

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών Τηλεπικοινωνιών και
Δικτύων

Μείωση φόρτου επικοινωνίας στο
πρωτόκολλο OLSR ως συνάρτηση της
ταχύτητας κίνησης των κόμβων

Πλατώνης Στέφανος
Πτυχιακή Εργασία
Επιβλέπων: Λάλης Σπύρος
Οκτώβριος 2008



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 6718/1
Ημερ. Εισ.: 23-12-2008
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΜΗΥΤΔ
2008
ΠΛΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1	Εισαγωγή	5
2	Το Πρωτόκολλο OLSR	7
3	Περιβάλλον Προσομοίωσης.....	9
4	Πολιτική εκπομπής HELLO μηνυμάτων	11
5	Υπολογισμός αριθμού πακέτων ανά κόμβο	15
5.1	Fixed πολιτική.....	15
5.2	Min-max πολιτική	15
5.3	Linear πολιτική.....	17
5.4	Overlinear πολιτική	19
6	Αποτελέσματα προσομοιώσεων και σχολιασμός.....	21
6.1	Αριθμός HELLO πακέτων που παρήχθησαν κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης ανά κόμβο...	22
6.2	Ποσοστό επιτυχίας του δικτύου	27
6.3	Μείωση στα πακέτα και στην απόδοση του δικτύου (ποσοστό παράδοσης)	34
7	Σχετικές Εργασίες.....	39
	Αναφορές.....	43
	Παράρτημα Α	45
	Παράρτημα Β	47

1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια η μεγάλη ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων μας έχει οδηγήσει στην ανάγκη για βελτίωση των τεχνολογιών που αυτά χρησιμοποιούν. Η έρευνα έχει επικεντρωθεί κατά κύριο λόγο στη βελτίωση των πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούνται στα λεγόμενα MANETs (Mobile Adhoc NETWORKs) λόγω των ιδιοτήτων που αυτά παρουσιάζουν – μειωμένη ισχύς και επεξεργαστική δυνατότητα στους κόμβους, συχνές αλλαγές στην τοπολογία είναι κάποιες από αυτές – αλλά και γιατί τα MANETs είναι μία εξέλιξη στα δίκτυα υπολογιστών που θα παίζει σίγουρα μεγάλο ρόλο στη ζωή μας στο μέλλον, από τη χρήση τους από απλούς χρήστες μέχρι την ανάπτυξη δικτύων υπολογιστών και αισθητήρων για επαγγελματικές χρήσεις και ερευνητικούς σκοπούς. Στην παρούσα εργασία μελετάμε ένα συγκεκριμένο πρωτόκολλο για τέτοιου είδους δίκτυα και πώς μπορούμε να μειώσουμε το φόρτο επικοινωνίας του δικτύου ευκμεταλλευόμενοι την πληροφορία που έχουμε για την ταχύτητα κίνησης των κόμβων που το αποτελούν. Στα επόμενα κεφάλαια ακολουθεί η περιγραφή του πρωτοκόλλου (Κεφάλαιο 2), το περιβάλλον προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκε (Κεφάλαιο 3), οι διάφορες τροποποιήσεις που δοκιμάστηκαν στο πρωτόκολλο για να επιτύχουμε το στόχο μας (Κεφάλαιο 4), η θεωρητική προσέγγιση των αποτελεσμάτων που αναμένουμε σύμφωνα με τις τροποποιήσεις που έχουμε κάνει (Κεφάλαιο 5) και τέλος η παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις και ο σχολιασμός τους (Κεφάλαιο 6). Επίσης, στο Κεφάλαιο 7 αναφέρονται σχετικές εργασίες που έχουν προηγηθεί.

2 Το Πρωτόκολλο OLSR

Το Optimized Link State Routing (OLSR) [1] είναι ένα προληπτικό (proactive) πρωτόκολλο σχεδιασμένο για ασύρματα ad hoc δίκτυα. Αποτελεί μία βελτιστοποίηση του κλασικού αλγορίθμου κατάστασης ζεύξης (link state algorithm) περιορισμένου στις απαιτήσεις ενός ασύρματου τοπικού δικτύου. Η βασική έννοια που χρησιμοποιείται στο πρωτόκολλο είναι αυτή των multipoint relays (MPRs). Οι MPRs είναι κόμβοι, που επιλέγονται μέσα από την ανταλλαγή μηνυμάτων ανάμεσα σε όλους τους κόμβους. Στο [2] δίνεται ανάλυση και παράδειγμα αλγορίθμου επιλογής MPR. Οι MPRs προωθούν broadcast μηνύματα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας πλημμύρας του δικτύου. Αυτή η τεχνική ουσιαστικά μειώνει το φόρτο μηνυμάτων σε σύγκριση με τον κλασικό μηχανισμό πλημμύρας, όπου κάθε κόμβος επανεκπέμπει κάθε μήνυμα όταν λαμβάνει το πρώτο αντίγραφο του μηνύματος. Στο OLSR, πληροφορίες για την κατασκευή των πινάκων δρομολόγησης παράγονται μόνο από κόμβους εκλεγμένους ως MPRs. Συνεπώς, μία δεύτερη βελτιστοποίηση επιτυγχάνεται ελαχιστοποιώντας των αριθμό των μηνυμάτων ελέγχου που διαχέονται στο δίκτυο. Ως τρίτη βελτιστοποίηση, ένας MPR κόμβος μπορεί να επιλέξει να αναφέρει μόνο ζεύξεις ανάμεσα σε αυτόν και τους κόμβους που τον έχουν επιλέξει ως MPR. Εξαιτίας αυτού, σε αντίθεση με τον κλασικό αλγόριθμο κατάστασης ζεύξεων, καταλείπεται τμηματική πληροφορία για τις ζεύξεις στο δίκτυο. Αυτή η πληροφορία χρησιμοποιείται έπειτα για τον υπολογισμό των διαδρομών. Το OLSR παρέχει βέλτιστες διαδρομές (σε σχέση με τον αριθμό των hops). Το πρωτόκολλο είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για μεγάλα και πυκνά δίκτυα καθώς η τεχνική των MPRs δουλεύει καλά σε αυτές τις συνθήκες.

3 Περιβάλλον Προσομοίωσης

Οι προσομοιώσεις του OLSR και των τροποποιημένων εκδόσεών του έγιναν στο περιβάλλον προσομοίωσης *ns-2* [3], έναν προσομοιωτή για δίκτυα γραμμένο σε C++ και TCL. Έγιναν προσομοιώσεις σε μία περιοχή 1000 επί 1000 τετραγωνικά μέτρα και σε δίκτυα αποτελούμενα από 30, 50 και 70 κόμβους. Η διάρκεια των προσομοιώσεων ήταν πάντα 600 δευτερόλεπτα. Το μοντέλο ασύρματης μετάδοσης που χρησιμοποιήθηκε είναι το *μοντέλο ανάκλασης εδάφους δύο ακτίνων* με μοναδιαίο κέρδος στις κεραιές εκπομπού και δέκτη. Η *ακτίνα εκπομπής* των κεραιών είναι 250 μέτρα¹. Οι κόμβοι δηλαδή καθώς κινούνται δύνανται να καλύπτουν με την εκπομπή τους κάθε στιγμή από 4,9% (στην ακραία περίπτωση που βρίσκονται σε μία από τις γωνίες της τετράγωνης περιοχής) μέχρι 19,6% της συνολικής επιφάνειας του μοντέλου μας. Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για τις ασύρματες μεταδόσεις είναι το IEEE 802.11 WLAN MAC. Για το πρωτόκολλο OLSR χρησιμοποιήθηκε η υλοποίησή του στον *ns-2* από το πανεπιστήμιο της Murcia [4] και η οποία υλοποιεί τη βασική λειτουργικότητα του πρωτοκόλλου σύμφωνα με το RFC3626.

Αρχικά οι κόμβοι τοποθετούνται ομοιόμορφα στο χώρο ενώ για την κίνησή τους παράχθηκαν σενάρια κίνησης σύμφωνα με το *random waypoint* μοντέλο. Το μοντέλο αυτό καθορίζει την κίνηση των κόμβων ως εξής: Κάθε κόμβος ξεκινάει με μία τυχαία ταχύτητα από το σημείο που βρίσκεται προς ένα άλλο τυχαίο σημείο στο χώρο. Μόλις φτάσει στον προορισμό του σταματάει για ένα χρονικό διάστημα που το καθορίζει το *pause time* του μοντέλου. Μετά το πέρας αυτού του διαστήματος ο κόμβος ξεκινάει πάλι με άλλη τυχαία ταχύτητα προς άλλο τυχαίο σημείο του χώρου και ούτω καθεξής. Στις δικές μας προσομοιώσεις το *pause time* έπαιρνε τις τιμές 4 και 8 δευτερόλεπτα ενώ πήραμε και δύο

¹ Περισσότερα για το μοντέλο μετάδοσης και την *ακτίνα εκπομπής* στον *ns-2* στο Παράρτημα Α.

περιπτώσεις για τη μέγιστη ταχύτητα των κόμβων, 1m/sec και 10m/sec. Η ελάχιστη ταχύτητα των κόμβων ήταν 5m/sec για μέγιστη ταχύτητα 10m/sec, ενώ για την πρώτη περίπτωση οι κόμβοι κινούνταν πάντα με 1m/s. Έγιναν επίσης προσομοιώσεις με και χωρίς πηγές δεδομένων. Οι πηγές αυτές είναι εφαρμογές που παράγουν με σταθερό ρυθμό 4 πακέτα UDP ανά δευτερόλεπτο. Στην περίπτωση των 30 κόμβων είχαμε 6 σταθερές συνδέσεις μεταξύ κόμβων (μπορεί ένας κόμβος να συμμετέχει σε παραπάνω από μία σύνδεση), στην περίπτωση των 50 κόμβων είχαμε 10 και στην περίπτωση των 70 κόμβων είχαμε 14 τέτοιες συνδέσεις.

4 Πολιτική εκπομπής HELLO μηνυμάτων

Η τροποποίηση που έγινε πάνω στο OLSR έχει να κάνει με τη συχνότητα αποστολής των μηνυμάτων HELLO του πρωτοκόλλου. Τα HELLO μηνύματα είναι μηνύματα που στέλνονται από έναν κόμβο προς όλους τους γείτονές του. Εκείνοι τα επεξεργάζονται και ύστερα τα απορρίπτουν. Μέσα από την ανταλλαγή των HELLO μηνυμάτων μεταξύ των κόμβων προκύπτει η ανίχνευση ζεύξεων και γειτόνων καθώς και η επιλογή των MPRs για τα οποία μιλήσαμε στην αρχή. Το OLSR καθορίζει ότι τα μηνύματα αυτά στέλνονται κάθε HELLO_INTERVAL δευτερόλεπτα όπου HELLO_INTERVAL είναι ένας σταθερός αριθμός. Για την περίπτωση της πολιτικής που ακολουθεί το OLSR βάσει προτύπου χρησιμοποιήσαμε δύο τιμές, 2 και 4 δευτερόλεπτα, οι οποίες ήταν και οι ελάχιστες περίοδοι στις τροποποιημένες πολιτικές εκπομπής HELLO μηνυμάτων. Οι πολιτικές αυτές προκύπτουν από τροποποίηση της συνάρτησης που χρονοπρογραμματίζει την αποστολή των μηνυμάτων, με αποτέλεσμα να καταλήγουμε σε τρεις άλλες συναρτήσεις για το χρονοπρογραμματισμό των HELLO μηνυμάτων. Οι συναρτήσεις που δίνουν την περίοδο αποστολής σε κάθε μια από τις πολιτικές που ακολουθούμε είναι οι εξής:

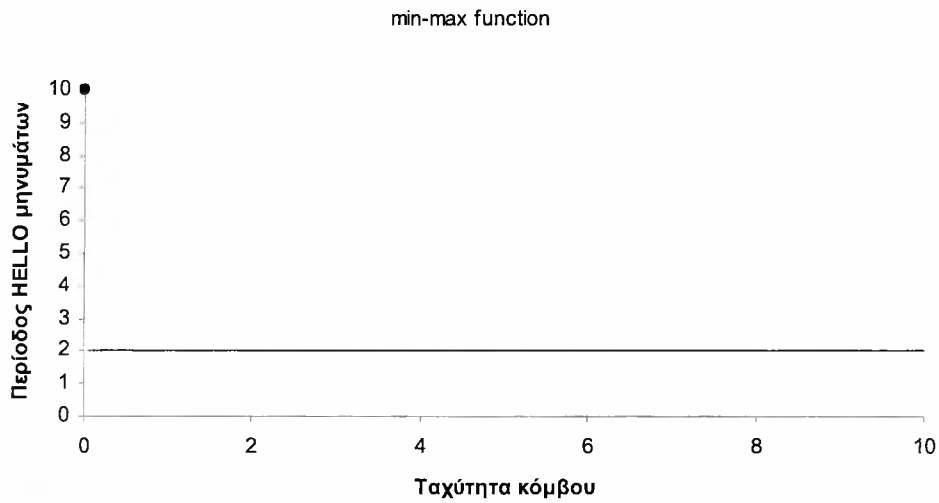
$$\text{περίοδος} = \text{HELLO_INTERVAL} - \text{JITTER} \quad (1)$$

$$\text{περίοδος} = \begin{cases} \text{max_prd} - \text{JITTER}, & \text{nodespeed} = 0, \\ \text{min_prd} - \text{JITTER}, & \text{nodespeed} \neq 0 \end{cases} \quad (2)$$

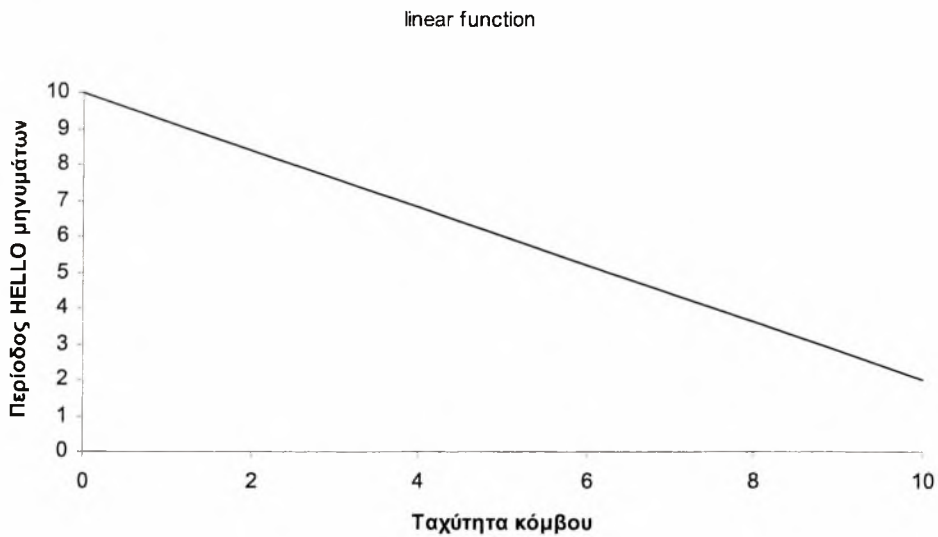
$$\text{περίοδος} = \frac{\text{min_prd} - \text{max_prd}}{\text{maxspeed}} \times \text{nodespeed} + \text{max_prd} \quad (3)$$

$$\text{περίοδος} = \frac{\text{min_prd} - \text{max_prd}}{2 \times \text{maxspeed} - \text{nodespeed}} \times \text{nodespeed} + \text{max_prd} \quad (4)$$

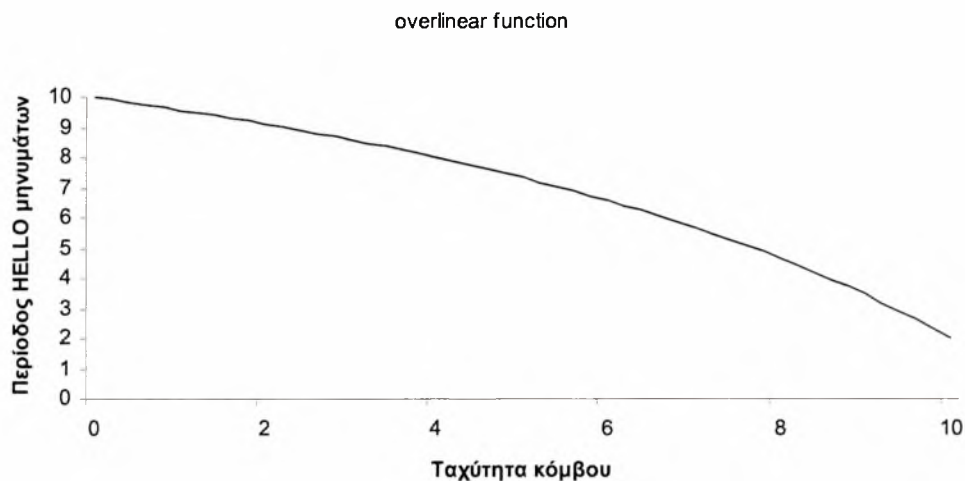
Η μεταβλητή *JITTER* είναι ένας τυχαίος αριθμός με $0 \leq \text{JITTER} \leq \text{HELLO_INTERVAL}/4$ και χρησιμοποιείται ώστε να μην έχουμε ταυτόχρονη πλημμύρα του δικτύου από τις μεταδόσεις των HELLO μηνυμάτων. Στις συναρτήσεις (3) και (4) αυτό δεν είναι απαραίτητο αφού είναι λίγα τα HELLO μηνύματα που συμπίπτουν. Η συνάρτηση (1) είναι αυτή που χρησιμοποιείται στην *fixed* πολιτική, αυτή δηλαδή που ακολουθεί το OLSR βάσει προτύπου, η (2) θα αναφέρεται ως *min-max* πολιτική, η (3) ως *linear* και η (4) ως *overlinear* πολιτική. Η συνάρτηση *min-max* παράγει μηνύματα με ελάχιστη περίοδο όταν ο κόμβος βρίσκεται σε κίνηση και με μέγιστη περίοδο όταν βρίσκεται σε στάση. Η συμπεριφορά τριών συναρτήσεων φαίνεται στις επόμενες εικόνες:



Εικόνα 1 Συνάρτηση της περιόδου αποστολής HELLO μηνυμάτων για $min_prd = 2$ και $max_prd = 10$ όταν ακολουθούμε τη *min-max* πολιτική



Εικόνα 2 Συνάρτηση της περιόδου αποστολής HELLO μηνυμάτων για $min_prd = 2$ και $max_prd = 10$ όταν ακολουθούμε τη *linear* πολιτική



Εικόνα 3 Συνάρτηση της περιόδου αποστολής HELLO μηνυμάτων για $min_prd = 2$ και $max_prd = 10$ όταν ακολουθούμε την *overlinear* πολιτική

Για τη μεταβλητή min_prd χρησιμοποιούμε, όπως αναφέραμε παραπάνω, δύο τιμές (2 και 4 δευτερόλεπτα), ενώ για τη μεταβλητή max_prd παίρνουμε δύο περιπτώσεις, όπου αυτή ισούται με $3 \cdot min_prd$ στη μία και με $5 \cdot min_prd$ στην άλλη. Έτσι, για το max_prd προκύπτουν τέσσερις τιμές (6 και 12, 10 και 20 δευτερόλεπτα αντίστοιχα).

5 Υπολογισμός αριθμού πακέτων ανά κόμβο

5.1 Fixed πολιτική

Ο αριθμός των πακέτων ανά κόμβο προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση:

$$\begin{aligned} \text{πακέτα} &= 600 / (\text{HELLO_INTERVAL} - J_{\text{μέσο}}) \\ &= 600 / (\text{HELLO_INTERVAL} - \text{HELLO_INTERVAL} / 8) \end{aligned}$$

επειδή η μεταβλητή *JITTER* ακολουθεί κανονική κατανομή. Έτσι έχουμε *πακέτα* = 342,86 για *HELLO_INTERVAL* = 2sec και *πακέτα* = 171,43 για *HELLO_INTERVAL* = 4sec.

5.2 Min-max πολιτική

Σ' αυτή την περίπτωση η εξίσωση που δίνει τον αριθμό των πακέτων ανά κόμβο είναι:

$$\text{πακέτα} = \frac{\text{χρόνος_στάσης}}{\text{max_prd} - J_{\text{μέσο}}} + \frac{\text{χρόνος_κίνησης}}{\text{min_prd} - J_{\text{μέσο}}} \quad (5)$$

Στον Πίνακα 1 παρατίθενται οι μέσοι (ανά κόμβο) χρόνοι στάσης που καταγράφηκαν στα σενάρια που εκτελέστηκαν.

	Μέγιστη ταχύτητα 1sec	Μέγιστη ταχύτητα 10sec
4 sec pause time	2,6	30,7
8 sec pause time	5,8	58,8

Πίνακας 1 Μέσος χρόνος στάσης ανά περίπτωση

Είναι προφανές ότι οι χρόνοι κίνησης προκύπτουν από την εξίσωση $\text{χρόνος_κίνησης} = 600 - \text{χρόνος_στάσης}$.

Αντικαθιστώντας στην (5) τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα και τις τιμές που χρησιμοποιούμε για τις min_prd και max_prd , προκύπτουν τα αποτελέσματα που συνοψίζονται στον επόμενο πίνακα:

min_prd/max_prd	Pause time (sec)	30 – 50 – 70 κόμβοι	
		Μέγιστη ταχύτητα 1sec	Μέγιστη ταχύτητα 10sec
2/6	4	341,82	330,65
	8	340,55	319,48
2/10	4	341,64	328,46
	8	340,14	315,29
4/12	4	170,91	165,33
	8	170,28	159,74
4/20	4	170,82	164,23
	8	170,07	157,64

Πίνακας 2 Πακέτα ανά κόμβο για τη *min-max* πολιτική

5.3 Linear πολιτική

Η εξίσωση που μας δίνει τον αριθμό των πακέτων ανά κόμβο στη *linear* πολιτική είναι:

$$\text{πακέτα} = 600 \left/ \left[(\text{min_prd} - \text{max_prd}) \times \frac{\text{nodespeed}}{\text{maxspeed}} + \text{max_prd} \right] \right. \quad (6)$$

Σε αυτή την εξίσωση αντικαθιστούμε τις *min_prd*, *max_prd*, *maxspeed* καθώς και τη *nodespeed*. Όσον αφορά την τελευταία, χρησιμοποιούμε τη μέση ταχύτητα των κόμβων όπως φαίνεται στον Πίνακα 3, ανάλογα με το σενάριο:

Pause Time	4sec	8sec
Μέγιστη Ταχύτητα		
1m/sec	0,996m/sec	0,990m/sec
10m/sec	6,94m/sec	6,59m/sec

Πίνακας 3 Μέση ταχύτητα κόμβων για τις διαφορετικές περιπτώσεις μέγιστης ταχύτητας

Στον επόμενο πίνακα συνοψίζονται τα αποτελέσματα της εξίσωσης για κάθε σενάριο προσομοίωσης:

min_prd/max_prd	Pause time (sec)	30 – 50 – 70 κόμβοι	
		Μέγιστη ταχύτητα 1sec	Μέγιστη ταχύτητα 10sec
2/6	4	297,62	222,72
	8	294,12	178,36
2/10	4	295,28	134,89
	8	288,46	126,90
4/12	4	148,81	93,05
	8	147,06	89,18
4/20	4	147,64	67,45
	8	144,23	63,45

Πίνακας 4 Πακέτα ανά κόμβο για τη *linear* πολιτική

5.4 Overlinear πολιτική

Τέλος, η εξίσωση για τον αριθμό πακέτων ανά κόμβο στην περίπτωση της *overlinear* πολιτικής είναι η παρακάτω:

$$\text{πακέτα} = 600 \left/ \left[(\min_prd - \max_prd) \times \frac{\text{nodespeed}}{2\text{maxspeed} - \text{nodespeed}} + \max_prd \right] \right. \quad (7)$$

Όπως και για τη *linear* πολιτική, αντικαθιστούμε τις μεταβλητές και έχουμε τα αποτελέσματα που φαίνονται στον Πίνακα 5:

min_prd/max_prd	Pause time (sec)	30 – 50 – 70 κόμβοι	
		Μέγιστη ταχύτητα 1sec	Μέγιστη ταχύτητα 10sec
2/6	4	297,63	154,86
	8	294,18	148,73
2/10	4	295,29	104,37
	8	288,57	98,87
4/12	4	148,81	77,43
	8	147,09	74,36
4/20	4	147,65	52,18
	8	144,29	49,44

Πίνακας 5 Πακέτα ανά κόμβο για την *overlinear* πολιτική

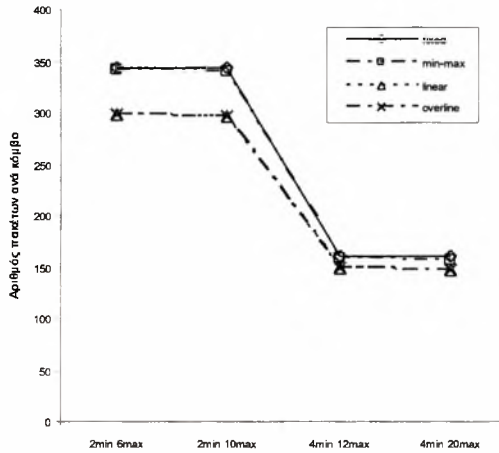
6 Αποτελέσματα προσομοιώσεων και σχολιασμός

Στα παρακάτω γραφήματα φαίνονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για τα σενάρια που περιγράψαμε παραπάνω. Να σημειώσουμε εδώ ότι τα αποτελέσματα που απεικονίζονται είναι οι μέσοι όροι τριών αποτελεσμάτων. Αυτά τα τρία αποτελέσματα προκύπτουν από τα σενάρια που περιγράψαμε παραπάνω εκτελεσμένα όμως τρεις φορές με τρία διαφορετικά σενάρια κίνησης, τα οποία όμως είναι ίδια για κάθε σενάριο προσομοίωσης. Αυτό γίνεται ώστε να διασφαλίσουμε τη μη ύπαρξη ακραίων αποτελεσμάτων λόγω της τυχαιότητας των σεναρίων προσομοίωσης. Επίσης, αφού ολοκληρώθηκαν οι προσομοιώσεις για 30 και 50 κόμβους διαπιστώθηκε ότι δεν υπήρχε καμία ουσιαστική διαφορά στον αριθμό των πακέτων πρωτοκόλλου μεταξύ των πειραμάτων με και χωρίς CBR πηγές δεδομένων, δηλαδή το επίπεδο μεταφοράς δεν παίζει ρόλο στα πακέτα που θα διακινηθούν στο επίπεδο του IP, όπου βρίσκονται τα πακέτα πρωτοκόλλου. Γι' αυτό δεν απεικονίζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων χωρίς πηγές δεδομένων αλλά και δεν έγιναν τέτοιες προσομοιώσεις για τα σενάρια με δίκτυα 70 κόμβων.

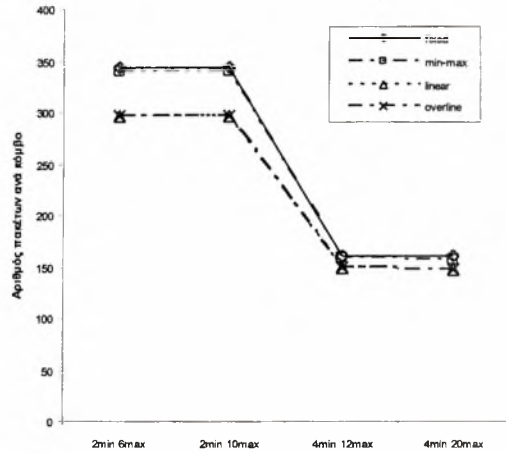
Στον οριζόντιο άξονα φαίνονται οι τιμές για την ελάχιστη και μέγιστη περίοδο (2min 6max = 2 δευτερόλεπτα ελάχιστη περίοδος, 6 δευτερόλεπτα μέγιστη περίοδος). Στην παράγραφο 6.1 εκτός από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων έχουμε παραθέσει και τα γραφήματα των θεωρητικών αποτελεσμάτων ώστε να μπορούν εύκολα να συγκριθούν.

6.1 Αριθμός HELLO πακέτων που παρήχθησαν κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης ανά κόμβο

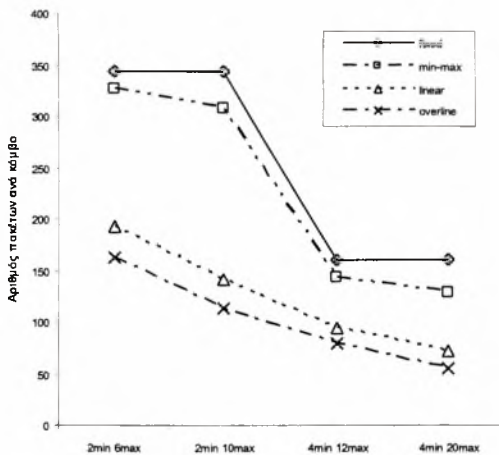
Μέγιστη ταχύτητα 1m/sec, raise time 4 δευτερόλεπτα



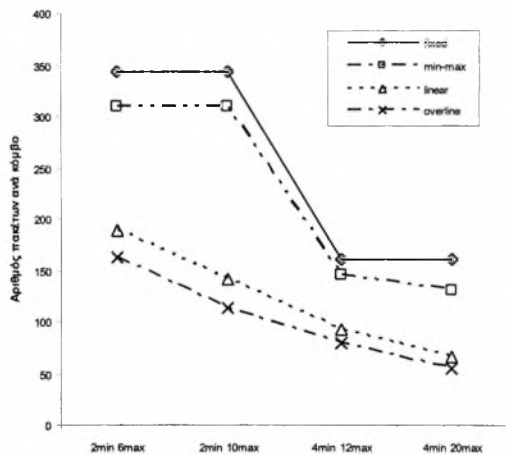
Μέγιστη ταχύτητα 1m/sec, raise time 8 δευτερόλεπτα



Μέγιστη ταχύτητα 10m/sec, raise time 4 δευτερόλεπτα

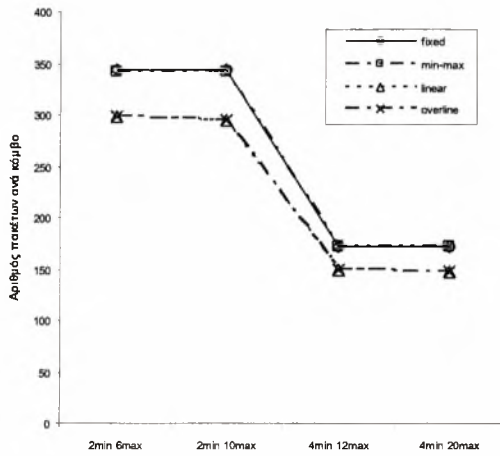


Μέγιστη ταχύτητα 10m/sec, raise time 8 δευτερόλεπτα

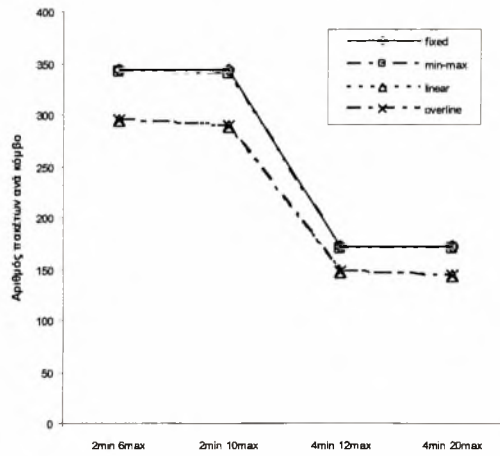


Θεωρητικά αποτελέσματα

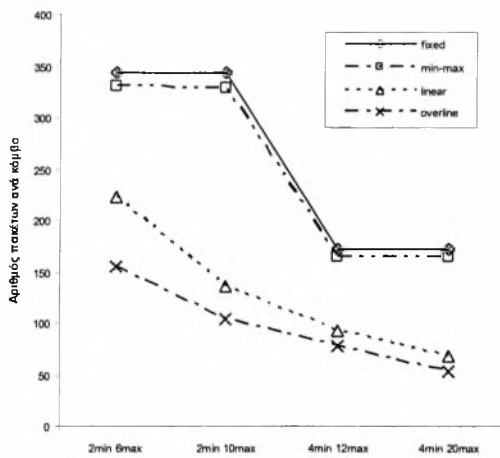
Μέγιστη ταχύτητα 1m/sec, pause time 4 δευτερόλεπτα



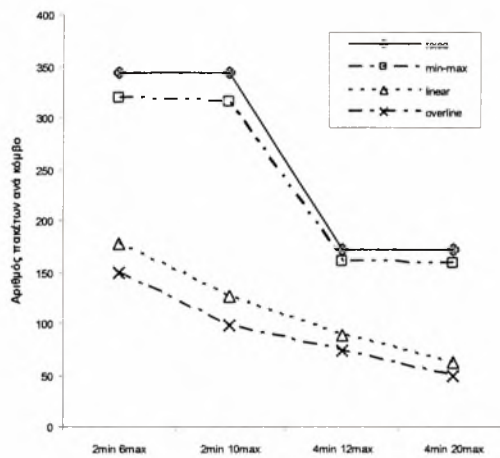
Μέγιστη ταχύτητα 1m/sec, pause time 8 δευτερόλεπτα



Μέγιστη ταχύτητα 10m/sec, pause time 4 δευτερόλεπτα



Μέγιστη ταχύτητα 10m/sec, pause time 8 δευτερόλεπτα



Κοιτώντας τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που απεικονίζονται στα γραφήματα αυτής της παραγράφου παρατηρούμε ότι επιβεβαιώνονται οι μαθηματικοί υπολογισμοί που κάναμε προηγουμένως. Μικρές αποκλίσεις παρατηρούνται μεταξύ θεωρίας και πράξης. Βλέπουμε λοιπόν ότι η *fixed* πολιτική παράγει το μεγαλύτερο αριθμό μηνυμάτων και ακολουθούν σε φθίνουσα σειρά οι *min-max*, *linear* και *overlinear*. Αυτό που έχει σημασία τώρα είναι να δούμε τι μειώσεις πετυχαίνουμε με τα τροποποιημένα πρωτόκολλα σε κάθε περίπτωση αλλά και τι επίπτωση έχει αυτό στην απόδοση του δικτύου.

Για τα σενάρια όπου η μέγιστη ταχύτητα φτάνει το 1m/s δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές στον αριθμό των μηνυμάτων. Ειδικότερα, η *fixed* και η *min-max* πολιτική έχουν διαφορές τριών – τεσσάρων μηνυμάτων μεταξύ τους, ενώ οι *linear* και *overlinear* πολιτικές φαίνεται να παράγουν τον ίδιο αριθμό μηνυμάτων σε κάθε περίπτωση. Μεταξύ των δύο πρώτων και των τελευταίων υπάρχει όμως διαφορά μηνυμάτων. Για τη δε περίπτωση όπου έχουμε ελάχιστη περίοδο 2 δευτερόλεπτα (με μέγιστη είτε 6 είτε 10) η διαφορά στα μηνύματα είναι γύρω στο 13% ενώ για την περίπτωση όπου η ελάχιστη περίοδος είναι 4 δευτερόλεπτα (και η μέγιστη είτε 12 είτε 20) η διαφορά στα μηνύματα είναι γύρω στο 8%. Το ότι δεν παρατηρείται διαφορά μεταξύ των σεναρίων με ίδια ελάχιστη περίοδο και διαφορετική μέγιστη ερμηνεύεται από το γεγονός ότι η ταχύτητα των κόμβων είναι πολύ μικρή (1m/s). Αυτό έχει σαν συνέπεια οι κόμβοι να βρίσκονται σε κίνηση κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια της προσομοίωσης, αφού καθυστερούν πολύ να φτάσουν στους προορισμούς τους, και για ελάχιστο χρόνο σε στάση, όπου η διαφορά στη μέγιστη περίοδο θα κάνει και διαφορά στην παραγωγή των HELLO μηνυμάτων. Αυτό το γεγονός ερμηνεύει και τη μη διαφορά σε μηνύματα ίδιων σεναρίων αλλά με διαφορετικό *pause time*. Και πάλι η παραγωγή των HELLO μηνυμάτων δε διαφοροποιείται αφού οι κόμβοι σπάνια (εώς και καθόλου) κατά την προσομοίωση πραγματοποιούν αυτό το χρόνο

παύσης. Όσο για τον πλήθος των κόμβων του δικτύου, αυτός δεν παίζει ρόλο στην παραγωγή των μηνυμάτων.

Όταν η μέγιστη ταχύτητα κίνησης των κόμβων είναι 10m/s παρατηρούμε ότι ο αριθμός των HELLO μηνυμάτων ανά κόμβο στις υπόλοιπες πολιτικές έχει αρκετή διαφορά από αυτόν στη *fixed* πολιτική. Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται οι μειώσεις των μηνυμάτων επί τοις εκατό ανά περίπτωση σε σχέση με τη *fixed* πολιτική:

min_prd/max_prd pause time	2/6		2/10		4/12		4/20	
	4	8	4	8	4	8	4	8
Min-max	5,2	9,6	10,5	9,6	10,6	9,9	19,9	19,3
Linear	43,9	45,2	58,7	58,6	41	42,2	55,9	59
Overlinear	52,9	52,8	66,9	66,7	50,3	50,3	65,8	65,8

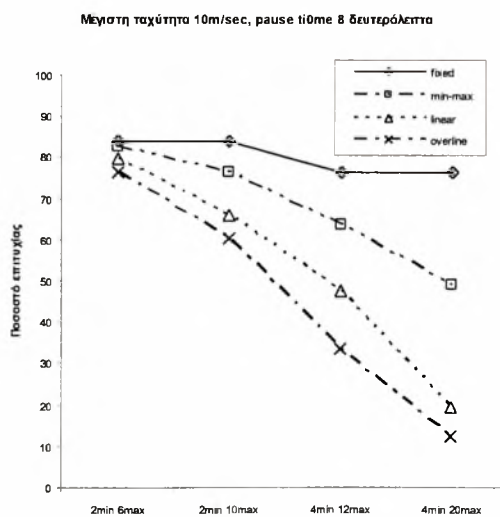
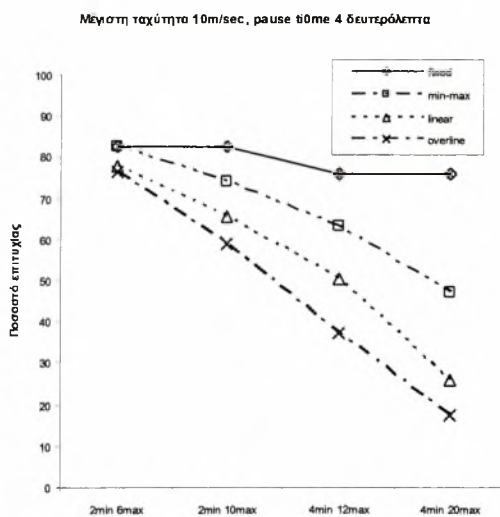
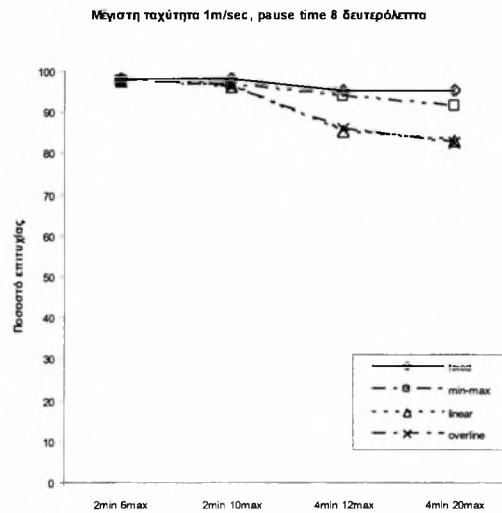
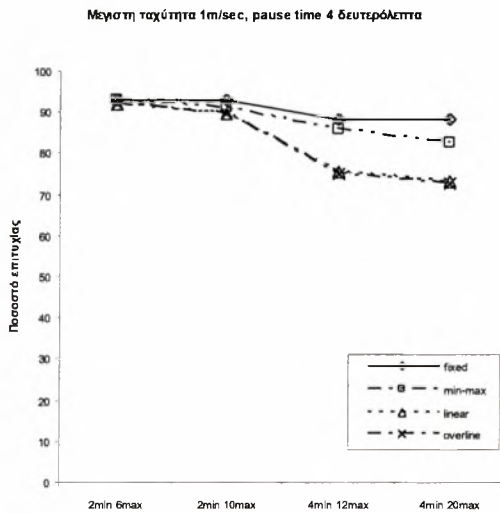
Πίνακας 6 Μείωση των HELLO πακέτων επί τοις εκατό ανά περίπτωση σε σχέση με την *fixed* πολιτική.

Όπως διαπιστώνουμε, υπάρχει μεγάλη πτώση στον αριθμό των μηνυμάτων, ειδικά στις δύο τελευταίες πολιτικές. Όπως μπορούμε εύκολα να δούμε και από τον Πίνακα 1, σε σχέση με τη μέγιστη ταχύτητα 1m/s τα σενάρια με μέγιστη ταχύτητα 10m/s παρουσιάζουν μεγαλύτερους χρόνους στάσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μικρή παραγωγή HELLO μηνυμάτων λόγω της εξάρτησης από την ταχύτητα των κόμβων. Μια ακόμη ενδιαφέρουσα παρατήρηση είναι ότι η ποσοστιαία πτώση που εμφανίζεται στο σενάριο ελάχιστης περιόδου 2 δευτερολέπτων και μέγιστης 10 για τις *linear* και *overlinear* πολιτικές είναι η μεγαλύτερη (εκτός της περίπτωσης 4/20 με *pause time* 8 για τη *linear* πολιτική) και αυτό γιατί στα σενάρια με ελάχιστη περίοδο 4 δευτερόλεπτα τα μηνύματα που παράγονται στη *fixed* πολιτική έχουν ήδη σχετικά μικρό πλήθος. Την τροποποίηση που κάναμε δηλαδή την

«εισπράτουμε» σε μεγαλύτερο βαθμό όταν έχουμε και μεγάλη παραγωγή HELLO μηνυμάτων.

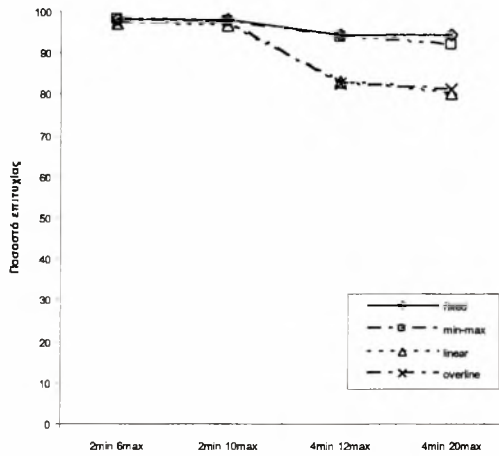
6.2 Ποσοστό επιτυχίας του δικτύου

30 κόμβοι

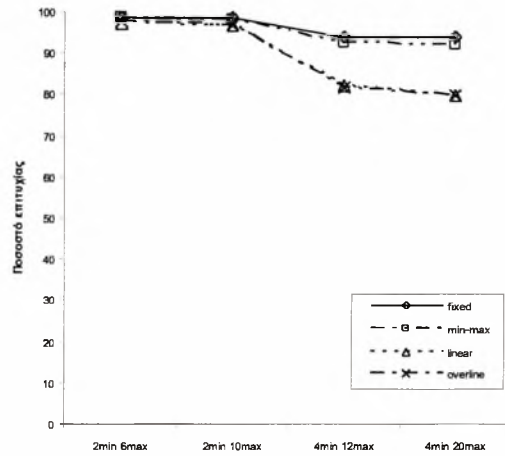


50 κόμβοι

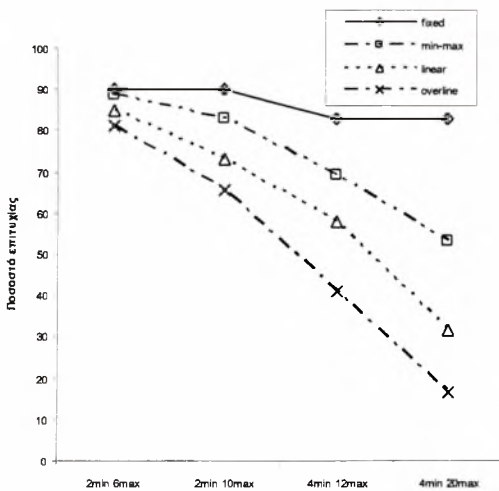
Μέγιστη ταχύτητα 1m/sec, raise time 4 δευτερόλεπτα



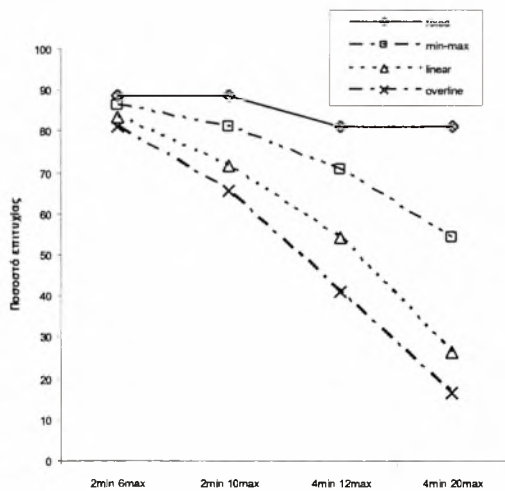
Μέγιστη ταχύτητα 1m/sec, raise time 8 δευτερόλεπτα



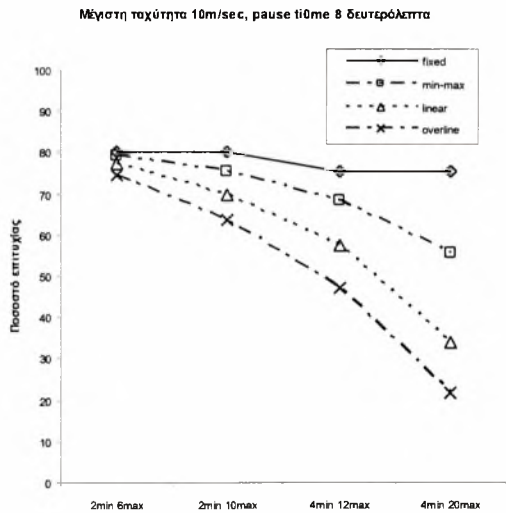
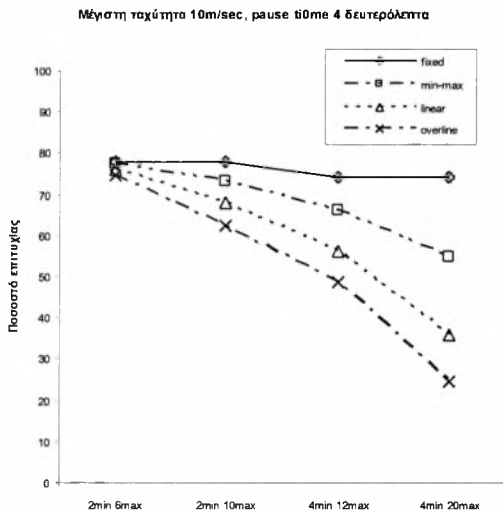
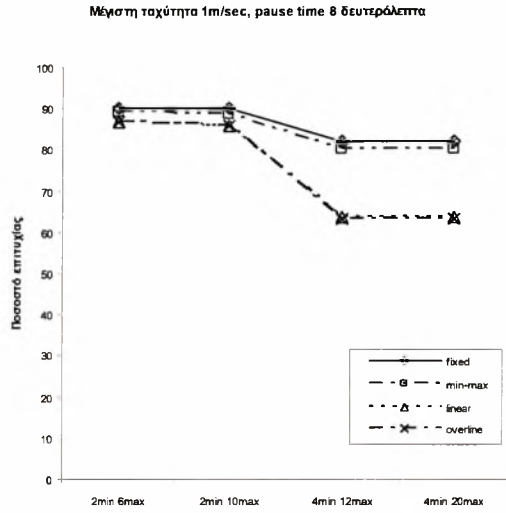
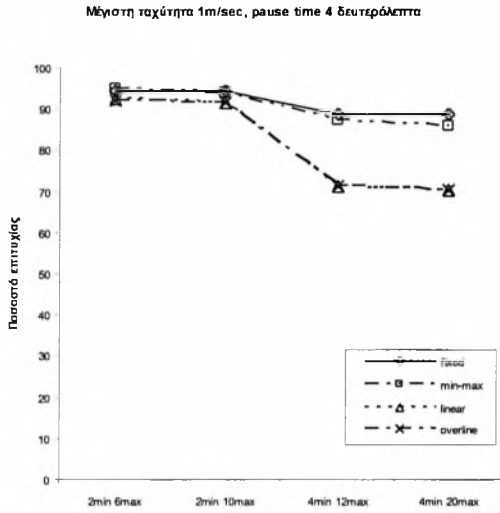
Μέγιστη ταχύτητα 10m/sec, raise time 4 δευτερόλεπτα



Μέγιστη ταχύτητα 10m/sec, raise time 8 δευτερόλεπτα



70 κόμβοι



Ας δούμε τώρα πώς επηρεάζουν την απόδοση του δικτύου μας όλες αυτές οι μειώσεις στον αριθμό των μηνυμάτων. Όταν μιλάμε για απόδοση του δικτύου, αναφερόμαστε μόνο στα σενάρια όπου υπήρχαν πηγές παραγωγής δεδομένων σταθερού ρυθμού οι οποίες προσομοιάζουν τις εφαρμογές που θέλουμε να τρέχουν πάνω από το ασύρματο δίκτυό μας και να επικοινωνούν μεταξύ τους. Η μετρική που έχουμε χρησιμοποιήσει είναι το ποσοστό των μηνυμάτων που έφτασαν τελικά στον προορισμό τους από αυτά που στάλθηκαν σε επίπεδο εφαρμογής στο δίκτυο. Δεν αναφερόμαστε δηλαδή στα HELLO μηνύματα που παράγονται στο επίπεδο του πρωτοκόλλου.

Ας ξεκινήσουμε πάλι μιλώντας για τα σενάρια με μέγιστη ταχύτητα 1m/s. Όταν η ελάχιστη περίοδος είναι δύο δευτερόλεπτα όλες οι πολιτικές έχουν απόδοση δικτύου άνω του 85% και η μέγιστη μείωση σε σχέση με την απόδοση της *fixed* πολιτικής είναι 4,9% (*linear* πολιτική, 70 κόμβοι, 8 δευτ. *pause time*, 2 δευτ. ελάχ. περ., 10 δευτ. μέγιστη περ.). Για ελάχιστη περίοδο τέσσερα δευτερόλεπτα η χειρότερη απόδοση της *min-max* πολιτικής είναι 80% για 70 κόμβους και 8 δευτερόλεπτα *pause time*. Οι υπόλοιπες περιπτώσεις παρουσιάζουν καλύτερα ποσοστά. Οι άλλες δύο πολιτικές κινούνται σε ποσοστά γύρω στο 80% με εξαίρεση τα σενάρια με 30 κόμβους και 4 δευτερόλεπτα *pause time* και τα σενάρια με 70 κόμβους όπου η πτώση είναι ιδιαίτερα αισθητή. Παρόλο που έχουμε δει ότι για αυτή τη μέγιστη ταχύτητα ο αριθμός των μηνυμάτων είναι ίδιος μεταξύ σεναρίων με διαφορετικό αριθμό κόμβων και διάρκεια του *pause time*, δε συμβαίνει το ίδιο και για τις αποδόσεις όταν το δίκτυο έχει 30 ή 70 κόμβους. Η εξήγηση είναι ότι οι 30 κόμβοι είναι σχετικά λίγοι για να «προλαβαίνουν» να ενημερώνονται μεταξύ τους για ένα δίκτυο που αποτελείται από συνεχώς κινούμενους κόμβους και αυτά τα 4 δευτερόλεπτα που κάποιοι κόμβοι μένουν ακίνητοι δεν είναι αρκετά για να εξισορροπήσουν την κατάσταση όπως συμβαίνει με το *pause time* 8 δευτερολέπτων για τον ίδιο αριθμό κόμβων. Στο άλλο άκρο, οι 70 κόμβοι είναι πολλοί, για να ανακαλυφθούν οι εκάστοτε διαδρομές μεταξύ τους όταν

το *pause time* 8 δευτερολέπτων ρίχνει αρκετά την παραγωγή μηνυμάτων (για το διάστημα της παύσης) σε σχέση με το *pause time* 4 δευτερολέπτων.

Στα σενάρια με μέγιστη ταχύτητα 10m/s και ελάχιστη περίοδο 2 δευτερόλεπτα τα ποσοστά επιτυχίας κινούνται σε σχετικά ικανοποιητικά επίπεδα για όλες τις συναρτήσεις, κυμαινόμενα από περίπου 60% και πάνω. Και πάλι τα καλύτερα ποσοστά παρουσιάζονται στα σενάρια με 50 κόμβους, κάτι που όμως ισχύει και για τη *fixed* πολιτική. Το γεγονός αυτό το εξηγήσαμε προηγουμένως. Όταν, από την άλλη, η ελάχιστη περίοδος είναι 4 δευτερόλεπτα τα ποσοστά επιτυχίας πέφτουν σε απαγορευτικές τιμές (ανάλογα και την εφαρμογή πάντα) με ελάχιστες εξαιρέσεις (η *min-max* πολιτική για μέγιστη περίοδο 12 δευτερόλεπτα, της οποίας τα ποσοστά διατηρούνται άνω του 60%). Αυτό συμβαίνει διότι η κινητικότητα των κόμβων είναι μεγάλη και αλλάζουν συχνά θέσεις, ενώ τα HELLO μηνύματα που θα δομήσουν κατά κάποιο τρόπο την τοπολογία του δικτύου είναι λίγα ώστε να ενημερώσουν τους κόμβους για όλες τις αλλαγές εγκαίρως. Στους επόμενους δύο πίνακες συνοψίζονται οι μειώσεις των ποσοστών επιτυχούς παράδοσης σε σχέση με τη *fixed* πολιτική:

min_prd/max_prd pause time		2/6		2/10		4/12		4/20	
		4	8	4	8	4	8	4	8
30 κόμβοι	Min-max	0	0,3	1,9	1,3	2,5	1,6	6,5	4,1
	Linear	1,1	0,4	3,2	1,7	14,4	10,7	17,1	12,8
	Overlinear	0,8	0,2	3,4	1,8	15,1	9,9	17,5	13,5
50 κόμβοι	Min-max	0,1	0,1	0,7	0,7	0,4	1,5	2,4	2
	Linear	0,9	1,3	1,4	2,1	12,1	12,3	14,7	15
	Overlinear	1	1,2	1,3	2,1	12,4	12,8	14,2	15
70 κόμβοι	Min-max	0	0,9	0,6	1,6	1,6	2	3,4	2,2
	Linear	2,1	3,6	3,1	4,9	19,8	22,4	20,9	22,4
	Overlinear	2,4	3,4	3	4,8	19,5	23	20,6	22,9

Πίνακας 7 Μείωση των ποσοστών επιτυχούς παράδοσης επί τοις εκατό ανά περίπτωση σε σχέση με την *fixed* πολιτική για μέγιστη ταχύτητα 1m/s

min_prd/max_prd pause time		2/6		2/10		4/12		4/20	
		4	8	4	8	4	8	4	8
30 κόμβοι	Min-max	0	1,7	10	9,3	17	16,7	37,9	36,2
	Linear	5,8	5,2	20,3	21,3	33,5	37,7	66	74,5
	Overlinear	7	8,8	28,4	28	50,9	56,5	76,8	83,9
50 κόμβοι	Min-max	1,2	2,9	8	8,5	16,4	12,7	35,5	32,9
	Linear	5,6	5,8	18,9	19,6	29,8	33	61,6	67,3
	Overlinear	9,9	8,8	27,2	26,3	50,4	49,3	79,9	79,4
70 κόμβοι	Min-max	1	1,2	6,2	5,9	10,6	9,2	25,8	26
	Linear	2,8	3,5	6,2	13	24,1	23,5	51,3	54,9
	Overlinear	4,5	7,2	20,3	20,2	34,2	37,7	66,8	71,5

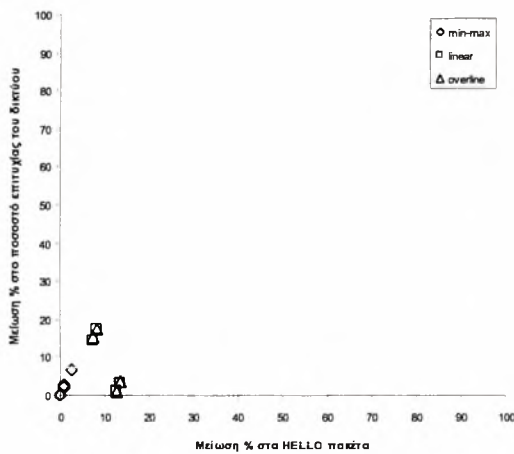
Πίνακας 8 Μείωση των ποσοστών επιτυχούς παράδοσης επί τοις εκατό ανά περίπτωση σε σχέση με την *fixed* πολιτική για μέγιστη ταχύτητα 10m/s

Ενδιαφέρον όμως είναι, να μη σταθούμε μόνο στα απόλυτα ποσοστά αλλά και στο τι κερδίζουμε και τι χάνουμε σε κάθε περίπτωση όπως το παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της τρίτης σειράς γραφημάτων.

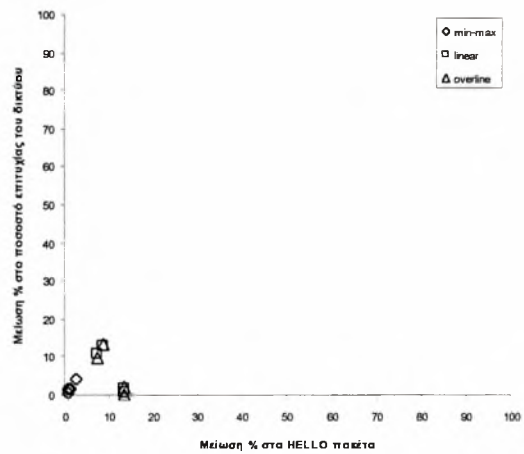
6.3 Μείωση στα πακέτα και στην απόδοση του δικτύου (ποσοστό παράδοσης)

30 κόμβοι

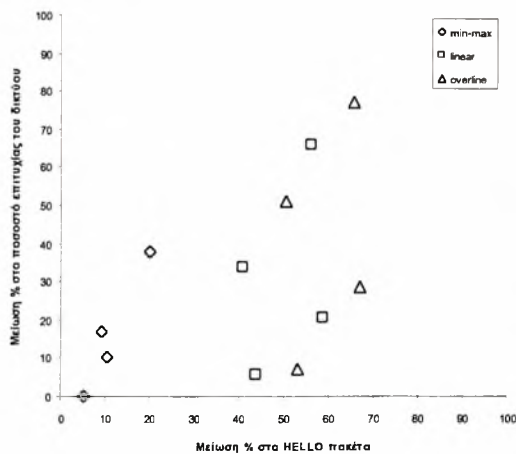
Μέγιστη ταχύτητα 1m/s, ραυσε τίμε 4 δευτερόλεπτα



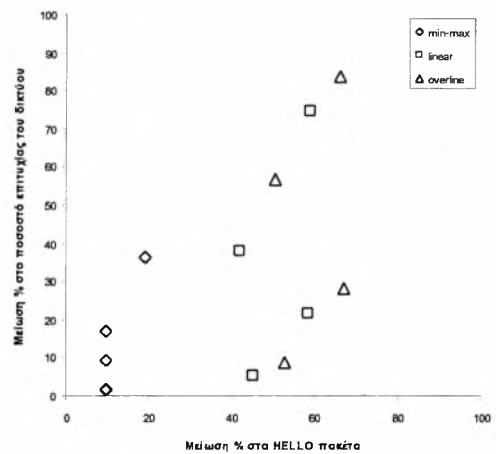
Μέγιστη ταχύτητα 1m/s, ραυσε τίμε 8 δευτερόλεπτα



Μέγιστη ταχύτητα 10m/s, ραυσε τίμε 4 δευτερόλεπτα

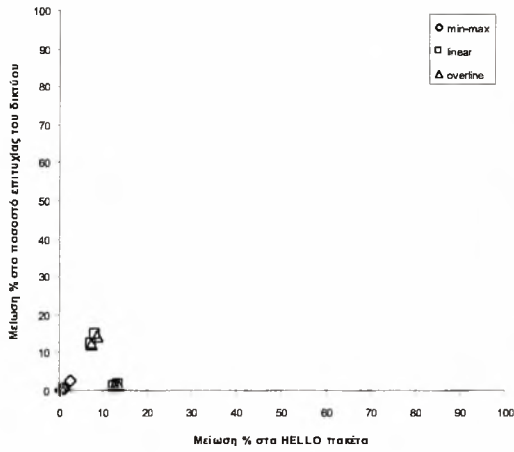


Μέγιστη ταχύτητα 10m/s, ραυσε τίμε 8 δευτερόλεπτα

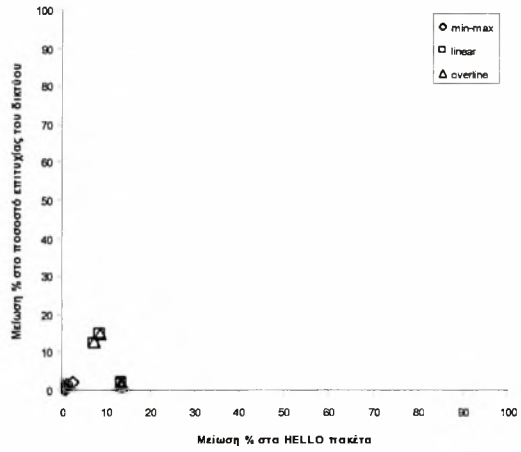


50 κόμβοι

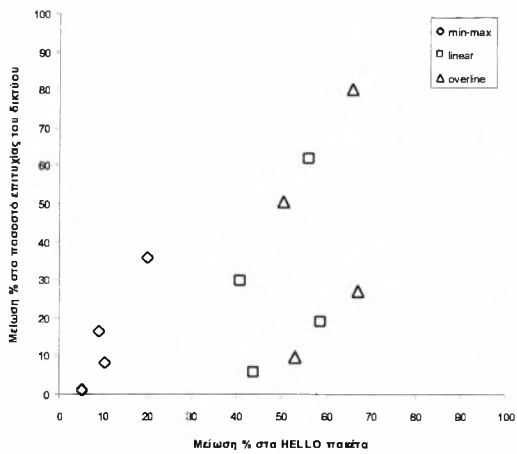
Μέγιστη ταχύτητα 1m/s, pause time 4 δευτερόλεπτα



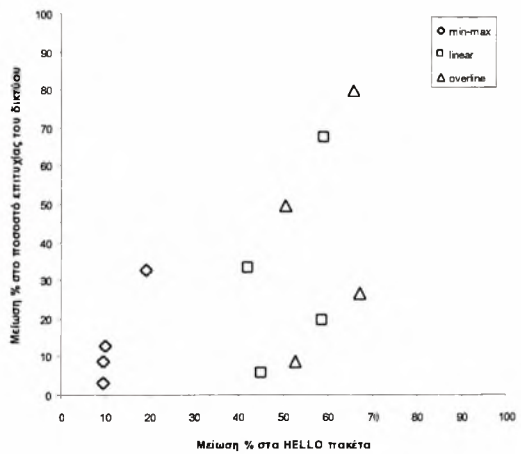
Μέγιστη ταχύτητα 1m/s, pause time 8 δευτερόλεπτα



Μέγιστη ταχύτητα 10m/s, pause time 4 δευτερόλεπτα

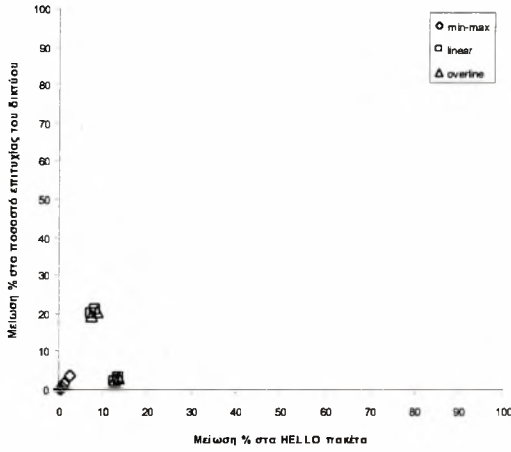


Μέγιστη ταχύτητα 10m/s, pause time 8 δευτερόλεπτα

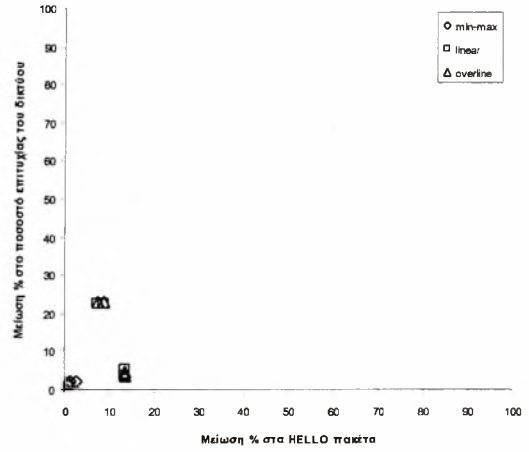


70 κόμβοι

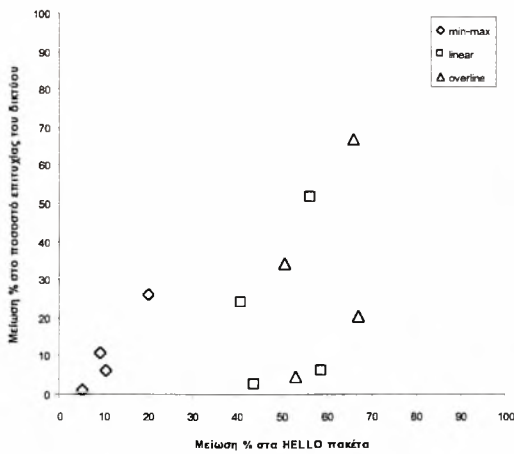
Μέγιστη ταχύτητα 1m/s, raise time 4 δευτερόλεπτα



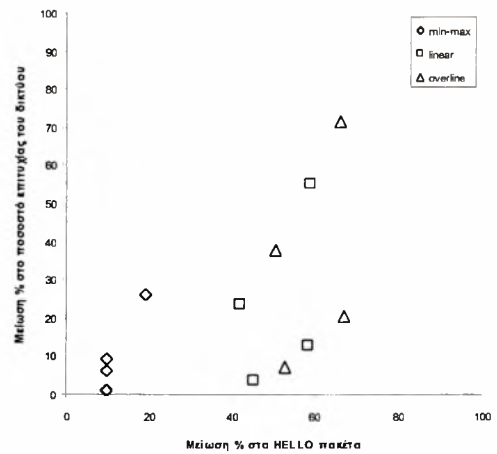
Μέγιστη ταχύτητα 1m/s, raise time 8 δευτερόλεπτα



Μέγιστη ταχύτητα 10m/s, raise time 4 δευτερόλεπτα



Μέγιστη ταχύτητα 10m/s, raise time 8 δευτερόλεπτα



Μελετώντας τα γραφήματα της παραγράφου 6.3 για μέγιστη ταχύτητα 1m/s, θα μπορούσαμε να πούμε ότι η *min-max* πολιτική δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές με τη *fixed* πολιτική, ούτε στον αριθμό των πακέτων ούτε στην απόδοση του δικτύου, αφού βλέπουμε ότι τα σημεία της κινούνται πολύ κοντά στην αρχή των αξόνων, ενώ και οι άλλες δύο πολιτικές κινούνται σε ικανοποιητικά επίπεδα όσον αφορά τα ποσοστά επιτυχίας του δικτύου που χάνουμε σε σχέση με αυτό που κερδίζουμε σε ποσοστά μείωσης των πακέτων πρωτοκόλλου.

Στα σενάρια με μέγιστη ταχύτητα 10m/s η κατάσταση είναι λίγο διαφορετική. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου έχουμε αρκετή μείωση στα πακέτα πρωτοκόλλου διατηρώντας σχετικά υψηλά το ποσοστό επιτυχίας του δικτύου σε σχέση με αυτό της *fixed* πολιτικής (μείωση μέχρι 20%). Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις όπου τα σημεία κινούνται αρκετά ψηλά στο επίπεδο που σημαίνει ότι έχουμε χάσει αρκετά σε απόδοση. Αυτό συμβαίνει κυρίως όταν η ελάχιστη περίοδος είναι 4 δευτερόλεπτα. Η *min-max* πολιτική κινείται και πάλι κοντά στην αρχή των αξόνων παρουσιάζοντας παρόμοια συμπεριφορά με τη *fixed* πολιτική, εκτός από τα σενάρια με ελάχιστη περίοδο 4 δευτερόλεπτα και μέγιστη 20, όπου θα μπορούσε κάποιος να πει ότι χάνουμε πιο πολλά σε σχέση με αυτά που κερδίζουμε. Γενικά πάντως αυτό εξαρτάται και από την εφαρμογή την οποία τρέχουμε πάνω από το πρωτόκολλο, σε μία streaming π.χ. εφαρμογή αυτό μπορεί και να μη μας πείραζε τόσο.

Μια γενικότερη παρατήρηση, κοιτώντας συνολικά την τρίτη σειρά γραφημάτων, είναι ότι όταν η κινητικότητα των κόμβων είναι χαμηλή, την καλύτερη ανταλλαγή ζημιάς – κέρδους επιδεικνύουν τα σενάρια είτε με 30 είτε με 50 κόμβους, ανάλογα με τη διάρκεια του *pause time* και της ελάχιστης και μέγιστης περιόδου, ενώ όταν οι κόμβοι παρουσιάζουν μεγάλη κινητικότητα, αυτό το πετυχαίνουν με διαφορά τα σενάρια των 70 κόμβων. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι όταν έχουμε γρήγορες αλλαγές στο δίκτυό μας, χρειαζόμαστε και

αρκετούς κόμβους για να υποστηρίξουν αυτές τις αλλαγές στέλνοντας αρκετά HELLO μηνύματα και ανακαλύπτοντας τις διαδρομές μεταξύ των κόμβων. Αυτή είναι και μία κατεύθυνση προς την οποία θα μπορούσαν να κινηθούν οι μελλοντικές έρευνες, να βρεθούν δηλαδή τρόποι με τους οποίους η συχνότητα εκπομπής των μηνυμάτων πρωτοκόλλου να προσαρμόζεται στην πυκνότητα και την κινητικότητα των κόμβων του δικτύου δυναμικά ώστε να πετυχαίνουμε τη μείωση του φόρτου δικτύου που προκαλείται από αυτά διατηρώντας όσο δυνατόν μικρότερες τις απώλειες στην αξιοπιστία του δικτύου όσον αφορά την επιτυχή παράδοση των μηνυμάτων του επιπέδου της εφαρμογής.

7 Σχετικές Εργασίες

Και άλλες προσπάθειες έχουν γίνει όσον αφορά τη βελτίωση πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούνται στα MANETs. Εμείς θα αναφερθούμε κυρίως σε προσπάθειες που σχετίζονται με το πρωτόκολλο OLSR. Στο [5] προτείνεται μία βελτίωση του OLSR η οποία λαμβάνει υπόψιν την κινητικότητα των κόμβων για να προσαρμόσει τη συχνότητα εκπομπής και το μέγεθος των μηνυμάτων συντήρησης του πρωτοκόλλου. Σ' αυτό το τροποποιημένο OLSR υπάρχουν δύο καταστάσεις για τους κόμβους, μία για χαμηλή και μία για υψηλή κινητικότητα, καθώς και δύο τύποι HELLO μηνυμάτων αντίστοιχα. Χρησιμοποιώντας τρεις έξυπνους μηχανισμούς οι συγγραφείς επιτυγχάνουν τη γρήγορη ανακάλυψη λίγων γειτόνων για έναν γρήγορα κινούμενο κόμβο και τη γρήγορη ανακάλυψη ανενεργών ζεύξεων, διατηρώντας το φόρτο επικοινωνίας σε χαμηλά επίπεδα. Η σημαντική διαφορά με τη δική μας προσέγγιση είναι ότι η κινητικότητα των κόμβων χρησιμοποιείται ως κριτήριο για το ποια κατάσταση εκπομπής μηνυμάτων θα χρησιμοποιηθεί χωρίς να εξαρτάται ευθέως από αυτήν η συχνότητα εκπομπής των μηνυμάτων.

Μια ενδιαφέρουσα προσέγγιση είναι αυτή που γίνεται στο [6], το οποίο επικεντρώνεται στα VANETs (Vehicular Mobile Ad-Hoc Networks), δηλαδή σε MANETs όπου οι κόμβοι είναι τα ίδια τα οχήματα. Στην προκειμένη δημοσίευση, οι συγγραφείς εφαρμόζουν πάνω στο OLSR έννοιες και ιδέες ενός πρωτοκόλλου που είχαν προηγουμένα προτείνει (MOVement Prediction based Routing – MOPR), τροποποιώντας τη διαδικασία με την οποία επιλέγονται οι MPRs και καθορίζονται τα βέλτιστα μονοπάτια ανάμεσα στους κόμβους. Το βασικό κριτήριο που χρησιμοποιούν και για τις δύο αυτές λειτουργίες του OLSR πρωτοκόλλου είναι η σταθερότητα των ζεύξεων ανάμεσα στους κόμβους (αυτή προκύπτει και υπολογίζεται μέσω διαδικασιών που ανήκουν στο πλαίσιο του MOPR)

προσπαθώντας να εξασφαλίσουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής στις διαδρομές που θα απαρτίσουν τους πίνακες δρομολόγησης των κόμβων. Σε αντίθεση με τη δική μας προσέγγιση όπου ακολουθούμε διάφορες πολιτικές εκπομπής μηνυμάτων, οι συγγραφείς αυτής της δημοσίευσης παρουσιάζουν ένα διαφορετικό τρόπο δόμησης της τοπολογίας του δικτύου βασιζόμενο σε αυτόν του OLSR και διατηρώντας όλες τις υπόλοιπες λειτουργίες του πρωτοκόλλου ίδιες.

Στο [7] προτείνεται μία μετρική κινητικότητας η οποία εφαρμόζεται στο πρωτόκολλο OLSR με σκοπό τη βελτίωση της διαδικασίας επιλογής των MPR κόμβων και πάλι. Η μετρική αυτή είναι η περίοδος κατά την οποία μία ζεύξη βρίσκεται μέσα στην ακτίνα εκπομπής ενός καθορισμένου κόμβου και χρησιμοποιείται σαν κριτήριο για την επιλογή των MPR κόμβων (η διαδικασία επιλογής βάσει του προτύπου χρησιμοποιεί μετρική πυκνότητας). Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα πειραμάτων για διάφορα μεγέθη δικτύου και για συνδυασμούς των δύο μετρικών ως κριτήρια επιλογής των MPR κόμβων, με στόχο τη σύγκριση τους και την εξεύρεση της καλύτερης επιλογής.

Οι συγγραφείς του [8] προτείνουν μία έκδοση του TCP-Vegas πρωτοκόλλου για ad-hoc δίκτυα και την οποία εφαρμόζουν πάνω από ένα reactive πρωτόκολλο όπως είναι το AODV αλλά και ένα proactive όπως είναι το OLSR. Τέλος, το [9] είναι μία καλή επισκόπηση της ανάπτυξης και τρέχουσας κατάστασης στο πεδίο των MANETs γενικότερα και θα μπορούσε να αποτελέσει μία εισαγωγή για κάποιον που δεν έχει ασχοληθεί ξανά με τον τομέα αυτό.

Καταλήγοντας, με την εργασία αυτή προσπαθήσαμε να δείξουμε ότι αξιοποιώντας μία «φυσική» πληροφορία όπως είναι η ταχύτητα των κόμβων ενός δικτύου μπορούμε να επιτύχουμε μείωση στο φόρτο επικοινωνίας που έχει ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης ad-hoc ασύρματων δικτύων, όπως είναι το OLSR, χάνοντας φυσικά σε ποσοστά επιτυχούς

παράδοσης. Η «ανταλλαγή» μεταξύ αυτών των δύο χαρακτηριστικών του δικτύου εναπόκειται στην κρίση και το σκοπό χρήσης αυτού που θα χρησιμοποιήσει το δίκτυο. Επόμενες εργασίες θα μπορούσαν να μελετήσουν ακόμα περισσότερο τη συμπεριφορά του δικτύου σε σχέση με τις πολιτικές εκπομπής μηνυμάτων και ίσως θα μπορούσαν να βρουν ένα συσχετισμό μεταξύ χαρακτηριστικών του δικτύου όπως πυκνότητα και κινητικότητα και της βέλτιστης πολιτικής που θα πρέπει να ακολουθηθεί σε κάθε περίπτωση. Ακόμα, μπορούμε να κινηθούμε προς πιο πολύπλοκες πολιτικές από αυτές που προτείναμε σε αυτή την εργασία και σε συνδυασμό με βελτιστοποιήσεις του πρωτοκόλλου που αναφέραμε πιο πάνω να οδηγηθούμε σε ακόμα καλύτερα αποτελέσματα.

Αναφορές

- [1] T. Clausen, P. Jacquet. “Optimized Link State Routing Protocol (OLSR), RFC3626”.
- [2] A. Qayyum, L. Viennot and A. Laouiti, “Multipoint relaying: An efficient technique for flooding in mobile wireless networks”, *35th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, (HICSS 2001).
- [3] <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [4] <http://masimum.dif.um.es/um-olsr/html/>
- [5] Mounir Benzaid, Pascale Minet and Khaldoun Al Agha, “Integrating fast mobility in the OLSR routing protocol”, *4th International Workshop on Mobile and Wireless Communication Network*, 2002.
- [6] Hamid Menouar, Massimiliano Lenardi and Fethi Filali, “Improving Proactive Routing in VANETs with the MOPR Movement Prediction Framework”, *Telecommunications, 2007, ITST '07, 7th International Conference on ITS*, June 2007.
- [7] Cholatip Yawut, Beatrice Paillassa and Riadh Dhaou, “Mobility Versus Density Metric for OLSR Enhancement”, *Sustainable Internet, Third Asian Internet Engineering Conference, AINTEC 2007, Phuket, Thailand, 27-29 November 2007*

- [8] Dongkyun Kim, Hanseok Bae and C. K. Toh, “Improving TCP-Vegas Performance Over MANET Routing Protocols”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, January 2007.
- [9] Zhijiang Chiang, Georgi Gaydadjiev and Stamatis Vassiliadis, “Routing Protocols for Mobile Ad-hoc Networks: Current Development and Evaluation”

Παράρτημα Α

Το ασύρματο μοντέλο μετάδοσης που χρησιμοποιούμε στον ns-2 είναι το two-ray ground reflection model. Λόγω όμως της ταλάντωσης που δημιουργείται από τον επικοδομητικό και καταστρεπτικό συνδυασμό των δύο ακτίνων αυτό το μοντέλο δεν δίνει καλά αποτελέσματα για κοντινές αποστάσεις. Έτσι, από μία απόσταση d_c και κάτω χρησιμοποιούμε το free space μοντέλο. Η εξίσωση που δίνει την ισχύ στο δέκτη εξαρτώμενη από την απόσταση από τον εκπομπό είναι:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L}$$

όπου G_t και G_r είναι τα κέρδη εκπομπού και δέκτη αντίστοιχα, P_t είναι η ισχύς του εκπομπού, d είναι η απόσταση μεταξύ εκπομπού και δέκτη, $L(L \geq 1)$ είναι η απώλεια συστήματος και λ είναι το μήκος κύματος. Στις προσομοιώσεις στον ns-2 συνηθίζεται $G_t = G_r = 1$, και $L = 1$.

Από την άλλη, η εξίσωση που χρησιμοποιείται για το two-ray ground reflection model είναι:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r h_t^2 h_r^2}{d^4 L}$$

Η απόσταση d_c την οποία αναφέραμε προηγουμένως είναι η απόσταση στην οποία οι δύο προηγούμενες εξισώσεις δίνουν το ίδιο αποτέλεσμα. Έτσι προκύπτει ότι:

$$d_c = (4\pi h_t h_r) / \lambda .$$

Όταν $d < d_c$ χρησιμοποιείται η πρώτη εξίσωση ενώ όταν $d > d_c$ χρησιμοποιείται η δεύτερη.

Το $P_t \approx 0,28\text{W}$. Αντικαθιστώντας τις τιμές στην εξίσωση για το two-ray ground reflection model παίρνουμε:

$$P_r(d) \approx \frac{1.43}{d^4}$$

Το κατώφλι της ισχύος κάτω από το οποίο τα πακέτα που λαμβάνονται απορρίπτονται είναι $3,652 \cdot 10^{-10}$. Έτσι λοιπόν προκύπτει ότι γύρω από τις κεραιές εκπομπού σχηματίζεται ένας κύκλος με ακτίνα ίση με 250 μέτρα και η οποία είναι το transmission range του μοντέλου μας.

Παράρτημα Β

Σ' αυτό το Παράρτημα παρατίθενται όλες οι μετρήσεις που προέκυψαν μέσα από τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν για τα σενάρια όπως περιγράφησαν στο Κεφάλαιο 3 και με τις πολιτικές που ακολουθήθηκαν σύμφωνα με το Κεφάλαιο 4. Οι αριθμοί που αναγράφονται, είτε πρόκειται για αριθμό HELLO πακέτων είτε για ποσοστό επιτυχίας, είναι οι μέσοι όροι τριών αποτελεσμάτων, όσες είναι και οι φορές που επαναλήφθηκε το κάθε πείραμα προς αποφυγή ακραίων τιμών που τυχόν προκύπτουν λόγω τυχειότητας. Όπου υπάρχει η ένδειξη «δ/υ» σημαίνει ότι δεν έγινε πείραμα για αυτό το σενάριο. Ο λόγος εξηγείται στην αρχή του Κεφαλαίου 0.

Fixed πολιτική

Πηγές δεδομένων	Μέγιστη ταχύτητα	Περίοδος	Pause Time	30 κόμβοι	50 κόμβοι	70 κόμβοι
Όχι	1m/sec	2 sec	4 sec	10304	17173	δ/υ
			8 sec	10304	17178	δ/υ
		4 sec	4 sec	4815	8026	δ/υ
			8 sec	4816	8025	δ/υ
	10m/sec	2 sec	4 sec	10308	17160	δ/υ
			8 sec	10299	17156	δ/υ
4 sec		4 sec	4812	8026	δ/υ	
		8 sec	4814	8026	δ/υ	
Ναι	1m/sec	2 sec	4 sec	10293	17157	24026
			8 sec	10306	17167	24031
		4 sec	4 sec	4812	8021	11237
			8 sec	4814	8023	11235
	10m/sec	2 sec	4 sec	10300	17152	24046
			8 sec	10308	17165	24033
		4 sec	4 sec	4811	8026	11238
			8 sec	4814	8027	11237

Πίνακας 9 Αριθμός HELLO πακέτων

Πηγές δεδομένων	Μέγιστη ταχύτητα	Περίοδος	Pause Time	30 κόμβοι	50 κόμβοι	70 κόμβοι
Ναι	1m/sec	2 sec	4 sec	92,8	98,3	94,5
			8 sec	98	98,7	90,1
		4 sec	4 sec	88,2	94,3	88,7
			8 sec	95,4	93,8	82
	10m/sec	2 sec	4 sec	82,4	90	78
			8 sec	84	88,9	80,1
		4 sec	4 sec	75,9	82,9	73,9
			8 sec	76,6	81,1	75,4

Πίνακας 10 Ποσοστό επιτυχίας

Min-max πολιτική

Πηγές δεδομένων	Μέγιστη ταχύτητα	Ελάχιστη Περίοδος	Μέγιστη Περίοδος	Pause Time	30 κόμβοι	50 κόμβοι	70 κόμβοι	
Όχι	1m/sec	2 sec	6 sec	4 sec	10250	17087	δ/υ	
				8 sec	10205	17018	δ/υ	
			10 sec	4 sec	10212	17019	δ/υ	
		4 sec	12 sec	8 sec	10207	17028	δ/υ	
				4 sec	4771	7951	δ/υ	
			20 sec	8 sec	4771	7955	δ/υ	
	10m/sec	2 sec	6 sec	4 sec	4731	7884	δ/υ	
				8 sec	4730	7891	δ/υ	
			10 sec	4 sec	9777	16269	δ/υ	
		4 sec	8 sec	8 sec	9276	15489	δ/υ	
				4 sec	9244	15384	δ/υ	
			12 sec	8 sec	9278	15478	δ/υ	
	Ναι	1m/sec	2 sec	6 sec	4 sec	4326	7196	δ/υ
					8 sec	4339	7237	δ/υ
				10 sec	4 sec	4326	7196	δ/υ
			4 sec	12 sec	8 sec	4339	7237	δ/υ
20 sec					4 sec	3861	6422	δ/υ
8 sec				3875	6471	δ/υ		
Ναι	1m/sec	2 sec	6 sec	4 sec	10244	17074	23917	
				8 sec	10207	17015	23780	
			10 sec	4 sec	10195	17028	23789	
		4 sec	8 sec	8 sec	10200	17032	23771	
				4 sec	4769	7954	11126	
			20 sec	8 sec	4769	7958	11113	
	10m/sec	2 sec	6 sec	4 sec	4729	3867	11021	
				8 sec	4723	3875	10995	
			10 sec	4 sec	9780	16260	22805	
		4 sec	8 sec	8 sec	9281	15487	21705	
				4 sec	9257	15386	21576	
			12 sec	8 sec	9271	15489	21689	
20 sec	12 sec	4 sec	4 sec	4327	7197	10094		
			8 sec	4336	7241	10144		
	8 sec	4 sec	7889	6431	9026			
8 sec	7889	6470	9082					

Πίνακας 11

Αριθμός HELLO πακέτων

Πηγές δεδομένων	Μέγιστη ταχύτητα	Ελάχιστη Περίοδος	Μέγιστη Περίοδος	Pause Time	30 κόμβοι	50 κόμβοι	70 κόμβοι
Ναι	1m/sec	2 sec	6 sec	4 sec	92,9	98,1	94,6
				8 sec	97,7	98,6	89,3
		4 sec	10 sec	4 sec	91	97,6	93,9
				8 sec	96,7	98	88,7
			12 sec	4 sec	86	93,9	87,3
				8 sec	93,9	92,4	80,4
	20 sec	4 sec	82,5	92	85,7		
		8 sec	91,5	91,9	80,2		
	10m/sec	2 sec	6 sec	4 sec	82,6	88,9	77,2
				8 sec	82,6	86,3	79,1
			10 sec	4 sec	74,2	82,8	73,2
				8 sec	76,1	81,3	75,4
		4 sec	12 sec	4 sec	63	69,3	66,1
				8 sec	63,8	70,8	68,5
			20 sec	4 sec	47,1	53,5	54,8
				8 sec	48,9	54,4	55,8

Πίνακας 12 Ποσοστό επιτυχίας

Linear πολιτική

Πηγές δεδομένων	Μέγιστη ταχύτητα	Ελάχιστη Περίοδος	Μέγιστη Περίοδος	Pause Time	30 κόμβοι	50 κόμβοι	70 κόμβοι
Όχι	1m/sec	2 sec	6 sec	4 sec	8968	14947	δ/υ
				8 sec	8925	14889	δ/υ
		4 sec	10 sec	4 sec	8928	14885	δ/υ
				8 sec	8925	14892	δ/υ
			12 sec	4 sec	4466	7449	δ/υ
				8 sec	4469	7452	δ/υ
	20 sec	4 sec	4428	7384	δ/υ		
		8 sec	4426	7394	δ/υ		
	10m/sec	2 sec	6 sec	4 sec	5826	9641	δ/υ
				8 sec	5681	9411	δ/υ
			10 sec	4 sec	4296	7105	δ/υ
				8 sec	4287	7109	δ/υ
		4 sec	12 sec	4 sec	2872	4753	δ/υ
				8 sec	2804	4657	δ/υ
			20 sec	4 sec	2132	3522	δ/υ

				8 sec	1997	3308	δ/υ
Ναι	1m/sec	2 sec	6 sec	4 sec	8969	14952	20928
				8 sec	8926	14896	20800
			10 sec	4 sec	8927	14887	20821
		8 sec		8927	14891	20803	
		4 sec	12 sec	4 sec	4466	7454	10419
				8 sec	4470	7455	10415
	20 sec		4 sec	4429	7385	10323	
		8 sec	4427	7391	10302		
	10m/sec	2 sec	6 sec	4 sec	5826	9640	13525
				8 sec	5681	9411	13167
			10 sec	4 sec	4297	7106	9971
				8 sec	4288	7109	9930
		4 sec	12 sec	4 sec	2872	4753	6658
				8 sec	2803	4656	6516
20 sec			4 sec	2132	3522	4938	
			8 sec	1996	3307	4631	

Πίνακας 13 Αριθμός HELLO πακέτων

Πηγές δεδομένων	Μέγιστη ταχύτητα	Ελάχιστη Περίοδος	Μέγιστη Περίοδος	Pause Time	30 κόμβοι	50 κόμβοι	70 κόμβοι
Ναι	1m/sec	2 sec	6 sec	4 sec	91,8	97,4	92,5
				8 sec	97,6	97,4	86,9
			10 sec	4 sec	89,8	96,9	91,6
		8 sec		96,3	96,6	85,7	
		4 sec	12 sec	4 sec	75,5	82,9	71,1
				8 sec	85,2	82,3	63,3
	20 sec		4 sec	73,1	80,4	70,2	
		8 sec	83,2	79,7	63,6		
	10m/sec	2 sec	6 sec	4 sec	77,6	85	75,8
				8 sec	79,6	83,7	77,3
			10 sec	4 sec	65,7	73	67,8
				8 sec	66,1	71,5	69,7
		4 sec	12 sec	4 sec	50,5	58,2	56,1
				8 sec	47,7	54,3	57,7
20 sec			4 sec	25,8	31,8	36	
			8 sec	19,5	26,5	34	

Πίνακας 14 Ποσοστό επιτυχίας

Overlinear πολιτική

Πηγές δεδομένων	Μέγιστη ταχύτητα	Ελάχιστη Περίοδος	Μέγιστη Περίοδος	Pause Time	30 κόμβοι	50 κόμβοι	70 κόμβοι
Όχι	1m/sec	2 sec	6 sec	4 sec	8965	14950	δ/υ
				8 sec	8926	14891	δ/υ
			10 sec	4 sec	8927	14883	δ/υ
		4 sec	12 sec	4 sec	4465	7450	δ/υ
				8 sec	4468	7453	δ/υ
			20 sec	4 sec	4427	7383	δ/υ
	10m/sec	2 sec	6 sec	4 sec	4979	8256	δ/υ
				8 sec	4887	8125	δ/υ
			10 sec	4 sec	3470	5764	δ/υ
		4 sec	12 sec	4 sec	2478	4114	δ/υ
				8 sec	2419	4016	δ/υ
			20 sec	4 sec	1739	2878	δ/υ
Ναι	1m/sec	2 sec	6 sec	4 sec	8967	14952	20924
				8 sec	8926	14893	20800
			10 sec	4 sec	8931	14889	20819
		4 sec	12 sec	4 sec	4467	7454	10417
				8 sec	4467	7457	10412
			20 sec	4 sec	4429	7383	10320
	10m/sec	2 sec	6 sec	4 sec	4980	8257	11587
				8 sec	4887	8125	11354
			10 sec	4 sec	3470	5764	8075
		4 sec	12 sec	4 sec	2478	4114	5769
				8 sec	2418	4016	5615
			20 sec	4 sec	1740	2877	4032
				8 sec	1650	2739	3829

Πίνακας 15

Αριθμός HELLO πακέτων

Πηγές δεδομένων	Μέγιστη ταχύτητα	Ελάχιστη Περίοδος	Μέγιστη Περίοδος	Pause Time	30 κόμβοι	50 κόμβοι	70 κόμβοι	
Ναι	1m/sec	2 sec	6 sec	4 sec	92,1	97,3	92,2	
				8 sec	97,8	97,5	87	
			10 sec	4 sec	89,5	97	91,7	
		4 sec	12 sec	4 sec	74,9	82,6	71,4	
				8 sec	86	81,8	63,1	
			20 sec	4 sec	72,8	80,9	70,4	
	10m/sec	2 sec	6 sec	4 sec	76,6	82,6	74,5	
				8 sec	76,6	81,1	74,3	
			10 sec	4 sec	59	67,5	62,2	
		4 sec	12 sec	4 sec	37,3	45,2	48,6	
				8 sec	33,3	41,1	47	
			20 sec	4 sec	17,6	19,2	24,5	
					8 sec	12,3	16,7	21,5

Πίνακας 16 Ποσοστό επιτυχίας



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000091673

