



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών
Υπολογιστών και Πληροφορικής

Μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων σε ασύρματα κινητά Ad Hoc δίκτυα

Στα πλαίσια του

Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης (ΜΔΕ)

«Επιστήμη και Τεχνολογία των Υπολογιστών»

Γιώργος Αδάμ

ΑΜ. 718

Επιβλέπων:

Χρήστος Μπούρας, Καθηγητής

Τριμελής Επιτροπή:

Ιωάννης Γαροφαλάκης, Καθηγητής

Κώστας Μπερμπερίδης, Καθηγητής

Χρήστος Μπούρας, Καθηγητής

Πάτρα, Φεβρουάριος 2013

Περίληψη

Τα ασύρματα κινητά Ad Hoc δίκτυα γίνονται ολοένα και πιο δημοφιλή λόγω της αυξανόμενης χρήσης κινητών συσκευών. Οι κόμβοι αυτών των δικτύων μπορούν να κινούνται ελεύθερα στον χώρο, έχοντας ταυτόχρονα πολλαπλούς ρόλους αφού μπορούν να λάβουν και να στείλουν πληροφορία προερχόμενη από οποιοδήποτε πόρο του δικτύου. Αυτό σημαίνει ότι ένας κόμβος μπορεί να έχει το ρόλο του αποστολέα, του παραλήπτη και του αναμεταδότη. Η ικανότητα αυτών των δικτύων να αυτοπροσαρμόζονται και να δημιουργούν ένα συνεκτικό δίκτυο μέσω ασύρματων συνδέσεων, τα κάνει κατάλληλα για μια σειρά από εφαρμογές στις οποίες τα άλλα δίκτυα αποτυγχάνουν. Τέτοιες εφαρμογές περιλαμβάνουν τοπολογίες που στήνονται σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης, δίκτυα αισθητήρων και γενικά τοπολογίες στις οποίες δεν υπάρχει προκαθορισμένη υποδομή ή η υποδομή που υπήρχε έχει καταστραφεί.

Τα ασύρματα κινητά δίκτυα παρέχουν την ελευθερία στους κόμβους να κινηθούν ακόμα και μακριά από σταθμούς βάσης ή και να αποσυνδεθούν προσωρινά από το υπόλοιπο δίκτυο, με αποτέλεσμα να καθιστούν δύσκολο το πρόβλημα της δρομολόγησης. Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που έχουν αναπτυχθεί για τέτοιου τύπου δίκτυα επηρεάζουν άμεσα τα χαρακτηριστικά της μετάδοσης δεδομένων και την απόδοση των σχετικών εφαρμογών. Κάθε πρωτόκολλο έχει τη δική του στρατηγική δρομολόγησης έτσι ώστε να καταφέρει να συνδέσει δυο κινητούς κόμβους του δικτύου. Η απόδοση μεταβάλλεται ανάλογα με την κατάσταση του δικτύου και τις επικρατούσες συνθήκες όπως η πυκνότητα των κόμβων σε μια συγκεκριμένη περιοχή, η ταχύτητα και η κατεύθυνση τους. Είναι προφανές ότι η επιλογή του κατάλληλου πρωτοκόλλου δρομολόγησης ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και τις παραμέτρους του δικτύου παίζει πολύ σημαντικό ρόλο.

Η ενσωμάτωση των κινητών συσκευών σε κινούμενα οχήματα έχει οδηγήσει σε έναν νέο τύπο δικτύων, τα ονομαζόμενα Ad Hoc δίκτυα οχημάτων ή Vehicular Ad hoc Networks (VANETs). Αυτά τα δίκτυα απαιτούν εξειδικευμένα πρωτόκολλα δρομολόγησης εξαιτίας της φύσης των κινητών Ad Hoc δικτύων. Η απόδοση

αυτών των πρωτοκόλλων έχει αξιολογηθεί για την περίπτωση της γενικευμένης κίνησης αλλά όχι υπό το πρίσμα της μετάδοσης πολυμέσων και ειδικότερα της μετάδοσης βίντεο. Αρχικός στόχος αυτής της εργασίας είναι η πραγματοποίηση ενός συνόλου από εξομοιώσεις με στόχο την αξιολόγηση της απόδοσης των τριών από τα πιο δημοφιλή πρωτόκολλα δρομολόγησης για τα κινητά Ad Hoc δίκτυα MANETs και VANETs: AODV, DSR, και OLSR. Ο σκοπός της αξιολόγησης είναι η μελέτη της συμπεριφοράς των πρωτοκόλλων όταν μεταβάλλεται το πλήθος των ταυτόχρονων μεταδόσεων βίντεο. Οι μετρικές που προτείνονται είναι

- το ποσοστό απώλειας πακέτων
- η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο
- η διακύμανση της καθυστέρησης (jitter)
- η επιβάρυνση του δικτύου με πακέτα δρομολόγησης

Η μετάδοση πολυμέσων μέσα από τα ασύρματα κινητά Ad Hoc δίκτυα δεν είναι πάντοτε αποδοτική εξαιτίας των υψηλών απαιτήσεων που υπάρχουν, όπως το υψηλό εύρος ζώνης και οι χαμηλοί χρόνοι καθυστέρησης. Δηλαδή, αυτά τα δίκτυα δεν δείχνουν ικανά να υποστηρίξουν μεταδόσεις πολυμέσων υψηλής ποιότητας και ειδικότερα μεταδόσεις βίντεο. Στα πλαίσια της εργασίας αναπτύσσεται και παρουσιάζεται ένας διαστρωματικός μηχανισμός για αποδοτική μετάδοση βίντεο πάνω σε ασύρματα Ad Hoc δίκτυα οχημάτων (VANETs). Ο μηχανισμός αυτός αποτελείται από έναν αλγόριθμο χρονοπρογραμματισμού και ανάθεσης προτεραιότητας στο επίπεδο δικτύου. Ακόμα προτείνεται και αξιολογείται η χρήση του προτύπου IEEE 802.11e στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων. Ο αλγόριθμος χρονοπρογραμματισμού και ανάθεσης προτεραιότητας στοχεύει στο να αξιοποιεί την πληροφορία που αφορά στον τύπο των πλαισίων των MPEG-4 βίντεο, με στόχο να παρέχει διαφορετικές προτεραιότητες ανάλογα με τη σημαντικότητα του κάθε πλαισίου. Στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων το πρωτόκολλο IEEE 802.11e προτείνεται να αναθέτει τη μέγιστη προτεραιότητα στα πακέτα βίντεο με στόχο την καλύτερη εξυπηρέτηση των εφαρμογών μετάδοσης πολυμέσων. Αυτή η επιλογή γίνεται για τη μείωση της καθυστέρησης και της απώλειας πακέτων εξαιτίας της κίνησης ανταγωνιστικών δεδομένων. Ο σχεδιασμός που παρουσιάζεται είναι

εύκολα ενσωματώσιμος σε κάθε ασύρματο Ad Hoc δίκτυο, σαν επέκταση του δημοφιλούς πρωτοκόλλου δρομολόγησης AODV.

Οι εφαρμογές μετάδοσης πολυμέσων συνήθως χρησιμοποιούν το UDP ως πρωτόκολλο μεταφοράς. Με αυτή την επιλογή αποφεύγονται οι καθυστερήσεις που προκαλούνται από αναμεταδόσεις πακέτων και από τους μηχανισμούς ελέγχου συμφόρησης του TCP, αλλά δημιουργούνται δυο σημαντικά προβλήματα. Το πρώτο πρόβλημα έχει να κάνει με τους πιθανούς περιορισμούς εύρους ζώνης με αποτέλεσμα τα πακέτα πολυμέσων να μην ελέγχονται από μηχανισμούς ελέγχου ροής και συμφόρησης, οδηγώντας σε αυξημένη απώλεια πακέτων. Το δεύτερο πρόβλημα είναι σχετικό με τη φιλικότητα προς το TCP πρωτόκολλο. Κάτω υπό ορισμένες συνθήκες, η μετάδοση πακέτων χωρίς κάποιον ελεγκτικό μηχανισμό μπορεί να οδηγήσει σε μια κατάσταση στην οποία οι εφαρμογές του δικτύου που χρησιμοποιούν το TCP να μην εξυπηρετούνται.

Στα πλαίσια της εργασίας προτείνονται διαστρωματικές τεχνικές και μηχανισμοί που στοχεύουν στη βελτίωση της μετάδοσης βίντεο, μέσω του πρωτοκόλλου TFRC το οποίο είναι φιλικό ως προς την συνυπάρχουσα TCP κίνηση. Ο σχεδιασμός περιλαμβάνει μηχανισμούς που δίνουν προτεραιότητα στα πακέτα βίντεο, ενώ παράλληλα αξιοποιούνται πληροφορίες από τα κατώτερα επίπεδα του μοντέλου OSI. Συγκεκριμένα, αξιοποιούνται πληροφορίες που συλλέγονται από το στρώμα ζεύξης δεδομένων οι οποίες αφορούν την ποιότητα του λαμβανόμενου σήματος. Ο προτεινόμενος μηχανισμός χρησιμοποιεί τις μετρήσεις της ενέργειας σήματος ως προς τον θόρυβο του καναλιού (SNR) σε όλο το μήκος ενός μονοπατιού, προκειμένου να βελτιώσει την αποδοτικότητα του πρωτοκόλλου δρομολόγησης AODV και συγκεκριμένα τη διαδικασία ανακατασκευής μονοπατιών. Η αξιολόγηση που προτείνεται είναι με εξομοιώσεις στον εξομοιωτή δικτύων ns-2.

Συμπερασματικά, στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη μετάδοσης πολυμεσικών δεδομένων μέσω διαφόρων πρωτοκόλλων δρομολόγησης σε συνθήκες αστικού περιβάλλοντος. Επίσης, στόχος είναι η μελέτη και η ανάπτυξη διαστρωματικών μηχανισμών προσαρμοστικής μετάδοσης και η πιθανή βελτίωση ή παραμετροποίηση υπαρχόντων μηχανισμών για την αποδοτικότερη μετάδοση πάνω από τα ασύρματα κινητά Ad Hoc δίκτυα.

Ο κεντρικός άξονας στην ανάπτυξη αυτών των μηχανισμών στηρίζεται στην παροχή προτεραιότητας στα πακέτα που περιέχουν δεδομένα πολυμέσων, στην ενίσχυση των μηχανισμών ελέγχου ροής και συμφόρησης και στη βελτίωση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης αξιοποιώντας στοιχεία του φυσικού δικτύου, με απώτερο στόχο τη βελτίωση της απόδοσης της μετάδοσης πολυμεσικών δεδομένων.

Executive Summary

Mobile ad hoc networks (MANETs) are becoming more essential to wireless communications due to growing popularity of mobile devices. The integration of mobile ad hoc devices inside vehicles has led to another type of networks, called Vehicular Ad hoc Networks (VANETs) which are also becoming important. These networks require specialized routing protocols due to their ad hoc nature. The performance of these protocols has been tested for the case of general traffic but not in respect with to multimedia traffic and especially video transmission.

In this work we conduct a number of simulations in order to evaluate the performance of three of the most popular routing protocols for MANETs and VANETs, namely AODV, DSR and OLSR, for different number of simultaneous video transmissions. We use the packet delivery ratio, the end-to-end delay, the packet delay variation (jitter) and the routing overhead as evaluation metrics. The results indicate that the DSR protocol outperforms AODV and OLSR in terms of end-to-end delay and packet delay variation and seems to be the most efficient routing protocol when multimedia traffic and especially video traffic is considered.

Moreover, we present a cross-layer mechanism for efficient video transmission over this type of networks. The proposed mechanism consists of a priority-scheduling algorithm, at the network layer, and the use of the IEEE 802.11e standard at the MAC layer. The priority-scheduling algorithm takes into account the frame type of the MPEG-4 video file in order to provide different priorities to the most important video packets. At the MAC layer, the IEEE 802.11e protocol assigns the highest priority to video applications to reduce delay and packets losses due to other competing traffic. This design is easily implemented in any ad hoc wireless network as an extension on the AODV MANET routing protocol. Simulation results conducted with the network simulator ns-2 show the advantages of the proposed design.

Finally, we propose a cross-layer design that aims to improve the performance of video transmission using TCP Friendly Rate Control (TFRC). Our design provides priority to video packets and exploits information from the MAC layer in order to improve TFRC's performance. The proposed cross-layer mechanism utilizes Signal to Noise

Ratio (SNR) measurements along the routing path, in order to make the route reconstruction procedure more efficient. Simulation results show that both the use of traffic categorization and the SNR utilization lead to important improvements of video transmission over the mobile Ad hoc network. More specifically, simulations indicate increased average Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) for the received video, increased throughput and packet delivery ration, as well as reduced average end-to-end delay.

Πρόλογος

Με αυτόν τον πρόλογο θα ήθελα να ευχαριστήσω τα άτομα που βοήθησαν, άμεσα ή έμμεσα, την εκπόνηση αυτής της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ. Χρήστο Μπούρα (Καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Πατρών) για την επίβλεψη αυτής της εργασίας, τις πολύτιμες συμβουλές του και την συμπαράστασή του ώστε να ολοκληρωθεί η παρούσα εργασία αλλά και για τη δυνατότητα που μου παρείχε ώστε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον ερευνητικό θέμα. Ομοίως, θέλω να ευχαριστήσω τον Καθηγητή ΤΜΗΥΠ Ιωάννη Γαροφαλάκη και τον Καθηγητή ΤΜΗΥΠ Κώστα Μπερμπερίδη, για την τιμή που μου έκαναν να αποτελέσουν μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω και στους πολύτιμους συνεργάτες και συγγραφείς των ερευνητικών δημοσιεύσεων που έγιναν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αυτής, Δρ. Γεώργιο Κιουμουρτζή, Δρ. Απόστολο Γκάμα, Δρ. Βαγγέλη Καπούλα και το Νίκο Ταβουλάρη που βοήθησαν καταλυτικά στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους συναδέλφους για την αγαστή συνεργασία που είχαμε στην Ερευνητική Μονάδα 6 του Ινστιτούτου Τεχνολογίας Υπολογιστών και Εκδόσεων "Διόφαντος" και στο εργαστήριο Τηλεματικής του Τμήματος Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, όπου και επονήθηκε το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας.

Πάτρα, Φεβρουάριος 2013

Γιώργος Δ. Αδάμ

Στην οικογένεια μου...

Περιεχόμενα

Πρόλογος	ix
1 Εισαγωγή	21
2 Ασύρματα κινητά δίκτυα και πρωτόκολλα δρομολόγησης	27
2.1 Επικοινωνία στα ασύρματα κινητά δίκτυα	28
2.2 Το πρωτόκολλο AODV	31
2.3 Το πρωτόκολλο DSR	34
2.4 Το πρωτόκολλο DSDV	37
2.5 Το πρωτόκολλο OLSR	38
3 Μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων	41
3.1 Κωδικοποίηση MPEG-4	42
3.2 Τύποι πλαισίων	43
3.3 Συμπίεση εικόνας	44
3.4 Το πρωτόκολλο RTP	45
3.5 Μετάδοση με έλεγχο ροής	47
3.6 Πρωτόκολλα φιλικά προς το TCP	48
4 Θέματα αξιολόγησης μετάδοσης πολυμέσων σε ασύρματα δίκτυα .	53
4.1 Μετρικές αξιολόγησης	53
4.1.1 Ποιοτικές μετρικές	54
4.1.2 Ποσοτικές μετρικές	57
4.2 Μοντέλα κίνησης	59

4.3	Αξιολόγηση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης μέσω εξομίωσης	60
5	State of the art διαστρωματικές αρχιτεκτονικές	69
5.1	Βασικά στοιχεία των διαστρωματικών αρχιτεκτονικών	69
5.2	Διαστρωματικές αρχιτεκτονικές σε ασύρματα δίκτυα	73
5.3	Σημαντικότεροι διαστρωματικοί σχεδιασμοί	75
5.3.1	Μηχανισμοί που αξιοποιούν το IEEE 802.11e	76
5.3.2	a-MMDSR	77
5.3.3	Μηχανισμοί με έλεγχο συμφόρησης	78
6	Προτεινόμενη διαστρωματική μετάδοση	81
6.1	Μετάδοση με το πρωτόκολλο 802.11e	81
6.2	Μετάδοση με ουρές προτεραιότητας στα πλαίσια βίντεο	84
6.3	Μετάδοση με αξιοποίηση του SNR	89
6.3.1	Προσαρμογή στο επίπεδο Ζεύξης	92
6.3.2	Προσαρμογή στο επίπεδο Δικτύου	94
6.3.3	Προσαρμογή στο επίπεδο Εφαρμογής	95
6.3.4	Ανάλυση μηχανισμού	96
7	Πειραματική αξιολόγηση	101
7.1	Εξομίωση πολυμεσικών δεδομένων	101
7.2	Αξιολόγηση μηχανισμού ανάθεσης προτεραιοτήτων στα πλαίσια του βίντεο	107
7.2.1	Απόδοση μηχανισμού σε δίκτυο χωρίς ανταγωνιστική κίνηση	108
7.2.2	Απόδοση μηχανισμού σε δίκτυο με ανταγωνιστική κίνηση	111
7.3	Αξιολόγηση διαστρωματικού μηχανισμού προσαρμοστικής μετάδοσης	113
7.3.1	Περιβάλλον εξομίωσης	114
7.3.2	Πειραματική αξιολόγηση	116
8	Συμπεράσματα	123
9	Μελλοντική εργασία	127

A Δημοσιεύσεις	131
A.1 Δημοσιεύσεις που έγιναν στα πλαίσια της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας	131
A.1.1 Performance Evaluation of Routing Protocols for multimedia transmission over Mobile Ad hoc Network	131
A.1.2 Cross-Layer Mechanism for Efficient Video Transmission over Mobile Ad Hoc Networks	132
A.1.3 A cross-layer design for video transmission with TFRC in MANETS (Best Paper Award)	133
A.2 Υπόλοιπες Δημοσιεύσεις	134
A.2.1 CUTER: An Efficient Useful Text Extraction Mechanism	134
A.2.2 Utilizing RSS feeds for crawling the Web	135
A.2.3 Monitoring RSS feeds	136
A.2.4 Image extraction from online text streams: A straightforward template independent approach without training	137
A.2.5 An Efficient Mechanism for Stemming and Tagging: the Case of Greek Language	137
A.2.6 Efficient extraction of news articles based on RSS crawling	138
A.2.7 Providing Community and Collaboration Services to MMOG Players	139
A.2.8 Security Aspects for Large Scale Distributed Environments	140
A.2.9 Building community and collaboration applications for MMOGs	140
B Οδηγίες εξομοίωσης	143
B.1 Εγκατάσταση μηχανισμών	143
B.2 Προεπεξεργασία βίντεο	144
B.3 Σενάρια εξομοίωσης	145
B.4 Διαδικασίες μετά την εξομοίωση	146
Αναφορές	149

Λίστα εικόνων

2.1	HELLO μήνυμα του πρωτοκόλλου OLSR.	39
3.1	Μια σειρά από τέσσερα πλαίσια βίντεο.	43
4.1	Μέση από άκρο σε άκρο καθυστέρηση συναρτήσει της ταχύτητας κίνησης.	59
4.2	Μοντέλο Manhattan.	61
4.3	Ποσοστό παράδοσης πακέτων συναρτήσει των μέγιστων ταυτόχρονων συνδέσεων.	62
4.4	Μέση από άκρο σε άκρο καθυστέρηση συναρτήσει των μέγιστων ταυτόχρονων συνδέσεων.	63
4.5	Μέση διακύμανση καθυστέρησης.	64
4.6	Επιβάρυνση του δικτύου λόγω μηνυμάτων δρομολόγησης.	65
4.7	Ποσοστό παράδοσης πακέτων συναρτήσει του ρυθμού μετάδοσης.	66
4.8	Μέση από άκρο σε άκρο καθυστέρηση.	67
5.1	Το μοντέλο OSI.	70
5.2	Διαστρωματική αρχιτεκτονική.	72
6.1	Διαστρωματική αρχιτεκτονική με προτεραιότητες στα πλαίσια του βίντεο.	86
6.2	Διαστρωματική αρχιτεκτονική στα επίπεδα Ζεύξης, Δικτύου και Εφαρμογής.	92
7.1	Προεπεξεργασία μέσω του Evalvid-RA.	104
7.2	Απώλεια πλαισίων βίντεο στο σενάριο χωρίς ανταγωνιστική κίνηση.	109
7.3	PSNR στο σενάριο χωρίς ανταγωνιστική κίνηση.	110
7.4	Απώλεια πλαισίων βίντεο στο σενάριο με ανταγωνιστική κίνηση.	112

7.5	PSNR στο σενάριο με ανταγωνιστική κίνηση.	113
7.6	Μέσος ρυθμός παραλαβής.	114
7.7	Ελεγκτής ρυθμού μετάδοσης.	115
7.8	PSNR συναρτήσει του κατωφλιού SNR.	118
7.9	Μέσο PSNR με χρήση του 802.11g, 802.11e και του προσαρμοστικού μηχανισμού.	119
7.10	Μέση ρυθμαπόδοση.	120
7.11	Ποσοστό παράδοσης πακέτων.	121
7.12	Μέση από άκρο σε άκρο καθυστέρηση.	121

Λίστα πινάκων

4.1	Σύγκριση των proactive πρωτοκόλλων	55
4.2	Σύγκριση των reactive πρωτοκόλλων	56
4.3	Παράμετροι εξομοίωσης για σύγκριση πρωτοκόλλων δρομολόγησης	61
6.1	Παράμετροι QoS για τις τέσσερις κλάσεις κίνησης του IEEE 802.11e.	93
7.1	NS tracefile για ασύρματες μεταδόσεις	102
7.2	Αντιστοίχιση PSNR και Mean Opinion Score	105
7.3	Παράμετροι εξομοίωσης μηχανισμού ανάθεσης προτεραιοτήτων	108
7.4	Αποτελέσματα στο σενάριο χωρίς ανταγωνιστική κίνηση.	109
7.5	Αποτελέσματα στο σενάριο με ανταγωνιστική κίνηση.	112
7.6	Παράμετροι εξομοίωσης μηχανισμού προσαρμοστικής μετάδοσης	116

Λίστα αλγορίθμων

1	Μηχανισμός εισαγωγής πακέτων βίντεο σε ουρά	88
2	Μηχανισμός ανατροφοδότησης του TFRC	99

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Τα ασύρματα κινητά Ad Hoc δίκτυα γίνονται ολοένα και πιο δημοφιλή λόγω της αυξανόμενης χρήσης κινητών συσκευών. Οι κόμβοι αυτών των δικτύων μπορούν να κινούνται ελεύθερα στον χώρο, έχοντας ταυτόχρονα πολλαπλούς ρόλους αφού μπορούν να λάβουν και να στείλουν πληροφορία προερχόμενη από οποιοδήποτε πόρο του δικτύου. Αυτό σημαίνει ότι ένας κόμβος μπορεί να έχει το ρόλο του αποστολέα, του παραλήπτη και του αναμεταδότη. Η ικανότητα αυτών των δικτύων να αυτοπροσαρμόζονται και να δημιουργούν ένα συνεκτικό δίκτυο μέσω ασύρματων συνδέσεων, τα κάνει κατάλληλα για μια σειρά από εφαρμογές στις οποίες τα άλλα δίκτυα αποτυγχάνουν. Τέτοιες εφαρμογές περιλαμβάνουν τοπολογίες που στήνονται σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης, δίκτυα αισθητήρων και γενικά τοπολογίες στις οποίες δεν υπάρχει προκαθορισμένη υποδομή ή η υποδομή που υπήρχε έχει καταστραφεί.

Τα ασύρματα κινητά δίκτυα παρέχουν την ελευθερία στους κόμβους να κινηθούν ακόμα και μακρινά από σταθμούς βάσης ή και να αποσυνδεθούν προσωρινά από το υπόλοιπο δίκτυο, με αποτέλεσμα να καθιστούν δύσκολο το πρόβλημα της δρομολόγησης. Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που έχουν αναπτυχθεί για τέτοιου τύπου δίκτυα επηρεάζουν άμεσα τα χαρακτηριστικά της μετάδοσης δεδομένων και την απόδοση των σχετικών εφαρμογών. Κάθε πρωτόκολλο έχει τη δική του στρατηγική δρομολόγησης έτσι ώστε να καταφέρει να συνδέσει

δυο κινητούς κόμβους του δικτύου. Η απόδοση μεταβάλλεται ανάλογα με την κατάσταση του δικτύου και τις επικρατούσες συνθήκες όπως η πυκνότητα των κόμβων σε μια συγκεκριμένη περιοχή, η ταχύτητα και η κατεύθυνση τους. Είναι προφανές ότι η επιλογή του κατάλληλου πρωτοκόλλου δρομολόγησης ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και τις παραμέτρους του δικτύου παίζει πολύ σημαντικό ρόλο.

Η ενσωμάτωση των κινητών συσκευών σε κινούμενα οχήματα έχει οδηγήσει σε έναν νέο τύπο δικτύων, τα ονομαζόμενα Ad Hoc δίκτυα οχημάτων ή Vehicular Ad hoc Networks (VANETs). Αυτά τα δίκτυα απαιτούν εξειδικευμένα πρωτόκολλα δρομολόγησης εξαιτίας της φύσης των κινητών Ad Hoc δικτύων. Η απόδοση αυτών των πρωτοκόλλων έχει αξιολογηθεί για την περίπτωση της γενικευμένης κίνησης αλλά όχι υπό το πρίσμα της μετάδοσης πολυμέσων και ειδικότερα της μετάδοσης βίντεο. Αρχικός στόχος αυτής της εργασίας είναι η πραγματοποίηση ενός συνόλου από εξομοιώσεις με στόχο την αξιολόγηση της απόδοσης τριών από τα πιο δημοφιλή πρωτόκολλα δρομολόγησης για τα κινητά Ad Hoc δίκτυα MANETs και VANETs [1]. Ο σκοπός της αξιολόγησης είναι η μελέτη της συμπεριφοράς των πρωτοκόλλων όταν μεταβάλλεται το πλήθος των ταυτόχρονων μεταδόσεων βίντεο. Οι μετρικές που προτείνονται είναι

- το ποσοστό απώλειας πακέτων
- η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο
- η διακύμανση της καθυστέρησης (jitter)
- η επιβάρυνση του δικτύου με πακέτα δρομολόγησης

Η μετάδοση πολυμέσων μέσα από τα ασύρματα κινητά Ad Hoc δίκτυα δεν είναι πάντοτε αποδοτική εξαιτίας των υψηλών απαιτήσεων που υπάρχουν, όπως το υψηλό εύρος ζώνης και οι χαμηλοί χρόνοι καθυστέρησης. Δηλαδή, αυτά τα δίκτυα δεν δείχνουν ικανά να υποστηρίξουν μεταδόσεις πολυμέσων υψηλής ποιότητας και ειδικότερα μεταδόσεις βίντεο. Στα πλαίσια της εργασίας αναπτύσσεται και παρουσιάζεται ένας διαστρωματικός μηχανισμός για αποδοτική μετάδοση βίντεο πάνω σε ασύρματα Ad Hoc δίκτυα

οχημάτων (VANETs). Ο μηχανισμός αυτός αποτελείται από έναν αλγόριθμο χρονοπρογραμματισμού και ανάθεσης προτεραιότητας στο επίπεδο δικτύου [2]. Ακόμα προτείνεται και αξιολογείται η χρήση του προτύπου IEEE 802.11e [3] στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων. Ο αλγόριθμος χρονοπρογραμματισμού και ανάθεσης προτεραιότητας στοχεύει στο να αξιοποιεί την πληροφορία που αφορά στον τύπο των πλαισίων των MPEG-4 [4] βίντεο, με στόχο να παρέχει διαφορετικές προτεραιότητες ανάλογα με τη σημαντικότητα του κάθε πλαισίου. Στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων το πρωτόκολλο IEEE 802.11e προτείνεται να αναθέτει τη μέγιστη προτεραιότητα στα πακέτα βίντεο με στόχο την καλύτερη εξυπηρέτηση των εφαρμογών μετάδοσης πολυμέσων. Αυτή η επιλογή γίνεται για τη μείωση της καθυστέρησης και της απώλειας πακέτων εξαιτίας της κίνησης ανταγωνιστικών δεδομένων. Ο σχεδιασμός που παρουσιάζεται είναι εύκολα ενσωματώσιμος σε κάθε ασύρματο Ad Hoc δίκτυο, σαν επέκταση του δημοφιλούς πρωτοκόλλου δρομολόγησης AODV [5].

Το μοντέλο TCP/IP παρατηρείται να λειτουργεί αποτελεσματικά για την μετάδοση σε ενσύρματα δίκτυα παρόλα αυτά δεν φαίνεται να παρουσιάζει την ίδια αποτελεσματικότητα σε ασύρματες εφαρμογές. Έτσι υπάρχει η απαίτηση για βελτίωση του υπάρχοντος μοντέλου και για ανάπτυξη και εφαρμογή πιο έξυπνων αλγορίθμων, οι οποίοι θα εκμεταλλεύονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που έχει μία ασύρματη μετάδοση και ιδιαίτερα όσον αφορά μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων. Με την ανάπτυξη νέων τεχνικών κωδικοποίησης δίνεται η δυνατότητα για βελτιωμένη τελική εμπειρία χρήστη εκμεταλλευόμενοι την ειδική αρχιτεκτονική τέτοιων κωδικοποιήσεων.

Οι εφαρμογές μετάδοσης πολυμέσων συνήθως χρησιμοποιούν το UDP [6] ως πρωτόκολλο μεταφοράς. Με αυτή την επιλογή αποφεύγονται οι καθυστερήσεις που προκαλούνται από αναμεταδόσεις πακέτων και από τους μηχανισμούς ελέγχου συμφόρησης του TCP, αλλά δημιουργούνται δυο σημαντικά προβλήματα. Το πρώτο πρόβλημα έχει να κάνει με τους πιθανούς περιορισμούς εύρους ζώνης με αποτέλεσμα τα πακέτα πολυμέσων να μην ελέγχονται από μηχανισμούς ελέγχου ροής και συμφόρησης, οδηγώντας σε αυξημένη απώλεια πακέτων. Το δεύτερο πρόβλημα είναι σχετικό με τη

φιλικότητα προς το TCP πρωτόκολλο. Κάτω υπό ορισμένες συνθήκες, η μετάδοση πακέτων χωρίς κάποιον ελεγκτικό μηχανισμό μπορεί να οδηγήσει σε μια κατάσταση στην οποία οι εφαρμογές του δικτύου που χρησιμοποιούν το TCP να μην εξυπηρετούνται.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία μελετώνται τα διαθέσιμα πρότυπα που υπάρχουν για διαστρωματικές αρχιτεκτονικές σε ασύρματα δίκτυα και παρουσιάζονται δοκιμές και μετρήσεις στον ns-2 [7]. Επίσης μελετάται η δυνατότητα βελτιστοποίησης τους και παρουσιάζεται και νέος μηχανισμός αξιοποίησης των διαστρωματικών αρχιτεκτονικών που βελτιώνει την τελική ποιότητα του μεταδιδόμενου βίντεο λαμβάνοντας υπόψιν τις ιδιαιτερότητες των ασύρματων κινητών Ad Hoc δικτύων και των πρωτοκόλλων δρομολόγησης που χρησιμοποιούν. Αναλυτικότερα παρουσιάζονται διάφορα θέματα που σχετίζονται με την αποτελεσματική μετάδοση των κωδικοποιημένων βίντεο MPEG-4 μέσω ασύρματης σύνδεσης που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο TFRC (TCP Friendly Rate Control) [8]. Προτείνονται νέοι μηχανισμοί οι οποίοι αξιοποιούν διαστρωματικές αρχιτεκτονικές για την προσαρμογή του ρυθμού με το οποίο μεταδίδονται πακέτα βίντεο σύμφωνα με τις πληροφορίες ανατροφοδότησης που δέχεται ο αποστολέας από τον παραλήπτη σχετικά με την κατάσταση της σύνδεσης του δικτύου καθώς και σύμφωνα με το πλαίσιο που μεταδίδεται κάθε στιγμή και σύμφωνα με την αντίστοιχη κωδικοποίηση του, έχοντας ως στόχο την βελτίωση των μετρικών της μετάδοσης και κατά συνέπεια της εμπειρίας των χρηστών.

Στα πλαίσια της εργασίας προτείνονται διαστρωματικές τεχνικές και μηχανισμοί που στοχεύουν στη βελτίωση της μετάδοσης βίντεο, μέσω του πρωτοκόλλου TFRC το οποίο είναι φιλικό ως προς την συνυπάρχουσα TCP κίνηση [9]. Ο σχεδιασμός περιλαμβάνει μηχανισμούς που δίνουν προτεραιότητα στα πακέτα βίντεο, ενώ παράλληλα αξιοποιούνται πληροφορίες από τα κατώτερα επίπεδα του μοντέλου OSI. Συγκεκριμένα, αξιοποιούνται πληροφορίες που συλλέγονται από το στρώμα ζεύξης δεδομένων οι οποίες αφορούν την ποιότητα του λαμβανόμενου σήματος. Ο προτεινόμενος μηχανισμός χρησιμοποιεί τις μετρήσεις της ενέργειας σήματος ως προς

τον θόρυβο του καναλιού (SNR) σε όλο το μήκος ενός μονοπατιού, προκειμένου να βελτιώσει την αποδοτικότητα του πρωτοκόλλου δρομολόγησης AODV και συγκεκριμένα τη διαδικασία ανακατασκευής μονοπατιών.

Συμπερασματικά, στόχος αυτής της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη μετάδοσης πολυμεσικών δεδομένων μέσω διαφόρων πρωτοκόλλων δρομολόγησης σε συνθήκες αστικού περιβάλλοντος. Επίσης, στόχος είναι η μελέτη και η ανάπτυξη διαστρωματικών μηχανισμών προσαρμοστικής μετάδοσης και η πιθανή βελτίωση ή παραμετροποίηση υπάρχοντων μηχανισμών για την αποδοτικότερη μετάδοση πάνω από τα ασύρματα κινητά Ad Hoc δίκτυα. Ο κεντρικός άξονας στην ανάπτυξη αυτών των μηχανισμών στηρίζεται στην παροχή προτεραιότητας στα πακέτα που περιέχουν δεδομένα πολυμέσων, στην ενίσχυση των μηχανισμών ελέγχου ροής και συμφόρησης και στη βελτίωση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης αξιοποιώντας στοιχεία του φυσικού δικτύου, με απώτερο στόχο τη βελτίωση της απόδοσης της μετάδοσης πολυμεσικών δεδομένων.

Η αξιολόγηση που προτείνεται είναι με εξομοιώσεις στον εξομοιωτή δικτύων ns-2. Συγκρίνοντας το λαμβανόμενο βίντεο με την χρήση των μηχανισμών με αυτό που λαμβάνεται χωρίς τους μηχανισμούς καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι υπάρχει σημαντική βελτίωση όσον αφορά την ποιότητα του βίντεο.

Η παρούσα εργασία αποτελείται από 8 κεφάλαια. Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται μερικές βασικές έννοιες των ασυρμάτων κινητών δικτύων και περιγράφεται η βασική λειτουργία των πιο δημοφιλών πρωτοκόλλων δρομολόγησης για MANETs. Στο κεφάλαιο 3 αναφέρονται βασικά στοιχεία των πολυμέσων και θέματα που αφορούν τη μετάδοση τέτοιων δεδομένων σε ασύρματα δίκτυα. Ακόμα, παρουσιάζεται ένα σύνολο από πρωτόκολλα που επιτρέπουν την αποδοτική μετάδοση βίντεο στον τελικό χρήστη. Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζουμε θέματα αξιολόγησης και μοντέλα κίνησης, ενώ γίνεται μια πρώτη αξιολόγηση επιλεγμένων πρωτοκόλλων δρομολόγησης με εξομοίωση σε ρεαλιστικές συνθήκες. Στο κεφάλαιο 5 υπάρχουν βασικά στοιχεία διαστρωματικών (cross layer) αρχιτεκτονικών και παρουσιάζονται οι σχετικότεροι διαστρωματικοί σχεδιασμοί που αφορούν μετάδοση πολυμέσων σε

κινητά Ad Hoc δίκτυα. Στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται εκτενώς ο προτεινόμενος διαστρωματικός σχεδιασμός μετάδοσης πολυμεσικών δεδομένων, δίνοντας βάρος και στις θεωρητικές αλλά και στις τεχνικές πτυχές. Στο κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται αναλυτικά τα πειράματα τα οποία έγιναν με την χρήση των μηχανισμών, οι τοπολογίες που χρησιμοποιήθηκαν, τα σενάρια κίνησης, το περιβάλλον εξομοίωσης και οι γενικότερες συνθήκες για την μετάδοση. Στο κεφάλαιο 8 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας ως μια σύνοψη των πειραματικών αποτελεσμάτων. Στη συνέχεια δίνονται ορισμένα ανοιχτά θέματα που μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενο μελλοντικής μελέτης στον τομέα αυτό. Αυτά τα θέματα αναμένεται να βελτιώσουν περαιτέρω τις μεταδόσεις βίντεο σε ασύρματα κινητά Ad Hoc δίκτυα. Τέλος, στο Παράρτημα A βρίσκεται μια λίστα με τις εργασίες που δημοσιεύτηκαν σε διεθνή συνέδρια κατά τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας.

Κεφάλαιο 2

Ασύρματα κινητά δίκτυα και πρωτόκολλα δρομολόγησης

Η ανάγκη για αδιάλειπτη επικοινωνία ανεξάρτητα από την τοποθεσία των κινητών συσκευών, έχει οδηγήσει στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη ασύρματων δικτύων τα οποία αποτελούνται από κινητά τερματικά και παρέχουν τη δυνατότητα επικοινωνίας ακόμα και σε περιπτώσεις χωρίς σταθερή υποδομή. Τα ασύρματα κινητά δίκτυα ή Mobile Ad Hoc Networks (MANETs) αποτελούνται από κινητές συσκευές που συνδέονται μέσω μεταξύ τους ασύρματης σύνδεσης. Κάθε συσκευή σε ένα ασύρματο κινητό δίκτυο είναι ελεύθερη να κινείται ανεξάρτητα και προς κάθε κατεύθυνση με αποτέλεσμα να αλλάζει συχνά η τοπολογία του δικτύου, δηλαδή η θέση του σε σχέση με τις άλλες κινητές συσκευές. Σε αυτά τα δίκτυα τα δεδομένα που διακινούνται από μια συσκευή δεν είναι κατ'ανάγκη δεδομένα που έχουν ως αποστολέα ή παραλήπτη την ίδια συσκευή, αλλά πολλές φορές πρόκειται για δεδομένα που αναμεταδίδονται μέσω της συγκεκριμένης συσκευής με παραλήπτη κάποια άλλη συσκευή του δικτύου. Αυτό σημαίνει ότι η συσκευή είναι και ένας δρομολογητής μέσα στο δίκτυο. Με βάση τα παραπάνω, η κύρια πρόκληση που υπάρχει στα ασύρματα κινητά δίκτυα είναι να διατηρεί κάθε κόμβος τις πληροφορίες που απαιτούνται για τη σωστή επικοινωνία.

Σημαντικό πλεονέκτημα αυτών των δικτύων αποτελεί το γεγονός ότι μπορούν να λειτουργούν αυτόνομα ή μπορεί να συνδεθούν με ένα μεγαλύτερο δίκτυο. Ακόμα, τα ασύρματα κινητά δίκτυα είναι κατάλληλα για μια σειρά από εφαρμογές στις οποίες τα άλλα δίκτυα αποτυγχάνουν, όπως τοπολογίες που στήνονται σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης, δίκτυα αισθητήρων και γενικά τοπολογίες στις οποίες δεν υπάρχει προκαθορισμένη υποδομή ή η υποδομή που υπήρχε έχει καταστραφεί. Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μελέτη των πρωτοκόλλων δρομολόγησης που επιτρέπουν την επικοινωνία μέσω της εύρεσης κατάλληλων μονοπατιών δρομολόγησης.

2.1 Επικοινωνία στα ασύρματα κινητά δίκτυα

Τα τελευταία χρόνια, η ανάπτυξη των φορητών υπολογιστών και των δικτύων που χρησιμοποιούν ασύρματες 802.11/Wi-Fi συνδέσεις έχει γίνει αντικείμενο μελέτης και έρευνας. Πολλές επιστημονικές εργασίες αξιολογούν πρωτόκολλα και τις ικανότητές τους, υποθέτοντας ποικίλους βαθμούς κινητικότητας εντός ενός σαφώς οριοθετημένου χώρου. Ταυτόχρονα, η επικοινωνία των κόμβων γίνεται διαμέσου ενός ή περισσότερων κόμβων, άρα πρόκειται για multihop μετάδοση. Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης για αυτά τα δίκτυα αξιολογούνται κυρίως με βάση συγκεκριμένες μετρικές όπως το ποσοστό απώλειας πακέτων, η επιβάρυνση που εισάγει το πρωτόκολλο δρομολόγησης, η καθυστέρηση των πακέτων από άκρο σε άκρο και η ρυθμαπόδοση (throughput) του δικτύου.

Ένα κινητό Ad Hoc δίκτυο είναι μια συλλογή κινητών κόμβων, οι οποίοι μπορούν δυναμικά να συνδεθούν στο δίκτυο σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή χωρίς να γίνει χρήση κάποιας προϋπάρχουσας υποδομής. Αυτή είναι και η κύρια διαφορά τους από τα ασύρματα δίκτυα που βασίζονται σε σταθερή δικτυακή υποδομή στα οποία οι κόμβοι είναι συνήθως σταθεροί και επικοινωνούν χωρίς ενδιάμεσους κόμβους με ένα κεντροποιημένο σημείο πρόσβασης ή έναν σταθμό βάση. Τα κινητά Ad Hoc δίκτυα είναι αυτόνομα δίκτυα στα οποία οι κόμβοι είναι ελεύθεροι να κινηθούν τυχαία προς οποιαδήποτε κατεύθυνση, με αποτέλεσμα τη πιθανή και απροσδόκητη αλλαγή της τοπολογίας του δικτύου. Επιπλέον, πρέπει να είναι

σε θέση να δρομολογούν την κίνηση έτσι ώστε δυναμικά να αποκαθιστούν την επικοινωνία χωρίς κεντρικοποιημένη διαχείριση.

Η επικοινωνία στα κινητά Ad Hoc δίκτυα μεταξύ δυο κόμβων χωρίζεται σε δύο ομάδες:

1. στην επικοινωνία μεταξύ κόμβων οι οποίοι είναι σχετικά κοντά ώστε να μπορούν να επικοινωνούν απευθείας
2. στην επικοινωνία μέσω ενδιάμεσων κόμβων

Στην τελευταία περίπτωση που πρέπει να επιτευχθεί επικοινωνία μεταξύ κόμβων που δεν είναι άμεσα προσπελάσιμοι, οι ενδιάμεσοι κόμβοι δρουν σαν δρομολογητές και αναμεταδίδουν πακέτα δεδομένων τα οποία έχουν σταλεί είτε κατευθείαν από τον αποστολέα ή από κάποιον δρομολογητή. Για τη διαδικασία αυτή απαιτούνται αποδοτικά πρωτόκολλα δρομολόγησης η κατασκευή των οποίων είναι αρκετά σύνθετη διαδικασία. Πολλά πρωτόκολλα δρομολόγησης έχουν προταθεί για τα κινητά Ad hoc δίκτυα δημιουργώντας αρκετές κατηγορίες για την κατηγοριοποίηση τους, δυο εκ των οποίων αποτελούν τις βασικότερες. Η πρώτη είναι αυτή που χρησιμοποιεί πίνακες δρομολόγησης (proactive routing) και η δεύτερη είναι αυτή που ενεργοποιεί τη δρομολόγηση κατ απαίτηση (reactive routing).

Μια κατηγορία που έχει δημιουργηθεί πρόσφατα είναι αυτή των υβριδικών πρωτοκόλλων. Στην υβριδική δρομολόγηση, κάθε κόμβος συμπεριφέρεται ως reactive στην κοντινή περιοχή του και ως proactive έξω από αυτή την περιοχή ή ζώνη. Τα υβριδικά πρωτόκολλα δρομολόγησης έχουν τα πλεονεκτήματα των reactive και proactive πρωτοκόλλων αλλά απαιτούν επιπλέον υλικό, όπως συσκευές GPS συνδεδεμένες στους κόμβους ή ενσωματωμένες σε αυτούς. Αυτή η βασική τους απαίτηση είναι και το βασικότερο μειονέκτημα τους και γι αυτό το λόγω δε μελετώνται στην παρούσα εργασία.

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που ανήκουν στην proactive κατηγορία διατηρούν για κάθε κόμβο του δικτύου πίνακες δρομολόγησης τους οποίους

ενημερώνουν περιοδικά ανταλλάσσοντας πληροφορίες μεταξύ των κόμβων. Ένας εκπρόσωπος αυτής της κατηγορίας είναι το Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance Vector (DSDV) [10]. Σε αυτή την κατηγορία όμως, για τη διαρκή ενημέρωση των πινάκων δρομολόγησης παράγεται μεγάλος αριθμός μηνυμάτων ελέγχου με αποτέλεσμα να αυξάνεται η κίνηση με επιπρόσθετο φόρτο δικτύου ο οποίος δεν έχει άμεση σχέση με τα διακινούμενα δεδομένα και δε συνυπολογίζεται στη ρυθμαπόδοση. Ακόμα, κάθε τροποποίηση της δομής του ασύρματου δικτύου λόγω αποχώρησης ή προσθήκης κάποιου κινητού κόμβου, κάτι το οποίο είναι εξαιρετικά πιθανό στα κινητά Ad Hoc δίκτυα, δεν προκαλεί άμεση αλλαγή στα δεδομένα των πινάκων δρομολόγησης με αποτέλεσμα να αυξάνει το ποσοστό απώλειας πακέτων. Παράλληλα, αξίζει να σημειωθεί ότι τα περισσότερα πρωτόκολλα δρομολόγησης αυτής της κατηγορίας χρησιμοποιούν ένα σταθερό διάστημα περιοδικής ανανέωσης των πινάκων τους.

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που ανήκουν στην κατηγορία δρομολόγησης κατ' απαίτηση ή reactive ξεπερνούν τους περιορισμούς των άλλων πρωτοκόλλων δρομολόγησης. Ένας εκπρόσωπος αυτής της κατηγορίας είναι το πρωτόκολλο Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV). Σε αυτή την κατηγορία πρωτοκόλλων δρομολόγησης, μια διαδρομή ανακαλύπτεται μόνο όταν αυτό απαιτείται. Η λειτουργία αυτών των πρωτοκόλλων αποτελείται από δυο κύριες φάσεις. Η πρώτη είναι η ανακάλυψη διαδρομής και η δεύτερη η συντήρηση της διαδρομής. Ο αποστολέας ανακαλύπτει μια διαδρομή προς τον παραλήπτη χρησιμοποιώντας ένα μηχανισμό εύρεσης διαδρομής και ανιχνεύει κάθε αλλαγή στην τοπολογία του δικτύου χρησιμοποιώντας το μηχανισμό διατήρησης διαδρομής. Σε αυτή την κατηγορία πρωτοκόλλων, χρησιμοποιείται συνήθως μια διαδικασία καθολικής αναζήτησης που περιλαμβάνει ελέγχους υπερχείλισης για την ανακάλυψη όλων των διαθέσιμων μονοπατιών προς έναν προορισμό. Στη συνέχεια ο αποστολέας επιλέγει ένα μονοπάτι για την εγκαθίδρυση της επικοινωνίας. Αξίζει να σημειωθεί ότι το μονοπάτι που επιλέγεται δεν είναι απαραίτητα το συντομότερο με την έννοια των λιγότερων αναμεταδόσεων αλλά μπορεί να βασίζεται σε τεχνικές πρόσβασης μέσω προτιμώμενων αξιόπιστων κόμβων ή κόμβων που έχουν καλύτερο εύρος ζώνης και πιο άμεση επικοινωνία με τον κόμβο/παραλήπτη.

Στα ασύρματα κινητά δίκτυα υπάρχει το πρόβλημα των συχνών αλλαγών στην τοπολογία με αποτέλεσμα το κύριο πρόβλημα που πρέπει να καλυφθεί από τα διάφορα πρωτόκολλα δρομολόγησης να είναι αυτό της διατήρησης της επικοινωνίας ακόμα και όταν διακόπτεται η σύνδεση σε ένα μονοπάτι. Δηλαδή, όταν διακόπτεται η σύνδεση, τότε όλα τα εναπομείναντα πακέτα απορρίπτονται και πρέπει να πραγματοποιηθεί εκ νέου η φάση αναζήτησης διαδρομής για την εύρεση νέας διαδρομής προς τον παραλήπτη. Η πιο διαδεδομένη λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι η χρήση πολλαπλών μονοπατιών. Έτσι κατά την περίοδο εύρεσης διαδρομής αποθηκεύονται και στοιχεία για διάφορα εναλλακτικά μονοπάτια. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος εισάγει φόρτο στο δίκτυο αφού στην ουσία χρησιμοποιείται ο μηχανισμός διατήρησης για πολλαπλά μονοπάτια. Στην παρούσα εργασία το αντικείμενο μελέτης είναι τα πρωτόκολλα δρομολόγησης χωρίς πολλαπλά μονοπάτια.

2.2 Το πρωτόκολλο AODV

Το πρωτόκολλο δρομολόγησης AODV (Ad Hoc On-Demand Distance Vector) είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης για κινητά Ad Hoc δίκτυα. Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης που ανήκει στην κατηγορία των reactive, με την έννοια ότι εγκαθιδρύει μια διαδρομή προς έναν προορισμό κατ απαίτηση. Αντίθετα, τα κοινά πρωτόκολλα δρομολόγησης του Διαδικτύου είναι proactive, δηλαδή σημαίνει ότι βρίσκουν μονοπάτια δρομολόγησης ανεξάρτητα από το αν αυτό απαιτηθεί. Το AODV διαθέτει μηχανισμούς για την αποφυγή του προβλήματος καταμέτρησης έως το άπειρο (counting to infinity). Οι μηχανισμοί αυτοί χρησιμοποιούν διαδοχικούς αριθμούς κατά τις ενημερώσεις που κάνουν για μια διαδρομή.

Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του AODV είναι η χρήση ενός ακολουθιακού αριθμού για κάθε κόμβο/προορισμό. Ο αριθμός αυτός δημιουργείται από τον προορισμό ώστε να συμπεριληφθεί μαζί με οποιαδήποτε πληροφορία για τις διαδρομές που ζητάνε διάφοροι κόμβοι. Χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνική, το AODV εξασφαλίζει την ελευθερία βρόχου και γίνεται απλό στον

προγραμματισμό. Με δεδομένη την επιλογή ανάμεσα σε δύο διαδρομές για έναν προορισμό, ο αποστολέας καλείται να επιλέξει αυτόν με τον μεγαλύτερο αριθμό ακολουθίας.

Στο AODV υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι μηνυμάτων:

1. Αιτήσεις δρομολόγησης (RREQs)
2. Απαντήσεις δρομολόγησης (RREPs)
3. Σφάλματα δρομολόγησης (RERRs)

Αυτοί οι τύποι μηνυμάτων λαμβάνονται μέσω του πρωτοκόλλου UDP και χρησιμοποιώντας συνηθισμένη επεξεργασία κεφαλίδων IP. Έτσι, για παράδειγμα ένας κόμβος που κάνει μια αίτηση, αναμένεται να χρησιμοποιήσει την διεύθυνση IP που έχει σαν τη διεύθυνση του αποστολέα των μηνυμάτων. Αυτό επιτρέπει και την περίπτωση πολυεκπομπής (broadcasting). Η λειτουργία όμως του AODV δεν απαιτεί τη διάδοση συγκεκριμένων μηνυμάτων σε όλο το δίκτυο αλλά μόνο στο βαθμό που καθορίζεται από τον παράγοντα TTL της κεφαλίδας του IP. Αξίζει να σημειωθεί ότι στις περισσότερες περιπτώσεις δεν χρειάζεται η διάσπαση των IP πακέτων για αυτά τα μηνύματα.

Όσο δύο κόμβοι που επικοινωνούν μεταξύ τους έχουν έγκυρα μονοπάτια δρομολόγησης το ένα ως προς το άλλο, τότε το AODV δεν παίζει κάποιον σημαντικό ρόλο. Όταν όμως απαιτείται να βρεθεί ένα νέο μονοπάτι, τότε ο αντίστοιχος κόμβος εκπέμπει ένα μήνυμα τύπου RREQ για να βρει μια έγκυρη διαδρομή. Το μονοπάτι μπορεί να καθοριστεί όταν αυτό το μήνυμα φτάσει στον ίδιο τον παραλήπτη ή όταν φτάσει σε κάποιον ενδιάμεσο κόμβο που έχει μια πρόσφατη διαδρομή προς τον παραλήπτη. Μια πρόσφατη διαδρομή θεωρείται και έγκυρη όταν ο παραλήπτης έχει χαρακτηριστεί με έναν ακολουθιακό αριθμό μεγαλύτερο από αυτόν που ορίζεται στο μήνυμα αίτησης. Σε αυτό το σημείο, η διαδρομή θεωρείται διαθέσιμη με την αποστολή ενός μηνύματος απάντησης (RREP) από τον παραλήπτη προς τον αποστολέα του μηνύματος αίτησης. Κάθε κόμβος που λαμβάνει την αίτηση, αποθηκεύει προσωρινά τη διαδρομή προς τον

αποστολέα του μηνύματος αίτησης, έτσι ώστε να μπορεί να σταλεί το μήνυμα χωρίς να γίνει πολυεκπομπή (broadcast).

Μετά από αυτό το στάδιο οι κόμβοι παρακολουθούν την κατάσταση του συνδέσμου μεταξύ ενεργών δρομολογήσεων. Όταν χαθεί κάποια σύνδεση που αποτελεί μέρος ενός ενεργού μονοπατιού, τότε χρησιμοποιείται το μήνυμα σφάλματος RERR με στόχο την ειδοποίηση άλλων κόμβων σχετικά με το συμβάν. Το μήνυμα σφάλματος υποδεικνύει τους προορισμούς οι οποίοι δεν είναι πλέον προσβάσιμοι από το σύνδεσμο που έχει "χαλάσει". Για να ενεργοποιηθεί αυτός ο μηχανισμός αναφοράς και ανάδρασης, οι κόμβοι αποθηκεύουν μια λίστα "προγόνων" που περιέχει τις διευθύνσεις IP των γειτόνων τους που είναι πιθανό να χρησιμοποιηθούν ως επόμενοι κόμβοι προς κάποιον προορισμό. Η πληροφορία σε αυτές τις λίστες αποκτάται εύκολα κατά τη διάρκεια της δημιουργίας ενός μηνύματος απάντησης RREP.

Ένα μήνυμα αίτησης μπορεί επίσης να ληφθεί για μια multicast διεύθυνση IP. Για παράδειγμα, ο αποστολέας ενός μηνύματος αίτησης μπορεί να στείλει ένα τέτοιο μήνυμα σε μια διεύθυνση multicast αλλά θα πρέπει να γίνει και ο κατάλληλος χειρισμός από τους ενδιαμέσους κόμβους. Σε αυτή την εργασία επικεντρωνόμαστε μόνο στην unicast λειτουργία του AODV, έτσι τα σενάρια multicast παραλείπονται.

Το AODV ως πρωτόκολλο δρομολόγησης χρησιμοποιεί ένα σύστημα διαχείρισης για τον πίνακα δρομολόγησης που διαθέτει. Οι πληροφορίες του πίνακα δρομολόγησης πρέπει να αποθηκεύονται ακόμα και για δρομολόγηση μικρής διάρκειας, όπως όταν δημιουργούνται προσωρινά μονοπάτια για να σταλούν τα μηνύματα απάντησης προς τον αποστολέα. Το AODV χρησιμοποιεί τα παρακάτω πεδία για κάθε εγγραφή στον πίνακα δρομολόγησης:

- Διεύθυνση IP προορισμού
- Ακολουθιακός αριθμός προορισμού
- Σήμανση (flag) εάν πρόκειται για έγκυρο ακολουθιακό αριθμό προορισμού

- Άλλες σημάνσεις σχετικά με την κατάσταση της δρομολόγησης (πχ. έγκυρη, άκυρη, υπο κατασκευή κτλ)
- Διεπαφή δικτύου
- Πλήθος αναμεταδόσεων που απαιτούνται για να φτάσει στον προορισμό
- Επόμενη μετάδοση
- Λίστα προηγούμενων γειτονικών κόμβων όπως περιγράφηκε παραπάνω
- Χρόνος ζωής (αφορά τη λήξη ή τη διαγραφή του μονοπατιού δρομολόγησης)

2.3 Το πρωτόκολλο DSR

Το πρωτόκολλο Dynamic Source Routing ή DSR [11], είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης που ανήκει στην κατηγορία των reactive πρωτοκόλλων και βασίζεται στην έννοια της δρομολόγησης πηγής κατ απαίτηση. Οι κόμβοι διατηρούν στη μνήμη τους τα στοιχεία των διαδρομών πηγής για τις οποίες είναι ενήμεροι. Το DSR είναι κατανεμημένο πρωτόκολλο αφού δεν εξαρτάται από κάποιον κεντρικοποιημένο κόμβο. Όπως και στα περισσότερα πρωτόκολλα Ad Hoc δικτύων οι εγγραφές στην κρυφή μνήμη διαδρομών ενημερώνονται συνεχώς αφού ανακαλύπτονται νέες διαδρομές. Οι εγγραφές της κρυφής μνήμης δεν είναι μόνιμες αλλά έχουν μια περίοδο λήξης μετά την οποία η εγγραφή διαγράφεται και θεωρείται άκυρη.

Το DSR έχει δύο κύριες φάσεις

- την ανακάλυψη διαδρομής
- τη συντήρηση διαδρομής

Όταν ένας κόμβος θέλει να στείλει ένα πακέτο σε κάποιον άλλο κόμβο τότε ελέγχει τις εγγραφές της κρυφής μνήμης του για να βρει αν ήδη

έχει μια διαδρομή για τον συγκεκριμένο παραλήπτη και σε περίπτωση που βρεθεί μια έγκυρη διαδρομή τότε χρησιμοποιείται αυτή για τη μετάδοση. Σε περίπτωση αποτυχίας εύρεσης έγκυρου μονοπατιού δρομολόγησης τότε ξεκινάει η διαδικασία ανακάλυψης διαδρομής. Δηλαδή, εκπέμπεται ένα πακέτο αίτησης διαδρομής, το οποίο περιέχει τη διεύθυνση του αποστολέα και του παραλήπτη καθώς και ένα μοναδικό αριθμό αναγνώρισης ταυτότητας. Οι ενδιαμέσοι κινητοί κόμβοι που λαμβάνουν το πακέτο αίτησης διαδρομής, ελέγχουν και αυτοί την κρυφή μνήμη τους για να ανακαλύψουν μια διαδρομή για τον κόμβο προορισμού. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει η διαδρομή στην κρυφή μνήμη του, τότε ο ενδιαμέσος κόμβος προσαρτά τη διεύθυνσή του στο αρχείο διαδρομής του πακέτου και στη συνέχεια προωθεί το πακέτο στους γείτονές του. Αν προκύψει μια αποτυχία σύνδεσης κατά μήκος ενός μονοπατιού τότε η διαδικασία ανακάλυψης διαδρομής πρέπει να ξανακληθεί από την πηγή για να βρεθεί ένα νέο μονοπάτι για τον προορισμό.

Όταν το πακέτο αίτησης διαδρομής παραληφθεί είτε από τον ίδιο τον κόμβο παραλήπτη είτε από έναν ενδιαμέσο κινητό κόμβο που γνωρίζει μια έγκυρη διαδρομή για τον παραλήπτη, τότε παράγεται ένα πακέτο απάντησης διαδρομής. Όμως, το πακέτο αίτησης διαδρομής όταν φτάσει σε έναν από αυτούς τους κόμβους θα περιέχει ήδη στο αρχείο διαδρομής του την ακολουθία των βημάτων (hops) που έγιναν από την αποστολέα μέχρι τον κόμβο αυτό. Για να αποφευχθεί η υπερφόρτωση του δικτύου και να μειωθεί ο αριθμός των αιτήσεων διαδρομής που μεταδίδονται, τηρείται ο κανόνας που επιβάλλει ότι ένας κόμβος προωθεί το πακέτο αίτησης διαδρομής μόνο αν δεν έχει δει ήδη το πακέτο αυτό και η διεύθυνσή του δεν εμφανίζεται ήδη στο αρχείο διαδρομής του πακέτου. Με αυτόν τον τρόπο λειτουργίας παρατηρούμε ότι ο φόρτος που εισάγει στο δίκτυο μεταβάλλεται ανάλογα με τα βήματα που απαιτούνται για κάποια μετάδοση.

Η επιστροφή του πακέτο απάντησης διαδρομής προϋποθέτει ότι ο κόμβος που απαντά θα πρέπει να έχει μια έγκυρη διαδρομή για την πηγή. Αυτό γίνεται είτε μέσω μιας διαδρομής της κρυφής μνήμης του που δεν έχει λήξει είτε χρησιμοποιώντας την αντίστροφη διαδρομή του αρχείου διαδρομής. Αν δεν υποστηρίζονται οι συμμετρικές συνδέσεις και κατά συνέπεια η αντίστροφη

διαδρομή δεν είναι πάντα διαθέσιμη, τότε ο κόμβος ξεκινάει μια διαδικασία ανακάλυψης διαδρομής προς τον πραγματικό αποστολέα.

Όπως ήδη αναφέρθηκε για το πρωτόκολλο DSR, εκτός από την διαδικασία ανακάλυψης διαδρομής υπάρχει και η διαδικασία συντήρησης διαδρομής. Η συντήρηση των διαδρομών επιτυγχάνεται μέσω του ελέγχου κατά πόσο ένα πακέτο έχει παραληφθεί από τους γείτονες ενός κόμβου. Έτσι, μπορούμε να πούμε ότι υπάρχουν δύο τρόποι για να γίνει αυτός ο έλεγχος:

- ο κόμβος παρακολουθεί εάν ένα πακέτο επανεκπέμπεται από κάποιο γειτονικό κόμβο
- ο κόμβος χρησιμοποιεί την αίτηση απάντησης για την παραλαβή του πακέτου

Ακόμα, στη διαδικασία συντήρησης διαδρομής γίνεται χρήση δύο ειδών πακέτων: των πακέτων λάθος διαδρομής και των πακέτων αναγνώρισης. Ένα πακέτο λάθος διαδρομής στέλνεται από ένα κόμβο όταν το στρώμα ζεύξης δεδομένων αντιμετωπίσει ένα κρίσιμο πρόβλημα μετάδοσης. Κάθε κόμβος που λαμβάνει το πακέτο λάθος διαδρομής, ανακτά από την κρυφή μνήμη διαδρομών του όλες τις διαδρομές που επηρεάζονται από το σφάλμα αυτό και διαγράφονται. Αναφορικά με τα πακέτα αναγνώρισης, αυτά χρησιμοποιούνται για την επιβεβαίωση της ορθής λειτουργίας των συνδέσεων των μονοπατιών δρομολόγησης.

Το πρωτόκολλο DSR επειδή ανήκει στα reactive πρωτόκολλα δρομολόγησης, δε χρησιμοποιεί περιοδικά μηνύματα δρομολόγησης και έτσι μειώνεται ο φόρτος στο δίκτυο εξοικονομώντας ενέργεια στους κόμβους καθώς και εύρος ζώνης. Η εύρεση των διαδρομών γίνεται με τον έλεγχο της πληροφορίας που περιέχεται στα πακέτα που λαμβάνει κάθε κόμβος μειώνοντας το πρόσθετο κόστος του δικτύου. Αυτό θεωρείται ιδιαίτερα σημαντικό και αποδοτικό όταν δεν υπάρχουν σημαντικές αλλαγές στην τοπολογία του δικτύου. Παράλληλα, η διαδικασία δρομολόγησης επιφορτίζει περισσότερο τον αποστολέα, με αποτέλεσμα οι

ενδιάμεσοι κόμβοι να μη χρειάζεται απαραίτητα να διατηρούν ενημερωμένες πληροφορίες για τα μονοπάτια δρομολόγησης.

Το DSR υποστηρίζει αμφίδρομες συνδέσεις και είναι σε θέση να αξιοποιήσει τις αντίστροφες διαδρομές από τον προορισμό προς την πηγή, αλλά ταυτόχρονα μπορεί να χρησιμοποιήσει μη συμμετρικές συνδέσεις όταν δεν είναι διαθέσιμες. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του DSR είναι ότι επιτρέπει στους κόμβους να διατηρούν πολλαπλές διαδρομές για έναν προορισμό. Αυτό αποδεικνύεται χρήσιμο σε περίπτωση που οι κόμβοι κινηθούν με τέτοιο τρόπο που ένα μονοπάτι δρομολόγησης δεν είναι πλέον διαθέσιμο.

Όπως και το πρωτόκολλο AODV, έτσι και το DSR διαθέτει μηχανισμούς αποφυγής ατέρμονων βρόγχων. Συγκριτικά με το AODV, τα πακέτα απάντησης διαδρομής είναι μεγαλύτερα αφού περιέχουν τη διεύθυνση κάθε κόμβου κατά μήκος της διαδρομής. Αυτό έχει σαν άμεσο αποτέλεσμα την εισαγωγή μεγαλύτερου φόρτου. Η επιφόρτιση της μνήμης είναι επίσης μεγαλύτερη από το AODV, αφού κάθε κόμβος πρέπει να αποθηκεύει ολόκληρα μονοπάτια δρομολόγησης.

2.4 Το πρωτόκολλο DSDV

Το πρωτόκολλο Destination Sequenced Distance Vector ή DSDV βασίζεται στον αλγόριθμο Bellman-Ford. Σημαντικά στοιχεία αυτού του πρωτοκόλλου δρομολόγησης είναι η αυξημένη ταχύτητα σύγκλισης και η μείωση τον επιπλέον φόρτου δικτύου που οφείλεται στα μηνύματα ελέγχου. Ο DSDV λύνει το πρόβλημα της εμφάνισης βρόγχων που παρουσιάζει το πρωτόκολλο Distance Vector των ενσύρματων δικτύων. Στο DSDV ο κάθε κόμβος διατηρεί ένα πίνακα δρομολόγησης τον οποίο και ανταλλάζει με τους γειτονικούς του κόμβους με δύο τρόπους:

- με την περιοδική εκπομπή ολόκληρου του πίνακα
- με την κατ'απαίτηση ανταλλαγή συγκεκριμένου τμήματος του πίνακα

Σε αυτόν τον πίνακα δρομολόγησης περιέχονται όλοι οι προορισμοί στους οποίους έχει πρόσβαση ο κόμβος, καθώς και ο αριθμός των ενδιάμεσων κόμβων για κάθε προορισμό. Κατά τη διάρκεια ανταλλαγής του πίνακα, η πηγή επισυνάπτει ένα αριθμό ακολουθίας. Ένας κόμβος τροποποιεί την καταχώρηση του για μια διαδρομή όταν λάβει ένα πακέτο ελέγχου με μεγαλύτερο αριθμό ακολουθίας για τη συγκεκριμένη διαδρομή ή όταν λάβει ένα πακέτο ελέγχου με τον ίδιο αριθμό, αλλά με μικρότερο αριθμό ενδιάμεσων κόμβων. Οι περιοδικές εκπομπές πακέτων ενημέρωσης περιλαμβάνουν το σύνολο των πληροφοριών του πίνακα δρομολόγησης και γίνονται με συχνότητα περίπου ενός λεπτού.

Για τη μείωση του φόρτου που εισάγεται από τα πακέτα ελέγχου, για κάθε νέο μονοπάτι ορίζεται ένας ανώτατος χρόνος. Έτσι, ο κόμβος ενημερώνει τους γειτονικούς του κόμβους για το νέο μονοπάτι μόνο όταν περάσει ο ανώτατος χρόνος και το μονοπάτι είναι ακόμη ενεργό.

Σημαντικό πλεονέκτημα του DSDV είναι ότι τα μονοπάτια προς τους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου είναι γνωστά σε κάθε κόμβο. Έτσι, όταν ένας κόμβος θέλει να ανταλλάξει δεδομένα με κάποιον άλλο κόμβο μέσα στο δίκτυο αναμένεται να γνωρίζει το μονοπάτι δρομολόγησης. Η απόδοση του DSDV σε δίκτυα με μεγάλο αριθμό κόμβων επιφέρει μεγάλη επιβάρυνση λόγω περιοδικής ανταλλαγής πληροφοριών ελέγχου που το μέγεθος τους είναι ανάλογο με το πλήθος των καταχωρήσεων στους πίνακες δρομολόγησης. Αν και το πρωτόκολλο DSDV θεωρείται ξεπερασμένο, ωστόσο έχει εισάγει διάφορες τεχνικές που χρησιμοποιούνται από άλλα σύγχρονα πρωτόκολλα δρομολόγησης. Ένα παράδειγμα είναι το πρωτόκολλο Babel που στοχεύει στο να κάνει το DSDV πιο εύρωστο, πιο αποτελεσματικό.

2.5 Το πρωτόκολλο OLSR

Το πρωτόκολλο Optimized Link State Routing Protocol ή OLSR [12] είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης σχεδιασμένο για κινητά Ad Hoc δίκτυα. Το OLSR ανήκει στα proactive πρωτόκολλα με αποτέλεσμα οι διάφορες διαδρομές να

είναι διαθέσιμες οποιανδήποτε στιγμή χρειαστούν. Το πρωτόκολλο OLSR είναι ένα πρωτόκολλο κατάστασης σύνδεσης στο οποίο η πληροφορία σύνδεσης διαδίδεται μέσα στο δίκτυο με έναν αλγόριθμο εκπομπής προς όλους (flooding). Η λειτουργία του OLSR ελαχιστοποιεί την πιθανότητα υπερχειλίσισης του δικτύου αφού χρησιμοποιεί μόνο συγκεκριμένους κόμβους που ονομάζονται Multipoint Relays ή MPRs.

Κάθε κόμβος στο δίκτυο, επιλέγει ένα σύνολο κόμβων ως τους MPRs του. Η επιλογή αυτών των κόμβων γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε το σύνολο των MPRs να καλύπτει όλους τους κόμβους που είναι δύο βήματα μακριά. Αξίζει να σημειωθεί ότι όσο πιο μικρό είναι το σύνολο αυτών των κόμβων τόσο λιγότερη θα είναι και η επιφόρτιση του δίκτυο εξαιτίας της κυκλοφορίας μηνυμάτων ελέγχου. Ένας κόμβος διατηρεί πληροφορίες για το σύνολο των κόμβων που έχουν επιλεγθεί ως τα MPRs του και ενημερώνει αυτές τις πληροφορίες σε τακτά χρονικά διαστήματα μέσω των HELLO μηνυμάτων (εικόνα 2.1) από τους γειτονικούς κόμβους του.

0										1										2										3	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
Reserved										Htime										Willigness											
Link Code					Reserved					Link Message Size																					
Neighbor Interface Address																															
Neighbor Interface Address																															
..																															
Link Code					Reserved					Link Message Size																					
Neighbor Interface Address																															
Neighbor Interface Address																															

Εικόνα 2.1: HELLO μήνυμα του πρωτοκόλλου OLSR.

Όταν ένα πακέτο ελέγχου διαδίδεται από ένα κόμβο, μόνο οι κόμβοι που ανήκουν στον πίνακα MPR του κόμβου συμμετέχουν στην προώθηση του πακέτου. Στο OLSR ένας κόμβος δημιουργεί πακέτα ελέγχου λαμβάνοντας υπόψιν μόνο τις συνδέσεις μεταξύ αυτού του κόμβου και στους MPRs του. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, οι διαδρομές να υπολογίζονται ανάλογα με την εικόνα που έχει ο κόμβος για την τοπολογία του δικτύου. Κάθε μήνυμα ελέγχου περιέχει

Κεφάλαιο 2. Ασύρματα κινητά Ad Hoc δίκτυα και πρωτόκολλα δρομολόγησης 40

ένα μοναδικό αύξοντα αριθμό ο οποίος αυξάνεται με κάθε καινούργιο μήνυμα ώστε να διατηρεί τη μοναδικότητα του. Με αυτό τον τρόπο όταν κάποιος κόμβος παραλάβει ένα μήνυμα ελέγχου μπορεί να αναγνωρίσει πόσο πρόσφατο είναι.

Κεφάλαιο 3

Μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων

Η μετάδοση πολυμέσων μέσα από τα ασύρματα κινητά Ad Hoc δίκτυα δεν είναι πάντοτε αποδοτική εξαιτίας των υψηλών απαιτήσεων που υπάρχουν, όπως το υψηλό εύρος ζώνης και οι χαμηλοί χρόνοι καθυστέρησης. Δηλαδή, αυτά τα δίκτυα δεν δείχνουν ικανά να υποστηρίξουν μεταδόσεις πολυμέσων υψηλής ποιότητας και ειδικότερα μεταδόσεις βίντεο. Ένα πολύ σημαντικό κομμάτι της μετάδοσης βίντεο πάνω από το ασύρματο κανάλι είναι η δομή του ίδιου του βίντεο καθώς, στις μέρες μας πλέον η κωδικοποίηση του βίντεο βοηθάει σε ένα μεγάλο ποσοστό στην βελτίωση της ποιότητας της που λαμβάνει ο χρήστης.

Σε αυτό το κεφάλαιο μελετάται η δομή των πολυμέσων καθώς και η κωδικοποίηση τους για να επιτευχθεί αποδοτικότερη συμπίεση. Ακόμα, μελετάται η μετάδοση τους σε ασύρματα δίκτυα και ειδικότερα στα κινητά Ad Hoc δίκτυα περιγράφοντας τους κυριότερους μηχανισμούς. Τέλος, γίνεται αναφορά στα σημαντικότερα πρωτόκολλα μετάδοσης που επιτρέπουν τη μετάδοση βίντεο από άκρο σε άκρο λαμβάνοντας υπόψιν τις ιδιαιτερότητες αυτών των δικτύων.

3.1 Κωδικοποίηση MPEG-4

Η κωδικοποίηση βίντεο MPEG-4 [4], όπως καθορίζεται από το ISO/IEC Moving Picture Experts Group, είναι ένα πρότυπο για την συμπίεση και αποσυμπίεση ψηφιακού βίντεο με στόχο την διανομή και την μετάδοση πάνω από μέσα με περιορισμένο εύρος ζώνης.

Το MPEG-4 παρέχει μια σειρά τεχνολογιών για την ανάπτυξη, για διάφορους παρόχους υπηρεσιών όσο και για τους τελικούς χρήστες:

- Επιτρέπει τη συνεργασία μεταξύ προγραμματιστών λογισμικού και υλικού για τη δημιουργία πολυμεσικών αντικειμένων που έχουν καλύτερη ποιότητα και προσαρμοστικά και ευέλικτα. Στόχος είναι η βελτίωση της ποιότητας των εν λόγω υπηρεσιών και τεχνολογιών, όπως η ψηφιακή τηλεόραση, τα κινούμενα γραφικά, ο Παγκόσμιος Ιστός και οι επεκτάσεις του.
- Οι πάροχοι δικτύου μπορούν να χρησιμοποιήσουν MPEG-4 για διαφάνεια δεδομένων. Δηλαδή, με τη βοήθεια των τυποποιημένων διαδικασιών, τα δεδομένα MPEG-4 μπορούν να ερμηνευθούν και να μετατραπούν σε άλλους τύπους σημάτων συμβατά με οποιοδήποτε διαθέσιμο δίκτυο.
- Η μορφή MPEG-4 παρέχει στους τελικούς χρήστες ένα ευρύ φάσμα αλληλεπίδρασης με διάφορα κινούμενα αντικείμενα.
- Παρέχει Ψηφιακή Διαχείριση Δικαιωμάτων, γνωστή στην κοινότητα και ως IPMP.

Το MPEG-4 παρέχει τόσο χρονική κλιμακωσιμότητα όσο και χωρική κλιμακωσιμότητα. Μια ροή προσφέρει χρονική κλιμακωσιμότητα όταν το σύνολο των μονάδων πρόσβασης μπορεί να διασπαστεί σε ένα βασικό επίπεδο και πολλά επίπεδα βελτίωσης. Μια αυστηρή απαίτηση ώστε μια ροή να έχει χρονική κλιμακωσιμότητα είναι όταν αφαιρέσουμε όλα τα επίπεδα βελτίωσης τότε τα εναπομείναντα επίπεδα να μπορούν ακόμα να σχηματίζουν μια κατάλληλη ροή για έναν αποκωδικοποιητή. Λέγοντας ότι μια ροή προσφέρει

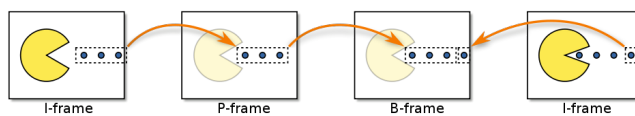
χωρική κλιμακωσιμότητα εννοούμε ότι η ροή περιλαμβάνει διαφορετικά επίπεδα όπου το καθένα αντιστοιχεί σε μια υποστηριζόμενη ανάλυση. Ακόμα, το MPEG-4 μπορεί να εκτελέσει διάφορες λειτουργίες, μεταξύ των οποίων η αλληλεπίδραση με την οπτικοακουστική σκηνή, η οποία υπάρχει στην πλευρά του δέκτη.

3.2 Τύποι πλαισίων

Στον τομέα της συμπίεσης βίντεο ένα πλαίσιο συμπιέζεται χρησιμοποιώντας διάφορους αλγόριθμους με διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η κύρια διαφορά τους επικεντρώνεται κυρίως γύρω από το ποσό της συμπίεσης δεδομένων. Αυτοί οι διαφορετικοί αλγόριθμοι για τα καρέ του βίντεο, ονομάζονται τύποι εικόνας ή τύποι πλαισίων.

Οι τρεις κύριοι τύποι εικόνας που χρησιμοποιούνται είναι I, P και B:

- I-πλαίσια: είναι τα λιγότερο συμπιεσμένα, αλλά δεν χρειάζονται άλλα πλαίσια για την αποκωδικοποίηση βίντεο.
- P-πλαίσια: μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα δεδομένα από τα προηγούμενα πλαίσια για την αποσυμπίεση και είναι σαφώς μικρότερου μεγέθους από τα I πλαίσια.
- B-πλαίσια: μπορούν να χρησιμοποιούν και τους δύο προηγούμενους τύπους πλαισίων αλλά μπορούν να αναφέρονται και στα μελλοντικά πλαίσια ως πλαίσια αναφοράς, με στόχο να αυξηθεί το ποσοστό της συμπίεσης δεδομένων.



Εικόνα 3.1: Μια σειρά από τέσσερα πλαίσια βίντεο.

Ένα παράδειγμα με διάφορους τύπους πλαισίων φαίνεται στην εικόνα 3.1. Ενώ οι όροι πλαίσιο και εικόνα συχνά χρησιμοποιούνται για να υποδηλώσουν το ίδιο πράγμα, ο όρος εικόνα είναι μια πιο γενική έννοια αφού μπορεί είναι είτε ένα πλαίσιο ή ένα πεδίο. Ένα πλαίσιο είναι μια πλήρης εικόνα που συλλαμβάνονται κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος. Τα πλαίσια που χρησιμοποιούνται ως σημείο αναφοράς για την πρόβλεψη των άλλων πλαισίων αναφέρονται και ως πλαίσια αναφοράς. Σε αυτή την περίπτωση το πλαίσιο κωδικοποιείται χωρίς πρόβλεψη από άλλα πλαίσια και ονομάζεται I-πλαίσιο. Αντίστοιχα τα πλαίσια που χρησιμοποιούν προβλέψεις από ένα πλαίσιο αναφοράς στο παρελθόν ονομάζονται P-πλαίσια και τα πλαίσια που χρησιμοποιούν επιπλέον προβλέψεις από ένα πλαίσιο αναφοράς στο μέλλον ονομάζονται B-πλαίσια.

3.3 Συμπίεση εικόνας

Το ακατέργαστο βίντεο αποτελείται από μία σειρά ψηφιακών φωτογραφιών, κάθε μία από τις οποίες αποτελείται από ένα πλαίσιο εικονοκυττάρων (pixels) το οποίο πρέπει να κωδικοποιήσουμε. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε πλαίσιο μεγέθους 176x144 pixels. Κάθε pixel αντιπροσωπεύεται από τρεις τιμές RGB (κόκκινο, πράσινο, μπλε), το οποίο επιτρέπει την παρουσίαση της χρωματισμένης εικόνας. Είναι προφανές ότι η μετάδοση των ασυμπίεστων πολυμεσικών δεδομένων εισάγει ένα πολύ μεγάλο φόρτο στο δίκτυο με αποτέλεσμα να προτιμάται η συμπίεση του από τον αποστολέα και η αποσυμπίεση του από τον δέκτη. Επειδή σε αυτή την κωδικοποίηση κάθε χρώμα αποθηκεύεται σε 1 byte, είναι προφανές ότι η αποθήκευση μιας μόνο εικόνας μεγέθους 176x144 απαιτεί 76032 bytes. Δηλαδή, για ένα βίντεο με 30 πλαίσια ανά δευτερόλεπτο θα απαιτούνται περισσότερα από 2MB για ένα δευτερόλεπτο.

Η αποθήκευση του βίντεο σε YUV format, διαχωρίζει το στρώμα της φωτεινότητας με το στρώμα των χρωμάτων. Με αυτόν τον τρόπο επειδή η φωτεινότητα γίνεται πιο εύκολα αντιληπτή από το ανθρώπινο μάτι σε σχέση με τον χρωματισμό, δεν χρειάζεται η αποθήκευση του χρωματισμού με εξίσου μεγάλη ακρίβεια. Ωστόσο, η μείωση μεγέθους που εισάγεται με την χρήση του

YUV format δεν είναι αρκετή ώστε να δημιουργηθεί ένα πολυμεσικό αρχείο με ικανοποιητικό μέγεθος για μετάδοση πάνω από τα ασύρματα δίκτυα. Για τις ανάγκες της εξομοίωσης και της πειραματικής αξιολόγησης, δεν στέλνουμε τα πραγματικά δεδομένα του βίντεο αλλά ένα tracefile το οποίο παράγεται με την χρήση εργαλείων εξομοίωσης.

Η τυποποιημένη σουίτα του MPEG-4 περιλαμβάνει 23 μέρη περιγράφοντας διαφορετικές πτυχές της συμπίεσης και της μεταφοράς πολυμέσων. Για την μετάδοση στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε βίντεο με δομή με βάση ένα από τα πρότυπα της σουίτας του MPEG-4 το οποίο και αναλύεται παρακάτω. Για την δημιουργία του tracefile χρησιμοποιούμε την παραπάνω πληροφορία και ξεχωρίζουμε κάθε πλαίσιο το οποίο αποθηκεύουμε στο tracefile. Μαζί με κάθε πλαίσιο αποθηκεύονται και άλλες πληροφορίες όπως το μέγεθος της ομαδοποίησης εικόνων (Group of Pictures) και την σειρά μέσα στην ακολουθία των πλαισίων.

3.4 Το πρωτόκολλο RTP

Το Realtime Transport Protocol ή RTP [13] δημιουργήθηκε για τη μεταφορά δεδομένων πραγματικού χρόνου όπως τα πολυμεσικά δεδομένα. Για τη σωστή λειτουργία του RTP, χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο ελέγχου RTCP που παρέχει πληροφορίες για την ποιότητα της μετάδοσης και για τους παραλήπτες. Το RTP μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μονόδρομη επικοινωνία όπως εφαρμογές βίντεο κατ απαίτηση, αλλά και για αμφίδρομη επικοινωνία όπως για την Διαδικτυακή τηλεφωνία και την τηλεδιάσκεψη. Σε αυτή την εργασία μελετάται κυρίως η μονόδρομη μετάδοση.

Οι υπηρεσίες που προσφέρει το RTP είναι κυρίως υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων με χαρακτηριστικά πραγματικού χρόνου όπως τα πολυμέσα από άκρο σε άκρο. Το RTP θεωρείται εύκολα παραμετροποιήσιμο καθώς επιτρέπει μεταβολές ή προσθήκες στη μορφή του πρωτοκόλλου, αλλάζοντας απλώς τη μορφή της επικεφαλίδας. Το RTP βρίσκεται στο επίπεδο εφαρμογής του

μοντέλου OSI αλλά συνήθως λειτουργεί πάνω από το πρωτόκολλο User Datagram Protocol (UDP). Αυτό γίνεται για να επιτευχθεί καλύτερο throughput και γιατί χρησιμοποιείται κυρίως για μετάδοση δεδομένων πραγματικού χρόνου. Το RTP δεν παρέχει κανένα μηχανισμό που να εξασφαλίζει αξιόπιστη μεταφορά των δεδομένων εντός συγκεκριμένων χρονικών ορίων ούτε παρέχει εγγύηση για την ποιότητα της μετάδοσης.

Η βασική λειτουργία του RTP βασίζεται σε δύο μηχανισμούς:

- ο μηχανισμός χρονοσήμανσης (timestamping)
- ο μηχανισμός σειριακής αρίθμησης των πακέτων (sequence numbering)

Η χρονοσήμανση παρέχει σημαντικές πληροφορίες συγχρονισμού στις εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Συγκεκριμένα, η πηγή βάζει σε κάθε πακέτο μια χρονοσήμανση την οποία χρησιμοποιεί ο αποδέκτης ώστε να παρουσιάσει τα δεδομένα στο σωστό χρόνο. Δηλαδή, η χρονοσήμανση παρέχει σήματα χρονισμού ώστε να είναι δυνατό στους παραλήπτες να ανακατασκευάσουν τα αρχικά δεδομένα όπως αυτά μεταδόθηκαν από τον αποστολέα. Ταυτόχρονα όμως, η χρονοσήμανση χρησιμοποιείται και για το συγχρονισμό διαφορετικών ροών δεδομένων όπως ροές βίντεο και ήχου.

Ο μηχανισμός σειριακής αρίθμησης είναι χρήσιμος γιατί όπως ήδη αναφέρθηκε το UDP χρησιμοποιεί στις περισσότερες περιπτώσεις το UDP με αποτέλεσμα να μην είναι σίγουρο ότι παραδίδει τα πακέτα με τη σειρά με την οποία στάλθηκαν. Με την αρίθμηση όμως των πακέτων τη στιγμή που στέλνονται, ο δέκτης μπορεί να τα βάλει στη σωστή σειρά. Εκτός από την τοποθέτηση στη σωστή σειρά, ο μηχανισμός σειριακής αρίθμησης αποδεικνύεται ιδιαίτερα χρήσιμος για την ανίχνευση απωλειών, δηλαδή για την ανίχνευση της περίπτωσης όπου δε ληφθεί ποτέ ένα πακέτο ενώ έχει ληφθεί κάποιο επόμενο του.

3.5 Μετάδοση με έλεγχο ροής

Στην ασύρματη μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων μας απασχολούν ένα σύνολο από χαρακτηριστικά ενός μονοπατιού δρομολόγησης τα οποία επηρεάζουν την μετάδοση και άρα την ποιότητα του βίντεο που φτάνει στον αποδέκτη. Τα πιο σημαντικά είναι το εύρος ζώνης (bandwidth), ο λόγος απώλειας πακέτων (packet loss ratio), η διακύμανση της καθυστέρησης (jitter) και ο χρόνος διπλής διαδρομής (Round Trip Time). Η μετάδοση δεδομένων πραγματικού χρόνου γίνεται συνήθως μέσω του πρωτοκόλλου UDP, το οποίο μπορεί να προκαλέσει συμφόρηση και να υποβαθμίσει μεταφορές δεδομένων στο ίδιο δίκτυο. Οπότε, εκτός από την απόδοση συγκριτικά με τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά, μας ενδιαφέρει και η φιλικότητά προς το πρωτόκολλο TCP, το οποίο αποτελεί και το πρωτόκολλο μεταφοράς πολύ σημαντικών εφαρμογών του Διαδικτύου.

Με τον όρο εύρος ζώνης ή bandwidth αναφερόμαστε στην ποσότητα της πληροφορίας η οποία μπορεί να μεταφερθεί ανά δευτερόλεπτο μέσω ενός δικτυακού συνδέσμου. Στα ψηφιακά συστήματα το εύρος ζώνης εκφράζεται σε bit δεδομένων ανά δευτερόλεπτο (bps, kbps, Mbps κτλ). Όταν μεταδίδονται δεδομένα από ένα άκρο σε ένα άλλο στα κινητά Ad Hoc δίκτυα που μελετάμε, είναι πολύ πιθανό να χρειαστούν περισσότερα από ένα βήματα (hops) για να φτάσουν τα δεδομένα από τον αποστολέα στον παραλήπτη. Αυτό σημαίνει ότι αν σε κάποιο βήμα η σύνδεση μεταξύ δυο κόμβων έχει μικρότερο διαθέσιμο εύρος ζώνης σε σχέση με τις συνδέσεις των άλλων hops, τότε θεωρούμε τον δικτυακό αυτό σύνδεσμο ως σημείο συμφόρησης, γνωστό και ως bottleneck.

Ο λόγος απώλειας πακέτων είναι το κλάσμα των πακέτων που για κάποιο λόγο δεν φτάνουν στον παραλήπτη ως προς το συνολικό πλήθος πακέτων που στάλθηκαν. Η απώλεια ενός πακέτου μπορεί να έχει διαφορετικές αιτίες όπως η συμφόρηση του δικτύου και τα σφάλματα μετάδοσης. Για παράδειγμα, στην περίπτωση συμφόρησης στο δίκτυο οι δρομολογητές του δικτύου μπορεί να αρχίσουν να απορρίπτουν πακέτα αντί να τα προωθούν για να αποφύγουν περεταίρω συμφόρηση. Όπως γίνεται και στο RTP, οι απώλειες αυτές μπορούν να ανιχνευτούν με τη χρήση αριθμών ακολουθίας που τοποθετούνται στα πακέτα

δεδομένων. Είναι προφανές ότι το καταλληλότερο σημείο για να υπολογιστεί η απώλεια πακέτων είναι στη μεριά του παραλήπτη.

Η διακύμανση καθυστέρησης ορίζεται ως η μέση απόκλιση της διαφοράς σε χρόνους πακέτων δεδομένων στον παραλήπτη συγκρινόμενη με το αποστολέα για ένα ζεύγος πακέτων. Αξίζει να σημειώσουμε ότι ο ορισμός της διακύμανσης καθυστέρησης μπορεί να αλλάζει ανάλογα με τον τύπο δεδομένων που μεταδίδονται και επίσης μπορεί να σχετίζεται με τη μέση ή τη μέγιστη τιμή της καθυστέρησης. Ο χρόνος διπλής διαδρομής αντιπροσωπεύει τον χρόνο που απαιτείται για ένα πακέτο δεδομένων να πάει από τον αποστολέα στον παραλήπτη και να επιστρέψει στον αποστολέα. Η μέτρηση αυτού του χρόνου θεωρείται ιδιαίτερα χρήσιμη γιατί περιλαμβάνει τον χρόνο μετάδοσης του πακέτου στα φυσικά μέσα, τον χρόνο αναμονής και επεξεργασίας στις ουρές των δικτυακών συσκευών και τον χρόνο επεξεργασίας στα τερματικά. Η μέτρηση του χρόνου διπλής διαδρομής συνήθως γίνεται με χρήση χρονοσημάνσεων από τον αποστολέα για την αποφυγή προβλημάτων συγχρονισμού. Με βάση τα παραπάνω, μπορούμε να πούμε ότι οι παράγοντες που επηρεάζουν περισσότερο την ποιότητα μετάδοσης πολυμέσων σε μια εφαρμογή πραγματικού χρόνου γιατί μεταβάλλονται πιο εύκολα, είναι η απώλεια πακέτων και η διακύμανση της καθυστέρησης.

Το πρωτόκολλο RTP έχει χρησιμοποιηθεί και σε συνδιασμό με τον μηχανισμό του TCP για να παρέχει αποδοτικό έλεγχο συμφόρησης στην περίπτωση μετάδοσης πολυμέσων [14].

3.6 Πρωτόκολλα φιλικά προς το TCP

Το πρωτόκολλο Tcp-Friendly Rate Control ή TFRC (RFC 3448) είναι στην ουσία ένας μηχανισμός ελέγχου ροής ο οποίος έχει σχεδιαστεί για μετάδοση σε δίκτυα μη εγγυημένης ποιότητας και μοιράζονται το εύρος ζώνης με ανταγωνιστικές TCP ροές. Το TFRC έχει σχεδιαστεί για μονές ροές (unicast) σε συνθήκες Διαδικτύου. Ο ρυθμός μετάδοσης προσαρμόζεται στις συνθήκες του δικτύου

και στην ανταγωνιστική κίνηση, γεγονός που το κάνει αρκετά φιλικό ως προς το TCP. Η φιλικότητα ως προς το TCP μεταφράζεται στο ότι ο ρυθμός μετάδοσης είναι το πολύ ο διπλάσιος από μια TCP ροή κάτω από τις ίδιες συνθήκες του δικτύου.

Το κυριότερο πλεονέκτημα του είναι ότι έχει αρκετά μικρότερη διακύμανση της ρυθμοαπόδοσης στο χρόνο συγκριτικά με το πρωτόκολλο TCP. Αυτό το γεγονός το κάνει πιο κατάλληλο για εφαρμογές μετάδοσης πολυμέσων και τηλεφωνίας, αφού η ομαλότητα αποστολής δεδομένων θεωρείται αυξημένης σημασίας. Ωστόσο, το TFRC ανταποκρίνεται βραδύτερα από ότι το TCP στις μεταβολές του δικτύου σε ότι αφορά το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Το TFRC είναι ένας μηχανισμός που βασίζεται στις μετρήσεις του παραλήπτη για τον υπολογισμό της συμφόρησης. Αυτό σημαίνει ότι ο αποστολέας δεν είναι επιφορτισμένος με καταγραφή μετρήσεων. Ο κατανεμημένος αυτός τρόπος αποδεικνύεται ιδιαίτερα χρήσιμος στις συχνές περιπτώσεις που ο αποστολέας εξυπηρετεί ταυτόχρονα πολλαπλούς δέκτες.

Το TFRC χρησιμοποιεί μια εξίσωση (3.1) που ορίζει το μέγιστο ρυθμό αποστολής δεδομένων ώστε να επιτύχει τον έλεγχο συμφόρησης. Αυτή η εξίσωση στηρίζεται στην εξίσωση υπολογισμού της ρυθμοαπόδοσης του TCP και λαμβάνει υπόψιν το ρυθμό απώλειας πακέτων και το χρόνο διπλής διαδρομής.

$$X = \frac{s}{R\sqrt{2b\frac{p}{3}} + (t_{RTO}(3\sqrt{3b\frac{p}{8}})p(1 + 32p^2))} \quad (3.1)$$

Όπου:

- X είναι ρυθμός μετάδοσης σε bytes ανά δευτερόλεπτο
- s είναι το μέγεθος του πακέτου σε bytes
- R είναι ο χρόνος διπλής διαδρομής σε δευτερόλεπτα
- p είναι ο λόγος απώλειας πακέτων (μεταξύ 0 και 1.0)
- t_{RTO} είναι ο χρόνος λήξης της αναμετάδοσης TCP σε δευτερόλεπτα

- b χρόνος κατά τον οποίο πραγματοποιείται η αναμετάδοση ενός πακέτου από το TCP

Συνοψίζοντας, η γενική λειτουργία του TFRC είναι η εξής:

1. Ο παραλήπτης αφού υπολογίσει το ποσοστό απώλειας πακέτων στη συνέχεια το στέλνει στον αποστολέα.
2. Ο αποστολέας υπολογίζει το χρόνο διπλής διαδρομής.
3. Οι δύο παραπάνω υπολογισμοί χρησιμοποιούνται από την εξίσωση ρυθμοαπόδοσης του TFRC για τον υπολογισμό του ρυθμού μετάδοσης και ο αποστολέας ορίζει το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης στις μελλοντικές αποστολές πακέτων.

Τα πακέτα δεδομένων που στέλνει ο αποστολέας περιέχουν τρία κύρια πεδία. Το πρώτο είναι ένας σειριακός αριθμός που αυξάνεται με κάθε πακέτο που στέλνεται. Το δεύτερο είναι μια χρονοσήμανση που υποδεικνύει την ώρα που στέλνεται το πακέτο. Αυτή η χρονοσήμανση χρησιμεύει για να μπορεί να ανιχνεύσει ο παραλήπτης αν οι απώλειες πακέτων οφείλονται στο ίδιο γεγονός απώλειας. Το τελευταίο πεδίο είναι μια εκτίμηση του αποστολέα για το χρόνο διπλής διαδρομής. Και αυτή η πληροφορία αξιοποιείται από τον παραλήπτη για την ανίχνευση πολλαπλών απωλειών πακέτων εξαιτίας κάποιας κοινής αιτίας.

Η λειτουργία του παραλήπτη είναι απλή αλλά εξαιρετικά σημαντική για την αποδοτικότητα του TFRC. Ο παραλήπτης ανά τακτά χρονικά διαστήματα στέλνει μια αναφορά κατάστασης στον αποστολέα που εμπεριέχει και το ποσοστό απώλειας πακέτων. Η αναφορά κατάστασης περιέχει την παρακάτω πληροφορία:

- Τη χρονοσήμανση του τελευταίου πακέτου που παραλήφθηκε.
- Το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε μεταξύ της παραλαβής του τελευταίου πακέτου δεδομένων από τον αποστολέα και της δημιουργίας της αναφοράς κατάστασης

- Το ρυθμό με τον οποίο ο παραλήπτης εκτιμά ότι έλαβε πακέτα από την τελευταία φορά που έστειλε αναφορά κατάστασης
- Τον τρέχοντα ρυθμό απώλειας

Ο αποστολέας, αφού λάβει αυτή την αναφορά είναι σε θέση να αναπροσαρμόσει το ρυθμό μετάδοσης πακέτων δεδομένων. Στην περίπτωση που παρέλθει κάποιος συγκεκριμένος χρόνος και ο αποστολέας δε λάβει την αναφορά κατάστασης, τότε μειώνει υποχρεωτικά κατά το ρυθμό μετάδοσής στο μισό. Ο ρόλος της αναφοράς κατάστασης παίζει κομβικό ρόλο στην αποδοτικότητα του TFRC.

Κεφάλαιο 4

Θέματα αξιολόγησης μετάδοσης πολυμέσων σε ασύρματα δίκτυα

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια πρώτη αξιολόγηση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης όσον αφορά τη μετάδοση βίντεο σε κινητά Ad Hoc δίκτυα σε συνθήκες αστικού περιβάλλοντος. Αρχικά παρουσιάζονται οι μετρικές μέσω των οποίων συγκρίνονται τα επιλεγμένα πρωτόκολλα. Για την πιο αξιόπιστη αξιολόγηση περιλαμβάνουμε ποιοτικές και ποσοτικές μετρικές που προτείνονται από τη διεθνή ερευνητική κοινότητα. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο στηρίζονται στην εργασία που εκπονήθηκε στα πλαίσια αυτής της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας [1].

4.1 Μετρικές αξιολόγησης

Το πιο σημαντικό θέμα όταν αξιολογούμε την απόδοση κάθε πρωτοκόλλου σχετίζεται με τις μετρικές που χρησιμοποιούμε για την αξιολόγηση. Σε αυτή την εργασία βασίζουμε τα κριτήρια αξιολόγησης στα πρότυπα που ορίζει το RFC 2501 [15]. Όπως προτείνεται, τα πρωτόκολλα δρομολόγησης για κινητά Ad Hoc δίκτυα πρέπει να αξιολογούνται και με ποιοτικές αλλά και με ποσοτικές μετρικές. Οι ποιοτικές μετρικές περιγράφουν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά

που τα κάνουν κατάλληλα και αποδοτικά για χρήση σε περιβάλλοντα κινητών δικτύων.

Από την άλλη μεριά, οι ποσοτικές μετρικές περιέχουν στατιστικά δεδομένα που αποτελούν εργαλεία συστηματικής αξιολόγησης της απόδοσης των πρωτοκόλλων δρομολόγησης. Τα δεδομένα πρέπει να είναι συσχετισμένα με τα δυναμικά χαρακτηριστικά των κινητών Ad Hoc δικτύων. Στην πειραματική διαδικασία θα ξεκινήσουμε την αξιολόγηση συγκρίνοντας τα πιο γνωστά πρωτόκολλα δρομολόγησης χρησιμοποιώντας πρώτα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους. Έπειτα, τα επιλεγμένα πρωτόκολλα θα ελεγχθούν μέσω εξομοιώσεων με χρήση του εξομοιωτή ns-2 χρησιμοποιώντας τις ποσοτικές μετρικές σε διάφορες τοπολογίες.

4.1.1 Ποιοτικές μετρικές

Οι ποιοτικές μετρικές περιλαμβάνουν έννοιες όπως:

1. Δυνατότητα αποφυγής ατέρμωνων βρόγχων
2. Ασφάλεια
3. Λειτουργία κατ' απαίτηση που είναι χρήσιμη αν η κατανάλωση ενέργειας είναι σημαντικό ζήτημα σχεδιασμού
4. Λειτουργία ανακάλυψης μονοπατιών δρομολόγησης εκ των προτέρων (proactive mode) αν η καθυστέρηση είναι σημαντικό ζήτημα σχεδιασμού
5. Υποστήριξη αμφίδρομων συνδέσεων
6. Δυνατότητα προσωρινής απενεργοποίησης (sleep mode)

Στην πραγματικότητα, ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης για κινητά Ad Hoc δίκτυα θα πρέπει να ισορροπεί μεταξύ της καθυστέρησης επικοινωνίας, της επιφόρτισης του δικτύου με πακέτα ελέγχου και της κατανάλωσης ενέργειας. Ταυτόχρονα θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν η συμμετοχή των κόμβων

Μετρική	OLSR	DSDV	CGSR
Αποφυγή ατέρμωνων βρόγχων	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Ασφάλεια	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
Υποστήριξη αμφίδρομων συνδέσεων	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
Δυνατότητα προσωρινής απενεργοποίησης	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
Υποστήριξη πολλαπλής διανομής (multicasting)	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
Δρομολόγηση	Επίπεδη	Επίπεδη	Ιεραρχική
Ειδικοί κόμβοι	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ
Κύρια μετρική δρομολόγησης	Ελάχιστη απόσταση	Ελάχιστη απόσταση	Μικρότερο μονοπάτι

Πίνακας 4.1: Σύγκριση των proactive πρωτοκόλλων

στη διαδικασία δρομολόγησης καθώς και ζητήματα ασφάλειας. Ο πίνακας 4.1 συνοψίζει τα αποτελέσματα αξιολόγησης των proactive πρωτοκόλλων δρομολόγησης.

Συνοψίζοντας τα δεδομένα του πίνακα 4.1, μπορούμε να δούμε ότι το πρωτόκολλο OLSR είναι πιο κοντά στις απαιτήσεις της ομάδας εργασίας του IETF για κινητά Ad Hoc δίκτυα. Πράγματι, το OLSR έχει σχεδιαστεί ώστε να ακολουθεί τις προτάσεις του RFC 2501. Όμως, το σημαντικότερο ορατό μειονέκτημα είναι ο υψηλός φόρτος που εισάγεται στο δίκτυο για λόγους δρομολόγησης. Ωστόσο, επαφίεται στο σχεδιαστή του δικτύου να αποφασίσει τι πραγματικά προσδοκά από το δίκτυο. Αν το κύριο μέλημα είναι η ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης και η αξιοπιστία στην παράδοση των δεδομένων τότε το OLSR μπορεί εύκολα να επιλεγεί ως το επιθυμητό πρωτόκολλο δρομολόγησης. Στην περίπτωση όμως που το κύριο μέλημα είναι η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αξιοποίηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης του δικτύου, ελαχιστοποιώντας τα πακέτα που διακινούνται για τις ανάγκες της δρομολόγησης όπως τα πακέτα ελέγχου, τότε το OLSR δε μπορεί να θεωρηθεί ως καλή επιλογή.

Εκτός από το OLSR, παρατηρούμε ότι το πρωτόκολλο CGSR [16] έχει ένα πολύ ελκυστικό μοντέλο ομαδοποίησης των κόμβων που μπορεί να φανεί ιδιαίτερα

Μετρική	AODV	DSR	TORA
Αποφυγή ατέρμωνων βρόγχων	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Ασφάλεια	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
Υποστήριξη αμφίδρομων συνδέσεων	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
Δυνατότητα προσωρινής απενεργοποίησης	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
Υποστήριξη πολλαπλής διανομής (multicasting)	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
Δρομολόγηση	Επίπεδη	Επίπεδη	Επίπεδη
Ειδικοί κόμβοι	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
Κύρια μετρική δρομολόγησης	Μικρότερο μονοπάτι	Μικρότερο μονοπάτι	Μικρότερο μονοπάτι

Πίνακας 4.2: Σύγκριση των reactive πρωτοκόλλων

χρήσιμο σε συνθήκες καταστροφής. Σε αυτή την περίπτωση μπορούμε να πούμε ότι αυτό είναι καταλληλότερη επιλογή σε συνδυασμό όμως με μια σειρά από επεκτάσεις και τροποποιήσεις. Για τα σενάρια της παρούσας εργασίας που δεν συντρέχουν οι παραπάνω λόγοι, επιλέγουμε το OLSR για περεταίρω διερεύνηση και το χρησιμοποιούμε στις εξομοιώσεις μας.

Ο πίνακας 4.2 συνοψίζει την απόδοση των reactive πρωτοκόλλων δρομολόγησης. Και τα τρία συγκρινόμενα πρωτόκολλα είναι σε θέση να αποφύγουν ατέρμονους βρόγχους. Μόνο το DSR υποστηρίζει (χωρίς κάποια επιπλέον τροποποίηση) τόσο μονόδρομες συνδέσεις όσο και αμφίδρομες συνδέσεις. Ωστόσο, το DSR εισάγει συγκριτικά μεγαλύτερο φόρτο δρομολόγησης καθώς οι πληροφορίες δρομολόγησης αποθηκεύονται στις κεφαλίδες των πακέτων. Έτσι, το DSR μπορούμε να πούμε ότι δεν είναι εύκολα κλιμακώσιμο σε μεγάλα δίκτυα σε περιπτώσεις που δυο απομακρυσμένοι κόμβοι προσπαθούν να επικοινωνήσουν. Μια ακόμα παρατήρηση είναι ότι το AODV καταναλώνει περισσότερη ενέργεια από το DSR εξαιτίας των περιοδικών HELLO μηνυμάτων.

Παρατηρούμε ότι κανένα από τα τρία πρωτόκολλα δεν υποστηρίζει την προσωρινή απενεργοποίηση (sleep mode) το οποίο θεωρείται ένας σημαντικός παράγοντας για την κατανάλωση ενέργειας. Αξίζει να σημειωθεί ότι το ζήτημα της κατανάλωσης είναι ιδιαίτερα σημαντικό ειδικά σε συσκευές που λειτουργούν

με μπαταρία όπως οι κινητοί κόμβοι. Από την άλλη μεριά, το πρωτόκολλο TORA δείχνει να είναι καλύτερο όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας αφού επικεντρώνει τη λειτουργία του σε ένα μικρό τμήμα του δικτύου και όχι σε ολόκληρο το δίκτυο. Ωστόσο, η ανταλλαγή των μηνυμάτων HELLO από το πρωτόκολλο IMEP [17] στο οποίο βασίζεται, εισάγει επιπλέον κατανάλωση ενέργειας. Το TORA δεν βρίσκει απαραίτητα το συντομότερο μονοπάτι μεταξύ της πηγής και του προορισμού καθώς η ροή δεδομένων γίνεται από κόμβους με μεγαλύτερο ύψος προς κόμβους με μικρότερο.

Δεδομένων των ποιοτικών μετρικών και των χαρακτηριστικών των τριών πρωτοκόλλων, προτείνουμε τα AODV και DSR ως τις πιο καλές επιλογές για δρομολόγηση σε κινητά Ad Hoc δίκτυα. Οπότε, επιλέγουμε αυτά τα δύο πρωτόκολλα δρομολόγησης για αξιολόγηση στις εξομοιώσεις που ακολουθούν.

4.1.2 Ποσοτικές μετρικές

Για την αξιολόγηση που γίνεται στα πλαίσια αυτής της εργασίας χρησιμοποιούνται τέσσερις ποσοτικές μετρικές που είναι σε θέση να αποδείξουν την αποδοτικότητα των ελεγχόμενων πρωτοκόλλων υπό το πρίσμα της μετάδοσης πολυμεσικών δεδομένων. Οι ποσοτικές μετρικές που επιλέγονται είναι οι εξής:

1. Λόγος παράδοσης πακέτων ή Packet delivery ratio (PDR)

Ο λόγος παράδοσης πακέτων ορίζεται ως το κλάσμα των παραληφθέντων πακέτων ως προς τα συνολικά πακέτα που στάλθηκαν. Αυτή αποτελεί μια πολύ σημαντική μετρική στα δίκτυα και ιδιαίτερα στα ασύρματα δίκτυα που οι απώλειες πακέτων είναι αυξημένες. Αν η εφαρμογή χρησιμοποιεί το TCP ως πρωτόκολλο μετάδοσης, τότε οι υψηλές απώλειες σε ενδιάμεσους κόμβους θα οδηγήσουν σε συνεχόμενες αναμεταδόσεις από τις πηγές με αποτέλεσμα να υπάρξει συμφόρηση. Αν η εφαρμογή χρησιμοποιεί το UDP ως πρωτόκολλο μετάδοσης, όπως οι περισσότερες εφαρμογές πολυμέσων,

τότε οι υψηλές απώλειες πακέτων μπορούν να υποβαθμίσουν την ποιότητα που απολαμβάνει ο τελικός αποδέκτης.

2. Μέση από άκρο σε άκρο καθυστέρηση

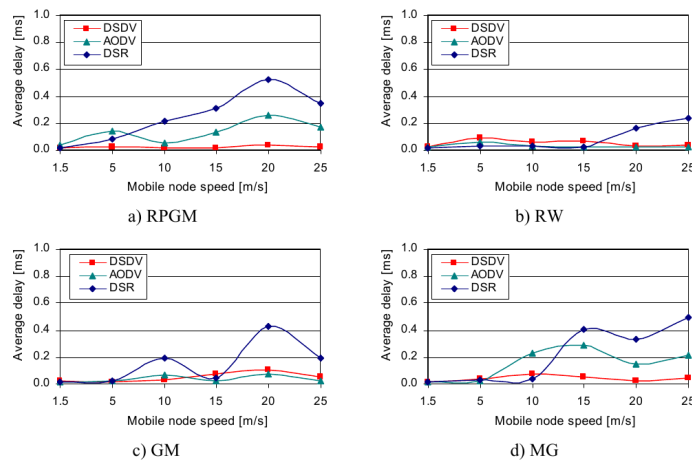
Η από άκρο σε άκρο καθυστέρηση (end-to-end delay) περιλαμβάνει όλες τις πιθανές καθυστερήσεις στο δίκτυο που δημιουργούνται εξαιτίας της καθυστέρησης για τις διαδικασίες εύρεσης μονοπατιού δρομολόγησης. Ακόμα, περιλαμβάνει καθυστερήσεις από αναμεταδόσεις από τους ενδιάμεσους κόμβους, καθυστερήσεις διάδοσης, επεξεργασίας και καθυστερήσεις λόγω αναμονής σε ουρά. Για να βρούμε τη μέση από άκρο σε άκρο καθυστέρηση προσθέτουμε κάθε μια καθυστέρηση που μετράται για κάθε επιτυχημένη παραλαβή ενός πακέτου δεδομένων. Αυτή η μετρική θεωρείται πολύ σημαντική σε εφαρμογές που είναι ευαίσθητες σε καθυστερήσεις όπως οι μεταδόσεις φωνής και βίντεο.

3. Διακύμανση της καθυστέρησης

Η διακύμανση της καθυστέρησης πακέτων ή jitter ορίζεται ως η διακύμανση των από άκρο σε άκρο καθυστερήσεων μεταξύ επιλεγμένων πακέτων σε μια σύνδεση. Τα χαμένα πακέτα αγνοούνται από αυτή τη μετρική. Όπως και στην από άκρο σε άκρο καθυστέρηση το jitter είναι εξίσου σημαντικό σε περιπτώσεις μετάδοσης πολυμέσων και άλλων εφαρμογών που είναι ευαίσθητες στην καθυστέρηση.

4. Επιβάρυνση λόγω δρομολόγησης

Η επιβάρυνση λόγω δρομολόγησης ή routing overhead ορίζεται ως το πλήθος των πακέτων ελέγχου που στέλνονται από τους κόμβους για λόγους δρομολόγησης. Αυτή η μετρική υποδεικνύει πόσο αποδοτικό είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης. Είναι προφανές ότι όσο μεγαλύτερο είναι το πλήθος των πακέτων ελέγχου τόσο πιο πολύ επιβαρύνουν το δίκτυο και θεωρούνται λιγότερο αποδοτικά. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα proactive πρωτόκολλα αναμένεται να μεταδίδουν περισσότερα πακέτα ελέγχου απ' ό,τι τα reactive.



Εικόνα 4.1: Μέση από άκρο σε άκρο καθυστέρηση συναρτήσει της ταχύτητας κίνησης.

4.2 Μοντέλα κίνησης

Το μοντέλο κίνησης και ο χώρος εξομοίωσης παίζουν σημαντικό ρόλο στην έκβαση της εξομοίωσης. Η εργασία [18] μελετά την απόδοση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης DSDV, AODV και DSR στο μοντέλο ομαδικής κίνησης Random point group model (RPGM) και στα μοντέλα ατομικής κίνησης RW, GM και MG. Για τις ανάγκες των εξομοιώσεων τους ανέπτυξαν ένα σύνολο από εργαλεία για τον εξομοιωτή δικτύων ns-2 το οποίο είναι σε θέση να παράγει σενάρια κίνησης. Τα πρώτα αποτελέσματα έδειξαν ότι η κατάταξη των πρωτοκόλλων δρομολόγησης μεταβάλλεται ανάλογα με το μοντέλο κίνησης. Ακόμα, εξαρτάται και από την ταχύτητα κίνησης των κόμβων (εικόνα 4.1) ξεχωριστά μιας και οι αυξημένες ταχύτητες προκαλούν συχνότερες αποσυνδέσεις των μονοπατιών δρομολόγησης. Όμως, κάθε πρωτόκολλο δρομολόγησης έχει διαφορετική απόδοση αφού έχει ξεχωριστό αλγόριθμο ανακατασκευής μονοπατιού.

Οι συγγραφείς παρατηρούν ότι το proactive πρωτόκολλο δρομολόγησης DSDV παρουσιάζει την πιο σταθερή απόδοση με τα διάφορα μοντέλα κίνησης. Αυτό το πρωτόκολλο συμπεριφέρεται καλύτερα σε μοντέλα ατομικής κίνησης που έχουν χαμηλή τυχειότητα, ενώ το AODV είναι καλύτερο για μοντέλα ομαδικής κίνησης. Το AODV δημιουργεί τον υψηλότερο φόρτο δικτύου λόγω μηνυμάτων ελέγχου με την αύξηση της κινητικότητας των κόμβων. Από την άλλη μεριά, το DSR

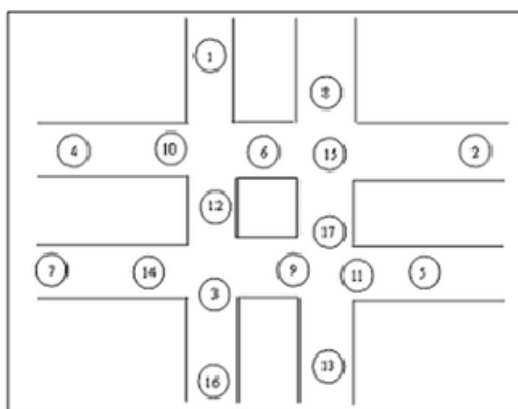
παρουσιάζει την καλύτερη συμπεριφορά στο μοντέλο κίνησης Random Waypoint ή RW.

Στην εργασία [19] γίνεται μια εκτενής μελέτη στα πρωτόκολλα δρομολόγησης υπό διάφορα μοντέλα κίνησης. Τα αποτελέσματα τους δείχνουν ότι η απόδοση των πρωτοκόλλων διαφέρει από μοντέλο σε μοντέλο και έτσι τα αποτελέσματα μελέτης για ένα μοντέλο κίνησης δεν μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστα και για άλλα μοντέλα. Το πρωτόκολλο DSR φαίνεται να εμφανίζει καλύτερη απόδοση για δίκτυα υψηλής κινητικότητας συγκριτικά με το DSDV. Ακόμα, το DSR καταφέρνει να ανακαλύψει πιο γρήγορα νέα μονοπάτια δρομολόγησης όταν το παλιό μονοπάτι δεν είναι πλέον διαθέσιμο. Αυτό γίνεται χάρη στο μηχανισμό αποκατάστασης μονοπατιών που διαθέτει. Αντιθέτως, στο DSDV τα πακέτα απορρίπτονται.

4.3 Αξιολόγηση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης μέσω εξομοίωσης

Ο στόχος των εξομοιώσεων που ακολουθούν είναι η αξιολόγηση της απόδοσης διαφόρων πρωτοκόλλων δρομολόγησης σε δίκτυα κινητών κόμβων που βρίσκονται μέσα σε οχήματα (VANETs). Οι εξομοιώσεις έγιναν θεωρώντας συνθήκες αστικού περιβάλλοντος με όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικές παραμέτρους. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε είναι ο γνωστός εξομοιωτής δικτύων ns-2 και συγκεκριμένα η έκδοση 2.34. Το μοντέλο κίνησης που μας απασχολεί βασίζεται στη μοντελοποίηση πόλης "Manhattan" (εικόνα 4.2) που αποτελεί ένα απλουστευμένο μοντέλο σύγχρονης πόλης αφού ορίζει ότι τα τετράγωνα της πόλης είναι ίσου μεγέθους. Γι αυτό το λόγο θεωρούμε ότι το μοντέλο πλέγματος στη μοντελοποίηση πόλης "Manhattan" μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ιδεατό μοντέλο για την αναπαράσταση της τοπολογίας μιας μεγάλης πόλης.

Ο χώρος εξομοίωσης είναι μια περιοχή 500x500 μέτρων σε ένα πλέγμα 5x5. Μέσα σε αυτή την περιοχή τοποθετούμε 50 κινητούς κόμβους που αναπαριστούν

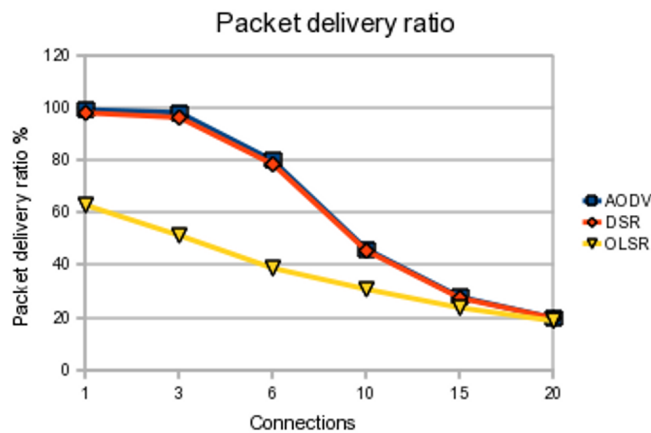


Εικόνα 4.2: Μοντέλο Manhattan.

Επιλεγμένα πρωτόκολλα δρομολόγησης	AODV, DSR, OLSR
Μοντελοποίηση τοπολογίας	Μοντέλο πόλης "Manhattan"
Διάρκεια εξομοίωσης	900 δευτερόλεπτα
Πλήθος κόμβων	50
Περιοχή εξομοίωσης	500x500 μέτρα
Ταχύτητα κίνησης κόμβων	0-20 m/s
Κεραία	Omnι
MAC	802.11g
Κίνηση δεδομένων	Σταθερός ρυθμός μετάδοσης
Ρυθμός μετάδοσης	64 πακέτα/δευτερόλεπτο
Μέγεθος πακέτου δεδομένων	512 bytes
Εφαρμογή	RTP

Πίνακας 4.3: Παράμετροι εξομοίωσης για σύγκριση πρωτοκόλλων δρομολόγησης

κινούμενα οχήματα τα οποία αποτελούν αποστολείς και παραλήπτες δεδομένων. Η ταχύτητα με την οποία κινούνται οι κόμβοι είναι τυχαία αλλά μεταβάλλεται μεταξύ 0 και 20 μέτρα ανά δευτερόλεπτο, έχοντας μια μέση τιμή 15 μέτρα/δευτερόλεπτο. Για κάθε μια σύνδεση ενός κόμβου με έναν άλλο, η κίνηση δεδομένων παράγεται με σταθερό ρυθμό μετάδοσης πακέτων μεγέθους 512 bytes. Υποθέτουμε ότι αυτή η κίνηση είναι κίνηση δεδομένων ήχου και βίντεο που μεταδίδεται μέσω του Real-time Transport Protocol. Ο πίνακας 4.3 συνοψίζει τις επιλεγμένες παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν στις εξομοιώσεις.



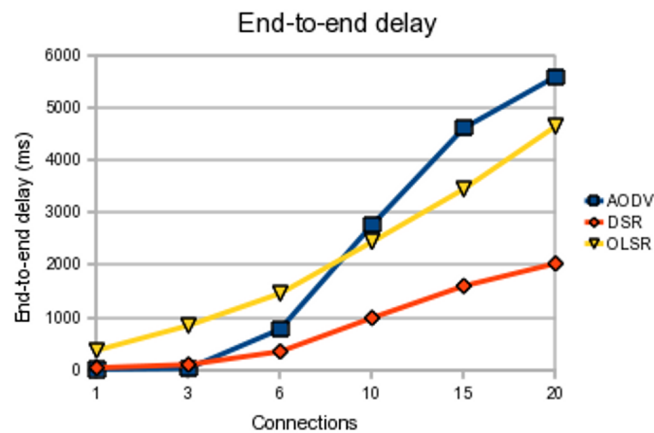
Εικόνα 4.3: Ποσοστό παράδοσης πακέτων συναρτήσει των μέγιστων ταυτόχρονων συνδέσεων.

Στις εξομοιώσεις που ακολουθούν αξιολογούμε την απόδοση μεταδίδοντας με ρυθμό 256kbps. Η εικόνα 4.3 δείχνει το ποσοστό παράδοσης πακέτων των πρωτοκόλλων:

- AODV
- DSR
- OLSR

Η σύγκριση γίνεται συναρτήσει του πλήθους των συνδέσεων. Αυτό γίνεται για να δούμε κατά πόσο η αύξηση της κίνησης και των συνδέσεων μεταξύ διαφορετικών κόμβων επηρεάζουν την απόδοση της μετάδοσης.

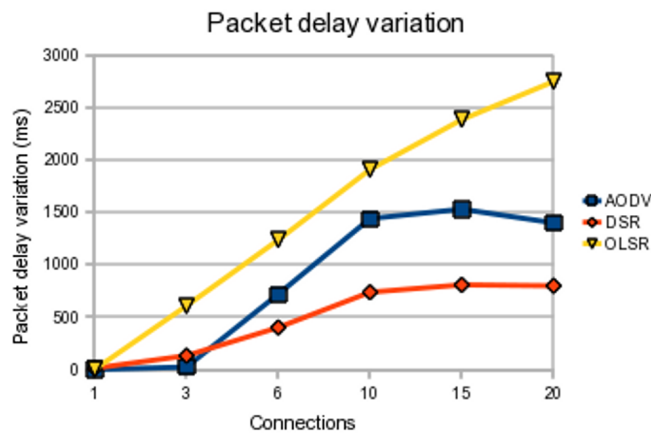
Μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι το ποσοστό παράδοσης πακέτων μειώνεται με την αύξηση των παράλληλων συνδέσεων. Το AODV και το DSR εμφανίζουν ίδια συμπεριφορά ενώ το OLSR εμφανίζει τη χειρότερη απόδοση. Στην περίπτωση της μετάδοσης πολυμεσικών δεδομένων, το OLSR φαίνεται να μην είναι ιδιαίτερα κατάλληλο, αφού το ποσοστό παράδοσης πακέτων είναι σχετικά μειωμένο ακόμα και όταν υπάρχει μόνο μια ροή δεδομένων στο δίκτυο. Ωστόσο, τα πρωτόκολλα που είναι reactive (AODV, DSR) παρουσιάζουν ένα αποδεκτό ποσοστό μέχρι το σημείο των 6 παράλληλων ροών.



Εικόνα 4.4: Μέση από άκρο σε άκρο καθυστέρηση συναρτήσει των μέγιστων ταυτόχρονων συνδέσεων.

Η επόμενη μέτρηση αφορά την από άκρο σε άκρο καθυστέρηση και την εξετάζουμε επίσης συναρτήσει του πλήθους των ταυτόχρονων συνδέσεων. Αυτή η μετρική είναι ιδιαίτερα σημαντική στην μετάδοση πολυμέσων αφού επηρεάζει άμεσα την ποιότητα του λαμβανόμενου βίντεο. Γενικά, σε υπηρεσίες πραγματικού χρόνου όπως η τηλεδιάσκεψη, το αποδεκτό όριο καθυστέρησης θεωρείται ότι είναι το πολύ 0,150 δευτερόλεπτα. Όπως είναι προφανές από το γράφημα 4.4, η από άκρο σε άκρο καθυστέρηση εξαρτάται κατά μεγάλο βαθμό από το πλήθος των παράλληλων συνδέσεων του δικτύου.

Είναι ενδιαφέρον να παρατηρήσουμε ότι η αύξηση στην περίπτωση του OLSR είναι σχεδόν γραμμική, ενώ στην περίπτωση του AODV είναι σχεδόν εκθετική. Αυτή είναι μια αναμενόμενη συμπεριφορά ενός reactive πρωτοκόλλου δρομολόγησης, διότι το AODV χρειάζεται να ανανεώνει τον πίνακα δρομολόγησης όταν μια νέα σύνδεση εγκαθιδρύεται. Το OLSR περιοδικά ανανεώνει τον πίνακα δρομολόγησης και έτσι φαίνεται να μην επηρεάζεται τόσο έντονα από το πλήθος των συνδέσεων και γι αυτό το λόγο θεωρείται πιο κατάλληλο για εφαρμογές που είναι ευαίσθητες στην καθυστέρηση. Από την άλλη πλευρά, παρατηρούμε ότι το DSR είναι πολύ πιο αποδοτικό συγκριτικά με το επίσης reactive πρωτόκολλο AODV για μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων. Παράλληλα, στη συγκεκριμένη περίπτωση βλέπουμε ότι το DSR φαίνεται πιο αποδοτικό ακόμα και από το OLSR.

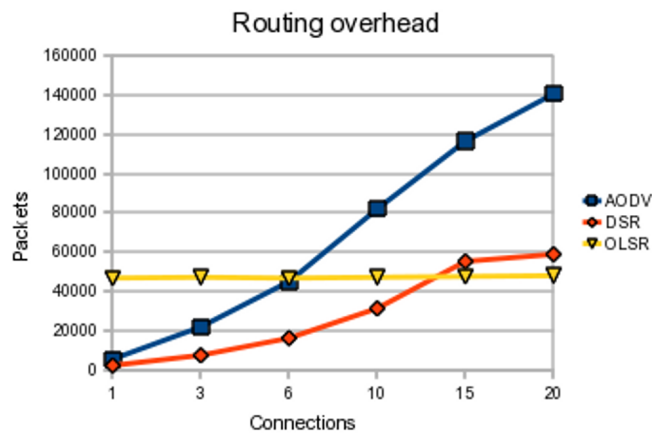


Εικόνα 4.5: Μέση διακύμανση καθυστέρησης.

Η διακύμανση της καθυστέρησης των πακέτων ή jitter χρησιμοποιείται για να μετρηθούν οι διακυμάνσεις στις καθυστερήσεις των παραληφθέντων πακέτων. Σε αυτή τη μετρική είναι δυνατόν να μετρηθούν και αρνητικές και θετικές τιμές ανάλογα με τη διαφορά των καθυστερήσεων. Στα γραφήματα αυτής της εργασίας όμως, δείχνουμε την μέση τιμή της διακύμανσης κάθε μέτρησης σε απόλυτη τιμή.

Από την εικόνα 4.5 βλέπουμε ότι η μέση διακύμανση της καθυστέρησης των πρωτοκόλλων που ανήκουν στην κατηγορία των reactive πρωτοκόλλων δρομολόγησης συγκλίνει σε ένα συγκεκριμένο αριθμό όσο αυξάνουμε το πλήθος των συνδέσεων πέρα από τις 10. Για να έχουμε υψηλή ποιότητα βίντεο και ήχου κατά τη μετάδοση, είναι σημαντικό να έχουμε μικρή διακύμανση καθυστέρησης. Είναι επίσης ενδιαφέρον να παρατηρήσουμε ότι το OLSR παρουσιάζει την χειρότερη απόδοση συγκριτικά με το AODV και το DSR.

Θεωρητικά θα ήταν εύλογο να περιμέναμε από ένα proactive πρωτόκολλο, όπως το OLSR, να μειώνει τη διακύμανση στον κόμβο προορισμό. Ωστόσο, τα αποτελέσματα των εξομοιώσεων δείχνουν ότι η ύπαρξη ενός συνεχόμενα ενημερωμένου πίνακα δρομολόγησης δεν είναι σε θέση να εγγυηθεί απαραίτητα καλή απόδοση όσον αφορά το jitter. Ο κυριότερος λόγος είναι ότι η περιοδική ανταλλαγή μηνυμάτων ελέγχου καταλαμβάνουν ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό του διαθέσιμου εύρους ζώνης του δικτύου. Αυτή η ανταλλαγή μηνυμάτων ελέγχου



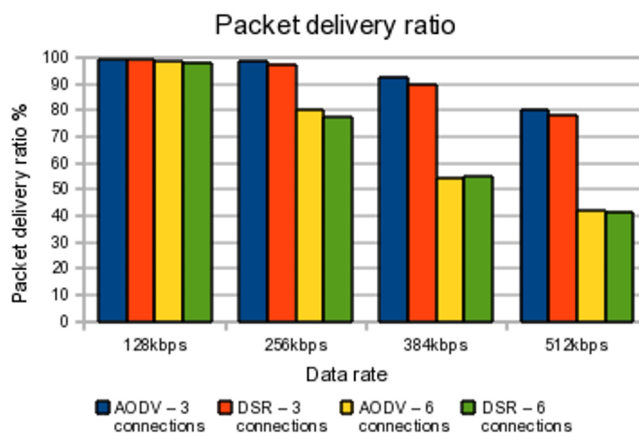
Εικόνα 4.6: Επιβάρυνση του δικτύου λόγω μηνυμάτων δρομολόγησης.

ανά τακτά χρονικά διαστήματα έχει σαν αποτέλεσμα να αυξάνεται ο χρόνος μετάδοσης των πακέτων που περιέχουν τα πολυμεσικά δεδομένα.

Αντιθέτως, το DSR και το AODV αφήνουν περισσότερο εύρος ζώνης στο δίκτυο για τα πακέτα πολυμεσικών δεδομένων και έτσι η απόδοσή τους όσον αφορά τη διακύμανση της καθυστέρησης, φαίνεται να είναι ανεξάρτητη από το πλήθος των ταυτόχρονων συνδέσεων στο δίκτυο. Μπορούμε να πούμε ότι για ακόμα μια φορά το πρωτόκολλο DSR εμφανίζει την καλύτερη απόδοση και για τη μετρική του jitter.

Η εικόνα 4.6 αποτυπώνει την επιβάρυνση του δικτύου που εισάγουν τα διάφορα πρωτόκολλα δρομολόγησης λόγω ανταλλαγής πακέτων που χρησιμεύουν μόνο στη δρομολόγηση. Η μετρήσιμη μονάδα που χρησιμοποιούμε είναι το πλήθος των πακέτων δρομολόγησης που μεταδίδονται συνολικά στο δίκτυο. Η σύγκριση της επιβάρυνσης που εισάγει το κάθε πρωτόκολλο στο δίκτυο δείχνει ότι το proactive πρωτόκολλο OLSR έχει διαφορετική συμπεριφορά συγκριτικά με τα άλλα δύο reactive πρωτόκολλα. Στο OLSR, το πλήθος των πακέτων/μηνυμάτων δρομολόγησης εξαρτάται αποκλειστικά από το μέγεθος του δικτύου και όχι από το πλήθος των παράλληλων μεταδόσεων πολυμέσων. Σημαντική παρατήρηση αποτελεί ότι το DSR ξεκάθαρα έχει καλύτερη απόδοση από το AODV.

Συμπερασματικά, όπως δείχνουν τα παραπάνω αποτελέσματα το DSR και AODV αποδίδουν καλύτερα από το OLSR στην ειδική περίπτωση της μετάδοσης

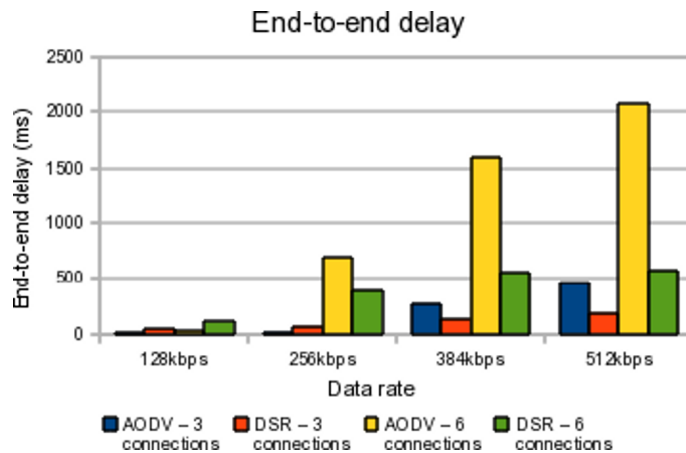


Εικόνα 4.7: Ποσοστό παράδοσης πακέτων συναρτήσει του ρυθμού μετάδοσης.

πολυμέσων στο περιβάλλον MANET που περιγράφηκε. Το OLSR λόγω των αδυναμιών που παρουσιάζει φαίνεται λιγότερο κατάλληλο για μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων. Για αυτό το λόγο στο επόμενο σύνολο εξομοιώσεων εστιάζουμε σε περιοχές με υψηλό ποσοστό παράδοσης πακέτων και αποδεκτές τιμές στην από άκρο σε άκρο καθυστέρηση. Όπως φάνηκε από την εικόνα 4.3, το OLSR έχει πολύ μικρό ποσοστό παράδοσης πακέτων, έτσι οι συγκρίσεις που ακολουθούν γίνονται μόνο μεταξύ AODV και DSR και στην περιοχή μεταξύ 3 και 6 παράλληλων μεταδόσεων πολυμέσων. Συνεπώς, οι εξομοιώσεις που ακολουθούν έχουν σκοπό τη διερεύνηση της απόδοσης του AODV και DSR συναρτήσει διαφορετικών ποιότητων μεταδιδόμενων βίντεο.

Η εικόνα 4.7 αποτυπώνει τα αποτελέσματα των εξομοιώσεων. Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι τόσο το AODV όσο και το DSR εμφανίζουν παρόμοια αποτελέσματα. Επομένως, φτάνουμε στο συμπέρασμα ότι το ποσοστό παράδοσης μειώνεται όσο αυξάνουμε το πλήθος των συνδέσεων αλλά και το ρυθμό πολυμεσικών δεδομένων και επομένως την ποιότητα του βίντεο. Αυτό σημαίνει ότι είτε το πλήθος των παράλληλων μεταδόσεων πρέπει να περιορίζεται ή ο ρυθμός μετάδοσης θα πρέπει να προσαρμόζεται (προσαρμόζοντας την ποιότητα του βίντεο), έτσι ώστε να αυξηθεί το ποσοστό παράδοσης πακέτων και να γίνει επιτυχημένη λήψη πολυμέσων.

Η εικόνα 4.8 εμφανίζει τη μέση από άκρο σε άκρο καθυστέρηση αυξάνοντας



Εικόνα 4.8: Μέση από άκρο σε άκρο καθυστέρηση.

την ποιότητα των πολυμέσων. Για μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης η από άκρο σε άκρο καθυστέρηση αυξάνεται ανάλογα. Αν και αυτό το γεγονός είναι αναμενόμενο, η αύξηση της καθυστέρησης στην περίπτωση του AODV είναι πολύ μεγαλύτερη από του DSR. Αυτό αποτελεί μια ισχυρή ένδειξη ότι το AODV φαίνεται να είναι ακατάλληλο για διαδραστικές εφαρμογές πολυμέσων υψηλής ποιότητας και υψηλού ρυθμού μετάδοσης.

Τα παραπάνω αποτελέσματα επιβεβαιώνουν διάφορες παρατηρήσεις που έγιναν στο προηγούμενο σύνολο εξομοιώσεων (εικόνα 4.4), στην οποία το πρωτόκολλο AODV παρουσίασε τη χειρότερη απόδοση αναφορικά με την από άκρο σε άκρο καθυστέρηση. Επίσης, επιβεβαιώνουμε ότι τα AODV και DSR αν και είναι reactive πρωτόκολλα, εμφανίζουν μια εντελώς διαφορετική απόδοση στην από άκρο σε άκρο καθυστέρηση. Αυτό το συμπέρασμα διασταυρώνεται επίσης και στις εξομοιώσεις όπου μεταβάλλεται ο ρυθμός μετάδοσης. Σε αυτή την περίπτωση το πρωτόκολλο δρομολόγησης DSR φαίνεται ξεκάθαρα ότι είναι πιο αποδοτικό όταν αυξάνουμε την ποιότητα των μεταδιδόμενων πολυμέσων.

Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγει και η εργασία [20] που ερευνά αν οι συνθήκες λειτουργίας σε περιβάλλον πόλης είναι δυνατόν να επιτρέψουν τη μετάδοση πολυμέσων. Το σημαντικότερο εύρημα είναι ότι η κωδικοποίηση του H.264/AVC φαίνεται να είναι πολύ αποδοτική όσον αφορά τα σφάλματα μετάδοσης όταν τα ποσοστά απώλειας πακέτων είναι αυξημένα. Η τεχνική που προτείνουν είναι

συμβατή με τα ήδη υπάρχοντα πρότυπα και δεν απαιτεί κάποια ενέργεια στους ενδιάμεσους κόμβους εκτός από την προώθηση πακέτων. Πρέπει όμως να δοθεί προσοχή στον κορεσμό του δικτύου με την ταυτόχρονη μετάδοση πολυμέσων σε πολλαπλούς παραλήπτες. Μια ακόμη σημαντική παρατήρηση είναι ότι η μέση ταχύτητα κίνησης των κόμβων μπορεί να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα μετάδοσης.

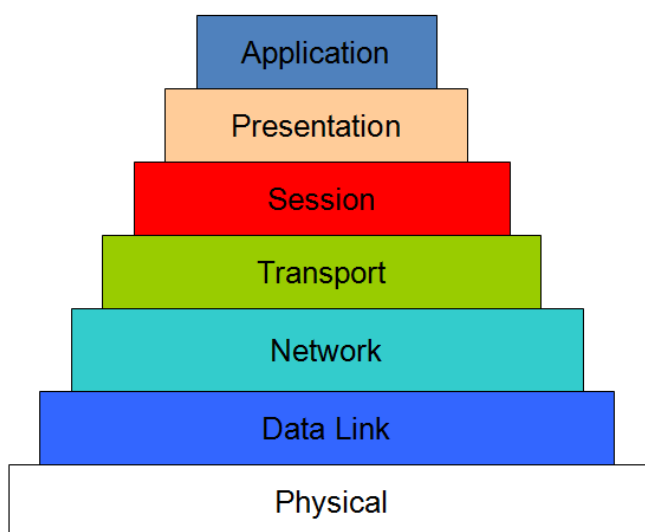
Κεφάλαιο 5

State of the art διαστρωματικές αρχιτεκτονικές

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η λογική των διαστρωματικών αρχιτεκτονικών και παρουσιάζονται σχετικοί διαστρωματικοί μηχανισμοί που αφορούν τη μετάδοση πολυμέσων. Αρχικά γίνεται μια εισαγωγή στη χρησιμότητα των διαστρωματικών μηχανισμών και στους λόγους που τους χρησιμοποιούμε κυρίως σε ασύρματα δίκτυα και συνεχίζει με διάφορες υλοποιήσεις τέτοιων αρχιτεκτονικών σε αρκετά πρωτόκολλα.

5.1 Βασικά στοιχεία των διαστρωματικών αρχιτεκτονικών

Σύμφωνα με τη μοντέλο OSI (εικόνα 5.1), το δίκτυο χωρίζεται σε πολλαπλά επίπεδα καθένα από τα οποία λαμβάνει υπηρεσίες από τα κατώτερα επίπεδα και παρέχει υπηρεσίες στα ανώτερα. Οι παραδοσιακές προσεγγίσεις επικεντρώνονται στα ενσύρματα δίκτυα και γίνεται μια προσπάθεια βελτιστοποίησης κάθε επιπέδου δικτύου χωριστά όπως το φυσικό, το επίπεδο ζεύξης και το επίπεδο μεταφοράς. Με αυτό τον τρόπο μειώνεται



Εικόνα 5.1: Το μοντέλο OSI.

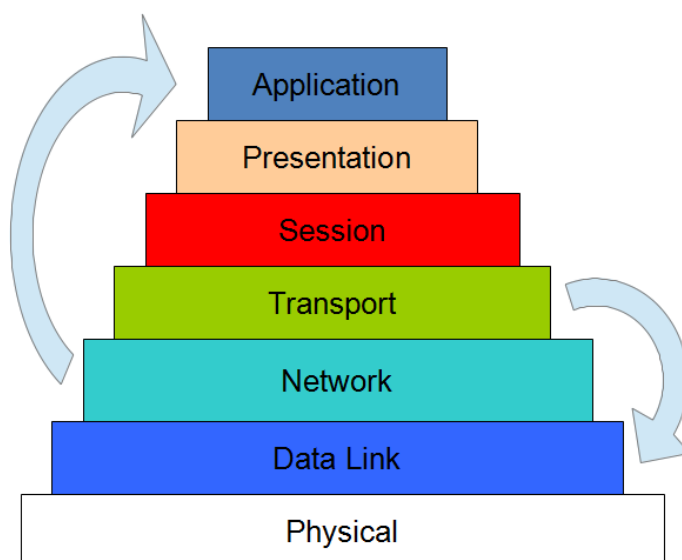
η πολυπλοκότητα του δικτύου καθώς η διαχείριση του γίνεται πιο εύκολα και κάθε επίπεδο μπορεί να αναβαθμίζεται ξεχωριστά. Αυτός ο σχεδιασμός δεν έχει μόνο πλεονεκτήματα και έχει και μια σειρά από μειονεκτήματα, αφού τα επίπεδα υψηλότερου επιπέδου δε μπορούν να συνεργαστούν άμεσα με επίπεδα κατωτέρων επιπέδων.

Το μοντέλο OSI (Διασύνδεση Ανοικτών Συστημάτων) χωρίζεται στα εξής επίπεδα:

1. Το φυσικό επίπεδο που είναι υπεύθυνο για την μετάδοση ανεπεξέργαστων δυαδικών ψηφίων μέσω ενός καναλιού επικοινωνίας.
2. Το επίπεδο ζεύξης δεδομένων που επιτρέπει το μετασχηματισμό ακατέργαστων δεδομένων σε δεδομένα τα οποία θεωρούνται ότι μεταδίδονται αξιόπιστα. Αυτό γίνεται εμπεριέχοντας μηχανισμούς ανίχνευσης σφαλμάτων.
3. Το επίπεδο δικτύου που ελέγχει τη λειτουργία του υποδικτύου και στο οποίο καθορίζεται ο τρόπος δρομολόγησης των πακέτων από την προέλευση προς τον προορισμό τους.

4. Το επίπεδο μεταφοράς που δέχεται δεδομένα από το ανώτερο επίπεδο, τα τεμαχίζει σε πολλαπλά πακέτα και είναι υπεύθυνο για την μετάδοση τους μέσω των κατωτέρων επιπέδων.
5. Το επίπεδο συνδιάλεξης επιτρέπει σε χρήστες διαφορετικών μηχανών να εγκαθιδρύουν συνδιαλέξεις (sessions) μεταξύ τους.
6. Το επίπεδο παρουσίασης που είναι υπεύθυνο για τη μετάφραση και τη σημασιολογία των μεταδιδόμενων πληροφοριών.
7. Το επίπεδο εφαρμογών που είναι ένα αφαιρετικό επίπεδο και προορίζεται για πρωτόκολλα και μεθόδους που διασυνδέουν εφαρμογές μεταξύ απομακρυσμένων τερματικών.

Παρόλο που αυτή η πολυεπίπεδη προσέγγιση ήταν ο βασικός παράγοντας για την ανάπτυξη των ενσύρματων δικτύων και του Παγκοσμίου Ιστού, φαίνεται ότι αυτό θέτει περιορισμούς στο σχεδιασμό και τη λειτουργικότητα των πρωτοκόλλων. Στην εικόνα 5.2 απεικονίζεται μια διαστρωματική αρχιτεκτονική. Μια διαστρωματική αρχιτεκτονική επιτρέπει την επικοινωνία και την αλληλεπίδραση μεταξύ διαφόρων μη γειτονικών στρωμάτων και έτσι μπορεί να λαμβάνονται και να αποστέλλονται πληροφορίες που σύμφωνα με το κλασικό μοντέλο OSI θα ήταν αδύνατο. Οι τεχνικές βελτίωσης της απόδοσης του μοντέλου του OSI έχουν παρουσιάσει πολύ καλά αποτελέσματα στα ενσύρματα δίκτυα κρίνοντας ότι δεν είναι και οι πλέον κατάλληλες για την βελτιστοποίηση της απόδοσης των ασυρμάτων δικτύων. Η διαστρωματική σχεδίαση έχει στόχο τη βελτιστοποίηση της απόδοσης ενός συστήματος και αναφέρεται στη μελέτη των αλληλεξαρτήσεων μεταξύ των πρωτοκόλλων των διαφόρων επιπέδων του OSI. Στην παρούσα εργασία επικεντρωνόμαστε στην ασύρματη μετάδοση η οποία σε αντίθεση με την ενσύρματη παρουσιάζει κάποιες ιδιαιτερότητες. Οι ιδιαιτερότητες της ασύρματης μετάδοσης προέρχονται από το γεγονός ότι οι συνδέσεις δε μπορούν να θεωρηθούν σταθερές γιατί τα μονοπάτια δρομολόγησης μεταβάλλονται ανάλογα με την κίνηση των κόμβων, και τις διάφορες παρεμβολές που υπάρχουν σε όλα τα ασύρματα δίκτυα.



Εικόνα 5.2: Διαστρωματική αρχιτεκτονική.

Γενικά, η διαστρωματική σχεδίαση αποτελεί μια προσαρμογή με μεγάλες προκλήσεις εξαιτίας του συνδυασμού πολλών παραμέτρων οι οποίες πρέπει να ληφθούν υπόψη. Διάφοροι διαστρωματικοί σχεδιασμοί απαιτούν τη δημιουργία νέων διεπαφών μεταξύ των επιπέδων ώστε να ανταλλάσσεται επιπλέον πληροφορία κατά την διάρκεια της μετάδοσης. Ένας ακόμη διαστρωματικός σχεδιασμός είναι η συγχώνευση δύο γειτονικών επιπέδων σε ένα καινούριο επίπεδο το οποίο προσφέρει το σύνολο των υπηρεσιών που προσφέρουν και τα δυο επίπεδα μαζί. Μια ακόμη κατηγορία περιλαμβάνει την συνένωση δύο ή περισσότερων επιπέδων χωρίς να δημιουργούνται επιπλέον διεπαφές για ανταλλαγή της πληροφορίας. Επιπρόσθετα, υπάρχει και η κατηγορία που αφορά διαστρωματικούς σχεδιασμούς στους οποίους η σχεδίαση διαχέεται σε όλα τα επίπεδα.

Ο λόγος που είναι χρήσιμη η διαστρωματική αρχιτεκτονική, οφείλεται στο γεγονός ότι ενώ η πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική έχει εξυπηρετήσει πολύ καλά τα ενσύρματα δίκτυα, δεν φαίνεται να είναι κατάλληλη στην περίπτωση των ασύρματων δικτύων. Ωστόσο υπάρχει και μια σειρά από τεχνικά προβλήματα σχεδιασμού διαστρωματικών αρχιτεκτονικών. Για παράδειγμα, οι αλγόριθμοι και τα πρωτόκολλα στα διάφορα ανεξάρτητα επίπεδα έχουν σχεδιαστεί για διαφορετικούς σκοπούς με αποτέλεσμα να μην είναι αποδοτικοί σε όλες τις

περιπτώσεις. Σε αυτή την εργασία επικεντρωνόμαστε στα κινητά Ad Hoc δίκτυα, τα οποία όμως έχουν πολλές ιδιαιτερότητες όπως ότι οι συνθήκες του ασύρματου καναλιού και τα χαρακτηριστικά των πολυμεσικών δεδομένων μεταβάλλονται συνεχώς.

5.2 Διαστρωματικές αρχιτεκτονικές σε ασύρματα δίκτυα

Η σύγχρονη τεχνολογία μεταφοράς δεδομένων για μετάδοση πολυμέσων δεν προσαρμόζεται αποδοτικά στην ετερογενή αρχιτεκτονική του Διαδικτύου και η ποιότητα υπηρεσίας (QoS) δεν μπορεί να εξασφαλιστεί. Η αιτία είναι ότι το Διαδίκτυο είναι εξαιρετικά δυναμικό και απρόβλεπτο, ενώ οι υπηρεσίες πραγματικού χρόνου που θέλουμε να μεταδώσουμε πάνω από αυτό απαιτούν σταθερές συνθήκες για συνεχή και απρόσκοπτη μετάδοση. Ενώ οι επεξεργαστές και οι μνήμες μικραίνουν ενώ παράλληλα οι αποδόσεις αυξάνουν και έτσι οι φορητές συσκευές γίνονται ολοένα και πιο δημοφιλείς. Με αυτές τις φορητές συσκευές όπως τα PDA και τα κινητά τηλέφωνα, η επιθυμία για κινητικότητα και εύκολη ασύρματη πρόσβαση στις ίδιες προηγμένες υπηρεσίες αυξάνει. Έτσι, τα δίκτυα ασύρματης πρόσβασης προσθέτουν μεγαλύτερη αστάθεια όσον αφορά την ποιότητα υπηρεσίας στο Διαδίκτυο. Μπορούμε να πούμε ότι γενικός στόχος αυτής της εργασίας είναι η αξιοποίηση των διαστρωματικών τεχνικών για τη βελτίωση της ποιότητας υπηρεσίας (QoS) σε σχετικά ασταθή δίκτυα όπως είναι τα κινητά Ad Hoc δίκτυα.

Στην ασύρματη μετάδοση δεδομένων λαμβάνουν μέρος ο αποστολέας, ο παραλήπτης και οι ενδιάμεσοι κόμβοι. Υπάρχουν διάφορες απόψεις για τον εάν πρέπει να συμμετέχουν και οι τρεις αυτές οντότητες στις διαστρωματικές λειτουργίες. Λέγοντας διαστρωματική λειτουργία εννοούμε μια διαδικασία διαστρωματικής προσαρμογής με σκοπό την υψηλότερη ποιότητα υπηρεσιών που προσφέρεται τελικά στο χρήστη.

Με βάση αυτές τις τρεις οντότητες μπορούμε να διακρίνουμε τρεις βασικές κατηγορίες διαστρωματικής προσαρμογής. Η πρώτη εμπλέκει μόνο τον αποστολέα με το πλεονέκτημα ότι δεν επιβαρύνονται οι υπόλοιποι κόμβοι. Σε αυτή την περίπτωση όμως οι δυνατότητες προσαρμογής είναι σχετικά μικρές και άρα η απόδοση δεν αυξάνεται σημαντικά. Η δεύτερη κατηγορία που έχει και αυτή το μειονέκτημα μειωμένων δυνατοτήτων είναι αυτή που εμπλέκει μόνο τον κόμβο/προορισμό. Ένα όμως σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι σε περίπτωση που ο αποστολέας μεταδίδει σε πολλούς κόμβους (κάτι το οποίο είναι σύνηθες), τότε η επιβάρυνση κατανέμεται στους παραλήπτες. Η τελευταία κατηγορία περιλαμβάνει διαστρωματική προσαρμογή σε όλους τους κόμβους. Σε αυτή την περίπτωση πετυχαίνουμε καλύτερη απόδοση αλλά ταυτόχρονα απαιτούμε από τους εμπλεκόμενους κόμβους του δικτύου να διαθέτουν την εκάστοτε διαστρωματική αρχιτεκτονική.

Σε μια διαστρωματική αρχιτεκτονική μπορούν να λαμβάνουν μέρος οποιαδήποτε επίπεδα του μοντέλου OSI. Αυτά τα οποία έχουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τις ανάγκες της εργασίας, είναι το φυσικό επίπεδο, το επίπεδο ζεύξης δεδομένων και το επίπεδο εφαρμογής. Ταυτόχρονα αν και το επίπεδο του δικτύου δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα σε διαστρωματική προσαρμογή, ωστόσο παρέχει δυνατότητες έμμεσης διαστρωματικής προσαρμογής μέσω υπηρεσιών που αυξάνουν τη ποιότητα των υπηρεσιών.

Όταν μιλάμε για διαστρωματική σχεδίαση πρέπει να λάβουμε υπόψη τη σηματοδοσία, δηλαδή την επικοινωνία των διαφόρων επιπέδων. Η σηματοδοσία μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση των υπάρχοντων πρωτοκόλλων. Μπορούμε δηλαδή να εισάγουμε πληροφορία στις κεφαλίδες των πακέτων δεδομένων. Για παράδειγμα μπορούμε να αξιοποιήσουμε την επικεφαλίδα του IPv6 [21] και το μηχανισμό επέκτασης της επικεφαλίδας των πακέτων του έτσι ώστε να μεταφέρονται πληροφορίες μέσω του επιπέδου δικτύου. Αξίζει να σημειωθεί ότι είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται για σηματοδοσία το όσο το δυνατόν χαμηλότερο επίπεδο.

Άλλος ένας τρόπος σηματοδοσίας είναι η χρήση του πρωτοκόλλου ICMP. Αυτό το πρωτόκολλο χρησιμοποιείται συχνά για σηματοδοσία σε δίκτυα IP μιας και

οι απαιτούμενες πληροφορίες είναι δυνατό να μεταφέρονται από μηνύματα ICMP στα διάφορα επίπεδα του OSI. Η σηματοδοσία μπορεί να γίνει και μέσω μιας τρίτης υπηρεσίας η οποία αποθηκεύει και διαμοιράζει πληροφορίες σε διαφορετικά επίπεδα. Αυτή η λύση θεωρείται αρκετά κεντροκοιμημένη και για αυτό δεν αποτελεί αντικείμενο μελέτης στην παρούσα εργασία. Τέλος, η σηματοδοσία μπορεί να γίνει και από κάθε επίπεδο ξεχωριστά αλλά η αποθήκευση να γίνει σε ένα κοινό σημείο του τοπικού συστήματος για να είναι διαμοιράσιμη.

Ένα ζήτημα που προκύπτει στο σχεδιασμό διαστρωματικών αρχιτεκτονικών είναι και αυτό της ροής δεδομένων. Συνήθως χρησιμοποιείται η λογική της σχεδίασης "από πάνω προς τα κάτω" ή "από κάτω προς τα πάνω". Όταν έχουμε σχεδίαση "από πάνω προς τα κάτω" σημαίνει ότι το ανώτερο επίπεδο είναι σε θέση να γνωρίζει τη σπουδαιότητα των δεδομένων και ορίζει την προτεραιότητα μετάδοσης. Στην "από κάτω προς τα πάνω" σχεδίαση, τα ανώτερα στρώματα μπορούν να έχουν απευθείας πρόσβαση σε εσωτερικές πληροφορίες των κατώτερων στρωμάτων.

5.3 Σημαντικότεροι διαστρωματικοί σχεδιασμοί

Οι εφαρμογές μετάδοσης βίντεο με περιορισμούς καθυστέρησης σε ασύρματα δίκτυα έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον εξαιτίας των ερευνητικών προκλήσεων που εισάγει αυτή η απαιτητική υπηρεσία. Ακόμα, τέτοιες εφαρμογές έχουν αρχίσει και παίζουν σημαντικό ρόλο, ενώ η ευρωστία τους και η αποδοτικότητα τους αποτελούν τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά τους. Οι διαστρωματικοί σχεδιασμοί σε ασύρματα δίκτυα με αντικείμενο τη μετάδοση πολυμέσων έχουν αποδειχτεί ιδιαίτερα αποδοτικοί και σε περιπτώσεις που στόχος είναι η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας [22]. Σε αυτό το υποκεφάλαιο παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι διαστρωματικοί σχεδιασμοί που εμπλέκουν πρωτόκολλα δρομολόγησης, το πρωτόκολλο IEEE 802.11e και εξετάζουν αποκλειστικά τη μετάδοση πολυμέσων.

5.3.1 Μηχανισμοί που αξιοποιούν το IEEE 802.11e

Στην εργασία [23], εξετάζεται ένα περιβάλλον όπου χρησιμοποιείται το IEEE 802.11a/e με στόχο να διασφαλιστεί η ποιότητα υπηρεσίας για τη μετάδοση βίντεο διαμέσου ενδιάμεσων κόμβων. Οι συγγραφείς παρουσιάζουν μια ενσωματωμένη διαστρωματική λύση που μεγιστοποιεί το γινόμενο της αναμενόμενης ποιότητας βίντεο με τη χρησιμοποίηση της σύνδεσης του δικτύου. Αυτή η λύση φαίνεται να παρουσιάζει σημαντική βελτίωση συγκριτικά με άλλες βελτιωτικές τεχνικές.

Σημαντικό στοιχείο είναι η αξιοποίηση πληροφορίας που αφορά την κατάσταση του δικτύου, αφού έτσι παρατηρούνται οι συνεχώς μεταβαλλόμενες συνθήκες σε κάθε βήμα της μετάδοσης. Αυτή η πληροφορία συγκεντρώνεται μέσω μηνυμάτων ανατροφοδότησης και μπορεί να αποτελέσει ρυθμιστικό παράγοντα για την μεταδιδόμενη ποιότητα βίντεο. Το σημείο κλειδί για αυτό το μηχανισμό βελτιστοποίησης είναι η βελτίωση των διαφορετικών παραμέτρων ελέγχου σε κάθε κόμβο ξεχωριστά, σε τέσσερα επίπεδα του μοντέλου OSI:

- Επίπεδο εφαρμογής
- Επίπεδο δικτύου
- Επίπεδο ζεύξης δεδομένων
- Φυσικό επίπεδο

Για την επίτευξη της βελτιστοποίησης απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ύπαρξη της κατάλληλης υποδομής για τη συλλογή πληροφορίας σχετικά με την κατάσταση του δικτύου. Στον πραγματικό κόσμο κάτι τέτοιο δεν είναι πάντα εφικτό καθώς η πληροφορία του δικτύου είτε δεν είναι διαθέσιμη είτε είναι αδύνατο να υπολογιστεί. Διάφορα σενάρια εξετάζονται από τους συγγραφείς και τα αποτελέσματα που εξάγονται έχουν να κάνουν με την ποσοτικοποίηση της ποιότητας της λαμβανόμενης πληροφορίας βίντεο. Τα αποτελέσματα τους δείχνουν ότι υπάρχει πράγματι ανάγκη για διαστρωματική αρχιτεκτονική που

θα βελτιστοποιεί τα υπάρχοντα πρωτόκολλα και τις υποδομές έτσι ώστε να παρέχεται μια αποδοτική λύση στο πρόβλημα της μετάδοσης πολυμέσων. Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να φανούν ιδιαίτερα χρήσιμα στο σχεδιασμό μελλοντικών προτύπων και συστημάτων που λειτουργούν σε περιβάλλοντα κινητών Ad Hoc δικτύων.

Η τεχνολογία των προτύπων του IEEE 802.11 έχει τραβήξει το ενδιαφέρον πολλών ερευνητών εξαιτίας της ευελιξίας και των επεκτάσεων που μπορούν να εφαρμοστούν σε τοπικά ασύρματα δίκτυα. Η έρευνα επικεντρώνεται κυρίως σε μετάδοση χωρίς κάποιο ενδιάμεσο κόμβο και θεωρώντας δεδομένο κάποιο σταθερό σημείο πρόσβασης. Η εργασία [24] έχει στόχο τη μελέτη της ποιότητας μετάδοσης βίντεο σε πραγματικό χρόνο έτσι ώστε να τηρούνται τα κριτήρια παροχής ποιότητας υπηρεσίας (Quality of Service) στη μετάδοση πολυμέσων. Οι συγγραφείς κάνουν μια εκτεταμένη ποιοτική ανάλυση σε μια ευρύτερη περιοχή βασιζόμενοι σε μετάδοση πραγματικών πλαισίων βίντεο χρησιμοποιώντας αντικειμενικές και υποκειμενικές μετρικές αξιολόγησης της ποιότητας. Ακόμα, αναλύεται η ποιότητα μετάδοσης πολυμέσων πραγματικού χρόνου σύμφωνα με τις προδιαγραφές του 802.11e EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) με το 802.11 DCF. Η μετάδοση γίνεται με κωδικοποίηση MPEG-4 (ffmpeg) σε περιβάλλοντα κινητών Ad Hoc δικτύων και σε δίκτυα με τους κόμβους μέσα σε οχήματα (VANETs) χρησιμοποιώντας σενάριο τυχαίας κίνησης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το 802.11e EDCA αποδίδει καλύτερα αναφορικά με την καθυστέρηση πλαισίων, το ποσοστό παράδοσης πλαισίων, τη διακύμανση καθυστέρησης, τον δείκτη Peak Signal to Noise Ratio και το δείκτη MOS.

5.3.2 a-MMDSR

Το πρωτόκολλο a-MMDSR [25] είναι στην πραγματικότητα μια αυτο-προσαρμοστική σχεδίαση που είναι σε θέση να παρέχει ποιότητα υπηρεσίας σε κινητά Ad Hoc δίκτυα. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα αυτής της προσέγγισης προέρχονται από το γεγονός ότι η σχεδίαση είναι σε θέση να προσαρμόζεται ανάλογα με τις δυναμικά μεταβαλλόμενες συνθήκες του δικτύου. Ο αλγόριθμος

δρομολόγησης ενημερώνει περιοδικά ένα σύνολο από μονοπάτια, τα κατηγοριοποιεί σύμφωνα με ένα σύνολο από μετρικές και δημιουργεί ένα σχήμα προώθησης πακέτων το οποίο χρησιμοποιεί πολλαπλά μονοπάτια. Μπορούμε να αντιληφθούμε ότι η κατάσταση του δικτύου είναι ιδιαίτερης σημασίας σε κινητά δίκτυα εξαιτίας της συνεχόμενης μεταβολής τους.

Στην εν λόγω εργασία αναπτύσσεται και ένα αναλυτικό μοντέλο για τον υπολογισμό της πιθανότητας σφάλματος, έτσι ώστε ο αποστολέας να μπορεί να εκτιμήσει εκ των προτέρων το χρόνο που απαιτείται για την εγκαθίδρυση μιας σύνδεσης. Με αυτόν τον τρόπο, ο αποστολέας είναι σε θέση να γνωρίζει ποιά είναι η κατάλληλη στιγμή για την ανανέωση του σχήματος δρομολόγησης. Το a-MMDSR λειτουργεί τελείως διαφορετικά ανάλογα με το αν οι συνθήκες μεταβάλλονται γρήγορα ή αν είναι στατικές, ενώ προσπαθεί να μειώσει την πιθανότητα των κατεστραμμένων συνδέσεων. Τα αποτελέσματα μέσω εξομοιώσεων δείχνουν ότι το a-MMDSR συμπεριφέρεται καλύτερα και από το στατικό ισοδύναμο και από το πρωτόκολλο DSR.

Εκτός από το σχεδιασμό του αυτοπροσαρμοζόμενου μηχανισμού, αναπτύσσεται και ένας διαστρωματικός αλγόριθμος βασισμένος σε τεχνικές αυτοματοποιημένης μάθησης. Ο στόχος της διαστρωματικής σχεδίασης είναι να γίνει το δίκτυο αυτοπροσαρμοζόμενο μεταβάλλοντας μόνο του τις παραμέτρους του με την πάροδο του χρόνου. Γίνεται προφανές ότι κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί μόνο με συνεργασία διαφόρων επιπέδων του μοντέλου OSI. Η προσαρμογή που προτείνουν οι συγγραφείς γίνεται με γνώμονα την παροχή καλύτερης ποιότητας υπηρεσίας στον τελικό χρήστη.

5.3.3 Μηχανισμοί με έλεγχο συμφόρησης

Σε αντίθεση με τα ενσύρματα δίκτυα, στα κινητά Ad Hoc δίκτυα, οι απώλειες πακέτων οφείλονται κυρίως σε παρεμβολές στο ασύρματο μέσο και όχι απαραίτητα σε συμφόρηση του δικτύου. Έτσι, καθίσταται αναγκαία η ανίχνευση της αιτίας που προκαλεί την απόρριψη και απώλεια πακέτων. Στην εργασία [26] γίνεται μια προσπάθεια διαφοροποίησης της απώλειας πακέτων

λόγω συμφόρησης και της απώλειας πακέτων λόγω άλλων αιτιών που είναι πιθανό να συμβούν σε ασύρματες μεταδόσεις.

Προς αυτή την κατεύθυνση, έχουν προταθεί διάφορες υλοποιήσεις/παραλλαγές του TCP, συμπεριλαμβανομένου του TCP New Jersey [27] και του TCP NCE [28]. Σε μια άλλη εργασία [29] ερευνώνται οι διάφορες παραλλαγές στην απόδοση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης των κινητών Ad Hoc δικτύων.

Ο πιο γνωστός μηχανισμός ελέγχου συμφόρησης που είναι φιλικός προς το TCP και μπορεί να εφαρμοστεί σε συνδυασμό με οποιοδήποτε μη αξιόπιστο πρωτόκολλο μεταφοράς, όπως το UDP, είναι ο TCP-friendly Rate Control (TFRC). Αξίζει να σημειωθεί ότι το TFRC είναι ήδη διεθνές στάνταρ. Ωστόσο, ακόμα και το TFRC αντιμετωπίζει μερικά προβλήματα και έχει περιορισμούς όταν χρησιμοποιείται σε ασύρματα περιβάλλοντα όπως τα MANETs.

Η εργασία [30] μελετά αυτούς τους περιορισμούς και φαίνεται ότι το TFRC μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κινητά Ad Hoc δίκτυα μόνο όταν η αυστηρή ισότητα ρυθμαπόδοσης είναι μικρής σημασίας. Ακόμα, αναλύουν μια σειρά από διάφορους παράγοντες που συνεισφέρουν στην συμπεριφορά του TFRC που συγκλίνει ύστερα από κάποιο χρονικό διάστημα. Η μελέτη τους φανερώνει τους περιορισμούς εφαρμογής του TFRC σε κινητά Ad Hoc δίκτυα και σημειώνουν το ανοιχτό πρόβλημα της μετάδοσης πολυμέσων σε αυτά τα δίκτυα. Τέλος, προτείνουν ένα εναλλακτικό σχεδιασμό βασισμένο στη σήμανση των δρομολογητών και στις προσαρμοστικές τεχνικές των εφαρμογών.

Για να υπερβούμε τους περιορισμούς που περιγράφηκαν, η εργασία [31] προτείνει τον αλγόριθμο Rate Estimation (RE) TFRC. Ο αλγόριθμος αυτός σχεδιάστηκε με στόχο την ενίσχυση και τη βελτίωση της απόδοσης του TFRC στα MANETs.

Κεφάλαιο 6

Προτεινόμενη διαστρωματική μετάδοση

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια περιγραφή του μηχανισμού ο οποίος αναπτύχθηκε στα πλαίσια της εργασίας. Γίνεται μια σύντομη θεωρητική προσέγγιση στα βασικά συστατικά του μηχανισμού και στη συνέχεια αναλύονται τα τεχνικά μέρη. Στόχος της προτεινόμενης διαστρωματικής σχεδίασης είναι η βελτίωση της από άκρο σε άκρο επικοινωνίας στα κινητά Ad Hoc δίκτυα στην περίπτωση της μετάδοσης πολυμέσων σε πραγματικό χρόνο. Παρουσιάζονται οι προσαρμογές στα διάφορα στρώματα και δίνεται έμφαση στην αξιοποίηση πληροφοριών του δικτύου καθώς αυτές μεταφέρονται στα ανώτερα στρώματα. Η προτεινόμενη διαστρωματική μετάδοση που περιγράφεται σε αυτό το κεφάλαιο έχει υποβληθεί στο διεθνές περιοδικό International Journal of Communication Systems.

6.1 Μετάδοση με το πρωτόκολλο 802.11e

Το πρωτόκολλο 802.11e αποτελεί μια επέκταση του 802.11 στάνταρ με στόχο την παροχή ποιότητας υπηρεσίας (Quality of Service). Το IEEE 802.11 είναι μια οικογένεια προτύπων της IEEE για ασύρματα τοπικά δίκτυα που είχαν

ως σκοπό να επεκτείνουν το IEEE 802.3 στην ασύρματη περιοχή. Αυτή η οικογένεια προτύπων (γνωστά και ως "WiFi") αποτελούν το καθιερωμένο στάνταρ της βιομηχανίας στο χώρο των ασύρματων τοπικών δικτύων. Το IEEE 802.11 χρησιμοποιείται ευρέως σε φορητές συσκευές σε διάφορες εφαρμογές ασύρματης μετάδοσης. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων στο 802.11 εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των κόμβων. Έτσι, όσο πιο μακριά βρίσκονται οι ασύρματες συσκευές, τόσο χαμηλότερη είναι η ταχύτητα επικοινωνίας.

Το 802.11 υποστηρίζει δύο τρόπους λειτουργίας

1. Η λειτουργία όπου δεν υπάρχει κάποιος κεντρικός σταθμός βάσης και οι κόμβοι είναι ισότιμοι και η πρόσβαση στο κοινό μέσο (τον κενό χώρο) ρυθμίζεται από κάποιο καταναμημένο πρωτόκολλο όπως το CSMA.
2. Η λειτουργία με έναν κεντρικό κόμβο του τοπικού δικτύου συνήθως συνδεδεμένο σε ενσύρματο δίκτυο κορμού. Αυτός ο κόμβος αναλαμβάνει τον έλεγχο πρόσβασης στο κοινό μέσο και δρα ως αμφίδρομος αναμεταδότης.

Όλα τα πρωτόκολλα 802.11x έχουν κοινό επίπεδο Ζεύξης και διαφέρουν στο φυσικό μέσο. Κύριο ρόλο παίζει το επίπεδο LLC που αναλαμβάνει τον έλεγχο ροής, τον έλεγχο σφαλμάτων και τη διασύνδεση προς το επίπεδο δικτύου. Επειδή ταυτίζεται με το πρωτόκολλο 802.2 που χρησιμοποιείται και στο Ethernet και στα περισσότερα ενσύρματα δίκτυα, αυτό έχει ως αποτέλεσμα την άμεση και χωρίς ανάγκη μετατροπών συνδεσιμότητα ενός 802.11 υποδικτύου με το Διαδίκτυο. Στο 802.11, η πλαισίωση των δεδομένων δε γίνεται από το επίπεδο LLC, αλλά από το επίπεδο MAC ώστε να μπορούν να υποστηρίζονται επιπλέον πεδία στην κεφαλίδα του επιπέδου συνδέσμου μετάδοσης δεδομένων.

Οι δύο κύριοι μηχανισμοί του 802.11 είναι ο DCF και ο PCF. Ο DCF δίνει λύση στα προβλήματα του κρυμμένου τερματικού και του εκτεθειμένου τερματικού. Το πρόβλημα του κρυμμένου τερματικού υπάρχει όταν ένα τερματικό Γ εκπέμπει σε ένα τερματικό Β, ένα άλλο τερματικό Α που θέλει να αποστείλει δεδομένα στο Β αλλά είναι εκτός εμβέλειας του Γ δε θα ανιχνεύσει ότι το κανάλι είναι

απασχολημένο και θα εκπέμψει. Το πρόβλημα του εκτεθειμένου τερματικού υπάρχει όταν ένα τερματικό A δε μεταδίδει ένα πλαίσιο σε ένα άλλο τερματικό B, νομίζοντας ότι το κανάλι είναι κατειλημμένο γιατί ανιχνεύει εκπομπή από ένα τερματικό Γ προς ένα τερματικό Δ. Τα Γ και Δ όμως είναι εκτός εμβέλειας του B άρα δεν υπάρχει περίπτωση σύγκρουσης. Από την άλλη, ο μηχανισμός PCF ενεργοποιείται αυτόματα για συγκεκριμένα διαστήματα όταν το σημείο πρόσβασης το κρίνει απαραίτητο ώστε να εξασφαλίζει ότι δε θα υπάρξουν συγκρούσεις για κάποιο συγκεκριμένο διάστημα και η πληροφορία θα μπορεί να μεταδοθεί αξιόπιστα.

Το 802.11e προσπαθεί να διασφαλίσει ποιότητα υπηρεσιών (Quality of Service) για εφαρμογές πραγματικού χρόνου που εκτελούνται πάνω σε ένα τοπικό δίκτυο ελαχιστοποιώντας ή μεγιστοποιώντας ένα από τα εξής κριτήρια:

- μέση καθυστέρηση από άκρο σε άκρο
- μέση διακύμανση της καθυστέρησης
- μέσο ποσοστό επιτυχούς παράδοσης πλαισίων

Αυτό που κάνει το 802.11e είναι να βελτιώνει τους μηχανισμούς DCF και PCF του 802.11. Αυτό το πετυχαίνει με τη χρήση δύο νέων μηχανισμών. Ο μηχανισμός EDCF αναθέτει προτεραιότητες στα πλαίσια δεδομένων ανάλογα με το πόσο χρονικά κρίσιμη είναι η παράδοση τους. Τα πλαίσια που έχουν μεγαλύτερη προτεραιότητα έχουν περισσότερες πιθανότητες να αποκτήσουν πρόσβαση στο κοινό μέσο (με τυχαίο τρόπο). Από την άλλη, ο μηχανισμός HCF περιορίζει το μέγιστο χρόνο δέσμευσης του καναλιού από ένα τερματικό.

Το 802.11e έχει ήδη γίνει διεθνές πρότυπο και έχει ενσωματωθεί σε συσκευές πολλών κατασκευαστών. Οι επεκτάσεις που εισάγει το 802.11e στοχεύουν επίσης στην αύξηση της ταχύτητας επικοινωνίας και στην επικοινωνία σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Αυτό γίνεται προσπαθώντας να διαμορφωθούν οι συνθήκες στο ασύρματο δίκτυο στο οποίο θα επιτυγχάνονται οι παραπάνω βελτιώσεις σε συνδυασμό με παροχή ποιότητας υπηρεσίας σε εφαρμογές με απαιτήσεις μέγιστης καθυστέρησης όπως οι εφαρμογές πολυμέσων.

6.2 Μετάδοση με ουρές προτεραιότητας στα πλαίσια βίντεο

Η ερευνητική κοινότητα έχει ασχοληθεί εκτενώς με την παροχή διαφορετικής προτεραιότητας ανάλογα με το είδος του πακέτου που μεταδίδεται. Για παράδειγμα, στην εργασία [32], υλοποιούνται μηχανισμοί ανάθεσης προτεραιότητας για κινητά Ad Hoc δίκτυα βασιζόμενοι στο πρωτόκολλο δρομολόγησης DSR και τροποποιώντας το IEEE 802.11 επίπεδο MAC για κατανεμημένη λειτουργία. Ο κυριότερος μηχανισμός περιλαμβάνει ουρές προτεραιότητας και διάφορες μεθόδους για την παροχή κρίσιμων πληροφοριών κάτι που αποτελεί βελτίωση για τον τρόπο πρόσβασης στο ασύρματο μέσο. Ο στόχος των συγγραφέων είναι η καλύτερη αντιμετώπιση της κατάστασης στην οποία πρέπει να δοθεί μεγαλύτερη προτεραιότητα σε συγκεκριμένα μηνύματα ή συγκεκριμένους κόμβους, όπως πρέπει να γίνεται σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. Οι μηχανισμοί που ανέπτυξαν, αξιολογήθηκαν μέσω του εξομοιωτή OPNET.

Η κεντρική ιδέα στη δική μας προσέγγιση είναι η αξιοποίηση της πληροφορίας κωδικοποίησης των πολυμεσικών δεδομένων από το επίπεδο εφαρμογής και η χρήση της σε ένα μηχανισμό ανάθεσης προτεραιοτήτων. Η πολιτική ανάθεσης προτεραιοτήτων που υλοποιούμε δίνει τη μεγαλύτερη προτεραιότητα στα πιο σημαντικά πλαίσια ενός βίντεο. Στο επίπεδο MAC του IEEE 802.11e, υπάρχουν διαφορετικές κλάσεις δεδομένων και αντιμετωπίζονται με διαφορετικό τρόπο σύμφωνα με διαφορετικά κριτήρια ποιότητας υπηρεσίας. Η προτεινόμενη διαστρωματική αρχιτεκτονική εισάγει ένα σύνολο από τροποποιήσεις στο σύστημα ουράς του πρωτοκόλλου δρομολόγησης AODV. Το πρωτόκολλο AODV χρησιμοποιεί μια απλή ουρά τύπου First Input First Output (FIFO) για όλα τα εισερχόμενα πακέτα που παραλαμβάνονται από τα ανώτερα επίπεδα του μοντέλου OSI. Συνεπώς, όλα τα πακέτα αντιμετωπίζονται με πανομοιότυπο τρόπο ανεξάρτητα από τη σημαντικότητα ή τους περιορισμούς που σχετίζονται με την καθυστέρηση.

Η λογική του σχεδιασμού μας μπορεί να βρει εφαρμογή σε ένα σύνολο από εφαρμογές οι οποίες έχουν τουλάχιστον τα εξής χαρακτηριστικά:

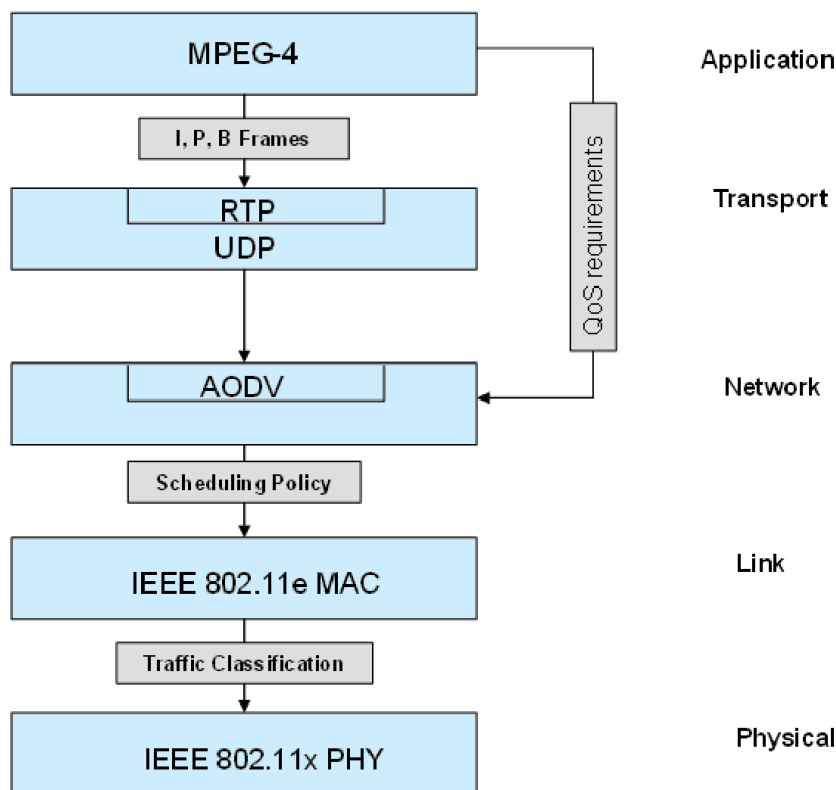
- περιορισμούς σε εύρος ζώνης
- περιορισμένη εμπλοκή των ενδιάμεσων κόμβων
- περιορισμούς καθυστέρησης
- περιορισμούς jitter (διακύμανση καθυστέρησης)

Η κυριότερη συνεισφορά της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής είναι ο διαστρωματικός μηχανισμός που συνδυάζει τόσο τις δυνατότητες και τα χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου IEEE 802.11e με έναν αλγόριθμο που βασίζεται σε πληροφορίες πολυμέσων για την ανάθεση προτεραιοτήτων. Η καινοτομία ενισχύεται και από το γεγονός ότι επιλέγουμε ένα μοντέλο κίνησης βασισμένο σε πραγματικές συνθήκες πόλης. Παράλληλα, μια ακόμη σημαντική συνεισφορά είναι η ανάμειξη των πληροφοριών δικτύου με μετρικές πολυμέσων στην προσπάθεια να βελτιωθεί η ποιότητα βίντεο στον τελικό χρήστη.

Μπορούμε να διακρίνουμε δύο κύριες περιοχές στις οποίες δίνουμε προτεραιότητα στην κίνηση δεδομένων ανάλογα με το πόσο σημαντικά είναι τα μεταδιδόμενα πακέτα:

1. Στο επίπεδο δικτύου, εφαρμόζουμε μια πολιτική παροχής προτεραιοτήτων στην οποία κάθε πακέτο που παραλαμβάνεται από τα ανώτερα επίπεδα, αντιστοιχίζεται με μια προτεραιότητα ανάλογα με το είδος του πλαισίου βίντεο.
2. Στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων διαχωρίζουμε την πρόσβαση ανάλογα με την εφαρμογή η οποία έστειλε τα πακέτα. Αυτό γίνεται στηριζόμενοι στα κριτήρια παροχής υπηρεσίας (QoS).

Ο σχεδιασμός που φαίνεται στην εικόνα 6.1, έχει σχεδιαστεί με βάση τα χαρακτηριστικά των εφαρμογών μετάδοσης ήχου και βίντεο, που χαρακτηρίζονται από διαφορετική ανοχή στην από άκρο σε άκρο καθυστέρηση.



Εικόνα 6.1: Διαστρωματική αρχιτεκτονική με προτεραιότητες στα πλαίσια του βίντεο.

Είναι προφανές ότι μια εφαρμογή πραγματικού χρόνου όπως η μετάδοση βίντεο απαιτεί πολύ χαμηλότερη από άκρο σε άκρο καθυστέρηση σε σύγκριση με μια απλή εφαρμογή μεταφοράς αρχείων. Ένας τρόπος να μεγιστοποιηθεί η απόδοση του δικτύου είναι με την παροχή προτεραιότητας με βάση τις κλάσεις κίνησης που ορίζει το IEEE 802.11e. Αυτό σημαίνει ότι ένα πακέτο που έχει μεγαλύτερη προτεραιότητα θα πρέπει να το μεταχειρίζεται ο μηχανισμός τελείως διαφορετικά από ένα πακέτο που έχει χαμηλή προτεραιότητα με στόχο να μεταδοθεί πρώτο. Σε MANETs με υψηλό φόρτο, που συνήθως συμβαίνει όταν υπάρχουν πολλοί κόμβοι ή όταν το εύρος ζώνης είναι περιορισμένο, υπάρχει μια σημαντική πιθανότητα να απορριφθούν τα μεταδιδόμενα πακέτα από τις διάφορες ουρές των κινητών κόμβων.

Ο χρονοπρογραμματισμός προτεραιοτήτων είναι μια δημοφιλής μέθοδος για υλοποίηση μιας ουράς προτεραιότητας. Κάθε κλάση δεδομένων έχει και μια

δικιά της ουρά στην οποία τα πακέτα είναι διατεταγμένα. Αυτή η διάταξη επηρεάζει άμεσα τον τρόπο που τα δεδομένα παραδίδονται και αφαιρούνται από την ουρά. Στην περίπτωση μιας ουράς που περιέχει πακέτα βίντεο η διάταξη γίνεται αξιοποιώντας την πληροφορία του τύπου των πλαισίων βίντεο και την προτεραιότητα που έχει ανατεθεί.

Θεωρούμε ότι τα πολυμέσα που μεταδίδουμε είναι κωδικοποιημένα με έναν κωδικοποιητή βίντεο MPEG-4 που παράγει τρεις τύπους πλαισίων βίντεο. Τα I-frames είναι τα λιγότερο συμπιεσμένα και περιέχουν πληροφορία κωδικοποίησης μιας εικόνας. Τα P-frames είναι περισσότερο συμπιεσμένα από τα I-frames και έχουν κωδικοποιηθεί με βάση το ακριβώς προηγούμενο πλαίσιο που έχει μεταδοθεί. Τέλος, τα B-frames μπορούμε να πούμε ότι θεωρούνται τα λιγότερο σημαντικά στην ακολουθία βίντεο και αξιοποιούν και προηγούμενα και επόμενα πλαίσια.

Ο ρυθμός μετάδοσης πολυμέσων διαφέρει ανάλογα με την πολυπλοκότητα των δεδομένων των πλαισίων. Έτσι για παράδειγμα ένα I-frame θα ήταν περισσότερο πολύπλοκο εν συγκρίσει με ένα P-frame αφού καταλήγει να έχει περισσότερα bits αφού συμπιεστεί. Το ίδιο ισχύει και σε σκηνές βίντεο που αλλάζουν γρήγορα και έχουν έντονη κίνηση αφού τείνουν να χρειάζονται περισσότερη πληροφορία συγκριτικά με τα προηγούμενα πλαίσια, κάτι που μειώνει την απόδοση της συμπίεσης. Ένας μεταβλητός ρυθμός μετάδοσης βίντεο θα έχει παροδικούς "παλμούς", ενώ ένας σταθερός ρυθμός μετάδοσης θα μειώσει αυτούς τους "παλμούς" και καταλήγει να επηρεάζει την ποιότητα του βίντεο. Το TFRC βοηθά στο να προλαμβάνει την παλμογραφική (oscillatory) συμπεριφορά σε περιβάλλοντα με μικρό βαθμό στατιστικής πολύπλεξης (statistical multiplexing). Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι είναι χρήσιμο να τροποποιούμε τον ρυθμό μετάδοσης για να αποφύγουμε τη συμφόρηση μειώνοντας τον ρυθμό μετάδοσης όταν η καθυστέρηση στις ουρές μεγαλώνει.

Ο αλγόριθμος 1, περιγράφει την παραπάνω ιδέα. Αντί να χρησιμοποιούμε μια ουρά First-in First-out (FIFO) στο επίπεδο MAC, εισάγουμε τα πακέτα στην ουρά λαμβάνοντας υπόψιν τη σημαντικότητα των πλαισίων που περιέχουν. Τα πιο σημαντικά πλαίσια τοποθετούνται στην κορυφή της ουράς ενώ τα άλλα πακέτα

τοποθετούνται στο τέλος της. Η προεπεξεργασία των πακέτων βασίζεται στον κανόνα που ορίζει ότι το πακέτο που είναι στην κορυφή της λίστας πρέπει να εξυπηρετηθεί πρώτο. Αν το μήκος της ουράς υπερβαίνει κάποιο συγκεκριμένο όριο και χρειαστεί να απορριφθεί ένα πακέτο, τότε απορρίπτεται αυτό που βρίσκεται στο τέλος της ουράς.

Αλγόριθμος 1 Μηχανισμός εισαγωγής πακέτων βίντεο σε ουρά

```
if packet.type == VIDEO then
    while nextPacket.type == VIDEO AND nextPacket.priority < packet.priority do
        position = position + 1
    end while

    insertToQueue(packet, tail)
else
    insertToQueue(packet, tail)
end if

if queue.size > LIMIT then
    tailPacket = findTail()
    drop(tailPacket)
end if
```

Στις επικεφαλίδες του IP αποθηκεύουμε επίσης πληροφορία σχετικά με τον τύπο της εφαρμογής. Αυτή είναι μια πιο απλή διαδικασία σε συνεκτικά ασύρματα δίκτυα απ ό τι σε δίκτυα με σταθερή υποδομή στα οποία μπορεί να υπάρχουν περιοχές με δική τους διαχείριση σε ένα μονοπάτι μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη. Τα κινητά Ad Hoc δίκτυα παρέχουν αυτή την ευελιξία καθώς κάθε κόμβος του δικτύου συμπεριφέρεται και ως δρομολογητής.

Αξίζει να αναφέρουμε ότι η κύρια συνάρτηση για την παροχή ποιότητας υπηρεσίας στο πρωτόκολλο IEEE 802.11e είναι η Enhanced Distributed Coordination Function (EDCF). Αυτή η συνάρτηση είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση του ασύρματου μέσου σε μια περίοδο γνωστή και ως Contention Period (CP). Ο ρόλος του EDCF είναι η βελτίωση της συνάρτησης του απλού IEEE 802.11, που ονομάζεται Distributed Coordination Function (DCF). Με βάση αυτό, υλοποιούμε τέσσερις διαφορετικές κλάσεις δεδομένων (Traffic Classes) και η κίνηση

πολυμεσικών δεδομένων λαμβάνει τη μεγαλύτερη προτεραιότητα ανάμεσα σε ανταγωνιστική κίνηση άλλων εφαρμογών που συνυπάρχουν στο δίκτυο.

Στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται η περιγραφή των εξομοιώσεων που έγιναν προκειμένου να διαπιστωθεί η αποδοτικότητα αυτής της υλοποίησης. Έπειτα, παρουσιάζουμε γραφικά τα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας μετρικές πολυμέσων και μετρικές δικτύων.

6.3 Μετάδοση με αξιοποίηση του SNR

Το SNR είναι η αναλογία σήματος προς θόρυβο και αποτελεί όρο της εφαρμοσμένης μηχανικής. Ο υπολογισμός του φαίνεται στην εξίσωση 6.1.

$$SNR = \frac{P_{signal}}{P_{noise}} \quad (6.1)$$

Επειδή πολλά σήματα έχουν μια πολύ ευρεία δυναμική περιοχή το SNR εκφράζεται συνήθως από την άποψη λογαριθμικής decibel κλίμακας (εξίσωση 6.2).

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10}\left(\frac{P_{signal}}{P_{noise}}\right) = P_{signal,dB} - P_{noise,dB} \quad (6.2)$$

Η αναλογία σήματος προς θόρυβο συσχετίζεται πολύ με την έννοια της δυναμικής περιοχής. Συχνά τα σήματα που συγκρίνονται είναι ηλεκτρομαγνητικής φύσεως. Λόγω της λογαριθμικότητας, το SNR δίνει ανεξάρτητο αποτέλεσμα του τύπου σήματος που αξιολογείται (όπως η δύναμη, ρεύμα, ή τάση). Ωστόσο, για να μετρήσουμε την αναλογία σήματος προς θόρυβο χρειάζεται να έχουμε ένα συγκεκριμένο σήμα ως σημείο αναφοράς.

Οι εφαρμογές μετάδοσης βίντεο χρησιμοποιούν συνήθως το UDP ως πρωτόκολλο μεταφοράς για τα πακέτα βίντεο. Αν και αυτή η λύση καταφέρνει να αποφύγει

την αυξημένη καθυστέρηση των αναμεταδόσεων και των μηχανισμών ελέγχου συμφόρησης που διαθέτει το TCP, ωστόσο δημιουργεί δύο κύρια προβλήματα:

1. Οι περιορισμοί εύρους ζώνης που πιθανόν υπάρχουν εξαιτίας της ανεξέλεγκτης μετάδοσης βίντεο χωρίς κάποιο μηχανισμό ελέγχου ροής ή συμφόρησης μπορεί να οδηγήσει σε υψηλές απώλειες πακέτων στο δίκτυο.
2. Υπό ορισμένες συνθήκες η ανεξέλεγκτη μετάδοση βίντεο μπορεί να οδηγήσει σε "λιμοκτονία" των εφαρμογών που χρησιμοποιούν το TCP ως πρωτόκολλο μεταφοράς. Αυτή η μη φιλικότητα ως προς το TCP οδηγεί σε μια ροή δεδομένων η οποία όμως δεν είναι δίκαια αφού εξυπηρετούνται μόνο οι εφαρμογές UDP.

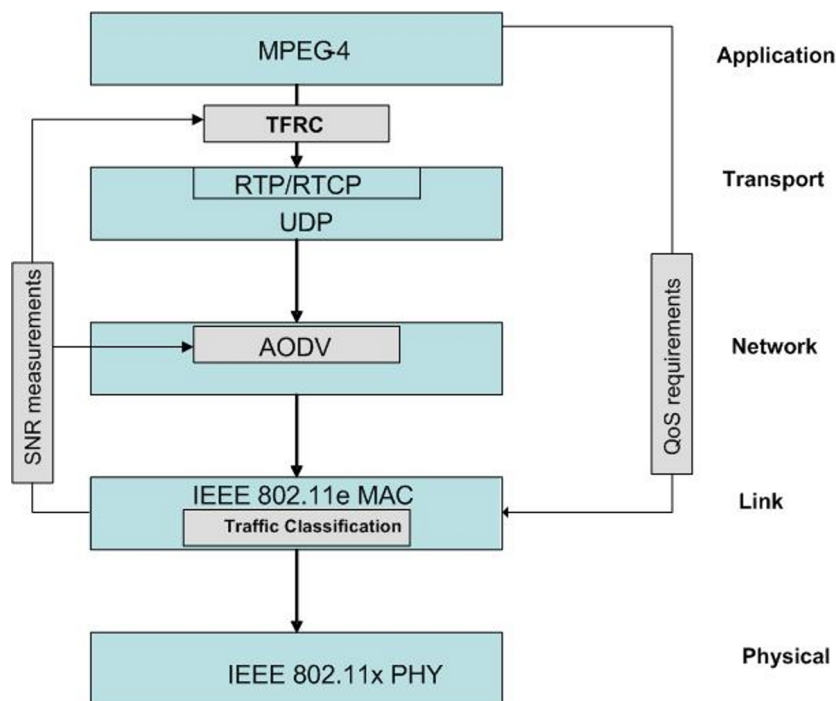
Η ερευνητική κοινότητα με στόχο την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων προτείνει διάφορους μηχανισμούς ελέγχου συμφόρησης βασισμένους στους ήδη υλοποιημένους μηχανισμούς του TCP που θεωρούνται αποδοτικοί. Ωστόσο, αυτές οι προτάσεις μηχανισμών ελέγχου συμφόρησης έχουν σχεδιαστεί κυρίως για χρήση σε ενσύρματα δίκτυα, που οι απώλειες πακέτων προέρχονται κυρίως από καταστάσεις συμφόρησης σε συγκεκριμένες συνδέσεις και κόμβους. Στα ασύρματα δίκτυα όμως, οι απώλειες πακέτων οφείλονται κυρίως σε παρεμβολές στο ασύρματο μέσο και όχι απαραίτητα σε συμφόρηση του δικτύου.

Ο διαστρωματικός μηχανισμός που προτείνεται στην παρούσα εργασία συνδυάζει τον έλεγχο συμφόρησης του TFRC με πληροφορίες που προέρχονται από κατώτερα επίπεδα. Συγκεκριμένα, η προτεινόμενη υλοποίηση αξιοποιεί το λαμβανόμενο Signal to Noise Ratio με στόχο την παροχή περισσότερης πληροφορίας σε ανώτερα στρώματα που τη χρειάζονται. Σε αυτό το σημείο αξίζει να τονιστεί ότι έχει γίνει μια εκτενής έρευνα σχετικά με τη χρησιμότητα των πληροφοριών που προέρχονται από τα κατώτερα δικτυακά στρώματα. Για παράδειγμα, η εργασία [33] κάνει μια συστηματική μελέτη με μετρήσεις σχετικά με την ικανότητα του SNR και τις δυνατότητες αξιοποίησης του για να αποτιμηθεί η ποιότητα του ασύρματου καναλιού. Αν και επιβεβαιώνεται ότι το SNR αποτελεί ένα καλό εργαλείο για την εκτίμηση της ποιότητας μιας σύνδεσης υπάρχουν όμως αρκετές προκλήσεις στην πρακτική εφαρμογή του.

Το κίνητρο του σχεδιασμού του συγκεκριμένου μηχανισμού που προτείνουμε σε αυτή την ενότητα αποτελεί η ανάδειξη των προαναφερθέντων τεχνικών ζητημάτων και δυσκολιών. Μπορούμε να πούμε ότι αυτό είναι όμως που κάνει τη μετάδοση βίντεο στα MANETs μια πολλά υποσχόμενη περιοχή. Προς αυτή την κατεύθυνση, σχεδιάζουμε έναν διαστρωματικό μηχανισμό που:

- Παρέχει προτεραιότητα στα πακέτα βίντεο έναντι άλλης ανταγωνιστικής κίνησης.
- Εφαρμόζει και τροποποιεί το TFRC για να παρέχει έλεγχο συμφόρησης και προσαρμόσιμο ρυθμό μετάδοσης πολυμέσων.
- Ενισχύει τη λειτουργία της δρομολόγησης αξιοποιώντας επιπρόσθετες πληροφορίες του ασύρματου μέσου με στόχο τη βελτίωση μετάδοσης βίντεο.

Η προτεινόμενη διαστρωματική αρχιτεκτονική βασίζεται στις ιδιαιτερότητες των εφαρμογών μεταδόσεων πολυμέσων που χαρακτηρίζονται από διαφορετική ανοχή στην από άκρο σε άκρο καθυστέρηση. Μια υπηρεσία πραγματικού χρόνου όπως είναι η μετάδοση βίντεο απαιτεί πολύ μικρότερη διακύμανση καθυστέρησης (jitter) απ' ό,τι άλλες υπηρεσίες όπως FTP. Ένας τρόπος για να ελαχιστοποιήσουμε τη διακύμανση είναι να δώσουμε προτεραιότητα στην κίνηση δεδομένων που αφορούν πακέτα βίντεο και να προσαρμόσουμε τη λειτουργία της δρομολόγησης στηριζόμενοι στις απαιτήσεις της εφαρμογής. Ο μηχανισμός που παρουσιάζεται αξιολογείται πειραματικά μέσω εξομοιώσεων με τη βοήθεια του εξομοιωτή δικτύων ns-2 και περιλαμβάνει τρία επίπεδα στα οποία τροποποιούμε την υλοποίηση του ns-2 και εφαρμόζουμε τις προσαρμογές μας. Η προτεινόμενη διαστρωματική αρχιτεκτονική με τις προσαρμογές στο επίπεδο Ζεύξης, Δικτύου και Εφαρμογής αποτυπώνεται στην εικόνα 6.2.



Εικόνα 6.2: Διαστρωματική αρχιτεκτονική στα επίπεδα Ζεύξης, Δικτύου και Εφαρμογής.

6.3.1 Προσαρμογή στο επίπεδο Ζεύξης

Στο επίπεδο ζεύξης, διαφοροποιούμε την πρόσβαση διαφόρων εφαρμογών με τη χρήση του πρωτοκόλλου the IEEE 802.11e που έγινε στάνταρ το 2005. Αυτό μας παρέχει ένα σύνολο από πλεονεκτήματα αφού μπορούμε να βασιστούμε στα κριτήρια παροχής υπηρεσίας του (QoS). Επομένως, τα πακέτα IP μαρκάρονται ανάλογα με το είδος της εφαρμογής. Αυτή θεωρείται απλούστερη διαδικασία σε συνεκτικά ασύρματα δίκτυα απ ότι σε δίκτυα με σταθερή υποδομή στα οποία μπορεί να υπάρχουν περιοχές με δική τους διαχείριση σε ένα μονοπάτι μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη. Αυτό γίνεται γιατί τα MANETs είναι ευέλικτα επειδή κάθε κόμβος του δικτύου συμπεριφέρεται επίσης και σαν δρομολογητής.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η συνάρτηση που παρέχει υποστήριξη σε θέματα ποιότητας υπηρεσίας στο πρωτόκολλο 802.11e είναι η Enhanced Distributed Coordination Function (EDCF) Αυτή η συνάρτηση είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση του ασύρματου μέσου μέσα στη χρονική περίοδο που ορίζεται από το

Contention Period (CP), ενώ ενισχύει και βελτιώνει το μηχανισμό Distributed Coordination Function (DCF) του κλασικού πρωτοκόλλου 802.11. Η προτεραιότητα για κάθε κλάση κίνησης (Traffic Class ή για συντομία TC) ορίζεται από τις εξής παραμέτρους:

- Την παράμετρο Transmission Opportunity (TXOP), που εκφράζει τη χρονική διάρκεια στην οποία ένας κόμβος έχει το δικαίωμα να αρχίσει μια μετάδοση. Αυτή η παράμετρος ορίζεται από το χρόνο έναρξης και τη μέγιστη δυνατή διάρκεια μετρώντας σε ms.
- Το χρονικό διάστημα Arbitration Interframe Space (AIFS), που περιορίζεται από το αντίστοιχο χρονικό διάστημα DCF Interframe Space (DIFS) του 802.11. Όταν το AIFS αναπαριστάται από έναν αριθμό n αντί για χρόνο, τότε υπολογίζεται από την εξίσωση 6.3.
- Την ελάχιστη τιμή του Contention Window (CW).
- Τον παράγοντα Persistence Factor (PC), που χρησιμοποιείται για την αύξηση του Contention Window ύστερα από αποτυχημένες αναμεταδόσεις και αφού το Contention Window είναι διαφορετικό για κάθε κλάση.

$$AIFS = SIFS + n \times SlotTime \quad (6.3)$$

	TC[0]	TC[1]	TC[2]	TC[3]
PF	2	2	2	2
AIFS	2	2	3	7
CW_{MIN}	7	15	31	31
CW_{MAX}	15	31	1023	1023
TXOP limit	0,003	0,006	0	0

Πίνακας 6.1: Παράμετροι QoS για τις τέσσερις κλάσεις κίνησης του IEEE 802.11e.

Ο πηγαίος κώδικας [34] που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την εργασία είναι συμβατός με τις προδιαγραφές του πρωτοκόλλου IEEE 802.11e αλλά υποστηρίζει

μέχρι τέσσερις διαφορετικές κλάσεις TC. Αξίζει να σημειωθεί ότι η τελευταία έκδοση του IEEE 802.11e είναι σε θέση να υποστηρίξει μέχρι οχτώ διαφορετικές κλάσεις κίνησης αλλά θεωρούμε ότι τέσσερις κλάσεις είναι αρκετές για τις ανάγκες του μηχανισμού. Ο πίνακας 6.1 περιγράφει τις διαφορετικές παραμέτρους Quality of Service για τις τέσσερις κλάσεις κίνησης.

6.3.2 Προσαρμογή στο επίπεδο Δικτύου

Στο επίπεδο Δικτύου (routing layer) αξιοποιούμε πληροφορίες σχετικά με το SNR για τη βελτίωση της απόδοσης της δρομολόγησης. Ως πρωτόκολλο δρομολόγησης χρησιμοποιούμε το AODV που είναι ένα από τα πιο δημοφιλή πρωτόκολλα για χρήση σε κινητά Ad Hoc δίκτυα και είναι ικανό να μεταδώσει τόσο σε μονή ροή όσο και σε πολλαπλές ροές. Το AODV όπως έχει αναφερθεί ανήκει στα reactive πρωτόκολλα και βασίζεται στον αλγόριθμο Bellman-Ford.

Γενικά, τα reactive πρωτόκολλα αναζητούν ένα μονοπάτι δρομολόγησης μόνο κατ απαίτηση. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι δεν απαιτείται υψηλό εύρος ζώνης και ότι δεν εισάγει σημαντική επιφόρτιση για δεδομένα δρομολόγησης όταν δεν χρειάζεται να επικοινωνήσουν οι κόμβοι. Αντιθέτως, τα proactive πρωτόκολλα εγκαθιδρύουν και συντηρούν μονοπάτια δρομολόγησης για κόμβους ακόμα και όταν δεν υπάρχει ανάγκη να μεταδοθούν δεδομένα. Αυτό μπορεί να μειώνει την καθυστέρηση σύνδεσης αλλά εισάγει υψηλότερο κόστος για τη διαχείριση των κόμβων του δικτύου.

Συνοπτικά, το AODV χρησιμοποιεί ακολουθιακούς αύξοντες αριθμούς για την αποφυγή ατέρμονων βρόγχων και του προβλήματος "μέτρησης στο άπειρο". Ως reactive πρωτόκολλο δε συντηρεί σαφώς πληροφορίες δρομολόγησης για κάθε πιθανό προορισμό στο δίκτυο. Ωστόσο, ο πίνακας δρομολόγησης διατηρεί πληροφορίες μόνο για τα μονοπάτια που έχουν χρησιμοποιηθεί πρόσφατα. Έτσι, εφόσον υπάρχει το μονοπάτι δρομολόγησης στον πίνακα, τότε ένας κόμβος είναι σε θέση να στείλει δεδομένα σε έναν άλλο χωρίς να πλημμυρίζει το δίκτυο με μηνύματα αίτησης δρομολόγησης.

Όσο δύο κόμβοι που επικοινωνούν μεταξύ τους έχουν έγκυρα μονοπάτια δρομολόγησης το ένα ως προς το άλλο, τότε το AODV δεν παίζει κάποιον σημαντικό ρόλο. Όταν όμως απαιτείται να βρεθεί ένα νέο μονοπάτι, τότε ο αντίστοιχος κόμβος εκπέμπει ένα μήνυμα αίτησης για να βρει μια έγκυρη διαδρομή. Το μονοπάτι μπορεί να καθοριστεί όταν αυτό το μήνυμα φτάσει στον ίδιο τον παραλήπτη ή όταν φτάσει σε κάποιον ενδιάμεσο κόμβο που έχει μια πρόσφατη διαδρομή προς τον παραλήπτη. Μια πρόσφατη διαδρομή θεωρείται και έγκυρη όταν ο παραλήπτης έχει χαρακτηριστεί με έναν ακολουθιακό αριθμό μεγαλύτερο από αυτόν που ορίζεται στο μήνυμα αίτησης. Σε αυτό το σημείο, η διαδρομή θεωρείται διαθέσιμη με την αποστολή ενός μηνύματος απάντησης από τον παραλήπτη προς τον αποστολέα του μηνύματος αίτησης. Κάθε κόμβος που λαμβάνει την αίτηση, αποθηκεύει προσωρινά τη διαδρομή προς τον αποστολέα του μηνύματος αίτησης, έτσι ώστε να μπορεί να σταλεί το μήνυμα χωρίς να γίνει πολυεκπομπή (broadcast).

Σε περιπτώσεις που η κινητικότητα είναι μεγάλη, τα μονοπάτια δρομολόγησης χρειάζεται να ανακατασκευάζονται αρκετά συχνά. Γι αυτό το λόγο, προτείνουμε ένα μηχανισμό που θα αξιοποιεί τη μέτρηση του SNR κατά μήκος του μονοπατιού δρομολόγησης με στόχο να κάνει τη διαδικασία ανακατασκευής πιο αποδοτική και πιο γρήγορη. Διαισθητικά, η μείωση του μετρούμενου SNR σημαίνει ότι οι επικοινωνούντες κόμβοι απομακρύνονται ο ένας από τον άλλο και η πιθανότητα αποσύνδεσης τους αυξάνει σημαντικά. Σε αυτό το σημείο, η διαστρωματική σχεδίαση που προτείνουμε επιτρέπει να ενεργοποιήσουμε έγκαιρα τη διαδικασία ανακατασκευής μονοπατιών για να αποφύγουμε αναμενόμενες αποσυνδέσεις και τη λήξη χρονικών ορίων (timeouts).

6.3.3 Προσαρμογή στο επίπεδο Εφαρμογής

Εκτός από την προσαρμογή στο επίπεδο Ζεύξης και Δικτύου, χρειαζόμαστε προσαρμογή στο επίπεδο Εφαρμογής για να μπορέσουμε να πάρουμε πληροφορίες σχετικά με τα μεταδιδόμενα πολυμέσα. Στο επίπεδο Εφαρμογής (Application layer), τροποποιούμε το TCP-friendly Rate Control για έλεγχο

συμφόρησης με βελτιωμένες δυνατότητες. Αυτό μας επιτρέπει τη βελτίωση των εκτιμήσεων του TFRC και την καλύτερη αξιοποίηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης. Για να επιτευχθεί αυτό ανακτούμε πληροφορίες από τον παραλήπτη μέσω μηνυμάτων ανατροφοδότησης.

Η μεταφορά πληροφοριών από τον παραλήπτη γίνεται μέσω των πακέτων ανατροφοδότησης του TFRC, τα οποία και τροποποιούμε για να συμπεριλάβουμε τη μέτρηση του SNR κατά μήκος του μονοπατιού δρομολόγησης. Ακόμα, για να επιτύχουμε καλύτερη εκμετάλλευση του εύρους ζώνης χρησιμοποιούμε προσαρμοστική μετάδοση βίντεο για να μπορούμε να στέλνουμε βίντεο διαφορετικής ποιότητας όταν χρειάζεται. Η προσαρμογή όμως επιτυγχάνεται και με την αξιοποίηση της πληροφορίας του μηνύματος ανατροφοδότησης του TFRC σχετικά με το ρυθμού παραλαβής και με την εκτίμηση απώλειας δεδομένων. Δηλαδή, μπορούμε να πούμε ότι ενισχύουμε τον υπάρχοντα μηχανισμό προσαρμοστικής μετάδοσης του TFRC.

Για τη σωστή λειτουργία του μηχανισμού στο επίπεδο Εφαρμογής, θεωρούμε ότι έχουμε μεταβλητό ρυθμό μετάδοσης (Variable bitrate ή VBR). Ο μεταβλητός ρυθμός μετάδοσης είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται στον τομέα των τηλεπικοινωνιών και της πληροφορικής, που σχετίζεται με τον ρυθμό μετάδοσης (bitrate) που χρησιμοποιείται στην κωδικοποίηση ήχου ή βίντεο. Σε αντίθεση με σταθερό ρυθμό μετάδοσης (CBR), στο VBR μεταβάλλεται η ποσότητα των δεδομένων εξόδου ανά μονάδα χρονικού διαστήματος. Το VBR επιτρέπει την υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης (και ως εκ τούτου περισσότερη διακίνηση πληροφορίας) για τα πιο πολύπλοκα τμήματα των αρχείων πολυμέσων, ενώ λιγότερο χώρο κατανέμεται σε λιγότερο πολύπλοκα τμήματα. Ο μέσος όρος αυτών των ρυθμών μπορεί να υπολογιστεί για να παραχθεί ένας τελικός μέσος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων για το βίντεο.

6.3.4 Ανάλυση μηχανισμού

Το TFRC είναι ένας μηχανισμός ελέγχου ροής ο οποίος έχει σχεδιαστεί για μετάδοση σε δίκτυα μη εγγυημένης ποιότητας και μοιράζονται το εύρος ζώνης με

ανταγωνιστικές TCP ροές. Ο ρυθμός μετάδοσης προσαρμόζεται στις συνθήκες του δικτύου και στην ανταγωνιστική κίνηση, γεγονός που το κάνει αρκετά φιλικό ως προς το TCP. Το πρωτόκολλο αυτό αποτελεί μια μοντέρνα προσέγγιση στα πρωτόκολλα του στρώματος Μεταφοράς αφού παρέχει ένα ρυθμό μετάδοσης διπλάσιο από μια TCP ροή κάτω από τις ίδιες συνθήκες, αλλά με πολύ σταθερή ρυθμαπόδοση κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για υπηρεσίες μετάδοσης πολυμέσων. Ωστόσο, το TFRC θα πρέπει να χρησιμοποιείται όταν υπάρχει ανάγκη για ομαλή ρυθμαπόδοση αφού αντιδρά πιο αργά απ ότι το TCP σε αλλαγές των συνθηκών δικτύου.

Το TFRC έχει σχεδιαστεί για προσαρμοστικές εφαρμογές που έχουν πακέτα σταθερού μεγέθους και μπορούν να αυξομειώσουν το ρυθμό αποστολής. Στην ουσία είναι ένας μηχανισμός που βασίζεται περισσότερο στον παραλήπτη. Αυτό σημαίνει ότι οι πληροφορίες του συστήματος ελέγχου συμφόρησης υπολογίζονται στη μεριά του παραλήπτη και έπειτα στέλνονται στον αποστολέα μέσω ενός μηνύματος ανατροφοδότησης. Η προσαρμογή που προτείνουμε επεκτείνει το μήνυμα ανατροφοδότησης συμπεριλαμβάνοντας το SNR.

Η χρήση των μετρήσεων SNR σε μια επικοινωνία πολλών βημάτων όπως γίνεται στα MANETs, δεν είναι τόσο προφανής. Ένα μονοπάτι δρομολόγησης σε ένα τέτοιο περιβάλλον αποτελείται από πολλές ξεχωριστές συνδέσεις διαφορετικής ποιότητας και αξιοπιστίας. Αυτή η ετερογένεια επηρεάζεται από το υλικό των κόμβων ή από την απόσταση της κάθε ασύρματης σύνδεσης. Επομένως, μια δυσκολία σε αυτό το εγχείρημα είναι η ύπαρξη περισσότερων από μια μέτρησης SNR που μπορούν να αξιοποιηθούν. Ωστόσο, τα υπάρχοντα πρωτόκολλα δεν υποστηρίζουν τη συμπερίληψη αυτής της πληροφορίας μαζί με άλλες πληροφορίες που μεταφέρονται μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη.

Όταν κατασκευάζεται ένα μονοπάτι δρομολόγησης τότε η ποιότητα μετάδοσης μπορεί να υποβαθμιστεί ακόμα και όταν υποβαθμίζεται μία μόνο σύνδεση της πολυβηματικής μετάδοσης. Σε αυτό το περιβάλλον, η σύνδεση με τη χαμηλότερη ποιότητα επηρεάζει άμεσα τη συνολική ποιότητα του μονοπατιού δρομολόγησης. Για να υπερβούμε την παραπάνω δυσκολία ο μηχανισμός που υλοποιούμε διατηρεί μόνο την ελάχιστη μέτρηση SNR κατά μήκος του

μονοπατιού (η οποία είναι προφανώς πιο εύκολο να ενσωματωθεί σε ένα πακέτο βίντεο). Στη συνέχεια, αυτή η πληροφορία μεταβιβάζεται στο πρωτόκολλο TFRC και συμπεριλαμβάνεται στο επόμενο μήνυμα ανατροφοδότησης έτσι ώστε και ο αποστολέας και ο παραλήπτης να είναι ενήμεροι για την ποιότητα της σύνδεσης. Το μήνυμα ανατροφοδότησης περιέχει την ακόλουθη πληροφορία:

- Τη χρονοσήμανση του τελευταίου πακέτου που παραλήφθηκε την οποία όμως έχει εισάγει ο αποστολέας.
- Το διάστημα που μεσολάβησε μεταξύ του τελευταίου πακέτου δεδομένων που παραλήφθηκε και της δημιουργίας του μηνύματος ανατροφοδότησης. Αυτό γίνεται για να εξακριβωθεί πόσο επίκαιρο είναι ένα πακέτο ανατροφοδότησης, αφού είναι προφανές ότι σε περιπτώσεις που υπάρχουν ραγδαίες μεταβολές στην κατάσταση του δικτύου τότε έχει πολύ μεγάλη σημασία το πόσο επίκαιρη είναι η αναφορά που παράγεται.
- Το ρυθμό με τον οποίο ο παραλήπτης εκτιμά ότι μεταδίδονται τα δεδομένα από τη στιγμή που στάλθηκε το τελευταίο μήνυμα/αναφορά ανατροφοδότησης.
- Την εκτίμηση του παραλήπτη σχετικά με το ρυθμό απώλειας πακέτων δεδομένων.
- Το ελάχιστο SNR κατά μήκος του μονοπατιού δρομολόγησης από τον αποστολέα προς τον παραλήπτη.

Το μήνυμα ανατροφοδότησης του TFRC χρησιμοποιείται για την προσαρμογή του ρυθμού μετάδοσης βίντεο και επίσης για τη διατήρηση της ποιότητας σύνδεσης σε υψηλά επίπεδα. Γι αυτό το λόγο, ο μηχανισμός που περιγράφεται υλοποιεί έναν αλγόριθμο διαχείρισης του μηνύματος ανατροφοδότησης του TFRC (Αλγόριθμος 2).

Αρχικά, ο μηχανισμός εξάγει τη διεύθυνση του παραλήπτη και το ελάχιστο SNR που μετρήθηκε με στόχο να το συγκρίνει με ένα προκαθορισμένο κατώφλι. Έτσι, αν το SNR βρεθεί να είναι μικρότερο από το κατώφλι, αυτό σημαίνει

Αλγόριθμος 2 Μηχανισμός ανατροφοδότησης του TFRC

```

snr = getSnr(feedbackPacket)
receiver.address = getSourceAddress(feedbackPacket)

if NOW - lastDiscoveryTime > THRESHOLDTIMER then
    timerExpired = True
else
    timerExpired = False
end if

if snr < THRESHOLDSNR AND timerExpired == True then
    routingRecord = routingTable.lookup(receiverAddress)
    scheduleUpdateRoutingPath(routingRecord)
end if

Xrecv = getDataReceptionRate(feedbackPacket)
p = getEstimatedLoss(feedbackPacket)
adaptTransmission(receiver.address, Xrecv, p)

```

ότι η από άκρο σε άκρο επικοινωνία είναι πιθανό να χαθεί και γι αυτό το λόγο ξεκινάει μια καινούρια διαδικασία εύρεσης μονοπατιού δρομολόγησης. Επιπλέον, αξιολογείται ένας απλός χρονομετρητής για να αποφευχθούν πολύ συχνές διαδικασίες ανακάλυψης μονοπατιών. Αυτό σημαίνει ότι μια νέα διαδικασία ανακάλυψης επιτρέπεται να εκτελεστεί μόνο αν ο χρονομετρητής έχει λήξει.

Στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται η περιγραφή των εξομοιώσεων που έγιναν προκειμένου να διαπιστωθεί η αποδοτικότητα αυτής της υλοποίησης. Έπειτα, παρουσιάζουμε γραφικά τα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας μετρικές πολυμέσων και μετρικές δικτύων.

Κεφάλαιο 7

Πειραματική αξιολόγηση

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαδικασία της πειραματικής αξιολόγησης των μηχανισμών που περιγράφηκαν. Ακόμα, περιγράφεται λεπτομερώς το περιβάλλον εξομοίωσης και αναφέρονται εκτενώς οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για την καλύτερη αντίληψη των πειραμάτων. Η υλοποίηση των διαστρωματικών αρχιτεκτονικών σε πραγματικά δίκτυα θα απαιτούσε υλικοτεχνικό εξοπλισμό ο οποίος δεν είναι εύκολα διαθέσιμος και η άσκηση πειραμάτων μεγάλης κλίμακας θα ήταν αδύνατη. Για αυτό το λόγο, στην πειραματική αξιολόγηση που περιγράφεται, χρησιμοποιήσαμε το λογισμικό Network Simulator 2 και συγκεκριμένα την έκδοση 2.34 σαν βασικό εργαλείο για την προσομοίωση μετάδοσης πολυμεσικών δεδομένων σε ασύρματα δίκτυα. Ο πηγαίος κώδικας [35] που είναι διαθέσιμος για λήψη μπορεί να εφαρμοστεί και σε παλαιότερες εκδόσεις του εξομοιωτή, που υποστηρίζουν το λογισμικό Evalvid-RA [36].

7.1 Εξομοίωση πολυμεσικών δεδομένων

Για να εξομοιώσουμε την μετάδοση video MPEG-4 στον εξομοιωτή ns-2 χρησιμοποιήσαμε τον μηχανισμό Evalvid-RA. Το Evalvid υποστηρίζει μετάδοση πολυμέσων η οποία προσαρμόζεται κατά τη διάρκεια της μεταφοράς και

στηρίζεται πάνω στην δημιουργία αρχείων tracefiles για ένα MPEG-4 βίντεο. Έτσι, η μεταφορά των πολυμέσων γίνεται πιο εύκολη αφού στην ουσία εξομοιώνεται με την χρήση του tracefile και όχι μεταφέροντας την πραγματική ροή βίντεο.

Τα tracefiles του Evalvid-RA δεν πρέπει να συγχέονται με τα tracefiles του εξομοιωτή δικτύων ns-2, που είναι απαραίτητα για την ανάλυση. Με τη χρήση των tracefiles μπορούμε να κάνουμε εκ των υστέρων ανάλυση των πειραμάτων και να μετρήσουμε διάφορα μεγέθη μετά το τέλος της εξομοίωσης χωρίς να χρειάζεται να το κάνουμε κατά τη διάρκεια της εξομοίωσης. Ακόμη, με την πληροφορία που περιέχεται μπορούμε να αναπαραστήσουμε γραφικά τη θέση του κάθε κόμβου και είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε με κάθε λεπτομέρεια το χρόνο της μετάδοσης ενός πακέτου, την ποσότητα πληροφορίας, τους ενδιάμεσους κόμβους, κτλ. Στην περίπτωση των ασύρματων μεταδόσεων, ένα tracefile περιέχει τις πληροφορίες που φαίνονται στον πίνακα 7.1.

Τύπος	Τιμή
αριθμός διπλής ακρίβειας	Χρονοσήμανση
ακέραιος	αναγνωριστικός αριθμός κόμβου
αριθμός διπλής ακρίβειας	θέση στον άξονα X
αριθμός διπλής ακρίβειας	θέση στον άξονα Y
αλφαριθμητικό	όνομα μετάδοσης
αλφαριθμητικό	αιτιολογία
ακέραιος	αναγνωριστικό συμβάντος
αλφαριθμητικό	τύπος πακέτου
ακέραιος	μέγεθος πακέτου
δεκαεξαδικός αριθμός	χρόνος αποστολής δεδομένων
δεκαεξαδικός αριθμός	διεύθυνση MAC του παραλήπτη
δεκαεξαδικός αριθμός	διεύθυνση MAC του αποστολέα
δεκαεξαδικός αριθμός	τύπος (IP ή ARP)

Πίνακας 7.1: NS tracefile για ασύρματες μεταδόσεις

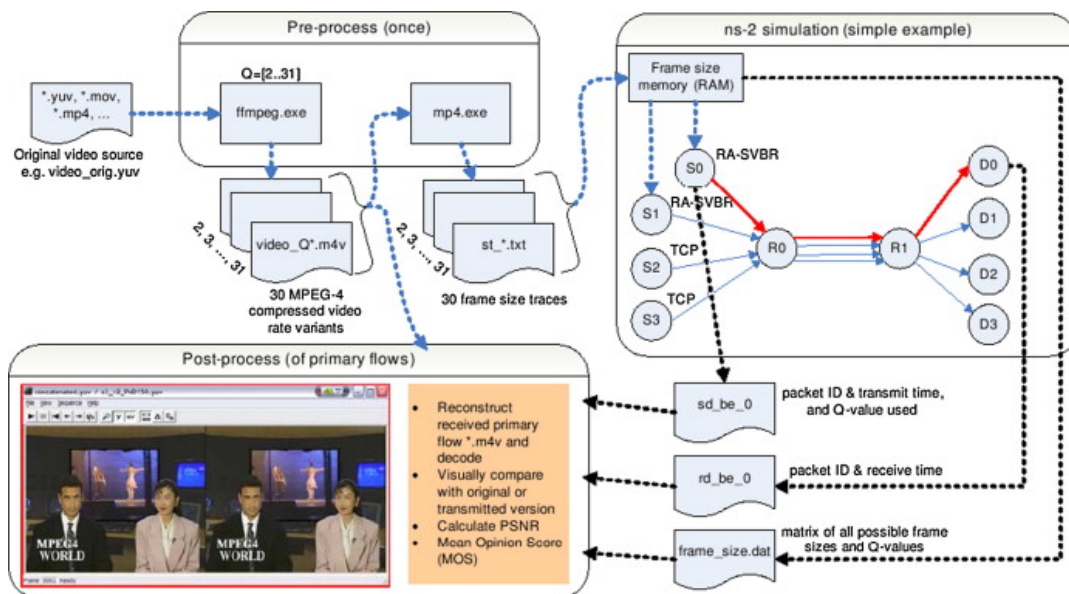
Σε αντίθεση με τα tracefiles του εξομοιωτή ns-2, τα tracefiles του Evalvid χρησιμοποιούνται πριν την έναρξη των μεταδόσεων, δηλαδή στη φάση

της προεπεξεργασίας. Αυτό γίνεται για να μπορεί να εξομοιωθεί η λειτουργία της κωδικοποίησης και να γίνει πιο εύκολη η μετάδοση πολυμέσων, χωρίς να απαιτείται η πραγματική μετάδοση βίντεο. Με αυτό τον τρόπο ελαχιστοποιούνται οι απαιτήσεις σε μνήμη και επεξεργαστική ισχύ και είμαστε σε θέση να εξομοιώνουμε σενάρια με περισσότερους κόμβους και βίντεο μεγαλύτερης διάρκειας, χωρίς όμως να υποβαθμίζεται η αξιοπιστία της εξομοίωσης. Ένα τυπικό Evalvid tracefile παρέχει τις εξής πληροφορίες:

- το μοναδικό αριθμό του πλαισίου
- το είδος του πλαισίου
- το μέγεθος του πλαισίου σε bytes
- το μοναδικό αριθμό του πλαισίου
- το μέγεθος του πλαισίου σε πακέτα (segments)
- τη χρονοσήμανση του πλαισίου

Μια εξέλιξη του Evalvid για προσαρμοστική μετάδοση είναι το Evalvid-RA. Το Evalvid-RA υποστηρίζει μετάδοση πολυμέσων με προσαρμοστικό ρυθμό μετάδοσης (rate adaptive transmission) βασισμένο και αυτό στην παραγωγή tracefiles από ένα αρχείο video MPEG. Αυτή η παραγωγή του tracefile γίνεται στη διαδικασία προεπεξεργασίας όπως φαίνεται στην εικόνα 7.1.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονίσουμε ότι τα tracefiles του evalvid αποτελούν αντικείμενο προεπεξεργασίας και δεν πρέπει να συγχέονται με τα tracefiles που παράγει ο εξομοιωτής, δηλαδή αυτά που διατηρούν πληροφορίες σχετικές με τον χρονοισμό και την επιτυχία/αποτυχία μετάδοσης σε κάθε κόμβο ξεχωριστά. Συνδυάζοντας αυτή την πληροφορία του tracefile του Evalvid και το αρχικό αρχείο video, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα εργαλεία που μας παρέχονται από το Evalvid-RA για την ανακατασκευή του βίντεο λαμβάνοντας υπόψιν τις απώλειες και τις καθυστερήσεις. Δηλαδή, μπορούμε να πούμε ότι εξομοιώνεται η πολυμεσική μετάδοση και τελικά παράγεται το βίντεο που θα



Εικόνα 7.1: Προεπεξεργασία μέσω του Evalvid-RA.

έβλεπε ο παραλήπτης. Στα εργαλεία του Evalvid περιλαμβάνονται και εργαλεία μέτρησης της ποιότητας όπως η μέτρηση του PSNR. Επομένως, μας επιτρέπει να μετρήσουμε τόσο τον "θόρυβο" όσο και το Mean Opinion Score.

Το Peak Signal to Noise Ratio ή PSNR αποτελεί μια πολύ χρήσιμη μετρική για αντικειμενική μέτρηση της ποιότητας βίντεο. Ο μαθηματικός ορισμός δίνεται στην εξίσωση 7.1. Το PSNR παράγεται από το Signal to Noise Ratio (SNR) και υπολογίζει τη μέγιστη δυνατή ενέργεια σήματος προς την ενέργεια θορύβου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει καλύτερη συσχέτιση με την υποκειμενική αντίληψη της ποιότητας απ ότι το παραδοσιακό SNR. Παρόλο που χρησιμοποιείται ευρέως, αυτή η μετρική έχει δεχθεί αρκετή κριτική από την ερευνητική κοινότητα γιατί δεν θεωρείται ότι εκφράζει απόλυτα την εμπειρία τελικού χρήστη (Quality of Experience). Διαισθητικά, η αντιστοίχιση του PSNR με το Mean Opinion Score και την λαμβανόμενη παραμόρφωση φαίνεται στον πίνακα 7.2.

$$PSNR(n)_{db} = 20 \log_{10} \frac{V_{peak}}{\sqrt{\frac{1}{N_{col}N_{row}} \sum_{i=0}^{N_{col}} \sum_{j=0}^{N_{row}} [Y_S(n, i, j) - Y_D(n, i, j)]^2}} \quad (7.1)$$

Κατά την φάση της προεπεξεργασίας με τη βοήθεια των εργαλείων του Evalvid ένα αρχείο video που είναι συνήθως σε μορφή YUV κωδικοποιείται σε 30 διαφορετικές ποιότητες μέσω του κωδικοποιητή MPEG-4. Η ποιότητα μεταβάλλεται από την καλύτερη δυνατή (με μεγάλο όμως μέγεθος) έως την χειρότερη, η οποία όμως μπορεί να μεταδίδεται ακόμα και σε περιπτώσεις που υπάρχει πολύ λίγο διαθέσιμο εύρος ζώνης. Με δεδομένο τις 30 διαφορετικές ποιότητες βίντεο, χρησιμοποιούμε τον κωδικοποιητή ffmpeg [37] για την δημιουργία των πραγματικών αρχείων MPEG-4.

Κατά τη διάρκεια των εξομοιώσεων παράγονται τα tracefiles τα οποία μας επιτρέπουν να ανακατασκευάσουμε τα αρχεία βίντεο με τις όποιες απώλειες και καθυστερήσεις, όπως θα είχαν σταλεί και σε πραγματικό δίκτυο. Οπότε, με το πέρας των εξομοιώσεων και αφού έχουμε συλλέξει τα tracefiles, χρησιμοποιούμε την εργαλειοθήκη του Evalvid για την ανακατασκευή των αρχείων βίντεο και τη χρήση μετρικών επί των καινούριων αρχείων. Η ανακατασκευή των λαμβανομένων αρχείων βίντεο γίνεται συγκρίνοντας το αρχικά μεταδιδόμενο video με το ανακατασκευασμένο αρχείο που τελικά φτάνει στον παραλήπτη. Σε αυτό το στάδιο γίνονται και οι μετρήσεις των μετρικών που αφορούν τα πλαίσια του βίντεο όπως το PSNR και MOS αλλά και την από άκρο σε άκρο καθυστέρηση και τη διακύμανση της. Με την παραπάνω διαδικασία μπορούμε να κάνουμε συγκρίσεις μεταξύ αλγορίθμων και να βγάλουμε συμπεράσματα για την αποδοτικότητα του καθενός.

PSNR	MOS	Παραμόρφωση
>37	Άριστη (5)	Μη αισθητή
31-37	Καλή (4)	Αισθητή αλλά όχι ενοχλητική
25-31	Μέτρια (3)	Ελαφρώς ενοχλητική
20-25	Φτωχή (2)	Ενοχλητική
<20	Κακή (1)	Πολύ ενοχλητική

Πίνακας 7.2: Αντιστοίχιση PSNR και Mean Opinion Score

Στην αξιολόγηση που παρουσιάζεται στις επόμενες ενότητες, εκτός από το PSNR, χρησιμοποιούμε και τις εξής ποιοτικές μετρικές:

- **Λόγος παράδοσης πακέτων ή Packet delivery ratio (PDR)**

Ο λόγος παράδοσης πακέτων ορίζεται ως το κλάσμα των παραληφθέντων πακέτων ως προς τα συνολικά πακέτα που στάλθηκαν. Αυτή αποτελεί μια πολύ σημαντική μετρική στα δίκτυα και ιδιαίτερα στα ασύρματα δίκτυα που οι απώλειες πακέτων είναι αυξημένες. Αν η εφαρμογή χρησιμοποιεί το TCP ως πρωτόκολλο μετάδοσης, τότε οι υψηλές απώλειες σε ενδιάμεσους κόμβους θα οδηγήσουν σε συνεχόμενες αναμεταδόσεις από τις πηγές με αποτέλεσμα να υπάρξει συμφόρηση. Αν η εφαρμογή χρησιμοποιεί το UDP ως πρωτόκολλο μετάδοσης, όπως οι περισσότερες εφαρμογές πολυμέσων, τότε οι υψηλές απώλειες πακέτων μπορούν να υποβαθμίσουν την ποιότητα που απολαμβάνει ο τελικός αποδέκτης.

- **Μέση από άκρο σε άκρο καθυστέρηση (average end-to-end delay)**

Η από άκρο σε άκρο καθυστέρηση περιλαμβάνει όλες τις πιθανές καθυστερήσεις στο δίκτυο που δημιουργούνται εξαιτίας της καθυστέρησης για τις διαδικασίες εύρεσης μονοπατιού δρομολόγησης. Ακόμα, περιλαμβάνει καθυστερήσεις από αναμεταδόσεις από τους ενδιάμεσους κόμβους, καθυστερήσεις διάδοσης, επεξεργασίας και καθυστερήσεις λόγω αναμονής σε ουρά. Για να βρούμε τη μέση από άκρο σε άκρο καθυστέρηση προσθέτουμε κάθε μια καθυστέρηση που μετράται για κάθε επιτυχημένη παραλαβή ενός πακέτου δεδομένων. Αυτή η μετρική θεωρείται πολύ σημαντική σε εφαρμογές που είναι ευαίσθητες σε καθυστερήσεις όπως οι μεταδόσεις φωνής και βίντεο.

- **Διακύμανση της καθυστέρησης (jitter)**

Η διακύμανση της καθυστέρησης πακέτων ορίζεται ως η διακύμανση των από άκρο σε άκρο καθυστερήσεων μεταξύ επιλεγμένων πακέτων σε μια σύνδεση. Τα χαμένα πακέτα αγνοούνται από αυτή τη μετρική. Όπως και στην από άκρο σε άκρο καθυστέρηση το jitter είναι εξίσου σημαντικό σε περιπτώσεις μετάδοσης πολυμέσων και άλλων εφαρμογών που είναι ευαίσθητες στην καθυστέρηση.

Τα σενάρια εξομοίωσης που εξομοιώνονται περιέχουν ένα πλήθος από κόμβους οι οποίοι κινούνται με διαφορετική ταχύτητα και προς διαφορετικές

κατευθύνσεις. Είναι προφανές ότι η παραγωγή τέτοιων αρχείων είναι επίπονη, ειδικά αν αναλογιστούμε την τυχαιότητα που πρέπει να υπάρχει. Έτσι, για να παράγουμε τα σενάρια κίνησης χρησιμοποιήσαμε το εργαλείο Bonnmotion [38].

7.2 Αξιολόγηση μηχανισμού ανάθεσης προτεραιοτήτων στα πλαίσια του βίντεο

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζουμε τη διαδικασία πειραματικής αξιολόγησης του μηχανισμού που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Όπως και η παρούσα εργασία έτσι και οι περισσότερες εργασίες της ερευνητικής κοινότητας αξιολογούνται μέσω του εξομοιωτή ns-2. Αυτές οι αξιολογήσεις βασίζονται κυρίως σε κλασσικές μετρικές δικτύων που αφορούν το ποσοστό απώλειας, την καθυστέρηση μετάδοσης, κτλ. Η δική μας προσέγγιση συνδυάζει τόσο δικτυακές μετρικές όσο και μετρικές βίντεο, όπως το Peak Signal to Noise Ratio, με στόχο να αξιολογηθεί η ποιότητα του λαμβανόμενου βίντεο στην μεριά του παραλήπτη.

Για την εξομοίωση της μετάδοσης, χρησιμοποιούμε το περιβάλλον Evalvid, με ένα βίντεο των 7319 πλαισίων και διάρκειας 365 δευτερολέπτων. Η τοπολογία δικτύου εξομοιώνει το πλέγμα κίνησης πόλης "Manhattan" με τετράγωνα ίδιου μεγέθους. Επειδή μελετάμε δίκτυα κινητών κόμβων που βρίσκονται μέσα σε οχήματα, η μοντελοποίηση της κίνησης με τετράγωνα σταθερού μεγέθους θεωρείται ως ιδανική γιατί μπορεί να αντιπροσωπεύσει μια μεγάλη πόλη. Ο χώρος εξομοίωσης είναι 2000x2000 μέτρα σε ένα πλέγμα 4x4.

Μέσα σε αυτό τον χώρο κινούνται 300 κόμβοι που εξομοιώνουν κινούμενα οχήματα οι οποίοι είναι στην ουσία οι αποστολείς του βίντεο, οι παραλήπτες και οι ενδιάμεσοι κόμβοι. Ρυθμίζουμε τους κόμβους να κινούνται με μεταβλητή ταχύτητα από 0 έως 20m/sec, έχοντας μια μέση τιμή κοντά στα 15m/sec. Η μετάδοση του βίντεο γίνεται ακολουθώντας το πρωτόκολλο Real-time Transport Protocol που είναι σχεδιασμένο για μετάδοση ήχου και βίντεο πάνω από δίκτυα IP. Ο πίνακας 7.3 συνοψίζει τις παραμέτρους εξομοίωσης.

Πρωτόκολλο δρομολόγησης	AODV
Μοντελοποίηση τοπολογίας	Μοντέλο πόλης "Manhattan"
Διάρκεια εξομοίωσης	365 δευτερόλεπτα
Πλήθος κόμβων	300
Περιοχή εξομοίωσης	500x500 μέτρα
Ταχύτητα κίνησης κόμβων	0-20 m/sec (τυχαία)
Κεραία	Omni
MAC	802.11e
Εφαρμογή	RTP

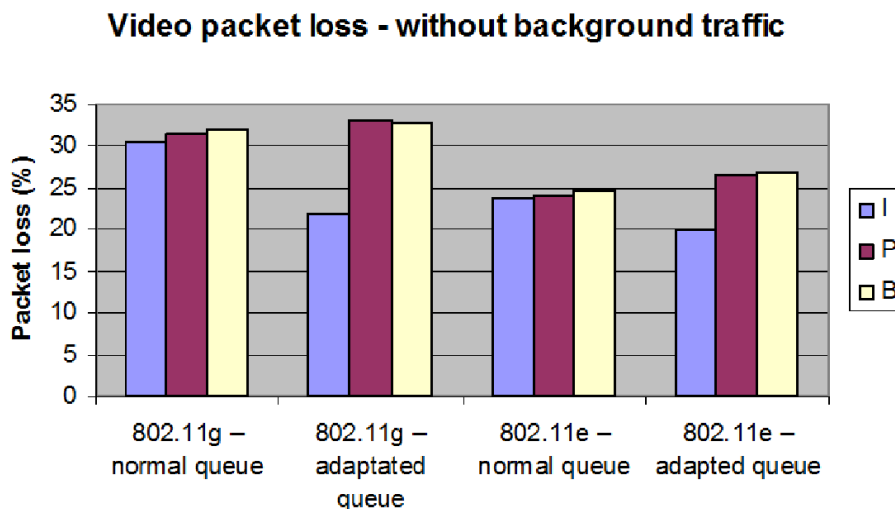
Πίνακας 7.3: Παράμετροι εξομοίωσης μηχανισμού ανάθεσης προτεραιοτήτων

Για να αξιολογήσουμε την απόδοση του μηχανισμού μας, πραγματοποιούμε δυο σενάρια εξομοίωσης. Το πρώτο σενάριο εστιάζει στην αξιολόγηση του αλγορίθμου προγραμματισμού και ανάθεσης προτεραιοτήτων, χωρίς καθόλου κίνηση από άλλες εφαρμογές (background traffic). Αυτό γίνεται για να εξακριβώσουμε κατά πόσο προστατεύονται τα I-frames. Το δεύτερο σενάριο εξομοίωσης εστιάζει στην ανάλυση απόδοσης του μηχανισμού, σε ένα δίκτυο που έχει ταυτόχρονα ενεργή κίνηση και από άλλες εφαρμογές. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να εξακριβώσουμε τη βελτίωση που εισάγει ο μηχανισμός προτεραιότητας του επιπέδου MAC στα πακέτα βίντεο.

7.2.1 Απόδοση μηχανισμού σε δίκτυο χωρίς ανταγωνιστική κίνηση

Σε αυτή την εξομοίωση υποθέτουμε ότι υπάρχει μόνο μια μετάδοση βίντεο στο δίκτυο χωρίς άλλη κίνηση δεδομένων. Έτσι, τα μεταδιδόμενα πακέτα είναι είτε πακέτα βίντεο ή πακέτα με πληροφορία δρομολόγησης. Πραγματοποιούμε δυο διαφορετικά σενάρια εξομοίωσης χρησιμοποιώντας τα πρωτόκολλα IEEE 802.11g και 802.11e αντίστοιχα. Ο στόχος της εξομοίωσης είναι η αξιολόγηση του μηχανισμού που ενισχύει την προστασία των I-frames, των πιο σημαντικών

δηλαδή πλαισίων του βίντεο MPEG-4. Η σύγκριση δείχνει πως η προσαρμογή στην ουρά πακέτων επηρεάζει τη μετάδοση πολυμέσων.



Εικόνα 7.2: Απώλεια πλαισίων βίντεο στο σενάριο χωρίς ανταγωνιστική κίνηση.

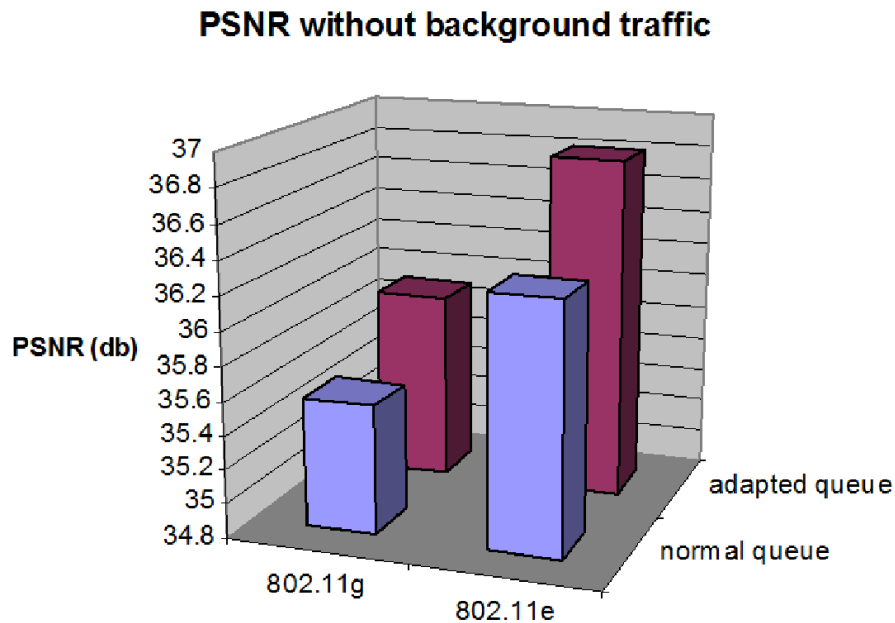
Όπως φαίνεται από την εικόνα 7.2, η υλοποιημένη προσαρμοστική ουρά οδηγεί σε μια σημαντική μείωση της απώλειας των I-frames, με αντάλλαγμα την ελαφρά αύξηση των P-frames και B-frames. Σε αντίθεση, η απώλεια πακέτων παραμένει σχεδόν ίδια για κάθε τύπο πλαισίων όταν χρησιμοποιούμε την κανονική ουρά FIFO.

	802.11g	802.11e
Ποσοστό συνολικής παράδοσης πακέτων	69,7%	75,2 %
Μέση από άκρο σε άκρο καθυστέρηση	499ms	343ms

Πίνακας 7.4: Αποτελέσματα στο σενάριο χωρίς ανταγωνιστική κίνηση.

Ο πίνακας 7.4 εμφανίζει τα αποτελέσματα στο σενάριο χωρίς ανταγωνιστική κίνηση με χρήση μετρικών δικτύων. Οι μετρικές για τη συνολική απώλεια πακέτων και την από άκρο σε άκρο καθυστέρηση σχετίζονται κυρίως με τις συνθήκες που επικρατούν στο δίκτυο και δεν επηρεάζονται από το μηχανισμό ανάθεσης προτεραιοτήτων στα πακέτα βίντεο. Επιπρόσθετα, όταν

χρησιμοποιούμε το πρωτόκολλο 802.11e, τα πακέτα δρομολόγησης μεταδίδονται με τη μέγιστη προτεραιότητα βελτιώνοντας έτσι την απόδοση του AODV.



Εικόνα 7.3: PSNR στο σενάριο χωρίς ανταγωνιστική κίνηση.

Εκτός όμως από τις παραπάνω μετρικές χρησιμοποιούμε το PSNR για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας του προτεινόμενου μηχανισμού. Η εικόνα 7.3 δείχνει ότι η υλοποιημένη προσαρμοστική ουρά οδηγεί σε μια σημαντική βελτίωση της μέτρησης PSNR και σε δίκτυα που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο 802.11g και το 802.11e. Όπως αναμενόταν, η χρήση του IEEE 802.11e εμφανίζεται να είναι ευεργετική αφού παρατηρούνται καλύτερα αποτελέσματα συγκριτικά με το 802.11g εξαιτίας των βελτιώσεων που εισάγει σχετικά με την παροχή ποιότητας υπηρεσίας. Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι όλα τα παραπάνω συμβάλλουν στη βελτίωση της εμπειρίας που απολαμβάνει ο τελικός χρήστης.

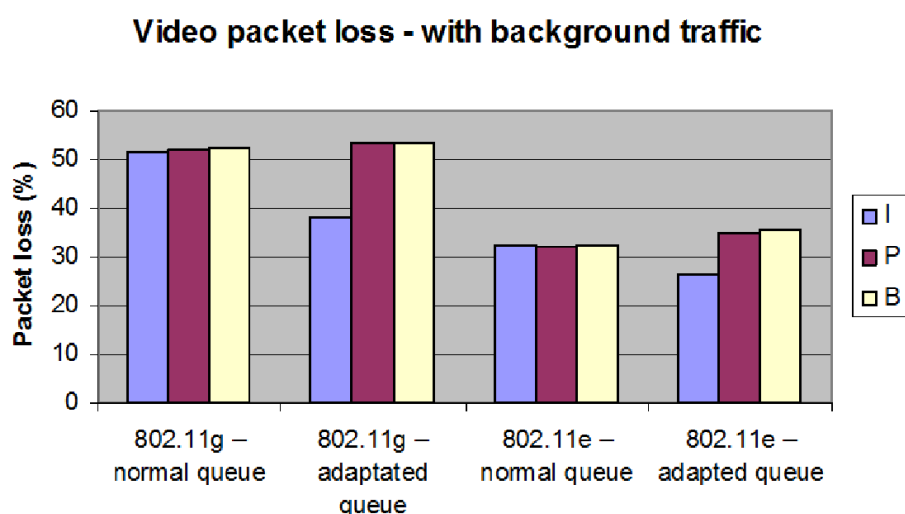
7.2.2 Απόδοση μηχανισμού σε δίκτυο με ανταγωνιστική κίνηση

Σε αυτό το σύνολο εξομοιώσεων χρησιμοποιούμε την ίδια μετάδοση βίντεο όπως και στις προηγούμενες εξομοιώσεις. Ωστόσο, αυτή τη φορά εισάγουμε 20 συνδέσεις στο δίκτυο που αφορούν εφαρμογές με χρήση του πρωτοκόλλου TCP. Η ποσότητα των δεδομένων που μεταφέρονται στο δίκτυο από κάθε κόμβο κατά τη διάρκεια της εξομοίωσης είναι περίπου 910 kilobytes. Επιπρόσθετα, πραγματοποιούμε δύο διαφορετικές εξομοιώσεις με διαφορετικά σενάρια, δηλαδή με χρήση του 802.11g και 802.11e αντίστοιχα. Όπως και προηγουμένως, ο στόχος μας είναι να αξιολογήσουμε την υλοποιημένη ουρά προτεραιότητας που παρέχει υψηλή προτεραιότητα σε πακέτα βίντεο. Ο τύπος των πακέτων σε αυτή την περίπτωση μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως εξής:

- Πακέτα βίντεο
- Πακέτα με πληροφορίες δρομολόγησης
- Πακέτα δεδομένων ανταγωνιστικής κίνησης

Σύμφωνα με την εικόνα 7.4, οι απώλειες των πλαισίων βίντεο έχουν αυξηθεί σε αντίθεση με τις συνολικές απώλειες πακέτων στο δίκτυο. Αυτή η συμπεριφορά μπορεί να θεωρηθεί φυσιολογική αν αναλογιστούμε το πλήθος των πακέτων που ανήκουν στην ανταγωνιστική κίνηση (περίπου 50.000) και στα πακέτα βίντεο (περίπου 13.000). Επιπλέον, το μέγεθος των πακέτων βίντεο είναι πολύ μεγαλύτερο απ' ό,τι των άλλων πακέτων που μεταδίδονται. Έτσι, η πιθανότητα προβληματικής μετάδοσης ενός πακέτου βίντεο είναι αρκετά αυξημένη συγκριτικά με τα άλλα είδη πακέτων. Ωστόσο, το ποσοστό παράδοσης των πακέτων ανταγωνιστικής κίνησης έχει σημαντική επίδραση στο συνολικό ποσοστό, όπως μπορεί να φανεί στον πίνακα 7.5.

Σε αυτό το σύνολο εξομοιώσεων ο υλοποιημένος μηχανισμός ουράς προτεραιότητας, ευνοεί τα πακέτα βίντεο και γι αυτό το λόγο παρατηρούμε μια σημαντική βελτίωση στην απώλεια των I-frames. Μάλιστα, πρέπει



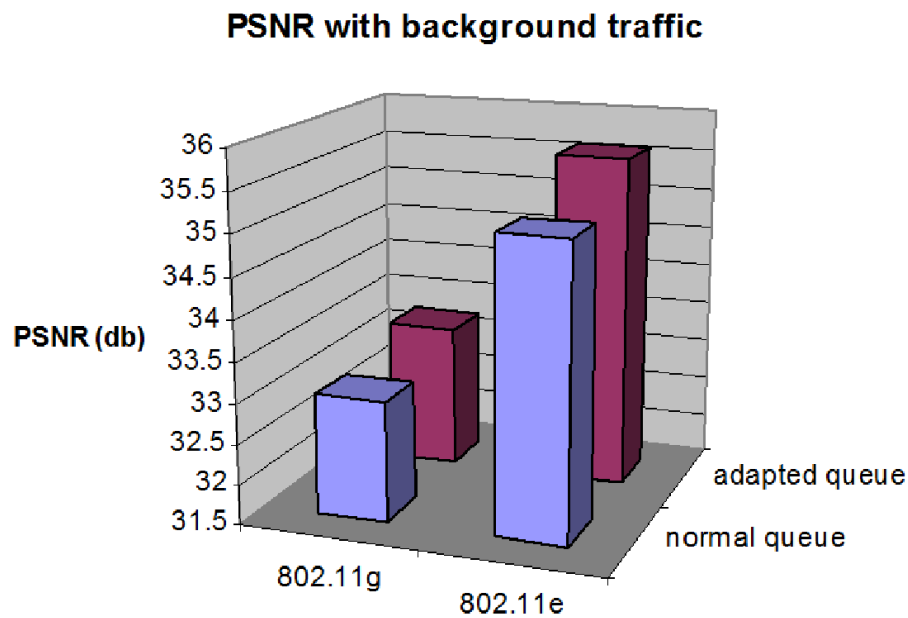
Εικόνα 7.4: Απώλεια πλαισίων βίντεο στο σενάριο με ανταγωνιστική κίνηση.

	802.11g	802.11e
Ποσοστό συνολικής παράδοσης πακέτων	80,8%	89,8 %
Μέση από άκρο σε άκρο καθυστέρηση	351ms	217ms

Πίνακας 7.5: Αποτελέσματα στο σενάριο με ανταγωνιστική κίνηση.

να σημειώσουμε ότι η βελτίωση είναι αρκετά μεγαλύτερη από αυτή του προηγούμενου σεναρίου εξομοίωσης χωρίς ανταγωνιστική κίνηση. Το αντάλλαγμα που "πληρώνουμε" για αυτή τη βελτίωση του ποσοστού απώλειας των I-frames είναι η αύξηση της απώλειας των πλαισίων τύπου P και B. Ωστόσο, αυτό δε θεωρείται πολύ σημαντικό συγκρινόμενο με το πλεονέκτημα της καλύτερης ποιότητας βίντεο λόγω του βελτιωμένου ποσοστού παράδοσης πακέτων των πλαισίων τύπου I.

Η εικόνα 7.5 δείχνει ότι η υλοποιημένη ουρά προτεραιότητας οδηγεί σε σημαντική βελτίωση της μέτρησης PSNR τόσο στην περίπτωση που χρησιμοποιούμε το πρωτόκολλο IEEE 802.11g και 802.11e. Είναι σημαντικό να παρατηρήσουμε ότι η λαμβανόμενη ποιότητα που απολαμβάνει ο τελικός χρήστης δεν υποβαθμίζεται από την ανταγωνιστική κίνηση.

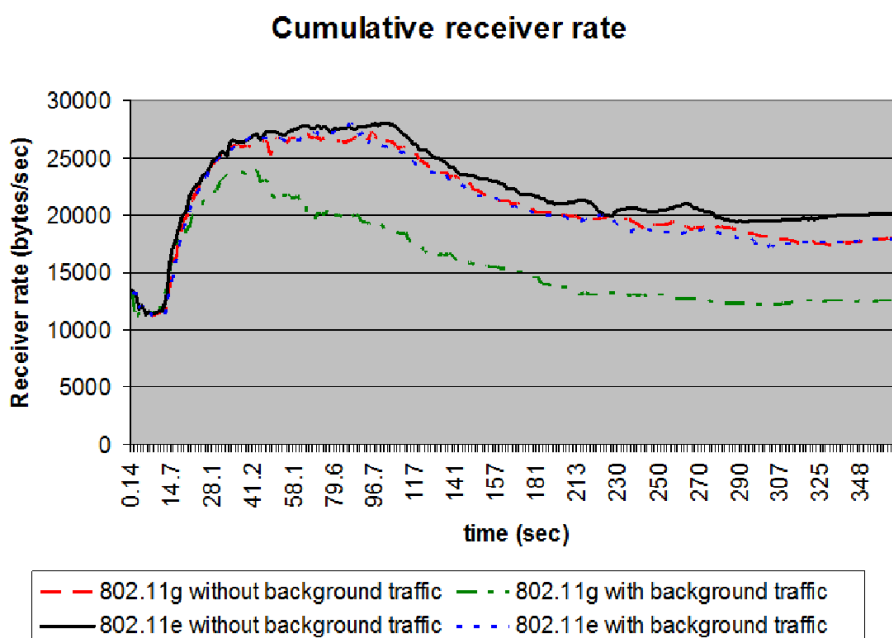


Εικόνα 7.5: PSNR στο σενάριο με ανταγωνιστική κίνηση.

Τέλος, μπορούμε να δούμε την επίδραση της διαφοροποίησης της κίνησης δικτύου και της ανάθεσης διαφορετικής προτεραιότητας στο ρυθμό παραλαβής δεδομένων. Οι περιπτώσεις που εφαρμόζουμε το μηχανισμό ουράς προτεραιότητας παραλείπονται αφού οι αλλαγές στον προγραμματισμό της ουράς δεν επηρεάζουν τον πραγματικό ρυθμό μετάδοσης. Η αξιοποίηση του πρωτοκόλλου 802.11e και των κλάσεων που μας παρέχει, αποδεικνύεται ιδιαίτερα αποδοτική, όπως φαίνεται και στην εικόνα 7.6. Ο ρυθμός παραλαβής δεδομένων στο σενάριο με χρήση του 802.11e και με ανταγωνιστική κίνηση προσεγγίζει τα αποτελέσματα του σεναρίου χωρίς κίνηση και με χρήση του 802.11g.

7.3 Αξιολόγηση διαστρωματικού μηχανισμού προσαρμοστικής μετάδοσης

Για τις ανάγκες αξιολόγησης χρησιμοποιούμε τον εξομοιωτή δικτύου ns-2 και τον επεκτείνουμε κατάλληλα με στόχο την υποστήριξη των μηχανισμών που

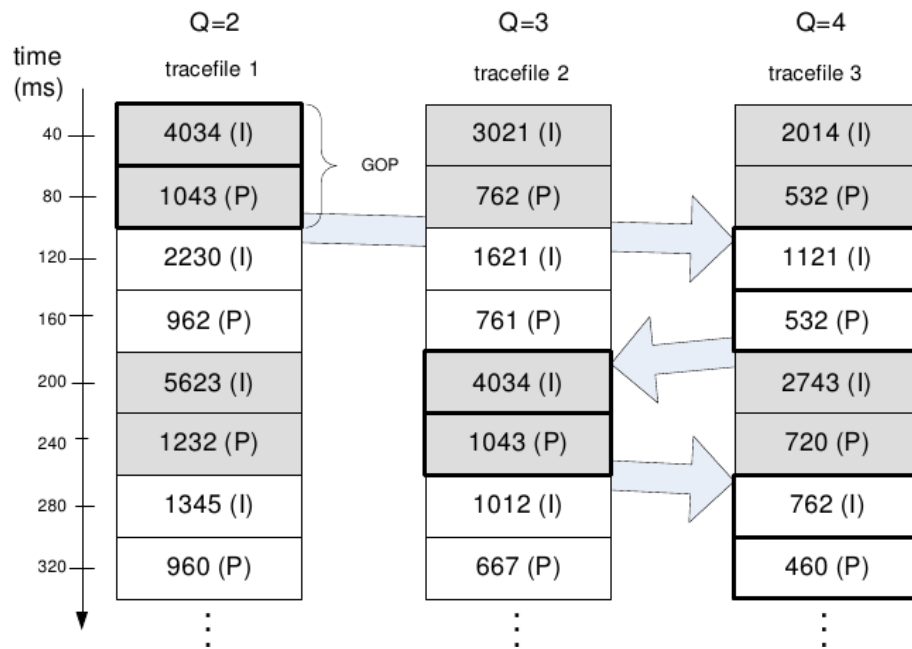


Εικόνα 7.6: Μέσος ρυθμός παραλαβής.

περιγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Για να πραγματοποιηθούν οι εξομοιώσεις με πραγματικά αρχεία βίντεο, χρησιμοποιούμε το λογισμικό Evalvid-RA που μπορεί να μεταδώσει πολυμέσα με μεταβαλλόμενο ρυθμό (Variable Bit Rate).

7.3.1 Περιβάλλον εξομοίωσης

Το Evalvid-RA έχει την ικανότητα να παράγει βίντεο με πραγματικό προσαρμοστικό ρυθμό μετάδοσης. Ο ελεγκτής ρυθμού μετάδοσης που διαθέτει επιλέγει την ποιότητα βίντεο και το ρυθμό μετάδοσης από προκατασκευασμένα tracefiles ανάλογα με την ύπαρξη συμφόρησης. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 7.7, ο ελεγκτής ρυθμού μετάδοσης του Evalvid-RA που εκτελείται κατά τη διάρκεια της εξομοίωσης, διαλέγει τη σωστή ποιότητα από τα διάφορα tracefiles. Αυτά τα αρχεία αναπαριστούν διαφορετικές ποιότητες βίντεο για κάθε κλίμακα. Η ίδια εικόνα δείχνει ένα παράδειγμα μετάδοσης βίντεο με 25 πλαίσια ανά δευτερόλεπτο και προεπεξεργασμένες ποιότητες. Το μέγεθος GOP είναι 2, με τα πλαίσια I και P να εναλλάσσονται.



Εικόνα 7.7: Ελεγκτής ρυθμού μετάδοσης.

Για τις εξομοιώσεις μας, χρησιμοποιούμε ένα αρχείο βίντεο σε μορφή YUV που αποτελείται από 9144 πλαίσια και έχει διάρκεια 366 δευτερόλεπτα. Τεχνικά, κωδικοποιούμε το βίντεο με χρήση του κωδικοποιητή ffmpeg για να παραχθεί το MPEG-4 αρχείο. Η ανάλυση του βίντεο είναι 176x144 pixels, γνωστή και ως Quarter Common Intermediate Format (QCIF). Το Group of Pictures (GoP) είναι 12 και χρησιμοποιούμε 25 πλαίσια ανά δευτερόλεπτο. Μετά την εξομοίωση, ανακατασκευάζουμε το ληφθέν βίντεο και πραγματοποιούμε μια σύγκριση πλαίσιο-πλαίσιο μεταξύ του αρχικού αρχείου και του αρχείου που παραλαμβάνει ο κόμβος προορισμού. Αυτό γίνεται για να είμαστε σε θέση να αξιολογήσουμε την ποιότητα του βίντεο που φτάνει τελικά στο χρήστη και κατά συνέπεια να δούμε πόσο αποδοτικός είναι ο μηχανισμός μας.

Το μοντέλο κίνησης που χρησιμοποιούμε είναι βασισμένο στο μοντέλο πόλης "Manhattan" με τετράγωνα σταθερού μεγέθους. Θεωρούμε το μοντέλο "Manhattan" ως το πλέον κατάλληλο για την αναπαράσταση της τοπολογίας ενός δικτύου VANET σε μια μεγάλη πόλη. Ο χώρος εξομοίωσης είναι 500x500 μέτρα σε ένα πλέγμα 5x5. Μέσα σε αυτή την περιοχή, τοποθετούμε 50 κινητούς κόμβους που αναπαριστούν συσκευές μέσα σε οχήματα, δηλαδή αποστολείς και παραλήπτες

Μοντελοποίηση τοπολογίας	Μοντέλο πόλης "Manhattan"
Διάρκεια εξομοίωσης	366 δευτερόλεπτα
Πλήθος κόμβων	50
Περιοχή εξομοίωσης	500x500 μέτρα
Ταχύτητα κίνησης κόμβων	0-10 m/sec
Κεραία	Omni
MAC	802.11e
Εύρος ζώνης	2Mbps
Ρυθμός μετάδοσης πολυμέσων	32kbps-2Mbps (μεταβλητό)

Πίνακας 7.6: Παράμετροι εξομοίωσης μηχανισμού προσαρμοστικής μετάδοσης

πολυμέσων. Η ταχύτητα κίνησης μεταβάλλεται από 0 σε 10m/sec, έχοντας μέση τιμή 4m/sec. Η εξομοίωση περιλαμβάνει μια μικρού ρυθμού ανταγωνιστική κίνηση μεταξύ τυχαίων κόμβων. Οι κόμβοι μεταδίδουν με σταθερό ρυθμό Constant Bit Rate (CBR) μια ποσότητα της τάξης των 2,560 bytes ανά δευτερόλεπτο. Ο πίνακας 7.6 συνοψίζει τις παραμέτρους εξομοίωσης για την καλύτερη αντίληψη των πειραμάτων.

7.3.2 Πειραματική αξιολόγηση

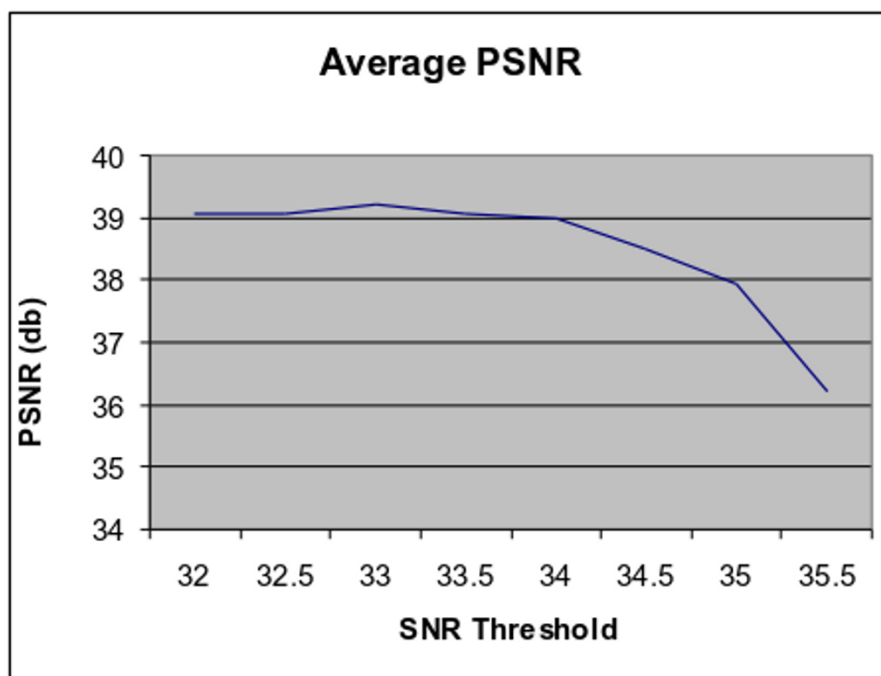
Η απόδοση των προτεινόμενων υλοποιήσεων αξιολογείται σε τρία σενάρια:

1. Χωρίς τη χρήση των κλάσεων κίνησης του 802.11e.
2. Με τη χρήση των κλάσεων κίνησης του 802.11e για να δώσουμε προτεραιότητα στα πακέτα βίντεο αντί των πακέτων της ανταγωνιστικής κίνησης.
3. Ενεργοποιώντας τον προσαρμοστικό μηχανισμό που αξιοποιεί τις μετρήσεις SNR από το επίπεδο Ζεύξης για περεταίρω βελτίωση.

Για να εξερευνήσουμε την επιρροή του κατώφλιού του SNR στην ποιότητα του λαμβανόμενου βίντεο από τον τελικό χρήστη, κάναμε ένα σύνολο από εξομοιώσεις. Για τις ανάγκες αυτών των εξομοιώσεων υπολογίζουμε το Peak Signal to Noise Ratio (PSNR), συγκρίνοντας το αρχείο βίντεο που στέλνει η πηγή με το ίδιο αρχείο που ανακατασκευάζεται στη μεριά του παραλήπτη. Η σύγκριση γίνεται πλαίσιο-πλαίσιο και τα αποτελέσματα δείχνουν ότι μπορούμε να βρούμε ένα καλό όριο για τη συνέχεια των πειραμάτων. Αξίζει να τονίσουμε ότι η επιλογή του κατώφλιού επηρεάζει την αποδοτικότητα της ανακατασκευής των μονοπατιών δρομολόγησης. Επιλέγοντας ένα χαμηλό κατώφλι μπορεί να οδηγήσει σε πολύ αργή ανακατασκευή, ενώ επιλέγοντας ένα υψηλό κατώφλι μπορεί να οδηγήσει σε πρόωρη ανακατασκευή και να επιβαρύνει το δίκτυο με περισσότερα πακέτα δρομολόγησης. Για τη γενική αξιολόγηση της απόδοσης του διαστρωματικού σχεδιασμού μας, εξετάζουμε τόσο το PSNR σε σύγκριση με το αρχικό βίντεο όσο και τη μέση ρυθμικόδοση, το ποσοστό παράδοσης πακέτων και τη μέση από άκρο σε άκρο καθυστέρηση. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων δείχνουν ότι τόσο η κατηγοριοποίηση της κίνησης όσο και η αξιοποίηση του μηχανισμού SNR οδηγεί σε σημαντική βελτίωση σε όλες τις προαναφερθείσες μετρικές κατά τη διάρκεια της μετάδοσης βίντεο πάνω στο κινητό δίκτυο.

Στην εικόνα 7.8 φαίνονται οι μετρήσεις του PSNR για διαφορετικά κατώφλια SNR. Επομένως, στα υπόλοιπα σενάρια που ακολουθούν, ρυθμίζουμε το κατώφλι SNR του μηχανισμού στα 33.0 dB. Πρέπει να τονίσουμε ωστόσο ότι τα αποτελέσματα μέτρησης του PSNR που παρουσιάζονται φανερώνουν ένα βέλτιστο κατώφλι το οποίο όμως δε σημαίνει ότι είναι το κατάλληλο για όλους τους τύπους δικτύων, τοπολογιών, μοντέλων κίνησης και συνθηκών δικτύου.

Επειδή ο διαστρωματικός μηχανισμός στοχεύει στη βελτίωση μεταδόσεων βίντεο, η αξιολόγηση του στηρίζεται σε μετρικές αξιολόγησης πολυμέσων. Έτσι, η εικόνα 7.9 δείχνει το μέσο PSNR για τα τρία σενάρια πειραμάτων που περιγράψαμε. Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η κατηγοριοποίηση της κίνησης δεδομένων με τη χρήση του 802.11e οδηγεί σε μια μικρή βελτίωση του μέσου PSNR, αλλά η ενεργοποίηση του μηχανισμού μετρήσεων SNR οδηγεί σε πολύ σημαντική βελτίωση. Δηλαδή, παρατηρούμε ότι η βελτίωση αν

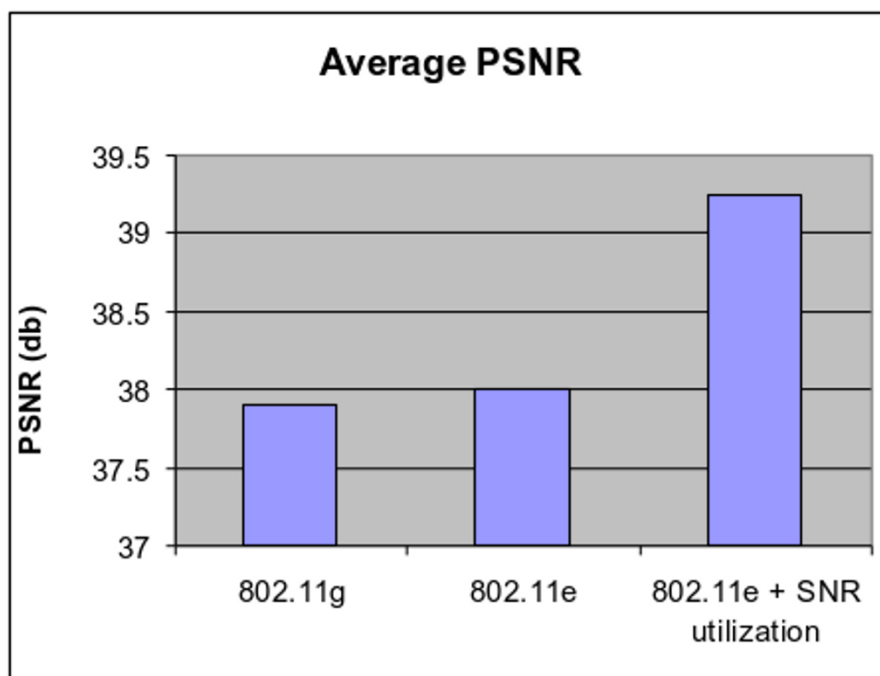


Εικόνα 7.8: PSNR συναρτήσει του κατωφλιού SNR.

συγκρίνουμε με το 802.11g μας δίνει περισσότερο από 1.5dB που αποτελεί πολύ σημαντικό αποτέλεσμα.

Αυτό σημαίνει ότι για όλα τα είδη των πλαισίων, η υλοποίηση του διαστρωματικού μηχανισμού που λαμβάνει υπόψιν τις μετρήσεις SNR για την καλύτερη εκτίμηση της ποιότητας επικοινωνίας, καταφέρνει να μειώσει την απώλεια πλαισίων βίντεο. Αυτό το γεγονός επιτρέπει στον παραλήπτη να βελτιώσει την ανακατασκευή του βίντεο και να λάβει καλύτερη ποιότητα πολυμέσων. Αξίζει να σημειωθεί ότι χωρίς τη διαστρωματική σχεδίαση, οι απώλειες πλαισίων βίντεο μπορεί να οδηγήσουν και στην αδυναμία ανακατασκευής. Αντιθέτως, οι απώλειες πλαισίων όταν εφαρμόζουμε τους προτεινόμενους μηχανισμούς είναι σε επίπεδα που η ανακατασκευή μπορεί να γίνει με μόνο μερικές παραμορφώσεις.

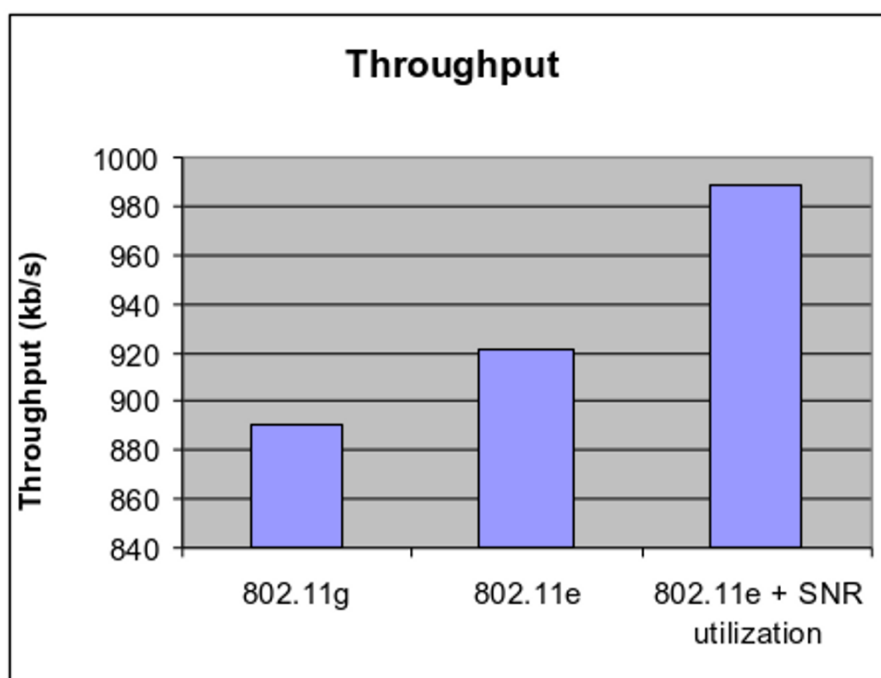
Η εικόνα 7.10 δείχνει τη μέση ρυθμαπόδοση για τα τρία εξεταζόμενα σενάρια εξομοίωσης. Και πάλι, η κατηγοριοποίηση της κίνησης (με τη χρήση του 802.11e) οδηγεί σε μια βελτίωση της ρυθμαπόδοσης και η αξιοποίηση του μηχανισμού μέτρησης SNR βελτιώνει ακόμα περισσότερο τη ρυθμαπόδοση. Στην τελευταία



Εικόνα 7.9: Μέσο PSNR με χρήση του 802.11g, 802.11e και του προσαρμοστικού μηχανισμού.

περίπτωση παρατηρούμε βελτίωση μεγαλύτερη από 100kbps συγκριτικά με την περίπτωση που χρησιμοποιούμε το απλό 802.11g. Πρέπει να παρατηρήσουμε ότι η βελτίωση της ρυθμαπόδοσης είναι σημαντική όσον αφορά την ποιότητα υπηρεσίας (QoS) από τη μεριά του τελικού χρήστη. Για να επιβεβαιώσουμε αυτό το συμπέρασμα, αρκεί να παρατηρήσουμε την εικόνα 7.9, όπου φαίνεται ότι μια μικρή βελτίωση της ρυθμαπόδοσης μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική βελτίωση της λαμβανόμενης ποιότητας βίντεο.

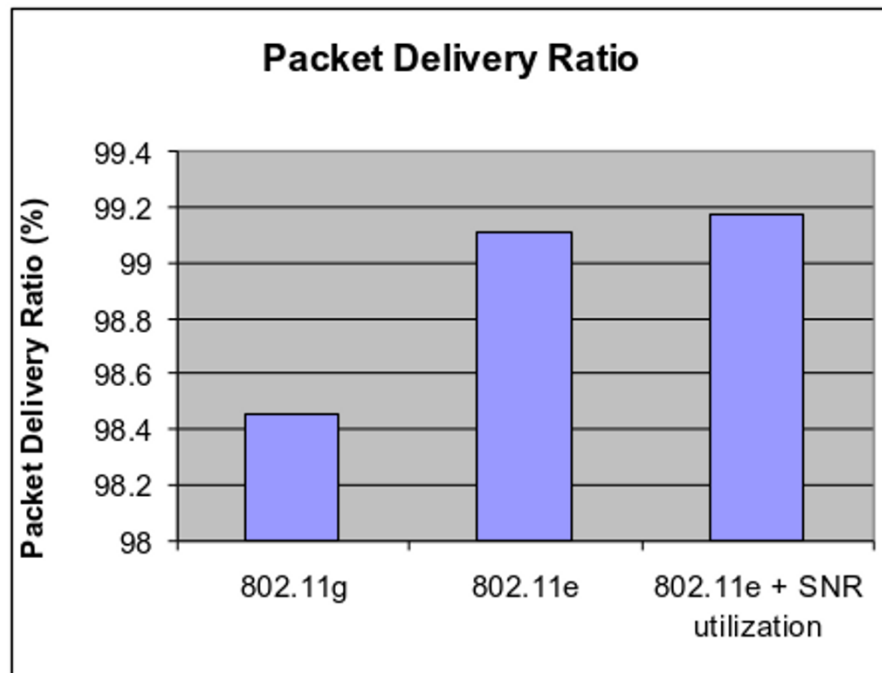
Η εικόνα 7.11 δείχνει το ποσοστό παράδοσης πακέτων για τα τρία σενάρια αξιολόγησης. Βλέπουμε ότι μπορούμε να βγάλουμε παρόμοια συμπεράσματα όπως με την περίπτωση της μέσης ρυθμαπόδοσης. Για ακόμα μια φορά η κατηγοριοποίηση κίνησης μέσω του πρωτοκόλλου IEEE 802.11e οδηγεί σε σημαντική βελτίωση του ποσοστού παράδοσης πακέτων. Παράλληλα, η χρήση του διαστρωματικού μηχανισμού μέτρησης SNR οδηγεί σε μια επιπλέον μικρή αλλά σημαντική βελτίωση του ποσοστού παράδοσης πακέτων.



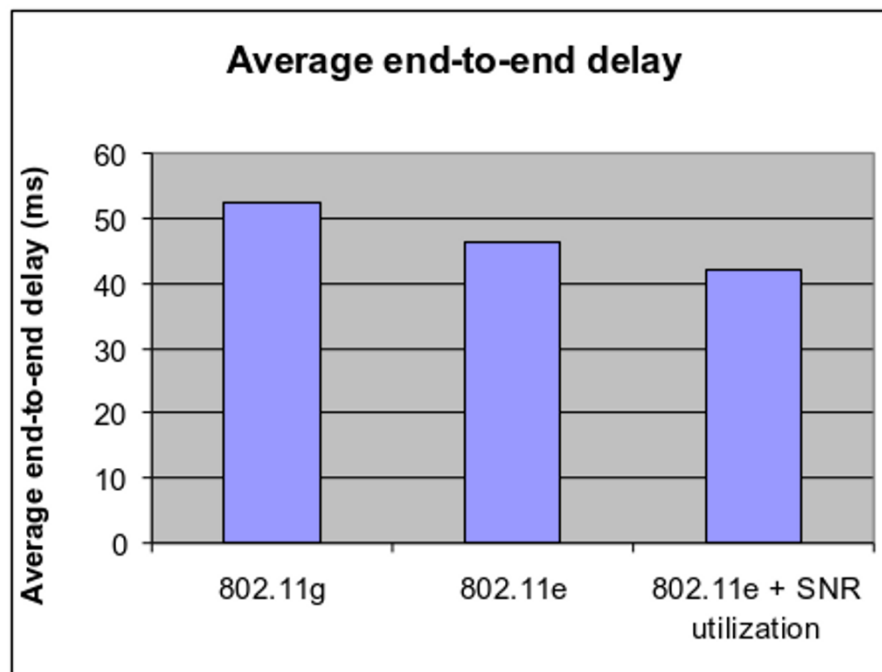
Εικόνα 7.10: Μέση ρυθμαπόδοση.

Τέλος η εικόνα 7.12 δείχνει τη μέση από άκρο σε άκρο καθυστέρηση συναρτήσει των 3 σεναρίων που περιγράφηκαν. Παρατηρούμε ότι τόσο η αξιοποίηση των δυνατοτήτων του επιπέδου Ζεύξης μέσω του 802.11e και των κλάσεων κίνησης που παρέχει, όσο και ο μηχανισμός υπολογισμού SNR κατά μήκος του μονοπατιού δρομολόγησης, βελτιώνουν σημαντικά την από άκρο σε άκρο καθυστέρηση. Πρέπει να τονίσουμε ότι οι παραπάνω βελτιώσεις στη μέση από άκρο σε άκρο καθυστέρηση (end-to-end delay) θεωρούνται κρίσιμες σε εφαρμογές μετάδοσης πολυμέσων.

Τα παραπάνω αποτελέσματα δείχνουν ότι ο προτεινόμενος διαστρωματικός σχεδιασμός μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές βελτιώσεις στη μετάδοση πολυμέσων σε κινητά Ad Hoc δίκτυα και ειδικότερα σε VANETs. Αυτές οι βελτιώσεις έχουν σαν αποτέλεσμα ευδιάκριτη βελτίωση της ποιότητας βίντεο που λαμβάνει ο τελικός χρήστης. Επιπρόσθετα, τα παραπάνω πειραματικά αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η βελτίωση μπορεί να κάνει τη διαφορά σε κινητά δίκτυα και να αποτρέψει τη μετάδοση πολυμέσων με διακοπές ή τη μετάδοση υποβαθμισμένης ποιότητας.



Εικόνα 7.11: Ποσοστό παράδοσης πακέτων.



Εικόνα 7.12: Μέση από άκρο σε άκρο καθυστέρηση.

Κεφάλαιο 8

Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας ως μια σύνοψη των πειραματικών αποτελεσμάτων. Αυτή η αποτίμηση επιχειρεί να δώσει μια πιο ξεκάθαρη εικόνα στην περιοχή της μετάδοσης πολυμέσων σε Vehicular Ad Hoc Networks.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάσαμε μερικές βασικές έννοιες των ασυρμάτων κινητών δικτύων και τη βασική λειτουργία των πιο δημοφιλών πρωτοκόλλων δρομολόγησης για MANETs. Αναφέρθηκαν βασικά στοιχεία των πολυμέσων και θέματα που αφορούν τη μετάδοση τέτοιων δεδομένων σε ασύρματα δίκτυα. και παρουσιάστηκε ένα σύνολο από πρωτόκολλα που επιτρέπουν την αποδοτική μετάδοση βίντεο στον τελικό χρήστη. Αναδείχθηκαν θέματα αξιολόγησης και μοντέλα κίνησης, ενώ έγινε μια βασική αξιολόγηση επιλεγμένων πρωτοκόλλων δρομολόγησης με εξομοίωση σε ρεαλιστικές συνθήκες. Περιγράψαμε βασικά στοιχεία διαστρωματικών (cross layer) αρχιτεκτονικών και παρουσιάστηκαν οι σχετικότεροι διαστρωματικοί σχεδιασμοί που αφορούν μετάδοση πολυμέσων σε κινητά Ad Hoc δίκτυα. Ακόμα, παρουσιάσαμε εκτενώς τον προτεινόμενο διαστρωματικό σχεδιασμό μετάδοσης πολυμεσικών δεδομένων, δίνοντας βάρος και στις θεωρητικές αλλά και στις τεχνικές πτυχές. Έπειτα ακολούθησαν αναλυτικά τα πειράματα τα οποία έγιναν με την χρήση των μηχανισμών,

οι τοπολογίες που χρησιμοποιήθηκαν, τα σενάρια κίνησης, το περιβάλλον εξομοίωσης και οι γενικότερες συνθήκες για την μετάδοση.

Σε αυτή την εργασία εστιάσαμε στη βελτίωση της μετάδοσης βίντεο σε κινητά Ad Hoc δίκτυα και ιδιαίτερα σε δίκτυα με κόμβους μέσα σε οχήματα (VANETs). Μελετήσαμε την απόδοση διαφόρων πρωτοκόλλων δρομολόγησης για μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων σε τέτοιου τύπου δίκτυα. Σημαντικό στοιχείο της μελέτης είναι οι επιλεγμένες ποιοτικές και ποσοτικές μετρικές αξιολόγησης της απόδοσης που χρησιμοποιήσαμε. Το μοντέλο κίνησης που επιλέξαμε για την εκτέλεση των πειραμάτων μας αναπαριστά την τοπολογία μιας πόλης με οικοδομικά τετράγωνα σταθερών διαστάσεων και με κόμβους που κινούνται με υψηλές ταχύτητες, πράγμα το οποίο δοκίμασε τις δυνατότητες των πρωτοκόλλων δρομολόγησης. Για την αξιολόγηση επιλέξαμε τρία δημοφιλή πρωτόκολλα δρομολόγησης (δύο reactive και ένα proactive):

- AODV
- DSR
- OLSR

Το OLSR παρουσίασε τη χαμηλότερη απόδοση όσον αφορά τα ποσοστά παράδοσης πακέτων και τις διακυμάνσεις της καθυστέρησης. Συμπεραίνουμε ότι η συμπεριφορά ενός proactive πρωτοκόλλου δρομολόγησης δεν εγγυώνται απαραίτητα χαμηλή διακύμανση καθυστέρησης παρόλο που αυτά τα πρωτόκολλα έχουν συνεχώς στους πίνακες δρομολόγησης τους ένα πιθανό μονοπάτι προς κάθε προορισμό. Επομένως, το OLSR δε μπορεί να αποτελέσει την κατάλληλη επιλογή για εφαρμογές που είναι ευαίσθητες σε καθυστερήσεις. Αντιθέτως, το AODV παρουσίασε μια καλή απόδοση αλλά με σχετικά υψηλή επιβάρυνση του δικτύου με πακέτα δρομολόγησης. Οι μετρήσεις του ποσοστού παράδοσης πακέτων έδειξαν ότι το AODV είναι πιο αποδοτική λύση από το DSR, έχοντας ωστόσο μεγάλη διακύμανση στην από άκρο σε άκρο καθυστέρηση (end-to-end delay) και εισάγοντας μεγαλύτερη επιβάρυνση στο δίκτυο λόγω μετάδοσης περισσότερων μηνυμάτων ελέγχου δρομολόγησης.

Το πρωτόκολλο DSR μπορούμε να πούμε ότι δίνει πιο βελτιωμένα αποτελέσματα συγκριτικά με το AODV και το OLSR στη μέτρηση της από άκρο σε άκρο καθυστέρηση και στο jitter, με αποτέλεσμα να φαίνονται ιδανικότερες λύσεις για εφαρμογή σε περιβάλλοντα κινητών Ad Hoc δικτύων με κινούμενους κόμβους σε οχήματα όπως στις εξομοιώσεις. Η χαμηλή διακύμανση της καθυστέρησης (jitter) και το επαρκές ποσοστό παράδοσης πακέτων βίντεο που καταγράφονται, επιβεβαιώνουν ότι το DSR αποτελεί μια καλή πρόταση για μετάδοση πολυμέσων σε MANETs.

Εκτός από την ανάλυση της απόδοσης διαφόρων πρωτοκόλλων δρομολόγησης σε VANETs, αναπτύξαμε και προσαρμοστικούς μηχανισμούς. Η κεντρική ιδέα στηρίζεται στις δυνατότητες αξιοποίησης πληροφοριών της κωδικοποίησης πολυμέσων και στη μεταφορά τους από το επίπεδο εφαρμογής στο επίπεδο δικτύου. Αυτό γίνεται για να αξιοποιήσουμε μια πολιτική προγραμματισμού και ανάθεσης προτεραιοτήτων και να δώσουμε προτεραιότητα στα πιο σημαντικά πλαίσια του βίντεο.

Για να αξιολογήσουμε την απόδοση του προτεινόμενου διαστρωματικού μηχανισμού, πραγματοποιούμε ένα σύνολο από εξομοιώσεις με τη βοήθεια του εξομοιωτή δικτύων ns-2. Παράλληλα αξιοποιούμε εργαλεία και αλγορίθμους που έχουν δημιουργηθεί με σκοπό την μελέτη και την εξομοίωση πολυμεσικών μεταδόσεων όπως είναι το Evalvid. Τα ευρήματά μας μπορούν να θεωρηθούν αρκετά ενθαρρυντικά μιας και έδειξαν την αποδοτικότητα των μηχανισμών που αναπτύχθηκαν. Η αξιοποίηση των κλάσεων κίνησης (Traffic Classes) του πρωτοκόλλου IEEE 802.11e φάνηκε να είναι ιδιαίτερα αποδοτική σε περιβάλλοντα που οι μεταδόσεις βίντεο ανταγωνίζονται την κίνηση άλλων δεδομένων στο ίδιο δίκτυο. Λέγοντας ανταγωνιστική κίνηση αναφερόμαστε σε κίνηση σταθερού ρυθμού παραγωγής δεδομένων που μεταδίδονται μέσω του πρωτοκόλλου TCP. Η ευκολία της ρύθμισης και της αξιοποίησης των δυνατοτήτων που παρέχει το 802.11e σε κινητά Ad Hoc δίκτυα όπου όλοι οι κόμβοι συμπεριφέρονται σαν δρομολογητές, κάνει αυτό το πρωτόκολλο μια πολύ καλή επιλογή για χρήση σε κάθε υλοποίηση MANET.

Στο τέλος αυτής της εργασίας παρουσιάσαμε έναν προσαρμοστικό διαστρωματικό σχεδιασμό που έχει στόχο τη βελτίωση της απόδοσης της μετάδοσης βίντεο με χρήση του TCP Friendly Rate Control (TFRC). Παρουσιάσαμε μια διαστρωματική σχεδίαση που περιλαμβάνει:

1. Το επίπεδο Εφαρμογής
2. Το επίπεδο Δικτύου
3. Το επίπεδο Ζεύξης

Ο σχεδιασμός μας παρέχει προτεραιότητες σε πακέτα βίντεο και εκμεταλλεύεται τη μέτρηση SNR που μας παρέχει το επίπεδο Ζεύξης. Αυτό γίνεται για να βελτιώσουμε την απόδοση του προσαρμοστικού αλγορίθμου του TFRC.

Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι η προτεινόμενη σχεδίαση και οι μηχανισμοί που υλοποιήθηκαν οδηγούν σε βελτίωση της απόδοσης, σύμφωνα με τις μετρικές που χρησιμοποιήσαμε για την αξιολόγηση. Αυτή η βελτίωση σημαίνει ότι ο τελικός χρήστης απολαμβάνει βίντεο καλύτερης ποιότητας. Ακόμα, δείξαμε πως αυτή η σχεδίαση που περιλαμβάνει τρία διαφορετικά επίπεδα του μοντέλου OSI μπορεί να βελτιώσει το λεγόμενο Quality of Service σε κινητά Ad Hoc δίκτυα, ανταλλάσσοντας πληροφορίες μεταξύ των διαφόρων επιπέδων. Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι ο προτεινόμενος διαστρωματικός σχεδιασμός μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές βελτιώσεις στη μετάδοση πολυμέσων σε VANETs. Αυτές οι βελτιώσεις έχουν σαν αποτέλεσμα ευδιάκριτη βελτίωση της ποιότητας βίντεο που λαμβάνει ο τελικός χρήστης. Επιπρόσθετα, τα αποτελέσματα που περιγράφηκαν υποδεικνύουν ότι η βελτίωση μπορεί να κάνει τη διαφορά σε κινητά δίκτυα και να αποτρέψει τη μετάδοση πολυμέσων με διακοπές ή τη μετάδοση υποβαθμισμένης ποιότητας.

Κεφάλαιο 9

Μελλοντική εργασία

Σε αυτό το κεφάλαιο δίνονται ορισμένα ανοιχτά θέματα που μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενο μελλοντικής μελέτης στον τομέα αυτό. Αυτά τα θέματα αναμένεται να βελτιώσουν περαιτέρω τις μεταδόσεις βίντεο σε ασύρματα κινητά Ad Hoc δίκτυα.

Στο μέλλον, σκοπεύουμε να συμπεριλάβουμε αναλυτικότερες μετρικές πολυμέσων στη διαδικασία αξιολόγησης πρωτοκόλλων δρομολόγησης με στόχο την καλύτερη διερεύνηση της αποδοτικότητας τους κατά τη μετάδοση πολυμέσων. Επίσης, ενδιαφερόμαστε για τη μελέτη πολυπλοκότερων περιβαλλόντων, δηλαδή ασυρμάτων δικτύων με διαφορετικές τοπολογίες. Επιπρόσθετα, θέλουμε να αξιολογήσουμε την απόδοση όλων των περιγραφόμενων πρωτοκόλλων δρομολόγησης των κινητών Ad Hoc δικτύων σε συνδυασμό με μηχανισμούς ελέγχου ροής και συμφόρησης και με πολυμέσα μεταβλητού ρυθμού μετάδοσης Variable Bit Rate (VBR) όπως κάναμε και στους διαστρωματικούς μηχανισμούς μας.

Η μελλοντική εργασία μπορεί να γίνει έχοντας ως βάση τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας και μπορεί να περιλαμβάνει την επέκταση των μηχανισμών που αναπτύχθηκαν καθώς και των εργαλείων αυτοματοποιημένου ελέγχου και αξιολόγησης τα οποία δημιουργήθηκαν κατά την διάρκεια των πειραμάτων. Η μελλοντική έρευνα μας, περιλαμβάνει τη σύγκριση του

προτεινόμενου διαστρωματικού σχεδιασμού με άλλα σχήματα παραχώρησης προτεραιοτήτων σχεδιασμένα για κινητά Ad Hoc δίκτυα και την αξιολόγηση του προτεινόμενου μηχανισμού σε πιο πολύπλοκα περιβάλλοντα δικτύων και πιο πλούσια σενάρια εξομοίωσης. Μια ακόμη σημαντική περιοχή που είναι ενδιαφέρουσα για μελλοντική εργασία είναι η συμπερίληψη του επιπέδου μεταφοράς στη διαστρωματική σχεδίαση σε μια προσπάθεια να προσαρμόσουμε το ρυθμό μετάδοσης πολυμέσων με βάση τις συνθήκες του δικτύου. Ένας τέτοιος σχεδιασμός αναμένεται να βελτιώσει περαιτέρω την ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service) που παρέχεται στον τελικό χρήστη.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον στα MANETs έχει το πρωτόκολλο 802.11n, το οποίο μπορεί να αξιολογηθεί συγκριτικά με το 802.11e. Το 802.11n, με χρήση πολλαπλών κεραιών (μέθοδος γνωστή ως Multiple Inputs Multiple Outputs ή MIMO) αναμένεται να παρέχει ονομαστικό ρυθμό μετάδοσης τουλάχιστον 108 Mbps.

Η μελλοντική μας εργασία περιλαμβάνει την υλοποίηση προσαρμοστικών εκτιμήσεων για την εύρεση της κατάλληλης τιμής κατωφλιού SNR. Αυτό μπορεί να γίνει αν βασιστούμε σε μετρικές δικτύου, δηλαδή σε ποσότητες που μπορούν να εκφράσουν την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου. Ακόμα, σκοπεύουμε να υλοποιήσουμε ένα πρωτότυπο σύστημα για την προτεινόμενη διαστρωματική σχεδίαση και να την αξιολογήσουμε σε ένα πραγματικό ασύρματο Ad Hoc δίκτυο.

Μια άλλη ενδιαφέρουσα επέκταση αυτής της εργασίας είναι η χρήση των μετρήσεων SNR με στόχο να παρέχουμε στο TFRC εκτιμήσεις σχετικά με την αιτία της απώλειας πακέτων. Συγκεκριμένα, μας ενδιαφέρει να γνωρίζουμε αν η απώλεια πακέτων είναι εξαιτίας παρεμβολής ή εξαιτίας συμφόρησης σε κάποιον κόμβο. Αυτό αναμένεται να έχει θετική επίδραση στην αποδοτικότητα του TFRC και στη μετάδοση βίντεο σε κινητά Ad Hoc δίκτυα γενικά.

Επιπρόσθετα, σκοπεύουμε να εξερευνήσουμε τη συνδυασμένη χρήση των νέων διαστρωματικών σχεδιασμών και μηχανισμών έτσι ώστε να υλοποιήσουμε ένα ισορροπημένο σύνολο από βελτιώσεις που μπορούν να παρέχουν το καλύτερο

δυνατό αποτέλεσμα. Άλλος ένας στόχος είναι η διερεύνηση της επίδρασης των προτεινόμενων μηχανισμών που περιγράφηκε και ειδικότερα τη χρήση του SNR στην απόδοση άλλων πρωτοκόλλων δρομολόγησης σε κινητά Ad Hoc δίκτυα οχημάτων (VANETs).

Παράρτημα Α

Δημοσιεύσεις

A.1 Δημοσιεύσεις που έγιναν στα πλαίσια της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται δημοσιεύσεις που έγιναν στα πλαίσια της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας και παρουσιάστηκαν σε διεθνή συνέδρια. Ακόμα, οι μηχανισμοί και η αρχιτεκτονική που περιγράφονται σε αυτή την εργασία έχουν υποβληθεί στο διεθνές περιοδικό International Journal of Communication Systems.

A.1.1 Performance Evaluation of Routing Protocols for multimedia transmission over Mobile Ad hoc Network

4th Joint IFIP Wireless and Mobile Networks Conference, Toulouse, France, G. Adam, C. Bouras, A. Gkamas, V. Kapoulas, G. Kioumourtzis, N. Tavoularis, October 26 – 28 2011, pp. 1-6

Η διάδοση των κινητών συσκευών με δυνατότητες ασύρματης δικτύωσης καθιστά ιδιαίτερα σημαντική την αποδοτική μετάδοση δεδομένων μέσω των

ασύρματων κινητών Ad Hoc δικτύων. Παράλληλα, η ενσωμάτωση αυτών των κινητών συσκευών σε κινούμενα οχήματα έχει οδηγήσει σε έναν νέο τύπο δικτύων, τα ονομαζόμενα Ad Hoc δίκτυα οχημάτων ή Vehicular Ad hoc Networks (VANETs). Αυτά τα δίκτυα απαιτούν εξειδικευμένα πρωτόκολλα δρομολόγησης εξαιτίας της φύσης των κινητών Ad Hoc δικτύων. Η απόδοση αυτών των πρωτοκόλλων έχει αξιολογηθεί για την περίπτωση της γενικευμένης κίνησης αλλά όχι υπό το πρίσμα της μετάδοσης πολυμέσων και ειδικότερα της μετάδοσης βίντεο. Σε αυτή την εργασία πραγματοποιήθηκε ένα σύνολο από εξομοιώσεις με στόχο την αξιολόγηση της απόδοσης των τριών από τα πιο δημοφιλή πρωτόκολλα δρομολόγησης για τα κινητά Ad Hoc δίκτυα MANETs και VANETs. Συγκεκριμένα αξιολογήθηκαν τα πρωτόκολλα:

- AODV
- DSR
- OLSR

Ο στόχος της αξιολόγησης είναι η μελέτη της συμπεριφοράς των πρωτοκόλλων όταν μεταβάλλεται το πλήθος των ταυτόχρονων μεταδόσεων βίντεο. Οι μετρικές που χρησιμοποιούνται είναι το ποσοστό απώλειας πακέτων, η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο, η διακύμανση της καθυστέρησης (jitter) και η επιβάρυνση του δικτύου με πακέτα δρομολόγησης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το πρωτόκολλο DSR έχει καλύτερη απόδοση από τα AODV και OLSR συγκριτικά με την από άκρο σε άκρο καθυστέρηση και τη διακύμανση της. Συμπερασματικά, το DSR φαίνεται να είναι το πιο αποδοτικό πρωτόκολλο για την περίπτωση της μετάδοσης πολυμέσων σε ασύρματα Ad Hoc δίκτυα οχημάτων και ειδικότερα για την μετάδοση βίντεο.

A.1.2 Cross-Layer Mechanism for Efficient Video Transmission over Mobile Ad Hoc Networks

The Third International Workshop on Cross Layer Design, Rennes, France, G. Adam, C. Bouras, A. Gkamas, V. Kapoulas, G. Kioumourtzis, N. Tavoularis, November 30 -

December 2011, pp. 1-5

Τα ασύρματα κινητά Ad Hoc δίκτυα (MANETs) γίνονται ολοένα και πιο δημοφιλή λόγω της αυξανόμενης χρήσης κινητών συσκευών. Ωστόσο, αυτά τα δίκτυα δεν δείχνουν ικανά να υποστηρίξουν μεταδόσεις πολυμέσων υψηλής ποιότητας και ειδικότερα μεταδόσεις βίντεο. Σε αυτή την εργασία παρουσιάζεται ένας διαστρωματικός μηχανισμός για αποδοτική μετάδοση βίντεο πάνω σε ασύρματα Ad Hoc δίκτυα οχημάτων (VANETs). Ο προτεινόμενος μηχανισμός αποτελείται από έναν αλγόριθμο χρονοπρογραμματισμού και ανάθεσης προτεραιότητας στο επίπεδο δικτύου. Ακόμα προτείνεται και αξιολογείται η χρήση του προτύπου IEEE 802.11e στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων. Ο αλγόριθμος χρονοπρογραμματισμού και ανάθεσης προτεραιότητας αξιοποιεί την πληροφορία που αφορά στον τύπο των πλαισίων των MPEG-4 βίντεο, με στόχο να παρέχει διαφορετικές προτεραιότητες ανάλογα με τη σημαντικότητα του κάθε πλαισίου. Στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων το πρωτόκολλο IEEE 802.11e αναθέτει τη μέγιστη προτεραιότητα στα πακέτα βίντεο με στόχο την καλύτερη εξυπηρέτηση των εφαρμογών μετάδοσης πολυμέσων. Στόχος αυτής της επιλογής είναι η μείωση της καθυστέρησης και της απώλειας πακέτων εξαιτίας της κίνησης ανταγωνιστικών δεδομένων. Ο σχεδιασμός που παρουσιάζεται είναι εύκολα ενσωματώσιμος σε κάθε ασύρματο Ad Hoc δίκτυο, σαν επέκταση του δημοφιλούς πρωτοκόλλου δρομολόγησης AODV. Τα πειραματικά αποτελέσματα που αποκτήθηκαν μέσω εξομοιώσεων στον εξομοιωτή δικτύων ns-2, δείχνουν την αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου σχεδιασμού.

A.1.3 A cross-layer design for video transmission with TFRC in MANETS (Best Paper Award)

International Conference on Data Communication Networking - DCNET 2012, Rome, Italy, G. Adam, C. Bouras, A. Gkamas, V. Kapoulas, G. Kioumourtzis, 24-27 July 2012, pp. 5-12

Η μετάδοση πολυμέσων μέσα από τα ασύρματα Ad Hoc δίκτυα οχημάτων δεν είναι πάντοτε αποδοτική εξαιτίας των υψηλών απαιτήσεων που υπάρχουν, όπως το υψηλό εύρος ζώνης και οι χαμηλοί χρόνοι καθυστέρησης. Σε αυτή την εργασία προτείνονται διαστρωματικές τεχνικές και μηχανισμοί που στοχεύουν στη βελτίωση της μετάδοσης βίντεο, μέσω του πρωτοκόλλου TFRC το οποίο είναι φιλικό ως προς την συνυπάρχουσα TCP κίνηση. Ο σχεδιασμός περιλαμβάνει μηχανισμούς που δίνουν προτεραιότητα στα πακέτα βίντεο, ενώ παράλληλα αξιοποιούνται πληροφορίες από τα κατώτερα επίπεδα του μοντέλου OSI. Συγκεκριμένα, αξιοποιούνται πληροφορίες που συλλέγονται από το στρώμα ζεύξης δεδομένων οι οποίες αφορούν την ποιότητα του λαμβανόμενου σήματος. Ο προτεινόμενος μηχανισμός χρησιμοποιεί τις μετρήσεις της ενέργειας σήματος ως προς τον θόρυβο του καναλιού (SNR) σε όλο το μήκος ενός μονοπατιού, προκειμένου να βελτιώσει την αποδοτικότητα του πρωτοκόλλου δρομολόγησης AODV και συγκεκριμένα τη διαδικασία ανακατασκευής μονοπατιών. Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι τόσο η κατηγοριοποίηση της κίνησης με ανάθεση προτεραιοτήτων όσο και η αξιοποίηση των μετρήσεων ποιότητας σήματος οδηγούν σε σημαντική βελτίωση στη μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων. Η αξιολόγηση έγινε με εξομοιώσεις στον εξομοιωτή δικτύων ns-2 και τα αποτελέσματα καταγράφουν αύξηση στο μέσο PSNR για το λαμβανόμενο βίντεο. Ακόμα, παρατηρείται αύξηση της ρυθμαπόδοσης (throughput) και του ποσοστού λήψης πακέτων, ενώ μειώνεται η μέση από άκρο σε άκρο καθυστέρηση.

A.2 Υπόλοιπες Δημοσιεύσεις

A.2.1 CUTER: An Efficient Useful Text Extraction Mechanism

The 2009 IEEE International Symposium on Mining and Web(WAM09), Bradford, UK, G. Adam, C. Bouras, V. Pouloupoulos, 26 - 29 May 2009, pp. 703 - 708

Σε αυτή την εργασία παρουσιάζεται το CUTER, ένα σύστημα που επεξεργάζεται τις σελίδες HTML για να εξάγει το χρήσιμο κείμενο από αυτές. Ο μηχανισμός είναι εστιασμένος στις σελίδες HTML που περιλαμβάνουν άρθρα ειδήσεων από ενημερωτικές πύλες και από blogs. Ως χρήσιμο κείμενο θεωρούμε το σώμα του άρθρου που περιέχει την κύρια είδηση. Για να εξαχθεί το σώμα του άρθρου, ο μηχανισμός αποδομεί την HTML σελίδα για να προκύψει το DOM μοντέλο της. Για να γίνει αυτό, το σύστημα εφαρμόζει ένα σύνολο αλγορίθμων προκειμένου να καθαρίσει και να διορθώσει τον κώδικα HTML, ώστε να είναι σε θέση να εντοπιστούν και χαρακτηριστούν οι κόμβοι του DOM δέντρου. Το αποτέλεσμα που αποθηκεύεται είναι το κείμενο που προέρχεται από τους κόμβους που έχουν χαρακτηριστεί ως "κόμβοι χρήσιμου κειμένου". Το CUTER αποτελεί ένα υποσύστημα του reRSSonal, το οποίο είναι ένα διαδικτυακό εργαλείο που χρησιμοποιείται για την ανάκτηση άρθρων ειδήσεων από όλο τον κόσμο, την επεξεργασία και την παρουσίαση τους με προσωποποιημένο τρόπο στον τελικό χρήστη. Ο ρόλος του CUTER σε αυτό το σύστημα είναι να το τροφοδοτήσει με το σώμα των άρθρων που συλλέγονται από τις πύλες ειδήσεων και τα blogs. Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται οι βασικοί αλγόριθμοι και τα πειραματικά αποτελέσματα που αναδεικνύουν την αποτελεσματικότητα του μηχανισμού που αναπτύσσεται.

A.2.2 Utilizing RSS feeds for crawling the Web

The Fourth International Conference on Internet and Web Applications and Services - ICIW 2009, G. Adam, C. Bouras, V. Pouloupoulos, 24 - 28 May 2009, pp. 211 – 216.

Σε αυτή την εργασία παρουσιάζουμε έναν mixed crawler που έχει δημιουργηθεί για το σύστημα reRSSonal, το οποίο τελικά παρέχει ένα τρόπο προσωποποίησης και προσαρμογής των RSS feeds στο προφίλ του χρήστη. Ο μηχανισμός που αναπτύσσουμε διαφέρει από τους υπόλοιπους crawlers στο γεγονός ότι κάνει crawling μόνο σε πύλες ενημέρωσης και blogs, χρησιμοποιώντας τα κανάλια επικοινωνίας τους και αξιοποιώντας τις ιδιαιτερότητες τους. Το ζήτημα που τίθεται όταν ανακτάται περιεχόμενο από τέτοιες σελίδες σχετίζεται με το γεγονός

ότι τα νέα παράγονται σε μια τυχαία σειρά οποιαδήποτε ώρα της ημέρας και άρα η επικαιρότητα των δεδομένων που έχουν ληφθεί παίζει σημαντικό ρόλο. Για να πετύχουμε αποδοτικό crawling, αξιοποιούμε τους διαύλους επικοινωνίας που υπάρχουν στη σύγχρονη αρχιτεκτονική του παγκοσμίου Ιστού. Ο μηχανισμός που παρουσιάζεται έχει το χαρακτηριστικό ότι μπορεί να προσαρμόζεται στο ρυθμό δημοσίευσης ειδήσεων σε κάθε ιστότοπο ξεχωριστά.

A.2.3 Monitoring RSS feeds

International Conference on Knowledge Management and Knowledge Technologies (I-KNOW 09), Gratz, Austria , G. Adam, C. Bouras, V. Pouloupoulos, 2 - 4 September 2009.

Η επέκταση του World Wide Web έχει οδηγήσει σε μια χαοτική κατάσταση, όπου οι χρήστες του Διαδικτύου πρέπει να αντιμετωπίσουν και να ξεπεράσουν το μείζον πρόβλημα του εντοπισμού πληροφοριών. Για την επίλυση του προβλήματος αυτού, πολλοί μηχανισμοί crawlers δημιουργήθηκαν που περιηγούνται τον παγκόσμιο ιστό και ανακτούν σελίδες. Σε αυτή την εργασία παρουσιάζουμε τον crawler "advaRSS" που σκοπεύει να χρησιμοποιηθεί σε συστήματα που προσφέρουν συλλογές των ειδήσεων σε πραγματικό χρόνο στους χρήστες του Διαδικτύου. Σε αντίθεση με τους κοινούς μηχανισμούς crawling, το σύστημα μας επικεντρώνεται στην ανάκτηση των τελευταίων νέων από τις πύλες ενημέρωσης του Ιστού, αξιοποιώντας τα RSS feeds τους. Η είδηση παράγεται σε μια τυχαία σειρά οποιαδήποτε ώρα της ημέρας και έτσι η επικαιρότητα της offline συλλογής μπορεί να μετρηθεί ακόμη και σε ακρίβεια λίγων λεπτών. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα πρέπει να ενημερώνεται με ειδήσεις τη στιγμή που αυτές δημοσιεύονται. Για να το πετύχουμε αυτό, αξιοποιούμε τα κανάλια επικοινωνίας που υπάρχουν στη σύγχρονη αρχιτεκτονική του WWW και ειδικότερα στην αρχιτεκτονική του Web 2.0. Δεδομένου ότι τα RSS feeds χρησιμοποιούνται από σχεδόν όλες τις πύλες, ο μηχανισμός μας μπορεί να μείνει ενημερωμένος οποιαδήποτε στιγμή.

A.2.4 Image extraction from online text streams: A straightforward template independent approach without training

The 24th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA), Perth, Australia, G. Adam, C. Bouras, V. Pouloupoulos, 20-23 April, 2010.

Στην συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζουμε ένα αποτελεσματικό σύστημα που επεξεργάζεται τις σελίδες HTML για να εξάγει τις χρήσιμες εικόνες από αυτές. Ως χρήσιμες εικόνες ορίζουμε τις εικόνες που σχετίζονται με κάποια είδηση, αφού ο προτεινόμενος μηχανισμός είναι σχεδιασμένος για να αναλύει κυρίως σελίδες με άρθρα ειδήσεων. Η είσοδος είναι το DOM δέντρο της HTML σελίδας με χαρακτηρισμένους τους κόμβους της, ώστε να θεωρηθεί ότι είναι γνωστή η θέση του χρήσιμου κειμένου. Ο μηχανισμός εφαρμόστηκε στο σύστημα *reRSSonal*, το οποίο είναι ένα σύστημα που χρησιμοποιείται για τη λήψη δεδομένων από ειδησεογραφικές σελίδες, την επεξεργασία τους και την παρουσίαση τους με προσωποποιημένο τρόπο στο χρήστη. Παράλληλα, ο μηχανισμός που αναπτύχθηκε είναι σε θέση να παρέχει δεδομένα σε βιβλιοθήκες ψηφιακών φωτογραφιών με δυνατότητες περιήγησης και αναζήτησης. Στην εργασία παρουσιάζονται οι αλγοριθμικές λεπτομέρειες και τα πειραματικά αποτελέσματα σχετικά με την αποδοτικότητα της προτεινόμενης προσέγγισης.

A.2.5 An Efficient Mechanism for Stemming and Tagging: the Case of Greek Language

Advanced Knowledge-based Systems, Invited Session of the 14th International Conference on Knowledge-based and Intelligent Information and Engineering Systems, Cardiff Wales, UK, G. Adam, K. Asimakis, C. Bouras, V. Pouloupoulos, 8-10 September 2010, pp. 389-397

Σε μια εποχή η αναζήτηση πληροφοριών στον Παγκόσμιο Ιστό γίνεται μια επίπονη εργασία, είναι προφανές ότι κυρίως οι μηχανές αναζήτησης και άλλοι μηχανισμοί εξόρυξης δεδομένων θα πρέπει να ενισχυθούν με

χαρακτηριστικά όπως NLP με σκοπό την καλύτερη ανάλυση, έτσι ώστε να αναγνωρίσουν τα ερωτήματα των χρηστών και να ανακτήσουν τα σωστά δεδομένα. Στη συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζουμε έναν αποτελεσματικό μηχανισμό stemming και tagging για την ελληνική γλώσσα. Το σύστημά μας είναι κατασκευασμένο με τέτοιο τρόπο που να μπορεί εύκολα να προσαρμόζεται σε οποιοδήποτε υπάρχον σύστημα και να του παρέχει αναγνώριση και την ανάλυση των ελληνικών λέξεων. Στο τέλος της εργασίας παρουσιάζουμε την πειραματική αξιολόγηση του συστήματος σε σύγκριση με ήδη υπάρχοντες αλγόριθμους stemming και tagging της ελληνικής γλώσσας και αποδεικνύουμε την υψηλότερη απόδοση και την ποιότητα των αποτελεσμάτων του συστήματος μας.

A.2.6 Efficient extraction of news articles based on RSS crawling

International Conference on Machine and Web Intelligence, Algiers, Algeria, G. Adam, C. Bouras, V. Pouloupoulos, 3 - 5 October 2010

Η επέκταση του Παγκόσμιου Ιστού έχει οδηγήσει σε μια κατάσταση όπου ένα τεράστιο ποσοστό των χρηστών του Διαδικτύου αντιμετωπίζει το πρόβλημα της εύρεσης χρήσιμων πληροφοριών. Είναι αναπόφευκτο ότι οι εκατοντάδες ιστοσελίδες και ιστολόγια που δημιουργούνται καθημερινά αλλάζουν και ανανεώνονται σε καθημερινή βάση. Το κύριο πρόβλημα που προκύπτει από τη συνεχή δημιουργία και την τροποποίηση των ιστοσελίδων είναι η ανακάλυψη των χρήσιμων πληροφοριών, μια εργασία που γίνεται δύσκολη ακόμη και για τους έμπειρους χρήστες του Διαδικτύου. Πολλοί μηχανισμοί έχουν κατασκευαστεί και παρουσιάζονται προκειμένου να ξεπεραστεί το πρόβλημα της ανακάλυψης πληροφοριών στο Διαδίκτυο και βασίζονται ως επί το πλείστον σε crawlers οι οποίοι περιηγούνται στον Παγκόσμιο Ιστό, κατεβάζοντας σελίδες και συλλέγοντας πληροφορίες που θα μπορούσαν να ενδιαφέρουν τον χρήστη. Σε αυτή την εργασία περιγράφεται ένας μηχανισμός που φέρνει τις ιστοσελίδες που περιλαμβάνουν άρθρα ειδήσεων από τα μεγάλα ειδησεογραφικά portals και blogs. Ο μηχανισμός αυτός έχει κατασκευαστεί για να υποστηρίξει τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την ανάκτηση άρθρων ειδήσεων από όλο τον κόσμο,

την επεξεργασία τους και την παρουσίασή τους πίσω στους τελικούς χρήστες με εξατομικευμένο τρόπο.

Παραπομπές

1. An Optimized Web Feed Aggregation Approach for Generic Feed Types, David Urbansky, Sandro Reichert, Klemens Muthmann, Daniel Schuster, Alexander Schill, Proceedings of the Fifth International AAAI Conference on Weblogs and Social Media, pp 638-641
2. Feeding the world: A comprehensive dataset and analysis of a real world snapshot of web feeds, Reichert, S. ,Urbansky, D.,Muthmann, K.,Katz, P. ,Wauer, M.,Schill, A., ACM International Conference Proceeding Series 2011, pp 44-51

A.2.7 Providing Community and Collaboration Services to MMOG Players

IADIS International Conference Game and Entertainment Technologies 2012, Lisbon, Portugal, G. Adam, C. Bouras, V. Kapoulas, A. Papazois, 18-20 July 2012, 49-53

Τα περισσότερα από τα Multiplayer Online Games (MMOGs) αποσκοπούν στην υποστήριξη και βελτίωση των δραστηριοτήτων της κοινότητας μεταξύ των μελών τους. Το παιχνίδι κοινοτικού δικτύου που αναπτύσσεται έχει επικεντρωθεί σε υπηρεσίες υποστήριξης των παικτών κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού. Τα εργαλεία που προσφέρουμε χρησιμοποιούν μια καινοτόμο τεχνολογία (IGIT), η οποία επιτρέπει την προσθήκη διαδικτυακών εφαρμογών χωρίς να χρειάζεται να τροποποιηθεί ο κώδικας του παιχνιδιού. Αυτά τα εργαλεία ακολουθούν ένα σχέδιο προσαρμοσμένο στις ανάγκες των παικτών και παρέχονται από το λεγόμενο διακομιστή CNG έχοντας υλοποιηθεί με βάση τις πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία Web 2.0. Σε αυτή την εργασία, εστιάζουμε στην αρχιτεκτονική του server καθώς και στο σχεδιασμό και την υλοποίηση της κοινότητας και των εργαλείων συνεργατικότητας (collaborative tools).

A.2.8 Security Aspects for Large Scale Distributed Environments

SECURWARE 2012: The Sixth International Conference on Emerging Security Information, Systems and Technologies, Rome, Italy, G. Adam, C. Bouras, I. Kalligeros, K. Stamos, G. Zaoudis, 19-24 August 2012, 7 - 13

Η αυτόματη δέσμευση εύρους ζώνης σε Ετερογενή δίκτυα είναι ένα εργαλείο υπό ενεργό ανάπτυξη που υποστηρίζει την κατ' απαίτηση υπηρεσία δέσμευσης εύρους ζώνης και προορίζεται να λειτουργεί σε ένα multi-domain περιβάλλον με τη χρήση ετερογενών τεχνολογιών μετάδοσης. Το σύστημα Autobahn στοχεύει στην παροχή μιας εγγυημένης χωρητικότητας μεταξύ δύο τελικών σημείων. Λόγω του επίπεδου πρόσβασης που έχει το εργαλείο σε κρίσιμα σημεία του δικτύου, η σημασία μιας αξιόπιστης υποδομής ταυτότητας και εξουσιοδότησης (AAI), είναι μεγάλη. Η εργασία αυτή αναδεικνύει το σχεδιασμό και την υλοποίηση των υπηρεσιών ταυτότητας και εξουσιοδότησης που είναι μέρος της υπηρεσίας Autobahn. Το AAI είναι μια υπηρεσία αφιερωμένη στην επιβολή της ασφάλειας του συστήματος και την αποτροπή μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης και χρήσης των πόρων. Τα στοιχεία της υπηρεσίας δέσμευσης εύρους ζώνης μπορούν να αλληλεπιδράσουν με την υπηρεσία AAI πολλές φορές κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης ενός αιτήματος. Μετά την αρχική επαλήθευση ταυτότητας και την αδειοδότηση, το σύστημα θα εφαρμόσει τους κανόνες και τις πολιτικές για την εκάστοτε αίτηση. Τέλος, η συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζει τις βασικές πτυχές της ασφάλειας και των συστατικών του συστήματος Autobahn.

A.2.9 Building community and collaboration applications for MMOGs

International Journal of Computer Games Technology, Hindawi Publishing Corporation, Vol. 2012, Article ID 969785, G. Adam, C. Bouras, V. Kapoulas, A. Papazois, 2012, (to appear)

Η υποστήριξη συνεργατικών δραστηριοτήτων μεταξύ απευθείας συνδεδεμένων παικτών είναι μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις στον τομέα των μαζικών online παιχνιδιών (MMOG), δεδομένου ότι βελτιώνουν την εμπειρία παιχνιδιού και δημιουργούν πιο ενεργές κοινότητες. Προς την κατεύθυνση αυτή, η μελέτη μας έχει επικεντρωθεί στην παροχή υπηρεσιών υποστήριξης και ενίσχυσης του παιχνιδιού, της κοινότητας των παικτών και των δραστηριοτήτων συνεργασίας. Έχουμε σχεδιάσει και εφαρμόσει καινοτόμα εργαλεία που εκμεταλλεύονται μια τεχνολογία για την προσαρμογή στο εκάστοτε παιχνίδι (IGIT), η οποία επιτρέπει την προσθήκη διαδικτυακών εφαρμογών χωρίς να χρειάζεται από τους προγραμματιστές παιχνιδιών να τροποποιούν το παιχνίδι, ούτε από οι παίκτες να αλλάξουν την εγκατάσταση παιχνίδι τους. Τα εργαλεία που αναπτύχθηκαν ακολουθούν ένα σχέδιο προσαρμοσμένο στις ανάγκες των MMOG παικτών και με βάση τις τελευταίες εξελίξεις στην τεχνολογία Web 2.0. Η παροχή τους γίνεται μέσα από ένα βασικό στοιχείο του συστήματος μας, το οποίο είναι το λεγόμενο παιχνίδι κοινοτικού δικτύου (CNG). Ένα από τα σημαντικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα που παρέχονται από το πλαίσιο της εφαρμογής είναι η αξιοποίηση της ενισχυμένης Peer-to-Peer (P2P) τεχνολογίας για τη διανομή των ζωντανών ροών βίντεο που παράγουν οι ίδιοι οι παίκτες. Σε αυτή την εργασία, επικεντρωθήκαμε στην αρχιτεκτονική του διακομιστή CNG, καθώς και στο σχεδιασμό και την υλοποίηση της online κοινότητας και των εργαλείων συνεργασίας.

Παράρτημα Β

Οδηγίες εξομοίωσης

Β.1 Εγκατάσταση μηχανισμών

Ο πηγαίος κώδικας των μηχανισμών που περιγράφηκαν, βρίσκεται στην ιστοσελίδα της Ερευνητικής Μονάδας 6 [35] και είναι διαθέσιμος για λήψη. Η συγκεκριμένη υλοποίηση μπορεί να εφαρμοστεί και σε παλαιότερες εκδόσεις του εξομοιωτή, που υποστηρίζουν το λογισμικό Evalvid-RA. Για την εγκατάσταση του λογισμικού χρειάζεται να γίνει αποσυμπίεση του αρχείου που υποδείχτηκε και να γίνει αντιγραφή και επικόλληση, αντικαθιστώντας τα αρχικά αρχεία του εξομοιωτή. Στο συμπιεσμένο αρχείο βρίσκονται τα παρακάτω:

- */common/*
- */common/packet – stamp.h*
- */common/packet.cc*
- */common/packet.h*
- */evalvid_ra/*
- */evalvid_ra/vbr_rateadapt.cc*

- */mac/*
- */mac/wireless – phy.cc*
- */tcp/*
- */tcp/tfrc – sink.cc*
- */tcp/tfrc – sink.h*
- */tcp/tfrc.cc*
- */tcp/tfrc.h*

Μετά την εγκατάσταση των αρχείων θα πρέπει να γίνει εκ νέου μεταγλώττιση.

B.2 Προεπεξεργασία βίντεο

Για την εξομοίωση της μετάδοσης πολυμέσων χρησιμοποιούμε το Evalvid-RA και τα εκτελέσιμα που παρέχονται από την εργαλειοθήκη του. Για τη σωστή λειτουργία με το Evalvid-RA, θα πρέπει να δημιουργήσουμε τα αρχεία .m4n με διαφορετικές ποιότητες και τα οποία θα έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε εύρος ζώνης. Η καλύτερη ποιότητα είναι αυτή που έχει κβάντιση 2 και η χαμηλότερη 31. Τα αρχεία αυτά θα χρησιμοποιηθούν από το MP4 πρόγραμμα το οποίο θα παράγει τα αρχεία st*.txt και είναι τα αρχεία που θα χρειαστούμε κατά τη διάρκεια της προεπεξεργασίας. Στη συνέχεια, εκτελούμε το script manyQ.sh για να δημιουργηθούν αυτά τα tracefiles, δίνοντας το μονοπάτι για το πρόγραμμα κωδικοποίησης MPEG-4.

Στη δική μας εξομοίωση, θέσαμε:

```
MP4=/root/ns-allinone-2.34/ns-2.34/tcl-examples/MP4
```

Εάν χρησιμοποιείτε .exe εκτελέσιμα αρχεία θα πρέπει να κατεβάσετε το wine για LINUX από τον σύνδεσμο: <http://www.winehq.org/> Επιλέγον

θα χρειαστείτε το `ffmpeg`, το οποίο μπορείτε να βρείτε στον σύνδεσμο: <http://ffmpeg.mplayerhq.hu/> Τέλος κατεβάστε τα αρχεία `yuv` από τον σύνδεσμο: <http://trace.eas.asu.edu/yuv/index.html>

Αφού τελειώσετε με την εγκατάσταση του `wine` και του `ffmpeg` θα πρέπει να εκτελέσετε τις παρακάτω εντολές:

```
./manyQ.sh 2 31 concat_cif.yuv
```

Όπου `concat_cif.yuv` είναι το βίντεο σε YUV format.

Χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τρόπο, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την εντολή «`cat`» για να συνδυάσουμε περισσότερο από ένα `yuv` αρχεία:

```
cat file1.yuv file2.yuv > concat.yuv
```

Αυτό το βίντεο είναι κωδικοποιημένο σε MPEG-4 βίντεο. Το πρόγραμμα MP4 μεταδίδει αυτά τα αρχεία και διατηρεί τα ίχνη με τη μορφή `st_concat_cif.yuv_Q*.txt`.

Για να δημιουργήσουμε τα αρχεία `m4v` που μας βοηθάνε στην τελική σύγκριση του βίντεο που παραλήφθηκε με το πραγματικό βίντεο, εκτελούμε το εκτελέσιμο MP4Box:

```
wine xvid_encraw.exe -i akiyo_cif.yuv -w 352 -h 288 -framerate 20.0 -b
```

Στη συνέχεια, παράγουμε τα αρχεία MP4, με την εντολή:

```
./MP4Box -hint -mtu 1024 -fps 20 -add a01.m4v a01.mp4
```

B.3 Σενάρια εξομοίωσης

Τα σενάρια εξομοίωσης που περιγράφηκαν περιέχουν ένα πλήθος από κόμβους οι οποίοι κινούνται με διαφορετική ταχύτητα και προς διαφορετικές

κατευθύνσεις. Είναι προφανές ότι η παραγωγή τέτοιων αρχείων είναι επίπονη, ειδικά αν αναλογιστούμε την τυχαιότητα που πρέπει να υπάρχει. Έτσι, για να παράγουμε τα σενάρια κίνησης χρησιμοποιήσαμε το εργαλείο Bonnmotion [38].

Συγκεκριμένα, εκτελούμε το εκτελέσιμο `bm` και επιλέγουμε το μοντέλο κίνησης, το πλήθος των κόμβων, την περιοχή εξομοίωσης και μια μέση ταχύτητα:

```
bm -f scenario1 ManhattanGrid -n 100 -d 270 -x 1900 -y 1900 -u 3 -v 3 -h 15.0
bm NSFile -f scenario1
```

B.4 Διαδικασίες μετά την εξομοίωση

Μετά την εξομοίωση δημιουργούνται διάφορα αρχεία με τα `tracefiles` του βίντεο. Θα χρησιμοποιήσουμε τα αρχεία `sd.be_0` (το `tracefile` του αποστολέα) και το `rd.be_0` (το `tracefile` του παραλήπτη). Το πρόγραμμα `et_ra` ανακατασκευάζει το βίντεο όπως θα το έβλεπε ο παραλήπτης. Για κάθε δέκτη θα πρέπει να εκτελέσετε τα παρακάτω:

```
./etmp4 -p -0 sd_a01 rd_a01 st_a01 a01.mp4 a01e
```

Και παίρνουμε την έξοδο:

```
*** loss_a01e.txt ***: percentage of lost [frames|packets]
  column 1: I
  column 2: P
  column 3: B
  column 4: overall

*** delay_a01e.txt ***: jitter/delay statistics
  column 1: [frame|packet] id
  column 2: loss flag
  column 3: end-to-end delay [s]
```

```
column 4: sender inter [frame|packet] lag [s]
column 5: receiver inter [frame|packet] lag [s]
column 6: cumulative jitter [s] [Hartanto et. al.]
```

```
*** rate_s_a01e.txt ***: sender rate
column 1: time [s]
column 2: momentary rate [bytes/s]
column 3: cumulative rate [bytes/s]
```

```
*** rate_r_a01e.txt ***: receiver rate
column 1: time [s]
column 2: momentary rate [bytes/s]
column 3: cumulative rate [bytes/s]
```

Στη συνέχεια θα πρέπει να μετατρέψουμε το αρχείο a01e.m4v σε YUV οπότε θα δημιουργηθεί το a01e.yuv:

```
ffmpeg -r 25 -i a01e.mp4 -vcodec rawvideo a01e.yuv
```

Τώρα είμαστε έτοιμοι να πάρουμε τις τιμές του PSNR:

```
wine psnr.exe 176 144 420 concat_qcif.yuv a01e.yuv > psnr_1.txt
```

Τέλος μπορούμε να δούμε το πρόγραμμα ακριβώς όπως λήφθηκε από τον παραλήπτη με τη χρήση της παρακάτω εντολής: wine YUVviewer.exe

Ακόμα, μπορούμε να δούμε οπτικά το αποτέλεσμα με χρήση του xgraph:

```
exec xgraph psnr_1.txt -geometry 800x400
```


Αναφορές

- [1] G. Adam, V. Kapoulas, C. Bouras, G. Kioumourtzis, A. Gkamas, and N. Tavoularis. Performance evaluation of routing protocols for multimedia transmission over mobile ad hoc networks. In *Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC), 2011 4th Joint IFIP*, pages 1--6. IEEE, 2011.
- [2] G. Adam, C. Bouras, A. Gkamas, V. Kapoulas, G. Kioumourtzis, and N. Tavoularis. Cross-layer mechanism for efficient video transmission over mobile ad hoc networks. In *Third International Workshop on Cross Layer Design (IWCLD) 2011*, pages 1--5. IEEE, 2011.
- [3] S. Mangold, S. Choi, P. May, O. Klein, G. Hiertz, and L. Stibor. Ieee 802.11e wireless lan for quality of service. In *Proc. European Wireless*, volume 2, pages 32--39, 2002.
- [4] Iso/iec 14496-2, information technology – coding of audio-visual objects. (Part 2: Visual), 1999.
- [5] C.E. Perkins and E.M. Royer. Ad-hoc on-demand distance vector routing. In *Second IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, 1999. Proceedings. WMCSA'99.*, pages 90--100. IEEE, 1999.
- [6] J. Postel. Rfc 768: User datagram protocol. *Isi*, 1980.
- [7] The ucb/lbnl network simulator. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [8] J. Padhye and J. Widmer. Tcp friendly rate control (tfrc): Protocol specification. 2003.

- [9] G. Adam, C. Bouras, A. Gkamas, V. Kapoulas, and G. Kioumourtzis. A cross-layer design for video transmission with tfrc in manets. pages 5--12, 2012.
- [10] C.E. Perkins and P. Bhagwat. Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (dsv) for mobile computers. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 24(4):234--244, 1994.
- [11] D.B. Johnson and D.A. Maltz. Dynamic source routing in ad hoc wireless networks. *Mobile computing*, pages 153--181, 1996.
- [12] P. Jacquet. Rfc 3626: Optimized link state routing protocol (olsr). 2003.
- [13] R. Frederick and V. Jacobson. Rtp: A transport protocol for real-time applications. *IETF RFC3550*, 2003.
- [14] C. Bouras, A. Gkamas, and G. Kioumourtzis. Extending the functionality of rtp/rtcp implementation in network simulator (ns-2) to support tcp friendly congestion control. In *Proceedings of the 1st international conference on Simulation tools and techniques for communications, networks and systems & workshops*, page 31. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), 2008.
- [15] J. Macker and S. Corson. Rfc 2501, "mobile ad hoc networking (manet): Routing protocol performance issues and evaluation considerations". *IETF*, 1999.
- [16] C.C. Chiang and M. Gerla. Routing and multicast in multihop, mobile wireless networks. In *IEEE 6th International Conference on Universal Personal Communications Record, 1997. Conference Record.*, volume 2, pages 546--551. IEEE, 1997.
- [17] M.S. Corson, S. Papademetriou, P. Papadopoulos, V. Park, and A. Qayyum. An internet manet encapsulation protocol (imep) specification. Technical report, Internet-Draft, draft-ietf-manet-imep-spec-01. txt, 1998.
- [18] V. Timcenko, M. Stojanovic, and S.B. Rakas. Manet routing protocols vs. mobility models: performance analysis and comparison. In *Proceedings of the*

- 9th WSEAS international conference on Applied informatics and communications*, pages 271--276. World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS), 2009.
- [19] B. Divecha, A. Abraham, C. Grosan, and S. Sanyal. Impact of node mobility on manet routing protocols models. *Journal of Digital Information Management*, 5(1):1--19, 2007.
- [20] N. Qadri, M. Altaf, M. Fleury, M. Ghanbari, and H. Sammak. Robust video streaming over an urban vanet. In *IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, 2009. WIMOB 2009.*, pages 429--434. IEEE, 2009.
- [21] S.E. Deering. Internet protocol, version 6 (ipv6) specification. 1998.
- [22] C. Bouras, A. Gkamas, V. Kapoulas, V. Papapanagiotou, K. Stamos, and G. Zaidis. Video transmission over tfrc using cross-layer power management. In *17th International Conference on Software, Telecommunications & Computer Networks, 2009. SoftCOM 2009.*, pages 333--337. IEEE, 2009.
- [23] Y. Andreopoulos, N. Mastrorade, and M. van der Schaar. Cross-layer optimized video streaming over wireless multihop mesh networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 24(11):2104--2115, 2006.
- [24] M.A. Matin and N.A. Naaji. Performance analysis with enhanced distributed channel access (edca) in ieee 802.11e for real time video streaming (mpeg-4) in multi-hop manet. *Journal of Communication and Computer*, 7(4):24--29, 2010.
- [25] M. Aguilar Igartua and V. Carrascal Frías. Self-configured multipath routing using path lifetime for video-streaming services over ad hoc networks. *Computer Communications*, 33(15):1879--1891, 2010.
- [26] T. Vazão, M.M. Freire, and I. Chong. *Information Networking. Towards Ubiquitous Networking and Services: International Conference, ICOIN 2007, Estoril, Portugal, January 23-25, 2007, Revised Selected Papers*, volume 5200. Springer, 2008.

- [27] K. Xu, Y. Tian, and N. Ansari. Improving tcp performance in integrated wireless communications networks. *Computer Networks*, 47(2):219--237, 2005.
- [28] P. Sreekumari and S.H. Chung. Tcp nce: A unified solution for non-congestion events to improve the performance of tcp over wireless networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2011(1):1--20, 2011.
- [29] S. Henna. A throughput analysis of tcp variants in mobile wireless networks. In *Third International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies, 2009. NGMAST'09.*, pages 279--284. IEEE, 2009.
- [30] K. Chen and K. Nahrstedt. Limitations of equation-based congestion control in mobile ad hoc networks. In *24th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, 2004. Proceedings.*, pages 756--761. IEEE, 2004.
- [31] M. Li, C. Lee, E. Agu, M. Claypool, and R. Kinicki. Performance enhancement of tfrc in wireless ad hoc networks. 2004.
- [32] X. Pallot and L.E. Miller. Implementing message priority policies over an 802.11 based mobile ad hoc network. In *Military Communications Conference, 2001. MILCOM 2001. Communications for Network-Centric Operations: Creating the Information Force. IEEE*, volume 2, pages 860--864. IEEE, 2001.
- [33] J. Zhang, K. Tan, J. Zhao, H. Wu, and Y. Zhang. A practical snr-guided rate adaptation. In *INFOCOM 2008. The 27th Conference on Computer Communications. IEEE*, pages 2083--2091. IEEE, 2008.
- [34] S. Wietholter and C. Hoene. Design and verification of an ieee 802.11 e edcf simulation model in ns-2.26. *Technische Universitet at Berlin, Tech. Rep. TKN-03-019*, 2003.
- [35] Source code for the proposed snr mechanism. http://ru6.cti.gr/ru6/research_tools.php.
- [36] A. Lie and J. Klaue. Evalvid-ra: trace driven simulation of rate adaptive mpeg-4 vbr video. *Multimedia Systems*, 14(1):33--50, 2008.

-
- [37] S. Tomar. Converting video formats with ffmpeg. *Linux Journal*, 2006(146):1--10, 2006.
- [38] N. Aschenbruck, R. Ernst, E. Gerhards-Padilla, and M. Schwamborn. Bonnmotion: a mobility scenario generation and analysis tool. In *Proceedings of the 3rd International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques*, pages 1--51. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), 2010.