

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ**
UNIVERSITY OF PATRAS

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Δρομολόγηση και Πολυμεσικές Εφαρμογές σε
Ασύρματα Κινητά Δίκτυα MANET και VANET**

Συγγραφέας

Ενέα Τσανάι
Α.Μ. 4828

Υπεύθυνος Καθηγητής

Χρήστος Μπούρας, Καθηγητής

Επιβλέπων

Βαγγέλης Καπούλας

Πάτρα, Οκτώβριος 2014

Περίληψη

Τα Ad Hoc δίκτυα είναι πλέον ιδιαίτερα δημοφιλή και η ύπαρξη τους συναντάται έντονα σε εφαρμογές της καθημερινής ζωής. Η ραγδαία εξέλιξη του IEEE 802.11 και η ευρύτατη χρήση κινητών συσκευών καθιστά τα Ad Hoc δίκτυα ιδιαίτερα σημαντικά. Τα Ad Hoc δίκτυα διαθέτουν ξεχωριστά χαρακτηριστικά με κυρίαρχα την αυτονομία, την δυναμικότητα, την ταχεία εγκατάσταση, το χαμηλό κόστος καθώς και την ελεύθερη κίνηση των κόμβων που τα αποτελούν. Τα κινητά Ad Hoc δίκτυα ή αλλιώς MANETs (Mobile Ad Hoc Networks) καθώς και η επέκτασή τους σε οχήματα – VANETs (Vehicular Ad Hoc Networks) είναι οι δύο κατηγορίες Ad Hoc δικτύων που μελετώνται σε αυτή την διπλωματική εργασία.

Η δρομολόγηση στα Ad Hoc δίκτυα αποτελεί σημαντική πρόκληση καθώς η απόδοση της συσχετίζεται άμεσα με ασταθείς παραμέτρους όπως την κινητικότητα των κόμβων, την ταχύτητα και την κατεύθυνση τους, την πυκνότητα αλλά και το περιβάλλον του δικτύου. Κάθε πρωτόκολλο δρομολόγησης εμφανίζει τη δική του στρατηγική για την εύρεση του βέλτιστου μονοπατιού μεταξύ αποστολέα και δέκτη. Η επιλογή του κατάλληλου πρωτόκολλου διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην επίδοση του δικτύου και την μετάδοση των δεδομένων. Τα πρωτόκολλα που εξετάζονται σε αυτή την εργασία είναι τα AODV, AOMDV, OLSR, DSDV, DSR και GPSR.

Οι εφαρμογές που συναντώνται στα MANETs και VANETs ποικίλουν και παρουσιάζουν διαφορετικές απαιτήσεις δικτύου. Εφαρμογές σε MANETs συναντώνται πλέον σε καθημερινές δραστηριότητες στο διαδίκτυο αλλά και σε πιο εξειδικευμένες όπως σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης αλλά και στρατιωτική χρήση από όπου και προέρχονται. Στα VANETs, οι σημαντικότερες εφαρμογές σχετίζονται με την οδηγική ασφάλεια, την πλοήγηση και γενικότερα την διευκόλυνση και την βελτίωση της οδηγικής εμπειρίας. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι πολυμεσικές εφαρμογές και η αποστολή βίντεο σε απευθείας μετάδοση. Η περίπτωση αυτή εμφανίζει τις υψηλότερες απαιτήσεις δικτύου και διάφορες τεχνικές όπως η προσαρμοστική μετάδοση αποτελούν σημαντική λύση.

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ο σχεδιασμός και η υλοποίηση δύο μηχανισμών. Ο πρώτος αφορά την εισαγωγή και την ενσωμάτωση πολλαπλών καναλιών στις ασύρματες συσκευές των κόμβων αλλά και την αποδοτική εναλλαγή διεπαφών-καναλιών ανάλογα με παραμέτρους κατά την μετάδοση βίντεο με χρήση του AODV σε MANETs. Ο δεύτερος αφορά την ενίσχυση και βελτίωση της στρατηγικής δρομολόγησης του GPSR σε VANETs με την ενσωμάτωση ενός αλγόριθμου πρόβλεψης θέσεων των κόμβων και ανάθεσης βαρών στα μονοπάτια.

Στα πειράματα που διεξήχθησαν εξετάστηκε και αξιολογήθηκε η προσαρμοστική μετάδοση πολυμέσων σε MANETs όταν επιλέγεται το AODV για την δρομολόγηση. Επίσης πραγματοποιήθηκε σύγκριση της επίδοσης των AODV, AOMDV και DSDV σε MANETs με και χωρίς MIMC κατά την μετάδοση πολυμέσων. Παράλληλα, αξιολογήθηκε ο προτεινόμενος μηχανισμός εναλλαγής διεπαφών-καναλιών με διαστρωματική ανατροφοδότηση στο AODV σε MANETs με MIMC κατά τη μετάδοση πολυμέσων. Τέλος, αξιολογήθηκε ο προτεινόμενος μηχανισμός ενίσχυσης του GPSR και η απόδοσή του συγκρίθηκε με τα GPSR, OLSR, AODV, DSDV και DSR.

Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η προσαρμοστική μετάδοση πολυμέσων επιφέρει σημαντική βελτίωση στη μετάδοση και μειώνει την καθυστέρηση από άκρο σε άκρο. Η μείωση αυτή

όμως επιτυγχάνεται εις βάρος της ποιότητας των υπηρεσιών στο τελικό χρήστη και η λύση της εισαγωγής επιπλέον καναλιών, όταν είναι εφικτό, επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα. Η σύγκριση των AODV, AOMDV και DSDV σε MANETs κατά τη μετάδοση πολυμέσων έδειξε πως χωρίς MIMC, το DSDV αποδίδει βέλτιστα ενώ με MIMC, το AODV αποδίδει βέλτιστα. Η αξιολόγηση του προτεινόμενου μηχανισμού εναλλαγής διεπαφών-καναλιών στο AODV έδειξε σημαντικές βελτιώσεις τόσο σε μετρικές δικτύου όσο και σε μετρικές ποιότητας στον τελικό χρήστη. Η αξιολόγηση του προτεινόμενου μηχανισμού ενίσχυσης του GPSR έδειξε πολύ σημαντική βελτίωση της απόδοσης κυρίως σε σενάρια αυτοκινητόδρομου με υψηλές ταχύτητες οχημάτων. Το ενισχυμένο GPSR παρουσίασε την υψηλότερη απόδοση συγκριτικά με τα υπόλοιπα πρωτόκολλα δρομολόγησης τόσο σε σενάρια αστικών περιοχών όσο και σε σενάρια αυτοκινητόδρομων.

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας δημοσιεύτηκαν οι εργασίες:

- Christos Bouras, Apostolos Gamas, Vaggelis Kapoulas, Dimitra Politaki, Enea Tsanai, “Enhancing video transmission in MANETs utilizing multiple interfaces and multiple channels per node”, in 5th International Conference on Ad Hoc Networks, Barcelona, Spain, 2013.

Τα κινητά Ad Hoc δίκτυα (MANETs) γίνονται ολοένα και σημαντικότερα στις ασύρματες επικοινωνίες εξαιτίας της αυξανόμενης χρήσης των κινητών συσκευών. Τα MANETs είναι ιδιαίτερα σημαντικά και στην αντιμετώπιση έκτακτων καταστάσεων όπου η ροή πληροφορίας μέσω δικτύου μεταξύ των μονάδων δράσης είναι ζωτικής σημασίας. Σε τέτοιες περιπτώσεις η μετάδοση ήχου και εικόνας είναι καθοριστική για τον σχηματισμό εκτίμησης της κατάστασης και της άμεσης δράσης. Παρόλα αυτά, τα MANETs δεν υποστηρίζουν αποδοτικά τη μετάδοση πολυμέσων και ειδικότερα την μετάδοση βίντεο. Σε αυτή την εργασία προτείνεται ένας απλός και αποδοτικός μηχανισμός επιλογής καναλιού για την ενίσχυση της μετάδοσης βίντεο σε MANETs που αποτελούνται από κόμβους με πολλαπλές διεπαφές και πολλαπλά κανάλια. Ο μηχανισμός υλοποιήθηκε και δοκιμάστηκε στον εξομοιωτή δικτύων ns-2. Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν πως ο μηχανισμός βελτιώνει την χωρητικότητα του δικτύου για τη μετάδοση βίντεο και μειώνει αισθητά την καθυστέρηση πακέτων.

- Christos Bouras, Apostolos Gamas, Vaggelis Kapoulas, Dimitra Politaki, Enea Tsanai, “Evaluation of Routing Protocols for Video Transmission over MANETs that use Multiple Interfaces and Multiple Channels per node”, in 19th IEEE International Conference on Networks (ICON 2013), 2013.

Τα κινητά Ad Hoc δίκτυα (MANETs) γίνονται ολοένα και σημαντικότερα στις ασύρματες επικοινωνίες εξαιτίας της αυξανόμενης χρήσης των κινητών συσκευών. Αρκετοί ερευνητές έχουν εργαστεί στο παρελθόν για την ενίσχυση της μετάδοσης πολυμέσων στα MANETs. Υπάρχουν αρκετοί αλγόριθμοι και μηχανισμοί που έχουν προταθεί για την βελτιστοποίηση της μετάδοσης πολυμέσων. Στην εργασία αυτή

αξιολογείται η επίδραση της χρήσης πολλαπλών διεπαφών και καναλιών ανά κόμβο στην επίδοση των υπάρχοντων πρωτόκολλων δρομολόγησης στα MANETs κατά την μετάδοση βίντεο. Η αξιολόγηση δείχνει πως όλα τα πρωτόκολλα δρομολόγησης ωφελούνται από τη χρήση των πολλαπλών διεπαφών και καναλιών ανά κόμβο και συνεπώς βελτιώνεται η μετάδοση βίντεο στα MANETs.

- Christos Bouras, Georgios Kioumourtzis, Apostolos Gamas, Vaggelis Kapoulas, Dimitra Politaki, Enea Tsanai, "Evaluation of video transmission in emergency response ad-hoc networks", in 4th International Conference on Data Communication Networking - DCNET 2013, Reykjavik, Iceland, 2013.

Τα κινητά Ad Hoc δίκτυα (MANETs) γίνονται ολοένα και σημαντικότερα στις ασύρματες επικοινωνίες εξαιτίας της αυξανόμενης χρήσης των κινητών συσκευών. Τα MANETs είναι ιδιαίτερα σημαντικά και στην αντιμετώπιση έκτακτων καταστάσεων όπου η ροή πληροφορίας μέσω δικτύου μεταξύ των μονάδων δράσης είναι ζωτικής σημασίας. Σε τέτοιες περιπτώσεις η μετάδοση ήχου και εικόνας είναι καθοριστική για τον σχηματισμό εκτίμησης της κατάστασης και της άμεσης δράσης. Παρόλα αυτά, τα MANETs δεν υποστηρίζουν αποδοτικά τη μετάδοση πολυμέσων και ειδικότερα την μετάδοση βίντεο. Στην εργασία αυτή αξιολογείται η χρήση πολλαπλών διεπαφών και καναλιών για τη μετάδοση βίντεο σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης σε δίκτυα Ad Hoc. Επίσης αξιολογείται η μετάδοση βίντεο με προσαρμοστικό ρυθμό. Στόχος αυτής της εργασίας είναι η βελτίωση των μηχανισμών μετάδοσης βίντεο με πολλαπλά κανάλια ώστε να υποστηρίζονται με αποδοτικό τρόπο εφαρμογές αντιμετώπισης έκτακτων καταστάσεων. Παράλληλα, στόχος της εργασίας είναι η αποδεκτή μετάδοση βίντεο ώστε να είναι εφικτή η ακριβής εκτίμηση της κατάστασης και να λαμβάνονται οι σωστές αποφάσεις. Οι εξομοιώσεις έδειξαν πως η χρήση πολλαπλών διεπαφών και καναλιών επιφέρει πολλά πλεονεκτήματα στη μετάδοση βίντεο σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης σε δίκτυα Ad Hoc.

- Christos Bouras, Vaggelis Kapoulas, Enea Tsanai, "Routing in VANETS and a GPCR Enhancement Mechanism" (To be submitted)

Τα ασύρματα κινητά δίκτυα οχημάτων Ad Hoc (VANETs) είναι μια ειδική περίπτωση των κινητών δικτύων Ad Hoc (MANETs) που πρόσφατα απασχολεί έντονα την ερευνητική κοινότητα. Η ανάγκη για αυξημένη οδηγική ασφάλεια, διαχείριση κυκλοφοριακής κίνησης και άμεση επικοινωνία σε συνδυασμό με την ραγδαία εξέλιξη του 802.11 καθιστά τα VANETs πολύ ένα σημαντικό πεδίο μελέτης. Τα VANETs παρουσιάζουν κάποιες πολλά υποσχόμενες δυνατότητες και εφαρμογές που δεν μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν και να αποδώσουν ικανοποιητικά στα κοινά MANET. Παρόλα αυτά, μαζί με τα θετικά στοιχεία εμφανίζονται και διάφορες προκλήσεις όπως η δρομολόγηση και η ιεραρχία στο δίκτυο. Στη εργασία αυτή, προτείνεται ένας μηχανισμός ενίσχυσης του πρωτόκολλου δρομολόγησης GPCR και παρουσιάζεται η απόδοση του για σενάρια αστικών περιοχών και αυτοκινητόδρομων. Η απόδοση του συγκρίνεται επίσης και με τα γνωστότερα πρωτόκολλα δρομολόγησης των MANET που υιοθετούνται στα VANETs. Η προτεινόμενη ενίσχυση αποδεικνύεται ιδιαίτερα αποτελεσματική στις περισσότερες

περιπτώσεις καθώς αποδίδει βέλτιστα συγκριτικά με τα υπόλοιπα πρωτόκολλα δρομολόγησης που μελετήθηκαν.

Executive Summary

Ad Hoc networks have become very popular and their impact is strongly seen in daily-life applications. The rapid evolution of the IEEE 802.11 and the widespread use of mobile devices make the Ad Hoc networks particularly important. The Ad Hoc networks have unique characteristics such as autonomy, dynamic nature, rapid configuration, low cost and mobility freedom of the nodes that consist them. MANETs (Mobile Ad Hoc Networks) and their extension to vehicles - VANETs (Vehicular Ad Hoc Networks) are the two types of Ad Hoc networks that are studied in this thesis.

Routing in Ad Hoc networks is an important challenge as its performance is directly related to unstable parameters such as the node mobility, speed, direction as well as the network density and its environment. Each routing protocol has its own strategy for finding the best path between the sender and the receiver. The selection of the appropriate protocol plays a key role in the performance of the network and the data transmission. The protocols that are examined in this thesis are the AODV, AOMDV, OLSR, DSDV, DSR and GPSR.

The Applications encountered in MANETs and VANETs vary and have different network requirements. Applications in MANETs may be met in online daily activities or in more specialized cases such as for emergency and military use, from where they come from. In VANETs, the most important applications are related to road safety, navigation and generally to applications that improve the driving experience. Multimedia applications and video streaming are an interesting case of applications as they demand the highest network requirements. Various techniques such as the rate adaptive transmission are important solutions.

This thesis presents the design and implementation of two mechanisms. The first mechanism integrates multiple channels in the node's wireless devices and efficiently switches interfaces - channels based on network parameters when transmitting video using AODV in MANETs. The second mechanism improves the routing strategy of GPSR in VANETs by integrating an algorithm which predicts the positions of the nodes and assigns weights to the routing paths.

In the conducted experiments of this thesis, the rate adaptive transmission of multimedia is evaluated while choosing the AODV as the routing layer. In addition, the performance of AODV, AOMDV and DSDV is evaluated in the case of multimedia transmission in MANETs with and without MIMC. In this set of experiments, the performance of the proposed mechanism for interface – channel switching in MANETs while transmitting multimedia with AODV is also evaluated. The last set of experiments includes the evaluation of the proposed mechanism for enhancing the GPSR in VANETs and its performance comparison with GPSR, OLSR, AODV, DSDV and DSR.

The simulation results show that the rate adaptation improves noticeably the multimedia transmission and reduces the end to end delay. However, this reduction is achieved by degrading the end user quality and the solution of adding more channels, whenever possible, demonstrates higher performance results. The performance evaluation of AODV, AOMDV and DSDV when transmitting multimedia data in MANETs shows that without the use of MIMC, the DSDV is the best performer whereas with the use of MIMC, the AODV becomes the best performer. The performance analysis of the proposed mechanism for interface-channel switching in AODV with MIMC shows important improvements in both network and end-user experience metrics. The performance evaluation of the proposed mechanism for GPSR

enhancement in VANETs indicates that the benefits and performance improvements are intense especially for highway scenarios with high-speed movement of the vehicles. It is concluded that the enhanced GPSR protocol outperforms the rest of the tested routing protocols in VANETs for both urban and highway topologies.

Under the present thesis, the following papers were published:

- Christos Bouras, Apostolos Gamas, Vaggelis Kapoulas, Dimitra Politaki, Enea Tsanai, “Enhancing video transmission in MANETs utilizing multiple interfaces and multiple channels per node”, in 5th International Conference on Ad Hoc Networks, Barcelona, Spain, 2013.

Mobile Ad Hoc NETWORKS (MANETs) are becoming more essential to wireless communications due to growing popularity of mobile devices. MANETs are also essential in Emergency Response situation where network information flow between deployed units is vital. In such cases voice and video transmission is essential to form a global view of the situation and decide on action. However, MANETs do not seem to effectively support multimedia applications and especially video transmission. In this work we propose a simple and efficient channel selection mechanism for enhancing Video Transmission in MANETs that have nodes with multiple interfaces, and can utilize multiple channels at the same time. The mechanism is implemented and tested in the ns-2 network simulator. Simulation results indicate that the mechanism improves the networks capacity for video transmission and reduces the video streams’ packet delay.

- Christos Bouras, Apostolos Gamas, Vaggelis Kapoulas, Dimitra Politaki, Enea Tsanai, “Evaluation of Routing Protocols for Video Transmission over MANETs that use Multiple Interfaces and Multiple Channels per node”, in 19th IEEE International Conference on Networks (ICON 2013), 2013.

Mobile Ad Hoc NETWORKS (MANETs) are becoming more essential to wireless communications due to growing popularity of mobile devices. Many researchers have committed effort to enhance the Multimedia (video) transmission over MANETs. Various algorithms and mechanisms concerning the optimization of multimedia transmission have been presented. In this work we evaluate the effect of using multiple interfaces and multiple channels per node in the performance of already existing MANET routing protocols during video transmission. The evaluation shows that all routing protocols benefit from using multiple interfaces and multiple channels per node, and the video transmission over MANETs is improved.

- Christos Bouras, Georgios Kioumourtzis, Apostolos Gamas, Vaggelis Kapoulas, Dimitra Politaki, Enea Tsanai, “Evaluation of video transmission in emergency response ad - hoc networks”, in 4th International Conference on Data Communication Networking - DCNET 2013, Reykjavk, Iceland, 2013.

Mobile Ad Hoc NETWORKS (MANETs) are becoming more essential to wireless communications due to growing popularity of mobile devices. MANETs are also essential in Emergency Response situation where network information flow between deployed units is vital. In such cases voice and video transmission is essential to form a global view of the situation and decide on action. However, MANETs do not seem to effectively support multimedia applications and especially video transmission. In this work we evaluate the use of multiple interfaces and multiple channels for Video Transmission in Emergency Response Ad Hoc Networks. We also evaluate the video transmission with rate adaptation. Aim of this paper is to tune multi-interfaces and multi-channels video transmission mechanisms in order to support better emerging situations and offer a solution to have acceptable transmission of the necessary video streams so that the control can get a complete overall picture of the situation and decide on the action to be taken. The simulation evaluation performed shows that multi-interfaces and multi-channels video transmission offers many advantages in Video Transmission in Emergency Response Ad Hoc Networks.

- Christos Bouras, Vaggelis Kapoulas, Enea Tsanai, "Routing in VANETS and a GPSR Enhancement Mechanism" (To be submitted)

Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs) are considered as a special case of mobile Ad Hoc networks (MANETs) and recently are gaining great attention from the research community. The need for improved road safety, traffic efficiency and direct communication along with the great evolution of the IEEE 802.11 makes VANETs a very important field. VANETs show some promising capabilities and applications that cannot be easily integrated and efficiently perform in common MANET nodes. However, along with the promising capabilities come some challenging issues such as routing and network hierarchy. In this paper, we propose an enhancement mechanism for the GPSR routing protocol and present its performance for urban and highway scenarios. Its performance is compared to the performance of the most common MANET routing protocols adopted in VANETs. The proposed enhancement is shown to be beneficial in most occasions as it outperforms the rest of the tested routing protocols.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλα τα άτομα που με βοήθησαν, άμεσα ή έμμεσα στην εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Αρχικά, ευχαριστώ θερμά τον καθηγητή κ. Χρήστο Μπούρα (Καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Πατρών) για την επίβλεψη αυτής της εργασίας και την συμπαράστασή του ώστε να ολοκληρωθεί επιτυχώς η παρούσα εργασία.

Ομοίως, θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον Βαγγέλη Καπούλα για την πολύτιμη συμβολή του στο ερευνητικό έργο και την επιτυχή ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους συναδέλφους για την άψογη συνεργασία μας στην Ερευνητική Μονάδα 6 του Ινστιτούτου Τεχνολογίας Υπολογιστών και Εκδόσεων "Διόφαντος"

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1	Εισαγωγή	17
1.1	Ασύρματα κινητά δίκτυα Ad Hoc	17
1.1.1	MANETS	18
1.1.2	VANETS	18
1.1.3	SENSORS	19
1.2	Στόχος και οργάνωση της διπλωματικής	20
Κεφάλαιο 2	Έλεγχος Προσπέλασης Μέσων – MAC στα WLAN	22
2.1	Λειτουργίες του MAC	22
2.2	Το πρωτόκολλο IEEE 802.11	22
2.2.1	802.11 legacy	22
2.2.2	802.11a	23
2.2.3	802.11b	23
2.2.4	802.11g	23
2.2.5	802.11n	23
2.2.6	802.11ac	23
2.2.7	802.11p	24
2.3	Κανάλια και συχνότητες σε MANETs και VANETs	24
Κεφάλαιο 3	Πρωτόκολλα δρομολόγησης	26
3.1	Proactive Πρωτόκολλα	27
3.2	Reactive Πρωτόκολλα	27
3.3	Hybrid Πρωτόκολλα	27
3.4	Hierarchical πρωτόκολλα	28
3.5	Πρωτόκολλα δρομολόγησης σε MANETs	28
3.6	Πρωτόκολλα δρομολόγησης σε VANETs	28
3.7	Το πρωτόκολλο AODV	29
3.8	Το πρωτόκολλο AOMDV	31
3.9	Το πρωτόκολλο DSR	32
3.10	Το πρωτόκολλο OLSR	33
3.11	Το πρωτόκολλο DSDV	35
3.12	Το πρωτόκολλο GPSR	36
Κεφάλαιο 4	Εφαρμογές σε Ad Hoc δίκτυα	38
4.1	Πολυμεσικές εφαρμογές	38
4.1.1	Ήχος	38

4.1.1.1	Ανάλυση Απαιτήσεων και Κωδικοποίηση Ήχου	38
4.1.2	Βίντεο	39
4.1.2.1	Πλαίσια Βίντεο	39
4.1.2.2	Κωδικοποίηση Βίντεο.....	40
4.1.2.3	Ανάλυση Απαιτήσεων	41
4.2	Προσαρμοστική μετάδοση με το TFRC	42
4.3	Μετρικές αξιολόγησης πολυμεσικών εφαρμογών	42
4.3.1	QoS	43
4.3.2	PSNR	43
4.3.3	Mos.....	43
4.4	Εφαρμογές σε MANETs	44
4.4.1	Αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης	44
4.4.2	Πολυμεσικές και άλλες εφαρμογές	45
4.5	Εφαρμογές σε VANETs	45
4.5.1	Ασφάλεια στο δρόμο.....	46
4.5.2	Διαχείριση κίνησης στο δρόμο.....	46
4.5.3	Πολυμεσικές και άλλες εφαρμογές	47
Κεφάλαιο 5	Μοντέλα εξομοίωσης σε Ad Hoc δίκτυα.....	48
5.1	Εξομοιωτές δικτύων	48
5.1.1	NS-2	48
5.1.2	NS-3	49
5.2	Μοντέλα κίνησης κόμβων σε Ad Hoc δίκτυα.....	51
5.2.1	Μοντέλα κίνησης σε MANETs	51
5.2.2	Μοντέλα κίνησης σε VANETs	53
5.3	Evalvid-RA και εξομοίωση μετάδοσης πολυμέσων	54
Κεφάλαιο 6	Προτεινόμενος μηχανισμός επιλογής καναλιού με διαστρωματική ανατροφοδότηση	56
6.1	Related Work.....	56
6.2	Διαστρωματικές αρχιτεκτονικές στον NS-2.....	56
6.2.1	Αρχιτεκτονική Κόμβου χωρίς Πολλαπλά Κανάλια	56
6.2.2	Αρχιτεκτονική Κόμβου με Πολλαπλά Κανάλια	58
6.3	Περιγραφή μηχανισμού	59
6.4	Μηχανισμός εναλλαγής διεπαφών.....	61
6.5	Ο αλγόριθμος	64
Κεφάλαιο 7	Προτεινόμενος μηχανισμός προώθησης πακέτων του GPCR σε VANETs.....	66
7.1	Related Work.....	66

7.2	Περιγραφή μηχανισμού	66
7.3	Μηχανισμός προώθησης και ανάθεσης βάρους διαδρομής.....	67
7.4	Ο αλγόριθμος	69
Κεφάλαιο 8 Διεξαγωγή πειραμάτων και συμπεράσματα.....		72
8.1	Εξομοίωση μετάδοσης πολυμεσικών δεδομένων και αξιολόγηση απόδοσης της rate adaptive μετάδοσης βίντεο με TFRC	72
8.1.1	Περιγραφή Τοπολογίας.....	72
8.1.2	Αποτελέσματα και αξιολόγηση του TFRC	72
8.2	Εξομοίωση μετάδοσης πολυμεσικών δεδομένων και αξιολόγηση απόδοσης των πρωτόκολλων δρομολόγησης σε MANETs	74
8.2.1	Περιγραφή τοπολογιών.....	75
8.2.2	Αξιολόγηση ως προς μετρικές δικτύου	76
8.2.3	Αξιολόγηση ως προς μετρικές εμπειρίας τελικού χρήστη	78
8.3	Πειράματα και αξιολόγηση του προτεινόμενου μηχανισμού επιλογής καναλιού με διαστρωματική ανατροφοδότηση	82
8.4	Πειράματα και αξιολόγηση του προτεινόμενου μηχανισμού ενίσχυσης του GPSR και σύγκριση με άλλα πρωτόκολλα δρομολόγησης σε VANETs.....	88
8.4.1	Περιγραφή τοπολογιών.....	88
8.4.2	Σενάριο Αστικής Περιοχής.....	89
8.4.2.1	Αποτελέσματα εξομοίωσης.....	90
8.4.3	Σενάριο Αυτοκινητόδρομου	93
8.4.3.1	Αποτελέσματα εξομοίωσης.....	93
Κεφάλαιο 9 Συμπεράσματα και μελλοντική εργασία.....		96
9.1	Συμπεράσματα	96
9.2	Μελλοντική εργασία	97

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Αναπαράσταση καναλιών της ζώνης συχνοτήτων 2.4 GHz	24
Εικόνα 2: Βασικά σχήματα μετάδοσης	26
Εικόνα 3: Μορφή μηνύματος RREQ.....	30
Εικόνα 4: Μορφή μηνύματος RREP.....	31
Εικόνα 5: Μορφή μηνύματος RRER	31
Εικόνα 6: Πίνακας δρομολόγησης για AODV (αριστερά) και AOMDV (δεξιά)	32
Εικόνα 7: Μορφή πακέτου TC στο OLSR.....	34
Εικόνα 8: Μορφή πακέτου HELLO στο OLSR.....	35
Εικόνα 9: Περίπτωση αποτυχίας του greedy forwarding. Ο αποστολέας x βρίσκεται πλησιέστερα στον προορισμό απ' ότι οι γείτονες w και y. Εδώ εφαρμόζεται ο κανόνας του δεξιού χεριού.	37
Εικόνα 10: Η εφαρμογή αναπαραγωγής μέσων αποθηκεύει προσωρινά την είσοδο από το διακομιστή μέσων και αναπαράγει δεδομένα από την περιοχή αυτή, αντί να τα παίρνει απευθείας από το δίκτυο	39
Εικόνα 11: Ακολουθία πλαισίων βίντεο.....	40
Εικόνα 12: Η λειτουργία του JPEG στην ακολουθιακή απωλεστική κατάσταση.....	41
Εικόνα 13: Δομή MPEG-4 βίντεο.....	41
Εικόνα 14: Ιεραρχική δομή των ομάδων της πυροσβεστικής υπηρεσίας για την διάσωση και την κατάσβεση πυρός	45
Εικόνα 15: Η βασική αρχιτεκτονική του NS-2	49
Εικόνα 16: Αρχιτεκτονική Δικτύου στον NS-3	49
Εικόνα 17: Μοντέλο κίνησης Random Waypoint.....	52
Εικόνα 18: Μοντέλο κίνησης Manhattan Grid.....	52
Εικόνα 19: Μοντέλο κίνησης RPGM.....	53
Εικόνα 20: Εξομοίωση μιας διασταύρωσης από το SUMO	53
Εικόνα 21: Η πόλη της Κολονίας στη Γερμανία όπως παράγει το SUMO.....	54
Εικόνα 22: Διαδικασία εκτέλεσης πειραμάτων για μετάδοση βίντεο μέσω του Evalvid-RA και NS-2	55
Εικόνα 23: Βασική αρχιτεκτονική κόμβου στον NS-2	57
Εικόνα 24: Επέκταση αρχιτεκτονικής κόμβου MIMC στον NS-2 με υποστήριξη 3 διεπαφών και καναλιών	58
Εικόνα 25: Χρήση του ίδιου καναλιού από πολλαπλές συνδέσεις.	61
Εικόνα 26: Χρήση πολλαπλών καναλιών από πολλαπλές συνδέσεις.....	61
Εικόνα 27: Διεπαφές μετάδοσης και εναλλακτικές διεπαφές.....	62
Εικόνα 28: (Αριστερά) Επιλογή 4 καναλιών χωρίς τον προτεινόμενο μηχανισμό. (Δεξιά) Επιλογή 4 καναλιών με τον προτεινόμενο μηχανισμό.	63
Εικόνα 29: (Αριστερά) Επιλογή 4 καναλιών χωρίς τον προτεινόμενο μηχανισμό. (Δεξιά) Επιλογή 4 καναλιών με τον προτεινόμενο μηχανισμό.	64
Εικόνα 30: Δυο οχήματα κινούνται παράλληλα και η απόσταση των ευθειών που διαγράφουν είναι μικρότερη του πλάτους του δρόμου. Η SameRoadandDirection() θα επιστρέψει true.....	68
Εικόνα 31: Ροή εκτέλεσης του μηχανισμού προώθησης και ανάθεσης βάρους	68
Εικόνα 32: Δρομολόγηση σε αυτοκινητόδρομο (αριστερά) και σε διασταύρωση (δεξιά). Τα κόκκινα βέλη αντιστοιχούν στις διαδρομές που επιλέγει το GPSR και οι πράσινες σε αυτές που επιλέγει ο προτεινόμενος μηχανισμός.....	70

Εικόνα 33: Περίπτωση όπου το GPSR μεταβαίνει σε επαναδρομολόγηση για κάθε όχημα στη κόκκινη διαδρομή. Με κόκκινο απεικονίζεται η GPSR διαδρομή και με πράσινο η GPSR-Modified διαδρομή	71
Εικόνα 34: Συνολική ρυθμαπόδοση ανά δευτερόλεπτο.....	73
Εικόνα 35: Μέσο PSNR ανά καρέ βίντεο.....	74
Εικόνα 36: Καρέ του ίδιου βίντεο για 3 διαφορετικές τιμές του PSNR	74
Εικόνα 37: Αριστερά η πρώτη τοπολογία και δεξιά η δεύτερη τοπολογία του εξεταζόμενου MANET.....	76
Εικόνα 38: Μέση καθυστέρηση πακέτων για την τοπολογία 1.....	77
Εικόνα 39: Μέση καθυστέρηση πακέτων για την τοπολογία 2.....	77
Εικόνα 40: Συνολική ρυθμαπόδοση για κάθε ροή βίντεο για την τοπολογία 1	78
Εικόνα 41: Συνολική ρυθμαπόδοση για κάθε ροή βίντεο για την τοπολογία 2	78
Εικόνα 42: Μέσο MOS χωρίς το σχήμα MIMC για την τοπολογία 1.....	79
Εικόνα 43: Μέσο MOS με το σχήμα MIMC για την τοπολογία 1.....	79
Εικόνα 44 : Μέσο MOS χωρίς το σχήμα MIMC για την τοπολογία 2.....	80
Εικόνα 45: Μέσο MOS με το σχήμα MIMC για την τοπολογία 2.....	80
Εικόνα 46: Μέσο PSNR χωρίς το σχήμα MIMC για την τοπολογία 1.....	80
Εικόνα 47: Μέσο PSNR με το σχήμα MIMC για την τοπολογία 1	81
Εικόνα 48: Μέσο PSNR χωρίς το σχήμα MIMC για την τοπολογία 2.....	81
Εικόνα 49: Μέσο PSNR με το σχήμα MIMC για την τοπολογία 2	81
Εικόνα 50: Αρχική(στα αριστερά) και τελική(στα δεξιά) θέση των κόμβων.....	83
Εικόνα 51: Ρυθμαπόδοση των ροών βίντεο στη περίπτωση του AODV με MIMC.....	84
Εικόνα 52: Ρυθμαπόδοση των ροών βίντεο στη περίπτωση του AODV με τον προτεινόμενο μηχανισμό	85
Εικόνα 53: Συνολική ρυθμαπόδοση με και χωρίς τον προτεινόμενο μηχανισμό	85
Εικόνα 54: Καθυστέρηση ανά πακέτο των ροών βίντεο στη περίπτωση του AODV με MIMC	86
Εικόνα 55: Καθυστέρηση ανά πακέτο των ροών βίντεο στη περίπτωση του AODV με τον προτεινόμενο μηχανισμό.....	87
Εικόνα 56: Μέση καθυστέρηση με και χωρίς τον προτεινόμενο μηχανισμό.....	87
Εικόνα 57: PSNR των ροών βίντεο με και χωρίς τον προτεινόμενο μηχανισμό	88
Εικόνα 58: Σταδιο1 - Επιλογή του τμήματος της πόλης από τον ηλεκτρονικό χάρτη με τη χρήση του JOSM	89
Εικόνα 59: Σταδιο2 - Επεξεργασία του επιλεγμένου τμήματος με το JOSM για ένωση ασύνδετων δρόμων στις άκρες του χάρτη και αποτροπή κίνησης των οχημάτων έξω από το χάρτη.	90
Εικόνα 60: Σταδιο3 - Εισαγωγή του επεξεργασμένου χάρτη από το JOSM στο SUMO. Δημιουργία οχημάτων και διαδρομών στη πόλη και εξαγωγή σε mobility file για εισαγωγή στον NS-3.....	90
Εικόνα 61: Ποσοστό επιτυχίας παράδοσης πακέτων (PDR) ανα πρωτόκολλο δρομολόγησης	91
Εικόνα 62: Καθυστέρηση από άκρο σε άκρο ανά πρωτόκολλο δρομολόγησης	92
Εικόνα 63: Κατανάλωση ενέργειας ανά πρωτόκολλο δρομολόγησης	92
Εικόνα 64: Σενάριο αυτοκινητόδρομου. Το κίτρινο όχημα είναι ο αποστολέας και το κόκκινο ο παραλήπτης.....	93
Εικόνα 65: Ποσοστό επιτυχίας παράδοσης πακέτων (PDR) ανά μέση ταχύτητα κόμβων για κάθε πρωτόκολλο δρομολόγησης	94

Εικόνα 66: Καθυστέρηση από άκρο σε άκρο ανά μέση ταχύτητα κόμβων για κάθε πρωτόκολλο δρομολόγησης	94
Εικόνα 67: Κατανάλωση ενέργειας ανά μέση ταχύτητα κόμβων για κάθε πρωτόκολλο δρομολόγησης.....	95

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Αντιστοίχιση τιμών του MOS στο PSNR	44
Πίνακας 2: Βασικές διαφορές μεταξύ του εξομοιωτή NS-2 και NS-3.....	51
Πίνακας 3: Παράμετροι δικτύου για τις 2 τοπολογίες.....	89

Ακρώνυμα

AODV	Ad Hoc On-Demand Distance Vector
AOMDV	Ad Hoc On-Demand Multipath Distance Vector
DSDV	Destination-Sequenced Distance Vector
DSR	Dynamic Source Routing
E2E	End to End
GOP	Group of Pictures
GPSR	Greedy Perimeter Stateless Routing
ITS	Intelligent Transportation Systems
MAC	Medium Access Control
MANET	Mobile Ad-Hoc Network
MIMC	Multiple Interfaces Multiple Channels
MOS	Mean Opinion Score
MPEG	Moving Picture Experts Group
NS-2	Network Simulator 2
NS-3	Network Simulator 3
OLSR	Optimized Link State Routing
PDR	Packet Delivery Ratio
PSNR	Peak Signal to Noise Ratio
QoS	Quality of Service
RTT	Round Trip Time
SUMO	Simulation of Urban Mobility
TCP	Transfer Control Protocol
TFRC	TCP Friendly Rate Control
UDP	User Datagram Protocol
VANET	Vehicular Ad-Hoc Network

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Ασύρματα κινητά δίκτυα Ad Hoc

Τα ασύρματα κινητά δίκτυα Ad Hoc αποτελούν πλέον ένα βασικό τμήμα των σημερινών δικτύων με μεγάλο θετικό αντίκτυπο στις σύγχρονες ασύρματες τηλεπικοινωνίες και εφαρμογές. Η συνεχώς αυξανόμενη χρήση των κινητών συσκευών σε συνδυασμό με την μείωση του κόστους και την αύξηση της αποδοτικότητας, καθιστούν τα Ad Hoc δίκτυα ιδιαίτερα δημοφιλή. Ένα Ad Hoc δίκτυο μπορεί να οριστεί ως ένα αυτόνομο σύστημα αποτελούμενο από κινητούς κόμβους που σχηματίζουν ένα ασύρματο δίκτυο επικοινωνίας που μπορεί να αναπαρασταθεί με ένα τυχαίο γράφημα. Τα κύρια χαρακτηριστικά σε ένα τέτοιο δίκτυο είναι η δυναμικότητα και η απρόβλεπτη κίνηση των κόμβων. Για το λόγο αυτό τα Ad Hoc δίκτυα αποτελούν και ένα πολύ σημαντικό θέμα της ερευνητικής κοινότητας και πολλές προσπάθειες έχουν καταβληθεί για την μοντελοποίηση τους.

Ένα Ad Hoc δίκτυο συνήθως έχει μεταβλητό μέγεθος που μπορεί να τείνει και στο άπειρο. Ο κάθε κόμβος του μπορεί να κινηθεί ελεύθερα στο χώρο καθώς και να εισέρχεται ή εξέρχεται από τη ζώνη εμβέλειας του Ad Hoc δικτύου. Ταυτόχρονα, μπορεί να έχει τον ρόλο του αποστολέα, παραλήπτη ή δρομολογητή μεταξύ άλλων κόμβων. Αυτό είναι ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των Ad Hoc δικτύων καθώς επιτρέπει σε δυο κόμβους που είναι μεταξύ τους απομακρυσμένοι, να επικοινωνήσουν μέσω άλλων ενδιάμεσων κόμβων σχηματίζοντας multi-hop μονοπάτια. Κάτι τέτοιο δεν ισχύει στα γνωστά κινητά τηλεφωνικά δίκτυα όπου έχουμε απευθείας επικοινωνία με το σταθμό βάσης. Ακόμη μια βασική διαφορά των Ad Hoc δικτύων από τα γνωστά κινητά τηλεφωνικά δίκτυα είναι ότι τα δεύτερα εξαρτώνται από τις ενσύρματες εγκαταστάσεις και το σταθμό βάσης ενώ τα πρώτα δρουν κατανεμημένα χωρίς καμιά εξάρτηση από σταθερές εγκαταστάσεις ή κάποιο σταθμό. Στα πλεονεκτήματα των Ad Hoc δικτύων προστίθεται και το χαμηλό κόστος των συσκευών, υπηρεσιών αλλά και συντήρησης του δικτύου καθώς απουσιάζουν σταθερές εγκαταστάσεις.

Οι εφαρμογές των Ad Hoc δικτύων ποικίλουν με ορισμένες να είναι αποτελεσματικές μόνο με τη χρήση των Ad Hoc καθώς άλλοι τύποι δικτύων αποτυγχάνουν. Οι σημαντικότερες εφαρμογές σχετίζονται με στρατιωτικές επιχειρήσεις, φυσικές καταστροφές, επιχειρήσεις διάσωσης και γενικότερα εφαρμογές σε περιβάλλοντα όπου απαιτείται άμεση εγκατάσταση δικτύου χωρίς να είναι διαθέσιμος κάποιος έτοιμος σκελετός δικτύου ή οποιαδήποτε λειτουργική εγκατάσταση και σταθμός βάσης. Σε τέτοια σενάρια, παραδοσιακά ενσύρματα ή και ασύρματα δίκτυα είναι ιδιαίτερα ευάλωτα και μη λειτουργικά σε αντίθεση με τα Ad Hoc δίκτυα που αποτελούν μια αποτελεσματική λύση. Στο σημείο αυτό, μια ιδιαίτερα σημαντική εφαρμογή είναι η μετάδοση πολυμέσων τύπου streaming για την σωστή αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης όπως οι παραπάνω. Φυσικά η εξέλιξη των κινητών συσκευών καθιστά τα Ad Hoc δίκτυα δημοφιλή και σε καθημερινές εφαρμογές και εφαρμογές που σχετίζονται με την ψυχαγωγία, την ενημέρωση ή και τις αγορές. Πραγματικά παραδείγματα είναι η σύνδεση των χρηστών στο διαδίκτυο σε αστικές περιοχές ή η

ανταλλαγή πληροφοριών των χρηστών σε ένα συνέδριο μέσω PDA, notebook ή οποιαδήποτε άλλη κινητή συσκευή. Οι εφαρμογές στα Ad Hoc δίκτυα ποικίλουν και η δυνατότητα ενσωμάτωσης με άλλες τεχνολογίες όπως τα οχήματα δημιουργούν νέες υποκατηγορίες Ad Hoc δικτύων με τις σημαντικότερες να είναι τα MANETs, τα VANETs και τα Sensors.

Αν και η τεχνολογία των Ad Hoc είναι πολλά υποσχόμενη, υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί και προκλήσεις που καθιστούν τα Ad Hoc δίκτυα όχι αρκετά «ώριμα». Οι δυσκολίες έχουν να κάνουν κυρίως με την πολυπλοκότητα της δρομολόγησης, τα θέματα ενέργειας αλλά και την ασφάλεια. Η πρόκληση στη δρομολόγηση σχετίζεται άμεσα με τη συνεχώς μεταβαλλόμενη δομή, το μέγεθος αλλά και την εναέρια κυκλοφορία των πακέτων χωρίς παρεμβολές. Το γεγονός ότι οι κόμβοι αρκετές φορές εξέρχονται από το δίκτυο και προκαλούν αποσυνδέσεις καθιστούν δύσκολη την επιλογή του καταλληλότερου μονοπατιού. Οι επαναδρομολογήσεις προσθέτουν καθυστερήσεις και υποβάθμιση της ποιότητας των εφαρμογών. Για την επίλυση τέτοιων προβλημάτων έχουν προταθεί διάφορα πρωτόκολλα δρομολόγησης και αρκετές βελτιώσεις σε ήδη υπάρχοντα. Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης κατηγοριοποιούνται σε proactive, reactive ή υβριδικά. Πρέπει να τονιστεί ότι το κάθε πρωτόκολλο δρομολόγησης έχει τη δική του στρατηγική και η απόδοσή του εξαρτάται από ένα μεγάλο πλήθος παραμέτρων όπως η πυκνότητα των κόμβων στο δίκτυο, η ταχύτητα, οι αλλαγές κατεύθυνσης, οι παρεμβολές αλλά και ο τύπος του Ad Hoc δικτύου. Τα σημαντικότερα πρωτόκολλα δρομολόγησης σε MANETs και VANETs είναι τα AODV, AOMDV, DSR, DSDV και OLSR. Στο κομμάτι της ασφάλειας, απαιτούνται ισχυρή κρυπτογράφηση και ισχυρά τείχη προστασίας καθώς τα Ad Hoc δίκτυα αποτελούν συχνό στόχο επιθέσεων.

1.1.1 MANETS

Τα MANETs (Mobile Ad Hoc Networks) αποτελούν την ευρύτερη κατηγορία των Ad Hoc δικτύων και αποτελούν τα Ad Hoc δίκτυα με κινητούς κόμβους που στη γενική περίπτωση κινούνται τυχαία ή ακολουθούν κάποιο μοντέλο κίνησης. Δεν θέτουν περιορισμούς στις κινήσεις των κόμβων και μπορεί να δοθεί ο ορισμός του αυτόνομου συστήματος με κινητούς κόμβους που δόθηκε και παραπάνω. Τα MANETs διαθέτουν όλα τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν παραπάνω και συναντώνται σχεδόν σε κάθε Ad Hoc δίκτυο. Οι περιοχές εφαρμογής τους σχετίζονται με κινούμενες ασύρματες συσκευές και μπορεί να είναι από ένα smartphone που αποστέλλει κάποιο e-mail έως κάποια συσκευή βιντεοσκόπησης στο κράνος ενός πυροσβέστη.

1.1.2 VANETS

Τα VANETs (Vehicle Ad Hoc Networks), όπως και τα MANETs, αποτελούνται από ένα μεταβλητό πλήθος κινούμενων κόμβων που σχηματίζουν ένα Ad Hoc δίκτυο και επικοινωνούν χωρίς καμία εξάρτηση σε εγκαταστάσεις ή κάποιο σταθμό βάσης. Οι κόμβοι σε ένα VANET είναι κινούμενα οχήματα σε αστική ή μη περιοχή. Ουσιαστικά, τα VANETs αποτελούν ειδική περίπτωση των MANETs αλλά με περισσότερο προβλέψιμη κίνηση, μεγαλύτερες απαιτήσεις αξιοπιστίας επικοινωνίας και ασφάλειας αλλά και συγκεκριμένο εύρος εφαρμογών. Στα VANETs υπάρχουν 3 τύποι επικοινωνιών:

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

Η ενέργεια στα VANETs είναι επίσης σημαντική, αλλά πολλές φορές θεωρείται άπειρη λόγω της λειτουργίας του κινητήρα των οχημάτων. Η περισσότερο προβλέψιμη κίνηση έγκειται στο γεγονός ότι τα οχήματα ακολουθούν το σχεδιασμό των αυτοκινητόδρομων και των πόλεων που είναι ήδη χαρτογραφημένα και περιορίζουν το εύρος πιθανών κινήσεων και διαδρομών. Αυτός είναι ο βασικός λόγος που η δρομολόγηση στα VANETs πρέπει να σχεδιάζεται με διαφορετική στρατηγική από τα MANETs. Η αξιοπιστία του δικτύου στα VANETs είναι καθοριστικής σημασίας, καθώς η βασικότερη εφαρμογή τους είναι η ασφάλεια στο δρόμο. Σε ένα τέτοιο δίκτυο απαιτούνται μεγάλες ταχύτητες, μικρή καθυστέρηση και αξιοπιστία. Οι απαιτήσεις αυτές είναι μια μεγάλη πρόκληση καθώς οι χρόνοι συνδέσεων μεταξύ των κόμβων είναι μικροί και οι αποσυνδέσεις πολλές. Το εύρος των εφαρμογών σχετίζεται αρχικά με την αποφυγή ατυχημάτων στο δρόμο, την ασφαλέστερη και πιο άνετη οδήγηση, την διαχείριση της κυκλοφοριακής ροής και στη συνέχεια με την ενημέρωση, την ψυχαγωγία και άλλες παρόμοιες. Αρκετές εταιρίες έχουν ήδη ενσωματώσει αυτό τον τύπο δικτύου στα αυτοκίνητα που αν και σε πρώιμο στάδιο, αποτελούν το μέλλον στην εξέλιξη των ασύρματων επικοινωνιών.

1.1.3 SENSORS

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι μια σημαντική περίπτωση των Ad Hoc δικτύων με αρκετά μεγάλο ενδιαφέρον. Τα κύρια χαρακτηριστικά τους είναι το πολύ χαμηλό κόστος κατασκευής τους, η εύκολη χρήση τους, το μικρό τους μέγεθος και η στασιμότητα τους στο χώρο. Ο ρόλος τους είναι η συλλογή δεδομένων από το περιβάλλον στο οποίο είναι τοποθετημένοι και οι εφαρμογές τους σχετίζονται κυρίως με στρατιωτικές επιχειρήσεις σε εχθρικό περιβάλλον, την παρακολούθηση ευαίσθητων περιοχών φυσικού περιβάλλοντος, την αποφυγή καταστροφών με άμεση ενημέρωση από τους αισθητήρες για επικίνδυνες καταγεγραμμένες τιμές και άλλα. Συνήθως οι αισθητήρες παραμένουν ανενεργοί μέχρι ότου κάποια μεταβολή κατάστασης λάβει χώρα στο περιβάλλον τους. Ένα πολύ σημαντικό ζήτημα στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι η διάρκεια ζωής τους καθώς καθορίζεται πλήρως από την διαθέσιμη ενέργεια στις μπαταρίες.

1.2 Στόχος και οργάνωση της διπλωματικής

Ο στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι:

1. Η μελέτη των πρωτοκόλλων δρομολόγησης στα Ad Hoc δίκτυα τύπου MANET και η σύγκριση της απόδοσής τους σε πολυμεσικές εφαρμογές τύπου streaming σε διάφορα περιβάλλοντα με ένα και πολλαπλά κανάλια [1]. Στα πλαίσια της μελέτης, εξετάστηκε η προσαρμοστική μετάδοση πολυμέσων [2] και σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε ένας μηχανισμός με διαστρωματική ανατροφοδότηση που ενσωματώνεται στο πρωτόκολλο AODV και εναλλάσσει τα κανάλια επικοινωνίας στο Ad Hoc δίκτυο [3].
2. Η μελέτη των πρωτοκόλλων δρομολόγησης στα Ad Hoc δίκτυα τύπου VANET και η σύγκριση της επίδοσής τους σε σενάρια αστικών περιοχών και αυτοκινητόδρομων. Στα πλαίσια της μελέτης, υλοποιήθηκε ένας μηχανισμός ενίσχυσης της δρομολόγησης στο GPSR για την καλύτερη προσαρμογή του σε VANETs και η απόδοση του συγκρίθηκε με άλλα γνωστά πρωτόκολλα. Παράλληλα έγινε αναφορά στις νέες εφαρμογές των VANETs.

Η υπόλοιπη διπλωματική εργασία οργανώνεται ως εξής:

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται το επίπεδο ελέγχου προσπέλασης μέσω των WLAN καθώς και το πρωτόκολλο IEEE 802.11. Παράλληλα εξετάζονται τα κανάλια και οι συχνότητες επικοινωνίας στα MANETs και VANETs.

Στο κεφάλαιο 3 εξετάζεται η δρομολόγηση σε MANETs και VANETs και παρουσιάζονται τα πρωτόκολλα δρομολόγησης AODV, AOMDV, DSDV, DSR, OLSR και GPSR. Τα πρωτόκολλα αυτά εξετάζονται και μέσω πειραμάτων σε αυτή την διπλωματική εργασία.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται οι εφαρμογές σε MANETs και VANETs, οι απαιτήσεις τους καθώς και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους.

Στο κεφάλαιο 5 γίνεται εκτενής αναφορά στα μοντέλα εξομοίωσης δικτύων καθώς και στους εξομοιωτές που χρησιμοποιούνται για την διεξαγωγή πειραμάτων σε αυτή τη διπλωματική εργασία.

Στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται αναλυτικά ο προτεινόμενος μηχανισμός επιλογής καναλιού με διαστρωματική ανατροφοδότηση.

Στο κεφάλαιο 7 παρουσιάζεται αναλυτικά ο προτεινόμενος μηχανισμός προώθησης πακέτων του GPSR σε VANETs.

Το κεφάλαιο 8 περιλαμβάνει την διεξαγωγή των πειραμάτων και την παρουσίαση των αντίστοιχων αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τα εξής:

- Προσαρμοστική μετάδοση πολυμέσων σε MANETs με AODV και TFRC
- Σύγκριση της απόδοσης των AODV, AOMDV και DSDV σε MANETs με MIMC κατά την διάρκεια μετάδοσης βίντεο
- Αξιολόγηση του προτεινόμενου μηχανισμού επιλογής καναλιού με διαστρωματική ανατροφοδότηση σε MANETs με MIMC στο AODV, όταν μεταδίδεται βίντεο

- Αξιολόγηση του προτεινόμενου μηχανισμού προώθησης πακέτων του GPSR σε VANETs και σύγκριση με το GPSR, AODV, OLSR, DSDV και DSR

Στο κεφάλαιο 9 γίνεται ανακεφαλαίωση και παρουσιάζονται τα σημαντικότερα συμπεράσματα αλλά και η μελλοντική εργασία.

Κεφάλαιο 2

Έλεγχος Προσπέλασης Μέσων – MAC στα WLAN

Το Επίπεδο Προσπέλασης Μέσων ή Mac αποτελεί υποεπίπεδο του δεύτερου επιπέδου στην OSI αρχιτεκτονική των επτά επιπέδων. Το Mac υποεπίπεδο σχεδιάστηκε για να διαχειρίζεται τις διευθύνσεις και να ορίζει τις προτεραιότητες μετάδοσης στα τερματικά σε ένα κανάλι πολλαπλής πρόσβασης. Ο ρόλος του Mac επιπέδου είναι πολύ σημαντικός καθώς δρα ως διεπαφή μεταξύ του ανώτερου υποεπιπέδου LLC (έλεγχος λογικού συνδέσμου) και του φυσικού επιπέδου. Το κανάλι επικοινωνίας με το οποίο αλληλεπιδρά το Mac επίπεδο μπορεί να υποστηρίζει unicast, multicast ή broadcast υπηρεσίες.

2.1 Λειτουργίες του MAC

Ως γενική λειτουργία και στόχος του Mac ορίζεται ο χρονοπρογραμματισμός των μεταδόσεων μεταξύ ανταγωνιστικών ασύρματων γειτονικών κόμβων με παράλληλα χαμηλή καθυστέρηση, αποδοτική αξιοποίηση του καναλιού και αξιόπιστες εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Οι βασικότερες λειτουργίες του Mac είναι:

- Πλασιοποίηση
- Διευθυνσιοδότηση σταθμών προορισμού
- Μεταβίβαση πληροφοριών της διεύθυνσης αποστολέα
- Μεταβίβαση πληροφορίας από το επίπεδο συνδέσμου δεδομένων στο κανάλι του φυσικού επιπέδου
- Προστασία από λάθη στις ακολουθίες πλαισίων
- Έλεγχος πρόσβασης στο κανάλι επικοινωνίας

2.2 Το πρωτόκολλο IEEE 802.11

Το πρωτόκολλο IEEE 802.11 αποτελεί ένα σύνολο συγκεκριμένων προδιαγραφών για την λειτουργία των δικτύων WLAN στις ζώνες συχνοτήτων 2.4, 3.6, 5 και 60 GHz. Η πρώτη επίσημη έκδοση του πρωτοκόλλου κυκλοφόρησε το 1997 και από τότε έχουν υπάρξει πολλές μεταγενέστερες τροποποιήσεις. Οι τροποποιήσεις αυτές αποτελούν τη βάση για τις συσκευές δικτύου που χρησιμοποιούν τη ζώνη του WI-FI και κάθε νέα έκδοση του πρωτοκόλλου IEEE 802.11 συνήθως εδραιώνεται ως ξεχωριστό πρωτόκολλο. Τα σημαντικότερα πρωτόκολλα της οικογένειας IEEE 802.11 αναλύονται παρακάτω:

2.2.1 802.11 legacy

Αποτελεί την πρώτη επίσημη έκδοση του IEEE 802.11 που κυκλοφόρησε το 1997 και εδραιώθηκε το 1999. Υποστήριζε κώδικα για forward error correction και net bit rates στα 1 ή 2 Mbits/s.

2.2.2 802.11a

Το πρωτόκολλο 802.11a πρωτοεμφανίστηκε το 1999 και μετά από συνεχές βελτιώσεις χρησιμοποιείται ευρύτατα και σήμερα κυρίως σε εσωτερικούς χώρους εργασίας. Χρησιμοποιεί κυματομορφή των 5.8 GHz και επιτρέπει μετάδοση δεδομένων με ρυθμό από 1.5 έως και 54Mbits/s. Διαθέτει κώδικα για forward error correction και το πλεονέκτημα του είναι η χρήση της σχετικά ελεύθερης ζώνης των 5 GHz. Το μειονέκτημα του είναι το μικρό μήκος κύματος που έχει μεγάλη απορρόφηση από τοίχους και άλλα εμπόδια με αποτέλεσμα την περιορισμένη εμβέλεια και τις έντονες παρεμβολές.

2.2.3 802.11b

Το πρωτόκολλο 802.11b έγινε εμπορικό προϊόν από τις αρχές του 2000 και λόγω της υψηλής ρυθμαπόδοσης και του χαμηλού του κόστους αναγνωρίστηκε ως καθοριστική τεχνολογία για τα ασύρματα δίκτυα LAN. Ο ρυθμός μετάδοσης του είναι της τάξης των 11 Mbits/s και μια πρόκληση του είναι οι παρεμβολές από όλες τις συσκευές στη ζώνη των 2.4 GHz.

2.2.4 802.11g

Το πρωτόκολλο 802.11g εμφανίστηκε το 2003 και αποτέλεσε ένα νέο πρότυπο μεταγωγής στα ασύρματα δίκτυα. Το πλεονεκτήματά του είναι ο ρυθμός αποστολής στα 54 Mbits/s, το χαμηλό κόστος και η υποστήριξη κώδικα για forward error correction. Αποτέλεσε λύση στις υψηλές απαιτήσεις ρυθμού μετάδοσης δεδομένων. Οι περισσότερες ασύρματες συσκευές ενσωμάτωσαν ταυτόχρονα τα 802.11 a, b και g.

2.2.5 802.11n

Το πρωτόκολλο 802.11n εμφανίστηκε το 2007 και υπήρξε η εξέλιξη των προηγούμενων τεχνολογιών 802.11 εισάγοντας κεραίες MIMO (πολλαπλών εισόδων και πολλαπλών εξόδων). Το 802.11n λειτουργεί στις ζώνες 2.4 και 5 GHz και υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης από 54 έως 600 Mbit/s.

2.2.6 802.11ac

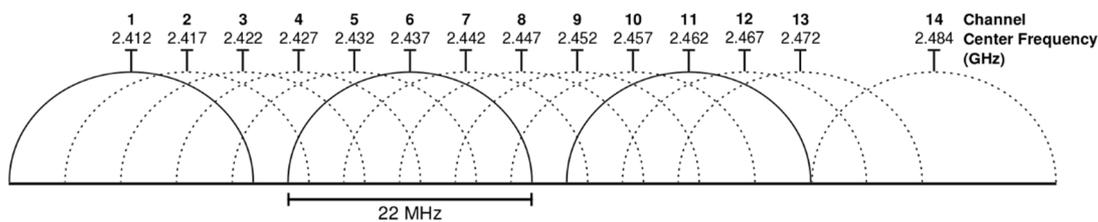
Το πρωτόκολλο 802.11ac δημοσιεύτηκε το 2013 και είναι η εξέλιξη του 802.11n. Χρησιμοποιεί έως και 8 spatial streams με έως και 256-QAM διαμόρφωση πλάτους. Το 802.11ac εισάγει και την έννοια του Multi-user MIMO και αυξάνει τον ρυθμό μετάδοσης μέχρι 433.3 Mbit/s ανά stream ή 1300 Mbit/s συνολικά στη ζώνη των 5 GHz.

2.2.7 802.11p

Το πρωτόκολλο 802.11p είναι η τεχνολογία που ενσωματώνεται στα δίκτυα VANET και επιτρέπει την ασύρματη πρόσβαση στα οχήματα ή αλλιώς το σύστημα επικοινωνίας σε οχήματα, WAVE. Είναι η εξέλιξη και η προσαρμογή του 802.11 στις ανάγκες των εφαρμογών ITS (Intelligent Transportation Systems) που απαιτούν αξιόπιστη σύνδεση μεταξύ κινούμενων οχημάτων. Το πρόγραμμα του 802.11p εξελίσσεται από το 2004 και μετά από αρκετά στάδια δημοσιεύτηκε και αποδέχτηκε το 2010 ως ένα πρωτόκολλο με μέγιστες καθυστερήσεις που δεν υπερβαίνουν κάποια δεκάδες msec. Σε ένα από τα στάδια εξέλιξης, το 802.11p θεωρούνταν κατάλληλο κυρίως για κοντινές αποστάσεις και εφαρμογές DSRC (dedicated short-range communications) όπως η αποφυγή ατυχημάτων, οι συναλλαγές σε δρόμα ή και εμπορικές συναλλαγές μεταξύ αυτοκινήτων. Στα πρόσφατα στάδια του, υπάρχει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον για διεύρυνση των εφαρμογών και εξέλιξη αυτής της τεχνολογίας. Η ζώνη λειτουργίας του είναι στα 5.9 GHz και η χωρητικότητα καναλιού είναι 10MHz.

2.3 Κανάλια και συχνότητες σε MANETs και VANETs

Τα κανάλια και οι συχνότητες επικοινωνίας στα Ad Hoc δίκτυα ορίζονται από τα πρότυπα του IEEE 802.11 για το WI-FI / WLAN. Οι βασικές παράμετροι είναι το εύρος ζώνης των καναλιών, οι ζώνες συχνοτήτων και τα κέντρα συχνοτήτων. Οι ζώνες συχνοτήτων στα ασύρματα δίκτυα είναι τα 2.4, 3.6, 4.9, 5 και 5.9 GHz. Στην εικόνα 1, εμφανίζονται τα κανάλια για τη ζώνη συχνοτήτων 2.4 GHz. Τα 14 κανάλια στη ζώνη αυτή, απέχουν μεταξύ τους 5 MHz εκτός από το κανάλι 14 που απέχει 12 MHz από το προηγούμενό του. Κάθε κανάλι έχει εύρος 22 MHz και υπάρχει έντονη επικάλυψη σε γειτονίες των 5 διαδοχικών καναλιών που συνεπάγεται παρεμβολές. Τα κανάλια που δεν παρεμβάλλονται μεταξύ τους είναι τα κανάλια 1, 6, 11 και 14.



Εικόνα 1: Αναπαράσταση καναλιών της ζώνης συχνοτήτων 2.4 GHz

Η κατάλληλη απόσταση μεταξύ των καναλιών, ώστε να αποφευχθεί ο θόρυβος από παρεμβολές, εξαρτάται από το πρωτόκολλο, τον ρυθμό μετάδοσης καθώς και το ηλεκτρομαγνητικό περιβάλλον του αποστολέα και του δέκτη. Στην απόσταση αυτή,

περιέχεται και ένα μικρό κενό διάστημα στα σύνορα του κάθε καναλιού για ασφαλέστερη οριοθέτηση των καναλιών.

Οι ζώνες συχνοτήτων στις οποίες επικοινωνούν τα δίκτυα MANET είναι κυρίως τα 2.4 GHz και 5 GHz. Η ζώνη των 2.4 GHz χρησιμοποιείται περισσότερο με αποτέλεσμα να αντιμετωπίζει και τις περισσότερες παρεμβολές ακόμα και από συσκευές όπως τα ασύρματα πληκτρολόγια ή συσκευές Bluetooth. Για ειδικές εφαρμογές στα MANETs, είναι δυνατό να γίνει και χρήση οποιαδήποτε άλλης ζώνης συχνοτήτων.

Τα δίκτυα VANET ακολουθούν το πρότυπο WAVE και χρησιμοποιούν τη ζώνη συχνοτήτων των 5.9 GHz. Στις συχνότητες αυτής της ζώνης λειτουργούν και οι εφαρμογές του IST.

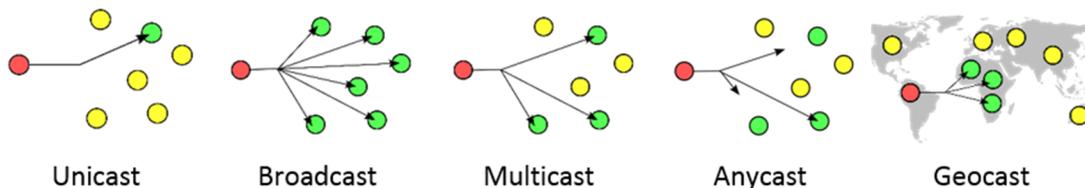
Κεφάλαιο 3

Πρωτόκολλα δρομολόγησης

Η δρομολόγηση στα Ad Hoc δίκτυα είναι μια σημαντική πρόκληση και η αποτελεσματικότητά της καθορίζει και τις επιδόσεις του δικτύου. Υπάρχει ένα μεγάλο πλήθος και εύρος αλγόριθμων που έχουν προταθεί για την εξέλιξη της διαδικασίας της δρομολόγησης αλλά και την καταλληλότερη προσαρμογή της σε διαφορετικά σύνολα παραμέτρων του δικτύου. Ο στόχος είναι η ορθότητα, απλότητα, ανθεκτικότητα, σταθερότητα, δικαιοσύνη και βέλτιστη απόδοση. Είναι γεγονός πως κάτι τέτοιο δεν καθόλου εύκολα υλοποιήσιμο για τη γενική περίπτωση και για αυτό εμφανίζονται πολλοί τύποι πρωτόκολλων δρομολόγησης που άλλοι συγκλίνουν σε μια σταθερή κατάσταση, άλλοι είναι ασταθείς, άλλοι ενεργοποιούνται μόνο σε αλλαγές κατάστασης και άλλοι αποτελούν κάποια υβριδικό σχεδιασμό. Η δρομολόγηση πραγματοποιείται στο επίπεδο δικτύου της ιεραρχίας OSI και χωρίζεται σε διάφορα σχήματα και κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο μεταβίβασης των πακέτων στο δίκτυο και την στρατηγική σχηματισμού μονοπατιών προς τους κόμβους-παραλήπτες.

Τα βασικά σχήματα μετάδοσης είναι τα εξής:

- Unicast: Μετάδοση μηνύματος σε έναν συγκεκριμένο κόμβο παραλήπτη
- Broadcast: Μετάδοση μηνύματος προς όλους τους κόμβους του δικτύου
- Multicast: Μετάδοση μηνύματος προς ένα σύνολο κόμβων παραληπτών
- Anycast: Μετάδοση μηνύματος προς τους κοντινότερους κόμβους σε μια ομάδα
- Geocast: Μετάδοση μηνύματος προς μια γεωγραφική έκταση



Εικόνα 2: Βασικά σχήματα μετάδοσης

Μια βασική κατηγοριοποίηση των πρωτόκολλων δρομολόγησης γίνεται ως προς τη στρατηγική ανακάλυψης, σχηματισμού και διατήρησης των μονοπατιών στο Ad Hoc δίκτυο. Οι κατηγορίες αυτές είναι η δρομολόγηση οδηγούμενη από τους πίνακες δρομολόγησης (proactive routing), η δρομολόγηση κατά απαίτηση (reactive routing), η υβριδική δρομολόγηση που συνδυάζει reactive και proactive στρατηγική και η ιεραρχική δρομολόγηση.

3.1 Proactive Πρωτόκολλα

Τα proactive πρωτόκολλα δρομολόγησης, όπως δηλώνει και το όνομά τους, ενημερώνουν περιοδικά τους πίνακες δρομολόγησης, αναζητούν και σχηματίζουν μονοπάτια στο δίκτυο πριν ακόμα απαιτηθεί κάποια μετάδοση ή αναζήτηση του δέκτη από τον αποστολέα. Με αυτή την στρατηγική, τα διαθέσιμα μονοπάτια στο δίκτυο είναι συνεχώς γνωστά και σε περίπτωση απαίτησης μετάδοσης πακέτων, ο αποστολέας μπορεί άμεσα να τα προωθήσει στο ήδη γνωστό μονοπάτι προς τον παραλήπτη. Η στρατηγική αυτή όμως επιφέρει και ορισμένα προβλήματα με τα σημαντικότερα να σχετίζονται με το σημαντικό μέγεθος δεδομένων που συλλέγονται περιοδικά και πρέπει να διατηρηθούν αλλά και με τον χρόνο αντίδρασης του δικτύου στην επαναδρομολόγηση και τις αποτυχίες. Τα proactive πρωτόκολλα αντιμετωπίζουν πρόβλημα ως προς την καθυστέρηση σε τοπολογίες με έντονες αποσυνδέσεις κόμβων από το δίκτυο και συχνές ανάγκες επαναδρομολόγησης. Οι συχνές αποχωρήσεις ή εμφανίσεις νέων κόμβων σε ένα Ad Hoc δίκτυο είναι φυσιολογικό φαινόμενο και ένα proactive πρωτόκολλο αργεί να ενημερώσει τους πίνακες δρομολόγησης καθώς λειτουργεί περιοδικά. Επιπρόσθετο πρόβλημα είναι το μεγάλο overhead από τα πακέτα ελέγχου που απαιτούνται για τη συχνή ενημέρωση των πινάκων δρομολόγησης και συνεπώς επιπρόσθετη κίνηση στο δίκτυο και αρνητική επίδραση στην ρυθμαπόδοση των δεδομένων. Οι καθυστερήσεις που προκύπτουν γίνονται πιο αισθητές σε πολυμεσικές εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Δυο εκπρόσωποι των proactive πρωτόκολλων δρομολόγησης είναι το DSDV (Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance Vector) και το OLSR (Optimized Link State Routing Protocol).

3.2 Reactive Πρωτόκολλα

Τα reactive πρωτόκολλα δρομολόγησης, σε αντίθεση με τα proactive, δρουν και εκκινούν την διαδικασία ανακάλυψης διαδρομών μόνο κατά απαίτηση. Αυτό επιφέρει αρκετά πλεονεκτήματα και επιλύει ορισμένα προβλήματα που εμφανίζονται στα proactive πρωτόκολλα. Οι κυρίαρχες λειτουργίες των reactive πρωτοκόλλων είναι η ανακάλυψη μονοπατιών και η διατήρησή τους μέχρι να βρεθούν νέα καταλληλότερα. Η ανακάλυψη των διαδρομών γίνεται με την διαδικασία flooding στο δίκτυο και τη χρήση πακέτων route request. Από ένα σύνολο διαθέσιμων μονοπατιών που ανακαλύπτονται, ο αποστολέας επιλέγει αυτό που θεωρεί πιο αξιόπιστο και όχι υποχρεωτικά το συντομότερο σε αριθμό hop. Η χωρητικότητα που δεσμεύουν τα reactive πρωτόκολλα από το δίκτυο είναι σημαντικά μικρότερη από αυτή που δεσμεύουν τα proactive για την περιοδική ενημέρωση των πινάκων. Ένα σημαντικό πρόβλημα των reactive πρωτόκολλων δρομολόγησης είναι οι καθυστερήσεις στην εκ νέου αναζήτηση διαδρομής αλλά και το μεγάλο φορτίο στο δίκτυο σε περίπτωση υπερβολικού flooding. Χαρακτηριστικά πρωτόκολλα αυτής της κατηγορίας είναι το AODV (Ad Hoc On-demand Distance Vector) και το DSR (Dynamic Source Routing).

3.3 Hybrid Πρωτόκολλα

Στη γενική περίπτωση, τα Ad Hoc δίκτυα έχουν απρόβλεπτη συμπεριφορά και παραμέτρους που μεταβάλλονται συνεχώς, καθιστώντας μη αποδοτική την χρήση αποκλειστικά μια στρατηγικής στη δρομολόγηση. Τα proactive και reactive πρωτόκολλα είναι αδύνατο από μόνα τους να είναι αποδοτικά και κατάλληλα για την γενική περίπτωση των Ad Hoc δικτύων. Μια λύση στο πρόβλημα αυτό είναι τα υβριδικά πρωτόκολλα δρομολόγησης όπου συνδυάζουν τις 2 προηγούμενες προσεγγίσεις ταυτόχρονα, αξιοποιώντας μόνο τα πλεονεκτήματα του καθενός. Ένα υβριδικό πρωτόκολλο αρχικά ακολουθεί την proactive στρατηγική για την ανακάλυψη όλων των μονοπατιών και στη συνέχεια την reactive στρατηγική εφαρμόζοντας αλγόριθμους για flooding στο δίκτυο και ενεργώντας μόνο κατά απαίτηση. Η λύση αυτή είναι πολλά υποσχόμενη, αλλά ο σχεδιασμός και η υλοποίηση παραμένει πολύπλοκη και πολλές φορές δεν έχει τα επιθυμητά αποτελέσματα καθώς η επίδοση εξαρτάται από τον αριθμό των κόμβων και την κίνηση πακέτων στο δίκτυο. Το ZRP (Zone Routing Protocol) είναι ένα χαρακτηριστικό υβριδικό πρωτόκολλο που χρησιμοποιεί το IARP ως proactive και το IERP ως reactive τμήμα δρομολόγησης.

3.4 Hierarchical πρωτόκολλα

Τα hierarchical ή ιεραρχικά πρωτόκολλα δρομολόγησης εφαρμόζονται σε περιπτώσεις Ad Hoc δικτύων όπου οι κόμβοι είναι ιεραρχικά οργανωμένοι και υπάρχει η ανάγκη για ομαδοποίηση (clustering). Τα ιεραρχικά πρωτόκολλα δρομολόγησης επιλέγουν είτε την proactive είτε την reactive στρατηγική ανάλογα με το επίπεδο του εκάστοτε κόμβου στην ιεραρχία. Η επίδοση τέτοιων πρωτοκόλλων εξαρτάται από το βάθος της ιεραρχίας και το σχήμα διευθυνσιοδότησης.

3.5 Πρωτόκολλα δρομολόγησης σε MANETs

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης στα MANETs προέρχονται από όλες τις κατηγορίες πρωτοκόλλων δρομολόγησης που υπάρχουν στα Ad Hoc. Πολλές φορές η αναφορά σε Ad Hoc δίκτυα ταυτίζεται με τα δίκτυα MANET αφού σχεδόν περιέχουν όλες τις υπόλοιπες υποκατηγορίες σε Ad Hoc.

3.6 Πρωτόκολλα δρομολόγησης σε VANETs

Τα VANETs, ως μια ειδική περίπτωση των MANETs, κληρονομούν όλα τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που ανήκουν και στα MANETs. Αυτό που αλλάζει είναι οι επιδόσεις των πρωτοκόλλων αυτών όταν εφαρμόζονται στα VANETs. Οι ιδιαιτερότητες και τα χαρακτηριστικά των VANETs δημιουργούν την ανάγκη για περεταίρω μελέτη και εξέλιξη των ήδη υπάρχοντων αλγόριθμων δρομολόγησης καθώς και την εμφάνιση νέων. Κατά συνέπεια εισάγονται νέες μετρικές και παράμετροι όπως η ηλεκτρονική χαρτογράφηση, οι συντεταγμένες των δρομολογητών κ.α.

3.7 Το πρωτόκολλο AODV

Το πρωτόκολλο AODV (Ad Hoc On-Demand Distance Vector) [4] είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης ειδικά σχεδιασμένο για κινητούς κόμβους σε δίκτυα MANET. Αποτελεί ένα από τα βασικότερα reactive πρωτόκολλα δρομολόγησης και προσφέρει γρήγορη προσαρμογή σε δυναμικές συνδέσεις του δικτύου, χαμηλό φόρτο επεξεργασίας και δέσμευσης μνήμης. Υποστηρίζει ένα πλήθος από δεκάδες μέχρι και χιλιάδες κόμβους σε ένα Ad Hoc δίκτυο και διαχειρίζεται ικανοποιητικά αργές και γρήγορες ταχύτητες κίνησης των κόμβων. Ο κύριος στόχος του AODV είναι η αποφόρτιση από τον έντονο έλεγχο στην κυκλοφορία των πακέτων δεδομένων και ο περιορισμός του overhead για επίτευξη υψηλότερων επιδόσεων. Ο τρόπος λειτουργίας του AODV καθορίζεται από τη χρήση ειδικών ακολουθιακών αριθμών (sequence numbers) αλλά και των μηνυμάτων RREQ, RREP, RRER.

Η χρήση των sequence numbers για κάθε διαδρομή είναι ένα ξεχωριστό χαρακτηριστικό του AODV που καθορίζει την επιλογή μεταξύ των διαθέσιμων διαδρομών και συμβάλει στην αποφυγή επαναλήψεων στη δρομολόγηση (routing loops) και τον εύκολο προγραμματισμό. Τα sequence numbers είναι ακέραιοι αριθμοί που χρησιμοποιούνται από τους κόμβους για να εξετάσουν το πόσο πρόσφατη είναι η πληροφορία που έχουν λάβει. Τα sequence numbers παράγονται από τους κόμβους προορισμούς ώστε να συμπεριληφθούν μαζί με οποιαδήποτε πληροφορία για τις διαδρομές απαιτήσουν οι διάφοροι κόμβοι. Μεταξύ δυο διαδρομών προς τον ίδιο προορισμό, το AODV θα επιλέξει αυτόν με το μεγαλύτερο sequence number.

Τα μηνύματα RREQ, RREP και RRER είναι οι τύποι μηνυμάτων που ανταλλάσσονται μεταξύ των κόμβων στο δίκτυο ώστε το AODV να ανακαλύψει, διατηρήσει ή ενημερώσει τις διαδρομές προς τους κόμβους προορισμού. Τα μηνύματα αυτά λαμβάνονται μέσω του πρωτόκολλου UDP και χρησιμοποιώντας κλασσική επεξεργασία κεφαλίδων IP. Σε περίπτωση που ένας κόμβος κάνει αίτηση, τότε η διεύθυνση IP του θα είναι η διεύθυνση IP του κόμβου αποστολής των μηνυμάτων. Πρέπει να σημειωθεί πως το AODV περιορίζει την τυφλή προώθηση μηνυμάτων εκτός από τα RREQ που είναι απαραίτητα για την ανακάλυψη διαδρομών. Φυσικά, και στη περίπτωση των μηνυμάτων τύπου RREQ, η διάδοση στο δίκτυο οριοθετείται από τον χρόνο ζωής στο πεδίο TTL της επικεφαλίδας IP. Στη γενική περίπτωση δεν απαιτείται κατακερματισμός αυτών των μηνυμάτων.

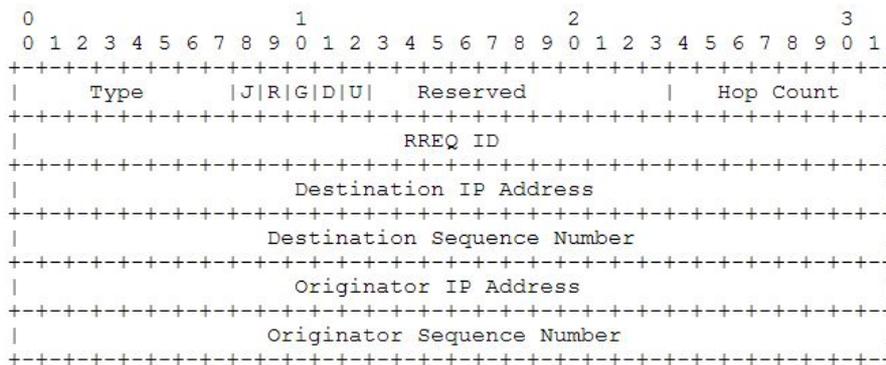
Τα μηνύματα RREQ (εικόνα 3) αποτελούν αιτήματα εύρεσης διαδρομής και αποστέλλονται στην περίπτωση που αναζητείται κάποια νέα διαδρομή από τον αποστολέα στον παραλήπτη. Όσο υπάρχει ορθή διαδρομή μεταξύ των δυο άκρων, το AODV παραμένει ανενεργό. Για την ανακάλυψη μια διαδρομής, θα πρέπει το μήνυμα RREQ να φτάσει είτε στον κόμβο προορισμού είτε σε έναν ενδιάμεσο κόμβο που διαθέτει έγκυρη ενημερωμένη διαδρομή προς τον κόμβο προορισμού. Για να είναι μια διαδρομή προς τον προορισμό έγκυρη και ενημερωμένη, θα πρέπει το sequence number της να είναι τουλάχιστον ίσο με αυτό του μηνύματος RREQ.

Ο σχηματισμός της διαδρομής ολοκληρώνεται με την απάντηση στο μήνυμα RREQ του κόμβου που έκανε την αίτηση με μήνυμα RREP (εικόνα 4). Το μήνυμα RREP στέλνεται και προωθείται με unicast τρόπο πίσω στην πηγή του αιτήματος. Μόλις η πηγή του αιτήματος λάβει την απάντηση RREP, όλοι οι ενδιάμεσοι κόμβοι θα είναι ενημερωμένοι και η διαδρομή από τον αποστολέα στον δέκτη θα είναι σχηματισμένη. Από το σημείο αυτό, το AODV θα ενεργοποιηθεί μόλις βρεθεί κάποιο μονοπάτι με μεγαλύτερο sequence number ή ληφθεί κάποιο μήνυμα RRER.

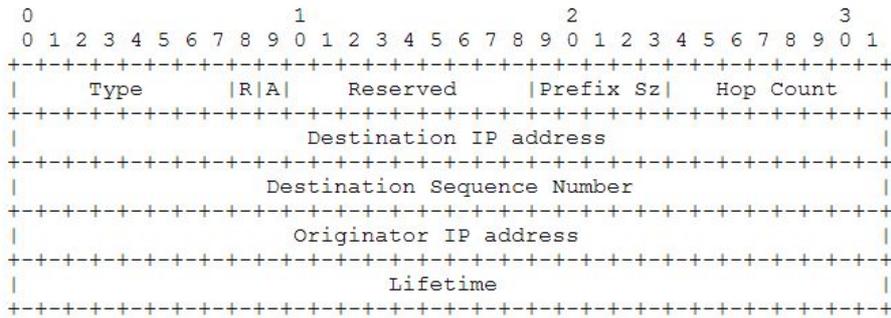
Τα μηνύματα RRER (εικόνα 5) είναι μηνύματα σφάλματος και αποστέλλονται για ενημέρωση των κόμβων σε περίπτωση διακοπής της διαδρομής από τον αποστολέα στον προορισμό. Το μήνυμα RRER περιέχει τους προορισμούς οι οποίοι δεν είναι πλέον προσβάσιμοι από το σύνδεσμο που έχει "χαλάσει". Για να λειτουργήσει αυτός ο μηχανισμός ενημέρωσης, 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 στη λίστα προγόνων αποκτάται εύκολα κατά τη διαδικασία της δημιουργίας ενός μηνύματος RREP.

Το πρωτόκολλο AODV υποστηρίζει και την multicast μετάδοση στα Ad Hoc δίκτυα. Έτσι ένα μήνυμα αίτησης RREQ μπορεί να ληφθεί για μια multicast διεύθυνση IP. Στη περίπτωση αυτή είναι απαραίτητος και ο κατάλληλος χειρισμός από τους ενδιαμέσους κόμβους. Σε αυτή την εργασία δεν θα γίνει βαθύτερη ανάλυση για τη περίπτωση της multicast μετάδοσης. Παρακάτω φαίνονται τα πεδία του πίνακα δρομολόγησης στο AODV καθώς και η δομή των ειδικών μηνυμάτων RREQ, RREP και RRER.

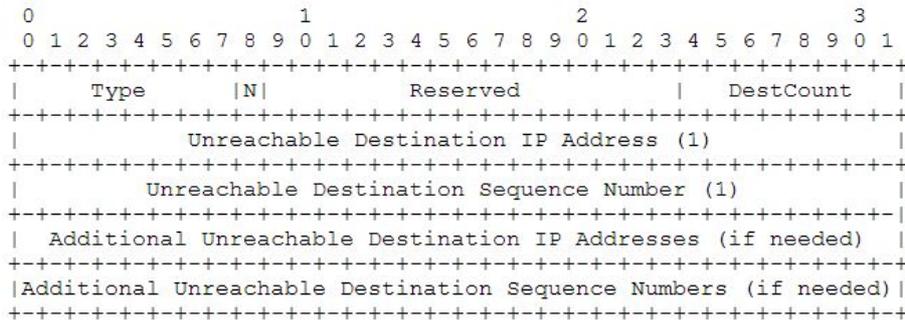
- Διεύθυνση IP προορισμού (Destination IP Address)
- Ακολουθιακός αριθμός προορισμού (Destination Sequence Number)
- Σήμανση εγκυρότητας ακολουθιακού αριθμού προορισμού (Valid Destination Sequence Number flag)
- Άλλες σημάνσεις σχετικά με την κατάσταση της δρομολόγησης (πχ. έγκυρη, άκυρη, υπό κατασκευή κτλ.) (Other state and routing flags)
- Διεπαφή δικτύου (Network Interface)
- Αριθμός Hop έως τον προορισμό (Hop Count)
- Επόμενο Hop (Next Hop)
- Λίστα προγόνων γειτονικών κόμβων (List of Precursors)
- Χρόνος ζωής (αφορά τη λήξη ή τη διαγραφή του μονοπατιού δρομολόγησης) (Lifetime)



Εικόνα 3: Μορφή μηνύματος RREQ



Εικόνα 4: Μορφή μηνύματος RREP



Εικόνα 5: Μορφή μηνύματος RRER

3.8 Το πρωτόκολλο AOMDV

Το πρωτόκολλο AOMDV (Ad Hoc On-Demand Multipath Distance Vector) [5] αποτελεί μια επέκταση του AODV που επιτυγχάνει τη δρομολόγηση μέσω εναλλακτικών μονοπατιών. Στόχος του AOMDV είναι η ταυτόχρονη αποστολή των πακέτων του ίδιου μηνύματος μέσω πολλαπλών, ασύνδετων και άκυκλων μονοπατιών στον προορισμό. Η σημαντικότερη βελτίωση που επιφέρει το AOMDV σε σχέση με το AODV είναι η μείωση του συνολικού χρόνου μετάδοσης μηνύματος από άκρο σε άκρο. Οι βασικές αρχές και λειτουργίες του AOMDV παραμένουν ίδιες με το AODV. Οι επεκτάσεις στη δομή διαφάνονται κυρίως στους πίνακες δρομολόγησης αλλά και την ανακάλυψη πολλών διαφορετικών μονοπατιών.

Οι ακολουθιακοί αριθμοί (sequence numbers) χρησιμοποιούνται όπως και στο AODV. Η ανακάλυψη και διατήρηση των μονοπατιών πραγματοποιείται μέσω των πακέτων RREQ, RREP και RRER. Ένα σημαντικό στοιχείο του AOMDV είναι η χρησιμοποίηση πληροφορίας δρομολόγησης από το AODV με αποτέλεσμα το χαμηλό overhead στην αποθήκευση πολλαπλών μονοπατιών. Αξίζει να σημειωθεί πως η αναζήτηση νέων μονοπατιών από το AOMDV απαιτείται μόνο όταν προκληθεί η διακοπή όλων των διαθέσιμων μονοπατιών. Το AOMDV αποτελείται από δύο σημαντικά τμήματα: την εγκαθίδρυση και διατήρηση πολλαπλών διαδρομών μέσω κανόνων ανανέωσης και ένα κατανεμημένο πρωτόκολλο εύρεσης ασύνδετων διαδρομών.

Όσον αφορά το πρώτο τμήμα, το AOMDV χρησιμοποιεί τη μετρική του γνωστοποιημένου μετρητή βημάτων (advertised hop count) για να καθορίσει το μέγεθος του μονοπατιού σε βήματα hops. Όλες οι διαδρομές με κοινό προορισμό έχουν τον ίδιο ακολουθιακό αριθμό. Σε

κάθε ακολουθιακό αριθμό αντιστοιχίζεται το μήκος σε βήματα της μεγαλύτερης διαδρομής και αποθηκεύεται ως ζεύγος στο πίνακα δρομολόγησης. Κάθε διαφήμιση διαδρομής προς τον προορισμό αποστέλλεται μέσω αυτών των βημάτων ενώ για κάθε αντίγραφο διαφήμισης που παραλαμβάνεται, ορίζεται και μια νέα εναλλακτική διαδρομή.

Η εύρεση ασύνδετων διαδρομών συμβάλλει καθοριστικά στην ελάττωση των σφαλμάτων και των αποτυχιών στο δίκτυο. Υπάρχουν δύο τύποι ασύνδετων διαδρομών: ασύνδετων ως προς τους κόμβους και ασύνδετων ως προς τις μεταξύ τους συνδέσεις. Στη πρώτη περίπτωση οι διαδρομές δεν περιέχουν κοινούς κόμβους εκτός από την πηγή και τον προορισμό. Σε αντίθεση, οι ασύνδετες διαδρομές ως προς τις συνδέσεις των κόμβων δεν περιέχουν καμία κοινή σύνδεση. Η βασική συνθήκη των ασύνδετων διαδρομών είναι η ανεξάρτητη αποτυχία των διαδρομών. Αυτό σημαίνει ότι οι διαδρομές από την πηγή στον προορισμό περιέχουν μοναδικά ενδιάμεσα βήματα. Η επέκταση στον πίνακα δρομολόγησης φαίνεται στην εικόνα 6.

Destination	Destination
Sequence number	Sequence number
Hop count	Advertised Hop count
Next hop	Route list {(nexthop1, hopcount1), (nexthop2, hopcount2), ...}
Expiration timeout	Expiration timeout

Εικόνα 6: Πίνακας δρομολόγησης για AODV (αριστερά) και AOMDV (δεξιά)

3.9 Το πρωτόκολλο DSR

Το πρωτόκολλο DSR (Dynamic Source Routing) [6] είναι ένα reactive πρωτόκολλο δρομολόγησης σχεδιασμένο ειδικά για χρήση σε multi-hop ασύρματα δίκτυα Ad Hoc. Η κατά απαίτηση λειτουργία του διατηρεί το overhead σε χαμηλά επίπεδα και καταναλώνει μόνο όσους πόρους από το δίκτυο απαιτούνται για την αντίδραση σε μεταβολές καταστάσεων στα ενεργά μονοπάτια. Το πρωτόκολλο αυτό επιτρέπει την διατήρηση πολλών μονοπατιών προς τον προορισμό δίνοντας τη δυνατότητα στον αποστολέα να επιλέγει το μονοπάτι που απομακρύνει το φόρτο από το δίκτυο και βελτιώνει την επίδοση. Ο σχεδιασμός του επιτρέπει υψηλές επιδόσεις για τοπολογίες με υψηλούς ρυθμούς κινητικότητας και πληθυσμού έως και μερικές εκατοντάδες κόμβους. Οι εγγραφές στη κύρια μνήμη διαδρομών ενημερώνονται με κάθε ανακάλυψη νέας διαδρομής και θεωρούνται έγκυρες μέχρι να παρέλθει η περίοδος λήξης τους. Οι κύριοι μηχανισμοί του DSR είναι η ανακάλυψη διαδρομής (Route Discovery) και η συντήρηση διαδρομής (Route Maintenance).

Οι κύριοι μηχανισμοί του DSR ακολουθούν αυστηρά το κατά απαίτηση μοντέλο και δεν χρησιμοποιούν περιοδικά πακέτα για την παρακολούθηση των διαδρομών και των γειτονικών κόμβων. Με τον τρόπο αυτό, το παραγόμενο πλήθος πακέτων του DSR τείνει σε μηδενικά επίπεδα όταν η κατάσταση στο δίκτυο παραμένει αμετάβλητη. Το πρωτόκολλο αντιδρά μόνο σε μεταβολές που επηρεάζουν ενεργές διαδρομές. Ο μηχανισμός ανακάλυψης διαδρομής ενεργοποιείται μόνο όταν ο αποστολέας θέλει να επικοινωνήσει με έναν

παραλήπτη και δεν υπάρχει στη κρυφή μνήμη του αποστολέα κάποιο αποθηκευμένο μονοπάτι που τους ενώνει. Σε περίπτωση που βρεθεί κάποιο μονοπάτι στη κρυφή μνήμη, ο αποστολέας το επιλέγει για να μεταδώσει στον παραλήπτη.

Στην αντίθετη περίπτωση, ενεργοποιείται ο μηχανισμός ανακάλυψης διαδρομής και ο κόμβος που είναι η πηγή του μηνύματος μεταδίδει προς όλους τους γειτονικούς του κόμβους ένα ειδικό μήνυμα αιτήματος ανακάλυψης διαδρομής (Route Request). Το μήνυμα αυτό περιέχει τον αποστολέα, τον παραλήπτη, ένα μοναδικό αναγνωριστικό του αιτήματος και μια λίστα με όλους του κόμβους που προώθησαν αυτό το μήνυμα. Αρχικά η λίστα εμπεριέχει μόνο τον αποστολέα και στη συνέχεια ο κάθε κόμβος που λαμβάνει το μήνυμα αιτήματος εισάγει στη λίστα την διεύθυνση IP του και το προωθεί στους γείτονες του. Τα κριτήρια αποδοχής του αιτήματος από κάποιον κόμβο είναι:

1. Ο κόμβος να μην έχει ήδη δεχτεί άλλο αίτημα με ίδιο αποστολέα, ίδιο παραλήπτη και ίδιο αναγνωριστικό μηνύματος
2. Ο κόμβος να μην εμπεριέχεται στη λίστα κόμβων του μηνύματος αιτήματος

Το πρώτο στάδιο της ανακάλυψης διαδρομής ολοκληρώνεται μόλις λάβει το αίτημα ο τελικός παραλήπτης. Στη συνέχεια ακολουθεί η αντίστροφη διαδικασία και ο τελικός παραλήπτης μεταδίδει ένα μήνυμα απάντησης διαδρομής (Route Reply) με τον ίδιο τρόπο. Εάν ο παραλήπτης διαθέτει στη κρυφή του μνήμη κάποια έγκυρη διαδρομή για τον αποστολέα, την επιλέγει και προωθεί την απάντηση διαδρομής. Σε αντίθετη περίπτωση ακολουθεί την αντίστροφη σειρά στη λίστα με τους κόμβους από το μήνυμα αιτήματος διαδρομής. Εάν δεν υποστηρίζονται συμμετρικές συνδέσεις και ο παραλήπτης δεν μπορεί να μεταδώσει στον αποστολέα μέσω της αντίστροφης διαδρομής, τότε ενεργοποιεί εκ νέου τον μηχανισμό ανακάλυψης διαδρομής προς τον αποστολέα.

Ο μηχανισμός συντήρησης διαδρομής λειτουργεί παρακολουθώντας κατά πόσο οι γειτονικοί κόμβοι λαμβάνουν τα προωθημένα μηνύματα. Η παρακολούθηση επιτυγχάνεται είτε μέσω της αίτησης απάντησης είτε μέσω ελέγχου επανεκπομπών από τους γείτονες. Ο μηχανισμός χρησιμοποιεί δύο ειδικά πακέτα για να διατηρήσει μια διαδρομή. Το πρώτο ειδικό πακέτο είναι το πακέτο λάθους διαδρομής που αποστέλνεται από κάποιον κόμβο μόλις εντοπιστεί κάποιο κρίσιμο πρόβλημα μετάδοσης στο στρώμα ζεύξης. Οι κόμβοι που λαμβάνουν αυτό το ειδικό πακέτο διαγράφουν από την κρυφή μνήμη διαδρομών τους τις συνδέσεις των διαδρομών που επηρεάζονται από το λάθος. Το δεύτερο ειδικό πακέτο είναι το πακέτο αναγνώρισης που χρησιμοποιεί ο μηχανισμός συντήρησης διαδρομών για την επιβεβαίωση της ορθής λειτουργίας των συνδέσεων στις διαδρομές του δικτύου. Αυτό σημαίνει πως ένας κόμβος έχει τη δυνατότητα να «ακούει» τον επόμενο κόμβο που προωθεί το επιθυμητό πακέτο.

3.10 Το πρωτόκολλο OLSR

Το πρωτόκολλο OLSR (Optimized Link State Routing Protocol) [7] είναι ένα proactive πρωτόκολλο δρομολόγησης ειδικά σχεδιασμένο για κινητά Ad Hoc δίκτυα. Ως ένα proactive πρωτόκολλο δρομολόγησης, σχηματίζει και διατηρεί τις διαδρομές πριν υπάρξει η ανάγκη χρησιμοποίησής τους. Ένα βασικό χαρακτηριστικό του OLSR είναι το χαμηλό overhead παρόλο που ακολουθεί το proactive μοντέλο. Το OLSR είναι ένα πρωτόκολλο κατάστασης συνδέσμου (link state) που χρησιμοποιεί τον flooding αλγόριθμο για την εκπομπή πακέτων.

Οι πίνακες δρομολόγησης διαμορφώνονται από δεδομένα για την τοπολογία του δικτύου τα οποία μεταφέρονται με ειδικά πακέτα ελέγχου τοπολογίας TC (Topology Control packets) (εικόνα 7). Ένα ακόμη χαρακτηριστικό της λειτουργίας του OLSR είναι οι ειδικοί κόμβοι Multipoint Relays ή MPRs.

Τα ειδικά πακέτα TC δημιουργούνται κάθε φορά που ένας κόμβος συμπληρώνει τη λίστα γειτόνων του. Η λίστα αυτή περιέχει τις ταυτότητες των γειτονικών κόμβων με τους οποίους είναι δυνατή μια συμμετρική σύνδεση. Κάθε κόμβος εκπέμπει πακέτα TC προς όλο το δίκτυο και η τεχνική είναι παρόμοια με αυτή του ARPANET με τη διαφορά ότι εκμεταλλεύονται οι κόμβοι MPR. Για την αναζήτηση γειτόνων με απόσταση 1 hops αποστέλλονται πακέτα τύπου HELLO και στη συνέχεια παρακολουθούνται οι απαντήσεις τους για την εύρεση γειτόνων με απόσταση 2 hops. Μόλις καθοριστούν οι γείτονες με απόσταση έως και δύο hops, τότε οι κόμβοι μπορούν να επιλέξουν τους MPRs τους. Η μορφή των HELLO μηνυμάτων στο OLSR φαίνεται στην εικόνα 8.

Οι MPRs είναι ένα σύνολο κόμβων που επιλέγονται από γειτονικούς κόμβους με σκοπό να προωθούν τα πακέτα ελέγχου στο υπόλοιπο δίκτυο. Με τον τρόπο αυτό περιορίζεται το πλήθος πακέτων ελέγχου καθώς μόνο οι MPRs μπορούν να αναμεταδίδουν ή προωθούν τα πακέτα ελέγχου. Τα πακέτα ελέγχου δημιουργούνται λαμβάνοντας υπόψιν μόνο τις συνδέσεις μεταξύ των κόμβων και των MPRs τους. Οι κόμβοι που λαμβάνουν πακέτα ελέγχου και δεν είναι επιλεγμένοι MPRs των πηγών μηνυμάτων ελέγχου δεν αναμεταδίδουν ούτε προωθούν αυτά τα πακέτα. Είναι επόμενο πως όσο μικρότερο είναι ένα σύνολο MPR, τόσο μικρότερο overhead παράγεται.

Κάθε κόμβος διατηρεί πληροφορία για τους MPRs την οποία ενημερώνει περιοδικά με τη χρήση των HELLO μηνυμάτων. Το αποτέλεσμα είναι ότι ο κάθε κόμβος αναζητά διαδρομές με τη χρήση ενός απλού shortest-path αλγόριθμου με μετρική την απόσταση σε hops. Το πρωτόκολλο OLSR επιδέχεται αρκετές βελτιώσεις και αποδίδει ικανοποιητικά για πυκνά δίκτυα και σύνολα πηγών – προορισμού που μεταβάλλονται στο χρόνο. Οι επιπλέον βελτιώσεις αφορούν κυρίως τον χρόνο αντίδρασης σε δυναμικές μεταβολές του δικτύου με τη μείωση της περιόδου αποστολής πακέτων ελέγχου.

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
ANSN										Reserved																					
Advertised Neighbor Main Address																															
Advertised Neighbor Main Address																															

Εικόνα 7: Μορφή πακέτου TC στο OLSR

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 8: Μορφή πακέτου HELLO στο OLSR

3.11 Το πρωτόκολλο DSDV

Το πρωτόκολλο DSDV (Destination-Sequenced Distance Vector) [8] ανήκει στην κατηγορία των proactive πρωτοκόλλων δρομολόγησης και βασίζεται στον αλγόριθμο Bellman-Ford για τον σχηματισμό μονοπατιών. Κύρια χαρακτηριστικά του είναι η γρήγορη σύγκλιση αλλά και η απαλλαγή φόρτου από μηνύματα ελέγχου. Όσον αφορά τον τρόπο λειτουργίας, το DSDV χρησιμοποιεί τη μετρική hop count και απαιτεί από τους κόμβους του δικτύου να ανταλλάσσουν και να ενημερώνουν περιοδικά τους πίνακες δρομολόγησης τους. Ο κύριος στόχος του DSDV είναι η επίλυση του προβλήματος της επανάληψης βρόγχου, κάτι το οποίο είναι πιθανό να συμβεί στο DSDV από τις συνεχόμενες ενημερώσεις στους πίνακες δρομολόγησης.

Οι κόμβοι στο DSDV είναι συνεχώς ενήμεροι για όλες τις πιθανές διαδρομές προς όλους τους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου μαζί με την αντίστοιχη απόσταση σε hops. Σε κάθε διαδρομή ορίζεται ένας ακολουθιακός αριθμός από τον κόμβο προορισμού ώστε να είναι δυνατός ο διαχωρισμός της νέας πληροφορίας από την προγενέστερη για το κάθε μονοπάτι. Η απαίτηση να γνωρίζουν όλοι οι κόμβοι όλες τις πιθανές διαδρομές για όλους τους πιθανούς προορισμούς με περιοδική ενημέρωση, προσθέτει ογκώδες φόρτο στο δίκτυο. Για τον περιορισμό αυτού του φόρτου, οι ενημερώσεις για τις διαδρομές πραγματοποιούνται με δύο τρόπους:

1. Αποστολή ολόκληρου του πίνακα δρομολόγησης (full dump)
2. Αποστολή τμήματος του πίνακα δρομολόγησης (small incremental packets)

Στην πρώτη περίπτωση ένας κόμβος εκπέμπει ολόκληρο τον πίνακα δρομολόγησης του προς τους γείτονες του ενώ στη δεύτερη εκπέμπει κατά απαίτηση μόνο τα τμήματα που μεταβλήθηκαν πρόσφατα. Η εκπομπή ολόκληρου του πίνακα δρομολόγησης παράγει συνήθως αρκετά πακέτα ως φόρτο, ενώ η εκπομπή τμήματος του πίνακα πραγματοποιείται συνήθως με ένα μόνο πακέτο. Σε κάθε ανταλλαγή, η πηγή επισυνάπτει έναν αριθμό ακολουθίας και οι παραλήπτες του ειδικού μηνύματος ενημέρωσης τροποποιούν τις καταχωρήσεις τους μόνο εάν το μήνυμα έχει μεγαλύτερο αριθμό ακολουθίας ή ισοδύναμο αλλά περιέχει διαδρομή με λιγότερα hops. Προκειμένου να μειωθεί το φορτίο από τις ενημερώσεις διαδρομών, σε κάθε διαδρομή ορίζεται ένας ανώτατος χρόνος ζωής. Μια

ενημέρωση διαδρομής ενεργοποιείται μόνο όταν παρέλθει ο ανώτατος χρόνος ζωής της διαδρομής και η διαδρομή είναι ενεργή.

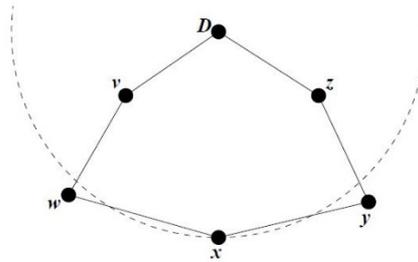
Η απόδοση του DSDV εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον πληθυσμό των κόμβων αλλά και τη κίνηση στο Ad Hoc δίκτυο. Όταν το δίκτυο διατηρεί σταθερή κατάσταση, οι ενημερώσεις διαδρομών πραγματοποιούνται με την αποστολή τμημάτων του πίνακα δρομολόγησης που συνεπάγεται μικρό φορτίο. Όταν όμως το δίκτυο είναι δυναμικό και εμφανίζει έντονη αστάθεια και κινητικότητα κόμβων, οι ενημερώσεις διαδρομών πραγματοποιούνται με την αποστολή ολόκληρων πινάκων δρομολόγησης και συνεπώς παράγεται μεγάλο πλήθος πακέτων και επιπρόσθετο φορτίο στο δίκτυο. Αξίζει να σημειωθεί πως όσο πυκνότερος και μεγαλύτερος είναι ο πληθυσμός των κόμβων, τόσα περισσότερα πακέτα ενημέρωσης εκπέμπονται περιοδικά και επιβαρύνουν την κίνηση δεδομένων στο δίκτυο. Το σημαντικό πλεονέκτημα του DSDV είναι ότι μετά την αρχικοποίηση των πινάκων δρομολόγησης, οι κόμβοι γνωρίζουν τις διαδρομές προς όλους τους προορισμούς και μπορούν άμεσα να μεταδώσουν προς αυτούς. Το DSDV αποτελεί βάση για μεταγενέστερα πρωτόκολλα όπως το BABEL αλλά και το AODV.

3.12 Το πρωτόκολλο GPSR

Το πρωτόκολλο GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) [9] ξεχωρίζει από τα προηγούμενα πρωτόκολλα δρομολόγησης ως προς τον τρόπο ανακάλυψης μονοπατιών καθώς βασίζεται στην γεωγραφική θέση των δρομολογητών σε σχέση με την θέση του τελικού παραλήπτη. Η λειτουργία του GPSR αποτελείται από 2 φάσεις: την άπληστη μέθοδο προώθησης (greedy forwarding) και τη φάση ανάκαμψης (recovery mode). Λόγο της άπληστης μεθόδου προώθησης, οι κόμβοι διατηρούν πληροφορία μόνο για τη θέση των γειτόνων τους με συνέπεια το χαμηλό overhead και σε αρκετές περιπτώσεις την καλύτερη απόδοση από τα βασικά Ad Hoc πρωτόκολλα δρομολόγησης κυρίως σε πυκνά δίκτυα. Η βασική παραδοχή στο GPSR είναι ότι οι δρομολογητές γνωρίζουν τις συντεταγμένες τους (με χρήση GPS ή άλλου location service).

Αρχικά όλοι οι κόμβοι εκπέμπουν την τοποθεσία τους περιοδικά μέσω hello μηνυμάτων και αποθηκεύουν στους πίνακες τους γείτονες και την θέση τους. Οι αποστολές των μηνυμάτων εισάγουν στο κάθε πακέτο την ακριβή τοποθεσία του τελικού παραλήπτη και μεταβαίνουν στην άπληστη προώθηση. Ως επόμενο hop, επιλέγεται πάντα ο γειτονικός κόμβος που απέχει λιγότερο από τον τελικό παραλήπτη. Σε περίπτωση που ο τελικός παραλήπτης είναι γείτονας του αποστολέα, ο αποστολέας του προωθεί άμεσα το μήνυμα. Σε περιπτώσεις συγχύσεων όπως στην εικόνα 9 ακολουθείται ο κανόνας του δεξιού χεριού.

Το πρωτόκολλο GPSR εγγυάται επιτυχή εύρεση μονοπατιού προς τον προορισμό σε γράφους Σχετικής Γειτονιάς (RNG) και σε γράφους Gabriel (GG). Επιπρόσθετα, το GPSR υποστηρίζει τη χρήση αλγόριθμων ανάκαμψης που εφαρμόζονται σε περιπτώσεις όπου η άπληστη προώθηση αποτύχει.



Εικόνα 9: Περίπτωση αποτυχίας του *greedy forwarding*. Ο αποστολέας x βρίσκεται πλησιέστερα στον προορισμό απ' ό τι οι γείτονες w και y . Εδώ εφαρμόζεται ο κανόνας του δεξιού χεριού

Κεφάλαιο 4

Εφαρμογές σε Ad Hoc δίκτυα

Η εξέλιξη των δικτύων Ad Hoc έχει επιτρέψει την εμφάνιση ενός τεράστιου πλήθους εφαρμογών. Στη πραγματικότητα, σχεδόν οποιαδήποτε καθημερινά χρησιμοποιούμενη εφαρμογή στο διαδίκτυο μπορεί να εμφανιστεί και στα δίκτυα Ad Hoc. Φυσικά κάτι τέτοιο δεν ίσχυε πάντα καθώς τα Ad Hoc δίκτυα αρχικά αναπτύχθηκαν για στρατιωτικές εφαρμογές. Στη συνέχεια, η μείωση του κόστους και η μεγάλη ευελιξία κατέστησε τα Ad Hoc δίκτυα κατάλληλα για ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών. Πλέον οποιαδήποτε διαδικτυακή υπηρεσία είναι δυνατή σε ένα Ad Hoc κόμβο με πρόσβαση στο διαδίκτυο. Οι συνεχώς αυξανόμενοι ρυθμοί μετάδοσης στα ασύρματα δίκτυα επιτρέπουν πλέον μια σημαντική κατηγορία εφαρμογών – τις πολυμεσικές εφαρμογές.

4.1 Πολυμεσικές εφαρμογές

Οι πολυμεσικές εφαρμογές στα Ad Hoc δίκτυα αποτελούν όλες τις πιθανές εφαρμογές και υπηρεσίες που περιλαμβάνουν ήχο, εικόνα ή βίντεο. Στη πραγματικότητα ένας πιο ορθός όρος για τα πολυμέσα είναι τα μέσα συνεχούς ροής (streaming media). Οι πολυμεσικές εφαρμογές αποτελούν μια πρόκληση καθώς έχουν ιδιαίτερα αυξημένες απαιτήσεις πόρων του δικτύου αλλά και ποιότητας στο τελικό χρήστη. Ένα σημαντικό κομμάτι της μετάδοσης πολυμέσων στα Ad Hoc δίκτυα είναι η συμπίεση και η κωδικοποίηση των δεδομένων προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερη ποιότητα στο τελικό παραλήπτη.

4.1.1 Ήχος

Το ηχητικό κύμα είναι ένα μονοδιάστατο ακουστικό κύμα, το οποίο όταν εισέρχεται στο αυτί, πάλει το τύμπανο και νευρικοί παλμοί στέλνονται στον εγκέφαλο. Οι παλμοί αυτοί γίνονται αντιληπτοί ως ήχος από τον ακροατή. Το εύρος συχνοτήτων του ανθρώπινου αυτιού εκτείνεται από τα 20 Hz έως τα 20.000 Hz. Ο αναλογικός ήχος ψηφιοποιείται μέσω ενός Αναλογοψηφιακού Μετατροπέα ή ADC (Analog Digital Converter) εφαρμόζοντας δειγματοληψία και στη συνέχεια κβάντιση. Η ψηφιοποίηση ποτέ δεν είναι ακριβής και πάντα εισάγεται κάποιος θόρυβος κβαντισμού λόγω του πεπερασμένου πλήθους των δυαδικών ψηφίων ανά δείγμα.

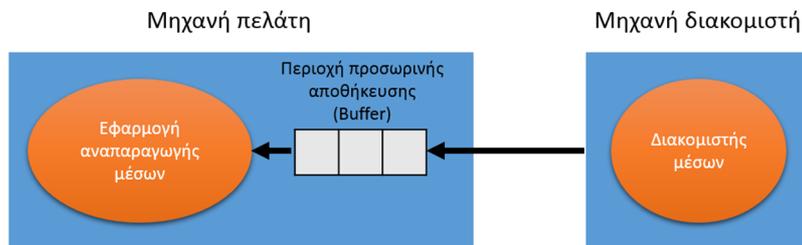
4.1.1.1 Ανάλυση Απαιτήσεων και Κωδικοποίηση Ήχου

Η μετάδοση του ήχου μέσω κάποιου καναλιού παραπέμπει σε συμπίεση. Ο ήχος χωρίς συμπίεση απαιτεί μεγάλο εύρος ζώνης και κάνει τη μετάδοση στο δίκτυο μη πρακτική. Ένα

παράδειγμα είναι ο ήχος ποιότητας ψηφιακού δίσκου που δειγματοληπτείται με ρυθμό 44.100 δείγματα/sec και 16 bit/δείγμα και απαιτεί εύρος ζώνης μετάδοσης 1,411 Mbps. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί διάφοροι αλγόριθμοι συμπίεσης με τον πιο γνωστό να είναι το MPEG και συγκεκριμένα το επίπεδο ήχου 3 MPEG ή MP3 (MPEG audio layer 3).

Η συμπίεση ήχου μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους: την κωδικοποίηση κυματομορφών (waveform coding) και την αντιληπτική κωδικοποίηση (perceptual coding). Η κωδικοποίηση κυματομορφών εφαρμόζει στο ηχητικό σήμα έναν μετασχηματισμό Fourier στις συνιστώσες συχνότητας του. Η αντιληπτική κωδικοποίηση χρησιμοποιείται στο MP3 και εκμεταλλεύεται τις αδυναμίες του ανθρώπινου συστήματος ακοής ώστε το συμπιεσμένο ηχητικό σήμα να ακούγεται ίδιο με το αρχικό στο ανθρώπινο αυτί.

Λόγο της εξαιρετικής ευαισθησίας του ανθρώπινου αυτιού, οι παραμορφώσεις χρονισμού λίγων μόλις milliseconds κατά την μετάδοση πολυμέσων επηρεάζει άμεσα την αντιληπτή ποιότητα του ήχου. Επομένως στις πολυμεσικές εφαρμογές ήχου απαιτείται υψηλού επιπέδου συμπίεση χωρίς την εισαγωγή αντιληπτής παραμόρφωσης ή θορύβου. Μια ακόμη απαίτηση είναι η άμεση απόκριση του διακομιστή στις αιτήσεις του πελάτη για αναπαραγωγή μουσικής ακόμα και σε περιπτώσεις που το ηχητικό μήνυμα είναι πολύ μεγαλύτερο από το διαθέσιμο ρυθμό μετάδοσης. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος έχουν αναπτυχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματικά πρωτόκολλα για τους διακομιστές μέσω όπως το Πρωτόκολλο Συνεχούς Ροής Πραγματικού Χρόνου ή RTSP (Real Time Streaming Protocol). Στα πρωτόκολλα αυτά, οι εφαρμογές αναπαραγωγής μέσω χρησιμοποιούν μια προσωρινή περιοχή αποθήκευσης ή buffer για τα δεδομένα που λαμβάνονται από τον διακομιστή.



Εικόνα 10: Η εφαρμογή αναπαραγωγής μέσω αποθηκεύει προσωρινά την είσοδο από το διακομιστή μέσω και αναπαράγει δεδομένα από την περιοχή αυτή, αντί να τα παίρνει απευθείας από το δίκτυο

4.1.2 Βίντεο

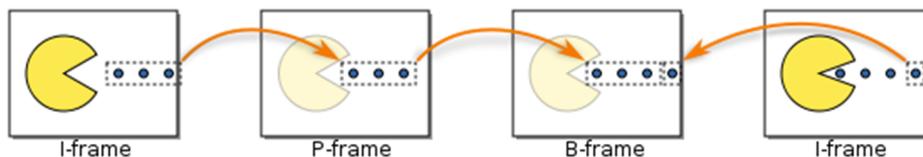
Το βίντεο μπορεί να αναπαρασταθεί ως μια ακολουθία από εικόνες που εναλλάσσονται γρήγορα στο χρόνο, δίνοντας στο ανθρώπινο μάτι την αίσθηση της ομαλής κίνησης. Η αναπαράσταση του ψηφιακού βίντεο επιτυγχάνεται με τη χρήση μιας ακολουθίας καρτέ, με κάθε καρτέ να αποτελείται από ένα ορθογώνιο πλέγμα εικονοστοιχείων (pixel). Η ποιότητα και το εύρος χρωμάτων στο βίντεο εξαρτάται από το πλήθος των bit ανά εικονοστοιχείο.

4.1.2.1 Πλαίσια Βίντεο

Το βίντεο αποτελείται από πλαίσια (video frames) στα οποία εφαρμόζονται οι αλγόριθμοι συμπίεσης. Υπάρχουν τρεις τύποι πλαισίων βίντεο:

- I-frames (intra coded picture): είναι τα πλαίσια που επιδέχονται τη λιγότερη συμπίεση, αλλά δεν απαιτούν άλλα πλαίσια για την αποκωδικοποίηση
- P-frames (P-frame): μπορούν να εκμεταλλεύονται τα δεδομένα των προηγούμενων πλαισίων για την αποσυμπίεση και επιδέχονται μεγαλύτερη συμπίεση από τα I-frames
- B-frames (Bi-predictive picture) ή delta-frames: μπορούν να χρησιμοποιούν δεδομένα από τους δύο προηγούμενους τύπους πλαισίων αλλά και να αναφέρονται στα μελλοντικά πλαίσια ως πλαίσια αναφοράς, με στόχο να αυξηθεί το ποσοστό της συμπίεσης δεδομένων

Στη ουσία ένα I-frame είναι μια πλήρως καθορισμένη εικόνα του βίντεο και έχει σαφώς μεγαλύτερο μέγεθος από τα P-frames και τα B-frames. Τα P-frames διατηρούν δεδομένα μόνο για τις διαφορές από το προηγούμενο πλαίσιο. Ένα παράδειγμα είναι ότι σε μια σκηνή ενός κινούμενου αυτοκινήτου με σταθερό φόντο, τα P-frames αποθηκεύουν μόνο την κίνηση του αυτοκινήτου. Τα B-frames διατηρούν δεδομένα μόνο για τις διαφορές του τρέχοντος πλαισίου από το προηγούμενο και το επόμενο εξοικονομώντας επιπλέον χώρο.



Εικόνα 11: Ακολουθία πλαισίων βίντεο

4.1.2.2 Κωδικοποίηση Βίντεο

Συχνά ο όρος συμπίεση βίντεο ταυτίζεται με την ορολογία κωδικοποίηση βίντεο. Είναι προφανές πως η μετάδοση ασυμπίεστου βίντεο στο διαδίκτυο απαιτεί τεράστιους πόρους και προσθέτει ογκώδες φορτίο στο μέσο μετάδοσης. Για να είναι πρακτική η μετάδοση βίντεο απαιτείται ένας μεγάλος βαθμός συμπίεσης. Όλα τα συστήματα συμπίεσης αποτελούνται από δύο αλγόριθμους: ένας κωδικοποιητή στη πηγή και ένας αποκωδικοποιητή στον προορισμό.

Στα συστήματα συμπίεσης εμφανίζονται ασυμμετρίες. Αυτό σημαίνει ότι η κωδικοποίηση μπορεί να είναι πολύ πιο περίπλοκη και αργή από την αποκωδικοποίηση. Κάτι τέτοιο είναι συχνό και αποδεκτό σε περιπτώσεις όπου η πηγή στον διακομιστή κωδικοποιεί ένα βίντεο μια φορά και στη συνέχεια αυτό αποκωδικοποιείται πολλές φορές από το σύνολο των πελατών. Η περιπλοκότητα του κωδικοποιητή στη πηγή εξυπηρετεί στο να επιτυγχάνεται γρήγορη αποκωδικοποίηση από τον παραλήπτη. Από την άλλη υπάρχουν συστήματα συμπίεσης όπου η κωδικοποίηση είναι άμεση – φαινόμενο συχνό σε πολυμέσα πραγματικού χρόνου.

Μια ακόμη ασυμμετρία είναι ότι η διαδικασία κωδικοποίησης/αποκωδικοποίησης δεν είναι πάντα αναστρέψιμη. Στα πολυμέσα δεν υπάρχει συνήθως η απαίτηση το τελικό αποκωδικοποιημένο βίντεο να είναι ίδιο με το αρχικό μέχρι το τελευταίο bit. Όταν η έξοδος του βίντεο στο τελικό χρήστη δεν είναι ακριβώς το ίδιο με το αρχικό βίντεο τότε το σύστημα συμπίεσης είναι απωλεστικό (lossy). Στην αντίθετη περίπτωση είναι μη απωλεστικό (lossless). Τα lossy συστήματα παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς επιτυγχάνουν μεγάλους λόγους συμπίεσης με πολύ μικρές απώλειες.

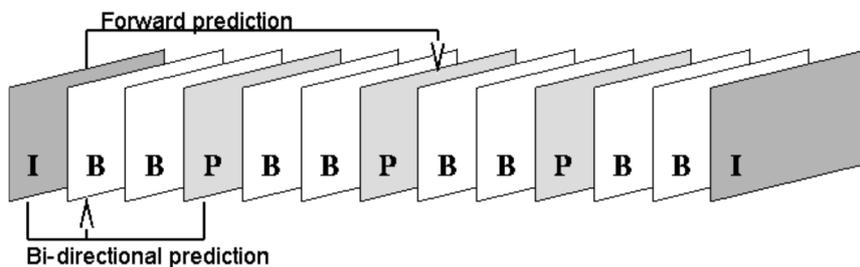
Ο σημαντικότερος αλγόριθμος κωδικοποίησης εικόνων είναι το JPEG (Joint Photographic Experts Group). Το JPEG αποτελεί ένα πρότυπο για την συμπίεση ακίνητων εικόνων και είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τα πολυμέσα, καθώς και η MPEG κωδικοποίηση στα βίντεο εφαρμόζει το JPEG για κάθε καρέ συν κάποια επιπλέον χαρακτηριστικά για την ανίχνευση κίνησης μεταξύ των καρέ.



Εικόνα 12: Η λειτουργία του JPEG στην ακολουθιακή απωλεστική κατάσταση

Το πρότυπο ISO/IEC MPEG (Moving Pictures Experts Group) περιέχει τους κύριους αλγόριθμους που χρησιμοποιούνται για τη συμπίεση και αποσυμπίεση ψηφιακού βίντεο. Η χρήση του συναντάται κυρίως σε δεδομένα AV (Audio Visual), εφαρμογές streaming στο διαδίκτυο, τηλεφωνία και τηλεοπτική εκπομπή. Η διαφορά από το JPEG είναι η τεχνική αντιστάθμισης της κίνησης σε σκηνές όπου κινείται η κάμερα ή μεγαθύνει η εικόνα. Σε τέτοιες σκηνές το JPEG αποτυγχάνει πλήρως.

Στις πολυμεσικές μεταδόσεις των εξομοιώσεων αυτής της διπλωματικής εργασίας, χρησιμοποιούνται MPEG-4 βίντεο, η δομή των οποίων φαίνεται στην εικόνα 13. Τα πλαίσια του βίντεο καταφθάνουν στον παραλήπτη μέσω των GoP (Group of Pictures). Τα GoP περιέχουν τους 3 τύπους πλαισίων και καθορίζουν τη σειρά τους..



Εικόνα 13: Δομή MPEG-4 βίντεο

4.1.2.3 Ανάλυση Απαιτήσεων

Οι απαιτήσεις κατά τη μετάδοση πολυμέσων εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο της εφαρμογής. Στη γενική περίπτωση απαιτείται άμεση απόκριση των διακομιστών και αναπαραγωγή βίντεο στον τελικό χρήστη με όσο τον δυνατόν καλύτερη ποιότητα ήχου και εικόνας. Αυτό σημαίνει πως η επιλογή ενός περίπλοκου κωδικοποιητή με μεγάλο λόγο συμπίεσης στη πηγή που να επιτρέπει την ταχεία αποκωδικοποίηση στο παραλήπτη είναι η κατάλληλη επιλογή. Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος συμπίεσης του βίντεο, τόσο μικρότερο είναι και το μέγεθος των δεδομένων που διέρχονται από το δίκτυο.

Στην περίπτωση των πολυμεσικών εφαρμογών πραγματικού χρόνου, όπως μια συνδιάλεξη ή ζωντανή μετάδοση βίντεο, η κωδικοποίηση πρέπει να ολοκληρώνεται άμεσα ώστε να μην καθυστερεί στην εκκίνηση μετάδοσης προς τον τελικό χρήστη. Σε τέτοιες εφαρμογές οι lossy κωδικοποιήσεις διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο.

4.2 Προσαρμοστική μετάδοση με το TFRC

Το TFRC (TCP Friendly Rate Control) [10] είναι ένα μηχανισμός αποσυμφόρησης για TCP ροές και χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές τηλεφωνίας ή ροών πολυμέσων όπου ο ομαλός ρυθμός αποστολής είναι σημαντικός. Το TFRC επιτυγχάνει σχεδόν διπλάσιο ρυθμό μετάδοσης από το TCP αλλά με σταθερή ρυθμαπόδοση. Ο μηχανισμός TFRC βασίζεται κυρίως στον παραλήπτη καθώς αυτός υπολογίζει τη συμφόρηση και ενημερώνει τον αποστολέα ώστε να προσαρμόσει τον ρυθμό αποστολής. Ο αποστολέας μειώνει τον ρυθμό αποστολής προκειμένου να αποφύγει τη συμφόρηση όταν η καθυστέρηση στις ουρές αυξάνεται. Όταν δεν εντοπίζονται συμφορήσεις κατά τη μετάδοση, ο αποστολέας διπλασιάζει τον ρυθμό μετάδοσης μέχρι ότου να φτάσει στον μέγιστο επιτρεπόμενο. Σε κάθε αναφορά συμφόρησης από τον παραλήπτη, ο αποστολέας προσαρμόζει εκ νέου τον ρυθμό αποστολής με τη βοήθεια του RTT (Round Trip Time).

4.3 Μετρικές αξιολόγησης πολυμεσικών εφαρμογών

Ένα σημαντικό κομμάτι στη μελέτη των πολυμεσικών εφαρμογών είναι και ο τρόπος αξιολόγησης της απόδοσης τους. Πολλές φορές, η αξιολόγηση της ποιότητας των διαδικτυακών πολυμεσικών υπηρεσιών δεν είναι εύκολη υπόθεση καθώς εκτός των κλασικών μετρικών όπως η από άκρο σε άκρο καθυστέρηση είναι αναγκαία και η υποκειμενική άποψη του τελικού χρήστη. Η εμπειρία του τελικού χρήστη είναι γνωστή και ως QoE (Quality of Experience). Ο γενικός όρος για την αξιολόγηση των πολυμεσικών υπηρεσιών στο διαδίκτυο είναι το QoS (Quality of Service).

Υπάρχουν δύο τύποι προσεγγίσεων στην μέθοδο αξιολόγησης της ποιότητας των πολυμεσικών εφαρμογών: η αντικειμενική προσέγγιση και η υποκειμενική προσέγγιση. Στην υποκειμενική προσέγγιση, η ποιότητα του λαμβανόμενου βίντεο καθορίζεται από την βαθμολόγηση από τους τελικούς χρήστες. Οι μέθοδοι αξιολόγησης πολυμέσων με υποκειμενική προσέγγιση ορίζονται στο [11].

Οι μέθοδοι αξιολόγησης με αντικειμενική προσέγγιση δεν περιλαμβάνουν τον ανθρώπινο παράγοντα και διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία η αξιολόγηση

πραγματοποιείται συγκρίνοντας το τελικό αποκωδικοποιημένο βίντεο που λαμβάνει ο τελικός χρήστης με το αρχικό που μεταδίδει ο αποστολέας. Στη δεύτερη κατηγορία, συγκρίνεται μόνο ένα μέρος του τελικού βίντεο με το αρχικό και όχι ολόκληρη η ακολουθία πλαισίων του. Στη τρίτη κατηγορία δεν πραγματοποιείται καμία σύγκριση του τελικού βίντεο με το αρχικό, αλλά η αξιολόγηση βασίζεται μόνο στο τελικό βίντεο.

4.3.1 QoS

Το Quality of Service (QoS) είναι ένας γενικός όρος που περιγράφει την επίδοση κάποιας υπηρεσίας ή εφαρμογής στο διαδίκτυο προσανατολισμένο στους πελάτες ή τελικούς χρήστες. Για την ορθή μέτρηση του QoS πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν αρκετές μετρικές σχετιζόμενες με επιδόσεις του δικτύου αλλά και μετρικές σχετιζόμενες με την άποψη του τελικού χρήστη.

4.3.2 PSNR

Το Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) είναι μια μετρική άμεσα σχετιζόμενη με την ποιότητα της υπηρεσίας που απολαμβάνει ο τελικός χρήστης. Η μετρική αυτή παρουσιάζει τον λόγο της έντασης του σήματος προς την ένταση του θορύβου ή αλλιώς το πόσο «καθαρή» είναι η πληροφορία που φτάνει στον δέκτη. Οι τιμές του PSNR μετριούνται σε db και εκφράζονται συνήθως στη λογαριθμική κλίμακα. Τυπικές τιμές για ένα ποιοτικό βίντεο είναι από 30 db και πάνω, ενώ για κάτω από 30 db το βίντεο δεν είναι απαραίτητα ποιοτικό. Για τιμές κάτω από 20 db το αποκωδικοποιημένο βίντεο παρουσιάζει έντονο θόρυβο.

Οι τιμές του PSNR στα πειράματα αυτής την εργασίας υπολογίζονται από τον μέσο όρο του PSNR για κάθε καρέ του βίντεο. Αρχικά υπολογίζεται το σφάλμα ελαχίστων τετραγώνων μεταξύ των επιπέδων Y , Cr ή Cb ως

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [I(i, j) - K(i, j)]^2$$

όπου I και K είναι τα επίπεδα πλαισίων με ανάλυση $m \times n$. Στη συνέχεια υπολογίζεται το PSNR ως

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right)$$

όπου MAX_I είναι η μέγιστη τιμή εικονοστοιχείων.

4.3.3 Mos

Η μετρική Mean Opinion Score (MOS) σχετίζεται άμεσα με την εμπειρία του τελικού χρήστη. Η διαδικασία υπολογισμού του MOS περιλαμβάνει τη βαθμολόγηση της ποιότητας του αποκωδικοποιημένου βίντεο σε σχέση με το αρχικό από τον τελικό χρήστη. Η βαθμολόγηση

λαμβάνει τιμές από 1 έως 5, όπου η τιμή 1 είναι ελάχιστη ποιότητα και η τιμή 5 η μέγιστη. Ο τρόπος αυτός ανήκει στη κατηγορία της υποκειμενικής αξιολόγησης.

Η υποκειμενική μέθοδος αξιολόγησης των πολυμεσικών εφαρμογών απαιτεί αρκετούς οικονομικούς πόρους, μεγάλα σύνολα τελικών χρηστών για αξιόπιστα αποτελέσματα αλλά και πολύτιμο χρόνο. Για το λόγο αυτό, πολλές φορές χρησιμοποιούνται οι αντικειμενικές μέθοδοι που εξάγουν άμεσα αποτελέσματα. Το MOS, μπορεί να αντιστοιχισθεί στο PSNR και να θεωρηθεί αντικειμενική μέθοδος αξιολόγησης των πολυμέσων. Ο πίνακας αντιστοίχισης του MOS με το PSNR φαίνεται στον πίνακα 1. Ο πίνακας αυτός χρησιμοποιείται και στις πειραματικές μετρήσεις αυτής της εργασίας προκειμένου να επιλυθούν οι περιορισμοί που επιβάλλουν οι υποκειμενικές μέθοδοι αξιολόγησης.

PSNR (dB)	MOS	Perceived Quality	Impairment
>37	5	Excellent	Imperceptible
31-37	4	Good	Perceptible, but not annoying
25-30	3	Fair	Slightly annoying
20-24	2	Poor	Annoying
<20	1	Bad	Very annoying

Πίνακας 1: Αντιστοίχιση τιμών του MOS στο PSNR

4.4 Εφαρμογές σε MANETs

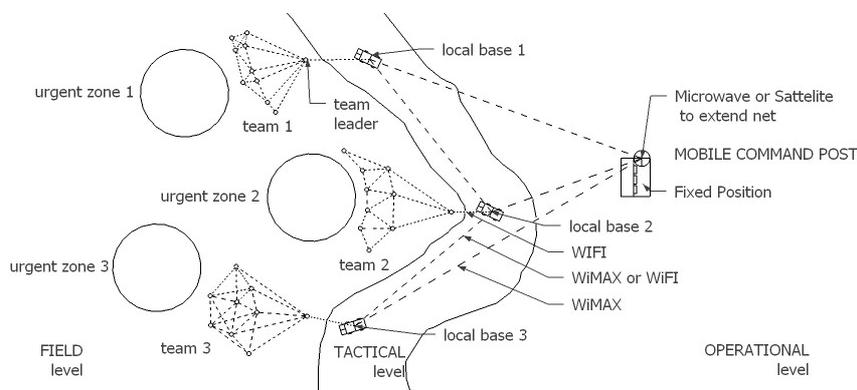
Οι πρώτες εφαρμογές στα δίκτυα MANET είχαν κατά κύριο λόγο στρατιωτικό χαρακτήρα και αποτελούσαν ιδανική λύση για την γρήγορη εγκατάσταση επικοινωνιών σε εχθρικά περιβάλλοντα. Αργότερα, η εξάπλωση τους σε μη στρατιωτικές εφαρμογές υπήρξε έντονη και σήμερα βρίσκουν χρήση σε μια πληθώρα τομέων. Αντιπροσωπευτικές εφαρμογές στα MANETs είναι η αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, καθημερινές διαδικτυακές δραστηριότητες και πολυμεσικές εφαρμογές.

4.4.1 Αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης

Η ευελιξία και η δυναμικότητα των MANETs επιτρέπει την ταχεία και εύκολη εγκατάσταση των ασύρματων επικοινωνιών με χαμηλό κόστος σε οποιοδήποτε περιβάλλον έκτακτης ανάγκης χωρίς καμία εξάρτηση σε στατικό εξοπλισμό. Καταστάσεις έκτακτης ανάγκης θεωρούνται αποστολές ειδικών ομάδων σε επικίνδυνα περιβάλλοντα με δύσκολη πρόσβαση και πιθανότατα με μηδενική ή μη λειτουργική στατική υποδομή δικτύου. Η χρήση των MANETs σε τέτοια περιβάλλοντα αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τον συντονισμό και την επιτυχή δράση των ειδικών ομάδων. Σχετικές καταστάσεις έκτακτης ανάγκης είναι οι εξής:

- Διάσωση σε σεισμόπληκτη περιοχή
- Κατάσβεση πυρός σε μεγάλες εκτάσεις όπου απαιτείται άμεσα ο συντονισμός των ομάδων
- Δράση σε υποανάπτυκτες περιοχές με δύσβατα εδάφη και έλλειψη υποδομών μετακίνησης
- Καταγραφή επικίνδυνων φυσικών φαινομένων και καταστροφών
- Στρατιωτικές εφαρμογές σε εχθρικά περιβάλλοντα

Στην εικόνα 14 παρουσιάζεται η ιεραρχία και ο τρόπος ανάπτυξης των ομάδων σε μια κατάσταση διάσωσης και κατάσβεσης πυρός σε τρία σημεία. Η ιεραρχία αποτελείται από τρία επίπεδα δράσης και περιλαμβάνει τα άτομα των ομάδων, τους αρχηγούς των ομάδων, μια τοπική κινητή βάση για την κάθε ομάδα και το κέντρο ελέγχου.



Εικόνα 14: Ιεραρχική δομή των ομάδων της πυροσβεστικής υπηρεσίας για την διάσωση και την κατάσβεση πυρός

4.4.2 Πολυμεσικές και άλλες εφαρμογές

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι πολυμεσικές εφαρμογές στα MANETs καθώς μπορούν να ενσωματωθούν σε άλλες εφαρμογές και να χρησιμοποιηθούν για πολλούς σκοπούς. Εφαρμογές αντιμετώπισης έκτακτων καταστάσεων μπορεί να βασίζονται σε πολυμεσικές εφαρμογές για την απευθείας μετάδοση των συμβάντων. Οι πολυμεσικές εφαρμογές βρίσκουν συχνή χρήση και σε απευθείας μεταδόσεις (streaming) για τομείς όπως η ενημέρωση, η ψυχαγωγία η διασκέδαση και άλλα. Λοιπές εφαρμογές περιλαμβάνουν οποιαδήποτε διαδικτυακή υπηρεσία που υποστηρίζεται και σε ενσύρματα δίκτυα.

4.5 Εφαρμογές σε VANETs

Η εξέλιξη στα ασύρματα συστήματα συνέβαλλε στην ενσωμάτωση τεχνολογιών όπως το Wi-Fi IEEE 802.11p, το WAVE IEEE 1609, το WIMAX IEEE 802.16 καθώς και άλλες τεχνολογίες όπως το LTE στα VANETs. Η ενσωμάτωση αυτή επιτρέπει την εμφάνιση μιας πληθώρας εφαρμογών με κυριότερες την ασφάλεια και διαχείριση της κίνησης στο δρόμο. Πρόσφατα, εκτός των παραπάνω εφαρμογών συναντώνται και πολλές άλλες που ανήκουν σε κατηγορίες

ο συντονισμός συγκεκριμένων ομάδων οχημάτων όπως η αστυνομία, η πυροσβεστική, τα ασθενοφόρα κ.α.

4.5.3 Πολυμεσικές και άλλες εφαρμογές

Μια νέα κατηγορία υπηρεσιών είναι οι πολυμεσικές εφαρμογές και εφαρμογές που σχετίζονται με διάφορες καθημερινές δραστηριότητες. Εδώ ανήκουν υπηρεσίες όπως:

- Πλοήγηση με ηλεκτρονικό χάρτη
- Ηλεκτρονική πληρωμή διοδίων
- Εντοπισμός διαθέσιμων χώρων στάθμευσης, βενζινάδικων ή οποιοδήποτε άλλου χώρου ή καταστήματος
- Σύνδεση με το διαδίκτυο και σχηματισμός δικτύων Peer-to-Peer
- Απευθείας μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων (streaming) σε V2V ή V2R
- Συνδιάλεξη με ήχο και εικόνα μεταξύ οχημάτων

Οι πολυμεσικές εφαρμογές στα VANETs μπορεί να έχουν εφαρμογή για πολλούς σκοπούς όπως την απευθείας καταγραφή της κατάστασης στον αυτοκινητόδρομο, μια καταδίωξη ή την κάλυψη ενός συμβάντος στο δρόμο. Οι εφαρμογές αυτές έχουν τις υψηλότερες απαιτήσεις δικτύου και αποτελούν μεγάλη πρόκληση μαζί με το θέμα της ασφάλειας και της ιδιωτικότητας στα VANETs.

Κεφάλαιο 5

Μοντέλα εξομοίωσης σε Ad Hoc δίκτυα

Για την μελέτη και την δοκιμή νέων πρωτόκολλων στα Ad Hoc δίκτυα έχουν αναπτυχθεί αρκετά μοντέλα εξομοίωσης που αναπαριστούν τη συμπεριφορά των πραγματικών δικτύων με αρκετά ικανοποιητική ακρίβεια. Για την απεικόνιση των συστατικών στοιχείων καθώς και των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων στα Ad Hoc δίκτυα είναι απαραίτητοι οι εξομοιωτές και τα μοντέλα κίνησης.

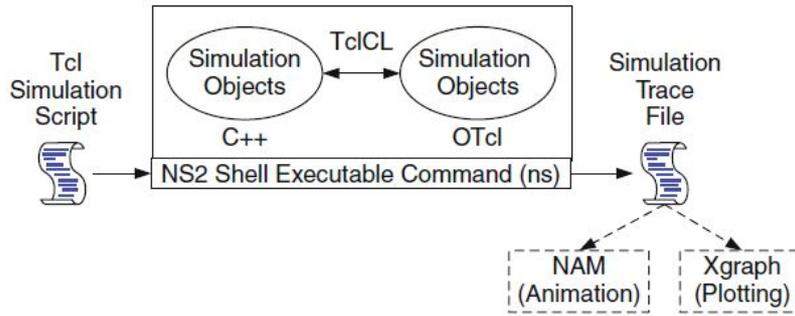
5.1 Εξομοιωτές δικτύων

Η εξομοίωση και τα πειράματα στα Ad Hoc δίκτυα σε αυτή την εργασία πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση των εξομοιωτών δικτύου NS-2 (Network Simulator 2) [12] και NS-3 (Network Simulator 3) [13]. Συγκεκριμένα τα περισσότερα πειράματα σε MANETs εκτελέστηκαν στον NS2 ενώ τα πειράματα σε VANETs στον NS-3. Οι δύο εξομοιωτές περιγράφονται παρακάτω.

5.1.1 NS-2

Ο NS-2 είναι ο πρώτος μεγάλης κλίμακας ανοιχτού κώδικα εξομοιωτής δικτύων και αποτελούσε για πάνω από μια δεκαετία το πρωτεύον ακαδημαϊκό και ερευνητικό εργαλείο για την εξομοίωση και τη μελέτη δικτύων. Η ανάπτυξη του προέρχεται από την παραλλαγή του NS1 και του εξομοιωτή REAL network simulator το 1989 και η πιο πρόσφατη έκδοση του είναι ο ns-2.35 που κυκλοφόρησε στις 4 Νοεμβρίου, 2011. Ο τεράστιος αριθμός επεκτάσεων που έχουν υλοποιηθεί για τον NS-2 έως σήμερα, τον καθιστούν ίσως τον πιο «ώριμο» εξομοιωτή με τα περισσότερα διαθέσιμα modules και δυνατότητες.

Ο NS-2 είναι ένας διακριτών γεγονότων εξομοιωτής υλοποιημένος σε δύο γλώσσες προγραμματισμού. Το μεγαλύτερο τμήμα του είναι υλοποιημένο σε C++ και το υπόλοιπο σε OTcl. Το τμήμα σε C++ αφορά κυρίως εσωτερικούς μηχανισμούς (σκελετός) των αντικειμένων εξομοίωσης ενώ το τμήμα σε OTcl αφορά τα πειράματα και σχετίζεται με την διαχείριση των διακριτών γεγονότων και την παραμετροποίηση των αντικειμένων. Το τμήμα σε C++ αλληλεπιδρά με το τμήμα σε OTcl μέσω TclCL. Η βασική και απλοποιημένη αρχιτεκτονική του NS-2 φαίνεται στην εικόνα 15. Στην έξοδο του εξομοιωτή παράγεται ένα αρχείο καταγραφής των γεγονότων ή αλλιώς tracefile το οποίο στη συνέχεια επιδέχεται περαιτέρω ανάλυση και χρησιμοποιείται για την οπτικοποίηση των πειραμάτων (εργαλείο Network Animator) και την εξαγωγή γραφικών παραστάσεων (πχ. εργαλείο Xgraph). Από την ανάλυση των tracefiles εξάγονται συμπεράσματα για τις επιδόσεις του δικτύου αλλά και τη συμπεριφορά των πρωτοκόλλων.



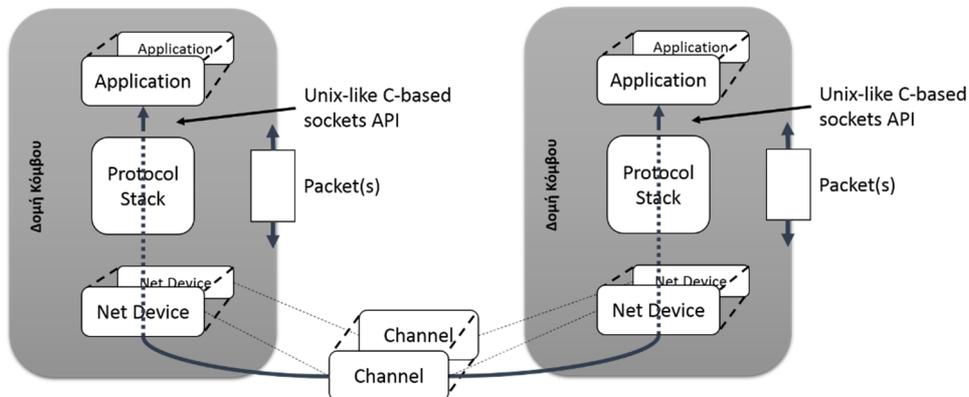
Εικόνα 15: Η βασική αρχιτεκτονική του NS-2

5.1.2 NS-3

Ο NS-3, όπως και ο NS-2, είναι ένας ανοιχτού κώδικα διακριτών γεγονότων εξομοιωτής δικτύων για ερευνητική ή και ακαδημαϊκή χρήση. Η ανάπτυξη του NS-3 ξεκίνησε το 2006 και η πρώτη του έκδοση κυκλοφόρησε το 2008. Ο NS-3 δεν αποτελεί επέκταση ή συνέχεια της υλοποίησης του NS-2, αλλά αναπτύχθηκε από την αρχή με γνώμονα την αποφυγή των αδυναμιών και μειονεκτημάτων της δομής του NS-2 στοχεύοντας στην μελλοντική πλήρη αντικατάστασή του. Η υλοποίηση του NS-3 είναι εξολοκλήρου σε C++ και υποστηρίζει ανάπτυξη πειραμάτων σε C++ ή Python.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του NS-3 είναι η απλούστερη και ευκολότερα επεκτάσιμη δομή του καθώς και η ευκολότερη κατανόηση του. Η αρχιτεκτονική του είναι σε μεγάλο βαθμό ίδια με την αρχιτεκτονική της IP ουράς και στον κόμβο δικτύου μπορεί εύκολα να προστεθεί κάποιο μοντέλο κίνησης καθώς και ένας μεταβλητός αριθμός «συσκευών δικτύου». Τα πακέτα που παράγονται από τις «συσκευές δικτύου» κινούνται μέσα από τα διάφορα επίπεδα:

- Επίπεδο 1 (Physical layer)
- Επίπεδο 2 (Data Link Layer)
- Επίπεδο 3 (Network Layer: IP, ARP)
- Επίπεδο 4 (Transport Layer: TCP, UDP)
- Επίπεδο 5 (Application Layer)



Εικόνα 16: Αρχιτεκτονική Δικτύου στον NS-3

Η έξοδος του NS-3 είναι αρχεία καταγραφής γεγονότων σε μορφή tracefile ή pcap. Για την οπτικοποίηση των πειραμάτων ο NS-3 διαθέτει το εργαλείο PyViz αν και υπάρχουν και άλλες εναλλακτικές επιλογές. Είναι αξιοσημείωτο πως ο NS-3 διαθέτει μια ειδική κατάσταση που επιτρέπει την ενσωμάτωση του με πραγματικά δίκτυα και την άμεση εκτέλεση του κώδικα στο πραγματικό περιβάλλον (direct code execution).

Παρόλο που ο NS-3 είναι νεότερος εξομοιωτής από τον NS-2 και διαθέτει και λιγότερες επεκτάσεις (modules), είναι υπό συνεχή ανάπτυξη και διευρύνεται ταχύτατα εμφανίζοντας πολύ ικανοποιητική συμπεριφορά και μεγάλη απήχηση στην ακαδημαϊκή και ερευνητική δραστηριότητα. Συγκεντρωτικά, οι βασικές διαφορές των δύο εξομοιωτών εμφανίζονται στον πίνακα 2.

	NS-2	NS-3
Γλώσσες προγραμματισμού	<ul style="list-style-type: none"> Υλοποίηση σε C++ και OTcl Η υλοποίηση με αυτό τον τρόπο επιλέχθηκε διότι η επαναμεταγλώττιση της C++ ήταν χρονοβόρα εξαιτίας του τότε διαθέσιμου υλικού. Η επαναμεταγλώττιση της OTcl είναι πιο γρήγορη. Η χρήση της OTcl προσθέτει overhead Η OTcl είναι η μόνη διαθέσιμη γλώσσα ανάπτυξης πειραμάτων 	<ul style="list-style-type: none"> Υλοποίηση σε C++ Η χρόνος της επαναμεταγλώττισης δεν αποτελεί πρόβλημα λόγω της εξέλιξης του υλικού Ανάπτυξη πειραμάτων σε C++ ή Python
Διαχείριση Μνήμης	<ul style="list-style-type: none"> Πραγματοποιείται με βασικές συναρτήσεις διαχείρισης μνήμης της C++ 	<ul style="list-style-type: none"> Όμοια με τον NS-2 αλλά προσφέρει περισσότερες συναρτήσεις και αυτόματη αποδέσμευση αντικειμένων
Πακέτα	<ul style="list-style-type: none"> Το πακέτο αποτελείται από δύο τμήματα. Την επικεφαλίδα και τα υπόλοιπα μεταδεδομένα Ο NS-2 δεν ελευθερώνει μνήμη για την αποθήκευση πακέτων, αλλά επαναχρησιμοποιεί τα δεσμευμένα πακέτα 	<ul style="list-style-type: none"> Το πακέτο αποτελείται από μια ουρά ή buffer που περιέχει μια συλλογή μεταδεδομένων. Τα bits στη ουρά του πακέτου αντιστοιχούν πάντα στα bits ενός πακέτου σε πραγματικό δίκτυο.
Επιδόσεις	<ul style="list-style-type: none"> Το προστιθέμενο overhead από την OTcl επιβαρύνει την επίδοση του NS-2. 	<ul style="list-style-type: none"> Η βελτιωμένη διαχείριση μνήμης του NS-3 βελτιώνει την επίδοση του. Ο συνολικός υπολογιστικός χρόνος που απαιτείται στον NS-3 είναι λιγότερος από τον NS-2
Έξοδος	<ul style="list-style-type: none"> Tracefiles Οπτικοποίηση με Nam, κ.α 	<ul style="list-style-type: none"> Tracefiles, Pcaps Οπτικοποίηση με PyViz, Netanim, κ.α
Modules	<ul style="list-style-type: none"> Ο αριθμός των modules και των επεκτάσεων είναι ένα ογκώδες σύνολο που προσφέρει πολλές δυνατότητες στην εξομίωση. 	<ul style="list-style-type: none"> Ως νεότερος, η ανάπτυξη του εστιάζει κυρίως στη ραχοκοκαλιά του παρά σε επεκτάσεις. Η νέα δομή του όμως είναι βελτιωμένη σε μεγάλο βαθμό και καταγράφεται

		<p>εκτεταμένη και συνεχώς αυξανόμενη χρήση του σε έρευνα και εκπαίδευση.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Είναι υπό συνεχή και ταχεία ανάπτυξη και ήδη προσφέρει πολλές δυνατότητες.
--	--	---

Πίνακας 2: Βασικές διαφορές μεταξύ του εξομοιωτή NS-2 και NS-3

5.2 Μοντέλα κίνησης κόμβων σε Ad Hoc δίκτυα

Στα πλαίσια της μελέτης των Ad Hoc δικτύων έχουν αναπτυχθεί αρκετά μοντέλα κίνησης που επιτρέπουν την εφαρμογή τους σε περιβάλλοντα εξομίωσης και που ακολουθούν προσεγγιστικά τις κινήσεις των κόμβων σε πραγματικά περιβάλλοντα. Τα Ad Hoc δίκτυα παρουσιάζουν διαφορετικά μοντέλα κίνησης ανάλογα με το περιβάλλον τους και το σύνολο εφαρμογών τους. Για την εξαγωγή ρεαλιστικών αποτελεσμάτων από την εκτέλεση πειραμάτων σε Ad Hoc δίκτυα θα πρέπει να ακολουθούνται τα αντίστοιχα μοντέλα κίνησης. Η επιλογή του μοντέλου κίνησης των κόμβων σε ένα Ad Hoc δίκτυο είναι πολύ σημαντική και καθορίζει σε πολύ μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα των πειραμάτων και εξομοιώσεων. Υπάρχουν αρκετά λογισμικά που παράγουν κινήσεις των κόμβων ακολουθώντας κάποιο μοντέλο. Στην εργασία αυτή, χρησιμοποιείται το εργαλείο BonnMotion [14] για την παραγωγή των κινήσεων στις διάφορες τοπολογίες που εξετάζονται.

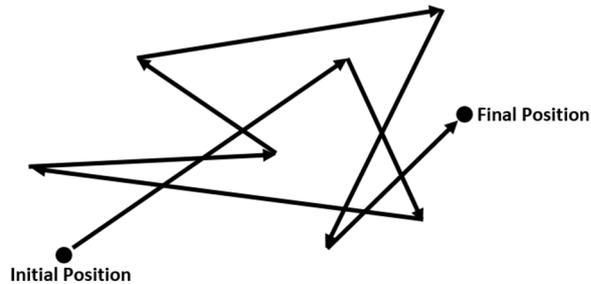
5.2.1 Μοντέλα κίνησης σε MANETs

Τα σημαντικότερα μοντέλα κίνησης σε MANETs που παράγει και το BonnMotion είναι:

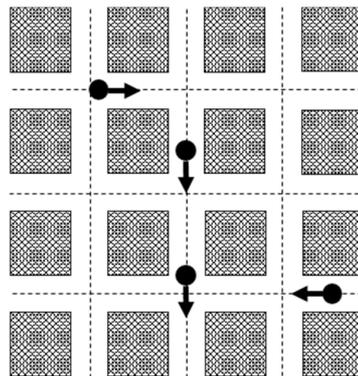
- The Random Waypoint model (“RandomWaypoint”)
- The Manhattan Grid model (“ManhattanGrid”)
- The Gauss-Markov model (“GaussMarkov”)
- The Reference Point Group Mobility model (“RPGM”)
- Static scenarios (“Static”)
- Static scenarios with drift (“StaticDrift”)
- Disaster Area model (“DisasterArea”)
- Random Street (“RandomStreet”)
- Tactical Indoor Mobility Model (“TIMM”)
- Self-similar Least Action Walk (“SLAW”)
- Map-based Self-similar Least Action Walk (“MSLAW”)
- SMOOTH Model (“SMOOTH”)
- Steady-State Random Waypoint Model (“SteadyStateRandomWay-point”)
- Random Direction Model (“RandomDirection”)
- Random Walk Model (“RandomWalk”)
- Probabilistic Random Walk Model (“ProbRandomWalk”)
- Boundless Simulation Area Model (“Boundless”)
- Column Mobility Model (“Column”)

- Nomadic Community Mobility Model (“Nomadic”)
- Pursue Mobility Model (“Pursue”)
- Chain Model (“ChainScenario”)

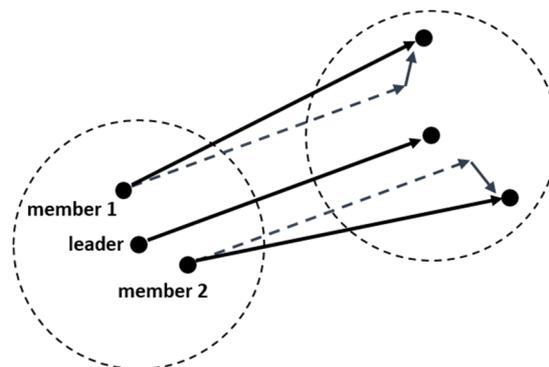
Για τις ανάγκες των πειραμάτων σε αυτή την εργασία χρησιμοποιήθηκαν τα μοντέλα κίνησης RandomWaypoint, ManhattanGrid και RPGM. Στο μοντέλο κίνησης RandomWaypoint (εικόνα 17) ο κάθε κόμβος επιλέγει τυχαία κάποιο ζεύγος συντεταγμένων στο χώρο και κινείται προς αυτό με τυχαία και σταθερή ταχύτητα. Μόλις ο κόμβος φτάσει στο προορισμό του, παραμένει αδρανής για κάποιο χρονικό διάστημα και στη συνέχεια επαναλαμβάνει τη διαδικασία. Το RandomWaypoint είναι ένα από τα απλούστερα μοντέλα κίνησης σε MANETs. Το μοντέλο ManhattanGrid (εικόνα 18) περιορίζει τη κίνηση των κόμβων στα προκαθορισμένα μονοπάτια της τετραγωνισμένης τοπολογίας. Στο μοντέλο αυτό οι κόμβοι επιλέγουν τυχαία κάποιο προορισμό και κινούνται προς αυτό μέσω των προκαθορισμένων μονοπατιών που επιλέγουν μέσω του shortest-path αλγόριθμου. Το μοντέλο RPGM (εικόνα 19) εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου οι κόμβοι κινούνται συντονισμένοι σε ομάδες ακολουθώντας την κίνηση του αρχηγού σε κάθε ομάδα.



Εικόνα 17: Μοντέλο κίνησης Random Waypoint



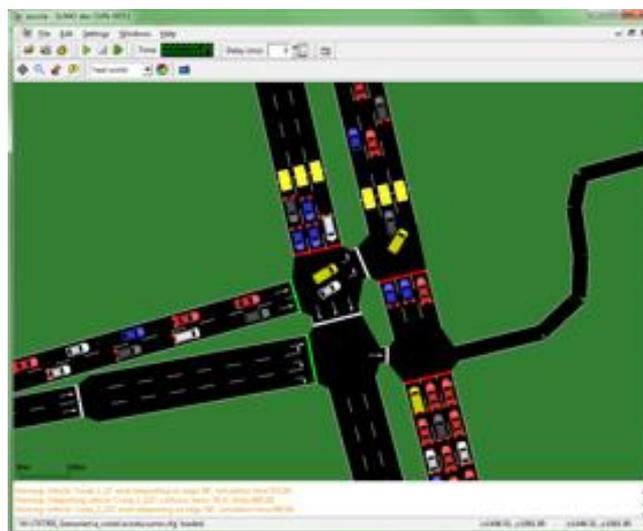
Εικόνα 18: Μοντέλο κίνησης Manhattan Grid



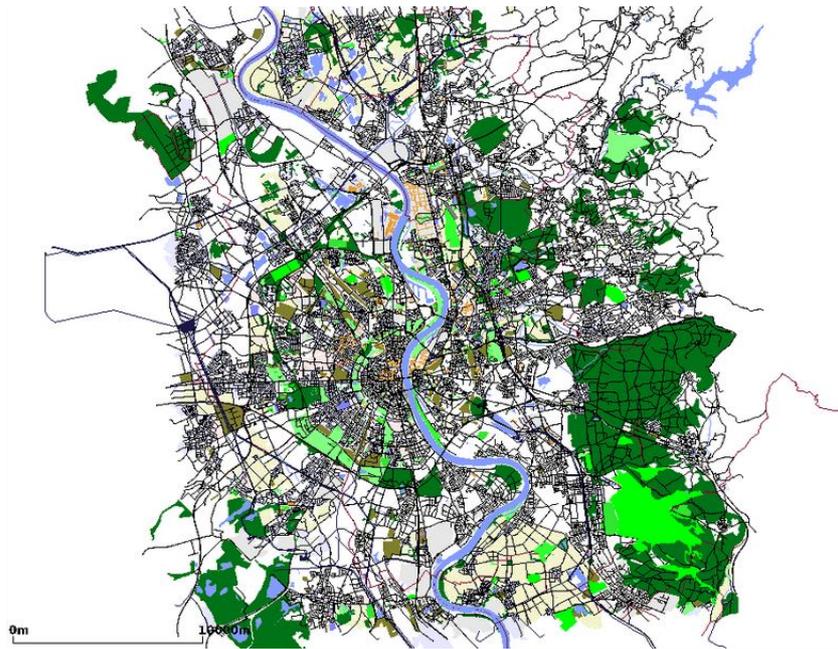
Εικόνα 19: Μοντέλο κίνησης RPGM

5.2.2 Μοντέλα κίνησης σε VANETs

Η κίνηση των κόμβων σε ένα δίκτυο VANET ακολουθεί τις προκαθορισμένες διαδρομές του χαρτογραφημένου χώρου όπως σε μια πόλη ή αυτοκινητόδρομο. Ένα χαρακτηριστικό μοντέλο κίνησης είναι το Freeway που παράγει κίνηση όπως αυτή στους αυτοκινητόδρομους. Στα περάματα αυτής της εργασίας, για την παραγωγή τοπολογιών και της κίνησης στα VANETs χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο SUMO [15]. Το εργαλείο αυτό προσφέρει μεγάλη ευελιξία και τη δυνατότητα δημιουργίας σεναρίων πολύ κοντά στη πραγματικότητα. Οι κόμβοι - οχήματα έχουν την ελευθερία αλλαγής λωρίδων στους δρόμους και συμπεριφέρονται όπως και τα οχήματα σε μια πραγματική πόλη. Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό του SUMO είναι η δυνατότητα προσθήκης στοιχείων μια πραγματικής πόλης ή αυτοκινητόδρομου όπως σηματοδότες, διασταυρώσεις (εικόνα 20), καμπυλωτές στροφές, αρκετούς τύπους μεταφορικών μέσων, πεζούς ή και την εισαγωγή μιας ολόκληρης πραγματικής πόλης. Το παραγόμενο σενάριο μπορεί να εισαχθεί στον εξομοιωτή NS-2 και NS-3. Στην εικόνα 21 φαίνεται η πόλη της Κολονίας στη Γερμανία που εξομοιώνει το SUMO. Η εξομίωση τέτοιου μεγέθους τοπολογίας αποδεικνύει την μεγάλη συνεισφορά του SUMO σε περεταίρω μελέτες και ερευνητική δραστηριότητα.



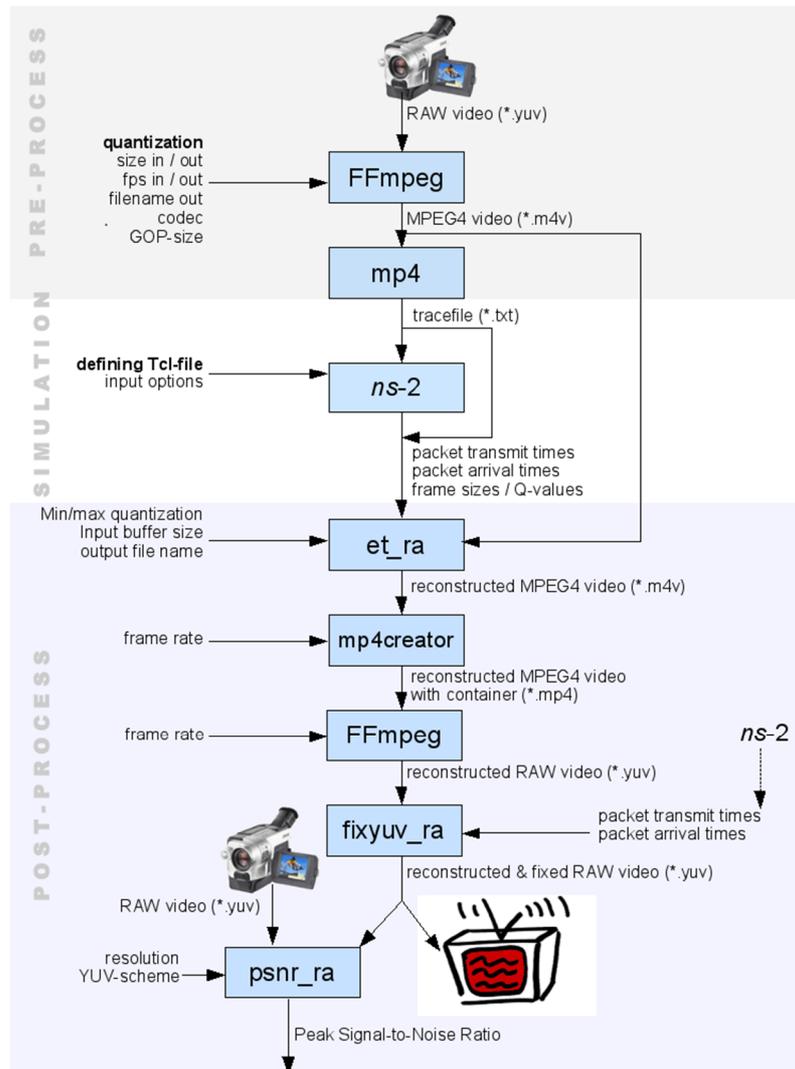
Εικόνα 20: Εξομίωση μιας διασταύρωσης από το SUMO



Εικόνα 21: Η πόλη της Κολωνίας στη Γερμανία όπως παράγει το SUMO

5.3 Evalvid-RA και εξομίωση μετάδοσης πολυμέσων

Η μετάδοση πολυμέσων στις εξομιώσεις αυτής της διπλωματικής εργασίας επιτυγχάνεται με τη χρήση του NS-2 και του Evalvid-RA [16], [17]. Το Evalvid-RA προσφέρει τη δυνατότητα για προσαρμοστική ή μη προσαρμοστική μετάδοση βίντεο. Η διαδικασία εκτέλεσης πειραμάτων, όπως φαίνεται και στην εικόνα 22, αποτελείται από 3 στάδια. Το πρώτο στάδιο (Pre-Process) αφορά τη κωδικοποίηση του YUV βίντεο σε MPEG4 και τον ορισμό παραμέτρων όπως τα καρέ ανά δευτερόλεπτο και το μέγεθος του GOP. Στο σημείο αυτό, το Evalvid-RA μετατρέπει το βίντεο σε ένα "tracefile" κατάλληλο για εισαγωγή στον NS-2. Εάν η επιθυμητή μετάδοση είναι προσαρμοστική, τότε το Evalvid-RA μπορεί να παράξει το βίντεο σε όσες διαφορετικές ποιότητες του οριστεί. Το δεύτερο στάδιο (Simulation) είναι η πραγματική εξομίωση της μετάδοσης του βίντεο στο δίκτυο με τον NS-2. Η εξομίωση της μετάδοσης παράγει αρκετά χρήσιμα αποτελέσματα και αρχεία που αναλύονται στο τρίτο στάδιο της εκτέλεσης. Το τρίτο στάδιο (Post-Process) περιλαμβάνει την ανακατασκευή του βίντεο σε MPEG4 και στη συνέχεια σε YUV ώστε να μπορεί να συγκριθεί με το αρχικό βίντεο. Αφού ολοκληρωθεί η αποκωδικοποίηση και η διόρθωση τυχόν αλλοιωμένων πλαισίων πραγματοποιείται η σύγκριση με το αρχικό και εξάγονται συμπεράσματα για το PSNR και άλλες ποιοτικές μετρικές.



Εικόνα 22: Διαδικασία εκτέλεσης πειραμάτων για μετάδοση βίντεο μέσω του Evalvid-RA και NS-2

Κεφάλαιο 6

Προτεινόμενος μηχανισμός επιλογής καναλιού με διαστρωματική ανατροφοδότηση

6.1 Related Work

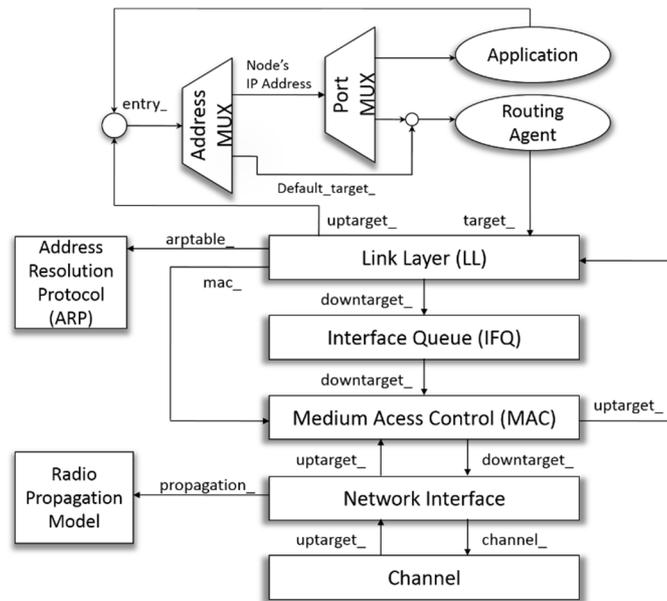
Για την ανάπτυξη του προτεινόμενου μηχανισμού μελετήθηκαν αρκετές προηγούμενες εργασίες σχετικά με τη χρήση των MANETs για την αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης. Σε τέτοιες περιπτώσεις, πολλές φορές η απευθείας μετάδοση βίντεο ή πολυμεσικών δεδομένων είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική αντιμετώπιση τους. Φυσικά, οι εφαρμογές απευθείας μετάδοσης πολυμέσων απαιτεί ένα σημαντικό πλήθος πόρων από το δίκτυο και στο σημείο αυτό εμφανίζονται δυσκολίες και προκλήσεις. Αρχικά μελετήθηκαν υβριδικές λύσεις που παρουσιάζουν ευπροσάρμοστα πρωτόκολλα δρομολόγησης σε δίκτυα με μεταβλητό πλήθος κόμβων αλλά και συνδυαστικές λύσεις τόσο στη δρομολόγηση όσο και στο επίπεδο ζεύξης με την εισαγωγή κατευθυνόμενων «έξυπνων» κεραιών. Οι λύσεις αυτές παρουσιάζονται στο [18], [19] και [20].

Μια διαφορετική αλλά αποτελεσματική και πολλά υποσχόμενα προσέγγιση είναι η χρήση πολλαπλών διεπαφών και καναλιών (Multi-Interfaces and Multi-Channels - MIMC) στις ασύρματες συσκευές. Η αύξηση των διεπαφών-καναλιών προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα και πλέον αποτελεί μια οικονομικά και ενεργειακά βιώσιμη λύση. Συναφείς προσπάθειες υλοποίησης του MIMC στον NS-2 είναι το TeNs [21], το Hyacinth [22] και το [23]. Το TeNs είχε στόχο την υλοποίηση πολλών διεπαφών στους κόμβους και την βελτίωση του IEEE 802.11 στον NS-2.1b9a. Το Hyacinth υλοποιήθηκε στον NS-2.29a και επέτρεπε επέκταση στον NS-2.29. Οι υλοποιήσεις αυτές αν και προσέφεραν σημαντικές δυνατότητες στον NS-2 σχετικά με τις πολλαπλές διεπαφές και κανάλια, παρουσίαζαν ορισμένα προβλήματα όπως η στατική αρχικοποίηση και η ελλιπής ευελιξία. Τα μειονεκτήματα αυτά αντιμετωπίστηκαν από το [23], το οποίο και αποτελεί την πιο ολοκληρωμένη υλοποίηση στην οποία βασίζεται και ο προτεινόμενος μηχανισμός.

6.2 Διαστρωματικές αρχιτεκτονικές στον NS-2

6.2.1 Αρχιτεκτονική Κόμβου χωρίς Πολλαπλά Κανάλια

Για την εξομοίωση των δικτύων MANET σε αυτή την εργασία, χρησιμοποιήθηκε ο εξομοιωτής δικτύων NS-2. Η αρχιτεκτονική ενός κόμβου σε δίκτυο MANET ορίζεται στον NS-2 όπως στην εικόνα 23.



Εικόνα 23: Βασική αρχιτεκτονική κόμβου στον NS-2

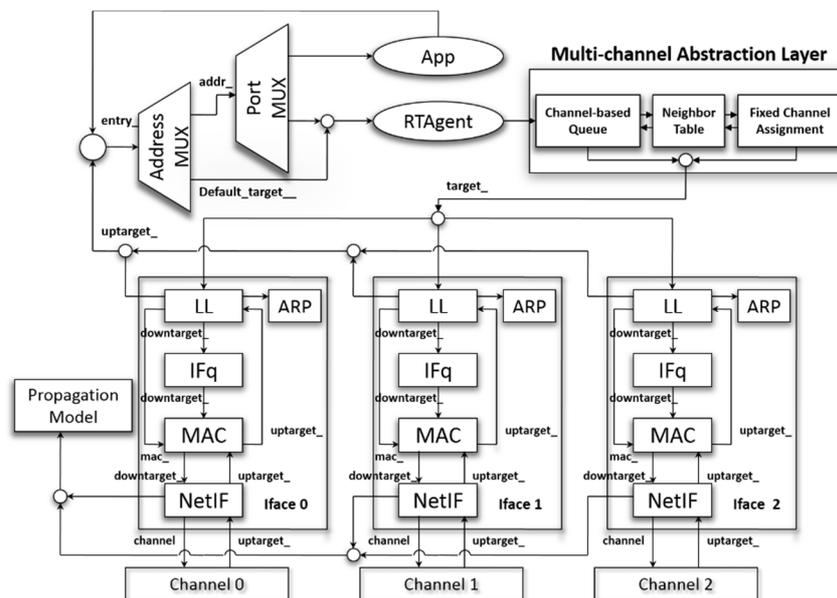
Η δομή του κόμβου αποτελείται από συγκεκριμένα επίπεδα με διαφορετικές λειτουργίες. Ξεκινώντας από τα ανώτερα προς τα κατώτερα επίπεδα έχουμε:

- Application Layer: Το επίπεδο αυτό μοντελοποιεί την εφαρμογή (πχ. Point To Point) που χρησιμοποιείται
- Routing Agent: Καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο κάποιος κόμβος θα μεταδώσει ένα πακέτο (ποιος είναι ο επόμενος παραλήπτης) και είναι υπεύθυνο για την εκπομπή πακέτων δρομολόγησης.
- Link Layer: Το επίπεδο αυτό σχετίζεται με το ρυθμό μετάδοσης, το χρόνο μετάδοσης πακέτων, την καθυστέρηση της μεταγωγής και γενικότερα με τις παραμέτρους των συνδέσεων στο δίκτυο
- Address Resolution Protocol (ARP): Είναι υπεύθυνο για την μετάφραση των φυσικών διευθύνσεων των κόμβων σε λογικές διευθύνσεις IP του δικτύου .
- Interface queue: Το επίπεδο αυτό είναι υπεύθυνο για την διαχείριση των ουρών (buffer management) στις διεπαφές των κόμβων.
- Medium Access Control (MAC): Μοντελοποιεί το Επίπεδο Προσπέλασης Μέσων στους κόμβους.
- Network interface: Το επίπεδο αυτό αλληλοεπιδρά με το τμήμα Radio Propagation Model ώστε να εξομοιώσει το σφάλμα μεταγωγής πακέτων και είναι το σημείο στο οποίο συμβαίνει η πραγματική μετάδοση.
- Channel: Το επίπεδο αυτό ουσιαστικά δεν αποτελεί τμήμα του κόμβου αλλά ένα φυσικό μέσο επικοινωνίας μεταξύ γειτονικών κόμβων. Ο κόμβος εισάγει τα πακέτα που θέλει να μεταδώσει στο κανάλι και οι υπόλοιποι κόμβοι συντονισμένοι στο ίδιο κανάλι, διαβάζουν το κανάλι ώστε να εντοπίσουν κάποιο πακέτο που προορίζεται για αυτούς.

Η διαδικασία που ακολουθείται στις μεταδόσεις είναι ότι τα πακέτα λαμβάνονται αρχικά μέσω του επιπέδου καναλιού και στη συνέχεια κινούνται προς τα ανώτερα επίπεδα του κόμβου. Αφού τα πακέτα φτάσουν στο Link Layer, το οποίο είναι συνδεδεμένο με τον Πολυπλέκτη Διευθύνσεων (Address Multiplexer), αποφασίζει για το αν τα πακέτα θα διαχειριστούν από τον Routing Agent ή το επίπεδο εφαρμογής (Application Layer).

6.2.2 Αρχιτεκτονική Κόμβου με Πολλαπλά Κανάλια

Η βασική αρχιτεκτονική του κόμβου στον NS-2 υποστηρίζει την ύπαρξη μόνο ενός καναλιού. Πολλές φορές η ύπαρξη μόνο ενός καναλιού στο δίκτυο δεν είναι αρκετή για τις ανάγκες των εφαρμογών και του μεταδιδόμενου όγκου μηνυμάτων. Οι έντονες παρεμβολές, τα υψηλά ποσοστά απώλειας πακέτων δεδομένων, οι μεγάλες καθυστερήσεις και το ανεπαρκές bandwidth οδηγεί στην χρήση περισσότερων από ένα κανάλι ταυτόχρονα. Η αρχιτεκτονική κόμβου που χρησιμοποιείται στα πειράματα αυτής της εργασίας και προτείνεται από το [23] αποτελεί επέκταση της βασικής δομής του κόμβου και θα αναφερόμαστε σε αυτή ως MIMC (Multiple Interfaces and Multiple Channels). Ένα παράδειγμα της επέκτασης MIMC για υποστήριξη τριών διεπαφών και καναλιών παρουσιάζεται στην εικόνα 24.



Εικόνα 24: Επέκταση αρχιτεκτονικής κόμβου MIMC στον NS-2 με υποστήριξη 3 διεπαφών και καναλιών

Η διαφορά της δομής MIMC από την βασική είναι ότι τα πακέτα εκπέμπονται και λαμβάνονται από τα αντίστοιχα κανάλια των διεπαφών των κόμβων. Προκειμένου κάποιος κόμβος να αναζητήσει πακέτα που προορίζονται για αυτόν, θα πρέπει τουλάχιστον μια διεπαφή του να «ακούει» στο κανάλι μετάδοσης. Μια επίσης σημαντική διαφορά του MIMC από το βασικό σχήμα εντοπίζεται στην αλληλοεπίδραση του επιπέδου Link Layer και των ανωτέρων του. Στο σημείο αυτό, το Link Layer είναι και πάλι συνδεδεμένο με τον Πολυπλέκτη Διευθύνσεων, αλλά η απόφαση για το ποιο θα επιλεγεί ορίζεται από το επίπεδο Routing Agent. Στο παράδειγμα της εικόνας 24, αυτό σημαίνει πως ο Routing Agent θα επιλέξει πια από τις τρεις διεπαφές (iface 0,1,2) για την ανταλλαγή πακέτων. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό του MIMC είναι το Αφηρημένο Επίπεδο Πολλαπλών Καναλιών ή Multi-channel Abstraction Layer που αρχικοποιεί τα κανάλια στις διαθέσιμες διεπαφές και διαχειρίζεται τους πίνακες δρομολόγησης σύμφωνα με το εκάστοτε πρωτόκολλο δρομολόγησης.

Η εφαρμογή της επέκτασης MIMC, σύμφωνα με το [23] θα πρέπει να πληροί τέσσερις προϋποθέσεις:

1. Ο αριθμός των καναλιών σε μια τοπολογία θα μπορεί να είναι μεταβάλλεται.
2. Ο αριθμός των διεπαφών ανά κόμβο δεν είναι απαραίτητα ίδιος για όλους τους κόμβους.
3. Ο κάθε κόμβος μπορεί να επικοινωνεί σε διαφορετικά κανάλια από αυτά που του είχαν οριστεί αρχικά.

Η νέα αρχιτεκτονική να επιτρέπει συμβατότητα με τη βασική αρχιτεκτονική (backwards compatibility with legacy)

6.3 Περιγραφή μηχανισμού

Ο προτεινόμενος μηχανισμός βασίζεται στη καταγραφή μετρήσεων κατά τη μετάδοση πακέτων στο δίκτυο. Οι δύο βασικές μετρικές που χρησιμοποιεί είναι:

- Λόγος σήματος προς θόρυβο (SNR): Κάθε κόμβος καταγράφει τις τιμές του SNR για τα κανάλια που χρησιμοποιούν οι διεπαφές του για μετάδοση. Οι αποθηκευμένες τιμές περιέχουν αναλυτική πληροφορία για την ισχύ σήματος στα κανάλια που χρησιμοποιεί ο κόμβος. Η καταγραφή των τιμών του SNR για τα κανάλια του κόμβου πραγματοποιείται τόσο για το ίδιο μονοπάτι κίνησης όσο και για τα μονοπάτια κίνησης που δημιουργούν οι γειτονικοί κόμβοι.
- Σύγκρουση στο κανάλι: Η μετρική αυτή περιέχει την κατάσταση του MAC επιπέδου η οποία έχει πρόσβαση σε πληροφορίες για το κανάλι στο Physical επίπεδο. Όταν ο αέρας είναι «απασχολημένος» (σύγκρουση στο κανάλι μετάδοσης), το MAC επίπεδο στέλνει ένα σήμα στο επίπεδο πρωτόκολλου δρομολόγησης του τρέχοντος κόμβου αποστολής ώστε αυτό να αναζητήσει ένα εναλλακτικό κανάλι με καλύτερο SNR και λιγότερη παρεμβολή.

Οι μετρικές αυτές επεξεργάζονται από τον μηχανισμό έτσι ώστε να επιλέγεται κάθε φορά το ιδανικό κανάλι για τη μετάδοση των πακέτων στο ήδη σχεδιασμένο μονοπάτι από τον αποστολέα στο παραλήπτη. Σε περίπτωση σύγκρουσης σε κάποιο κανάλι μετάδοσης, η τρέχουσα κατάσταση των κόμβων που στέλνουν, προωθούν ή παραλαμβάνουν πακέτα επανεξετάζεται και είναι πολύ πιθανό κάποιο άλλο κανάλι να χρησιμοποιηθεί για τη μετάδοση. Ο κύριος στόχος είναι η αποφόρτιση και απομάκρυνση παρεμβολών και συγκρούσεων στα κανάλια μετάδοσης.

Προκειμένου να αποφευχθούν οι συγκρούσεις πακέτων και οι συνέπειες της περιορισμένης χωρητικότητας, οι κόμβοι αλληλοεπιδρούν με όσο το δυνατόν περισσότερα διαθέσιμα κανάλια. Ο χρησιμοποιούμενος αριθμός καναλιών για ένα αποδοτικό δίκτυο εξαρτάται από τον αριθμό των κόμβων, τη πυκνότητα τους στο χώρο και τη ποσότητα μεταδιδόμενης πληροφορίας.

Ο σχεδιασμός του μηχανισμού στηρίζεται στη χρήση πολλαπλών διεπαφών-καναλιών όπου ο κάθε κόμβος θα είναι σε θέση να αναγνωρίζει το βέλτιστο μονοπάτι και συνδυασμό καναλιών μετάδοσης μέσα σε αυτό. Αυτό σημαίνει ότι ο τρέχον κόμβος, ανάλογα με την τρέχουσα ροή και κίνηση πακέτων στη γειτονιά του, θα πρέπει να αποφασίζει σωστά σχετικά

με την επιλογή καναλιού μετάδοσης. Το μοντέλο για την διαχείριση των πολλαπλών διεπαφών και καναλιών περιγράφεται παρακάτω πιο αναλυτικά:

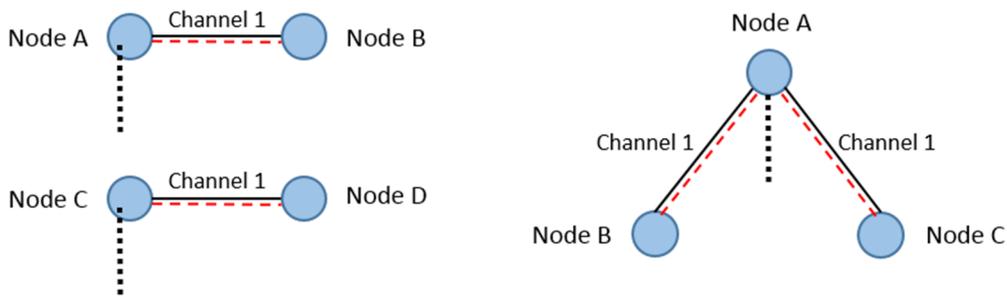
Κάθε κόμβος, διαθέτει ένα πίνακα δρομολόγησης για κάθε διεπαφή-κανάλι και καταγράφει πληροφορίες για όλα τα πιθανά μονοπάτια στον παραλήπτη. Με τον τρόπο αυτό οι διεπαφές του κάθε κόμβου παραμένουν ενημερωμένες για το κάθε αντίστοιχο κανάλι. Έτσι ο εκάστοτε κόμβος αναλύει τους πίνακες δρομολόγησης για κάθε διεπαφή του και σύμφωνα με συγκεκριμένες παραμέτρους και μετρικές θέτει τη κατάλληλη διεπαφή ως πύλη δικτύου.

Η χρήση των πολλαπλών διεπαφών-καναλιών βελτιώνει σημαντικά την από άκρο σε άκρο καθυστέρηση καθώς και τον ρυθμό παραλαβής πακέτων. Κάθε προστιθέμενο κανάλι αυξάνει κατά πολύ τη συνολική τρέχουσα χωρητικότητα κάθε σύνδεσης. Παρόλα αυτά, όσο ένα MANET δίκτυο εξαπλώνεται και αυξάνει την πυκνότητα του, η χωρητικότητα της κάθε σύνδεσης επηρεάζεται σημαντικά και η ασύρματη επικοινωνία περιπλέκεται σε μεγάλο βαθμό.

Το κυρίως πρόβλημα με τη χρήση του εύρους ζώνης όταν μεταδίδεται ένα βίντεο σε ένα multi-hop μονοπάτι σε MANET είναι ότι ο κάθε ενδιάμεσος κόμβος δεν μπορεί να μεταδώσει όταν ο προηγούμενος και ο επόμενος του κόμβος μεταδίδει. Αυτό σημαίνει πως η αύξηση των διαθέσιμων καναλιών στο δίκτυο από μόνη της δεν αποτελεί αποτελεσματική λύση. Για το λόγο αυτό, εισάγεται στο σχεδιασμό των κόμβων με πολλαπλές διεπαφές-κανάλια ένας προτεινόμενος μηχανισμός διαχείρισης διεπαφών και επιλογής καναλιού. Η λογική του μηχανισμού στηρίζεται στις πληροφορίες που έχει συλλέξει ο κάθε κόμβος κατά την εκπομπή μηνυμάτων και κατά την εύρεση μονοπατιού από τη κάθε διεπαφή του. Παράλληλα με τη συλλογή αυτών των πληροφοριών, καταγράφεται και η κίνηση από τους γειτονικούς κόμβους καθώς και οι παρεμβολές που προκαλούν τα κανάλια μετάδοσής τους. Αναλύοντας αυτά τα δεδομένα, ο πίνακας δρομολόγησης για κάθε διεπαφή ανανεώνεται κάθε φορά που ανακαλύπτεται κάποιο καλύτερο μονοπάτι ή κανάλι.

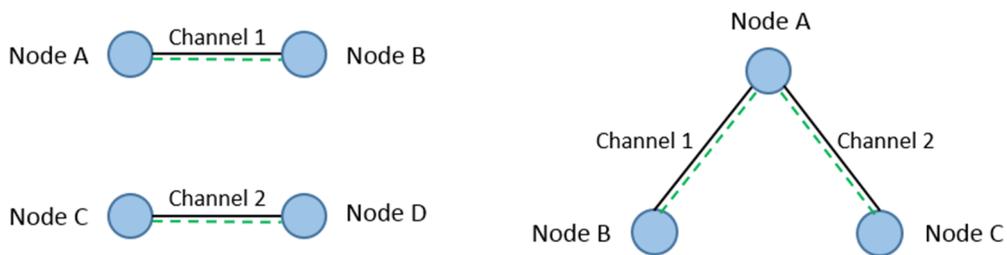
Το μονοπάτι από τον αποστολέα στον παραλήπτη μπορεί να αποτελείται από διαφορετικά κανάλια σε διαφορετικές διεπαφές. Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται η ευελιξία καθώς ο κάθε κόμβος μπορεί να έχει τις δικές του ρυθμίσεις σχετικά με τις διεπαφές και τα αντίστοιχα κανάλια του. Στην υλοποίηση του μηχανισμού, η εύρεση μονοπατιού πραγματοποιείται από το πρωτόκολλο δρομολόγησης AODV και ο μηχανισμός ενσωματώνεται σε αυτό.

Στην εικόνα 25 παρουσιάζεται η περίπτωση αλληλεπίδρασης των κόμβων με τη χρήση μόνο μιας διεπαφής-καναλιού. Στη περίπτωση αυτή, έχουμε 2 συνδέσεις στο ίδιο εύρος μετάδοσης και το εύρος ζώνης είναι μισό από τη χωρητικότητα που επιτρέπει το κανάλι μετάδοσης. Η κατάσταση μπορεί να είναι ακόμα χειρότερη όταν περισσότερες συνδέσεις στο δίκτυο μοιράζονται το ίδιο κανάλι. Η συνολική ρυθμαπόδοση του δικτύου φράσσεται στη χωρητικότητα του ενός καναλιού.



Εικόνα 25: Χρήση του ίδιου καναλιού από πολλαπλές συνδέσεις.

Στην εικόνα 26 παρουσιάζεται η περίπτωση αλληλεπίδρασης των κόμβων με τη χρήση πολλαπλών διεπαφών-καναλιών. Συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται 2 διεπαφές-κανάλια και δεν προκαλείται παρεμβολή και σύγκρουση πακέτων. Η κάθε σύνδεση έχει εύρος ζώνης όση και η χωρητικότητα του καναλιού που χρησιμοποιεί και συνεπώς η ολική ρυθμαπόδοση μπορεί να φτάσει το άθροισμα της χωρητικότητας των 2 καναλιών μετάδοσης.



Εικόνα 26: Χρήση πολλαπλών καναλιών από πολλαπλές συνδέσεις

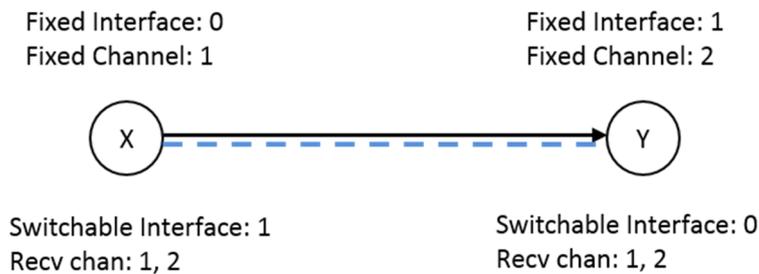
6.4 Μηχανισμός εναλλαγής διεπαφών

Στο εξομοιωμένο AdHoc δίκτυο με πολλαπλές διεπαφές-κανάλια, οι κόμβοι είναι εξοπλισμένοι με M διεπαφές και 1 κανάλι ανά διεπαφή. Ο αριθμός των διεπαφών μπορεί να οριστεί δυναμικά (δεν είναι απαραίτητο όλοι οι κόμβοι να διαθέτουν τον ίδιο αριθμό διεπαφών) μαζί με τις υπόλοιπες παραμέτρους του δικτύου. Κάθε κόμβος έχει μια επιλεγμένη διεπαφή μετάδοσης που αντιστοιχεί σε ένα μονοπάτι δρομολόγησης και 1 ή περισσότερες εναλλακτικές διεπαφές ανάλογα με τον συνολικό αριθμό των διαθέσιμων διεπαφών.

- Διεπαφή μετάδοσης (Fixed Interface): Η διεπαφή που χρησιμοποιεί ο κόμβος για να μεταδώσει πακέτα στο δίκτυο. Το αντίστοιχο κανάλι αυτής της διεπαφής είναι το κανάλι μετάδοσης. Οι διεπαφές μετάδοσης για όλους τους κόμβους είναι αρχικοποιημένη στην `iface0`, αλλά κατά τη διάρκεια των μεταδόσεων και ανάλογα με τις προκύπτουσες ανάγκες για ρυθμαπόδοση μπορεί αυτόματα να μεταβεί σε μια από τις εναλλακτικές διεπαφές. Η διεπαφή μετάδοσης ενός κόμβου μπορεί να είναι διαφορετική για διαφορετικά μονοπάτια που το διαπερνούν, γεγονός που επιτρέπει

τη διαμοίραση του φόρτου ροής πακέτων σε διασταυρώσεις στα επιμέρους διαθέσιμα κανάλια.

- Εναλλακτική διεπαφή (Switchable Interface): Οι υπόλοιπες M-1 διεπαφές σε κατάσταση idle είναι οι εναλλακτικές διεπαφές. Τα αντίστοιχα κανάλια αυτών των διεπαφών είναι τα εναλλακτικά κανάλια. Όταν απαιτείται κάποια αλλαγή καναλιού, τότε ο κόμβος θα πρέπει να επιλέξει μια από τις εναλλακτικές διεπαφές ως τη διεπαφή μετάδοσης. Μια εναλλακτική διεπαφή επιτρέπει στον κόμβο X να μεταδώσει στον κόμβο Y εντός του εύρους μετάδοσης εάν αυτή επιλεγεί ως η διεπαφή μετάδοσης και έχει το ίδιο κανάλι με ένα από αυτά που χρησιμοποιεί ο Y για παραλαβή πακέτων. Η εικόνα 27 απεικονίζει 2 κόμβους που επικοινωνούν καθώς και τις αντίστοιχες διεπαφές και κανάλια. Ο κόμβος Y χρησιμοποιεί διαφορετική διεπαφή μετάδοσης από τον X έτσι ώστε να μπορεί να μεταδώσει και σε ένα άλλο κόμβο με διαφορετικό κανάλι.



Εικόνα 27: Διεπαφές μετάδοσης και εναλλακτικές διεπαφές

Στην υλοποίηση του μηχανισμού ορίστηκε μια δομή (struct) η οποία διατηρεί τις πληροφορίες των μεταδόσεων με τους εξής πίνακες και λίστες:

- NeighbourTable [Nodes]: Περιέχει λίστες με όλους τους γείτονες του κάθε κόμβου στη τοπολογία και ενημερώνεται με τα hello μηνύματα. Ο interval χρόνος των hello πακέτων καθορίζεται από το AODV πρωτόκολλο δρομολόγησης
- ChannelUtilityArray [Nodes][Ifaces]: Διατηρεί πληροφορία σχετικά με το φόρτο μεταγωγής σε κάθε κανάλι για τον κάθε κόμβο
- TotalChannelUtility[Ifaces]: Διατηρεί πληροφορία σχετικά με το συνολικό φόρτο μεταγωγής σε κάθε κανάλι ανά γειτονιά του κάθε κόμβου
- FixedInterface[Nodes]: Διατηρεί πληροφορία σχετικά με τις επιλεγμένες διεπαφές μετάδοσης για κάθε κόμβο
- SwitchableInterface[Nodes]: Διατηρεί πληροφορία σχετικά με την επόμενη καλύτερη εναλλακτική διεπαφή μετάδοσης για κάθε κόμβο
- ReceiveChannel[Nodes]: Διατηρεί πληροφορία σχετικά με τα κανάλια στα οποία «ακούει» ο κάθε κόμβος

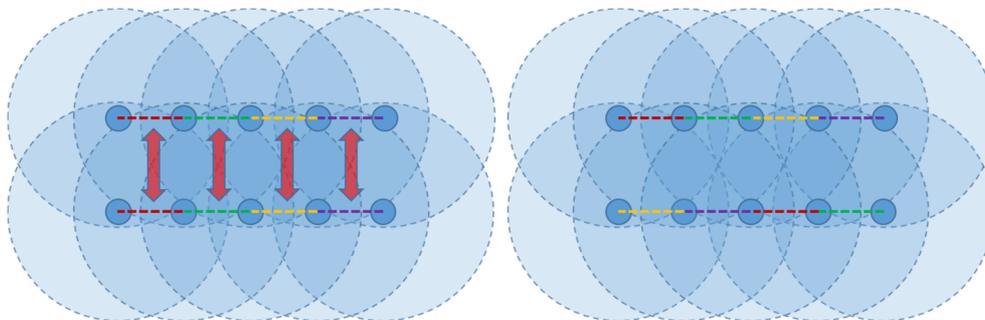
Οι κανόνες για εναλλαγή των διεπαφών είναι:

1. Το Mac επίπεδο αποθηκεύει για κάθε διεπαφή ανά κόμβο την κατάσταση του Mac και το SNR για το αντίστοιχο κανάλι μετάδοσης. Η πληροφορία αυτή αποστέλλεται

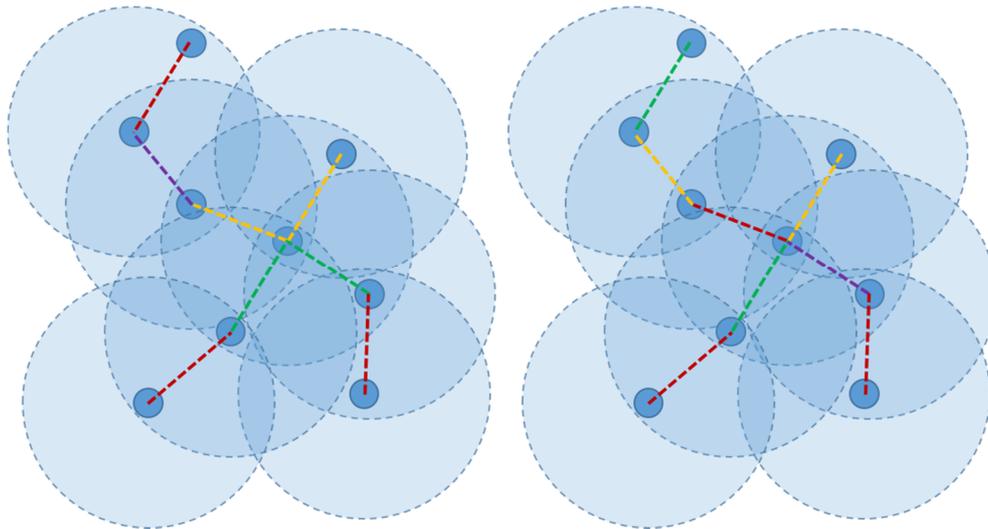
απευθείας στο επίπεδο δρομολόγησης του κόμβου ο οποίος εκείνη τη στιγμή αποστέλνει ή προωθεί πακέτα. Όταν έχει σχηματιστεί το μονοπάτι και ο κόμβος προωθεί: Ο κόμβος αναλύει τη πληροφορία που έφτασε από το Mac επίπεδο σχετικά με το SNR του καναλιού μετάδοσης, τη κατάσταση του Mac του ίδιου κόμβου αλλά και των υπόλοιπων κόμβων στη γειτονιά του που χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι. Αφού ολοκληρωθεί η ανάλυση αυτή, ο μηχανισμός αποφασίζει εάν ο κόμβος θα πρέπει να μεταβεί σε κάποιο εναλλακτικό κανάλι και ποιο από αυτά είναι το καταλληλότερο.

2. Για εκπομπή πακέτου από ένα κόμβο σε όλους τους υπόλοιπους, ο αποστολέας αντιγράφει το συγκεκριμένο πακέτο και το τοποθετεί στην ουρά πακέτων της κάθε διεπαφής-καναλιού. Το πακέτο θα αποσταλεί όταν η ουρά του καναλιού στο οποίο ανήκει, έχει χρονοπρογραμματιστεί για μετάδοση.

Κάθε κόμβος γνωρίζει για τα κανάλια που χρησιμοποιούν οι γείτονες του (ChannelUtilityArray) και ενημερώνει τον NeighborTable και τον ChannelUtilityArray κάθε φορά που δέχεται κάποια αίτηση (broadcast, hello, rrep ή rreq) ή στέλνει (forward, sendrequest, sendreply κ.α) κάποιο πακέτο. Ο μηχανισμός εναλλαγής διεπαφών στηρίζεται κυρίως στον πίνακα ChannelUtilityArray και στις σημαίες σύγκρουσης πακέτων που αποστέλνει το Mac επίπεδο. Μόλις υπάρξουν σήματα για συγκρούσεις πακέτων στο κανάλι αποστολής και έχει βρεθεί κάποιο κανάλι με μικρότερο φόρτο, τότε ο κόμβος μεταβαίνει σε αυτό για την μετάδοση. Κάθε κόμβος έχει ως πρώτη εναλλακτική διεπαφή-κανάλι, τη διεπαφή-κανάλι με τα καλύτερα χαρακτηριστικά (SNR, φόρτος ροής πακέτων) από τα υπόλοιπα. Στις εικόνες 28 και 29 φαίνεται ο τρόπος επιλογής διεπαφών-καναλιών με και χωρίς τον προτεινόμενο μηχανισμό.



Εικόνα 28: (Αριστερά) Επιλογή 4 καναλιών χωρίς τον προτεινόμενο μηχανισμό. (Δεξιά) Επιλογή 4 καναλιών με τον προτεινόμενο μηχανισμό.



Εικόνα 29: (Αριστερά) Επιλογή 4 καναλιών χωρίς τον προτεινόμενο μηχανισμό. (Δεξιά) Επιλογή 4 καναλιών με τον προτεινόμενο μηχανισμό.

6.5 Ο αλγόριθμος

Ο αλγόριθμος που μηχανισμού που ενσωματώνεται στο πρωτόκολλο δρομολόγησης φαίνεται παρακάτω:

<pre>Procedure sendHello() if (nifaces) for (iface i=0 to nifaces) Broadcast Hello_msg on iface[i] endfor else Broadcast Hello_msg on iface[0] endif Endprocedure</pre>	<pre>Procedure recvHello() NeighborList[index] <- add source node replyHello(); Endprocedure</pre>
--	--

```
Procedure forward()
  fixedIface[index] <- rt.rt_interface
  channel_in_use[index] <- channel[index][fixedIface[index]]
  if ( RREQ.packet_type == data )
    macList <- getMac_collision_addrs( channel_in_use[index] )
    snrList <- getSnr_channelList( channel_in_use[index] )
    ChannelUtility[index][channel_in_use[index]] ++
    weaknode <- getWeaknode( neighborhood(index) )
    switchableChannel[index] <- getSwitchableChannel( [index] )
    for ( neighbor i=macList.begin() to macList.end() ++neighbor )
      if ( is_neighbor( index, neighbor ) )
        collisionState[channel_in_use[index]] <- true
      endif
    endfor
    if ( collisionState[channel_in_use[index]] == true )
      collisionState[channel_in_use[index]] <- false
      channel_in_use[weaknode] <- switchableChannel[index]
      for ( iface i=0 to nifaces )
        if ( channel_in_use[weaknode] == channel[weaknode][iface] )
          fixedIface[weaknode] <- iface
        endif
      endfor
      if( weaknode == index )
        rt->rt_interface <- fixedIface[index]
      endif
    endif
    if ( !broadcast )
      schedule packet at fixedIface[index]
    endif
  endif
Endprocedure
```

Κεφάλαιο 7

Προτεινόμενος μηχανισμός προώθησης πακέτων του GPSR σε VANETs

7.1 Related Work

Η δρομολόγηση στα VANETs αποτελεί ένα σημαντικό πεδίο έρευνας τα τελευταία χρόνια. Υπάρχουν αρκετές εργασίες και προηγούμενες προσπάθειες που μελετούν και αναλύουν τη δρομολόγηση στα VANETs. Οι εργασίες αυτές μελετήθηκαν και αποτέλεσαν στήριγμα για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη του προτεινόμενου μηχανισμού σε αυτή τη διπλωματική εργασία. Στο [24], [25] και [26] μελετώνται διάφορα πρωτόκολλα δρομολόγησης και κατηγοριοποιούνται με βάση τη στρατηγική που ακολουθούν. Στο [27] πραγματοποιείται συγκριτική μελέτη των AODV, DSDV και DSR για σενάρια αστικών περιοχών και αυτοκινητόδρομων ενώ στο [28] παρουσιάζονται γενικές ιδέες σχεδιασμού και υλοποίησης αξιόπιστης δρομολόγησης. Στο [29] παρουσιάζεται ένα μοντέλο αξιολόγησης και σύγκρισης των πρωτόκολλων δρομολόγησης σε σενάρια αυτοκινητόδρομων και στο [30] προτείνεται ένα ρεαλιστικό μοντέλο μεταγωγής που αυξάνει την ακρίβεια των εξομοιώσεων. Ένα νέο πρωτόκολλο δρομολόγησης για αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και σταθερών σημείων πρόσβασης προτείνεται στο [31] όπου χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος πρόβλεψης του χρόνου ζωής των ενεργών συνδέσεων. Στο [32] προτείνεται ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης για επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και σταθερών σημείων πρόσβασης αξιοποιώντας δεδομένα από την κίνηση των οχημάτων. Η απόδοση του συγκρίνεται με άλλα γνωστά πρωτόκολλα δρομολόγησης. Στο [33] παρουσιάζεται ένας διαστρωματικός αλγόριθμος δρομολόγησης σε VANETs που βασίζεται στις θέσεις των κόμβων και εμφανίζει υψηλότερες επιδόσεις από το GPSR. Ο αλγόριθμος αυτός ονομάζεται CLWRP και αξιοποιεί πληροφoρία από τη ποιότητα των συνδέσεων και τη θέση των οχημάτων από την πλοήγηση.

7.2 Περιγραφή μηχανισμού

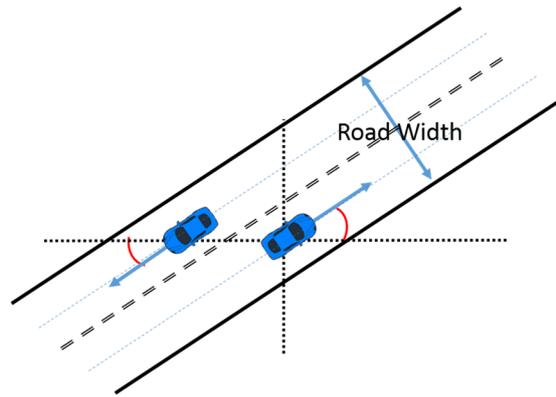
Λόγο της έντονης και με υψηλές ταχύτητες κινητικότητας των κόμβων στα VANETs, το πρωτόκολλο δρομολόγησης GPSR αδυνατεί να παρουσιάσει ικανοποιητικές επιδόσεις στη γενική περίπτωση. Αυτό οφείλεται κυρίως στην στρατηγική που ακολουθεί το GPSR όταν σχηματίζει τη διαδρομή προς τον προορισμό και προωθεί τα δεδομένα. Το πρόβλημα εντοπίζεται στο σημείο που το GPSR προωθεί τα πακέτα στους κόμβους που έχουν τη μικρότερη τρέχουσα απόσταση από τον τελικό παραλήπτη. Εξαιτίας της έντονης κινητικότητας, είναι πολύ πιθανό το GPSR να μην προλάβει να ενημερώσει τους πίνακες δρομολόγησης με τις νέες θέσεις των κόμβων και να δρομολογήσει στηριζόμενο σε μη ενημερωμένη πληροφορία. Παρόλο που οι πίνακες δρομολόγησης ανανεώνονται κάθε 1 με 1.5 sec, σε μια τοπολογία με μεγάλη πυκνότητα και υψηλές ταχύτητες, η αποτυχία στην δρομολόγηση μεταδίδεται αλυσιδωτά και τα δυσάρεστα αποτελέσματα είναι πιο έντονα. Τέτοια αποτελέσματα είναι η μετάβαση σε κατάσταση ανάκαμψης αλλά και η εκ νέου επαναδρομολόγηση.

Η προτεινόμενη λύση σε αυτή την αδυναμία του GPSR είναι ένας μηχανισμός πρόβλεψης των θέσεων των κόμβων για την αποφυγή διακοπών στις συνδέσεις στο άμεσο μέλλον αλλά και την αποφυγή μετάβασης σε κατάσταση ανάκαμψης. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο, θα πρέπει εκτός από τη θέση, να αποστέλλεται και η ταχύτητα των κόμβων. Ο προτεινόμενος μηχανισμός, ενσωματώνει στην κεφαλή των GPSR_Hello πακέτων τη θέση και την ταχύτητα του τρέχοντος κόμβου. Αντίστοιχα, ενσωματώνει στα πακέτα δεδομένων τη θέση και ταχύτητα του προορισμού. Ο μηχανισμός εκτός από την πρόβλεψη, εισάγει και την μετρική της ποιότητας των συνδέσεων, εισάγοντας στα πακέτα GPSR_Hello ένα SINR tag από το φυσικό επίπεδο. Έχοντας αυτά τα δεδομένα, ο μηχανισμός υπολογίζει το βάρος του κάθε γειτονικού κόμβου και επιλέγει αυτόν με το μικρότερο.

7.3 Μηχανισμός προώθησης και ανάθεσης βάρους διαδρομής

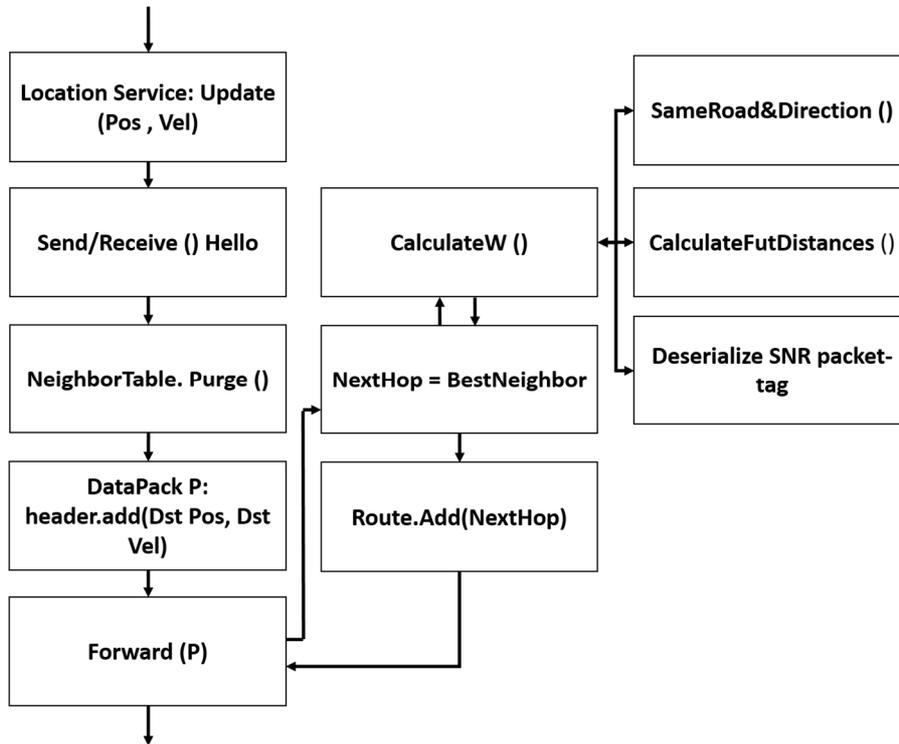
Ο προτεινόμενος μηχανισμός ενίσχυσης του GPSR υλοποιήθηκε στον εξομοιωτή NS-3 και ακολουθεί την υλοποίηση του [34]. Τα σημαντικότερα τμήματα που αλληλοεπιδρούν με τον μηχανισμό είναι:

- Location Service: Η υπηρεσία που παρέχει στον κάθε κόμβο την τρέχουσα θέση και διανυσματική ταχύτητα. Μέσω του Location Service μπορεί να ανακτηθεί και η θέση και ταχύτητα του κόμβου προορισμού.
- SendHello (): Συνάρτηση για την αποστολή των μηνυμάτων ανακάλυψης γειτόνων. Εδώ επισυνάπτεται η θέση και ταχύτητα του κόμβου μέσω της `p->Hdr.add(MyPos, MyVel)`.
- Purge (): Συνάρτηση για την ανανέωση του πίνακα δρομολόγησης και διαγραφή των γειτόνων με ληγμένο χρόνο ζωής.
- Forward (): Συνάρτηση για την προώθηση πακέτων στον επόμενο βέλτιστο γείτονα. Εδώ καλείται η συνάρτηση υπολογισμού και ανάθεσης κόστους διαδρομής και επιλογής επόμενου βέλτιστου κόμβου.
- CalculateW (): Συνάρτηση για τον υπολογισμό του βάρους. Από εδώ καλούνται οι `SameRoadandDirection ()`, `CalculateFutDistance()` και ανάγνωση του SNR.
- SameRoadandDirection (): Υπολογισμός κατεύθυνσης κίνησης και καθορισμός για το αν 2 οχήματα κινούνται στον ίδιο δρόμο και ομόρροπα ή όχι – εικόνα 30.
- CalculateFutDistance(): Υπολογισμός για τις μελλοντικές αποστάσεις μεταξύ 2 κόμβων.
- BestNeighbor (): Επιστρέφει τον βέλτιστο γείτονα για την προώθηση
- Route.Add (): Προσθήκη επόμενου κόμβου στη διαδρομή



Εικόνα 30: Δυο οχήματα κινούνται παράλληλα και η απόσταση των ευθειών που διαγράφουν είναι μικρότερη του πλάτους του δρόμου. Η SameRoadandDirection() θα επιστρέψει true.

Η ροή που ακολουθεί ο μηχανισμός παρουσιάζεται παρακάτω:



Εικόνα 31: Ροή εκτέλεσης του μηχανισμού προώθησης και ανάιθεσης βάρους

Αρχικά κάθε κόμβος ανανεώνει μέσω της LocationService τη θέση και την ταχύτητα του και ξεκινά την αποστολή GPSR_Hello μηνυμάτων έχοντας επισυνάψει τη θέση και την ταχύτητα του. Μόλις ο κόμβος που θέλει να προωθήσει κάποιο πακέτο έχει δεχτεί τα GPSR_Hello μηνύματα από τους γείτονες του, ενημερώνει τον πίνακα γειτόνων του και διαγράφει από αυτόν τους κόμβους με χρόνο ζωής που έχει παρέλθει. Στη συνέχεια προσθέτει στη κεφαλή του πακέτου που θέλει να προωθήσει τη θέση και την ταχύτητα του κόμβου προορισμού και αρχίζει την προώθηση μέσω της forward (). Στο σημείο αυτό, ακολουθεί ο υπολογισμός του

βάρους για τον κάθε γείτονα και επιλέγεται ο επόμενος βέλτιστος γείτονας ο οποίος προστίθεται στη διαδρομή.

Ο υπολογισμός των μελλοντικών θέσεων πραγματοποιείται ως εξής:

$$\begin{aligned} \text{FutPos.x} &= \text{Pos.x} + \text{Vel.x} * \text{dt}(\text{speed}); \\ \text{FutPos.y} &= \text{Pos.y} + \text{Vel.y} * \text{dt}(\text{speed}); \end{aligned}$$

Η $\text{dt}()$ είναι μια συνάρτηση αντιστοίχισης και επιστρέφει μια χρονική στιγμή από 1 έως 4 sec ανάλογα με την παράμετρο speed . Όσο αυξάνεται η παράμετρος speed τόσο η επιστρεφόμενη χρονική στιγμή ελαττώνεται.

7.4 Ο αλγόριθμος

Ο αλγόριθμος που μηχανισμού που ενσωματώνεται στο πρωτόκολλο δρομολόγησης φαίνεται παρακάτω:

```

Procedure forward(packet)
  myPos = locationService->GetPos(indx);
  myVel = locationService->GetVel(indx);
  dst = packet->GetDst();
  dstPos = packet->GetDstPos();
  dstVel = packet->GetDstVel();
  if ( neighborTable.isNeighbor (dst) )
    nextHop = dst;
  else
    nextHop= neighborTable.BestNeighbor(myPos, myVel, dstPos, dstVel)
  if (nextHop.addr->isValid())
    route->SetGateway(nextHop);
    return;
  else
    RecoveryMode(route);
    return;
Endprocedure

```

```

Procedure BestNeighbor(myPos, myVel, dstPos, dstVel)
  initialW = calculateW (myPos, myVel, -, -, dstPos, dstVel, snr);
  W = calculateW (myPos, myVel, neighborTable.begin()->Pos, neighborTable.begin()->Vel, dstPos, dstVel, neighborTable.begin()->Snr);
  for (i = neighborTable.begin(); i != neighborTable.end(); i++)
    if (W > calculateW (myPos, myVel, i->pos, i->vel, dstPos, dstVel, i->Snr))
      W = calculateW(myPos, myVel, i->pos, i->vel, dstPos, dstVel, i->Snr);
      nextHop.addr = i->addr;
  if (initialW > W)
    return nextHop;

```

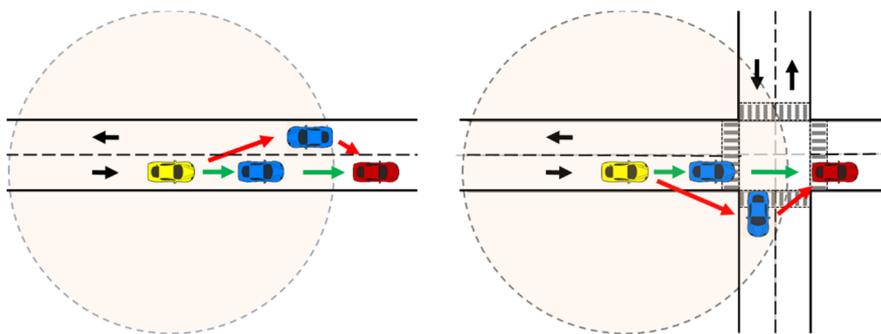
```

else
    return IpV4Address::GetZero();
Endprocedure
    
```

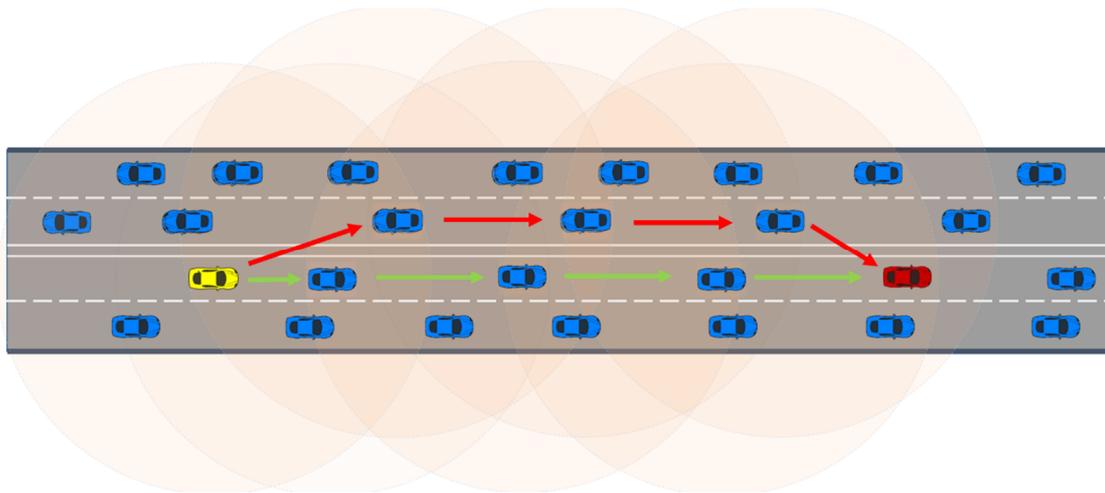
```

Procedure calculateW(srcPos, srcVel, indxPos, indxVel, dstPos, dstVel, snr)
    w1 = 0.25, w2 = 0.15, w3 = 0.25, w4 = 0.15, w5 = 1;
    srcFuturePos = getFuturePos (srcPos, srcVel);
    indxFuturePos = getFuturePos (indxPos, indxVel);
    dstFuturePos = getFuturePos (dstPos, dstVel);
    indx_srcFutureDist = getDistance (indxFuturePos, srcFuturePos);
    indx_dstCurDist = getDistance (indxPos, dstPos);
    indx_dstFutureDist = getDistance (indxFuturePos, dstFuturePos);
    if (inSameRoadAndDirection(indxPos, IndxVel, dstPos, dstVel))
        w2 = 0;
    if (inSameRoadAndDirection(indxPos, IndxVel, srcPos, srcVel))
        w4 = 0;
    w = (w1+w2)*indx_dstCurDist +(w3+w4)* indx_dstFutDist +w5*(indx_dstFutDist /snr);
    return w;
Endprocedure
    
```

Δυο βασικές περιπτώσεις όπου ο προτεινόμενος μηχανισμός ενίσχυσης του GPSR βελτιώνει σημαντικά την απόδοση φαίνονται στην εικόνα 32. Στη περίπτωση του αυτοκινητόδρομου στα αριστερά, ο μηχανισμός επιλέγει την πράσινη διαδρομή και αποφεύγει την αλλαγή διαδρομής που θα συμβεί στο άμεσο μέλλον εάν επιλεγεί η κόκκινη διαδρομή. Στη δεξιά περίπτωση και πάλι το GPSR θα βρεθεί σε κατάσταση ανάκαμψης, κάτι που αποφεύγει το τροποποιημένο GPSR λόγω της πρόβλεψης. Η βελτίωση γίνεται πιο έντονη όσο ο αριθμός και οι ταχύτητες κίνησης των ενδιαμέσων κόμβων αυξάνονται. Μια τέτοια περίπτωση φαίνεται στην εικόνα 33 όπου το GPSR θα μεταβαίνει αλυσιδωτά σε κατάσταση ανάκαμψης για κάθε αντίρροπα κινούμενο όχημα που προσπερνά ο αποστολέας.



Εικόνα 32: Δρομολόγηση σε αυτοκινητόδρομο (αριστερά) και σε διασταύρωση (δεξιά). Τα κόκκινα βέλη αντιστοιχούν στις διαδρομές που επιλέγει το GPSR και οι πράσινες σε αυτές που επιλέγει ο προτεινόμενος μηχανισμός.



Εικόνα 33: Περίπτωση όπου το GPSR μεταβαίνει σε επαναδρομολόγηση για κάθε όχημα στη κόκκινη διαδρομή. Με κόκκινο απεικονίζεται η GPSR διαδρομή και με πράσινο η GPSR-Modified διαδρομή

Κεφάλαιο 8

Διεξαγωγή πειραμάτων και συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία διεξαγωγής πειραμάτων στους εξομοιωτές δικτύων NS-2 και NS-3 για τα δίκτυα MANETs και VANETs. Στο πρώτο σκέλος τα πειράματα αφορούν την αξιολόγηση των πρωτόκολλων δρομολόγησης όταν μεταδίδονται πολυμεσικά δεδομένα στα MANET. Συγκεκριμένα μελετάται η επίδοση των πρωτόκολλων δρομολόγησης σε ανταγωνιστικές συνθήκες δικτύου με την ύπαρξη ενός μόνο ασύρματου καναλιού και αξιολογείται η συμπεριφορά τους στη λύση της εισαγωγής περισσότερων καναλιών ακολουθώντας το σχήμα MIMC. Στη συνέχεια τα πειράματα του πρώτου σκέλους αφορούν την αξιολόγηση του προτεινόμενου μηχανισμού εναλλαγής διεπαφών-καναλιών σε MANETs που υποστηρίζουν την αρχιτεκτονική MIMC. Το δεύτερο σκέλος περιλαμβάνει πειράματα για την μελέτη της συμπεριφοράς των κλασικών MANET πρωτόκολλων δρομολόγησης σε δίκτυα VANETs σε εξομοιωμένα περιβάλλοντα πόλης και αυτοκινητόδρομων.

8.1 Εξομοίωση μετάδοσης πολυμεσικών δεδομένων και αξιολόγηση απόδοσης της rate adaptive μετάδοσης βίντεο με TFRC

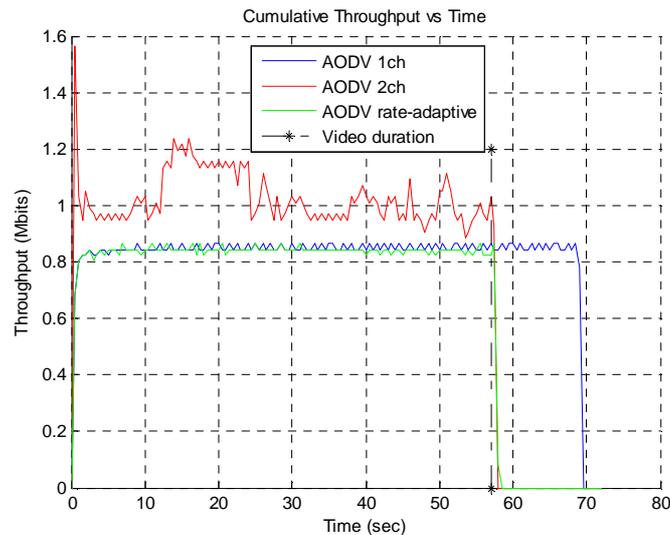
Στο σημείο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από πειράματα εξομοίωσης πολυμεσικών εφαρμογών πραγματικού χρόνου σε MANETs και αξιολογείται η επίδραση της προσαρμοστικής μετάδοσης βίντεο με TFRC. Τα πειράματα διεξάγονται στον NS-2 χρησιμοποιώντας το module Evalvid-RA για την υποστήριξη αποστολής βίντεο.

8.1.1 Περιγραφή Τοπολογίας

Η τοπολογία αποτελείται από 15 κόμβους σε μια έκταση 1000m x 1000m. Οι κόμβοι είναι ομοιόμορφα τοποθετημένοι στο χώρο και πραγματοποιούνται 3 ταυτόχρονες μεταδόσεις βίντεο. Ο σκοπός του πειράματος είναι να προκληθεί έντονος ανταγωνισμός κατά την μετάδοση και να φανεί πώς η προσαρμοστική μετάδοση επιδρά στη διαδικασία streaming. Οι κόμβοι κινούνται με πολύ μικρές ταχύτητες και δεν προκαλούνται διακοπές διαδρομών. Το διαθέσιμο bandwidth είναι 1 Mbps και τα απεσταλμένα βίντεο είναι τύπου Qcif (176 x 144). Το TFRC δοκιμάζεται στο AODV πρωτόκολλο δρομολόγησης και συγκρίνεται με τη περίπτωση χρήσης 2 καναλιών.

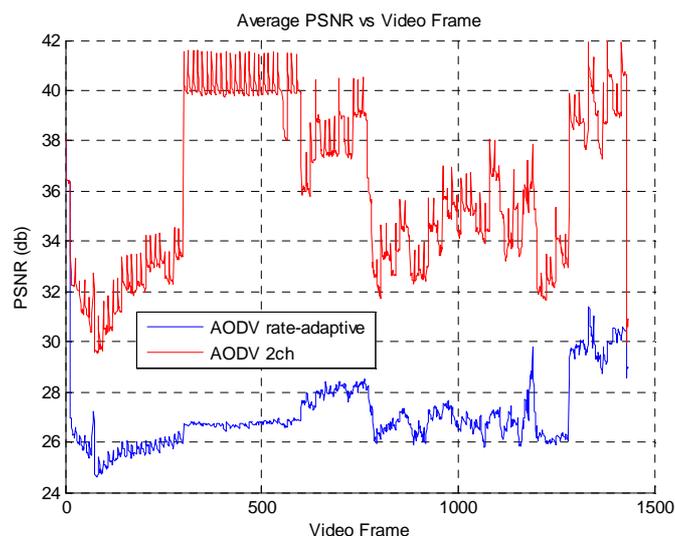
8.1.2 Αποτελέσματα και αξιολόγηση του TFRC

Στην εικόνα 34 παρουσιάζεται η συνολική ρυθμαπόδοση των 3 μεταδόσεων ανά δευτερόλεπτο για κάθε περίπτωση. Η κάθετη μαύρη διακεκομμένη γραμμή αναδεικνύει τη χρονική στιγμή που πρέπει να ολοκληρωθεί η διαδικασία streaming. Οποιοδήποτε πακέτο καταφτάνει δεξιάτερα από αυτή την κάθετο παρουσιάζει αντιληπτή καθυστέρηση στο τελικό χρήστη. Από τα αποτελέσματα φαίνεται πως η απλή μετάδοση χωρίς το TFRC ή χωρίς τη χρήση δεύτερου καναλιού παρουσιάζει καθυστέρηση πάνω από 10 sec για το τελευταίο πακέτο. Το TFRC φαίνεται πως με την ίδια ακριβώς ρυθμαπόδοση ολοκληρώνει επιτυχώς τη μετάδοση με πολύ μικρή καθυστέρηση. Παρόλα αυτά η χρήση δεύτερου καναλιού πετυχαίνει την υψηλότερη ρυθμαπόδοση και ολοκληρώνει την μετάδοση με τη χαμηλότερη καθυστέρηση.



Εικόνα 34: Συνολική ρυθμαπόδοση ανά δευτερόλεπτο

Στην εικόνα 35 παρουσιάζεται το μέσο PSNR ανά καρέ για κάθε περίπτωση. Η χρήση δεύτερου καναλιού επιτυγχάνει αρκετά υψηλότερο PSNR από το TFRC για όλα τα καρέ των μεταδιδόμενων βίντεο.



Εικόνα 35: Μέσο PSNR ανά καρέ βίντεο

Στην εικόνα 36 φαίνεται το ίδιο καρέ για τρεις διαφορετικές τιμές του PSNR.



Εικόνα 36: Καρέ του ίδιου βίντεο για 3 διαφορετικές τιμές του PSNR

Συνοψίζοντας η χρήση του TFRC επιφέρει σημαντική μείωση της καθυστέρησης σε πολυμεσικά δεδομένα αλλά εις βάρος της ποιότητας. Η υποβάθμιση της ποιότητας γίνεται αντιληπτή παρατηρώντας τις εικόνες 35 και 36. Η χρήση δεύτερου καναλιού επιτυγχάνει καλύτερα αποτελέσματα τόσο στη ποιότητα όσο και στην από άκρο σε άκρο καθυστέρηση. Παρόλα αυτά, η χρήση προσαρμοστικής μετάδοσης είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιπτώσεις που υπάρχει μόνο ένα διαθέσιμο κανάλι ή δεν απαιτείται υψηλή ποιότητα βίντεο στον τελικό χρήστη.

8.2 Εξομίωση μετάδοσης πολυμεσικών δεδομένων και αξιολόγηση απόδοσης των πρωτόκολλων δρομολόγησης σε MANETs

Στο σημείο αυτό παρουσιάζονται τα πειράματα εξομίωσης πολυμεσικών εφαρμογών πραγματικού χρόνου σε MANETs και εξάγονται αποτελέσματα για την μέτρηση της επίδοσης

των πρωτόκολλων δρομολόγησης AODV, AOMDV και DSDV. Τα πειράματα διεξάγονται στον NS-2 χρησιμοποιώντας το module Evalvid-RA για την υποστήριξη αποστολής βίντεο και πραγματοποιώντας αρκετές αλλαγές και επεκτάσεις στον κώδικα του NS-2 ώστε να υποστηρίζουν οι κόμβοι την αρχιτεκτονική MIMC. Η πειραματική διαδικασία ακολουθεί κάποια συγκεκριμένα βήματα που περιγράφονται στη συνέχεια.

Αρχικά καθορίζεται ο δυσδιάστατος χώρος της τοπολογίας στον οποίο θα κινούνται οι κόμβοι του MANET και στη συνέχεια ο αριθμός των κόμβων και το μοντέλο κίνησης. Η τοπολογία του πειράματος, ο αριθμός των ασύρματων κόμβων καθώς και η κίνηση τους μπορεί να παραχθεί μέσω του εργαλείου BonnMotion ή απευθείας μέσω του OTcl πειράματος στον NS-2. Στα πειράματα αυτής της εργασίας χρησιμοποιήθηκε κυρίως το BonnMotion. Στη συνέχεια ακολουθεί η παραμετροποίηση του δικτύου που περιλαμβάνει την επιλογή του επιθυμητού πρωτόκολλου για το κάθε επίπεδο (εφαρμογής, δρομολόγησης κ.α) και τον ορισμό διαθέσιμων πόρων δικτύου όπως η μέγιστη ρυθμαπόδοση, η καθυστέρηση του καναλιού κ.α. Το επόμενο βήμα είναι η εκτέλεση των πειραμάτων για έναν ικανοποιητικό αριθμό επαναλήψεων και η καταγραφή των αποτελεσμάτων που παράγει ο NS-2. Το τελευταίο βήμα είναι η ανάλυση των μετρήσεων και η εξαγωγή συμπερασμάτων.

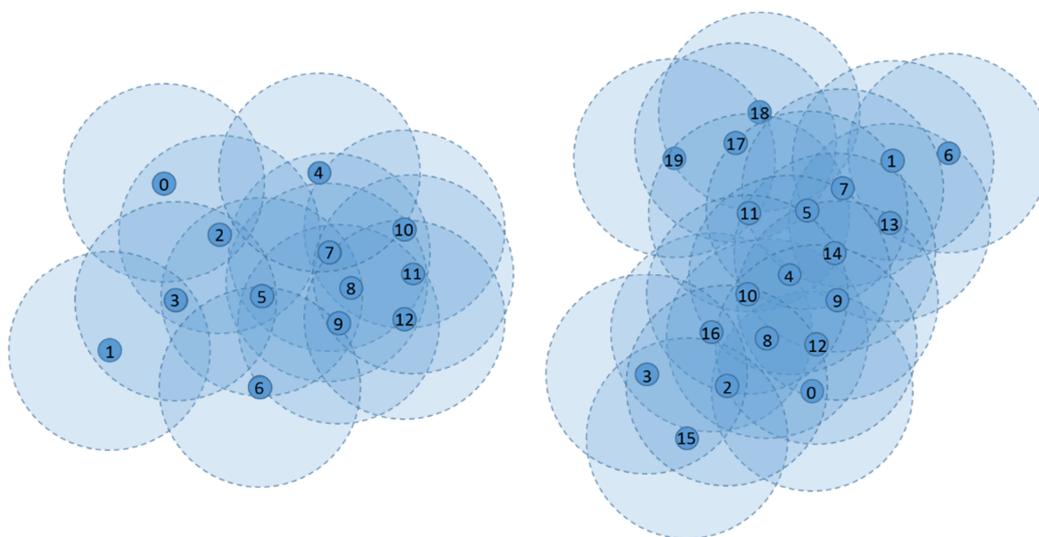
8.2.1 Περιγραφή τοπολογιών

Για την αξιολόγηση της απόδοσης των πρωτόκολλων δρομολόγησης όταν μεταδίδονται πολυμεσικά δεδομένα πραγματικού χρόνου σε MANETs πραγματοποιήθηκε ένα μεγάλο σύνολο πειραμάτων για διάφορες τοπολογίες. Για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων επιλέχθηκαν οι δύο πιο αντιπροσωπευτικές τοπολογίες οι οποίες φαίνονται στην εικόνα 37.

Η πρώτη τοπολογία αποτελείται από 13 κόμβους οι οποίοι τοποθετούνται τυχαία στο χώρο αλλά αποτελούν μια ομάδα. Υπάρχουν τέσσερις αποστολείς: οι κόμβοι 0, 1, 4, 6 και τρεις παραλήπτες: οι κόμβοι 10, 11 και 12. Στο δίκτυο σχηματίζονται δύο μονοπάτια των τεσσάρων hop, ένα μονοπάτι των τριών hop και ένα μονοπάτι των δύο hop. Στα μονοπάτια αυτά υπάρχει έντονη επικάλυψη και ενδεχόμενος έντονος ανταγωνισμός πακέτων βίντεο. Κατά τη διάρκεια της εξομοίωσης όλοι οι κόμβοι κινούνται συνεχώς προκαλώντας συχνές αλλαγές στους πίνακες δρομολόγησης. Παρόλα αυτά, η κίνηση των κόμβων δεν είναι έντονη και δεν προκαλούνται αποσυνδέσεις αποστολέων ή παραληπτών από την ομάδα καθώς αυτό θα είχε πολύ δυσάρεστες συνέπειες στην καθυστέρηση της μετάδοσης και δεν θα επέτρεπε την σύγκριση των αποτελεσμάτων. Τα μεταδιδόμενα βίντεο περιέχουν σκηνές με έντονη κίνηση ώστε να αντιπροσωπεύουν συνηθισμένα βίντεο πραγματικών συνθηκών. Το βίντεο τύπου CIF αποτελείται από 2000 πλαίσια με πλάτος και ύψος 352x288 και αναπαράγεται στα 25 fps. Η συνολική διάρκεια ζωντανής μετάδοσης χωρίς καθυστερήσεις είναι 80 sec. Το δίκτυο λειτουργεί στα 16 Mbps και το ρυθμός VBR έχει οριστεί στο 1 Mbps.

Η δεύτερη τοπολογία αποτελείται από 20 κόμβους και ακολουθεί το μοντέλο κίνησης Group Random Waypoint. Σε αντίθεση με την πρώτη τοπολογία, η κίνηση είναι πολύ πιο έντονη και προκαλεί σύντομες αποσυνδέσεις των αποστολέων και παραληπτών. Η μέση ταχύτητα κίνησης των κόμβων είναι 20 km/h σε μια έκταση χώρου 700x700 m. Οι κόμβοι, όπως και στην προηγούμενη τοπολογία, ανήκουν σε μια ομάδα και ανταγωνίζονται τα διαθέσιμα επικαλυπτόμενα μονοπάτια. Ο μέσος όρος ρυθμός VBR είναι ορισμένος στα 0.8 Mbps και το

δίκτυο λειτουργεί στα 16 Mbrs. Οι υπόλοιπες παράμετροι είναι ίδιοι με αυτής της πρώτης τοπολογίας.

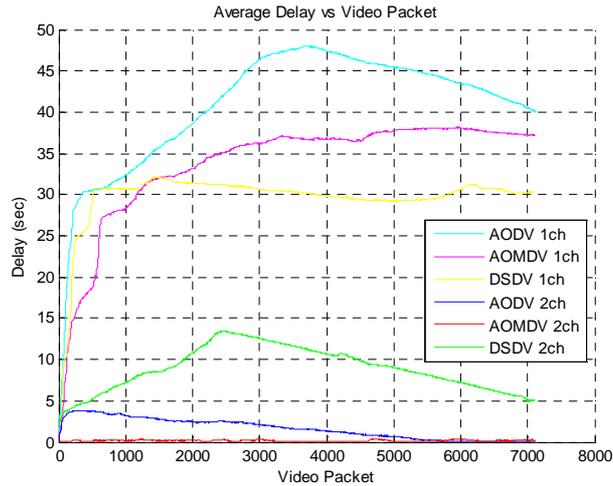


Εικόνα 37: Αριστερά η πρώτη τοπολογία και δεξιά η δεύτερη τοπολογία του εξεταζόμενου MANET

8.2.2 Αξιολόγηση ως προς μετρικές δικτύου

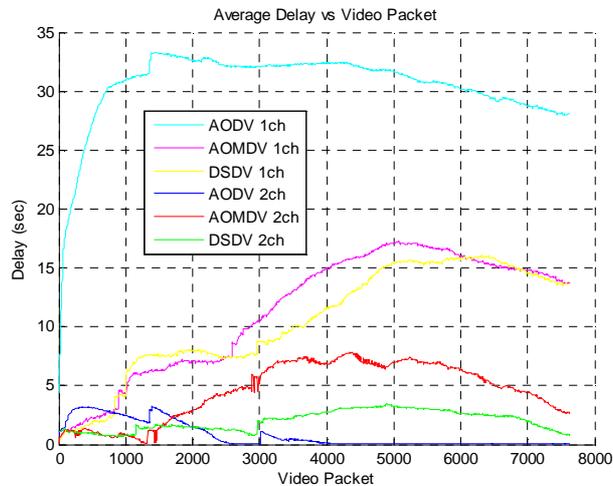
Στο υποκεφάλαιο αυτό εξετάζεται η συμπεριφορά και οι επιδόσεις των πρωτόκολλων δρομολόγησης ως προς τις μετρικές δικτύου και συγκεκριμένα τη μέση καθυστέρηση και το ρυθμό μετάδοσης. Στις εικόνες 38 και 39 παρουσιάζεται για τις δύο τοπολογίες η μέση καθυστέρηση των μεταδόσεων βίντεο για κάθε πρωτόκολλο δρομολόγησης με τη υποστήριξη ενός (απλή δομή κόμβου) ή δύο (MIMC δομή κόμβου) καναλιών.

Από την εικόνα 38 παρατηρούμε πως η χρήση της επέκτασης MIMC με δύο κανάλια προσφέρει σημαντική μείωση της καθυστέρησης μετάδοσης και για τα τρία πρωτόκολλα δρομολόγησης. Μειώσεις καθυστέρησης μετάδοσης είναι ιδιαίτερα σημαντικές στα πολυμεσικά δεδομένα καθώς επηρεάζουν άμεσα την εμπειρία του τελικού χρήστη. Και στις τοπολογίες φαίνεται πως η χρήση ενός μόνο καναλιού δεν μπορεί να υποστηρίξει μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων πραγματικού χρόνου καθώς οι καθυστερήσεις είναι απαγορευτικές. Είναι αξιοσημείωτο πως το AODV επιδέχεται τις περισσότερες βελτιώσεις με το AOMDV και το DSDV να ακολουθούν. Το DSDV, ενώ με τη χρήση ενός καναλιού παρουσιάζει τη χαμηλότερη καθυστέρηση, με την εισαγωγή της επέκτασης MIMC με δύο κανάλια παρουσιάζει τη υψηλότερη καθυστέρηση. Επομένως, αξιολογώντας ως προς την καθυστέρηση, το DSDV είναι το λιγότερο αποδοτικό για τη χρήση με τον MIMC σχεδιασμό.



Εικόνα 38: Μέση καθυστέρηση πακέτων για την τοπολογία 1

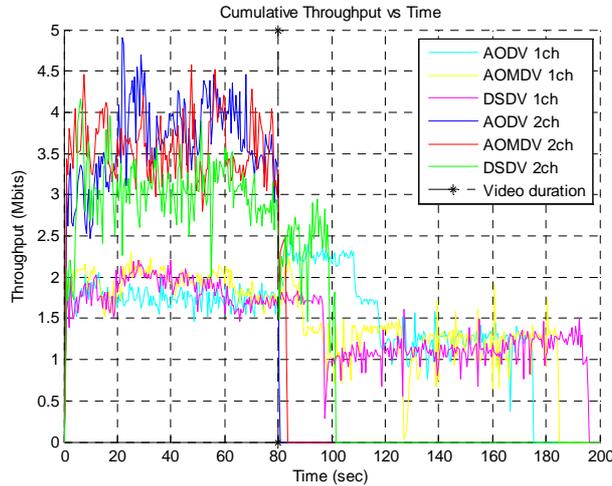
Τα ίδια σχεδόν συμπεράσματα εξαγονται και για τη δεύτερη τοπολογία. Το AODV παρουσιάζει τη μεγαλύτερη βελτίωση αφού με τη χρήση ενός καναλιού έχει τη μεγαλύτερη καθυστέρηση μετάδοσης ενώ με τη χρήση MIMC δύο καναλιών έχει τη μικρότερη. Το DSDV ανταγωνίζεται το AOMDV και παρουσιάζει χαμηλότερη καθυστέρηση με τη χρήση ενός και δύο καναλιών.



Εικόνα 39: Μέση καθυστέρηση πακέτων για την τοπολογία 2

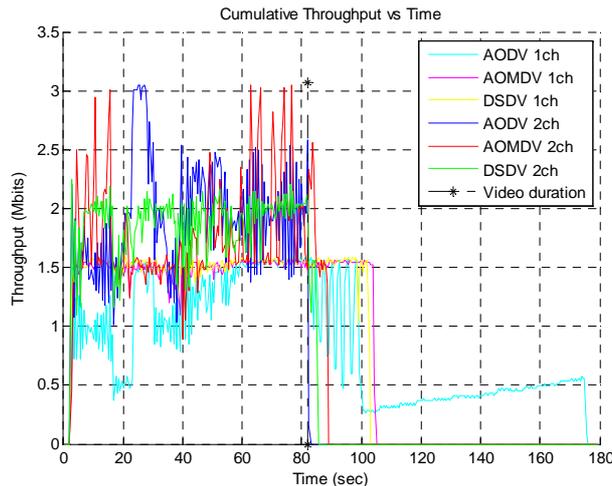
Στις εικόνες 40 και 41 παρουσιάζεται ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης των μεταδιδόμενων ροών βίντεο για το κάθε πρωτόκολλο δρομολόγησης με την ύπαρξη ενός και δύο καναλιών. Η κάθετη μαύρη γραμμή σηματοδοτεί το τέλος της κανονικής διάρκειας μετάδοσης χωρίς καθυστερήσεις και οτιδήποτε δεξιότερα της αποτελεί δεδομένο που λήφθηκε με καθυστέρηση. Επιβεβαιώνεται και πάλι πως η χρήση μόνο ενός καναλιού δεν μπορεί να υποστηρίξει τη μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων για αυτά τα σενάρια. Η εισαγωγή του MIMC και πάλι έχει μεγάλη θετική επίδραση και για τα τρία πρωτόκολλα δρομολόγησης παρατηρώντας πως η ρυθμαπόδοση μπορεί σχεδόν να διπλασιαστεί σε σχέση με τη περίπτωση χρήσης ενός μόνο καναλιού.

Από την εικόνα 40 φαίνεται πως το DSDV με τη χρήση MIMC αποδίδει τη λιγότερη ρυθμαπόδοση και προκαλεί την καθυστέρηση της μετάδοσης πέρα από την κανονική διάρκεια. Συγκεκριμένα η μετάδοση ενός βίντεο διάρκειας 80 sec θα ολοκληρωνόταν σε 100 sec στη περίπτωση του DSDV. Όσον αφορά το AODV και το AOMDV με τη χρήση του MIMC, οι επιδόσεις ρυθμαπόδοσης τους είναι αρκετά όμοιες με το AODV να είναι ελάχιστα αποδοτικότερο καθώς ολοκληρώνει την μετάδοση εγκαίρως συγκριτικά με το AOMDV που ολοκληρώνει τη μετάδοση με μικρή καθυστέρηση.



Εικόνα 40: Συνολική ρυθμαπόδοση για κάθε ροή βίντεο για την τοπολογία 1

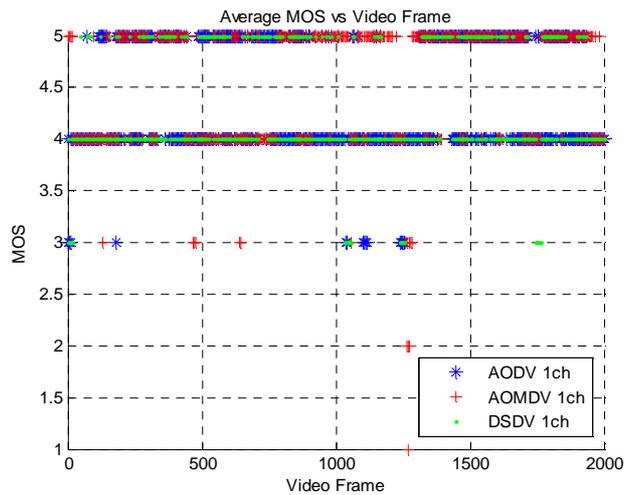
Στην εικόνα 41, αντίστοιχα με πριν, το AODV πετυχαίνει την υψηλότερη ρυθμαπόδοση και βελτίωση με την εισαγωγή του MIMC. Στη συνέχεια ακολουθεί το DSDV και το AOMDV με το DSDV να είναι σταθεροποιημένο σε υψηλότερες τιμές ρυθμαπόδοσης και να ολοκληρώνει την μετάδοση με μικρότερη καθυστέρηση από το AOMDV.



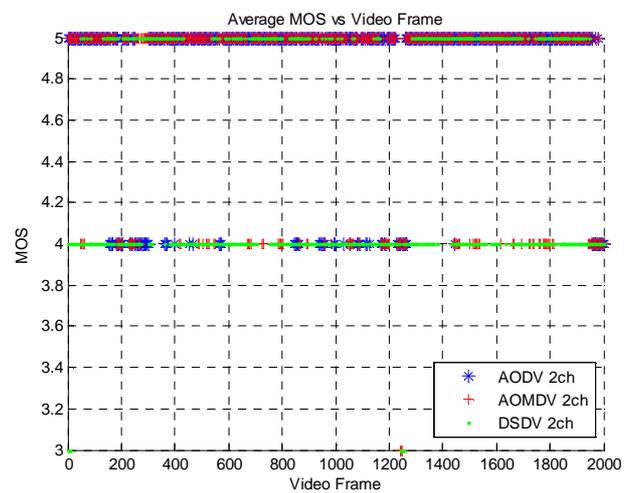
Εικόνα 41: Συνολική ρυθμαπόδοση για κάθε ροή βίντεο για την τοπολογία 2

8.2.3 Αξιολόγηση ως προς μετρικές εμπειρίας τελικού χρήστη

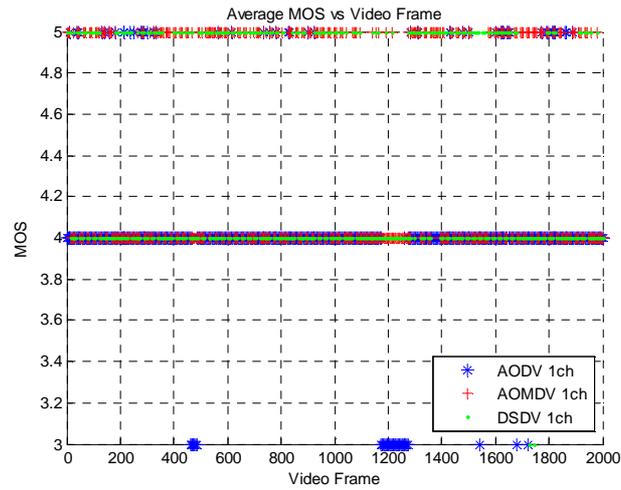
Στο υποκεφάλαιο αυτό εξετάζεται η συμπεριφορά και οι επιδόσεις των πρωτόκολλων δρομολόγησης ως προς τις μετρικές εμπειρίας του τελικού χρήστη και συγκεκριμένα το MOS και το PSNR. Στις εικόνες 42 και 43 παρουσιάζεται το μέσο MOS των μεταδιδόμενων βίντεο για το κάθε εξεταζόμενο πρωτόκολλο δρομολόγησης για 1 και 2 κανάλια στη τοπολογία 1. Στις εικόνες 44 και 45 παρουσιάζεται το μέσο MOS των μεταδιδόμενων βίντεο για το κάθε εξεταζόμενο πρωτόκολλο δρομολόγησης για 1 και 2 κανάλια στη τοπολογία 2. Στις εικόνες 46, 47, 48 και 49, αντίστοιχα με πριν, παρουσιάζεται το μέσο PSNR των μεταδιδόμενων βίντεο για κάθε περίπτωση.



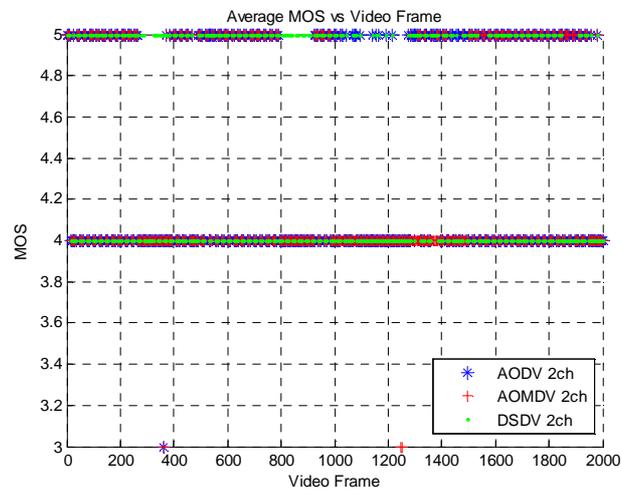
Εικόνα 42: Μέσο MOS χωρίς το σχήμα MIMC για την τοπολογία 1



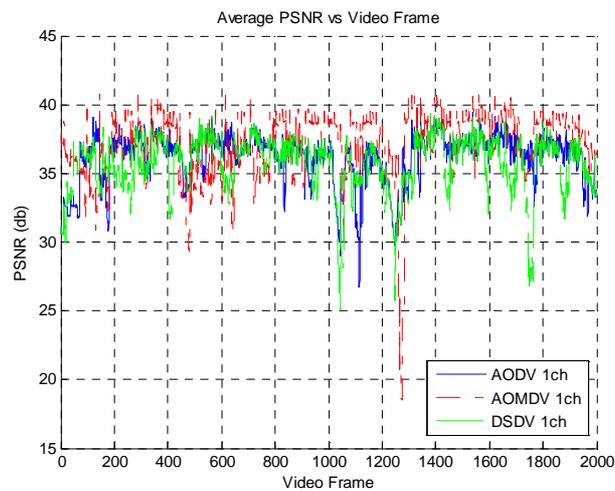
Εικόνα 43: Μέσο MOS με το σχήμα MIMC για την τοπολογία 1



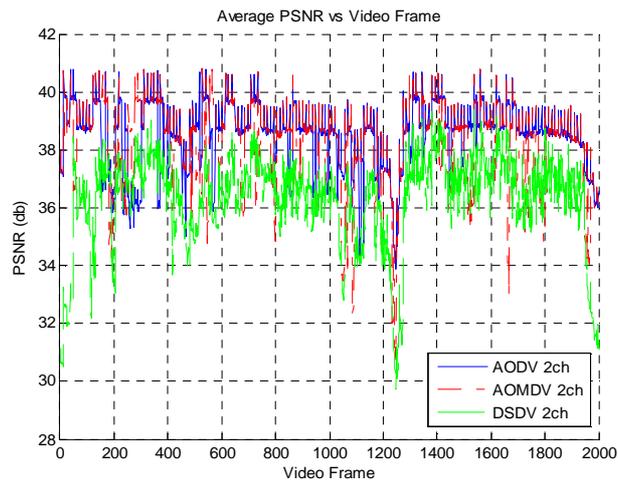
Εικόνα 44 : Μέσο MOS χωρίς το σχήμα MIMC για την τοπολογία 2



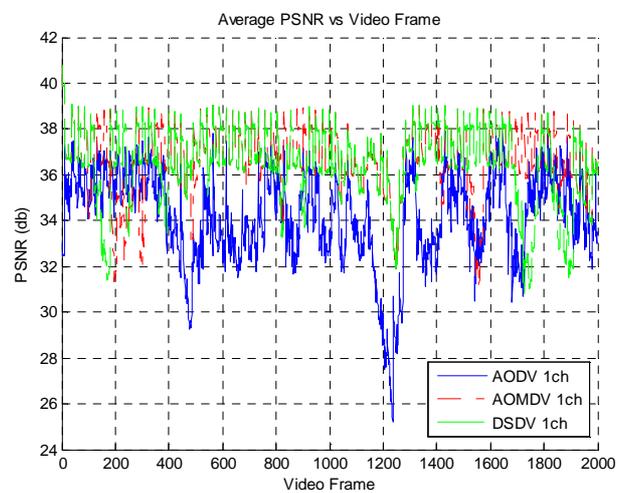
Εικόνα 45: Μέσο MOS με το σχήμα MIMC για την τοπολογία 2



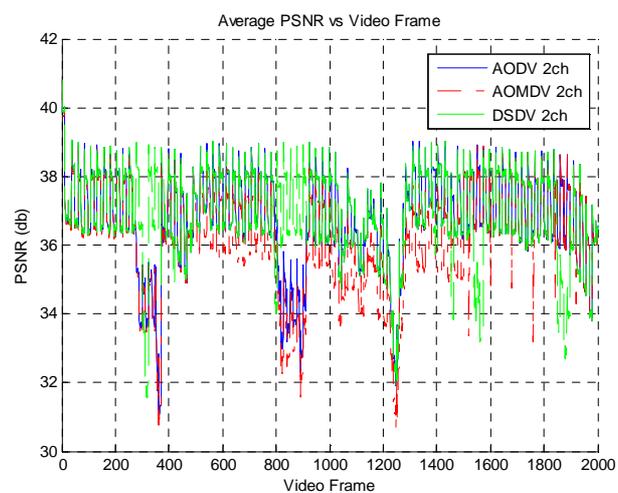
Εικόνα 46: Μέσο PSNR χωρίς το σχήμα MIMC για την τοπολογία 1



Εικόνα 47: Μέσο PSNR με το σχήμα MIMC για την τοπολογία 1



Εικόνα 48: Μέσο PSNR χωρίς το σχήμα MIMC για την τοπολογία 2



Εικόνα 49: Μέσο PSNR με το σχήμα MIMC για την τοπολογία 2

Αναλύοντας τις γραφικές παραστάσεις και για τις δύο τοπολογίες επιβεβαιώνεται πως η χρήση της επέκτασης MIMC αποφέρει σημαντική βελτίωση και στις ποιοτικές μετρικές του βίντεο για όλα τα πρωτόκολλα δρομολόγησης. Παρατηρώντας τα MOS και PSNR, προκύπτει πως όταν χρησιμοποιείται μόνο 1 κανάλι η λαμβανόμενη ποιότητα παρουσιάζει έντονες αστάθειες οι οποίες περιορίζονται σημαντικά με την χρήση του MIMC 2 καναλιών. Για ορισμένα μικρά σύνολα πλαισίων των μεταδιδόμενων βίντεο, η ποιότητα με 1 κανάλι είναι υψηλότερη από αυτή με 2 κανάλια, γεγονός που οφείλεται στη μεγάλη αστάθεια και ανταγωνισμό πόρων στη περίπτωση χρήσης ενός καναλιού.

Από την πρώτη τοπολογία, τα αποτελέσματα για τα MOS και PSNR αναδεικνύουν σημαντικές βελτιώσεις κυρίως στο AODV και AOMDV. Το DSDV παρουσιάζει μικρότερες βελτιώσεις και χαμηλότερο QoE συγκριτικά με τα υπόλοιπα δύο πρωτόκολλα δρομολόγησης. Η μέση ποιότητα βίντεο στη περίπτωση του AODV με MIMC παραμένει για μικρά σύνολα πλαισίων σε υψηλότερα επίπεδα από την περίπτωση του AOMDV με MIMC. Επομένως το AODV εκμεταλλεύεται αποδοτικότερα την χρήση του MIMC και παρουσιάζει τη καλύτερη συμπεριφορά για τη μετάδοση πολυμέσων.

Από την δεύτερη τοπολογία εξάγεται και πάλι το συμπέρασμα ότι το AODV παρουσιάζει τη μεγαλύτερη βελτίωση ποιότητας τελικού βίντεο. Παρόλα αυτά το DSDV διατηρεί την υψηλότερη ποιότητα βίντεο με 1 και 2 κανάλια.

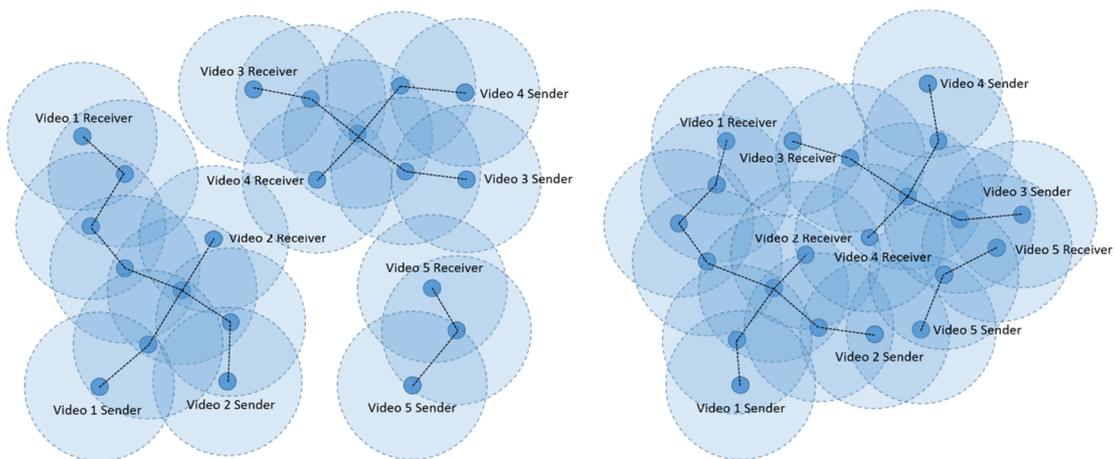
8.3 Πειράματα και αξιολόγηση του προτεινόμενου μηχανισμού επιλογής καναλιού με διαστρωματική ανατροφοδότηση

Ο προτεινόμενος μηχανισμός επιλογής καναλιού δοκιμάστηκε και αξιολογήθηκε για ένα μεγάλο εύρος τοπολογιών και αριθμό κόμβων σε περιβάλλον MANET. Η εκτέλεση των πειραμάτων, για τις περισσότερες περιπτώσεις, με χαμηλές ταχύτητες και μικρή πυκνότητα κόμβων έδειξε πως το πρωτόκολλο AODV με το MIMC και το AODV με τον προτεινόμενο μηχανισμό έχουν παραπλήσιες επιδόσεις, με το δεύτερο συνδυασμό να αποδίδει ελαφρώς καλύτερα τόσο στη ρυθμαπόδοση όσο και στην καθυστέρηση. Όμως, με αυξημένες ταχύτητες και πυκνότητα των κόμβων, τα αποτελέσματα αναδεικνύουν τον προτεινόμενο μηχανισμό με αισθητή και σημαντική βελτίωση στη ρυθμαπόδοση και την καθυστέρηση. Τα αποτελέσματα είναι ακόμα πιο αισθητά στη περίπτωση αποστολής πακέτων βίντεο και πρωτόκολλο επιπέδου μεταφοράς το TFRC.

Η δημιουργία των τοπολογιών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του γεννήτορα τυχαίων τοπολογιών BonnMotion. Για την παρουσίαση των επιδράσεων του μηχανισμού στις επιδόσεις του δικτύου MANET, επιλέχθηκε μια αντιπροσωπευτική τοπολογία με τις μεγαλύτερες απαιτήσεις χωρητικότητας καναλιού και αποφυγής παρεμβολής μεταξύ των καναλιών. Το επιλεγμένο σενάριο του παρουσιαζόμενου πειράματος έχει τις εξής παραμέτρους δικτύου:

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΤΙΜΗ (Μονάδα)
Έκταση 2d χώρου x * γ	1000x1000 m ²
Ασύρματοι κόμβοι	20
Χωρητικότητα Καναλιού	2 MB
Εμβέλεια ασύρματου Wi-Fi	250 m
Μέση ταχύτητα κίνησης κόμβων	20 km/h
Πρωτόκολλο επιπέδου μεταφοράς	TFRC
Πρωτόκολλο δρομολόγησης	AODV
MAC επίπεδο	IEEE 802.11
Αριθμός διαθέσιμων καναλιών ανά κόμβο	3
Αριθμός διαθέσιμων διεπαφών ανά κόμβο	3
Ρυθμός μετάδοσης	CBR
Αριθμός ροών βίντεο	5
Χρόνος εξομοίωσης	120 sec

Η επιλογή του παρουσιαζόμενου σεναρίου έγινε επίσης με τέτοιο τρόπο ώστε να απεικονίζει όσο το δυνατόν μια ρεαλιστική περίπτωση δικτύου MANET με αρκετά έντονη κίνηση, πυκνότητα κόμβων, παρεμβολής καναλιού και ανταγωνιστικότητα μεταξύ των πακέτων κατά τη μεταγωγή. Οι 5 ροές βίντεο αποστέλλονται αντίστοιχα τις χρονικές στιγμές , 10, 11, 12, 13, 14 sec και έχουν αυστηρό χρόνο ολοκλήρωσης τις χρονικές στιγμές 90, 91, 92, 93 και 94 sec. Οι κόμβοι αποστολής και απολαβής φαίνονται στην εικόνα 50.



Εικόνα 50: Αρχική(στα αριστερά) και τελική(στα δεξιά) θέση των κόμβων

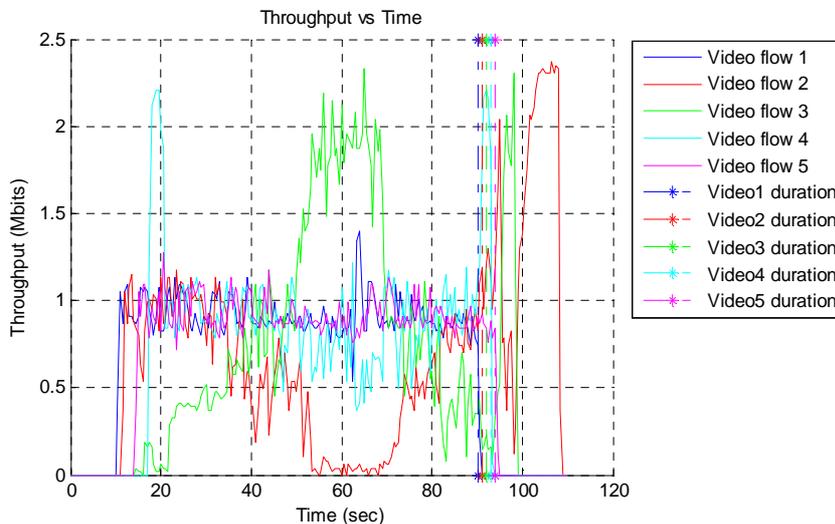
Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την παραπάνω τοπολογία και συγκρίνονται οι επιδόσεις στο δίκτυο με και χωρίς τον προτεινόμενο μηχανισμό.

Στην εικόνα 51 παρουσιάζεται η ρυθμαπόδοση για τα 5 βίντεο στη περίπτωση του AODV με MIMC. Στη περίπτωση αυτή, 3 από τις 5 ροές βίντεο καταφέρνουν να φτάσουν τον κόμβο προορισμού τους εγκαίρως. Οι υπόλοιπες 2 ροές βίντεο φτάνουν τον προορισμό τους με μια αρκετά μεγάλη καθυστέρηση που δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις του τελικού χρήστη. Οι ροές βίντεο 2 και 3 παρουσιάζουν αισθητή αστάθεια στη ρυθμαπόδοση εξαιτίας της παρεμβολής των κόμβων που αρχικά βρισκόντουσαν εκτός της περιοχής παρεμβολής αλλά στη συνέχεια κινήθηκαν εντός της περιοχής αυτής. Το πρωτόκολλο δρομολόγησης με MIMC αποτυγχάνει

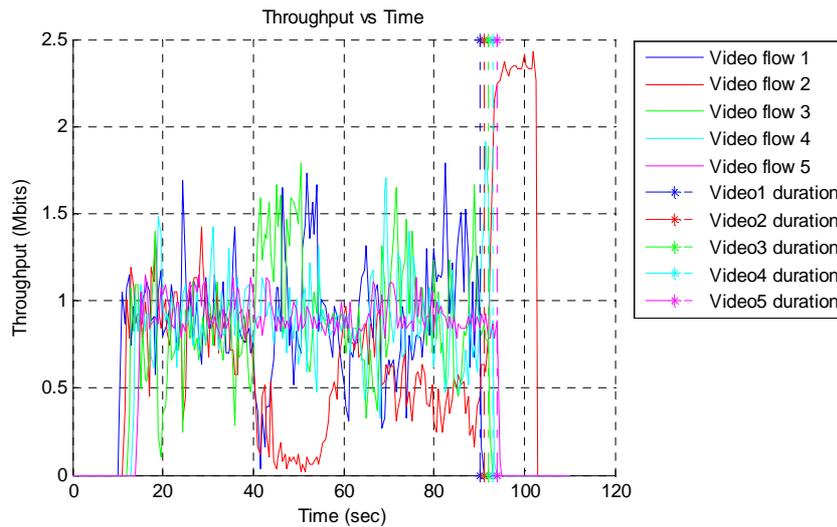
να εντοπίσει αυτή τη μεταβολή παρεμβολής και δεν προχωρά στη μετάβαση σε ένα καθαρό από παρεμβολές κανάλι.

Στην εικόνα 52 παρουσιάζεται η ρυθμαπόδοση για τα 5 βίντεο στη περίπτωση του AODV με τον προτεινόμενο μηχανισμό. Στη περίπτωση αυτή, είναι αισθητό πως η ρυθμαπόδοση των ροών βίντεο είναι περισσότερο σταθεροποιημένη και μόνο μια ροή βίντεο καταφθάνει με μη επιθυμητή καθυστέρηση, η οποία παρόλα αυτά έχει πλέον καθυστέρηση που τείνει στην ικανοποίηση των απαιτήσεων σε μια κατάσταση έκτακτης ανάγκης. Ο προτεινόμενος μηχανισμός καταγράφει τις μεταβολές παρεμβολών που προκαλούνται στη τρέχουσα ροή μετάδοσης από κόμβους που μεταδίδουν σε κανάλια που προκαλούν παρεμβολή και κινούνται προς το μέρος της τρέχουσας ροής μετάδοσης. Αφού ο μηχανισμός καταγράφει τις μεταβολές αυτές αποφασίζει εάν θα μεταβεί σε κάποιο άλλο καθαρό από παρεμβολές κανάλι καθώς και ποιο θα είναι το αυτό. Το εναλλακτικό κανάλι επιλέγεται με βάση το SNR στη ζητούμενη γειτονιά κόμβων και ως αποτέλεσμα συνεπάγεται η διατήρηση χαμηλών επιπέδων καθυστέρησης.

Ο προτεινόμενος σχεδιασμός βελτιώνει καθοριστικά την κατάσταση για τη ροή μετάδοσης του βίντεο 3, η οποία στην αρχή αντιμετώπιζε μεγάλη καθυστέρηση εκκίνησης και παραλαβής. Με τον προτεινόμενο σχεδιασμό, η ροή βίντεο 3 μεταδίδεται πιο ομαλά και τερματίζει εγκαίρως στην επιθυμητή χρονική στιγμή. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί η μεγάλη βελτίωση για τη ροή του βίντεο 2, η οποία εξακολουθεί όμως να παρουσιάζει έντονη καθυστέρηση ακόμα και με τον προτεινόμενο μηχανισμό. Παρόλα αυτά, η ροή βίντεο 2 πετυχαίνει μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση και εκμεταλλεύεται περισσότερη χωρητικότητα από το επιλεγμένο κανάλι με αποτέλεσμα τη σημαντικά μειωμένη συνολική καθυστέρηση.

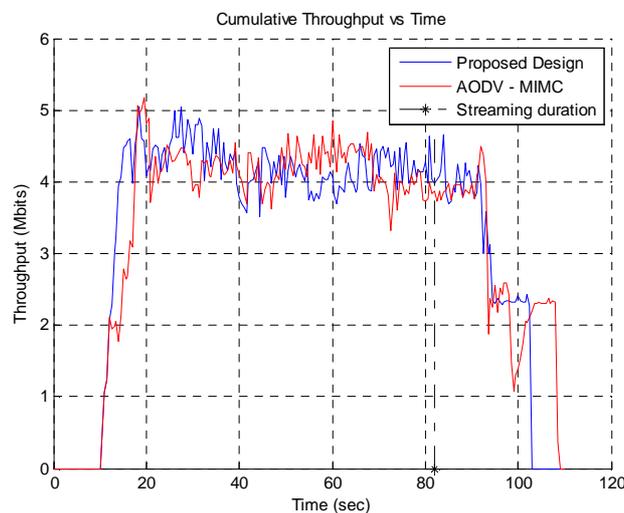


Εικόνα 51: Ρυθμαπόδοση των ροών βίντεο στη περίπτωση του AODV με MIMC



Εικόνα 52: Ρυθμαπόδοση των ροών βίντεο στη περίπτωση του AODV με τον προτεινόμενο μηχανισμό

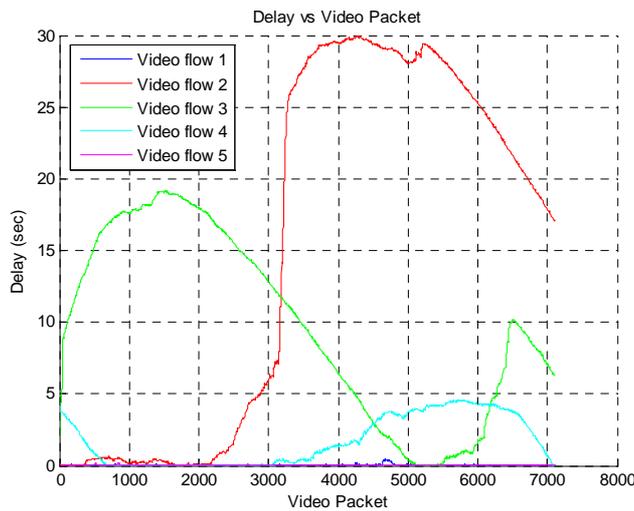
Στην εικόνα 53 παρουσιάζεται η συνολική ρυθμαπόδοση για τις 2 περιπτώσεις του AODV. Η συνολική ρυθμαπόδοση είναι σε υψηλότερα επίπεδα όταν επιλέγεται ο προτεινόμενος μηχανισμός για το μεγαλύτερο διάστημα της μετάδοσης και συνεπώς οι μεταδόσεις ολοκληρώνονται στις επιθυμητές χρονικές στιγμές με μόνο μια ροή βίντεο να ολοκληρώνεται καθυστερημένα. Αυτό συμβαίνει καθώς ο προτεινόμενος μηχανισμός κάνει σωστές επιλογές όταν επιλέγει τα κανάλια μετάδοσης και με τον τρόπο αυτό αποφεύγει πιθανές παρεμβολές (π.χ. λιγότερες συγκρούσεις πακέτων).



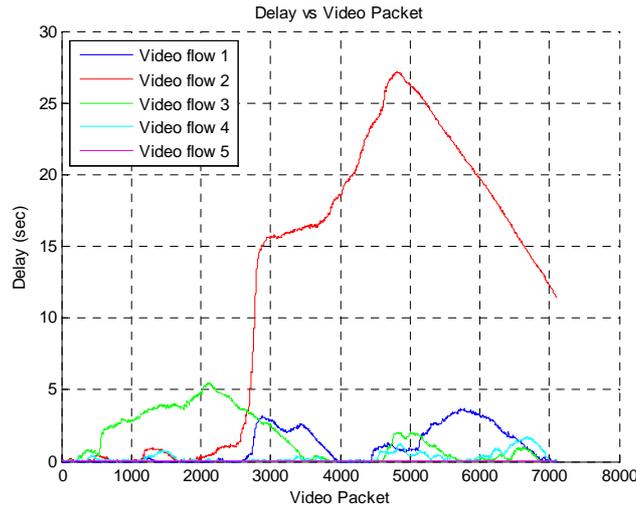
Εικόνα 53: Συνολική ρυθμαπόδοση με και χωρίς τον προτεινόμενο μηχανισμό

Στην εικόνα 54 παρουσιάζεται η καθυστέρηση ανά πακέτο για τα 5 βίντεο στη περίπτωση του AODV με MIMC. Στη περίπτωση αυτή είναι προφανής η έντονη καθυστέρηση για τις 2 από τις 5 ροές βίντεο καθώς και η καθυστέρηση για τα τελικά τους πακέτα. Αυτό σημαίνει πως τα 2 αυτά βίντεο δεν μπορούν να αναπαραχθούν χωρίς διακοπές.

Στην εικόνα 55 παρουσιάζεται η καθυστέρηση ανά πακέτο για τα 5 βίντεο στη περίπτωση του AODV με τον προτεινόμενο μηχανισμό. Εδώ η καθυστέρηση είναι σε πολύ καλύτερα επίπεδα και μόνο μια ροή βίντεο αντιμετωπίζει προβλήματα. Αυτό σημαίνει πως ο προτεινόμενος μηχανισμός βελτιώνει την μετάδοση των βίντεο. Μια σημαντική παρατήρηση στο σημείο αυτό, είναι πως η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο διατηρείται όσο το δυνατόν χαμηλότερα σε όλη τη διάρκεια της μετάδοσης. Ακόμα μια παρατήρηση είναι πως η προσπάθεια του μηχανισμού για διατήρηση χαμηλής καθυστέρησης για τα βίντεο 3 και 4 προκαλεί μια μικρή αλλά αποδεκτή αύξηση της καθυστέρησης για το βίντεο 1 σε μερικά σύντομα διαστήματα κατά τη μετάδοση. Είναι γεγονός πως και στις δυο περιπτώσεις του AODV, η ροή μετάδοσης του βίντεο 2 αντιμετωπίζει έντονη καθυστέρηση παρόλο που στη δεύτερη περίπτωση βελτιώνεται σημαντικά. Η ανάλυση των παρεμβολών στη διαδρομή μετάδοσης του βίντεο 2 δείχνει πως υπάρχουν περισσότερες από μια γειτονικές ασύρματες συνδέσεις που δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά με τη χρήση έως 3 καναλιών. Προκειμένου να λυθεί το πρόβλημα αυτό από τον προτεινόμενο μηχανισμό, φαίνεται πως απαιτούνται 4 κανάλια στο δίκτυο.

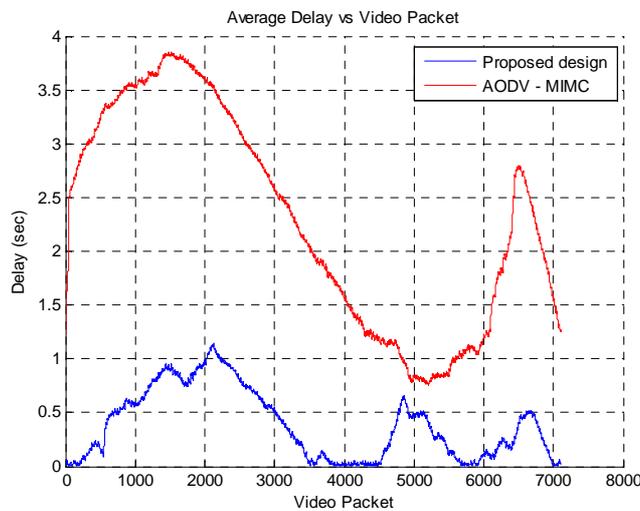


Εικόνα 54: Καθυστέρηση ανά πακέτο των ροών βίντεο στη περίπτωση του AODV με MIMC



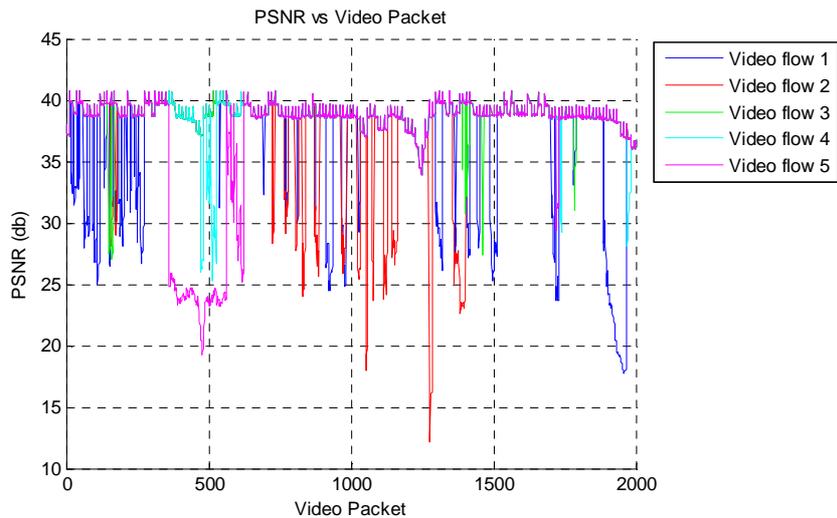
Εικόνα 55: Καθυστέρηση ανά πακέτο των ροών βίντεο στη περίπτωση του AODV με τον προτεινόμενο μηχανισμό

Στην εικόνα 56 παρουσιάζεται η μέση καθυστέρηση ανά πακέτο και για τις 2 περιπτώσεις. Τα αποτελέσματα δείχνουν πως ο προτεινόμενος μηχανισμός διαμοιράζει πιο αποτελεσματικά τη διαθέσιμη χωρητικότητα και οδηγεί σε πιο ομαλές μεταδόσεις με αρκετά βελτιωμένη καθυστέρηση από άκρο σε άκρο.



Εικόνα 56: Μέση καθυστέρηση με και χωρίς τον προτεινόμενο μηχανισμό

Στην εικόνα 57 παρουσιάζεται το PSNR ανά πακέτο για τα 5 βίντεο στη περίπτωση του AODV με τον προτεινόμενο μηχανισμό. Τα αποτελέσματα σχετικά με το PSNR είναι ακριβώς τα ίδια με την περίπτωση όπου δεν χρησιμοποιούμε τον προτεινόμενο μηχανισμό και για το λόγο αυτό δεν παρουσιάζονται. Κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο καθώς η ποιότητα των βίντεο δεν μεταβάλλεται και όλα τα πακέτα φτάνουν στον προορισμό τους ακόμα και με μεγάλες καθυστερήσεις λόγω των αναμεταδόσεων που επιβάλλει το TFRC.



Εικόνα 57: PSNR των ροών βίντεο με και χωρίς τον προτεινόμενο μηχανισμό

Η αξιολόγηση των παραπάνω αποτελεσμάτων δείχνει πως ο προτεινόμενος μηχανισμός επιλογής καναλιού με διαστρωματική ανατροφοδότηση έχει αρκετές θετικές επιδράσεις στις μεταδόσεις βίντεο και οδηγεί σε καλύτερη εμπειρία τελικού χρήστη. Χωρίς τον προτεινόμενο μηχανισμό οι ρυθμοί μετάδοσης των βίντεο είναι χαμηλότεροι από τους ρυθμούς αναπαραγωγής και αυτό οδηγεί σε διακοπές κατά την αναπαραγωγή του βίντεο στον τελικό χρήστη. Καταλήγοντας, ο προτεινόμενος μηχανισμός πετυχαίνει τους επιθυμητούς ρυθμούς και την ομαλότητα μεταδόσεων σε ένα απαιτητικό δίκτυο MANET.

8.4 Πειράματα και αξιολόγηση του προτεινόμενου μηχανισμού ενίσχυσης του GPSR και σύγκριση με άλλα πρωτόκολλα δρομολόγησης σε VANETs

Στο σημείο αυτό παρουσιάζονται τα πειράματα και τα αποτελέσματα για την αξιολόγηση του προτεινόμενου μηχανισμού προώθησης και ανάθεσης βάρους διαδρομής στο GPSR. Η απόδοση του ενισχυμένου GPSR συγκρίνεται με το GPSR και τα OLSR, AODV, DSDV και DSR. Η σύγκριση γίνεται ως προς το ποσοστό επιτυχίας παράδοσης πακέτων (Packet delivery Ratio), την από άκρο σε άκρο καθυστέρηση (End to End Delay) και την συνολική κατανάλωση ενέργειας των κόμβων.

Η διεξαγωγή των πειραμάτων πραγματοποιήθηκε για δυο τοπολογίες στον εξομοιωτή NS-3. Η πρώτη τοπολογία αφορά μια αστική περιοχή και η δεύτερη έναν αυτοκινητόδρομο.

8.4.1 Περιγραφή τοπολογιών

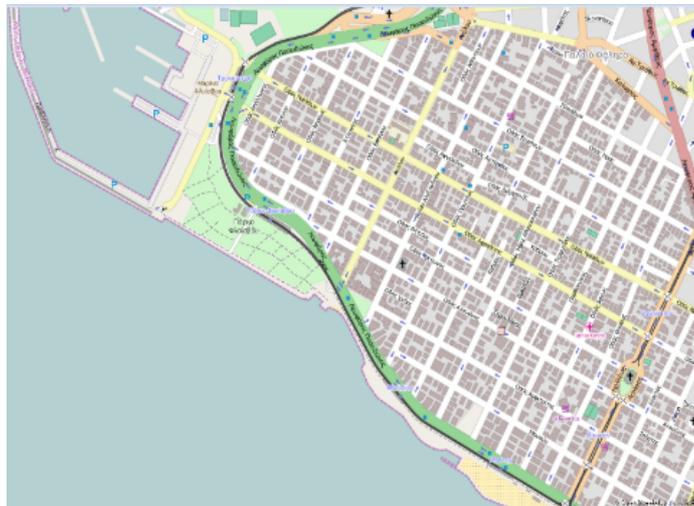
Οι δυο τοπολογίες δημιουργήθηκαν με τη βοήθεια των εργαλείων JOMM [35], SUMO και BonnMotion. Οι κοινές παράμετροι δικτύου που επιλέχθηκαν για τις δυο τοπολογίες εμφανίζονται στον πίνακα 3.

Node Transmission Range	300m
Mac Layer	IEEE 802.11p Wave
PhyMode	Ofdm6mbs10MHz
Propagation Model	FriisPropagationLossModel
Packet Size	128 Bytes
Packet Interval	0.01s
Application	Udp Server-Client

Πίνακας 3: Παράμετροι δικτύου για τις 2 τοπολογίες.

8.4.2 Σενάριο Αστικής Περιοχής

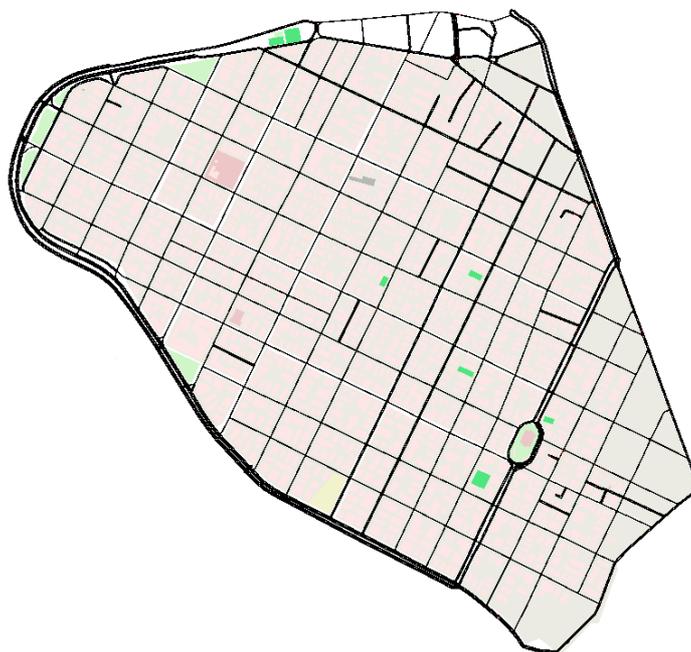
Σε αυτό το σενάριο εξομοιώνεται ένα αστικό τμήμα από τη πόλη της Αθήνας με έκταση 2 x 2 km. Η διαδικασία για την εξομοίωση της πόλης περιλαμβάνει την επιλογή του τμήματος από τον ηλεκτρονικό χάρτη της Αθήνας με τη χρήση του εργαλείου JOSM, την προεπεξεργασία του στο SUMO για να παραχθούν τα οχήματα και οι κινήσεις τους και τέλος την εισαγωγή του στον NS-3. Ο αριθμός των κόμβων είναι 130 και όλα ακολουθούν ρεαλιστικές κινήσεις όπως ακριβώς και τα οχήματα σε μια πόλη με διασταυρώσεις και σηματοδότες. Οι κόμβοι δεν επιτρέπεται να κινούνται έξω από τα όρια της τοπολογίας διατηρώντας με τον τρόπο αυτό τη πυκνότητα του δικτύου. Η μέγιστη ταχύτητα κίνησης των κόμβων είναι 85 km/h και η μέση 60 Km/h. Όλοι οι κόμβοι είναι εξοπλισμένοι με Wi-Fi συσκευές και εμβέλεια μετάδοσης έως και 300 m. Εκτός των οχημάτων, το σενάριο περιλαμβάνει δύο σταθμούς βάσης επιτρέποντας επικοινωνίες IV και IR. Κατά την εξομοίωση λαμβάνουν χώρα και οι 3 τύποι επικοινωνίας των VANETs. Η χρόνος εξομοίωσης είναι 150 s με χρόνο «προθέρμανσης» 30 s. Ο αριθμός των ροών μετάδοσης είναι 10 (7 V2V, 2 IR, 1 IV) και η ελάχιστη διάρκεια ροής μετάδοσης 10 s. Το πείραμα πραγματοποιείται για τα πρωτόκολλα δρομολόγησης OLSR, AODV, DSDV, DSR, GPSR και το GPSR-MOD με τον προτεινόμενο μηχανισμό. Παρακάτω απεικονίζονται τα στάδια δημιουργίας της τοπολογίας.



Εικόνα 58: Σταδιο1 - Επιλογή του τμήματος της πόλης από τον ηλεκτρονικό χάρτη με τη χρήση του JOSM



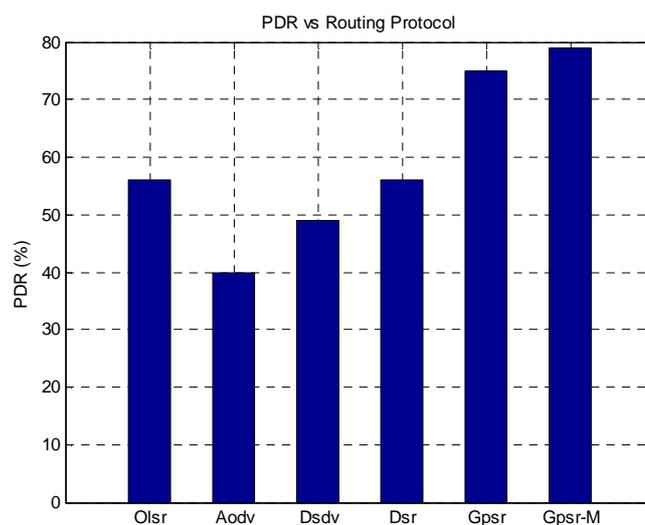
Εικόνα 59: Σταδιο2 - Επεξεργασία του επιλεγμένου τμήματος με το JOSM για ένωση ασύνδετων δρόμων στις άκρες του χάρτη και αποτροπή κίνησης των οχημάτων έξω από το χάρτη.



Εικόνα 60: Σταδιο3 - Εισαγωγή του επεξεργασμένου χάρτη από το JOSM στο SUMO. Δημιουργία οχημάτων και διαδρομών στη πόλη και εξαγωγή σε mobility file για εισαγωγή στον NS-3.

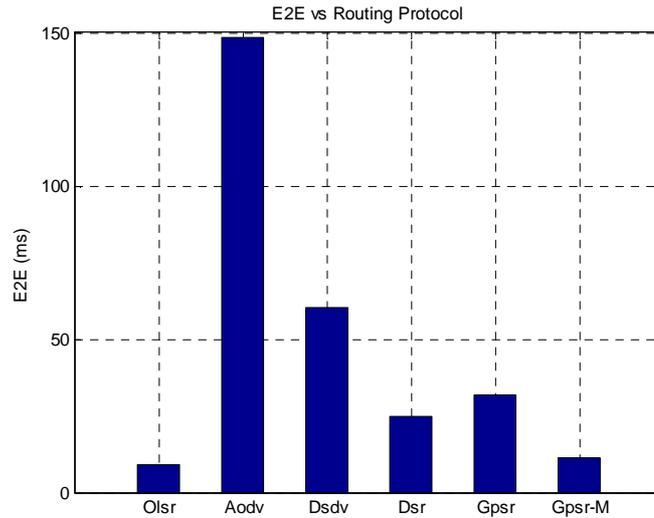
8.4.2.1 Αποτελέσματα εξομοίωσης

Τα αποτελέσματα της εξομοίωσης για την περίπτωση του σεναρίου αστικής περιοχής παρουσιάζονται παρακάτω. Στην εικόνα 61 παρουσιάζεται το ποσοστό επιτυχίας παράδοσης πακέτων (PDR) ανά πρωτόκολλο δρομολόγησης. Τα αποτελέσματα αναδεικνύουν το AODV ως το πρωτόκολλο με το χαμηλότερο ποσοστό επιτυχημένων παραδόσεων και το GPSR ως το καταλληλότερο πρωτόκολλο με ποσοστό επιτυχίας 75%. Ο προτεινόμενος μηχανισμός (GPSR-M) ενισχύει την απόδοση του GPSR και αυξάνει το ποσοστό επιτυχίας παράδοσης πακέτων στο 79%.



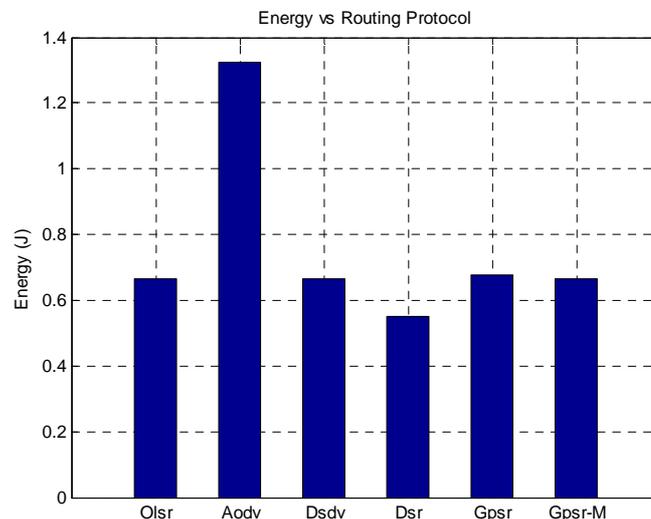
Εικόνα 61: Ποσοστό επιτυχίας παράδοσης πακέτων (PDR) ανά πρωτόκολλο δρομολόγησης

Στην εικόνα 62 παρουσιάζεται η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο ανά πρωτόκολλο δρομολόγησης. Τα αποτελέσματα αναδεικνύουν το AODV ως το πρωτόκολλο με την υψηλότερη καθυστέρηση και το OLSR αυτό με την χαμηλότερη. Το GPSR αν και παρουσιάζει υψηλότερη καθυστέρηση από το OLSR και το DSR, με την εφαρμογή του προτεινόμενου μηχανισμού εμφανίζει σημαντική μείωση (η καθυστέρηση πέφτει στο μισό) ξεπερνώντας το DSR και πλησιάζοντας το OLSR.



Εικόνα 62: Καθυστερήση από άκρο σε άκρο ανά πρωτόκολλο δρομολόγησης

Στην εικόνα 63 παρουσιάζεται η συνολική κατανάλωση ενέργειας ανά πρωτόκολλο δρομολόγησης. Το AODV παρουσιάζει την υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας ενώ το DSR την χαμηλότερη. Τα υπόλοιπα πρωτόκολλα κυμαίνονται σε πολύ κοντινές τιμές κατανάλωσης ενέργειας. Ο προτεινόμενος μηχανισμός αν και δεν επιφέρει κάποια εμφανή μείωση της κατανάλωσης, δεν προσθέτει κάποια επιβάρυνση στο GPSR.



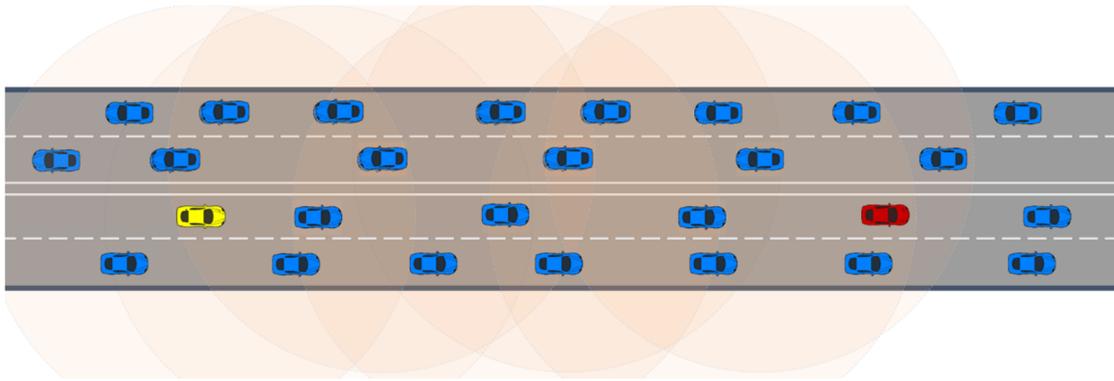
Εικόνα 63: Κατανάλωση ενέργειας ανά πρωτόκολλο δρομολόγησης

Συμπερασματικά, συνδυάζοντας όλα τα προηγούμενα αποτελέσματα, το GPSR με τη χρήση του προτεινόμενου μηχανισμού επιφέρει αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα και αποτελεί κατάλληλη επιλογή για την δρομολόγηση σε δίκτυα VANET σε σενάρια αστικής περιοχής. Συγκριτικά με τα υπόλοιπα πρωτόκολλα δρομολόγησης, το GPSR είναι η καταλληλότερη

επιλογή για τη δρομολόγηση σε VANETs με τις προαναφερόμενες παραμέτρους δικτύου και επιβεβαιώνει πως οι παραδοσιακές στρατηγικές δρομολόγησης στα MANETs δεν είναι πάντα αποδοτικές για χρήση στα VANETs.

8.4.3 Σενάριο Αυτοκινητόδρομου

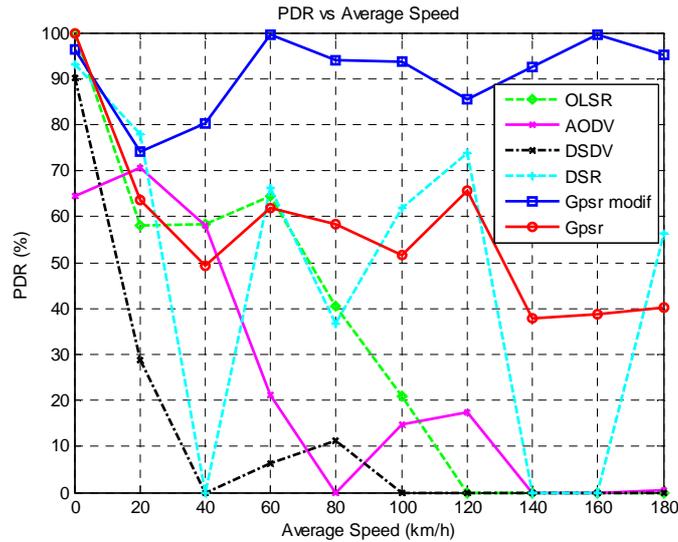
Στο σενάριο αυτό εξομοιώνεται η περίπτωση ενός μεγάλο αυτοκινητόδρομου ταχείας κυκλοφορίας. Οι κόμβοι κινούνται με υψηλές ταχύτητες και διατηρούν σταθερούς προορισμούς. Αλλαγές κατευθύνσεων συμβαίνουν μόνο σε προσπεράσεις και αλλαγές λωρίδων κυκλοφορίας. Ο αριθμός των οχημάτων είναι 100 και η μέση ταχύτητα τους κυμαίνεται από 20 km/h μέχρι 180 km/h. Ο τύπος επικοινωνίας των οχημάτων είναι V2V και ο αποστολέας με τον παραλήπτη κινούνται ομόρροπα. Η μεταξύ τους απόσταση είναι 1 km και η εμβέλεια μετάδοσης των οχημάτων έως και 300 m. Η εικόνα 64 απεικονίζει το περιγραφόμενο σενάριο.



Εικόνα 64: Σενάριο αυτοκινητόδρομου. Το κίτρινο όχημα είναι ο αποστολέας και το κόκκινο ο παραλήπτης

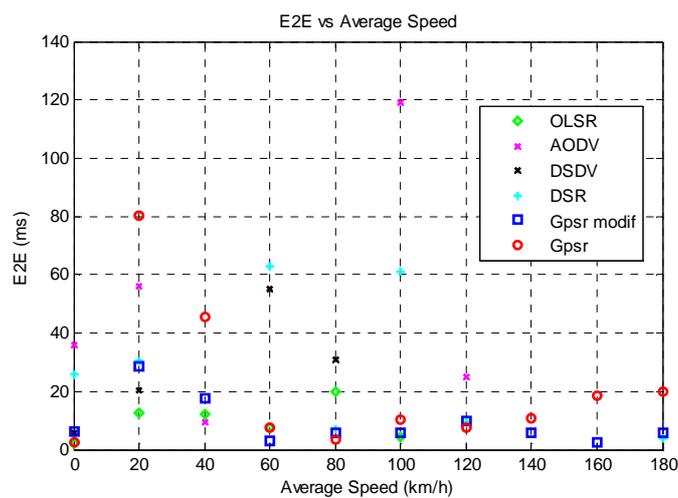
8.4.3.1 Αποτελέσματα εξομοίωσης

Τα αποτελέσματα της εξομοίωσης για την περίπτωση του σεναρίου αυτοκινητόδρομου παρουσιάζονται παρακάτω. Στην εικόνα 65 παρουσιάζεται το ποσοστό επιτυχίας παράδοσης πακέτων (PDR) ανά πρωτόκολλο δρομολόγησης και ανά μέση ταχύτητα κίνησης των οχημάτων. Το DSDV παρουσιάζει το χαμηλότερο ποσοστό επιτυχίας παράδοσης πακέτων και ακολουθείται από το AODV και το OLSR τα οποία εμφανίζουν έντονη πτώση επιτυχημένων παραδόσεων όσο αυξάνεται η ταχύτητα κίνησης. Το DSR εμφανίζει μεγάλη διακύμανση απόδοσης για τις διάφορες μέσες ταχύτητες αλλά και αστάθεια. Το GPSR εμφανίζει τη βέλτιστη συμπεριφορά με το υψηλότερο PDR το οποίο όμως μειώνεται σταδιακά όσο αυξάνεται η μέση ταχύτητα κίνησης. Ο προτεινόμενος μηχανισμός φαίνεται να επιδρά με πολύ έντονο τρόπο το GPSR καθώς εκτοξεύει το PDR σε ποσοστό άνω του 90% για τις περισσότερες τιμές ταχυτήτων καθιστώντας το ως τη βέλτιστη επιλογή. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό είναι ότι το υψηλό PDR διατηρείται και στις υψηλές ταχύτητες άνω των 100km/h.



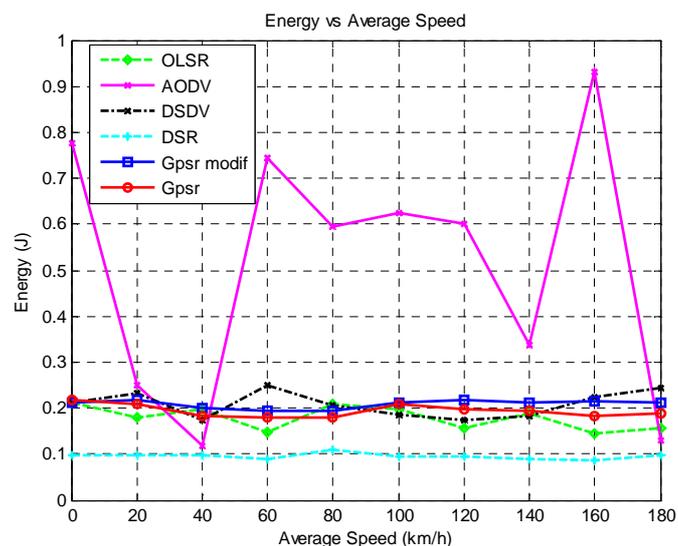
Εικόνα 65: Ποσοστό επιτυχίας παράδοσης πακέτων (PDR) ανά μέση ταχύτητα κόμβων για κάθε πρωτόκολλο δρομολόγησης

Στην εικόνα 66 παρουσιάζεται η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο ανά πρωτόκολλο δρομολόγησης και ανά μέση ταχύτητα κίνησης των κόμβων. Το OLSR παρουσιάζει σταθερή συμπεριφορά διατηρώντας τις τιμές καθυστέρησης έως και τα 20ms για ταχύτητες έως 100km/h. Ακολουθεί το DSDV το οποίο παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές καθυστέρησης από το AODV και το DSR για ταχύτητες έως και 60km/h. Το GPSR παρουσιάζει έντονη πτώση της καθυστέρησης για ταχύτητες άνω των 60km/h και εμφανίζει καλύτερη απόδοση από τα υπόλοιπα πρωτόκολλα κυρίως για υψηλές ταχύτητες. Ο προτεινόμενος μηχανισμός βελτιώνει σημαντικά το GPSR ως προς την καθυστέρηση και το καθιστά ως το πρωτόκολλο με τη χαμηλότερη καθυστέρηση για σχεδόν όλες τις τιμές ταχυτήτων.



Εικόνα 66: Καθυστέρηση από άκρο σε άκρο ανά μέση ταχύτητα κόμβων για κάθε πρωτόκολλο δρομολόγησης

Στην εικόνα 67 παρουσιάζεται η συνολική κατανάλωση ενέργειας ανά πρωτόκολλο δρομολόγησης και ανά μέση ταχύτητα. Τα αποτελέσματα δείχνουν πως το AODV έχει τις υψηλότερες απαιτήσεις ενέργειας και το DSR τις χαμηλότερες. Τα υπόλοιπα πρωτόκολλα δρομολόγησης παρουσιάζουν κοντινές τιμές κατανάλωσης ενέργειας. Το GPSR φαίνεται πως καταναλώνει ελαφρώς υψηλότερη ποσότητα ενέργειας όταν χρησιμοποιεί τον προτεινόμενο μηχανισμό αλλά η αύξηση αυτή είναι πολύ μικρή.



Εικόνα 67: Κατανάλωση ενέργειας ανά μέση ταχύτητα κόμβων για κάθε πρωτόκολλο δρομολόγησης

Όπως και στο σενάριο αστικής περιοχής, συνδυάζοντας όλα τα προηγούμενα αποτελέσματα, το GPSR με τη χρήση του προτεινόμενου μηχανισμού επιφέρει αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα και αποτελεί κατάλληλη επιλογή για την δρομολόγηση σε δίκτυα VANET. Η θετική επίδραση του μηχανισμού είναι πιο έντονη σε αυτό το σενάριο καθώς η κινητικότητα και οι ταχύτητες των κόμβων-οχημάτων είναι πιο έντονες. Συνεπώς η χρήση της προτεινόμενης ενίσχυσης του GPSR είναι μια αρκετά αποδοτική επιλογή για τη δρομολόγηση σε VANETS.

Κεφάλαιο 9

Συμπεράσματα και μελλοντική εργασία

9.1 Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε και αξιολογήθηκε η συμπεριφορά των σημαντικότερων πρωτόκολλων δρομολόγησης σε MANETs και VANETs κατά τη μετάδοση πολυμεσικών ή μη δεδομένων. Παράλληλα παρουσιάστηκαν τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των MANETs και VANETs καθώς και οι νεότερες εφαρμογές σε αυτούς τους τύπους δικτύων. Οι πολυμεσικές εφαρμογές και τα χαρακτηριστικά τους παρουσιάστηκαν αναλυτικά.

Πραγματοποιήθηκε εκτενής αναφορά στους εξομοιωτές δικτύων NS-2 και NS-3 καθώς και σε όλο το λογισμικό που τους συνόδευσε στην ανάπτυξη και τη διεξαγωγή εξομοιώσεων. Τα μοντέλα εξομοίωσης και οι παράμετροι των πειραμάτων παρουσιάστηκαν σε κάθε αντίστοιχη περίπτωση. Τα πειράματα και οι προτεινόμενοι μηχανισμοί συνοδεύτηκαν από πλήρη αναφορά σε προηγούμενες ερευνητικές προσπάθειες και μελέτες.

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων για την προσαρμοστική μετάδοση βίντεο πραγματικού χρόνου στη περίπτωση του AODV, έδειξαν πως το TFRC προσφέρει σημαντική μείωση της απόδοσης σε άκρο σε άκρο καθυστέρησης προσαρμόζοντας το ρυθμό μετάδοσης. Η μείωση της καθυστέρησης επιτυγχάνεται εις βάρος της ποιότητας του βίντεο. Τα αποτελέσματα ανέδειξαν πως η χρήση δεύτερου καναλιού επιφέρει υψηλότερες επιδόσεις χωρίς να υποβαθμίζει την ποιότητα του τελικού βίντεο στον παραλήπτη. Παρόλα αυτά η χρήση του TFRC αποτελεί σημαντική λύση κυρίως όταν δεν υπάρχει υποστήριξη για πολλαπλά κανάλια ή δεν υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις στην ποιότητα των υπηρεσιών στον πελάτη.

Οι εξομοιώσεις για την αξιολόγηση της απόδοσης των πρωτόκολλων δρομολόγησης σε MANETs με χρήση ενός καναλιού κατά τη μετάδοση βίντεο, έδειξαν πως το DSDV έχει την βέλτιστη απόδοση ακολουθούμενο από το AOMDV και το AODV. Όταν χρησιμοποιούνται δύο κανάλια με τον μηχανισμό MIMC στο δίκτυο, το AODV παρουσιάζει τη μεγαλύτερη βελτίωση έχοντας την καλύτερη απόδοση ακολουθούμενο από το AOMDV και το DSDV. Συνεπώς ο MIMC σχεδιασμός επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα όταν επιλέγεται το AODV για τη μετάδοση βίντεο σε MANETs.

Ο πρώτος προτεινόμενος μηχανισμός σε αυτή τη διπλωματική εργασία αφορούσε την αποτελεσματική διαχείριση και εναλλαγή μεταξύ διεπαφών-καναλιών σε MIMC αρχιτεκτονικές κόμβων σε MANETs για τη μετάδοση πολυμεσικών δεδομένων. Ο μηχανισμός ενσωματώθηκε στο επίπεδο δρομολόγησης και συγκεκριμένα στο AODV. Τα αποτελέσματα των εξομοιώσεων έδειξαν σημαντικές βελτιώσεις στη μετάδοση πολυμέσων τύπου streaming τόσο ως προς μετρικές δικτύου όσο και ως προς τις μετρικές εμπειρίας του τελικού χρήστη.

Ο δεύτερος προτεινόμενος μηχανισμός σε αυτή τη διπλωματική εργασία αφορούσε την βελτίωση της δρομολόγησης στο πρωτόκολλο GPSR και την αποδοτική προσαρμογή του σε VANETs. Ο μηχανισμός συγκρίθηκε τόσο με την αρχική υλοποίηση του GPSR όσο και με τα

OLSR, AODV, DSDV και DSR. Τα αποτελέσματα των εξομοιώσεων έδειξαν πως το GPSR αποδίδει στη γενική περίπτωση καλύτερα από τα υπόλοιπα πρωτόκολλα δρομολόγησης. Η ενσωμάτωση του προτεινόμενου μηχανισμού στο GPSR επέφερε πολύ μεγάλη βελτίωση κυρίως σε σενάρια αυτοκινητόδρομων με υψηλές ταχύτητες κίνησης. Το GPSR με τη χρήση του μηχανισμού παρουσίασε τη βέλτιστη απόδοση και αποτέλεσε την καταλληλότερη επιλογή για δρομολόγηση σε VANETs.

9.2 Μελλοντική εργασία

Η μελλοντική εργασία, έχοντας ως βάση τα υπάρχοντα αποτελέσματα, μπορεί να ακολουθήσει διαφορετικές κατευθύνσεις ως προς τους μηχανισμούς που υλοποιήθηκαν και παρουσιάστηκαν αλλά και ως προς τη μελέτη της δρομολόγησης. Οι κατευθύνσεις αυτές μπορούν να αποτελέσουν επέκταση ή βάση για τον σχεδιασμό νέων μηχανισμών.

Ο μηχανισμός επιλογής διεπαφών-καναλιών στα MANETs κατά τη μετάδοση πολυμέσων ο οποίος ενσωματώθηκε στο AODV μπορεί να αποτελέσει τμήμα της μελλοντικής εργασίας ως εξής:

- Ενσωμάτωση και προσαρμογή του μηχανισμού στα υπόλοιπα πρωτόκολλα δρομολόγησης σε MANETs κατά τη μετάδοση πολυμέσων. Αυτό θα επιτρέψει την γενικότερη αξιολόγηση της απόδοσης αλλά και της συμπεριφοράς του μηχανισμού όταν ενσωματώνεται σε πρωτόκολλα πέρα από το AODV.
- Επέκταση του μηχανισμού με την εισαγωγή της προσαρμοστικής μετάδοσης. Ο τελικός σχεδιασμός θα συνδυάζει έναν αλγόριθμο εναλλαγής διεπαφών-καναλιών και έναν αλγόριθμο προσαρμογής του ρυθμού μετάδοσης.
- Μετάβαση του μηχανισμού σε VANETs και αξιολόγηση των πολυμεσικών εφαρμογών στα VANETs.

Ο μηχανισμός ενίσχυσης του GPSR μπορεί επίσης να αποτελέσει τη βάση για την μελλοντική εργασία. Οι προοπτικές επέκτασης είναι:

- Βελτίωση του αλγόριθμου ανάθεσης βάρους. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την υλοποίηση νέου ή την επέκταση της υπάρχουσας υπηρεσίας αναφοράς κίνησης και θέσης των οχημάτων σε ηλεκτρονικούς χάρτες ώστε να επιτευχθεί υψηλότερη ακρίβεια συντεταγμένων, κατεύθυνσης και ταχύτητας.
- Αξιολόγηση της απόδοσης του μηχανισμού σε σενάρια με πιο ρεαλιστικό μοντέλο μεταγωγής. Ένα τέτοιο μοντέλο είναι το buildings propagation στον NS-3 όπου λαμβάνεται υπόψιν ο θόρυβος από κτήρια και εμπόδια.
- Επέκταση του μηχανισμού με την εισαγωγή αλγόριθμου υπολογισμού θορύβου και εξασθένησης σήματος από το περιβάλλον. Ο τελικός στόχος θα είναι η δρομολόγηση να ακολουθεί το σχέδιο πόλης στην οποία κινούνται οι κόμβοι-οχήματα.

Μια ακόμα κατεύθυνση της μελλοντικής εργασίας είναι η ανάπτυξη εφαρμογής σε VANETs σχετιζόμενη με την ασφάλεια και τη διαχείριση της κυκλοφοριακής κίνησης. Μέσω εξομοίωσης, θα είναι δυνατή η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των εφαρμογών αυτών αλλά και της απόδοσης του δικτύου.

Βιβλιογραφία/Αναφορές

- [1] C. Bouras, V. Kapoulas, A. Gkamas, D. Politaki, and E. Tsanai, "Evaluation of routing protocols for video transmission over MANETs that use multiple interfaces and multiple channels per node," in *Networks (ICON), 2013 19th IEEE International Conference on*, 2013, pp. 1–6.
- [2] C. Bouras, G. Kioumourtzis, A. Gkamas, V. Kapoulas, D. Politaki, and E. Tsanai, "Evaluation of Video Transmission in Emergency Response Ad Hoc Networks.," in *DCNET/ICE-B/OPTICS*, 2013, pp. 27–35.
- [3] C. Bouras, A. Gkamas, V. Kapoulas, D. Politaki, and E. Tsanai, "Enhancing video transmission in MANETs utilizing multiple interfaces and multiple channels per node," in *5th International Conference on Ad Hoc Networks, Barcelona, Spain*, 2013.
- [4] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing," *Internet RFCs*, vol. 285. pp. 1–38, 2003.
- [5] M. K. Marina and S. R. Das, "On-demand multipath distance vector routing in ad hoc networks," in *Proceedings Ninth International Conference on Network Protocols. ICNP 2001*, 2001, pp. 14–23.
- [6] D. B. Johnson and D. A. Maltz, "Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks," in *Mobile Computing*, vol. 353, 1996, pp. 153–181.
- [7] P. Jacquet, P. Mühlethaler, T. H. Clausen, A. Laouiti, A. Qayyum, and L. Viennot, "Optimized Link State Routing Protocol for Ad Hoc Networks," in *IEEE International Multi Topic Conference*, 2001, pp. 62–68.
- [8] G. He, "Destination-sequenced distance vector (DSDV) protocol," *Netw. Lab. Helsinki Univ. Technol.*, 2002.
- [9] B. Karp and H.-T. Kung, "GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks," in *Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*, 2000, pp. 243–254.
- [10] M. Handley, S. Floyd, J. Padhye, and J. Widmer, "TCP friendly rate control (TFRC): Protocol specification," 2003.
- [11] ITU, "Subjective video quality assessment methods for multimedia applications." ITU-T Recommendation P.910, Geneva, Switzerland, 2008.
- [12] "NS-2." [Online]. Available: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [13] "NS-3." [Online]. Available: <http://www.nsnam.org/>.
- [14] 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*, 2010, p. 51.

- [15] D. Krajzewicz, J. Erdmann, M. Behrisch, and L. Bieker, "Recent Development and Applications of {SUMO - Simulation of Urban MObility}," *Int. J. Adv. Syst. Meas.*, vol. 5, no. 3&4, pp. 128–138, 2012.
- [16] "EvalVid-RA - The Rate Adaptive Evalvid tool-set." [Online]. Available: <http://www.item.ntnu.no/~arnelie/Evalvid-RA.htm>.
- [17] A. Lie and J. Klaue, "Evalvid-RA: Trace driven simulation of rate adaptive MPEG-4 VBR video," *Multimed. Syst.*, vol. 14, pp. 33–50, 2008.
- [18] E. A. Panaousis, T. A. Ramrekha, G. P. Millar, and C. Politis, "Adaptive and Secure Routing Protocol for Emergency Mobile Ad Hoc Networks," *arXiv Prepr. arXiv1005.1740*, 2010.
- [19] S. Dwivedi, N. Shukla, and S. Pandey, "A HYBRID WIRELESS NETWORK MODEL FOR POST DISASTER RELIEF OPERATIONS," *Int. J. Soft Comput. Eng.*, 2012.
- [20] N. K. Ray and A. K. Turuk, "A Framework for Disaster Management Using Wireless Ad Hoc Networks," in *Proceedings of the 2011 International Conference on Communication, Computing & Security*, 2011, pp. 138–141.
- [21] "The Enhanced Network Simulator." [Online]. Available: <http://www.cse.iitk.ac.in/users/braman/tens/>.
- [22] A. Raniwala and T. C. Chiueh, "Architecture and algorithms for an IEEE 802.11-based multi-channel wireless mesh network," in *Proceedings - IEEE INFOCOM*, 2005, vol. 3, pp. 2223–2234.
- [23] R. A. Calvo and J. P. Campo, "Adding multiple interface support in NS-2," 2007.
- [24] J. Kakarla, S. S. Sathya, B. G. Laxmi, and R. B. B, "A Survey on Routing Protocols and its Issues in VANET," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 28, no. 4, pp. 38–44, 2011.
- [25] R. Kumar and M. Dave, "A comparative study of Various Routing Protocols in VANET," *arXiv Prepr. arXiv1108.2094*, 2011.
- [26] K. C. Lee, U. Lee, and M. Gerla, "Survey of routing protocols in vehicular ad hoc networks," *Adv. Veh. ad-hoc networks Dev. challenges*, pp. 149–170, 2010.
- [27] S. F. Abbas, S. R. Chaudhry, and G. Yasin, "VANET Route Selection in Urban/Rural Areas using Metric Base Traffic Analysis," in *UBICOMM 2013, The Seventh International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies*, 2013, pp. 85–91.
- [28] J.-H. Kim and S. Lee, "Reliable routing protocol for vehicular ad hoc networks," *AEU-International J. Electron. Commun.*, vol. 65, no. 3, pp. 268–271, 2011.
- [29] F. Kaisser, C. Johnen, and V. Vèque, "Quantitative model for evaluate routing protocols in a vehicular ad hoc networks on highway," in *Vehicular Networking Conference (VNC), 2010 IEEE*, 2010, pp. 330–337.

- [30] F. J. Martinez, C.-K. Toh, J.-C. Cano, C. T. Calafate, and P. Manzoni, "Realistic radio propagation models (RPMs) for VANET simulations," in *Wireless Communications and Networking Conference, 2009. WCNC 2009. IEEE*, 2009, pp. 1–6.
- [31] S. Wan, J. Tang, and R. S. Wolff, "Reliable routing for roadside to vehicle communications in rural areas," in *Communications, 2008. ICC'08. IEEE International Conference on*, 2008, pp. 3017–3021.
- [32] J. Nzouonta, N. Rajgure, G. Wang, and C. Borcea, "VANET routing on city roads using real-time vehicular traffic information," *Veh. Technol. IEEE Trans.*, vol. 58, no. 7, pp. 3609–3626, 2009.
- [33] K. Katsaros, M. Dianati, R. Tafazolli, and R. Kernchen, "CLWPR - A novel cross-layer optimized position based routing protocol for VANETs," in *IEEE Vehicular Networking Conference, VNC*, 2011, pp. 139–146.
- [34] A. Fonseca, A. Camões, and T. Vazão, "Geographical routing implementation in NS3," in *Proceedings of the 5th International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques*, 2012, pp. 353–358.
- [35] OpenStreetMap, "JOSM --- OpenStreetMap Wiki," 2014. [Online]. Available: <http://wiki.openstreetmap.org/w/index.php?title=JOSM&oldid=1076869>.