακέτα δεδομένων στον κόμβο παραλήπτη δεν χρησιμοποιεί απαραίτητα το μονοπάτι με τα λιγότερα βήματα αλλά αυτό που θεωρεί ότι με αξιοπιστία θα μεταφέρει τα απεσταλμένα δεδομένα στον προορισμό τους.

Το DSDV πρωτόκολλο δρομολόγησης για να μειώσει το μέγεθος του φορτίου από τα πακέτα δρομολόγησης χρησιμοποιεί δύο τρόπους μετάδοσης του πίνακα δρομολόγησης μεταξύ των κόμβων. Ο πρώτος που είναι και ο πιο σπάνιος λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων που μεταφέρει ονομάζεται full dump (πλήρης απόρριψη) και μεταδίδει ολόκληρο τον πίνακα δρομολόγησης. Και ο δεύτερος και συχνότερος τρόπος μετάδοσης ονομάζεται small incremental packets και μεταδίδει μόνο το μέρος του πίνακα δρομολόγησης που έχει μεταβληθεί σε σχέση με την τελευταία full dump μετάδοση.

Το DSDV πρωτόκολλο δρομολόγησης είναι κατάλληλο για mobile Ad-Hoc δίκτυα τα οποία αποτελούνται από σχετικά μικρό αριθμό κόμβων οι οποίοι δεν παρουσιάζουν μεγάλη κινητικότητα. Γιατί σε δίκτυα με αυτά τα χαρακτηριστικά γίνεται μετάδοση μόνο των small incremental packets και το δίκτυο δεν επιβαρύνεται με το φόρτο των full dump πακέτων με αποτέλεσμα τα πακέτα δεδομένων να μπορούν να μεταφερθούν με μεγαλύτερη αξιοπιστία από τον κόμβο αποστολής στον κόμβο προορισμού. Και δεδομένου ότι όλες διαδρομές είναι γνωστές από κάθε κόμβο προς κάθε άλλο να γίνεται η αποστολή με ελάχιστη καθυστέρηση.

3.4 Τα Reactive ή On-Demand Πρωτόκολλα Δρομολόγησης

Μια άλλη μεγάλη κατηγορία πρωτοκόλλων δρομολόγησης για τα mobile Ad-Hoc δίκτυα είναι αυτή των reactive πρωτοκόλλων. Τα πρωτόκολλα της κατηγορίας αυτής λειτουργούν με τελείως διαφορετικό τρόπο σε σχέση με την λειτουργία των πρωτοκόλλων που ανήκουν στην proactive κατηγορία που αναπτύχθηκε παραπάνω. Τα reactive πρωτόκολλα δεν δημιουργούν προληπτικά διαδρομές αλλά μόνο στην περίπτωση που υπάρξει κάποια ζήτηση για μετάδοση δεδομένων. Τα reactive πρωτόκολλα δρομολόγησης αναζητούν διαδρομές μεταξύ των κόμβων του δικτύου όταν τις εντοπίσουν τις διατηρούν μέχρι να εντοπιστούν άλλες διαδρομές καλύτερες.

Τα proactive πρωτόκολλα με την προληπτική και περιοδική συμπεριφορά τους επιβαρύνουν αισθητά τα mobile Ad-Hoc δίκτυα που τα χρησιμοποιούν με τα πακέτα δρομολόγησης που το κατακλύζουν συγκριτικά με τα reactive πρωτόκολλα που λειτουργούν μόνο κατ' απαίτηση. Τα σημαντικά μειονεκτήματα των reactive πρωτοκόλλων είναι ότι αργούν να εντοπίσουν νέες διαδρομές μεταξύ των κόμβων καθώς και λόγω του ότι χρησιμοποιεί τη μέθοδο της πλημμύρα (flooding) για τον εντοπισμό νέων διαδρομών μπορεί να κατακλύσει το δίκτυο με μεγάλο φόρτο. Στα επόμενα υποκεφάλαια αναλύονται δύο αντιπροσωπευτικά reactive πρωτόκολλα το AODV και το DSR.

3.4.1 Το πρωτόκολλο Δρομολόγησης Ad-Hoc on-Demand Distance Vector (AODV)

Ένα από τα πιο χαρακτηριστικά reactive πρωτόκολλα που έχει δημιουργηθεί αποκλειστικά για τα mobile Ad-Hoc δίκτυα είναι το AODV. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο δρομολόγησης είναι κατάλληλο για mobile Ad-Hoc δίκτυα ανεξάρτητα από τον αριθμό των κόμβων που περιλαμβάνει αλλά και ανεξάρτητα από την διακύμανση της κινητικότητας τους. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο επιδιώκει να περιορίσει την πλεονασματική πληροφορία (overhead) για να πετύχει υψηλότερες επιδόσεις (throughput). Για να συμβεί αυτό χρησιμοποιεί κατάλληλους αύξοντες αριθμούς για τα πακέτα και κατάλληλα μηνύματα τύπου RREQ (route request), RREP (route reply) και RERR (route error)

Όλες οι διαδρομές που μεταδίδονται δεδομένα χαρακτηρίζονται από έναν μοναδικό αύξων αριθμό. Με βάση αυτόν τον αριθμό ο κόμβος αποστολής διαλέγει την καλύτερη διαδρομή για να αποφεύγεται η επανάληψη προβληματικών διαδρομών. Επίσης τους αύξοντες αυτούς αριθμούς επεξεργάζονται οι κόμβοι του δικτύου έτσι ώστε να διατηρήσουν την νέα πληροφορία και να απορρίψουν την παλιά από τους πίνακες δρομολόγησης τους.

Το AODV πρωτόκολλο δρομολόγησης για να μεταφέρει τα μηνύματα που αναφέρθηκαν παραπάνω χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο μεταφοράς User Datagram Protocol (UDP). Τα συγκεκριμένα μηνύματα χρησιμοποιούνται από το πρωτόκολλο ώστε να προσδιοριστούν

οι βέλτιστες διαδρομές για την αξιόπιστη μεταφορά των δεδομένων και να αποθηκεύονται τυχόν αλλαγές πάνω σ' αυτές.

Μόνο τα RREQ μηνύματα στέλνονται σε όλους τους κόμβους χωρίς κάποιο κριτήριο που αποστέλλονται για την ανακάλυψη νέων μονοπατιών. Στην περίπτωση που ένα κόμβος αποστολέας θέλει να μεταδώσει δεδομένα προς έναν κόμβο παραλήπτη στέλνει ένα μήνυμα του παραπάνω τύπου για να αναζητηθεί ένα μονοπάτι μεταξύ των δύο κόμβων. Αν η διαδρομή υφίσταται θεωρείται βέλτιστη και δεν αποστέλλεται κάποιο μήνυμα. Για να πιστοποιηθεί το νέο μονοπάτι θα πρέπει το μήνυμα του παραπάνω τύπου να φτάσει στον τελικό κόμβο ή σε κάποιον άλλο κόμβο που μετέχει στη δημιουργία του μονοπατιού αυτού, για τον οποίο υπάρχει ήδη η διαδρομή και να επαναπροωθηθεί από εκεί. Όταν η διαδρομή προσδιορισθεί τότε ο κόμβος παραλήπτης αποστέλλει ένα μήνυμα τύπου RREP προς όλους τους κόμβους που αποτελούν το νέο μονοπάτι και τους γνωστοποιείται το σχηματισμό του νέου μονοπατιού μεταξύ των κόμβων αποστολέα-παραλήπτη.

Η τελευταία κατηγορία των μηνυμάτων αφορά τα μηνύματα RERR. Αυτά χρησιμοποιούνται για να επισημάνουν ένα λάθος και ειδικότερα όταν υπάρχει κάποιο κενό στο μονοπάτι που ενώνει τους κόμβους αποστολέα-παραλήπτη. Για το λόγο αυτό το συγκεκριμένο μήνυμα ενημερώνει όλους τους κόμβους για τους προορισμούς με τους οποίους η επικοινωνία δεν είναι εφικτή. Αυτό επιτυγχάνεται γιατί ο κάθε κόμβος διατηρεί μια λίστα με τις διευθύνσεις των γειτόνων του και προσπαθεί να τους χρησιμοποιήσει σαν ενδιάμεσους κόμβους για τον επόμενο προορισμό.

Παρακάτω παραθέτουμε από ποια πεδία αποτελείται ο πίνακας δρομολόγησης του AODV πρωτοκόλλου.

A/A	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΔΙΟΥ
1	IP διεύθυνση του τελικού προορισμού
2	Ακολουθιακός αριθμός του προορισμού
3	Πεδίο επικύρωσης του ακολουθιακού αριθμού προορισμού
4	Διάφορα άλλα πεδία σχετικά με την κατάσταση της δρομολόγησης
5	Τύπος της διεπαφής δικτύου που χρησιμοποιείται από τον προορισμό
6	Αριθμός ενδιάμεσων κόμβων μέχρι τον προορισμό .
7	Αριθμός ΕπόμενουΚόμβου
8	Λίστα των γειτονικών κόμβων
9	Χρόνος ζωής της διαδρομής δρομολόγησης

Πίνακας 2: Στοιχεία Πεδίων Πίνακα Δρομολόγησης AODV

3.4.2 Το πρωτόκολλο Δρομολόγησης Ad Hoc On-Demand Multipath Distance Vector (AOMDV)

Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο είναι απόγονος του AODV πρωτοκόλλου δρομολόγησης, με στόχο τη δρομολόγηση πακέτων μέσω παράλληλων εναλλακτικών διαδρομών, οι οποίες είναι ασύνδετες μεταξύ τους. Με τον τρόπο αυτό ο συνολικός χρόνος μετάδοσης από τον κόμβο αποστολέα στον κόμβο παραλήπτη μειώνεται δραματικά. Και λειτουργεί ουσιαστικά όπως και το AODV πρωτόκολλο χωρίς μεγάλες διαφοροποιήσεις.

Ειδικότερα οι ακολουθίες αριθμών καθώς και η ταυτοποίηση των μονοπατιών διάδοσης μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη γίνεται ακριβώς με τον ίδιο τρόπο όπως στην προηγούμενη περίπτωση. Λόγω της πολλαπλότητας των επιλογών των διαδρομών από ένα κόμβο σε ένα άλλο, οι νέες διαδρομές αναζητούνται μόνο όταν διακοπούν όλες οι εναλλακτικές. Για να το πετύχει αυτό το AOMDV χρησιμοποιεί ένα πρωτόκολλο ανίχνευσης ασύνδετων διαδρομών και κόμβων.

Ειδικότερα, όλα τα μονοπάτια μεταξύ των ίδιων κόμβων θεωρούνται ισοδύναμα και λαμβάνουν ακριβώς τον ίδιο αύξων αριθμό ακολουθίας. Στον αριθμό αυτό συμπεριλαμβάνεται και ο αριθμός των Ad που έχει το μακρύτερο μονοπάτι. Η καινοτομία του πρωτοκόλλου είναι η λειτουργία που αναζητά ασύνδετα μονοπάτια και κόμβους στο δίκτυο. Τα ασύνδετα μονοπάτια κατηγοριοποιούνται σε δύο κατηγορίες, τα ασύνδετα σε σχέση με τους κόμβους που περιέχουν μόνο τον κόμβο αποστολέα και τον κόμβο παραλήπτη χωρίς οι ενδιάμεσοι κόμβοι να είναι ίδιοι. Και τα ασύνδετα σε σχέση με τις επιμέρους συνδέσεις που δεν περιέχουν κανένα ίδιο κόμβο ούτε καν τους κόμβους αποστολέα-παραλήπτη.

3.4.3 Το πρωτόκολλο Δρομολόγησης Dynamic Source Routing (DSR)

Ένα άλλο διαδραστικό (reactive) πρωτόκολλο δρομολόγησης είναι το DSR και είναι κατάλληλο για πολυβηματικά (multi-hop) mobile Ad-Hoc δίκτυα. Έχει την ιδιότητα να διατηρεί το overhead σε εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα. Χρησιμοποιεί πόρους του δικτύου μόνο όταν κάποια μονοπάτια αποτυγχάνουν. Διατηρεί πολλά μονοπάτια για κάθε ζεύγος αποστολέα και παραλήπτη. Ο αποστολέας μπορεί να επιλέγει μονοπάτι που οδηγεί σε μικρότερο συνωστισμό στο δίκτυο. Είναι κατάλληλο για MANET που οι κόμβοι τους

παρουσιάζουν μεγάλη κίνηση και αποδίδει ικανοποιητικά σε μεγάλους αριθμούς κόμβων (κάποιες εκατοντάδες). Βασικές λειτουργίες του είναι να βρει μια καινούργια διαδρομή (Route Discovery) και να μπορέσει να την διατηρήσει (Route Maintenance).

Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο δεν χρησιμοποιεί προληπτική-περιοδική μετάδοση πακέτων για να επιβλέπει τυχόν αλλαγές στις διαδρομές και στη συνεκτικότητα των κόμβων. Έτσι ο συνολικός φόρτος που επιβάλλει στο δίκτυο είναι ελάχιστος, όταν κάτι δεν αλλάζει σ' αυτό. Μια νέα διαδρομή ανακαλύπτεται όταν ένας κόμβος θέλει να επικοινωνήσει με έναν άλλο και δεν υπάρχει δημιουργημένη διαδρομή που τους ενώνει. Στην περίπτωση αυτή ο κόμβος αποστολέας μεταδίδει προς τους γειτονικούς του κόμβους ένα κατάλληλο μήνυμα για την εγκαθίδρυση μιας νέας διαδρομής RREQ (Route Request). Στο RREQ συμπεριλαμβάνονται ο αποστολέας, ο παραλήπτης, το μοναδικό κλειδί αναγνώρισης του αιτήματος και ο κατάλογος που περιέχονται οι κόμβοι που συμμετείχαν στην προώθηση του. Ένας κόμβος αποδέχεται ένα αίτημα δημιουργίας μιας νέας διαδρομής όταν δεν του έχει αποσταλεί νωρίτερα αίτημα που να περιέχει τα ίδια στοιχεία δηλαδή θα πρέπει να είναι διαφορετικό ένα τουλάχιστον στοιχείο (παραλήπτης, αποστολέας ή το κλειδί αναγνώρισης του αιτήματος) και δεν υπάρχει σε κάποιον από τους καταλόγους των κόμβων που συμμετέχουν στην προώθηση του αιτήματος, αυτό θα σήμαινε ότι η διαδρομή υπάρχει ήδη.

Όταν το RREQ φτάσει στον κόμβο παραλήπτη σημαίνει ότι το μονοπάτι είναι έτοιμο προς χρήση και τότε αυτός με τη σειρά του απαντά στον κόμβο-αποστολέα μέσω της νέο δημιουργημένης διαδρομής με κατάλληλο μήνυμα RREP (Route Reply). Αν δεν μπορεί το μήνυμα αυτό για κάποιο λόγο να μεταδοθεί τότε ξεκινά από τον κόμβο παραλήπτη από την αρχή η λειτουργία για την δημιουργία της διαδρομής έτσι ώστε να φτάσει στον αρχικό κόμβο.

Μια διαδρομή συντηρείται από το πρωτόκολλο, εφόσον οι κόμβοι που την αποτελούν λαμβάνουν τα μηνύματα που τους αφορούν. Για το σκοπό αυτό γίνονται αιτήσεις για απάντηση καθώς και έλεγχοι στις αναμεταδόσεις. Το DSR διαθέτει για τη συντήρηση μιας διαδρομής δυο κατάλληλα πακέτα. Τα πακέτα αυτά είναι τα:

Πακέτα αναγνώρισης: στέλνονται για να επιβεβαιωθεί ότι η λειτουργία του μονοπατιού είναι σωστή.

Πακέτα λάθους: στέλνονται όταν διαπιστωθεί κάποια ασυνέχεια μεταξύ των κόμβων που συνθέτουν το μονοπάτι.

3.5 Υβριδικά (Hybrid) πρωτόκολλα δρομολόγησης

Τα πρωτόκολλα των παραπάνω κατηγοριών δεν επιφέρουν την μέγιστη απόδοση σε όλες τις μεταβολές που πιθανώς να εμφανιστούν κατά τη διάρκεια του χρόνου σε ένα mobile Ad-Hoc δίκτυο. Αυτό κατέστησε απαραίτητο την ανάπτυξη άλλων πρωτοκόλλων δρομολόγησης τα οποία να μπορούν να χρησιμοποιούν συνδυαστικά τα proactive και τα reactive πρωτόκολλα δρομολόγησης. Τα πρωτόκολλα αυτά είναι γνωστά ως υβριδικά. Τα πρωτόκολλα αυτά ξεκινούν να λειτουργούν ως proactive για να εντοπίσουν όλες τις πιθανές διαδρομές μεταξύ των κόμβων του δικτύου και σε περίπτωση δημιουργίας προβλήματος αρχίζουν την reactive λειτουργία χρησιμοποιώντας ειδικούς αλγορίθμους για τον σκοπό αυτό. Παρόλο που θεωρητικά είναι η τέλεια λύση για τα συγκεκριμένα δίκτυα στην πραγματικότητα παρουσιάζουν αρκετά προβλήματα. Έτσι ώστε να μην επιφέρουν την αναμενόμενη αποτελεσματικότητα ειδικά σε περιπτώσεις δικτύων που εμφανίζουν μεγάλη διακίνηση δεδομένων και οι κόμβοι που αποτελούν το δίκτυο είναι πολλοί. Ένα τέτοιο πρωτόκολλο δρομολόγησης είναι το ZRP (Zone Routing Protocol).

3.6 Το Πρωτόκολλο Δρομολόγησης Greedy Perimeter Stateless Routing (GPSR)

Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο διαφοροποιείται σε σχέση με τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που αναπτύχθηκαν παραπάνω ως προς το πως δημιουργεί τα μονοπάτια μεταξύ των κόμβων του δικτύου. Βασίζεται στην πληροφορία της γεωγραφικής θέσης των κόμβων αποστολέα-παραλήπτη έτσι ώστε να βρει την καλύτερη (συντομότερη σε σχέση με τη θέση τους) διαδρομή που τους ενώνει. Χρησιμοποιώντας κάποιο GPS ολόκληρο το σύνολο των κόμβων ανακαλύπτει το που βρίσκονται οι γειτονικοί τους κόμβοι και μεταφέρουν την πληροφορία αυτή προς όλους τους άλλους με περιοδική εκπομπή μηνυμάτων HELLO χρησιμοποιώντας την greedy μέθοδο. Έτσι συμπληρώνουν τους πίνακες δρομολόγησης τους ο καθένας με το που βρίσκονται ακριβώς οι κόμβοι της γειτονιάς τους. Όταν ένας κόμβος αποστολέας ξεκινήσει τη μετάδοση δεδομένων προς κάποιον άλλο κόμβο προωθεί μαζί και τις συντεταγμένες του κόμβου που θέλει να τα

λάβει. Και έχοντας σαν κριτήριο την γεωγραφική απόσταση (επιλέγεται η συντομότερη του ενδιάμεσου κόμβου και του κόμβου παραλήπτη) μεταδίδει τα δεδομένα στον ενδιάμεσο κόμβο. Αν αυτό αποτύχει χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι ανάκαμψης.

Κεφάλαιο 4: Παράμετροι απόδοσης Δικτύων MANET: Μοντέλα Κινητικότητας - Μοντέλα Διάδοσης-Τύπος Κίνησης Δεδομένων

4.1 Μοντέλα κινητικότητας

Προκειμένου να μελετηθούν με λεπτομέρεια τα δίκτυα MANETs απαιτείται η ύπαρξη της δυνατότητας προσομοίωσης τους. Με τη σειρά τους, τα μοντέλα προσομοίωσης προκειμένου να εκτελεστούν με οποιοδήποτε εργαλείο προσομοίωσης απαιτούν την όσο το δυνατό ακριβέστερη γνώση του πλήθους των κόμβων καθώς και του τρόπου που οι συγκεκριμένοι κόμβοι κατανέμονται τοπικά στον καμβά εμβέλειας του δικτύου ως συνάρτηση του χρόνου ύπαρξής τους μέσα στο MANET. Ακριβώς η παραπάνω συνάρτηση ορίζεται ως **μοντέλο κινητικότητας του δικτύου**.

Τα μοντέλα κινητικότητας που υπάρχουν για την προσομοίωση των mobile Ad-Hoc networks είναι τα:

(α) Τα μοντέλα ίχνους: Συντίθενται από διαγράμματα κίνησης των κόμβων όπως αυτά παρατηρούνται σε πραγματικό χρόνο. Έχουν το χαρακτηριστικό να παραθέτουν επ' ακριβώς την πληροφορία, αφού βέβαια το συγκεκριμένο σύστημα που προσομοιώνεται παρατηρηθεί για αρκετό χρόνο ώστε να φτάσει σε μία σταθερή κατάσταση (steady state) σε αντίθεση με τη μεταβατική κατάσταση (transit state). Ακριβώς επειδή απαιτείται μεγάλος χρόνος παρατήρησης για την αποτύπωση όλων των ιχνών των κόμβων και αυτό είναι ιδιαίτερα δύσκολο λόγω της δυναμικής φύσης των MANET. Για το λόγο αυτό, δημιουργήθηκε μια δεύτερη, πιο εύχρηστη κατηγορία μοντέλων κινητικότητας, τα συνθετικά μοντέλα.

(β) Συνθετικά Μοντέλα: Τα συνθετικά μοντέλα, επιχειρούν με τη χρήση μαθηματικών εξισώσεων να προβλέψουν τη κίνηση των κόμβων στο περιβάλλον ενός MANET.

Σε κάθε περίπτωση τα μοντέλα κινητικότητας πρέπει να διαθέτουν τα παρακάτω γενικά χαρακτηριστικά:

- Να είναι όσο το δυνατό πιο ακριβή στην εξομοίωση των κόμβων που περιγράφουν
- Να προβλέπονται ασύμμετρες αλλαγές τόσο στην ταχύτητα όσο και στην κατεύθυνση των μετακινούμενων κόμβων
- Να λαμβάνουν υπόψη κατά τον βέλτιστο τρόπο τις πραγματικές συνθήκες μετακίνησης των κόμβων σε αντίστοιχα περιβάλλοντα (πχ πυκνό αστικό, ημιαστικό κλπ.)

Στη συνέχεια του κεφαλαίου, θα παρουσιάσουμε κάποια μοντέλα της κατηγορίας αυτής που έχουν χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση δικτύων MANET.

4.2 Ατομικά Μοντέλα Κινητικότητας

Τα ατομικά μοντέλα κινητικότητας ονομάζονται έτσι διότι η κίνηση κάθε κόμβου είναι ατομική, δηλαδή δεν εξαρτάται από τον τρόπο κίνησης των γειτονικών του κόμβων. Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε διάφορες υποκατηγορίες των ατομικών μοντέλων.

Στα συγκεκριμένα μοντέλα οι κόμβοι κινούνται απρόβλεπτα στο χρόνο και στο χώρο. Δεν υπάρχουν μαθηματικοί νόμοι που να περιορίζουν την κίνηση και τις παραμέτρους της, δηλαδή τη θέση ενός κόμβου και την ταχύτητά του. Επίσης η επόμενη θέση όπως και το επόμενο διάνυσμα της ταχύτητας ενός κόμβου δεν είναι συνάρτηση της προηγούμενης κατάστασής του. Αυτό με τη σειρά του σημαίνει ότι η θέση και η ταχύτητα ενός κόμβου σε ένα τέτοιο μοντέλο είναι στιγμιότυπα κίνησης Brown, με ανεξαρτησία μνήμης (Memoryless Brownian Motion)

Υποκατηγορίες Ατομικών Μοντέλων:

ΑΤΟΜΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
Μοντέλο Κινητικότητας Τυχαίας Κατεύθυνσης (Random Direction Mobility Model)
Μοντέλο Κινητικότητας Τυχαίων Στάσεων (Random Waypoint Mobility Model)
Μοντέλο Κινητικότητας Τυχαίου Περιπάτου (Random Walk Mobility Model).
Μοντέλο Κινητικότητας Gauss Markov.
Ομαλό Τυχαίο Μοντέλο Κινητικότητας (Smooth Random Mobility Model)
Μοντέλο Κινητικότητας Περιοχής Προσομοίωσης Χωρίς Σύνορα (Boundless Simulation Area Mobility Model)
Μοντέλα κινητικότητας με γεωγραφικό προορισμό (Mobility models with Geographical Restriction)
Μοντέλο Κινητικότητας Τμήματος Πόλης (City Section Mobility Model)
Μοντέλο Κινητικότητας Μονοπατιού (Pathway Mobility Model)
Μοντέλο Κινητικότητας Με Εμπόδια (Obstacle Mobility Model)

Πίνακας 3: Υποκατηγορίες των Ατομικών Μοντέλων Κινητικότητας

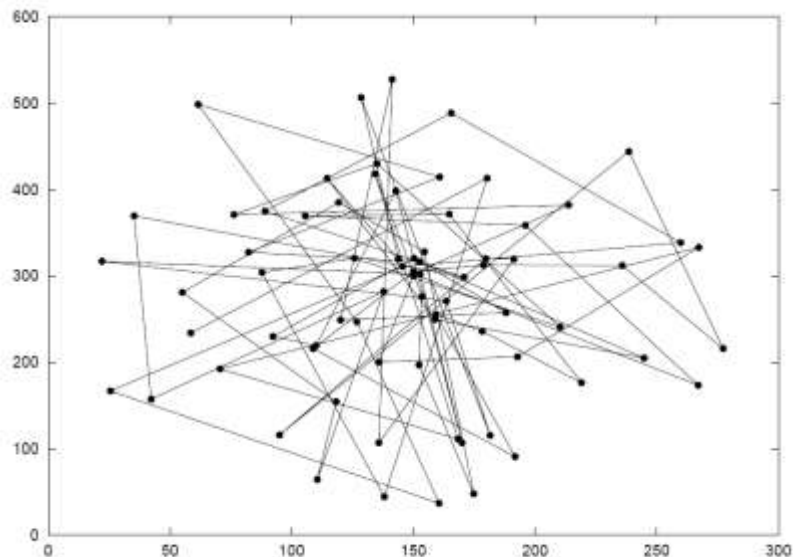
Για τα δύο πρώτα μοντέλα θα μιλήσουμε αναλυτικότερα στη συνέχεια του κεφαλαίου αυτού.

Το Random Walk Mobility Model παρουσιάστηκε από τον Einstein με σκοπό να δείξει τα πως κινούνται στη φύση τα διάφορα σωματίδια. Σε γενικές γραμμές τα χαρακτηριστικά του είναι τα παρακάτω.

Ο κάθε κόμβος μετατοπίζεται από την υφιστάμενη σε μία νέα θέση επιλέγοντας «ψευδοτυχαία» τόσο την ταχύτητα όσο και την κατεύθυνσή του. Η επιλογή της ταχύτητας γίνεται «ψευδοτυχαία» διότι αφορά επιλογή από ένα δοθέν σύνολο ταχυτήτων, ενώ η πιθανότητα της επιλογής ακολουθεί την κατανομή Gauss.

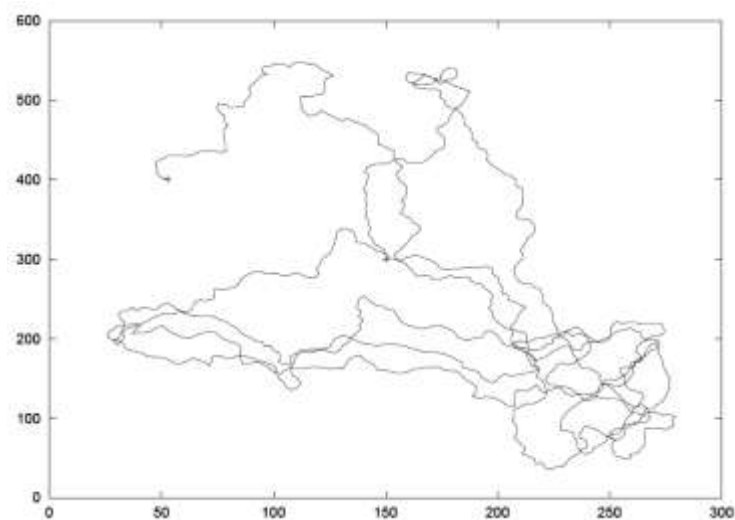
Οι αλλαγές στην κατεύθυνση και στην ταχύτητα συμβαίνουν κατά κβαντισμένο τρόπο, μπορούν δηλαδή να προκύψουν είτε μετά από ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα το οποίο είναι κοινό για όλους τους κόμβους είτε μετά από τη διάνυση μιας προκαθορισμένης απόστασης. Αν ο κόμβος εξαντλήσει το όριο της εμβέλειας ενός MANET τότε είναι υποχρεωμένος να γυρίσει σε τυχαία θέση εντός του MANET και να

ξαναρχίσει να κινείται τυχαία από αυτή ακολουθώντας το νόμο του φαινομένου του συνόρου. Βέβαια η υπόθεση αυτή δεν είναι ρεαλιστική για όλες τις εφαρμογές των MANET καθώς είναι δυνατό κάποιοι κόμβοι να εγκαταλείπουν το δίκτυο φτάνοντας στο σύνορό του.



Εικόνα 1: Μοντέλο κινητικότητας Τυχαίου Περιπάτου

Το Μοντέλο Κινητικότητας Gauss – Markov επινοήθηκε από τους Liang και Haas. Ο σκοπός ήταν αρχικά να προσομοιωθεί ένα προσωπικό σύστημα επικοινωνιών. Η χρήση του διευρύνθηκε αργότερα για να προσομοιωθούν και μοντέλα MANETs. Η λογική του μοντέλου είναι ότι κάθε κόμβος ανανεώνει σε τακτά χρονικά διαστήματα τόσο την ταχύτητα όσο και την κατεύθυνσή του όπως φαίνεται στην εικόνα 4.2.



Εικόνα 2: Μοντέλο Κινητικότητας Gauss-Markov

Ομαλό Τυχαίο Μοντέλο Κινητικότητας (Smooth Random Mobility Model): Το μοντέλο αυτό θεωρεί τόσο την κατεύθυνση όσο και την ταχύτητα συναρτήσεις του χρόνου που ακολουθούν τη στατιστική κατανομή Poisson, έτσι ώστε η ταχύτητα του κόμβου την επόμενη χρονική στιγμή να είναι σύμφωνη με τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας Poisson. Η αλλαγή της κατεύθυνσης μπορεί να συμβεί τυχαία μέσα από μια ομοιόμορφη κατανομή άντλησης της επόμενης γωνίας αλλαγής κατεύθυνσης σε διάστημα από 0 έως 360 μοίρες.

Μοντέλο Κινητικότητας Περιοχής Προσομοίωσης Χωρίς Σύνορα (Boundless Simulation Area Mobility Model): Αυτό είναι το πρώτο από τα μοντέλα όπου τόσο η επόμενη κατεύθυνση όσο και η επόμενη ταχύτητα του κόμβου εξαρτώνται από τις αντίστοιχες τρέχουσες παραμέτρους μέσω μιας ημιτονοειδούς συνάρτησης μεταβολής.

Στο παραπάνω μοντέλο γίνεται επίσης μια πολύ ειδική παραδοχή για το τι συμβαίνει σε ένα κόμβο όταν αυτός φτάνει στο σύνορο της εμβέλειας του MANET. Συγκεκριμένα κατά το συγκεκριμένο μοντέλο ο κόμβος υποχρεούται να επιστρέψει αντιδιαμετρικά και να αρχίσει να κινείται εντός του χώρου εμβέλειας του MANET. Με τον τρόπο αυτό οι κόμβοι μπορούν και κινούνται ανεμπόδιστα σε μία τοροειδή επιφάνεια, ωστόσο το φυσικό ανάλογο αυτού του μοντέλου κάνει περιοριστική τη χρήση του σε πληθώρα εφαρμογών.

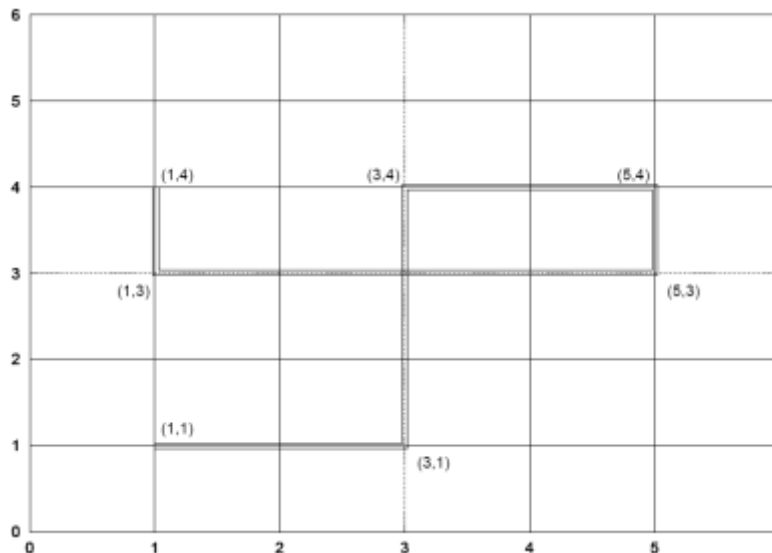
Μοντέλα κινητικότητας με γεωγραφικό προορισμό (Mobility models with Geographical Restriction).

Σε όλα τα προηγούμενα μοντέλα δεν υπήρχε περιορισμός της κίνησης των κινητών κόμβων σε σχέση με τα όρια της περιοχής προσομοίωσης. Κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει στην πράξη, γιατί είναι προφανές πως η κίνηση ενός κόμβου δεν μπορεί να είναι ανεξάρτητη από το περιβάλλον του. Πρακτικά παραδείγματα αποτελούν η κίνηση των αυτοκινήτων εντός των πόλεων, η κίνηση των φοιτητών σε πανεπιστημιούπολεις κλπ. Αυτό σημαίνει ότι ναι μεν η κίνηση των κόμβων είναι ψευδοτυχαία αλλά δεν μπορεί να ξεφεύγει από προκαθορισμένα μονοπάτια (pattern paths).

Με τον τρόπο αυτό εξειδικεύτηκαν κάποια πιο ρεαλιστικά μοντέλα κινητικότητας κόμβων, τα Μοντέλα Κινητικότητας με Γεωγραφικό Περιορισμό. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα παρακάτω μοντέλα:

Μοντέλο Κινητικότητας Τμήματος Πόλης (City Section Mobility Model): Το συγκεκριμένο μοντέλο σχεδιάστηκε για να προσομοιώσει όσο το δυνατό ακριβέστερα τη κίνηση ενός κόμβου μέσα στην πόλη, όπου υπάρχουν τόσο τα φυσικά εμπόδια όσο και οι κανόνες οδικής κυκλοφορίας. Οι κανόνες κίνησης του κάθε κόμβου εξαρτώνται από την πόλη ή το αστικό περιβάλλον το οποίο προσομοιώνεται και μεταβάλλονται όταν αυτή αλλάζει. Το μονοπάτι κίνησης για κάθε κόμβο μεταξύ δύο σημείων υπολογίζεται με βάση το μικρότερο χρόνο κίνησης. Αφού φτάσει ο κόμβος στον προορισμό του, το μοντέλο υποθέτει ότι γίνεται παύση της κίνησης του κόμβου για ένα τυχαίο χρονικό διάστημα και στη συνέχεια επιλέγεται τυχαία ένας επόμενος προορισμός, οπότε η διαδικασία επαναλαμβάνεται από την αρχή. Το μοντέλο είναι σε ερευνητική διαδικασία

διεύρυνσης ώστε να συμπεριλαμβάνει στάση των κινούμενων κόμβων σε φανάρια κίνησης, να συνυπολογίζει στατιστικές επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις και συνωστισμό (traffic jam) των κόμβων σε κάποια σημεία της πόλης για κάποιες ώρες της ημέρας (rush hours).



Εικόνα 3: Μοντέλο Κινητικότητας Τμήματος Πόλης

Μοντέλο Κινητικότητας Μονοπατιού (Pathway Mobility Model): Το μοντέλο αποτελεί μια ελαφρά τροποποίηση του προηγούμενου. Δημιουργεί για κάθε πόλη ή περιοχή προσομοίωσης ένα γράφημα αποτύπωσης δρόμων, κτιρίων, φαναριών κυκλοφορίας κλπ. Οι κόμβοι τοποθετούνται τυχαία σε αυτό το γράφημα και επιλέγεται για τον καθένα από αυτούς τυχαία ο προορισμός του. Για την κίνηση προς κάθε προορισμό χρησιμοποιείται ο κανόνας της συντομότερης διαδρομής, ενώ ο κάθε κόμβος που φτάνει στον προορισμό του σταματά για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα το ίδιο για κάθε κόμβο. Μετά το πέρας του συγκεκριμένου διαστήματος όλοι οι κόμβοι επαναεπιλέγουν τον επόμενο προορισμό τους και η ακολουθία επαναλαμβάνεται μέχρι το πέρας της προσομοίωσης.

Μοντέλο Κινητικότητας Με Εμπόδια (Obstacle Mobility Model): Ένα από τα προβλήματα τα οποία δεν συμπεριλαμβάνουν τα παραπάνω μοντέλα είναι αυτό των φυσικών εμποδίων που παρατηρούνται στις διαδρομές των κόμβων, τα οποία επιδρούν και στην ποιότητα της αποκάλυψης. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκαν τρεις τρόποι κινητικότητας από τους Poisson, Gauss και Allman τα οποία καταφέρνουν να αναπαραστήσουν τον τρόπο που μετακινούνται οι κινητοί χρήστες σε πραγματικές συνθήκες. Τα σενάρια αυτά είναι τα παρακάτω:

Σενάριο συνεδρίου (Conference scenario): Θεωρεί πενήντα συνέδρους παρόντες στο χώρο ενός συνεδρίου, από τους οποίους η πλειοψηφία είναι ακίνητοι ενώ επιτρέπεται ένας ελάχιστος βαθμός κινητικότητας.

Σενάριο κάλυψης γεγονότος (Event Coverage scenario): Αντίθετα με το προηγούμενο το σενάριο αυτό περιγράφει μια ομάδα κινητών κόμβων που αλλάζουν με υψηλή συχνότητα τις θέσεις τους.

Σενάρια Βοήθειας σε Καταστροφές (Disaster Relief scenarios): Το σενάριο αυτό επιμερίζει τους κόμβους σε δύο υποομάδες, από τις οποίες η μία κινείται πολύ γρήγορα και η άλλη πολύ αργά

Για να υλοποιηθούν τα παραπάνω σενάρια τα φυσικά εμπόδια τοποθετούνται τυχαία στο χώρο της προσομοίωσης, ενώ οι κόμβοι μετακινούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να τα αποφεύγουν πάνω σε συγκεκριμένα μονοπάτια με ψευδοτυχαίο κόμβο μέχρι την

4.3 Ομαδικά μοντέλα κινητικότητας

Στην προηγούμενη ενότητα περιγράψαμε τα ατομικά μοντέλα κινητικότητας όπου ο κάθε κόμβος μετακινείται αυτόνομα στο δίκτυο, ανεξάρτητα από τον τρόπο μετακίνησης των υπολοίπων. Υπάρχουν όμως και πρακτικές περιπτώσεις όπου αυτό δεν συμβαίνει. Παραδείγματα αποτελούν:

- Η κίνηση ομάδων στρατιωτών
- Η κίνηση ομάδων εργατών σε μεταλλεία

Για να μπορέσουν να προσομοιωθούν τα δίκτυα MANET σε τέτοιες περιπτώσεις απαιτείται επομένως η ανάπτυξη ειδικών μοντέλων κινητικότητας που λαμβάνουν υπόψη τις ομαδικές κινήσεις. Στη συνέχεια της ενότητας αυτής θα παρουσιάσουμε τα πιο διαδεδομένα από τα μοντέλα αυτής της κατηγορίας, τα οποία όπως είναι αναμενόμενο, παρουσιάζουν στενή σύνδεση. Ένα μοντέλο της παραπάνω κατηγορίας είναι το Ομαδικό Μοντέλο Κινητικότητας Σημείου Αναφοράς (Reference Point Group Mobility model - RPGM).

Το Ομαδικό Μοντέλο Κινητικότητας Σημείου Αναφοράς (RPGM) χρησιμοποιείται προκειμένου να αναπαραστήσει την τυχαία κίνηση μιας ομάδας κινητών κόμβων. Ένα υποσύνολο των κόμβων που ανήκουν στην ομάδα ορίζεται ως κέντρο αυτής. Ο τρόπος που κινείται το κέντρο (πυρήνας) της ομάδας καθορίζει και τον τρόπο που θα κινηθούν όλοι οι υπόλοιποι κόμβοι τόσο ως προς την κατεύθυνση όσο και ως προς την ταχύτητα.

Μερικά από τα σενάρια κίνησης που μπορεί να αναπαραστήσει το συγκεκριμένο ομαδικό μοντέλο είναι τα παρακάτω:

Ομαδικά Μοντέλα Κινητικότητας
Μοντέλο Κινητικότητας Χώρου Ευθύνης (In-Place Mobility Model)
Μοντέλο Κινητικότητας Επικάλυψης (Overlap Mobility Model)
Μοντέλο Κινητικότητας Συνεδρίου (Convention Mobility Model)
Μοντέλο Κινητικότητας Στήλης (Column Mobility Model)
Ομαδικό Μοντέλο Κινητικότητας Καταδίωξης (Pursue Group Mobility Model)
Μοντέλο Κινητικότητας Νομαδικής Κοινότητας (Nomadic Community Mobility Model)

Πίνακας 4: Ομαδικά Μοντέλα Κινητικότητας

Ομαδικό Μοντέλο Κινητικότητας Καταδίωξης (Group Group Mobility Model): Στο συγκεκριμένο μοντέλο ο ένας κόμβος επιλέγεται ως στόχος και όλοι οι υπόλοιποι κινούνται προκειμένου να βρίσκονται σε εγγύτητα με αυτόν καταδιώκοντάς τον. Η νέα θέση του κόμβου στόχου προκύπτει από μία μοναδική εξίσωση ανανέωσης.

Μοντέλο Κινητικότητας Νομαδικής Κοινότητας (Ratio Mobility Model): Το μοντέλο αυτό υποδιαιρεί τους κόμβους σε επιμέρους πληθυσμούς. Ο κάθε πληθυσμός (ομάδα κόμβων) κινείται νομαδικά σε σχέση με τους υπόλοιπους ακολουθώντας το δικό του μοντέλο κινητικότητας.

4.4 Μοντέλο Κινητικότητας Τυχαίων Στάσεων (Random Waypoint Mobility Model)

Το συγκεκριμένο ατομικό μοντέλο αναπτύχθηκε από τους Brownian και Maltz. Είναι ένα ευρέως διαδεδομένο μοντέλο κινητικότητας για τα MANET δίκτυα τόσο για την απλή δομή του όσο και για την απλότητα των αλγορίθμων που εμπλέκονται σε αυτό.

Σύμφωνα με το παραπάνω μοντέλο, ο κάθε κόμβος επιλέγει τυχαία ένα προορισμό καθώς και μια αρχική ταχύτητα κίνησης. Οι τιμές αυτές προέρχονται συνήθως από ομοιόμορφη πιθανοτική κατανομή. Μόλις ο κόμβος φτάσει στον προορισμό του σταματά για ορισμένο χρόνο (διάστημα παύσης) για να επιλέξει τυχαία τον επόμενο προορισμό και την ταχύτητά του.

Οι κόμβοι στο συγκεκριμένο χωρικό πεδίο που προσομοιώνεται κατανέμονται ομοιόμορφα στο χώρο. Αυτή η αρχική ιδιότητα κατανομής των κόμβων δεν είναι χαρακτηριστική για όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης, αλλά είναι δυνατό κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης να βρεθούν πυκνώσεις και αραιώματα ανάλογα με τη συγκέντρωση των κόμβων. Ορίζουμε για το μοντέλο αυτό ως «γείτονα» κάθε κόμβου οποιονδήποτε μπορεί να βρεθεί σε απόσταση αποστολής ή λήψης δεδομένων από αυτόν. Ο αριθμός των γειτόνων κάθε κόμβου ορίζει τη συνεκτικότητα του δικτύου και είναι καθοριστικός για την αξιοπιστία του αφού ένα δίκτυο είναι τόσο πιο αξιόπιστο όσο είναι και πιο συνεκτικό.

4.5 Μοντέλο Κινητικότητας Τυχαίας Κατεύθυνσης (Random Direction Mobility Model)

Το συγκεκριμένο ατομικό μοντέλο κινητικότητας αναπτύχθηκε από τους Royer, Melliard-Smith και Moser . Ο λόγος ανάπτυξής του ήταν να ανταποκριθεί στα προβλήματα που προκύπτουν στην πράξη από τη μη ομοιόμορφη κατανομή των κόμβων στο χώρο, για να αποφεύγονται μεγάλες συγκεντρώσεις των κόμβων σε συγκεκριμένες περιοχές του χώρου που προσομοιώνεται. Το μοντέλο υποθέτει ότι οι κόμβοι συσσωρεύονται προς το κέντρο της περιοχής προσομοίωσης. Αν συσσωρευτούν σε κάποιο άλλο σημείο τότε για να φτάσουν σ' αυτό θα πρέπει υποχρεωτικά να περάσουν από το κέντρο της περιοχής. Αυτό σημαίνει ότι οι κόμβοι συγκλίνουν και αποκλίνουν τακτικά κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.

Με τις παραπάνω υποθέσεις, κάθε κόμβος στο συγκεκριμένο μοντέλο έχει στατιστικά μεσοσταθμικά τον ίδιο αριθμό γειτόνων, γεγονός που οδηγεί σε μια μακροσκοπικά σταθερή συμπεριφορά του δικτύου. Ο τρόπος επιλογής της θέσης αλλά και της ταχύτητας με την οποία κινείται ένας κόμβος είναι ίδιος με εκείνα που προσδιορίζονται από το Μοντέλο Κινητικότητας Τυχαίου Περιπάτου. Αν ο κόμβος κινούμενος φτάσει στο σύνορο της περιοχής προσομοίωσης, τότε διακόπτει την κίνησή του για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Στη συνέχεια επιλέγει μια γωνία κατεύθυνσης επιστροφής μεταξύ 0 και 180 μοιρών και επιστρέφει στο χώρο της προσομοίωσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο αριθμός των κόμβων του δικτύου να διατηρείται σταθερός καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης.

Μια τροποποιημένη μορφή του Μοντέλου Κινητικότητας Τυχαίας Κατεύθυνσης είναι το Τροποποιημένο Μοντέλο Κινητικότητας Τυχαίας Κατεύθυνσης (Modified Random Direction Mobility Model). Στο μοντέλο αυτό οι κόμβοι κινούνται με τυχαιότητα αλλά δεν φτάνουν ποτέ στο σύνορο του χώρου προσομοίωσης και να αναγκαστούν να επιστρέψουν εντός του αρχικού χώρου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το συγκεκριμένο μοντέλο να παρουσιάζει μικρότερες διακυμάνσεις στην πυκνότητα κόμβων σε σχέση με το αρχικά μη τροποποιημένο.

4.6 Απώλειες Ισχύος κατά τη Διαδρομή ασύρματης ακτινοβολίας (Pathloss)

Ένα άλλο φαινόμενο το οποίο επηρεάζει την απόδοση των MANET εκτός από τη κινητικότητα των κόμβων, είναι και ο τρόπος διάδοσης της ασυρματικής ακτινοβολίας και οι απώλειες που προκύπτουν από αυτόν. Αν και με βάση τις εξελίξεις της τεχνολογίας η ασύρματη επικοινωνία αποτελεί ένα αξιόπιστο πλέον μέσο μετάδοσης, ωστόσο υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα επικοινωνίας μέσω ασύρματων μέσων. Ενδεικτικοί παράγοντες είναι οι σχετικές θέσεις πομπών και δεκτών, οι ανακλάσεις του σήματος λόγω εμποδίων, ο ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος κλπ. Τα

φαινόμενα που επηρεάζουν την ποιότητα είναι γνωστά ως απώλειες διαδρομής (Pathless) και απώλειες λόγω της σκίασης (Shadowing).

Παρατηρούνται απώλειες διαδρομής είτε όταν διαχέεται το σήμα που μεταδίδει ο πομπός είτε όταν εμφανίζονται προβλήματα στο κανάλι διάδοσης. Όλα τα μοντέλα που αναπτύχθηκαν για την μελέτη των απωλειών διαδρομής, υποθέτουν ότι εξαρτώνται μόνο από την απόσταση πομπού – δέκτη.

Οι απώλειες σκίασης οφείλονται σε φυσικά εμπόδια που παρεμβάλλονται ανάμεσα στον πομπό και τον δέκτη. Η ισχύς του σήματος που εκπέμπεται περιορίζεται λόγω των επιμέρους φαινομένων της απορρόφησης, της ανάκλασης, της διάθλασης και της περίθλασης.

Οι απώλειες διαδρομής είναι πιο έντονες σε αποστάσεις μεταξύ των κόμβων ανάμεσα σε στα εκατό έως τα χίλια μέτρα. Οι απώλειες λόγω σκίασης προκύπτουν σε αποστάσεις των δέκα έως εκατό μέτρων, όταν υπάρχουν φυσικά εμπόδια σε αυτά τα μήκη.

Παρακάτω θα περιγράψουμε τις μαθηματικές εξισώσεις που περιγράφουν τα συγκεκριμένα φυσικά φαινόμενα.

Με P_{π} ονομάζουμε την ισχύ του εκπεμπόμενου σήματος από τον πομπό που αντιστοιχεί σε ένα κόμβο. Με P_{δ} ονομάζουμε την αντίστοιχη ισχύ που λαμβάνεται στο δέκτη, έχοντας λάβει υπόψη όλων των ειδών τις απώλειες. Ο λόγος

$$P_{Loss} = P_{\pi}/P_{\delta}$$

ονομάζεται Γραμμική Απώλεια Διαδρομής Καναλιού.

Μπορούμε να μετατρέψουμε την παραπάνω σχέση, σε κλίμακα απώλειας decibel (dB) ως εξής:

$$P_{Loss} = 10 \log_{10} P_{\pi}/P_{\delta}$$

Είναι προφανές ότι, εφόσον η λαμβανόμενη ισχύς είναι μικρότερη της εκπεμπόμενης λόγω απωλειών, η γραμμική απώλεια διαδρομής καναλιού είτε μετρούμενη ως απόλυτο μέγεθος είτε μετρούμενη σε dB είναι ένας θετικός αριθμός. Ο αντίθετός του P_G ονομάζεται κέρδος (gain) της διαδρομής και ορίζεται σε (dB) ως: $P_{GAIN} = -P_{Loss}$.

4.6.1 Απώλειες Ελεύθερου Χώρου

Προκειμένου να αναλύσουμε περαιτέρω τα φαινόμενα που επιδρούν στη διάδοση εισάγουμε τον όρο Απώλειες Διαδρομής Ελεύθερου Χώρου ως το λόγο της ισχύος που εκπέμπει ένας κόμβος διαιρούμενης με την αντίστοιχη λαμβανόμενη ισχύ, σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον προσομοιούμενης διάδοσης. Το παραπάνω φυσικό μέγεθος είναι μονοσήμαντη συνάρτηση της απόστασης, αφού ο χώρος διάδοσης θεωρείται ελεύθερος εμποδίων. Ο τρόπος υπολογισμού των απωλειών λόγω ελεύθερου χώρου

μπορεί να είναι είτε εμπειρικός είτε αναλυτικός, και σαφώς το πρόβλημα του ακριβούς υπολογισμού των εμποδίων δυσκολεύει αν ληφθούν υπόψη τα φυσικά εμπόδια που ανακύπτουν στο περιβάλλον διάδοσης. Τα διάφορα μοντέλα διάδοσης σήματος που έχουν προκύψει προσπαθούν να εξαρτήσουν τις απώλειες από περισσότερες παραμέτρους όπως χαρακτηριστικά μπορεί να είναι η συχνότητα εκπομπής του σήματος, τα χαρακτηριστικά του χώρου διάδοσης καθώς και ο τύπος των κεραιών τόσο στον πομπό όσο και στον δέκτη.

Ας υποθέσουμε λοιπόν ότι σε ένα MANET ένας κόμβος εκπέμπει σε ένα άλλο κόμβο που βρίσκεται σε απόσταση d . Για την απλή περίπτωση υποθέτουμε ότι η εκπομπή γίνεται χωρίς την παρουσία φυσικών εμποδίων και η διάδοση γίνεται ανεμπόδιστα κατά μήκος μιας ευθείας γραμμής. Αυτός ο τρόπος διάδοσης είναι γνωστός στις ραδιοεπικοινωνίες ως διάδοση με οπτική επαφή (Line Of Sight) και το αντίστοιχο σήμα που λαμβάνεται καλείται σήμα LOS.

Η απώλεια διαδρομής ελευθέρου χώρου έχει σαν αποτέλεσμα το λαμβανόμενο σήμα $r(t)$ να έχει ως προς το εκπεμπόμενο σήμα $u(t)$ την μορφή:

$$r(t) = \Re \left\{ \frac{\lambda e^{-j2\pi d/\lambda} \sqrt{G_1}}{4\pi d} u(t) e^{j2\pi f_c t} \right\}$$

Στην παραπάνω εξίσωση $\sqrt{G_1}$ είναι το κέρδος της λήψης και της μετάδοσης του διαγράμματος ακτινοβολίας της κεραιάς στην κατεύθυνση διάδοσης του σήματος. Η μετατόπιση φάσης $e^{-j2\pi d/\lambda}$ οφείλεται στην απόσταση d του πομπού από τον δέκτη λόγω του φαινομένου Doppler.

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι ο λόγος της λαμβανόμενης ισχύος P_δ ως προς την εκπεμπόμενη ισχύ P_π στο μοντέλο ελεύθερης διάδοσης με απευθείας οπτική επαφή δίνεται από τη σχέση, που είναι γνωστή και ως εξίσωση του Friis:

$$\frac{P_\delta}{P_\pi} = \left[\frac{\lambda \sqrt{G_1}}{4\pi d} \right]^2.$$

Ας προσπαθήσουμε να καταλάβουμε τη φυσική σημασία της εξίσωσης αυτής.

Η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος είναι ανάλογη με το λόγο του μήκους κύματος λ της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας ως προς την απόσταση d μεταξύ πομπού και δέκτη. Αυτό συμβαίνει γιατί όσο μεγαλύτερος είναι αυτός ο λόγος τόσο περισσότερες αναγεννήσεις κάνει το σήμα για να φτάσει από τον πομπό στο δέκτη, θεωρώντας σαν αναγέννηση τον κάθε συχνοτιακό κύκλο. Επιπλέον, είναι προφανές ότι όσο μεγαλύτερο είναι το κέρδος της κεραιάς εκπομπής στην κατεύθυνση της διάδοσης (η κατευθυντική ενίσχυση δηλαδή του σήματος με βάση τους λοβούς Fresnel) τόσο πιο ισχυρό φτάνει το σήμα στο δέκτη. Με βάση την παραπάνω σχέση, η λαμβανόμενη ισχύς μπορεί να εκφραστεί σε dB/miliwatt (dBm) ως εξής:

$$P_{\delta} = P_{\pi} + 10 \log_{10}(G_l) + 20 \log_{10}(\lambda) - 20 \log_{10}(4\pi) - 20 \log_{10}(d).$$

Επιπλέον ορίζουμε ως απώλεια ισχύος διαδρομής σε dB το μέγεθος:

$$P_{\text{Loss}} = 10 \log_{10} \frac{P_{\pi}}{P_{\delta}} = -10 \log_{10} \frac{G_l \lambda^2}{(4\pi d)^2}.$$

Αντίθετα, το κέρδος διαδρομής σε dB ορίζεται ως:

$$P_{\text{GAIN}} = -P_L = 10 \log_{10} \frac{G_l \lambda^2}{(4\pi d)^2}.$$

Επειδή είναι πολύ δύσκολο να προσομοιωθεί το πραγματικό πεδίο μετάδοσης, τα περισσότερα μοντέλα απωλειών που καλύπτουν το χώρο των κινητών επικοινωνιών και κατά συνέπεια και αυτό των MANET, είναι εμπειρικά και χτίζονται από εκτενείς μετρήσεις φυσικών παραμέτρων στο περιβάλλον διάδοσης. Από τα συγκεκριμένα μοντέλα, τα πιο διαδεδομένα είναι τα μοντέλα Okumura-Hata (Okumura-Hata models) και το εκθετικό μοντέλο διάδοσης.

Όσο και αναλυτικό να προσπαθήσει να είναι ένα μοντέλο, η πολυπλοκότητα και η πολυμορφία των παραμέτρων που απαντώνται στο πεδίο αλλά και η μεγάλη συχνότητα μεταβολής τους κάνει δύσκολο τον προσδιορισμό ενός μοναδικού μοντέλου που να καλύπτει γενικά όλες τις περιπτώσεις.

Αν και επομένως μπορεί να χαθεί ένα μέρος της ακρίβειας η επικρατέστερη άποψη είναι σε θέματα σχεδιασμού διάδοσης να χρησιμοποιούνται όσο το δυνατό απλούστερα μοντέλα. Αυτή η θεώρηση έγινε ισχυρότερη τα τελευταία χρόνια, καθώς οι κώδικες διόρθωσης (Forward Error Correction Codes) έχουν εξελιχθεί πάρα πολύ και επιτρέπουν την αποκατάσταση των λαθών που εμφανίζονται στην πληροφορία λόγω απωλειών διάδοσης. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ευρύτατα από τους σχεδιαστές κινητών συσκευών και δικτύων MANET το παρακάτω αρκετά απλοποιημένο μοντέλο

$$P_{\delta} = P_{\pi} K \left[\frac{d_0}{d} \right]^{\gamma}$$

Μετασχηματίζοντας την παρακάτω σχέση σε dBm η εξασθένιση προκύπτει ως:

$$P_{\delta} = P_{\pi} + KdB - 10\gamma \log_{10} \left[\frac{d}{d_0} \right]$$

Ας εξετάσουμε αναλυτικά τι σημαίνει η κάθε παράμετρος στην παραπάνω εξίσωση:

- Το **K** είναι μία παράμετρος που υπολογίστηκε μετά από εμπειρικές μετρήσεις και στατιστική ανάλυση δεδομένων έτσι ώστε να ενσωματώνει τα χαρακτηριστικά της κεραίας και την μέση εξασθένιση του καναλιού

- Το d_0 είναι μία μέση τυπική απόσταση αναφοράς που να καλύπτει στατιστικά τις αποστάσεις στις οποίες μπορούν να βρεθούν οι κόμβοι
- Το γ είναι ο δείκτης απώλειας της συγκεκριμένης διαδρομής.

Οι τιμές των παραπάνω παραμέτρων προκύπτουν είτε από εμπειρικά είτε από αναλυτικά μοντέλα. Ειδικά στα μοντέλα που αφορούν MANETs χρησιμοποιείται με εμπειρική προσέγγιση το Hata μοντέλο, και η COST επέκταση του. Από εμπειρικές μετρήσεις έχει προκύψει ότι το παραπάνω μοντέλο ισχύει όταν η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη είναι μεγαλύτερη των δέκα μέτρων στο εσωτερικό των κτιρίων και μεγαλύτερη των εκατό μέτρων στο εξωτερικό τους.

Η τιμή της παραμέτρου K ορίζεται όπως είπαμε και πιο πάνω μέσα από μετρήσεις. Για να οριστεί γίνεται η υπόθεση ότι τόσο στον πομπό όσο και στον δέκτη, οι κεραίες εκπομπής λήψης είναι ίδιου τύπου και ίδιας κατεύθυνσης.

Η τιμή της παραμέτρου K σε dB, προσδιορίζεται σε σχέση με την απόσταση d_0 των κόμβων ως:

$$K = 20 \log_{10} \frac{\lambda}{4\pi d_0}$$

Η τιμή του γ εξαρτάται από το περιβάλλον μέσα στο οποίο πραγματοποιείται η κίνηση των κόμβων των MANETs. Προσδιορίζεται με βάση το νόμο των ελαχίστων τετραγώνων από αναλυτικές μετρήσεις σε διάφορα περιβάλλοντα διάδοσης. Άλλοι τρόποι υπολογισμού που λαμβάνουν υπόψη τη συχνότητα εκπομπής και το ύψος της κεραίας. Στη συνέχεια παραθέτουμε πίνακα υπολογισμού της παραμέτρου αυτής σε διαφορετικά περιβάλλοντα διάδοσης και συχνότητες εκπομπής και λήψης που κυμαίνονται μεταξύ 900 MHz και 1.9 GHz δίνεται παρακάτω. Ο συντελεστής απώλειας μεγαλώνει όσο αυξάνεται η συχνότητα. Ειδικότερα σε κλειστά περιβάλλοντα διάδοσης (κτίρια, αποθήκες κλπ) ο συντελεστής απόσβεσης ποικίλλει ανάλογα με την ύπαρξη πατωμάτων και εσωτερικών αντικειμένων.

Περιβάλλον Διάδοσης	Εύρος τιμών γ
Αστικά macrocells	3.7-6.5
Αστικά microcells	2.7-3.5
Οροφος κτιρίου γραφείων	1.6-3.5
Κτίριο με πολλούς ορόφους	2-6
Αποθήκη	1.8-2.2
Εργοστάσιο	1.6-3.3
Σπίτια	3

Πίνακας 5: Εύρος τιμών γ για διάφορα περιβάλλοντα διάδοσης

4.6.2 Απώλειες Σκίασης

Όπως αναφέρθηκε στην αρχή της ενότητας τα σήματα σε φυσικό περιβάλλον υπόκεινται μεταβολές στην ισχύ τους ανάλογα με τα εμπόδια που παρατίθενται στο δρόμο τους. Είναι επομένως απαραίτητο να βρεθεί ένα στατιστικό μοντέλο που να λαμβάνει υπόψη όλες αυτές τις παραμέτρους και συγκεκριμένα την τοποθεσία, το μέγεθος, τις διηλεκτρικές ιδιότητες των εμποδίων καθώς και τις αλλαγές στις επιφάνειες αντανάκλασης και στα αντικείμενα διάθλασης.

Ένα αναλυτικό μοντέλο που φιλοδοξεί να λάβει υπόψη του τα παραπάνω φαινόμενα και το καταφέρνει αρκετά καλά είναι το μοντέλο της λογαριθμοκανονικής σκίασης. Το πλεονέκτημα του συγκεκριμένου μοντέλου είναι ότι πέρα από τη μαθηματική του τεκμηρίωση έχει επιβεβαιωθεί και εμπειρικά τόσο σε εσωτερικούς χώρους όσο και σε εξωτερικά περιβάλλοντα.

Το μοντέλο δεν είναι ακριβές όπως αυτό της ελεύθερης διάδοσης αλλά στατιστικό. Για να μην κουράσουμε τον αναγνώστη με εκτενή μαθηματική ανάλυση θα περιγράψουμε συνοπτικά τα προβλεπόμενα από αυτό.

- Το κέρδος P_G είναι τυχαία μεταβλητή που ακολουθεί στατιστικά την εκθετική κατανομή.
- Η μέση τιμή της εκθετικής κατανομής προσδιορίζεται από αναλυτικά πειράματα στο πεδίο
- Η τυπική απόκλιση της εκθετικής κατανομής προσδιορίζεται από αναλυτικά πειράματα στο πεδίο
- Η κατανομή του κέρδους σε dB ακολουθεί την κατανομή Gauss

- Λόγω του παραπάνω οι απώλειες εξαιτίας της σκίασης συγκεντρώνονται στατιστικά γύρω από ένα μέγιστο στο 90% των περιπτώσεων και αυτό τις καθιστά αρκετά προβλέψιμες.

4.7 Η συνδυασμένη επίδραση απωλειών Ελεύθερης Διαδρομής και Σκίασης

Στην ενότητα αυτή θα εξηγήσουμε πως τα μοντέλα που περιγράφουν την απώλεια ελεύθερης διάδοσης μπορούν να συνδυαστούν με το μοντέλο σκίασης που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Αποδεικνύεται ότι στη συνδυασμένη περίπτωση οι απώλειες διαδρομής μειώνονται γραμμικά σε σχέση με το δεκαδικό λογάριθμο της απόστασης μεταξύ πομπού και δέκτη.

4.8 Η συνάρτηση κατανομής της απώλειας ισχύος από το συνδυασμό απωλειών ελεύθερης διαδρομής και σκίασης

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι όταν συνυπολογιστούν οι απώλειες διαδρομής ελεύθερης διάδοσης καθώς και σκίασης τα παραπάνω επιδρούν σημαντικά στο σχεδιασμό ασυρμάτων MANETs δικτύων. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Πρέπει να υπάρχει μια ελάχιστη ισχύς εκπομπής μεταξύ των κόμβων. Αν υπάρξουν τιμές κάτω από αυτή η μετάδοση της πληροφορίας δεν μπορεί να γίνει.
- Η πιθανότητα η εκπεμπόμενη ισχύς σε μία απόσταση d να είναι μεγαλύτερη από την ελάχιστη απαιτούμενη ισχύ εκπομπής / λήψης ακολουθεί κατανομή Gauss.

4.9 Ανάλυση της συνδεσιμότητας MANETs δικτύων

Με βάση τις πληροφορίες που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους θα προσπαθήσουμε στην παράγραφο αυτή να αναλύσουμε τον τρόπο με τον οποίο επηρεάζεται ένα MANET δίκτυο από τη διάδοση της ασυρματικής πληροφορίας μέσα σ' αυτό. Τα κρίσιμα μεγέθη που χρήζουν ανάλυσης είναι η διασυνδεσιμότητα των κόμβων, η πιθανότητα να βρεθεί ένας ή μία ομάδα κόμβων απομονωμένοι λόγω σκίασης και ανεξάρτητα απόστασης κλπ.

Για την ανάλυσή μας θα αναφέρουμε γενικά ότι από εμπειρικές μετρήσεις προκύπτει ότι η γεωγραφική κατανομή των κόμβων στο πεδίο προσδιορίζεται από μία κατανομή Poisson πυκνότητας ρ κόμβων ανά μονάδα περιοχής.

Αυτό σημαίνει γενικά ότι ο αριθμός των κόμβων σε ένα χώρο προσομοίωσης με εμβαδό E είναι ανάλογος του εμβαδού δηλαδή είναι pE . Επιπλέον αν εξετάζουμε δύο περιοχές με εμβαδά E_1 και E_2 αυτοί οι χώροι χαρακτηρίζονται από το φαινόμενο της ανεξαρτησίας δηλαδή ο αριθμός των κόμβων δίνεται από τη σχέση pE_1pE_2 .

Με τη σειρά του αυτό συνεπάγεται ότι η πιθανότητα να βρίσκονται συγκεκριμένοι κόμβοι σε συγκεκριμένες περιοχές είναι ίση με το γινόμενο των επιμέρους πιθανοτήτων να βρίσκεται ένας ορισμένος αριθμός κόμβων σε κάθε μία από τις συγκεκριμένες περιοχές.

Αυτό είναι μια τελείως λογική υπόθεση αν λάβουμε υπόψη ότι η κίνηση των κόμβων είναι ανεξάρτητη και ότι τα μοντέλα κινητικότητας είναι ατομικά ή έστω νομαδικά.

Για την απλότητα της ανάλυσης θα θεωρήσουμε δύο κόμβους \mathbf{u} και \mathbf{v} , για τους οποίους η μεταξύ τους απόσταση δίνεται από τη συνάρτηση απόστασης $\alpha(\mathbf{u}, \mathbf{v})$. Η ισχύς μετάδοσης του σήματος από τον κόμβο \mathbf{u} είναι ένα σήμα με ισχύ $p_1(\mathbf{u})$, ενώ ο κόμβος \mathbf{v} λαμβάνει το σήμα με ισχύ $p_2(\mathbf{v})$. Προφανώς, σύμφωνα με όσα έχουν αναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια το σήμα κατά το ταξίδι του ανάμεσα στους δύο κόμβους εξασθενεί κατά:

$$\alpha(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = \frac{p_1(\mathbf{u})}{p_2(\mathbf{v})}.$$

Περιγράφοντας την εξασθένηση σε dB έχουμε τα παρακάτω:

$$\alpha(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = 10 \log_{10} \left(\frac{p_1(\mathbf{u})}{p_2(\mathbf{v})} \right)$$

Όταν συνυπολογίσουμε στο περιβάλλον αυτό και το φαινόμενο της σκίασης τότε η απώλεια μπορεί να αναλυθεί σε δύο συνιστώσες, από τις οποίες η μία είναι η προσδιορίσιμη γεωμετρική συνιστώσα που οφείλεται στην ευθεία διάδοση και η στοχαστική συνιστώσα η οποία οφείλεται στη σκίαση και για την οποία ισχύουν όσα αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους.

Επειδή ακριβώς μια συνιστώσα των απωλειών είναι στοχαστική είναι δυνατό δύο κόμβοι που είναι διασυνδεδεμένοι σε συγκεκριμένη απόσταση τη μία χρονική στιγμή να βρεθούν ασύνδετοι στην ίδια απόσταση μία επόμενη χρονική στιγμή.

Για την περίπτωση που δεν υπάρχει σκίαση τα πράγματα είναι απλά καθώς η διασυνδεσιμότητα ή μη των κόμβων εξαρτάται μόνο από την απόστασή τους.

Το δίκτυο παραμένει διασυνδεδεμένο με αρκετά μεγάλη πιθανότητα.

Δυστυχώς, όταν ληφθεί υπόψη και η στοχαστική συνιστώσα τα πράγματα δεν είναι το ίδιο απλά. Έχει αποδειχθεί ότι σε επιβαρυσμένα περιβάλλοντα με φαινόμενα σκίασης θα πρέπει να εξασφαλίζεται και ένας αρκετά μεγάλος αριθμός κόμβων ώστε το δίκτυο MANET να παραμένει συνεκτικό. Ο αριθμός αυτός είναι αντιστρόφως ανάλογος της μέσης τιμής της σκίασης. Σε περιβάλλοντα πόλεις έχει αποδειχθεί από αναλυτικές εμπειρικές μετρήσεις ότι ο αριθμός αυτός πρέπει να είναι μεγαλύτερος ή ίσος του 50. Τότε διασφαλίζεται ότι η πιθανότητα διασυνδεσιμότητας του δικτύου αγγίζει το 99%.

4.10 Τύποι εφαρμογών και επιδόσεις τους σε δίκτυα MANETs

Στις προηγούμενες ενότητες αναπτύξαμε τα φυσικά μοντέλα διάδοσης και κινητικότητας που επηρεάζουν την απόδοση και τη συνεκτικότητα ενός δικτύου MANET. Η ανάλυσή μας δεν θα ήταν πλήρης αν δεν αναφερόμασταν και στην τρίτη διάσταση του προβλήματος, που δεν είναι άλλη φυσικά από τον τύπο της κίνησης (traffic type) των δεδομένων που διακινούνται.

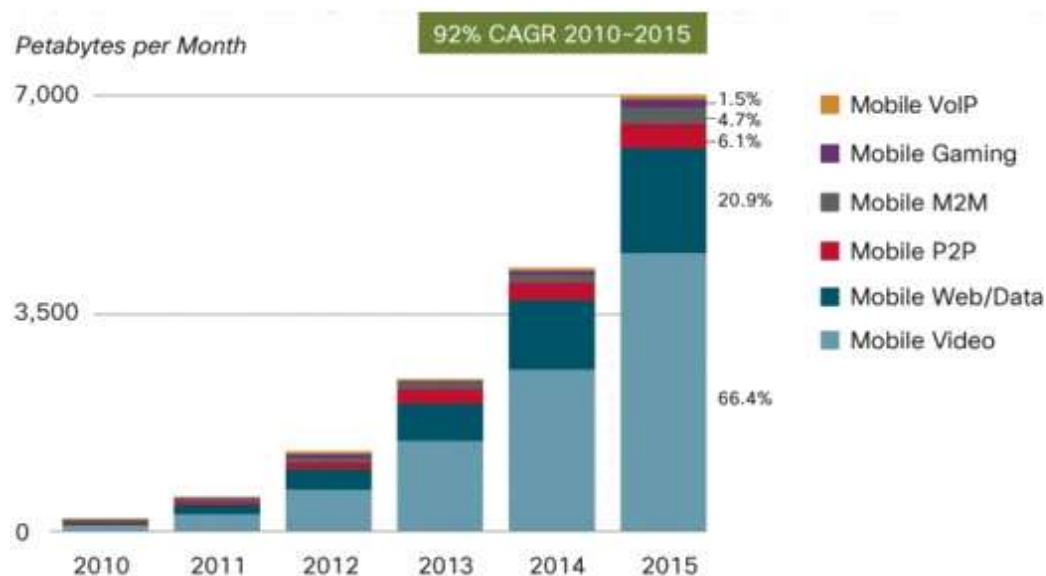
Ο λόγος είναι απλός. Κάθε εφαρμογή που εκτελείται σε μία κινητή συσκευή έχει συγκεκριμένες απαιτήσεις ποιότητας προκειμένου να εκτελεστεί. Το κριτήριο αξιοπιστίας της εφαρμογής εκφράζεται με τηλεπικοινωνιακούς όρους μέσω των παρακάτω μονάδων μέτρησης:

- Bit Error Rate: Ρυθμός Λαθών σε Bit. Το μέγεθος αυτό πρέπει να είναι μικρότερο από 10^{-6} προκειμένου να υπάρχει αξιόπιστη ανάκτηση της πληροφορίας και να λειτουργούν αποτελεσματικά οι κώδικες διόρθωσης λαθών.
- Jitter: Η ολίσθηση ρολογιού λόγω των φαινομένων της σκίασης
- Latency: Η χρονοκαθυστέρηση των πακέτων στη διάρκεια μεταφορά τους από τον ένα κόμβο στον άλλο.

Ανάλογα με τον τύπο εφαρμογής οι παραπάνω παράμετροι μπορούν να απαιτούν αυστηρότερα ή μη όρια για το καθένα τύπο της εφαρμογής. Οι εφαρμογές που αναπτύσσονται σε περιβάλλοντα MANET είναι οι παρακάτω:

- Μετάδοση απλής φωνής (Mobile VoIP)
- Mobile Web Browsing & E-mail (Mobile Web Data)
- Video On Demand, Gaming on Demand (Mobile Video & Mobile Gaming)
- Mobile M2M, Mobile P2P
- Mobile Banking Mobile Office κλπ.

Στις παρακάτω εικόνα φαίνεται η δυναμική ανάπτυξης των συγκεκριμένων εφαρμογών τα τελευταία χρόνια.



Εικόνα 4: Ανάλυση τύπων mobile κίνησης σε δίκτυα MANET (Πηγή CISCO VNI MOBILE 2011)

Όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα οι εφαρμογές που απαιτούν μικρό αριθμό BER και ελαχιστοποιημένα τα jitter και latency κερδίζουν συνεχώς έδαφος στις προτιμήσεις των χρηστών τα τελευταία χρόνια. Παρατηρείται εκρηκτική ανάπτυξη του mobile video & gaming όπως και των mobile web data γεγονός που κάνει πιο απαιτητικά τα δεδομένα στο τομέα των MANETs σε ότι αφορά την εξάλειψη των λαθών και τη δημιουργία αξιόπιστων πρωτοκόλλων δρομολόγησης.

Κεφάλαιο 5 : Προσομοιώσεις Απόδοσης Πρωτοκόλλων των MANETs

Τρία πρωτόκολλα προσομοιώθηκαν τα: AODV, DSR και DSDV που αναπτύχθηκαν στις ενότητες 3.4.1, 3.4.3 και 3.3.2 αντίστοιχα της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε ο **Network Simulator 2 (ns-2)**. Ο ns-2 είναι ένας αντικειμενοστρεφής προσομοιωτής δικτύων που αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια Berkeley και είναι γραμμένος σε γλώσσα προγραμματισμού C++ και Otel (Object Tool Common Language). Ο ns-2 μπορεί να εγκατασταθεί στα περισσότερα λειτουργικά συστήματα. Για την συγκεκριμένη διπλωματική χρησιμοποιήθηκε η τελευταία έκδοση του ns-2 η ns-allinone-2.35 και εγκαταστάθηκε στο Linux λειτουργικό σύστημα Ubuntu 14.04 το οποίο εγκαταστάθηκε σε virtual machine το VMware Workstation 12 player πάνω σε Windows 8.1.

Χρησιμοποιήθηκε επίσης ένα μοντέλο κινητικότητας το Μοντέλο Κινητικότητας Τυχαίων Στάσεων (Random Waypoint Mobility Model) το οποίο αναπτύχθηκε στην ενότητα 4.4 της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

5.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

5.1.1 Δημιουργία Σεναρίων παραγωγής δεδομένων και συνδέσεων των κόμβων και σεναρίων κίνησης των κόμβων

Παρακάτω παρουσιάζεται ο τρόπος που δημιουργούνται τα απαιτούμενα σεσάρια με την βοήθεια του ns-2:

- **Σενάρια παραγωγής δεδομένων και συνδέσεων των κόμβων**

Το NS-2 υποστηρίζει δύο διαφορετικούς τύπους παραγωγής δεδομένων, το Transmission Control protocol (TCP) και το Constant Bit Rate (CBR). Στα πειράματα μας χρησιμοποιήσαμε το δεύτερο. Για να τα δημιουργήσουμε μεταβαίνουμε στον φάκελο:

```
/ns-allinone-2.35/ns-2.35/indep-utils/smu-scen-gen$
```

Και χρησιμοποιήσαμε την εντολή:

```
ns cbrgen.tcl -type cbr -nn 50 -seed 1.0 -mc 25 -rate 10.0 > cbr-50-25-10
```

όπου: -*type*, cbr / tcp,
 -*nn*, αριθμός κόμβων,
 -*seed*, τυχαία γεννήτρια,
 -*mc*, μέγιστος αριθμός συνδέσεων,
 -*rate*, αριθμός πακέτων ανά δευτερόλεπτο.

- **Σενάρια κίνησης κόμβων**

Για να τα δημιουργήσουμε μεταβαίνουμε στον φάκελο:

/ns-allinone-2.35/ns-2.35/indep-utils/smu-scen-gen/setdest\$

Και χρησιμοποιήσαμε την εντολή:

```
setdest -v 1 -n 50 -p 0.0 -M 20 -t 500 -x 500 -y 500 > scene-50-0-20-500-500-500
```

όπου: -v (version 1 ή 2)
 -n, αριθμός κόμβων,
 -p, μέσος χρόνος παύσης κίνησης των κόμβων
 -M, μέγιστη ταχύτητα,
 -t, χρόνος προσομοίωσης
 -x, μέγιστο X,
 -y, μέγιστο Y

5.1.2 Παράμετροι που μετρήθηκαν:

1. Routing Packets: Ο συνολικός αριθμός πακέτων ελέγχου.
2. Packet delivery ratio: Το ποσοστό των πακέτων που έφτασε αξιόπιστα στον προορισμό του σε σχέση με τα πακέτα που απεστάλησαν.

$$Packet_Delivery_Ratio = \frac{Total\ Data\ Packets\ Received}{Total\ Data\ Packets\ Sent}$$

3. Normalized Routing Load: Ο συνολικός αριθμός πακέτων ελέγχου σε σχέση με τα συνολικά πακέτα που παρελήφθησαν.

$$Normalized\ Routing\ Load = \frac{Total\ Routing\ Packets\ Sent}{Total\ Packets\ Received}$$

4. Average end-to-end delay: Ο μέσος χρόνος που απαιτείται για να φτάσει ένα πακέτο στον προορισμό του από τη στιγμή που απεστάλλει.

$$Average\ end\ to\ end\ delay = \frac{\sum(Time\ received - Time\ sent)}{Total\ Data\ Packets\ received}$$

5.1.3 Παράμετροι που μεταβλήθηκαν:

1. Node Density: Πυκνότητα των κόμβων
2. Node Mobility: Κινητικότητα κόμβων
3. Traffic Load: Φορτίο κίνησης.

5.1.4 Παράμετροι παραμετροποίησης αρχείου προσομοίωσης όπως δηλώθηκαν:

1. Terrain size : 500 m X 500 m
2. Link bandwidth: 2 Mbps
3. Simulation time: 500 sec
4. Packet size: 1460 bytes
5. Mobility Model: Random Way Point
6. Propagation model: Two Ray Ground
7. Transport layer protocol: UDP
8. Traffic Type: CBR
9. MAC layer protocol: IEEE 802.11
10. Routing protocol: AODV, DSDV και DSR
11. Number of nodes: 50, 60 και 75

12. Node speed: 10 m/sec, 20 m/sec, 30 m/sec
13. Pause time: 0 sec, 120 sec, 300 sec, 500 sec
14. Rate: 1 packet/sec, 5 packets/sec, 10 packets/sec
15. Seed value: 1

5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

Πείραμα 1: Μεταβολή του αριθμού των συνδέσεων και του αριθμού των κόμβων

Στον πίνακα 1 φαίνονται οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για το πρώτο πείραμα

Παράμετροι Προσομοίωσης	
Routing Protocols	AODV, DSR, DSDV
Mobility Model	Random Waypoint
Simulation Time (sec)	500
Number of Nodes	50, 60, 75
Simulation Area	x=500 m, y=500 m
Speed (m/sec)	20
Pause Time (sec)	0.0
Traffic Type	CBR
Packet Size (bytes)	1460
Rate (packets/sec)	10
Max Number of Connections	15, 25, 35

Πίνακας 6: Μεταβολή του μέγιστου αριθμού συνδέσεων και του αριθμού των κόμβων

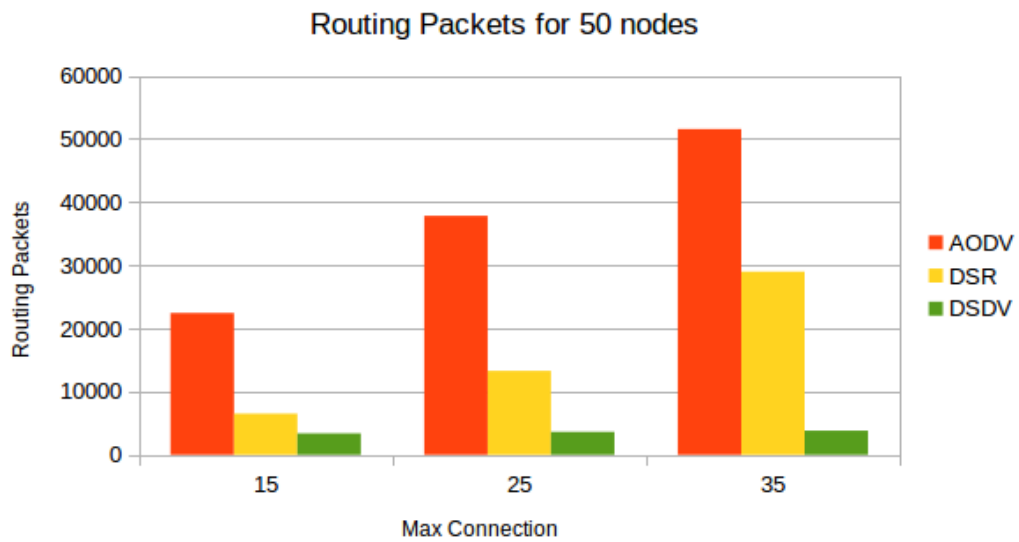
Τα συνολικά αποτελέσματα του πειράματος 1 φαίνονται αναλυτικά παρακάτω:

Routing Packets για μέγιστο αριθμό συνδέσεων: 15, 25, 35 και πυκνότητα κόμβων 50, 60, 75:

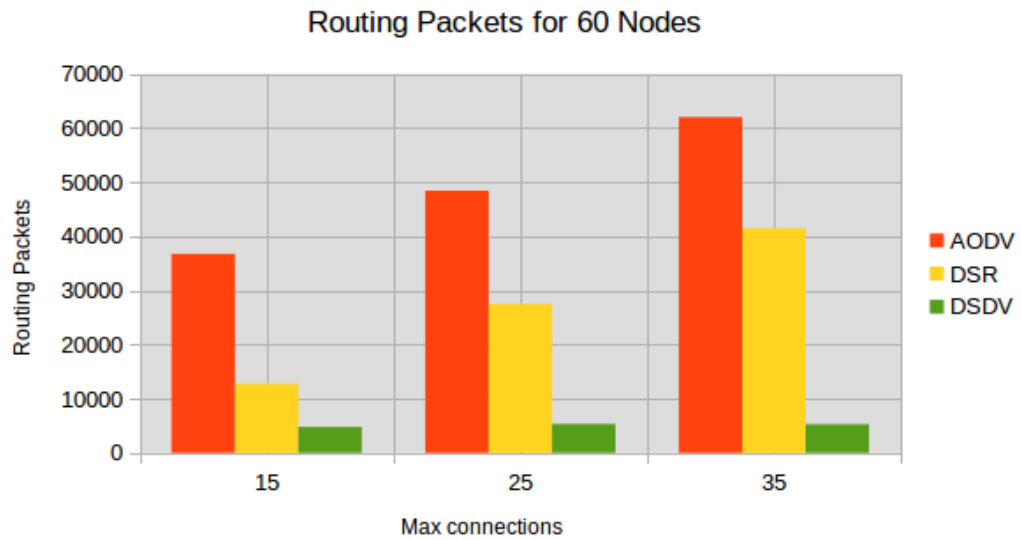
Routing Packets				
max_connections	Protocol	Πυκνότητα κόμβων		
		50	60	75
15	AODV	22450	36723	36742
	DSR	6494	12738	18506
	DSDV	3377	4778	6838
25	AODV	37841	48397	53275
	DSR	13266	27483	54218
	DSDV	3629	5307	13114

35	AODV	51564	61988	72180
	DSR	29008	41480	85098
	DSDV	3813	5268	9835

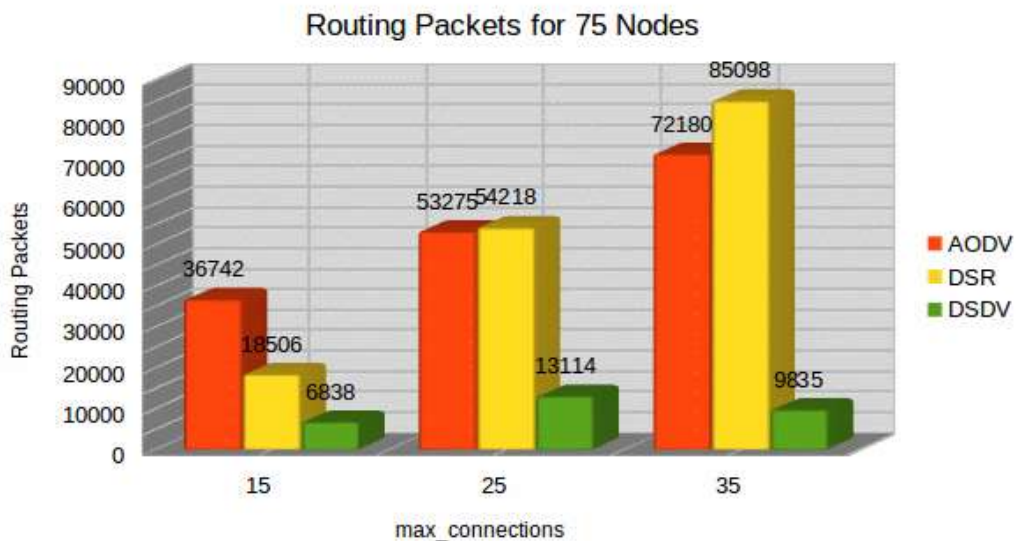
Πίνακας 7: Routing Packets μεταβάλλοντας τον αριθμό των μέγιστων συνδέσεων και τον αριθμό των κόμβων του δικτύου



Διάγραμμα 1: Τα Routing Packets για 50 κόμβους μεταβάλλοντας τον μέγιστο αριθμό συνδέσεων



Διάγραμμα 2: Τα Routing Packets για 75 κόμβους μεταβάλλοντας τον μέγιστο αριθμό συνδέσεων



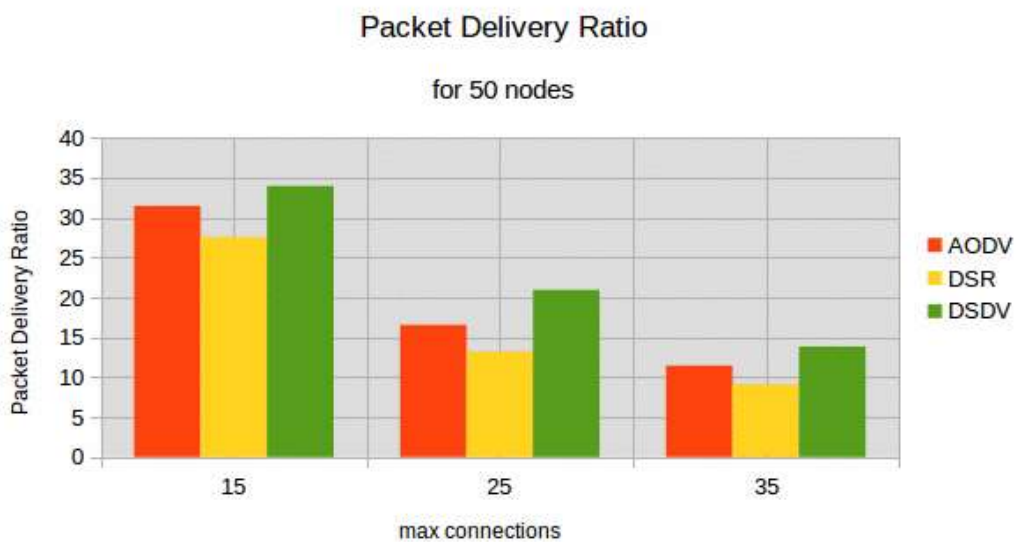
Διάγραμμα 3: Τα Routing Packets για 75 κόμβους μεταβάλλοντας τον μέγιστο αριθμό συνδέσεων

Παρατηρούμε ότι τα πακέτα ελέγχου αυξάνονται και για τα τρία πρωτόκολλα καθώς αυξάνεται ο αριθμός των πιθανών συνδέσεων και ο αριθμός των κόμβων στο δίκτυο. Το DSDV παράγει αισθητά μικρότερο αριθμό πακέτων ελέγχου σε όλες τις μεταβολές σε σύγκριση με τα άλλα δύο.

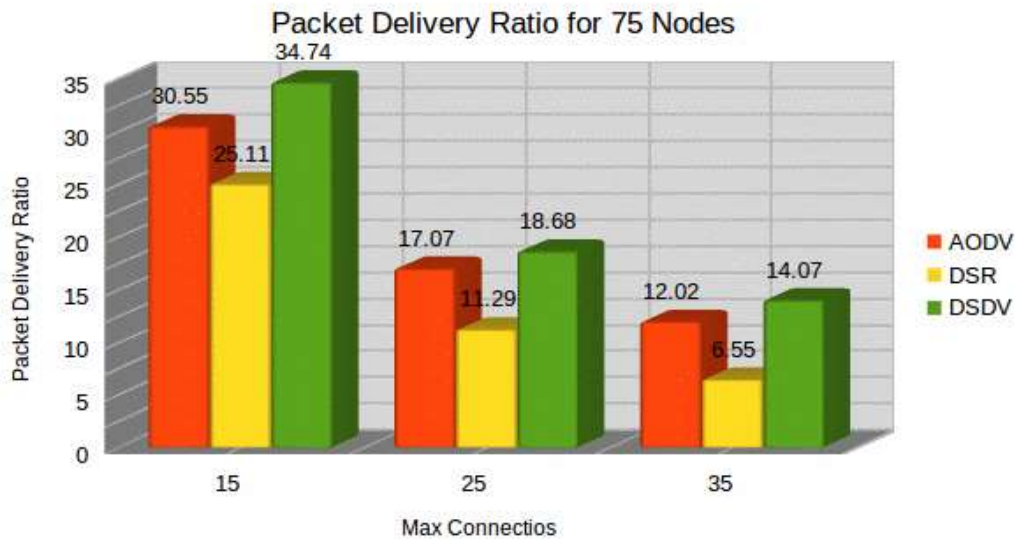
Packet Delivery Ratio για μέγιστο αριθμό συνδέσεων: 15, 25, 35 και πυκνότητα κόμβων 50, 60, 75:

Packet Delivery Ratio				
max_connections	Protocol	Πυκνότητα κόμβων		
		50	60	75
15	AODV	31.44	25.59	30.55
	DSR	27.57	21.81	25.11
	DSDV	33.96	29.1	34.74
25	AODV	16.54	15.46	17.07
	DSR	13.21	7.6	11.29
	DSDV	20.93	17.49	18.68
35	AODV	11.45	11.05	12.02
	DSR	9.1	1.78	6.55
	DSDV	13.84	12.76	14.07

Πίνακας 8: Packet Delivery Ratio μεταβάλλοντας τον αριθμό των μέγιστων συνδέσεων και τον αριθμό των κόμβων του δικτύου



Διάγραμμα 4: Τα Packet Relief Ratio για 50 κόμβους μεταβάλλοντας τον μέγιστο αριθμό συνδέσεων



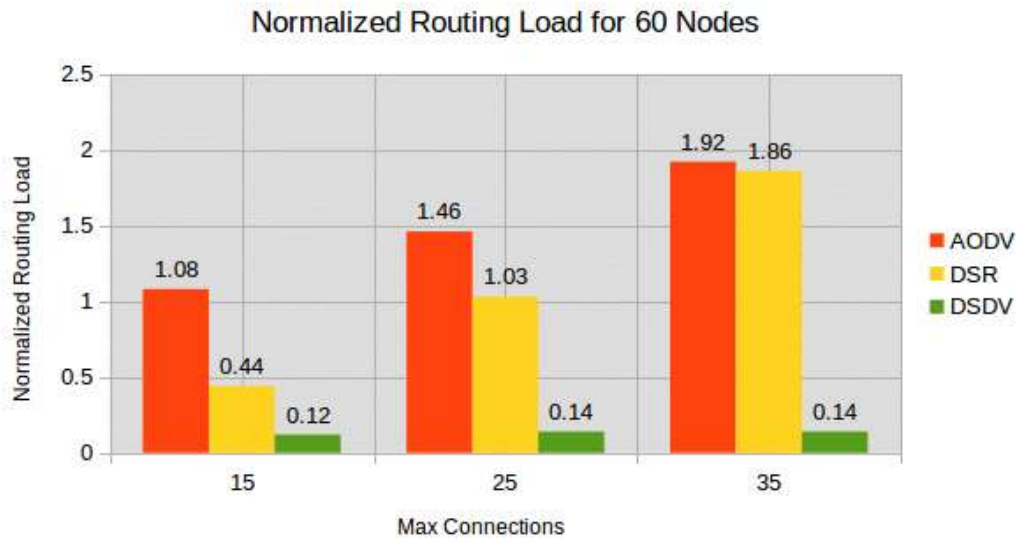
Διάγραμμα 5: Packet Relief Ratio για 75 κόμβους μεταβάλλοντας τον μέγιστο αριθμό συνδέσεων

Για το Packet Delivery Ratio παρατηρούμε να μειώνεται σημαντικά και για τα τρία πρωτόκολλα με την αύξηση των μέγιστων πιθανών συνδέσεων ενώ να επηρεάζεται ελάχιστα με την αύξηση του αριθμού των κόμβων στο δίκτυο. Με το DSR να έχει την χαμηλότερη απόδοση στη μεταφορά πακέτων σε όλες τις μεταβολές και το DSDV τη μεγαλύτερη.

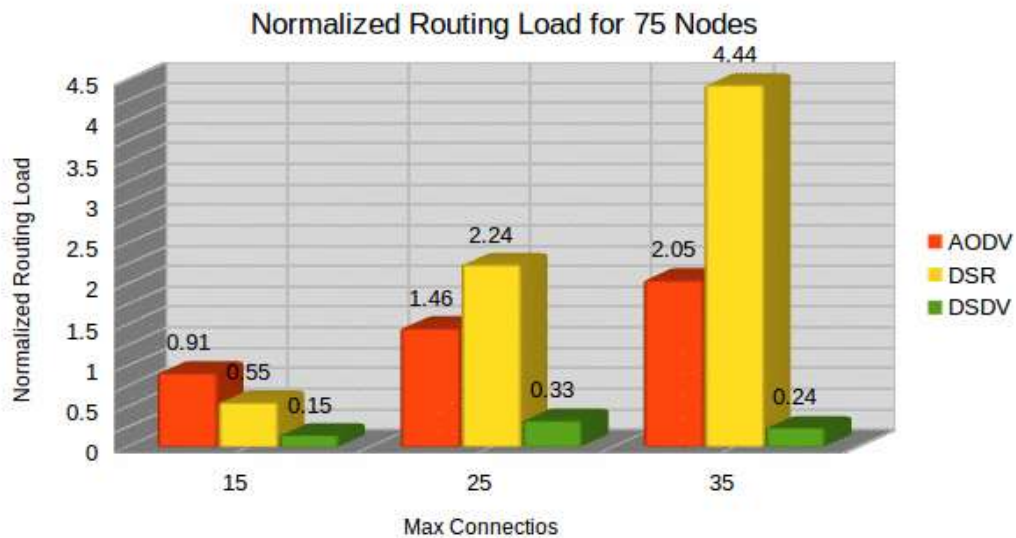
Normalized Routing Load για μέγιστο αριθμό συνδέσεων: 15, 25, 35 και πυκνότητα κόμβων 50, 60, 75:

Normalized Routing Load				
max_connections	Protocol	Πυκνότητα κόμβων		
		50	60	75
15	AODV	0.54	1.08	0.91
	DSR	0.18	0.44	0.55
	DSDV	0.07	0.12	0.15
25	AODV	1.07	1.46	1.46
	DSR	0.47	1.03	2.24
	DSDV	0.08	0.14	0.33
35	AODV	1.54	1.92	2.05
	DSR	1.09	1.86	4.44
	DSDV	0.09	0.14	0.24

Πίνακας 9: Normalized Routing Load μεταβάλλοντας τον αριθμό των μέγιστων συνδέσεων και τον αριθμό των κόμβων του δικτύου



Διάγραμμα 6 : Normalized Routing Load για 60 κόμβους μεταβάλλοντας τον μέγιστο αριθμό συνδέσεων



Διάγραμμα 7: Normalized Routing Load για 75 κόμβους μεταβάλλοντας τον μέγιστο αριθμό συνδέσεων

Για το πρωτόκολλο AODV παρατηρούμε ότι το Normalized Routing Load αυξάνεται περίπου κατά 0,5 καθώς αυξάνεται ο μέγιστος αριθμός συνδέσεων ενώ αυξάνεται ελάχιστα έως καθόλου όταν αυξάνεται ο αριθμός των κόμβων στο δίκτυο.

Για το πρωτόκολλο DSR παρατηρούμε ότι το Normalized Routing Load για χαμηλό αριθμό συνδέσεων (15) αυξάνεται σχετικά λίγο καθώς αυξάνουμε τον αριθμό των κόμβων με την μεγαλύτερη αύξηση να παρατηρείται όταν περνάμε από τους 50 στους 60

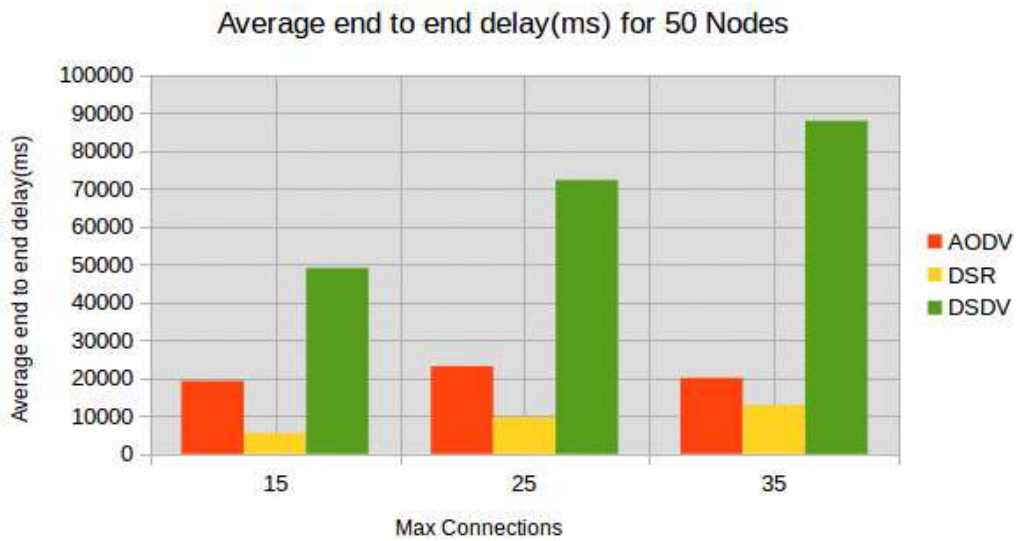
κόμβους. Για αριθμό πιθανών συνδέσεων 25 παρατηρούμε ότι καθώς αυξάνουμε τον αριθμό των κόμβων διπλασιάζεται, ενώ για 35 πιθανές συνδέσεις ενώ έχει μια αύξηση περίπου 0,8 όταν περνάμε από τους 50 στους 60 κόμβους όταν περάσουμε στους 75 κόμβους σχεδόν τριπλασιάζεται. Που σημαίνει ότι επηρεάζεται σημαντικά από την αύξηση των κόμβων όταν αυξάνεται ο αριθμός των πιθανών συνδέσεων.

Για το πρωτόκολλο DSDV παρατηρούμε ότι το Normalized Routing Load αυξάνεται ελάχιστα συγκριτικά με τα άλλα δύο πρωτόκολλα στις μεταβολές των πιθανών συνδέσεων και του αριθμού των κόμβων στο δίκτυο. Που σημαίνει ότι είναι το πιο αξιόπιστο στο συγκεκριμένο πείραμα.

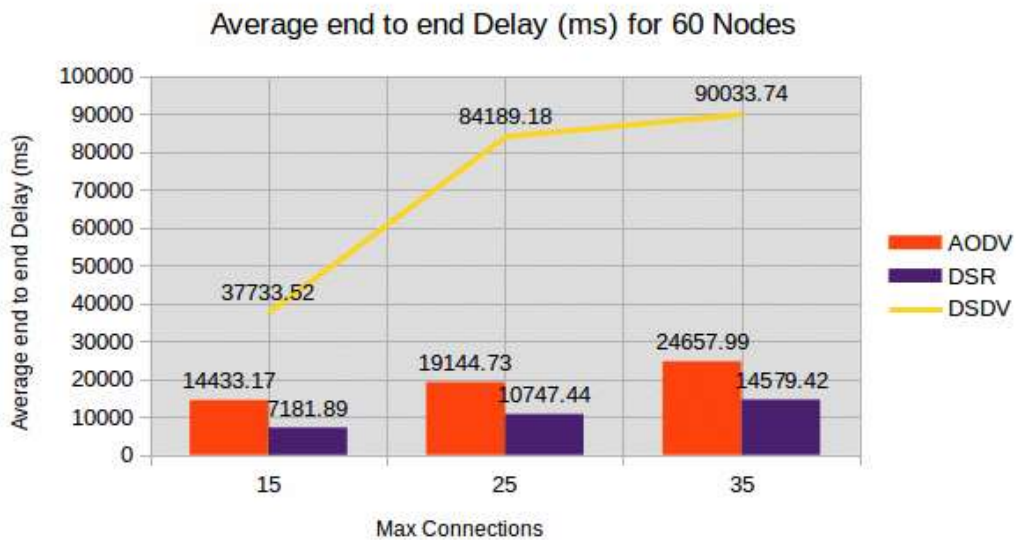
Average end to end delay (ms) για μέγιστο αριθμό συνδέσεων: 15, 25, 35 και πυκνότητα κόμβων 50, 60, 75:

Average end to end delay(ms)				
max_connections	Protocol	Πυκνότητα κόμβων		
		50	60	75
15	AODV	19222.1	14433.17	17415.73
	DSR	5403.31	7181.89	6015.85
	DSDV	49022.94	37733.52	40115.21
25	AODV	23080.64	19144.73	22644.57
	DSR	9642.22	10747.44	12727.96
	DSDV	72252.75	84189.18	78013.8
35	AODV	19998.12	24657.99	19133.36
	DSR	12868.61	14579.42	18231.06
	DSDV	87882.96	90033.74	91022.69

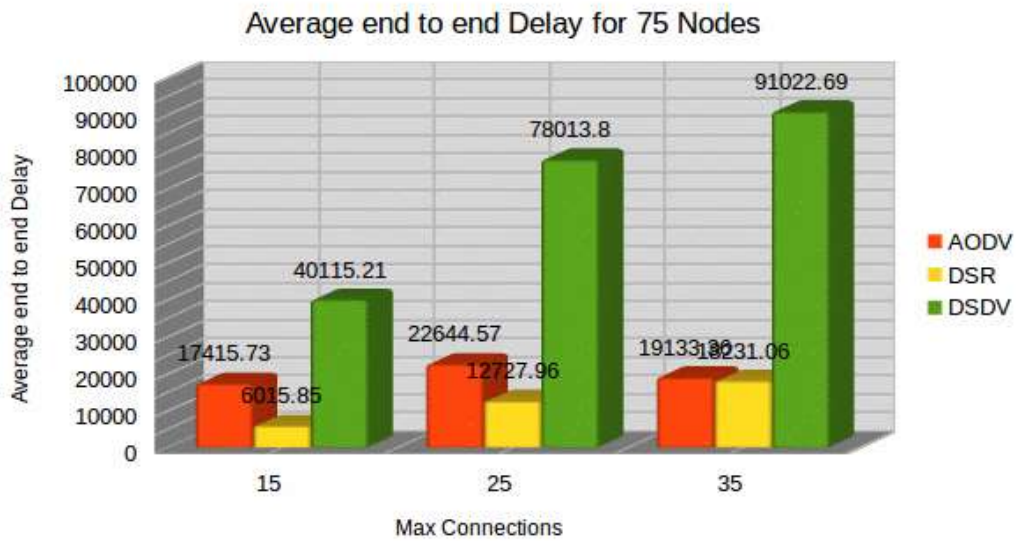
Πίνακας 10: Average end to end delay (ms) μεταβάλλοντας τον αριθμό των μέγιστων συνδέσεων και τον αριθμό των κόμβων του δικτύου



Διάγραμμα 8: Average end to end delay (ms) για 50 κόμβους μεταβάλλοντας τον μέγιστο αριθμό συνδέσεων



Διάγραμμα 9: Average end to end delay (ms) για 60 κόμβους μεταβάλλοντας τον μέγιστο αριθμό συνδέσεων



Διάγραμμα 10: Average end to end delay (ms) για 75 κόμβους μεταβάλλοντας τον μέγιστο αριθμό συνδέσεων

Πείραμα 2: Μεταβολή της κινητικότητας των κόμβων

Στον πίνακα 6 φαίνονται οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για το δεύτερο πείραμα

Παράμετροι Προσομοίωσης	
Routing Protocols	AODV, DSR, DSDV
Mobility Model	Random Waypoint
Simulation Time (sec)	500
Number of Nodes	50
Simulation Area	x=500 m, y=500 m
Speed (m/sec)	10, 20, 30
Pause Time (sec)	0, 120, 300, 500
Traffic Type	CBR
Packet Size (bytes)	1460
Rate (packets/sec)	10
Max Number of Connections	25

Πίνακας 11: Μεταβολή της μέγιστης ταχύτητας των κόμβων και του χρόνου παύσης κίνησής τους

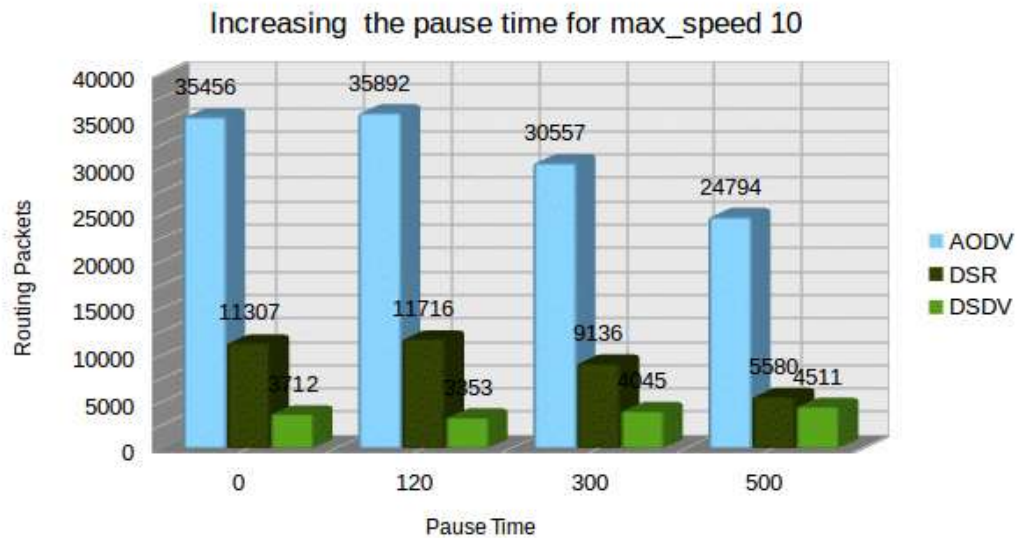
Τα συνολικά αποτελέσματα του πειράματος 2 φαίνονται αναλυτικά παρακάτω:

Routing Packets για μέγιστη ταχύτητα κόμβων: 10, 20, 30 m/sec και χρόνο κίνησης παύσης κόμβων 0, 120, 300, 500 sec:

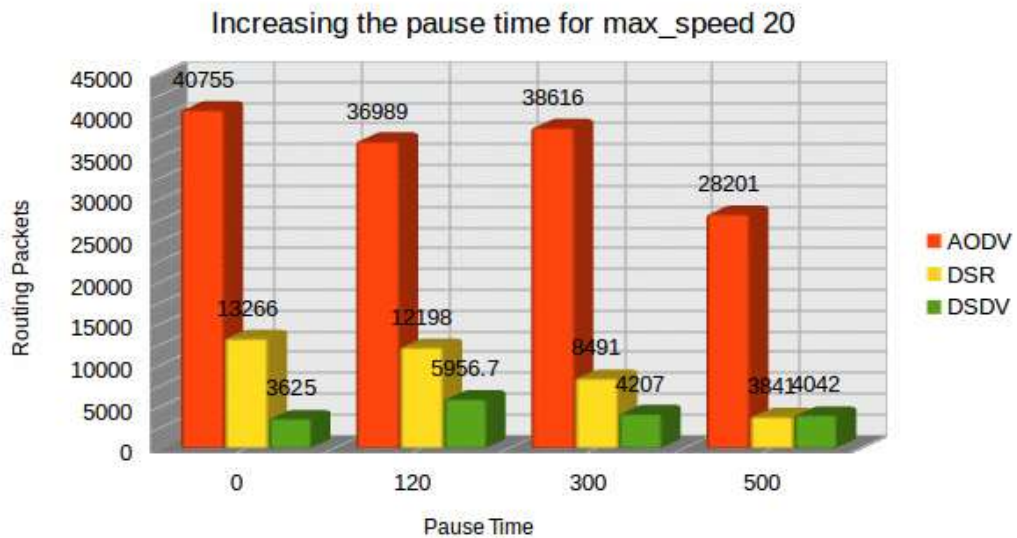
Routing Packets					
max_speed	Protocol	Pause Time			
		0	120	300	500
10	AODV	35456	35892	30557	24794
	DSR	11307	11716	9136	5580
	DSDV	3712	3353	4045	4511
20	AODV	40755	36989	38616	28201
	DSR	13266	12198	8491	3841
	DSDV	3625	5956.7	4207	4042
30	AODV	41466	30785	41335	30312

	DSR	16215	11742	8062	6683
	DSDV	3936	4470	3876	4585

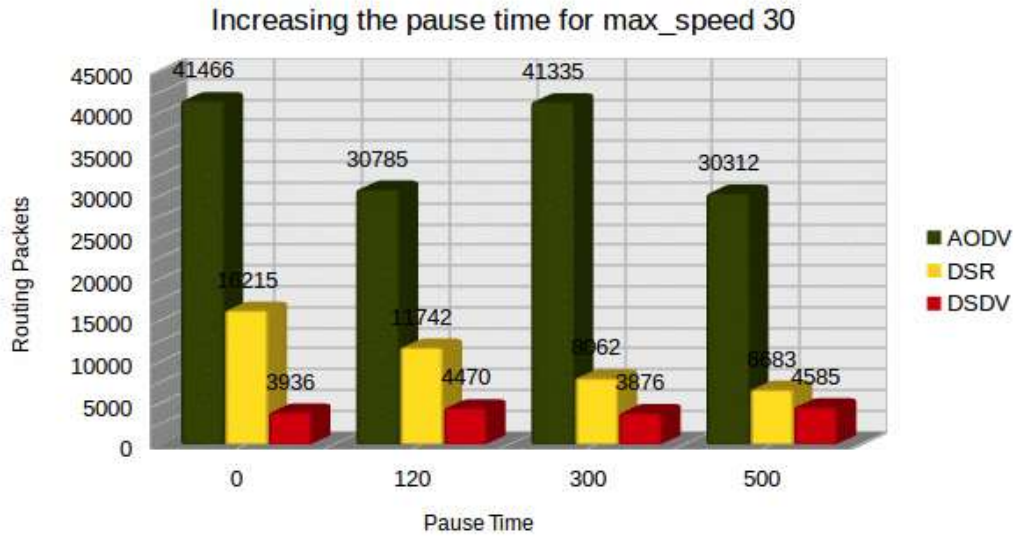
Πίνακας 12: Routing Packets μεταβάλλοντας την μέγιστη ταχύτητα και τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων



Διάγραμμα 11: Routing Packets για max_speed=10 m/sec μεταβάλλοντας τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων



Διάγραμμα 12: Routing Packets για max_speed=20 m/sec μεταβάλλοντας τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων



Διάγραμμα 13: Routing Packets για max_speed=30 m/sec μεταβάλλοντας τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων

Για το πρωτόκολλο AODV παρατηρούμε ότι μεταδίδει τον μεγαλύτερο αριθμό πακέτων δρομολόγησης με πολλή μεγάλη διαφορά σε σύγκριση με τα άλλα δύο πρωτόκολλα, ο αριθμός των πακέτων δρομολόγησης βλέπουμε να αυξάνεται καθώς αυξάνουμε την μέγιστη ταχύτητα που κινούνται οι κόμβοι και να μειώνεται όσο αυξάνουμε τον χρόνο παύσης κίνησης τους. Που δείχνει ότι τα πόσα πακέτα δρομολόγησης παράγει εξαρτάται από την κινητικότητα των κόμβων.

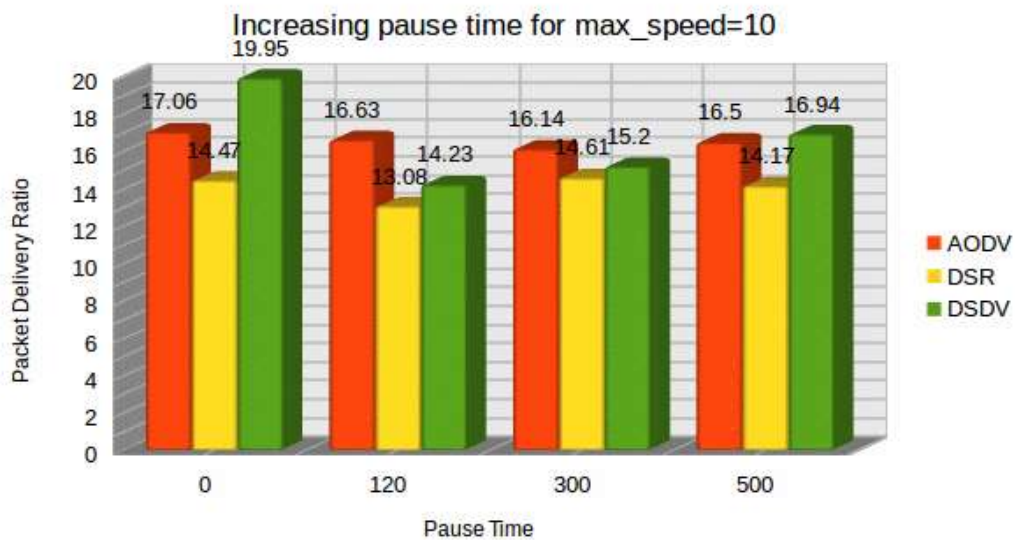
Για το πρωτόκολλο DSR παρατηρούμε ότι μεταδίδει πολύ μικρό αριθμό πακέτων συγκριτικά με το AODV, ο αριθμός των πακέτων δρομολόγησης αυξάνεται σχετικά λίγο καθώς αυξάνεται η ταχύτητα των κόμβων ενώ μειώνεται αισθητά καθώς αυξάνεται ο χρόνος παύσης κίνησης των κόμβων. Και να φτάνει τον αριθμό των πακέτων δρομολόγησης που μεταδίδει το πρωτόκολλο DSDV για χρόνο παύσης κίνησης 500 sec.

Για το πρωτόκολλο DSDV παρατηρούμε ότι μεταδίδει τον μικρότερο αριθμό πακέτων και μάλιστα με μεγάλη διαφορά από τα άλλα δύο πρωτόκολλα σε όλες τις μεταβολές των παραμέτρων του πειράματος δύο. Μόνο σε πολλή χαμηλή κινητικότητα το πρωτόκολλο DSR το πλησιάζει. Επίσης παρατηρούμε ότι η μεταβολή των πακέτων δρομολόγησης που μεταδίδει δεν εξαρτάται από την ταχύτητα κίνησης των κόμβων και από τον χρόνο παύσης κίνησης τους.

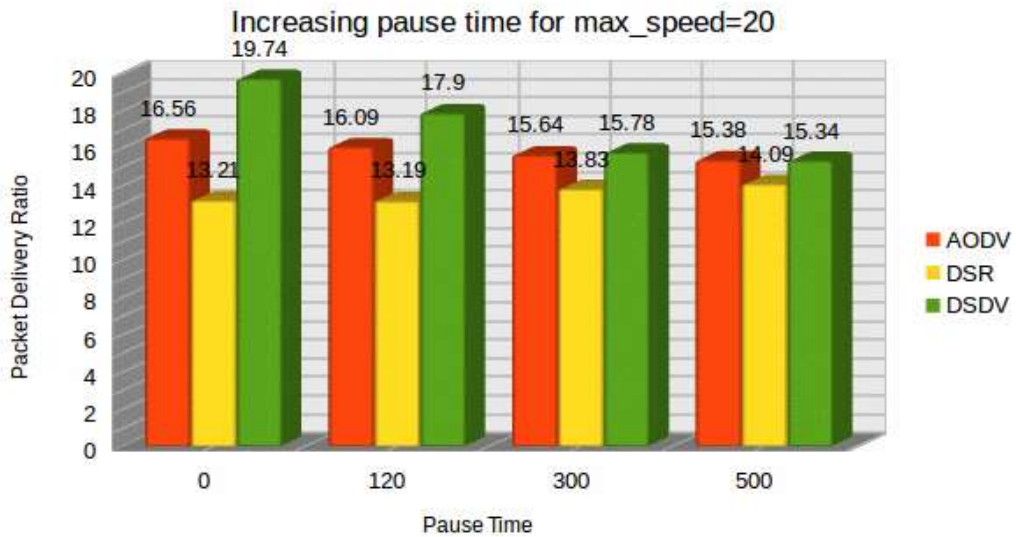
Packet Delivery Ratio για μέγιστη ταχύτητα κόμβων: 10, 20, 30 m/sec και χρόνο κίνησης παύσης κόμβων 0, 120, 300, 500 sec:

Packet Delivery Ratio					
max_speed	Protocol	Pause Time			
		0	120	300	500
10	AODV	17.06	16.63	16.14	16.5
	DSR	14.47	13.08	14.61	14.17
	DSDV	19.95	14.23	15.2	16.94
20	AODV	16.56	16.09	15.64	15.38
	DSR	13.21	13.19	13.83	14.09
	DSDV	19.74	17.9	15.78	15.34
30	AODV	17.44	16.1	14.39	15.42
	DSR	13.7	13.44	13.42	12.58
	DSDV	20.82	17.68	14.36	14.6

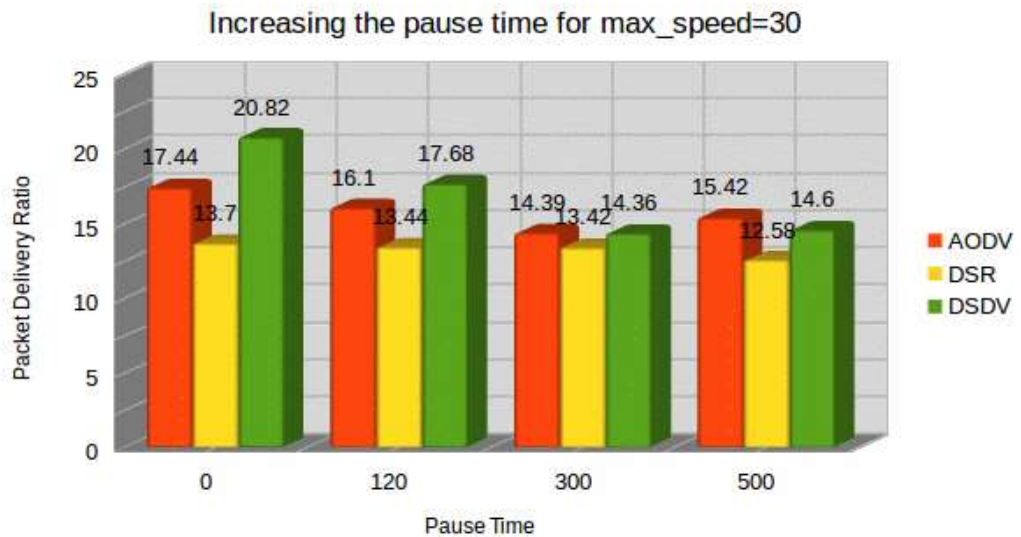
Πίνακας 13: Packet Delivery Ratio μεταβάλλοντας την μέγιστη ταχύτητα και τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων



Διάγραμμα 14: Packet Relief Ratio για max_speed=10 m/sec μεταβάλλοντας τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων



Διάγραμμα 15: Packet Delivery Ratio για max_speed=20 m/sec μεταβάλλοντας τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων



Διάγραμμα 16: Packet Delivery Ratio για max_speed=30 m/sec μεταβάλλοντας τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων

Για το πρωτόκολλο AODV παρατηρούμε ότι packet delivery ratio μειώνεται όσο αυξάνεται ο χρόνος παύσης κίνησης των κόμβων, σε σχέση με την ταχύτητα των κόμβων βλέπουμε ότι όταν περνάμε από τα 10 m/sec στα 20 m/sec υπάρχει μια μικρή μείωση για να φτάσει στην καλύτερη του απόδοση για την μέγιστη ταχύτητα κόμβων 30 m/sec και χρόνο παύσης κίνησης 0.

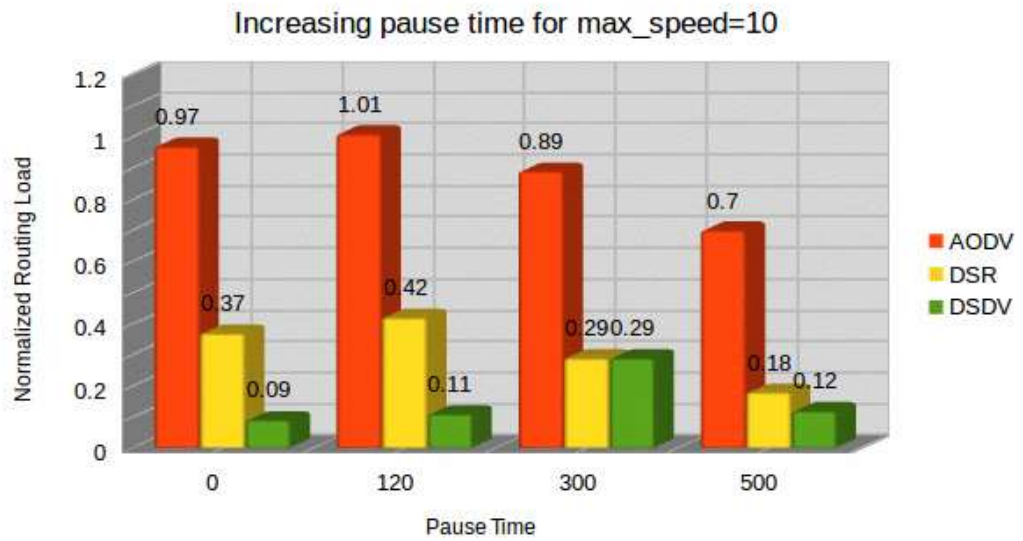
Για το πρωτόκολλο DSR παρατηρούμε παρουσιάζει το μεγαλύτερο packet delivery ratio για την ελάχιστη ταχύτητα κόμβων 10 m/sec και χρόνο παύσης κίνησης 0, με την μεταβολή του στις υπόλοιπες μεταβολές των μεταβλητών του πειράματος να μην είναι ανάλογη ή εξαρτώμενη από κάποια από αυτές.

Για το πρωτόκολλο DSDV παρατηρούμε ότι packet delivery ratio μειώνεται όσο αυξάνεται ο χρόνος παύσης κίνησης των κόμβων, επίσης εμφανίζει την μεγαλύτερη απόδοση σε σύγκριση με τα άλλα δύο πρωτόκολλα όταν οι κόμβοι κινούνται με την μεγαλύτερη ταχύτητα και έχουν 0 χρόνο παύσης κίνησης.

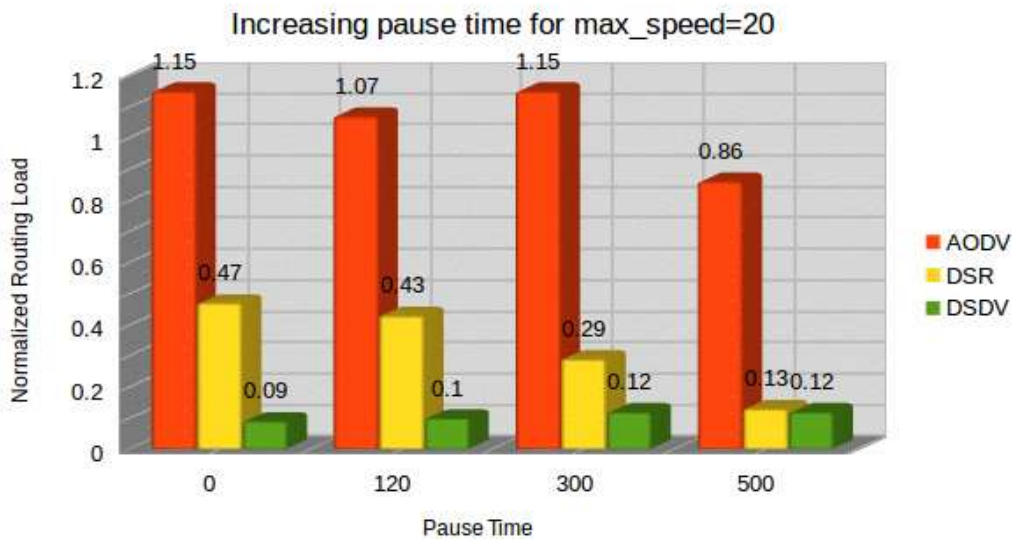
Normalized Routing Load για μέγιστη ταχύτητα κόμβων: 10, 20, 30 m/sec και χρόνο κίνησης παύσης κόμβων 0, 120, 300, 500 sec:

Normalized Routing Load					
max_speed	Protocol	Pause Time			
		0	120	300	500
10	AODV	0.97	1.01	0.89	0.7
	DSR	0.37	0.42	0.29	0.18
	DSDV	0.09	0.11	0.29	0.12
20	AODV	1.15	1.07	1.15	0.86
	DSR	0.47	0.43	0.29	0.13
	DSDV	0.09	0.1	0.12	0.12
30	AODV	1.11	0.89	1.34	0.92
	DSR	0.55	0.41	0.28	0.25
	DSDV	0.09	0.12	0.13	0.15

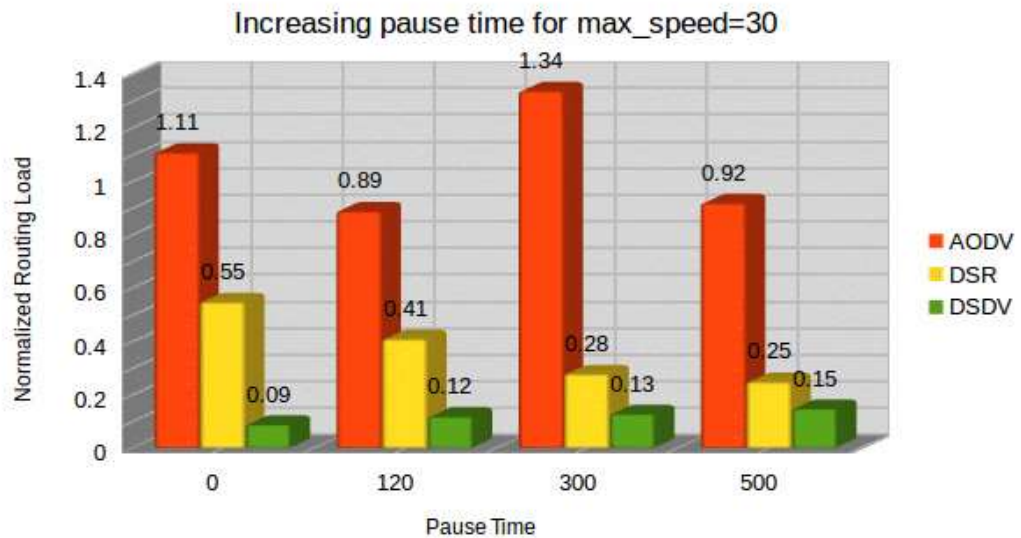
Πίνακας 14: Normalized Routing Load μεταβάλλοντας την μέγιστη ταχύτητα και τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων



Διάγραμμα 17: Normalized Routing Load για max_speed=10 m/sec μεταβάλλοντας τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων



Διάγραμμα 18: Normalized Routing Load για max_speed=20 m/sec μεταβάλλοντας τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων



Διάγραμμα 19: Normalized Routing Load για max_speed=30 m/sec μεταβάλλοντας τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων

Για το πρωτόκολλο AODV παρατηρούμε ότι Normalized Routing Load μειώνεται όσο αυξάνεται ο χρόνος παύσης κίνησης των κόμβων, σε σχέση με την ταχύτητα των κόμβων βλέπουμε ότι όταν περνάμε από τα 10 m/sec στα 20 αυξάνεται ενώ από τα 20 m/sec στα 30 μειώνεται, για να φτάσει στην καλύτερη του απόδοση για την ελάχιστη ταχύτητα κόμβων 10 m/sec και τον μεγαλύτερο χρόνο παύσης κίνησης 500 sec.

Για το πρωτόκολλο DSR παρατηρούμε παρουσιάζει το μεγαλύτερο Normalized Routing Load για την ελάχιστη ταχύτητα κόμβων 10 m/sec και τον μεγαλύτερο χρόνο παύσης κίνησης 500 sec, με την μεταβολή του στις υπόλοιπες μεταβολές των μεταβλητών του πειράματος να μην είναι ανάλογη ή εξαρτώμενη από κάποια από αυτές.

Για το πρωτόκολλο DSDV παρατηρούμε ότι Normalized Routing Load αυξάνεται ελάχιστα ή παραμένει στα ίδια επίπεδα όσο αυξάνεται ο χρόνος παύσης κίνησης των κόμβων, επίσης δεν μεταβάλλεται αισθητά με την αύξηση της ταχύτητας των κόμβων και εμφανίζει την μικρότερη τιμή σε σύγκριση με τη δική του απόδοση στις υπόλοιπες μεταβολές των παραμέτρων αλλά και σε σύγκριση με τα άλλα δύο πρωτόκολλα όταν οι κόμβοι κινούνται με την μεγαλύτερη και μικρότερη ταχύτητα 30 m/sec, 10 m/sec αντίστοιχα και έχουν 0 χρόνο παύσης κίνησης.

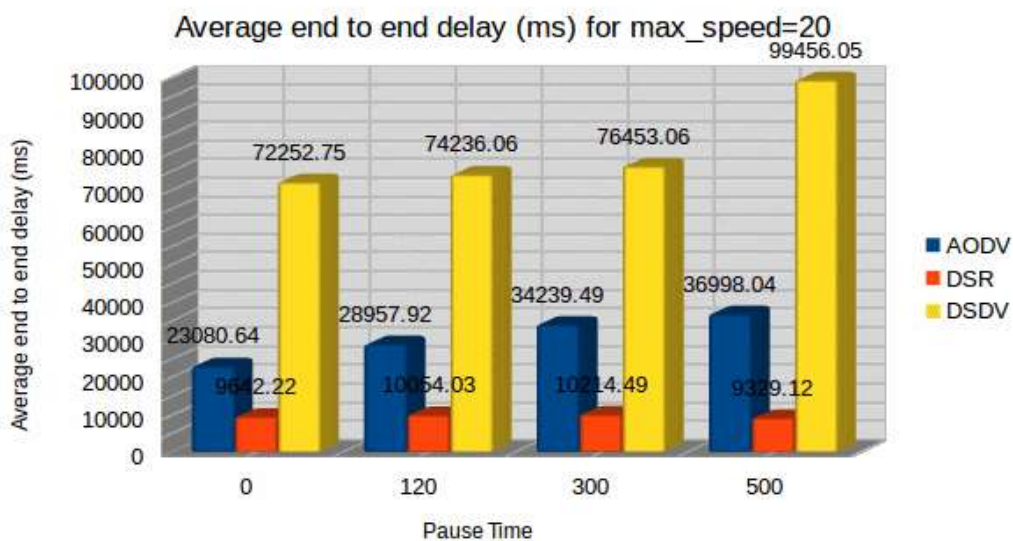
Average end to end delay (ms) για μέγιστη ταχύτητα κόμβων: 10, 20, 30 m/sec και χρόνο κίνησης παύσης κόμβων 0, 120, 300, 500 sec:

Average end to end delay(ms)					
max_speed	Protocol	Pause Time			
		0	120	300	500
10	AODV	26237.28	29950.15	44930.52	43310.06
	DSR	9813.68	10794.59	9746.02	9899.93
	DSDV	75321.71	75619.94	71641.32	92543.15
20	AODV	23080.64	28957.92	34239.49	36998.04
	DSR	9642.22	10054.03	10214.49	9329.12
	DSDV	72252.75	74236.06	76453.06	99456.05
30	AODV	20055.45	30395.12	42215.79	47362.55
	DSR	10035.75	9208.52	10340.67	10743.99
	DSDV	78818.06	64684.28	71722.72	97823.05

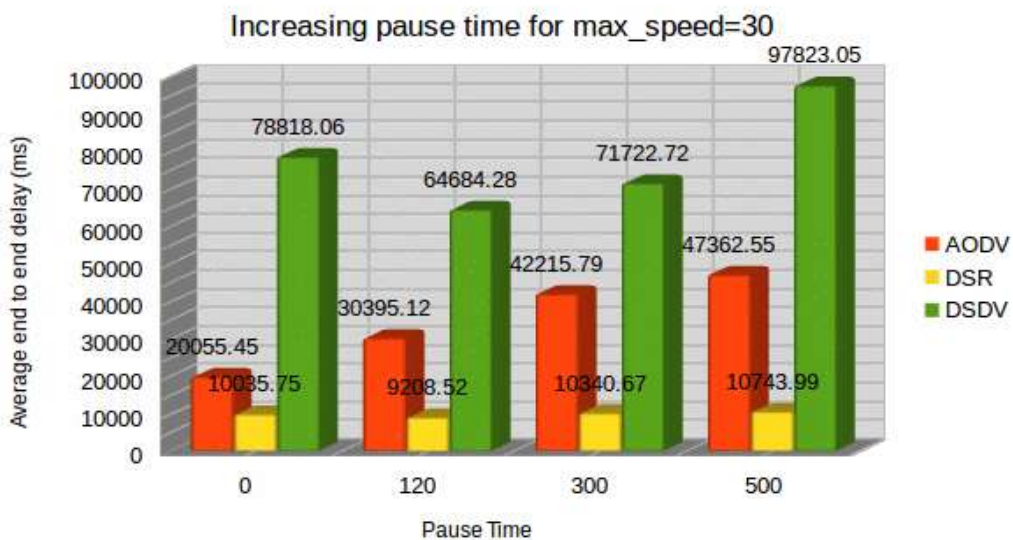
Πίνακας 15: Average end to end delay (ms) μεταβάλλοντας την μέγιστη ταχύτητα και τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων



Διάγραμμα 20: Average end to end delay (ms) για max_speed=10 m/sec μεταβάλλοντας τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων



Διάγραμμα 21: Average end to end delay (ms) για max_speed=20 m/sec μεταβάλλοντας τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων



Διάγραμμα 22: Average end to end delay (ms) για max_speed=30 m/sec μεταβάλλοντας τον χρόνο παύσης κίνησης των κόμβων

Για το πρωτόκολλο AODV παρατηρούμε ότι το Average end to end delay αυξάνεται αισθητά όσο αυξάνεται ο χρόνος παύσης κίνησης των κόμβων, σε σχέση με την ταχύτητα των κόμβων βλέπουμε ότι όταν περνάμε από τις μικρότερες στις μεγαλύτερες ταχύτητες που κινούνται οι κόμβοι μειώνεται, για να φτάσει στην καλύτερη του απόδοση για την μέγιστη ταχύτητα κόμβων 30 m/sec και τον μικρότερο χρόνο παύσης κίνησης 0 sec.

Για το πρωτόκολλο DSR παρατηρούμε παρουσιάζει το μικρότερο Average end to end delay σε όλες τις μεταβολές των παραμέτρων του πειράματος συγκριτικά με τα άλλα δύο πρωτόκολλα, και επίσης δεν παρουσιάζει αισθητές μεταβολές για καμία αλλαγή των παραμέτρων δηλαδή παρατηρούμε ότι είναι ανεξάρτητη η καθυστέρηση από αυτές.

Για το πρωτόκολλο DSDV παρατηρούμε ότι παρουσιάζει το μεγαλύτερο Average end to end delay σε όλες τις μεταβολές των παραμέτρων του πειράματος συγκριτικά με τα άλλα δύο πρωτόκολλα.

Πείραμα 3: Μεταβολή του ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων και της πυκνότητας των κόμβων

Παράμετροι Προσομοίωσης	
Routing Protocols	AODV, DSR, DSDV
Mobility Model	Random Waypoint
Simulation Time (sec)	500
Number of Nodes	50, 60, 75
Simulation Area	x=500 m, y=500 m
Speed (m/sec)	20
Pause Time (sec)	0
Traffic Type	CBR
Packet Size (bytes)	1460
Rate (packets/sec)	1, 5, 10
Max Number of Connections	25

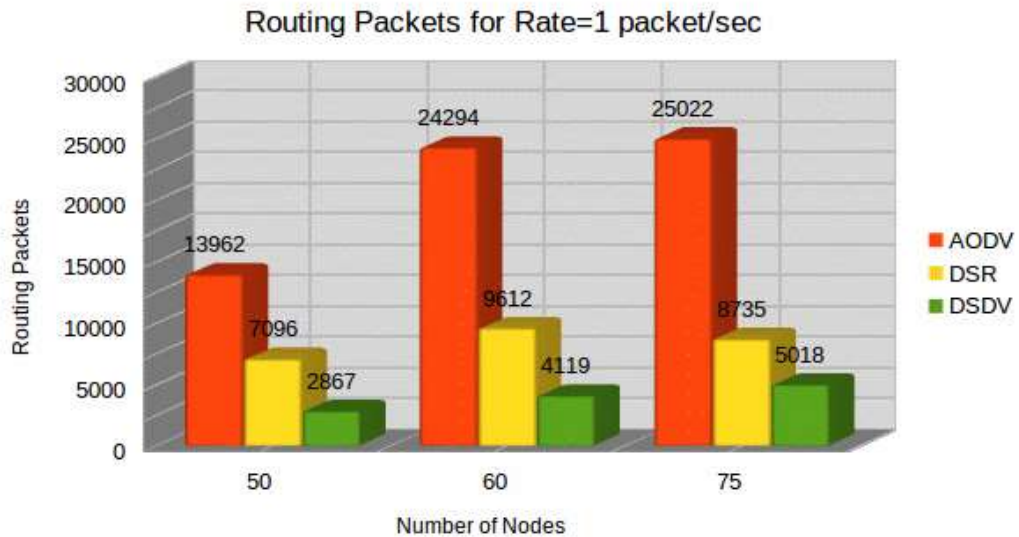
Πίνακας 16: Μεταβολή του ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων και της πυκνότητας των κόμβων

Τα συνολικά αποτελέσματα του πειράματος 3 φαίνονται αναλυτικά παρακάτω:

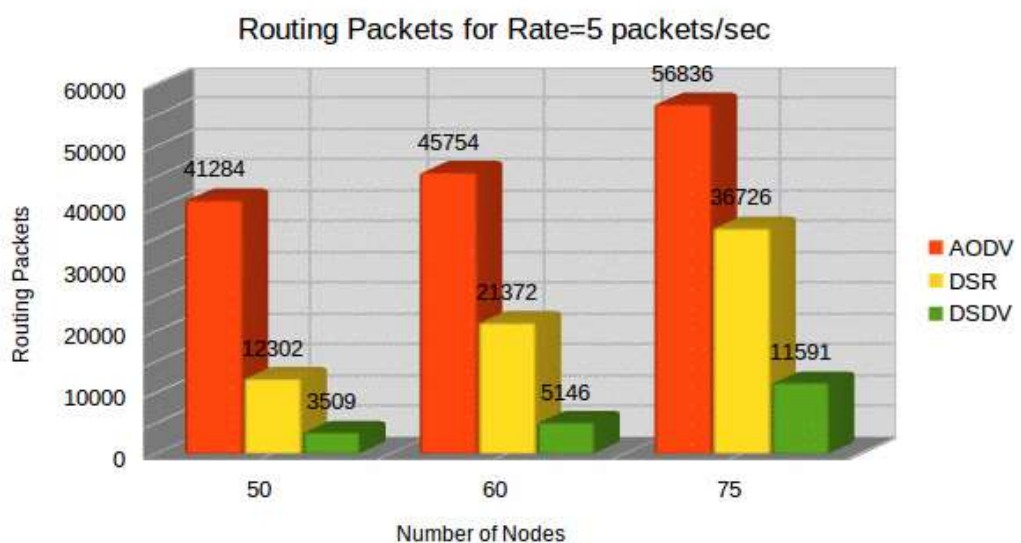
Routing Packets για ταχύτητα διάδοσης δεδομένων: 1, 5, και 10 packets/sec και πυκνότητα κόμβων 50, 60, 75:

Routing Packets				
Rate (Packets/sec)	Protocol	Πυκνότητα κόμβων		
		50	60	75
1	AODV	13962	24294	25022
	DSR	7096	9612	8735
	DSDV	2867	4119	5018
5	AODV	41284	45754	56836
	DSR	12302	21372	36726
	DSDV	3509	5146	11591
10	AODV	37841	48397	53275
	DSR	13266	27483	54218
	DSDV	3629	5307	13114

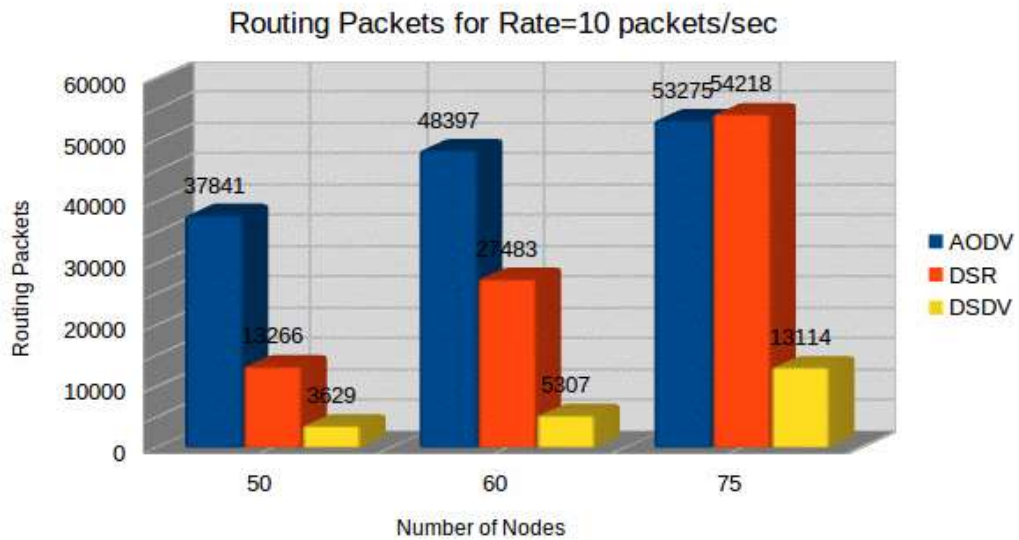
Πίνακας 17: Routing Packets μεταβάλλοντας τον ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων και την πυκνότητα των κόμβων



Διάγραμμα 23: Τα Routing Packets για rate=1 packet/sec μεταβάλλοντας την πυκνότητα των κόμβων



Διάγραμμα 24: Τα Routing Packets για rate=5 packets/sec μεταβάλλοντας την πυκνότητα των κόμβων



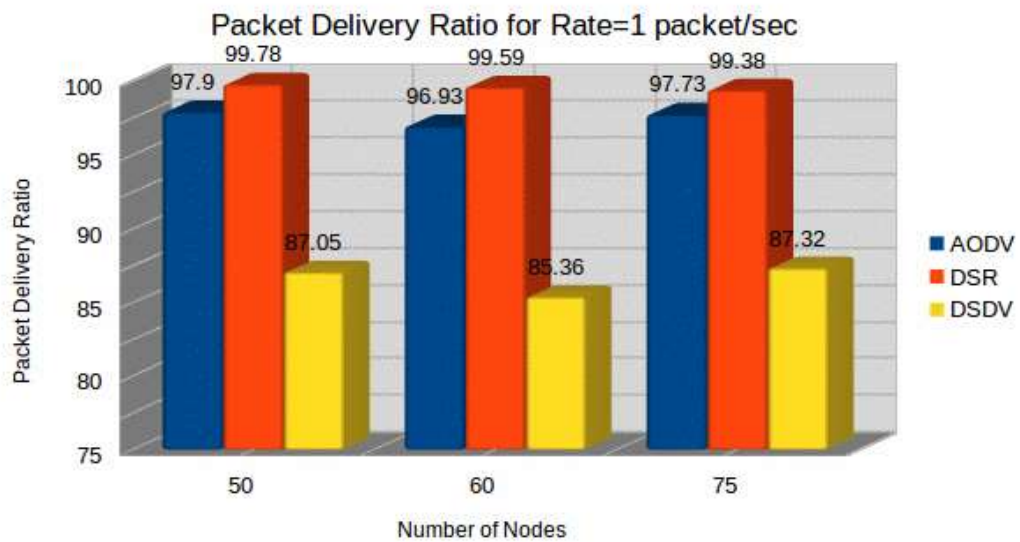
Διάγραμμα 25: Τα Routing Packets για rate=10 packets/sec μεταβάλλοντας την πυκνότητα των κόμβων

Και για τα πρωτόκολλα παρατηρούμε ότι τα Routing Packets αυξάνονται αισθητά όσο αυξάνεται ο αριθμός των κόμβων στο δίκτυο και όσο αυξάνεται ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων. Με το DSDV να παρουσιάζει την μικρότερη μετάδοση πακέτων δρομολόγησης σε όλες τις μεταβολές των παραμέτρων του τρίτου πειράματος

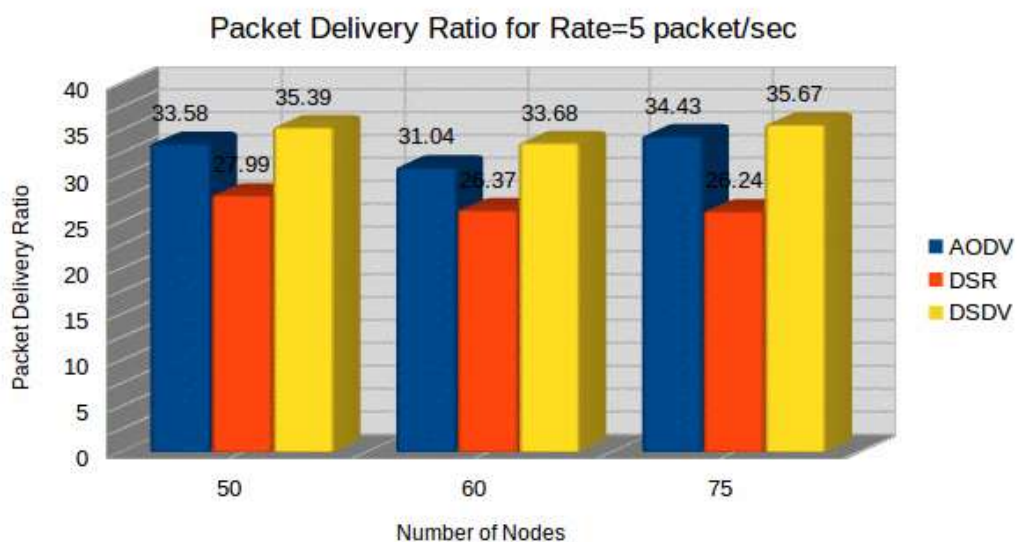
Packet Delivery Ratio για ταχύτητα διάδοσης δεδομένων: 1, 5, 10 packets/sec και πυκνότητα κόμβων 50, 60, 75:

Packet Delivery Ratio				
Rate (Packets/sec)	Protocol	Πυκνότητα κόμβων		
		50	60	75
1	AODV	97.9	96.93	97.73
	DSR	99.78	99.59	99.38
	DSDV	87.05	85.36	87.32
5	AODV	33.58	31.04	34.43
	DSR	27.99	26.37	26.24
	DSDV	35.39	33.68	35.67
10	AODV	16.54	15.46	17.07
	DSR	13.21	12.46	11.29
	DSDV	20.93	17.49	18.68

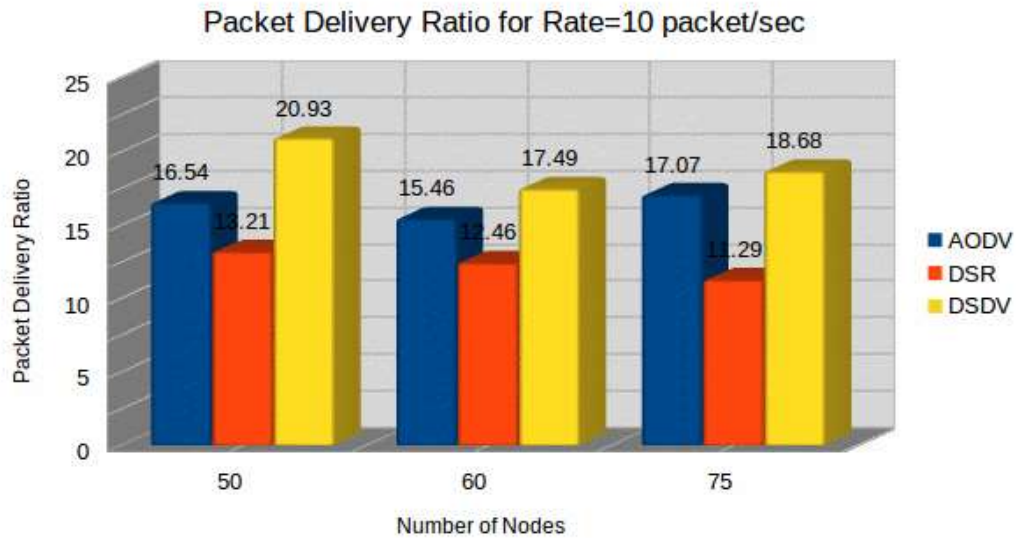
Πίνακας 18: Packet Delivery Ratio μεταβάλλοντας τον ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων και την πυκνότητα των κόμβων



Διάγραμμα 26: Packet Delivery Ratio για rate=1 packet/sec μεταβάλλοντας την πυκνότητα των κόμβων



Διάγραμμα 27: Packet Delivery Ratio για rate=5 packets/sec μεταβάλλοντας την πυκνότητα των κόμβων



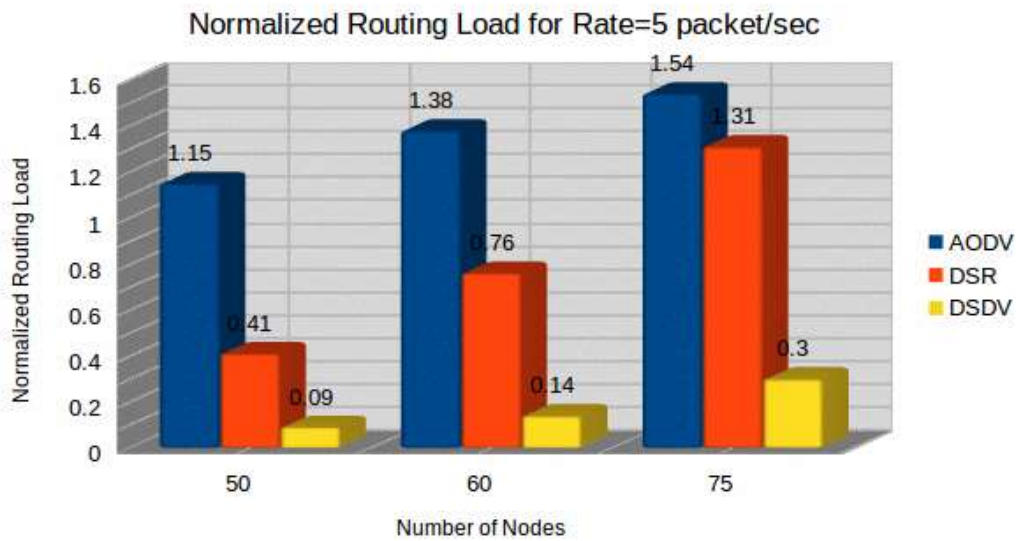
Διάγραμμα 28: Packet Delivery Ratio για rate=10 packets/sec μεταβάλλοντας την πυκνότητα των κόμβων

Το Packet Delivery Ratio παρατηρούμε και στα τρία πρωτόκολλα να είναι πολύ υψηλό σχεδόν να φτάνει το 100% στην περίπτωση του DSR πρωτοκόλλου για ρυθμό μεταφοράς δεδομένων 1 packet/sec και να μειώνεται ελάχιστα με την αύξηση του αριθμού των κόμβων στο δίκτυο. Ενώ όταν περνάμε σε μεγαλύτερες ταχύτητες ρυθμού μεταφοράς δεδομένων να μειώνεται κατά το 1/3. Με το DSDV πρωτόκολλο να καταφέρνει την μικρότερη μείωση κατά τη διάρκεια της αύξησης του ρυθμού μεταφοράς και τελικά να έχει την μεγαλύτερη απόδοση συγκριτικά με τα άλλα δύο για 5 και για 10 packets/sec.

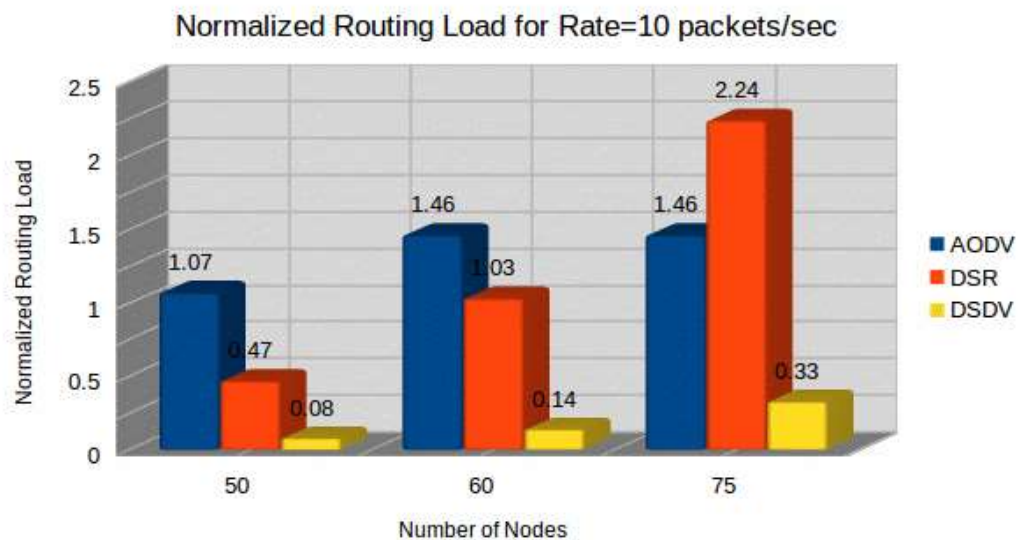
Normalized Routing Load για ταχύτητα διάδοσης δεδομένων: 1, 5, 10 packets/sec και πυκνότητα κόμβων 50, 60, 75:

Normalized Routing Load				
Rate (Packets/sec)	Protocol	Πυκνότητα κόμβων		
		50	60	75
1	AODV	0.67	1.17	1.2
	DSR	0.33	0.45	0.41
	DSDV	0.15	0.23	0.27
5	AODV	1.15	1.38	1.54
	DSR	0.41	0.76	1.31
	DSDV	0.09	0.14	0.3
10	AODV	1.07	1.46	1.46
	DSR	0.47	1.03	2.24
	DSDV	0.08	0.14	0.33

Πίνακας 19: Normalized Routing Load μεταβάλλοντας τον ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων και την πυκνότητας των κόμβων



Διάγραμμα 30: Normalized Routing Load για rate=5 packets/sec μεταβάλλοντας την πυκνότητα των κόμβων



Διάγραμμα 31: Normalized Routing Load για rate=10 packets/sec μεταβάλλοντας την πυκνότητα των κόμβων

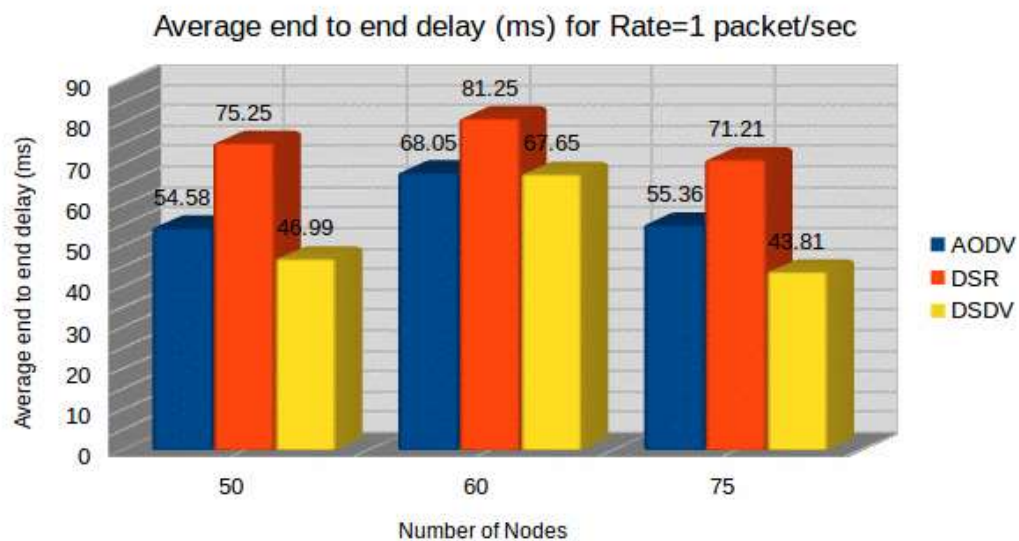
Το Normalized Routing Load παρατηρούμε στα πρωτόκολλα AODV και DSR να αυξάνεται καθώς αυξάνεται η πυκνότητα των κόμβων καθώς και με την αύξηση του ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων. Με το DSR να παρουσιάζει την μεγαλύτερη αύξηση καθώς αυξάνεται η πυκνότητα των κόμβων και ο ρυθμός μεταφοράς είναι ο μέγιστος 10 packets/sec.

Για το DSDV πρωτόκολλο παρατηρούμε ότι επηρεάζεται αρνητικά με την αύξηση του αριθμού των κόμβων, ενώ με την αύξηση του ρυθμού μεταφοράς βλέπουμε να μειώνεται ή να παραμένει στα ίδια επίπεδα.

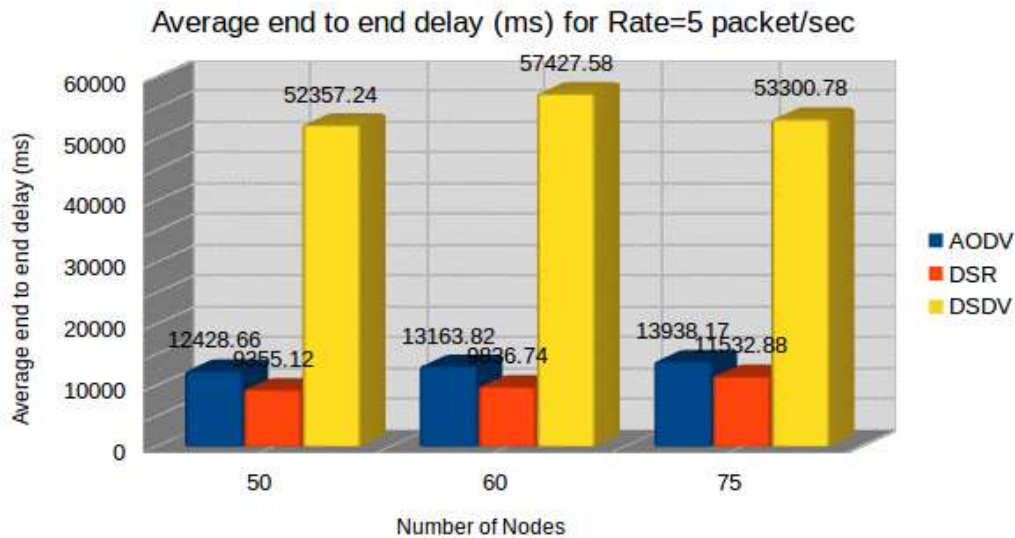
Average end to end delay (ms) για ταχύτητα διάδοσης δεδομένων: 1, 5, και 10 packets/sec και πυκνότητα κόμβων 50, 60, 75:

Average end to end delay(ms)				
Rate (Packets/sec)	Protocol	Πυκνότητα κόμβων		
		50	60	75
1	AODV	54.58	68.05	55.36
	DSR	75.25	81.25	71.21
	DSDV	46.99	67.65	43.81
5	AODV	12428.66	13163.82	13938.17
	DSR	9355.12	9836.74	11532.88
	DSDV	52357.24	57427.58	53300.78
10	AODV	23080.64	19144.73	22644.57
	DSR	9642.22	10747.44	12727.96
	DSDV	72252.75	84189.18	78013.8

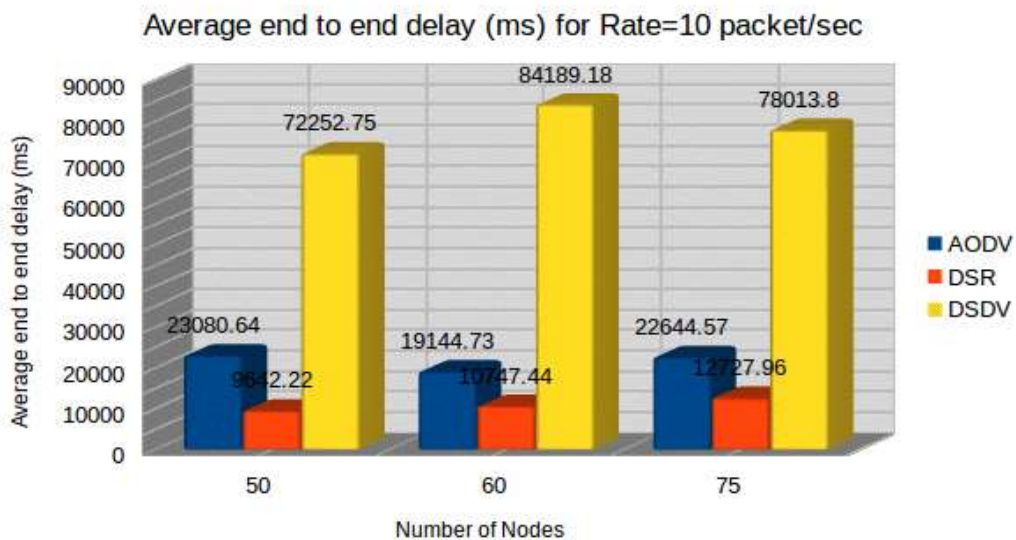
Πίνακας 20: Average end to end delay (ms) μεταβάλλοντας τον ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων και την πυκνότητας των κόμβων



Διάγραμμα 32: Average end to end delay (ms) για rate=1 packet/sec μεταβάλλοντας την πυκνότητα των κόμβων



Διάγραμμα 33: Average end to end delay (ms) για rate=5 packets/sec μεταβάλλοντας την πυκνότητα των κόμβων



Διάγραμμα 34: Average end to end delay (ms) για rate=10 packets/sec μεταβάλλοντας την πυκνότητα των κόμβων

Το Average end to end delay παρατηρούμε και στα τρία πρωτόκολλα να είναι μηδαμινό για ρυθμό μεταφοράς δεδομένων 1 packet/sec και να διατηρείται σε αυτά τα επίπεδα καθώς αυξάνουμε την πυκνότητα των κόμβων. Και να αυξάνεται ραγδαία καθώς αυξάνεται ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων σε 5 και σε 10 packets/sec. Με το DSR να παρουσιάζει την μικρότερη αύξηση και τη μεγαλύτερη σταθερότητα στους παραπάνω ρυθμούς μεταφοράς καθώς και στην αύξηση της πυκνότητας των κόμβων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

A. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το πρωτόκολλο DSDV έχει τη μεγαλύτερη καθυστέρηση στην παράδοση πακέτων σε όλες τις προσομοιώσεις. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η προληπτική συμπεριφορά του πρωτοκόλλου αυτού πλημμυρίζει το δίκτυο με πακέτα ελέγχου. Έτσι αυξάνεται ο φόρτος του δικτύου και τα πακέτα πληροφορίας καθυστερούν να φτάσουν στον προορισμό τους.

Το ίδιο πρωτόκολλο παρουσίασε το μικρότερο αριθμό Routing Packets σε όλες τις προσομοιώσεις και στις περισσότερες μεταβολές ο αριθμός των πακέτων που μεταδίδονταν ήταν εξαρτώμενος από τις άλλες μεταβαλλόμενες. Επίσης εμφάνισε το καλύτερο Packet Delivery Ratio και πολύ χαμηλό Normalized Routing Load συγκριτικά με τα άλλα δύο πρωτόκολλα καθ' όλες τις μεταβολές. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι το συγκεκριμένο πρωτόκολλο είναι το πιο αναποτελεσματικό, λόγω του μεγάλου end-to-end delay για εφαρμογές που είναι χρονικά ευαίσθητες όπως η μετάδοση φωνής και video.

Με τη χρήση του μοντέλου κινητικότητας Random Way Point το AODV πρωτόκολλο παρουσίασε την μεγαλύτερη εκπομπή πακέτων ελέγχου και στα τρία πειράματα σε σχέση με τα άλλα δύο. Επίσης παρουσίασε μεγαλύτερο packet delivery ratio και μεγαλύτερη Average end to end Delay από το DSR πρωτόκολλο σε όλες τις μεταβολές εκτός από την περίπτωση του πολύ χαμηλού ρυθμού μετάδοσης 1 packet/sec που είναι μικρότερα, και μικρότερα από το πρωτόκολλο DSDV με εξαίρεση και δω της περίπτωσης του πολύ χαμηλού ρυθμού μετάδοσης που εμφάνισε υψηλότερα.

Για το Normalized Routing Load παρατηρούμε ότι εμφανίζεται μεγαλύτερο σε όλα τα πειράματα συγκριτικά με αυτό του DSDV πρωτοκόλλου, ενώ σε σχέση με το DSR σε όλες τις μεταβολές είναι μεγαλύτερο εκτός από την περίπτωση που αυξάνουμε τον μέγιστο αριθμό συνδέσεων και την μέγιστη ταχύτητα κίνησης των κόμβων όταν έχουμε τον μέγιστο αριθμό κόμβων στο δίκτυο (75) που η απόδοση του είναι υψηλότερη. Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι σε δίκτυα με μικρό αριθμό κόμβων και χαμηλή κινητικότητα το AODV δεν αποτελεί καλή λύση σαν πρωτόκολλο δρομολόγησης. Αντίθετα, το AODV είναι το κατάλληλο πρωτόκολλο για κάθε είδος εφαρμογής (voice, video, file transfer, κλπ) σε δίκτυα με υψηλότερη κινητικότητα και μεγαλύτερο αριθμό κόμβων.

Η ειδοποιός διαφορά μεταξύ των τριών πρωτοκόλλων αφορά την παράμετρο end-to-end delay, για την οποία το DSR υπερέχει σε όλες τις προσομοιώσεις εκτός από την περίπτωση του πολύ χαμηλού ρυθμού μεταφοράς 1 packet/sec που παρουσιάζει την μεγαλύτερη καθυστέρηση.

Χρησιμοποιώντας το Random way point μοντέλο κινητικότητας και ένα βαρυφορτωμένο δίκτυο, το DSR παρουσίασε την καλύτερη απόδοση σε σχέση με την μέση καθυστέρηση (average end-to-end delay. Αυτό συμβαίνει γιατί το συγκεκριμένο πρωτόκολλο αξιοποιεί το ασύρματο μέσο μετάδοσης με καλύτερο τρόπο από τα άλλα πρωτόκολλα.

Παρ' όλα αυτά η απόδοση του DSR ελαττώνεται σε δίκτυα με υψηλότερη κινητικότητα, αποδεικνύοντας ότι το συγκεκριμένο πρωτόκολλο δεν μπορεί να προσαρμοστεί αποτελεσματικά στις αλλαγές τοπολογίας του δικτύου οι οποίες προκαλούνται από τις συχνές μετακινήσεις των κόμβων. Τα ίδια συμπεράσματα προέκυψαν όταν προσομοιώθηκε η συμπεριφορά του DSR σε δίκτυα με αυξανόμενο αριθμό κόμβων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το DSR παρουσιάζει χαμηλότερη απόδοση από το AODV σε ότι αφορά τις παραμέτρους packet delivery ratio και end-to-end delay

Συνοψίζοντας τα παραπάνω αποτελέσματα, συμπεραίνουμε ότι το DSR είναι κατάλληλο για δίκτυα υψηλής συνεκτικότητας και μικρό αριθμό κόμβων εφόσον υπάρχει χαμηλή κινητικότητα. Το υψηλό packet delivery ratio καθώς και η χαμηλή end-to-end delay σε τέτοιας φύσης δίκτυα καθιστούν αποτελεσματική τη χρήση χρονικά ευαίσθητων εφαρμογών όπως για παράδειγμα voice και video streaming.

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Διαφαίνεται από τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας ότι δεν υπάρχει ένα μοναδικό πρωτόκολλο δρομολόγησης που μπορεί να εφαρμοσθεί σε όλα τα δίκτυα. Χρειάζεται επομένως προσαρμογή των παραπάνω πρωτοκόλλων για χρήση ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του δικτύου και τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Όταν είναι γνωστά το μοντέλο κινητικότητας των κόμβων, η τοπολογία του δικτύου, ο βαθμός συνδεσιμότητας και οι εφαρμογές που θα χρησιμοποιηθούν (email, ftp, video, voice, κλπ), μπορούμε να προσαρμόσουμε τις εσωτερικές παραμέτρους τους.

Μια άλλη ερευνητική προσέγγιση θα μπορούσε να αποτελέσει ένα αυτοπροσαρμοζόμενο πρωτόκολλο δρομολόγησης το οποίο θα μπορούσε να αναγνωρίζει και να προσαρμόζεται στις αλλαγές του δικτύου, συλλέγοντας στατιστική πληροφορία για τις παραμέτρους end-to-end delay, packet delivery ratio, και τροποποιώντας αντίστοιχα τις εσωτερικές του παραμέτρους.

Όλα αυτά βέβαια αποτελούν προτάσεις για ερευνητική δουλειά στα πλαίσια μιας πιθανής διδακτορικής διατριβής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Lecture Notes, “Broadband Computer Networks,” by Prof. Zhisheng Niu, Tsinghua University, 2003.
- [2] Gang Wang and Guodong Wang, “An Energy Aware Geographic Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks”, Int J. Software informatics, Vol. 4, No. 2, June 2010, pp. 183-196.
- [3] M. Frodigh, P. Johansson, and P. Larsson, “Wireless ad hoc networking: the art of networking without a network”, || Ericsson Review, No.4, 2000, pp. 248-263.
- [4] Magnus Frodigh, Per Johansson and Peter Larsson, “Wireless ad hoc networking- The art of networking without a network”
- [5] E. M. Royer and C-K Toh , “A review of Current routing protocols for Ad Hoc Mobile Wireless”
- [6] Chlamtac, I., Conti, M., and Liu, J. J.-N. “Mobile ad hoc networking: imperatives and challenges”. Ad Hoc Networks, 1 (1), 2003, pp. 13–6.
- [7] HaoYang, Haiyun & Fan Ye, “Security in mobile ad-hoc networks: Challenges and solutions”||, Pg. 38-47, Vol 11, issue 1, Feb 2004.
- [8] “The Hand book of AdHoc Wireless Networks (chapter 30)”, CRC press LLC, 2003.
- [9] A. Iwata C. Chiang, G. Pei, M. Gerla: “Scalable Routing for Ad hoc Networks” IEEE JSAC, vol 17, no. 8, Aug. 1999.
- [10] L. Zhou, J. Haas: “Securing Ad hoc Networks” IEEE Network, vol 13, no 6, Dec 1999.
- [11] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estin: “Directed Diffusion: A scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks”. Proc ACM Mobicom 2000.
- [12] J. B. Postel: “Internet Protocol”, Internet Request for Comments RFC 791, IETF September 1981.
- [13] S. Corson, J. Macker : “Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations”, RFC 2501, January 1999
- [14] C. Toh: ”Maximum Battery Life Routing to Support Ubiquitous Mobile Computing in Wireless Ad hoc Networks”, IEEE Computer Magazine, Feb 2004.
- [15] Allman, M., Glover, D. and L. Sanchez, "Enhancing TCP Over Satellite Channels using Standard Mechanisms", BCP 28, RFC 2488, January 1999.

- [16] David B. Johnson: "Routing in Ad Hoc Networks of Mobile Hosts" In Proceedings of the IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, pages 158--163, December 1994.
- [17] David B. Johnson and David A. Maltz.: "Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks" Mobile Computing, edited by Tomasz Imielinski and Hank Korth, chapter 5, pages 153--181. Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [18] S. Keshav, "An Engineering Approach to Computer Networking: ATM Networks, the Internet and Telephone Network, Ch 11 Addison Wesley.
- [19] J. Broch et al., "A performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols," Proc. ACM/IEEE Mobicom, Oct. 1998, pp 85-97.
- [20] S. J. Lee, C. K. Toh and M. Gerla, "Performance Evaluation of Table-Driven and On-Demand Ad Hoc Routing Protocols," Proc IEEE PIMRC, Sept. 1999, pp 297-301.
- [21] J. C Cano., P. Manzoni, "A Performance Comparison of Energy Consumption for Mobile Ad Hoc Networks Routing Protocols," IEEE ACM MASCOTS, 2000.
- [22] C. E. Perkins and E. M. Royer "Ad Hoc On Demand Distance Vector Routing" in Proc. IEEE WMCSA, 1999.
- [23] Y. C. Hu and D. B. Johnson. "Caching Strategies in On-Demand Routing Protocols for Wireless Ad Hoc Networks," Proc. ACM International Conference on Mobile Computing and Networking, August 2000.
- [24] Zygmunt J. Haas, "A routing Protocol for the Reconfigurable Wireless Network," Proc. ICUPC 1997, October 1997.
- [25] Young-Be Ko and Nitin Vaidya, "Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad hoc Networks" Proc MobicCom 1998, October 1998.
- [26] Y. C. Hu and D. B. Johnson. "Implicit Source Routing in On-Demand Ad Hoc Network.
- [27] Routing."In Proceedings of the Second Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc 2001), pages 1--10, October 2001.
- [28] Ασύρματες Επικοινωνίες, Παρελθόν, Παρόν, Μέλλον, (<http://www.eng.ucy.ac.cy/toumpis/courses/ECE453/history.pdf>).
- [29] Δορυφορικά δίκτυα – Satellite networks, (http://conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/metaptyxiaka/technologies_diktywn/ergasies/2002/Goutzelis_Satellite_Networks.pdf).
- [30] What is a wireless LAN?, (<http://kb.iu.edu/data/aick.html>).

- [31] “Wireless Ad hoc Networking” by Shih-Lin Wu & Yu-Chee Tseng, Auerbach Publications.
- [32] Breakthroughs in large-scale ad hoc wireless networking and application for vehicle safety Sadao Obana, Naoto Kadowaki and Peter Davis Advanced Telecommunication Research Institute International (ATR).
- [33] Marina M.K. , Das, S.R., Routing performance of in the Presence of unidirectional Links in Multihop Wireless Networks, Proceedings of ACM Mobihoc, 2002.
- [34] Boppana, R.V., Marina, M.K. and Kondurm, S.P., An Analysis of Routing Techniques for Mobile and Ad hoc Networks, Proceeding of International Conference on High Performance Computing (HiPC), 1999.
- [35] A Survey of Wireless Mesh Networks, Ian F. Akyildiz, Georgia Institute of Technology Xudong Wang, Kiyon, INC.
- [36] P. Gupta and P. R. Kumar, “The Capacity of Wireless Networks,” IEEE Trans. Info. Theory, vol. 46, no. 2, Mar. 2000.
- [37] “Ad-Hoc Networks: Fundamental Properties And Network Topologies” by RAMIN HEKMAT, Delft University of Technology, Springer.
- [38] Mobile Collaborative learning using Multicast MANETs, Vasileiou, A. & Economides A.A , International Journal of Mobile Communications, Vol. 5, No 4, 2008.
- [39] Urban Mobility Models for VANETs Atulya Mahajan, Niranjan Potnis, Kartik Gopalan and An-I A. Wang Computer Science, Florida State University.
- [40] Wireless Sensor Networks, John A. Stankovic, Department of Computer Science, University of Virginia, June 19 2006.
- [41] Προσομοίωση Μοντέλων Κινητικότητας σε Κυψελωτά και Αδόμητα Ασύρματα Δίκτυα, Διπλωματική εργασία, Κ. Παλαχώρος, Γ. Χειμωνίδης .
- [42] Wireless Communications – Andrea Goldsmith, Stanford University 2005.
- [43] C. Bettstetter, “Failure-resilient ad hoc and sensor networks in a shadow fading environment,” in Proc. IEEE/IFIP Intern. Conf. on Dependable Systems and Networks (DSN), Workshop on Dependability Issues in Wireless Ad Hoc Networks and Sensor Networks (DIWANS), (Florence, Italy), June 2004.
- [44] C. Bettstetter, “On the connectivity of ad hoc networks,” The Computer Journal, vol. 47, pp. 432–447, July 2004.Oxford University Press.

[45] C. Bettstetter and C. Hartmann, “Connectivity of wireless multihop networks in a shadow fading environment,” *ACM Wireless Networks*, vol. 11, pp. 571–589, Sept. 2005.