



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ

ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ
AD-HOC

QoS SUPPORT IN AD-HOC NETWORKS

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
του
ΜΙΧΑΛΗ ΔΑΛΓΙΤΣΗ

Επιβλέπουσα καθηγήτρια : Μαλαματή Λούτα

Επιβλέπων καθηγητής : Σαργιαννίδης Παναγιώτης

Κοζάνη, Σεπτέμβριος 2012

Περίληψη

Ένα ad-hoc δίκτυο είναι ένα σύνολο από κινητές συσκευές που σχηματίζουν ένα προσωρινό δίκτυο κατά απαίτηση, χωρίς κάποια σταθερή υποδομή. Τα δίκτυα αυτά είναι αυτοοργανούμενα και αυτοελεγχόμενα. Οι κόμβοι είναι επίσης υπεύθυνοι και για την προώθηση των πακέτων γεγονός που τους καθιστά και ως δρομολογητές. Η γρήγορη εξάπλωση όμως των εφαρμογών των κινητών ασύρματων ad-hoc δικτύων καθιστά ουσιώδες την ανάγκη για παροχή ποιότητας υπηρεσίας. Τα χαρακτηριστικά όμως αυτών των δικτύων όπως η έλλειψη κεντρικής διαχείρισης, η κινητικότητα των κόμβων, η δυναμική στην τοπολογία του δικτύου καθώς και η περιορισμένη διαθεσιμότητα πόρων κάνει την παροχή QoS πολύ δύσκολη. Στην παρούσα διπλωματική εργασία περιγράφουμε τα ζητήματα και τις προκλήσεις ύπαρξης ποιότητας υπηρεσίας σε ένα ad-hoc δίκτυο και εξετάζονται ορισμένες από τις προτεινόμενες λύσεις QoS. Αρχικά γίνεται ταξινόμηση των QoS λύσεων και στην συνέχεια επιλέγουμε την ταξινόμηση κατά επίπεδα. Τέλος αναλύεται το κάθε επίπεδο ξεχωριστά με τις λύσεις που παρέχει. Υπάρχουν συγκριτικοί πίνακες και εικόνες και σχεδιαγράμματα για την καλύτερη κατανόηση του κειμένου και των μεθοδολογιών που χρησιμοποιήθηκαν. Μέσω του προγράμματος προσομοίωσης OPNET Modeler γίνεται προσομοίωση ενός ad-hoc δικτύου όπου οι κόμβοι δρομολογούν τα πακέτα δεδομένων τους με βάση το πρωτόκολλο δρομολόγησης OLSR.

***Λέξεις Κλειδιά: Ad-hoc δίκτυο, ποιότητα υπηρεσίας (QoS), OLSR, OPNET
MODELER***

Abstract

An ad hoc network is a collection of mobile hosts forming a temporary network on demand without any fixed infrastructure. These networks are self-organized and self-controlled. Nodes are also responsible for forwarding the packets, so they act as routers as well. The rapid growth of applications of mobile wireless ad-hoc networks makes the need to support quality of service essential. However network's characteristics such as lack of central coordination, mobility of hosts, dynamic network topology and limited availability of resources make QoS provisioning very difficult. In the current dissertation we describe the issues and the challenges of quality of service in an ad-hoc network and examined some of the proposed QoS solutions. Firstly, we classify the existing QoS solutions subsequently we provide a layer-wise classification. Finally, we analyze each layer with their solutions separately. There are comparison tables, pictures and schemes for better understanding of the text and the methodologies which have been used. Via OPNET Modeler simulation program an ad-hoc network is simulated where nodes route data packets according the OLSR routing protocol.

Keywords: Ad-hoc network, quality of service (QoS), OLSR, OPNET MODELER

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Abstract	4
Περιεχόμενα.....	5
Κατάλογος Σχημάτων.....	8
Κατάλογος Πινάκων.....	10
Εισαγωγή	11
Κεφάλαιο 1. Ζητήματα στα ασύρματα Ad-hoc Δίκτυα	12
1.1 Ορισμός.....	12
1.2 Λειτουργία.....	13
1.3 Ιδιότητες - Χαρακτηριστικά.....	13
1.4 Εφαρμογές	16
1.5 Κατηγορίες Ad-hoc δικτύων	18
1.6 Δυσκολίες που παρουσιάζουν τα Ad-hoc δίκτυα	
Κεφάλαιο 2. Ποιότητα Υπηρεσίας (QoS)	22
2.1 Βασικά χαρακτηριστικά Ποιότητας Υπηρεσίας.....	22
2.2 Μετρικές.....	24
2.2.1 Ρυθμοαπόδοση.....	24
2.2.2 Εύρος ζώνης.....	24
2.2.3 End-to-end delay.....	25
2.2.4 Διακύμανση καθυστέρησης.....	26
2.2.5 Απώλειες πακέτων.....	27
2.3 Κατηγορίες μετρικών.....	29
2.4 NP και P προβλήματα.....	30
2.5 Θέματα σχεδιασμού-Μετρικές που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό QoS.....	32

Κεφάλαιο 3. Προκλήσεις Ποιότητας Υπηρεσίας σε ένα Ad-hoc δίκτυο.....	33
3.1 Προβλήματα παροχής Ποιότητας Υπηρεσίας σε ένα Ad-hoc δίκτυο.....	33
3.2 Πόροι ενός δικτύου που απαιτούνται για την παροχή Ποιότητας Υπηρεσίας.....	36
3.3 Διαχείριση ενέργειας σε ένα κινητό Ad-hoc δίκτυο.....	37
3.3.1 Καταστάσεις κόμβου και κατανάλωση ενέργειας.....	38
3.4 Συμβιβασμοί (Trade-Offs).....	39
3.4.1 Χωρητικότητα εναντίον Καθυστέρηση.....	39
3.4.2 Ρυθμός απωλειών πακέτων εναντίον της χωρητικότητας και της ενεργειακής απόδοσης.....	39
3.4.3 Κατανάλωση ενέργειας εναντίον ανταπόκρισης και ακρίβειας.....	39
3.4.4 Έλεγχος μετάδοσης ισχύος : Μακρινά εναντίον κοντινά άλματα.....	40
3.4.5 Παγκόσμιοι στόχοι εναντίον ιδιαίτερες απαιτήσεις.....	40
Κεφάλαιο 4. Ταξινόμηση λύσεων ποιότητας υπηρεσίας στα Ad-hoc.....	41
4.1 Εισαγωγή.....	41
4.2 Ταξινόμηση των μεθοδολογιών.....	41
4.3 Layered classification.....	41
4.4 QoS-approach classification.....	42
4.5 Functional classification.....	44
4.6 Parametric classification.....	44
4.7 Συμπεράσματα ταξινομήσεων.....	45
Κεφάλαιο 5. MAC Layer.....	46
5.1 Το υπόστρωμα MAC.....	46
5.2 Πρωτόκολλα πρόσβασης στο μέσο.....	46
5.2.1 DCF.....	47
5.2.2 Μηχανισμός ανίχνευσης φέροντος.....	49
5.2.3 802.11e.....	50
5.3 Black Burst.....	52
5.4 MACA/PR.....	52
5.5 Τεχνική TDMA και Ad-Hoc δίκτυα.....	53
5.5.1 Cluster TDMA.....	54
Κεφάλαιο 6. Network Layer.....	56
6.1 Δρομολόγηση.....	56
6.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των QoS πρωτοκόλλων Δρομολόγησης.....	58
6.3 Μετρικές εκτίμησης πρωτοκόλλων δρομολόγησης.....	61
6.4 Ταξινόμηση πρωτοκόλλων.....	61
6.5 QAODV.....	62
6.5.1 Η λειτουργία του AODV.....	62
6.5.2 Οι επεκτάσεις QoS στον AODV.....	64

6.6 TBP.....	66
6.7 OLSR.....	68
6.7.1 Οι επεκτάσεις QoS στον OLSR	70
6.8 CEDAR.....	72
Κεφάλαιο 7. Cross – Layer.....	75
7.1 Αρχιτεκτονική cross-layer.....	75
7.2 Ποιότητα υπηρεσίας και ενσύρματα δίκτυα.....	77
7.2.1 Το πρωτόκολλο σηματοδότησης του Διαδικτύου (RSVP).....	79
7.2.2 Το μοντέλο των Διαφοροποιούμενων υπηρεσιών – Differentiated Services.....	79
7.2.3 Ακατάλληλο MANET περιβάλλον.....	80
7.3 FQMM.....	83
7.4 INSIGNIA.....	86
7.4.1 Σηματοδότηση.....	86
7.4.2 Το μοντέλο INSIGNIA.....	87
7.4.3 Το πεδίο επιλογής (Option) στην INSIGNIA.....	89
7.5 iMAQ.....	91
Κεφάλαιο 8. Προσομοίωση πρωτοκόλλου δρομολόγησης OLSR με την χρήση του OPNET MODELER.....	93
8.1 Γενικά για την πλατφόρμα προσομοίωσης OPNET MODELER.....	93
8.2 Χαρακτηριστικά του OPNET MODELER.....	95
8.3 Editors του OPNET MODELER.....	96
8.4 Στήσιμο του OPNET MODELER 14.5	102
8.5 Λειτουργία πρωτοκόλλων OLSR και QOLSR.....	104
8.6 Το πρωτόκολλο OLSR στο περιβάλλον του OPNET MODELER	110
8.7 Εκτέλεση σεναρίου OLSR.....	118
8.8 Γραφήματα από το σενάριο του OLSR.....	124
Συμπεράσματα.....	138
Βιβλιογραφία.....	139

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1. Ασύρματο κινητό δίκτυο Ad-Hoc.....	13
Σχήμα 2. Single Hop. Απευθείας επικοινωνία μεταξύ δύο κόμβων.....	14
Σχήμα 3. Επικοινωνία μεταξύ πομπού (source) και δέκτη (destination) με πολλαπλά άλματα (multi-hops).....	14
Σχήμα 4. Οι στρατιώτες επικοινωνούν μεταξύ τους και με τα άρματα μάχης.....	16
Σχήμα 5. Διάσωση, αστυνόμευση και πυρόσβεση.....	17
Σχήμα 6. Παρακολούθηση διαλέξεων μέσω φορητών υπολογιστών και υπολογιστών Χειρός.....	18
Σχήμα 7. Περιορισμοί και ο συνδυασμός αυτών που βρίσκονται στα P ή NP-πλήρη Προβλήματα.....	31
Σχήμα 8. Ταξινόμηση κατά επίπεδα.....	42
Σχήμα 9. Ταξινόμηση με βάση την προσέγγιση QoS.....	43
Σχήμα 10. Λειτουργική ταξινόμηση.....	44
Σχήμα 11. Πρωτόκολλα πρόσβασης στο μέσο.....	48
Σχήμα 12. Χρόνοι IFS.....	49
Σχήμα 13. Μεταφορά δεδομένων από τον κόμβο B στον κόμβο G.....	56
Σχήμα 14. Πίνακας δρομολόγησης του τερματικού M1.....	57
Σχήμα 15. Ανακάλυψη διαδρομής με βάση την καθυστέρηση.....	65
Σχήμα 16. Δρομολόγηση Ticket-Based probing.....	66
Σχήμα 17. Δίκτυο με αναμεταδότες πολλών σημείων.....	68
Σχήμα 18. Επιλογή MPR.....	69
Σχήμα 19. Παράδειγμα επιλογής MPR υπό συνθήκες QoS.....	71
Σχήμα 20. Εξαγωγή Πυρήνα - εύρεση διαδρομής μεταξύ του κόμβου S (κόμβος πηγή) και του κόμβου D (κόμβος προορισμός) με τον αλγόριθμο CEDAR... ..	72
Σχήμα 21. Αρχικό μονοπάτι.....	73
Σχήμα 22. Τελικό μονοπάτι.....	73
Σχήμα 23. Μοντέλο αναφοράς δρομολογητή ενοποιημένων υπηρεσιών Διαδικτύου.....	79
Σχήμα 24. Αρχιτεκτονική Διαφοροποιούμενων Υπηρεσιών.....	80
Σχήμα 25. Μοντέλο FQMM (από T.B Reddy et all. Ad Hoc Networks 4 (2006) 83-124).....	83
Σχήμα 26. Συμπεριφορά κόμβων.....	84
Σχήμα 27. Αρχιτεκτονική FQMM.....	85
Σχήμα 28. Αρχιτεκτονική INSIGNIA.....	88
Σχήμα 29. Μοντέλο iMAQ.....	91
Σχήμα 30. Προσομοιωτής OPNET MODELER.....	93
Σχήμα 31. Ιεραρχική δομή μοντελοποίησης στο OPNET.....	97
Σχήμα 32. Μοντέλο δικτύου.....	98
Σχήμα 33. Μοντέλο κόμβου.....	99
Σχήμα 34. Μοντέλο επεξεργασίας.....	99
Σχήμα 35. Toolbar του μοντέλου επεξεργασίας.....	110
Σχήμα 36. Γραφική αναπαράσταση του δικτύου.....	111
Σχήμα 37. Μοντέλο κόμβου του Ad-hoc δικτύου που εξετάζουμε.....	112
Σχήμα 38. Μοντέλο επεξεργασίας στο επίπεδο MAC.....	113
Σχήμα 39. Radio parameters.....	113
Σχήμα 40. Local statistics.....	114
Σχήμα 41. Μοντέλο επεξεργασίας του OLSR.....	115

Σχήμα 42. Interval και jitter μεταβλητές.....	115
Σχήμα 43. Εκπομπή μηνυμάτων HELLO.....	115
Σχήμα 44. Local statistics του OLSR.....	116
Σχήμα 45. Μοντέλο επεξεργασίας στο επίπεδο εφαρμογής.....	117
Σχήμα 46. Τρέξιμο σεναρίου.....	118
Σχήμα 47. Contents of "MANET_OLSR_PROTOCOL-scenario1-DES-<Run #>.ef" File.....	119
Σχήμα 48. Object attributes.....	120
Σχήμα 49. MAC.level.subqueue.....	123
Σχήμα 50. Αποτελέσματα του σεναρίου του OLSR.....	124
Σχήμα 51. Traffic growth.....	125
Σχήμα 52. Αριθμός συγκρούσεων	126
Σχήμα 53. Αριθμός χαμένων μεταδόσεων	127
Σχήμα 54. Επιτυχημένες μεταδόσεις δεδομένων.....	128
Σχήμα 55. Απόπειρες (προσπάθειες) μετάδοσης.....	129
Σχήμα 56. Αριθμός ληφθέντων δεδομένων.....	130
Σχήμα 57. Αριθμός αποστολής hello μηνυμάτων.....	131
Σχήμα 58. Αριθμός αποστολής tc μηνυμάτων.....	132
Σχήμα 59. Συνολικός αριθμός πακέτων δεδομένων.....	133
Σχήμα 60. Συνολικός αριθμός πακέτων vs αριθμό κόμβων.....	134
Σχήμα 61. Αριθμός σταλμένων hello messages vs αριθμό κόμβων.....	135
Σχήμα 62. Αριθμός σταλμένων tc messages vs αριθμό κόμβων.....	136
Σχήμα 63. Αριθμός χαμένων tc messages vs αριθμό κόμβων.....	137

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Διαθέσιμα μονοπάτια από τον κόμβο Β στον κόμβο G.....	57
Πίνακας 2. Επιλογή MPR με κριτήρια QoS και χωρίς.....	71
Πίνακας 3. Μεταβολή συστήματος σε καταστάσεις Best Effort (BE), Base QoS και Enhanced QoS.....	90

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με το πέρασμα των χρόνων τα ασύρματα δίκτυα εξελίσσονται όλο και περισσότερο εξαιτίας της τεράστιας ανάπτυξης της τεχνολογίας και της τεχνογνωσίας κατακλύζοντας την παγκόσμια αγορά. Η κινητή ασύρματη επικοινωνία δεδομένων, η οποία εξελίσσεται είναι μια κινητήρια δύναμη χάρη στο Internet και την επιτυχία της τρίτης γενιάς των κινητών δικτύων με κυψέλες. Στο άμεσο μέλλον, ο ρόλος και οι δυνατότητες της ανταλλαγής δεδομένων σε κοντινή απόσταση αναμένεται να μεγαλώσουν, και να εξυπηρετούν σαν συμπλήρωμα στην παραδοσιακή μεγάλης κλίμακας επικοινωνία.

Η πιο γενική διαμόρφωση ασυρμάτου δικτύου είναι ένα ανεξάρτητο κατά περίπτωση κινητό δίκτυο, το οποίο συνδέει ένα σύνολο συσκευών (π.χ. φορητών υπολογιστών) που διαθέτουν ασύρματες κάρτες δικτύου. Η πιο διαδεδομένη αντίληψη είναι αυτή των κινητών Ad-Hoc δικτύων. Ένα Ad-Hoc δίκτυο είναι ένα δίκτυο σχηματισμένο χωρίς καμία κεντρική διαχείριση που αποτελείται από κινούμενους κόμβους που χρησιμοποιούν ένα ασύρματο μέσο για να στέλνουν πακέτα δεδομένων.

Εξαιτίας όμως κάποιων περιορισμών που τίθενται στο διαθέσιμο εύρος ζώνης συχνοτήτων, στις ζεύξεις μεταξύ κόμβων, αλλά και από το ίδιο το φυσικό κανάλι εκπομπής μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι από την πλευρά της ποιότητας υπηρεσιών (QoS) που μπορούν να επιτύχουν συναντάμε εμπόδια. Ακόμη, η συνεχής αλλαγή της τοπολογίας του δικτύου, οι περιορισμοί μνήμης και υπολογιστικής ισχύος οδηγούν στην ακόμα δυσκολότερη παροχή QoS σε σχέση με τα ενσύρματα δίκτυα.

Ωστόσο, οι πελάτες τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών αναμένουν να έχουν τις ίδιες υπηρεσίες που τους παρέχει το σταθερό δίκτυο στις ασύρματες συσκευές τους, και μάλιστα με την ίδια ποιότητα (QoS).

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης με QoS αποτελούν αναπόσπαστο μέρος αυτής της λύσης, αφού από τη λειτουργία τους είναι να εξακριβωθεί ποιοί κόμβοι, αν υπάρχουν, είναι σε θέση να εξυπηρετήσουν αυτές τις απαιτήσεις. Λύσεις όμως υπάρχουν και σε άλλα στρώματα και όχι μόνο στο επίπεδο δικτύου.

Το υποεπίπεδο MAC και το στρώμα εφαρμογών περιλαμβάνουν πρωτόκολλα, μοντέλα και υπηρεσίες επιτυγχάνοντας ολόπλευρα ποιότητα υπηρεσιών. Η πλειοψηφία των λύσεων που προτείνονται στη βιβλιογραφία ως τώρα έχουν επικεντρωθεί στην παροχή QoS που βασίζεται σε δύο παραμέτρους: την ρυθμοαπόδοση και την καθυστέρηση.

Σε αυτές τις δύο αλλά και σε μια πληθώρα μετρικών βασίζεται η παρούσα διπλωματική εργασία καθώς επίσης επικεντρώνεται σε μια από τις κατηγορίες των Ad-Hoc δικτύων στα MANETs, που αποτελούν μια επέκταση των δικτύων Ad-Hoc, αφού αποτελούνται από κόμβους που κινούνται δυναμικά και αυθαίρετα, δημιουργώντας έτσι δυναμικές τοπολογίες δικτύου.

Κεφάλαιο 1.

Ζητήματα στα ασύρματα Ad-hoc Δίκτυα

1.1 Ορισμός

Ένα ad-hoc δίκτυο είναι ένα ασύρματο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο που αποτελείται από δύο ή περισσότερους κινητούς κόμβους οι οποίοι έχουν δυνατότητες για ασύρματη μετάδοση και λήψη δεδομένων.

Σχηματίζονται δυναμικά από ένα αυτόνομο σύστημα κόμβων –τερματικών- τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με ασύρματες ζεύξεις δίχως τη μεσολάβηση σταθερής κεντρικής υποδομής.

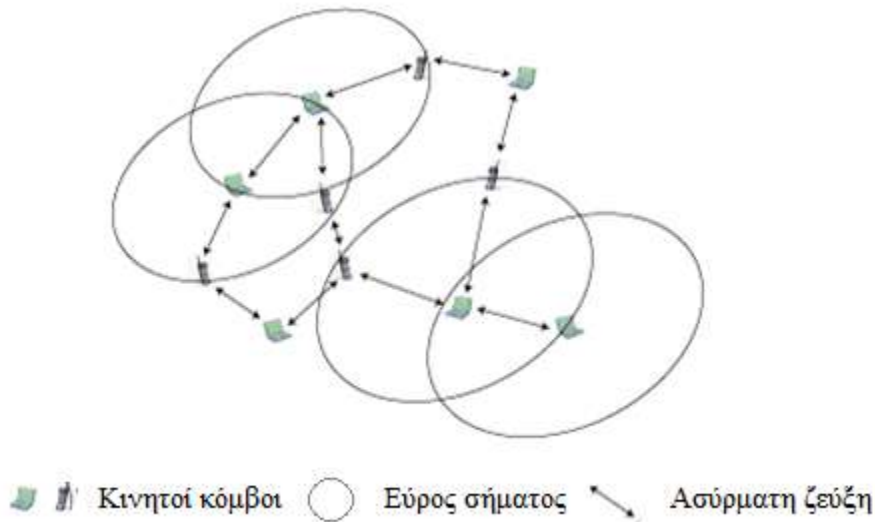
Οι κόμβοι είναι ελεύθεροι να κινηθούν οπουδήποτε στο χώρο με τυχαίο τρόπο, με αποτέλεσμα η τοπολογία του δικτύου να μπορεί να μεταβληθεί ραγδαία και απρόβλεπτα αφού νέοι κόμβοι μπαίνουν σ' αυτό ή αποχωρούν κάποιοι άλλοι. Οι ίδιοι οι κόμβοι αναλαμβάνουν την διαχείριση των πόρων και την επιτέλεση των λειτουργιών του.

Οι συσκευές (φορητοί υπολογιστές, υπολογιστές χειρός, κινητά τηλέφωνα κ.τ.λ.), μέσα σε ένα τέτοιο δίκτυο έχουν την δυνατότητα επικοινωνίας με οποιαδήποτε άλλη συσκευή, η οποία βρίσκεται στην εμβέλεια τους ή στην εμβέλεια μιας γειτονικής τους συσκευής.

Στην πρώτη περίπτωση η επικοινωνία γίνεται απευθείας μεταξύ των δύο κόμβων(single hop), ενώ στην δεύτερη περίπτωση η επικοινωνία γίνεται με τη χρήση ενός ή περισσότερων ενδιάμεσων κόμβων, οι οποίοι αναλαμβάνουν την μεταγωγή των δεδομένων από τον αποστολέα στον παραλήπτη.

Έτσι οι διαδρομές μεταξύ των κόμβων μπορούν να περιλαμβάνουν πολλαπλά άλματα (hops) και για αυτό το λόγο αναφέρονται τα δίκτυα αυτά και ως “multihop wireless ad-hoc networks”.

Τα ad-hoc δίκτυα επιτρέπουν την εύκολη ανάπτυξη και λειτουργία τους σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση εξειδικευμένων εφαρμογών και η εκτέλεση διαχειριστικών λειτουργιών ή άλλων ενεργειών από τους χρήστες.



Σχήμα 1
Ασύρματο κινητό δίκτυο Ad-Hoc

1.2 Λειτουργία

Τα ασύρματα δίκτυα ad-hoc αποτελούνται από κινητούς κόμβους οι οποίοι πρέπει να επιτελέσουν επιπλέον έργο για να μπορέσει το δίκτυο να λειτουργήσει.

Οι κόμβοι των δικτύων αυτών πρέπει να φροντίσουν να εκτελούνται οι βασικές λειτουργίες ενός δικτύου για τη μεταγωγή δεδομένων μεταξύ των κόμβων του, εργασία που στα κλασσικά δίκτυα την επιτελούν οι δρομολογητές και τα άλλα ενεργά μη τερματικά στοιχεία του δικτύου.

Η καταγραφή των βέλτιστων διαδρομών, μέσω των ενεργών συνδέσεων ενός δικτύου για την μεταφορά δεδομένων, είναι από τις βασικότερες λειτουργίες που πρέπει να έχει ένα δίκτυο υπολογιστών, αφού πολύ απλά χωρίς αυτή δεν είναι δυνατό να υπάρξει.

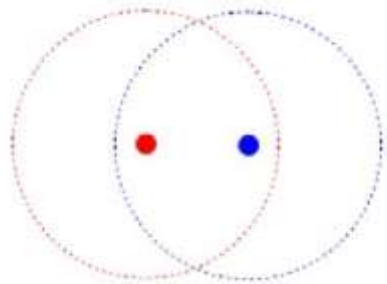
1.3 Ιδιότητες - Χαρακτηριστικά

Τα ασύρματα ad-hoc δίκτυα αποτελούνται από κόμβους (σταθμούς) που συνδέονται δυναμικά μεταξύ τους. Συνήθως αποτελείται από μικρό αριθμό κόμβων κάθε φορά, οι οποίοι μπορεί να εισέρχονται και να εξέρχονται από το δίκτυο με εντελώς τυχαία συχνότητα. Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι ότι δεν υποθέτουν την ύπαρξη μιας σταθερής υποδομής. Οι κόμβοι ενός τέτοιου δικτύου μπορούν να είναι κινητοί ή σταθεροί με μεταβαλλόμενες ακτίνες μετάδοσης.

Βασικό χαρακτηριστικό των ad-hoc δικτύων είναι ότι οι κόμβοι τους παίζουν ενεργό ρόλο κατά την δρομολόγηση των πακέτων, προωθώντας εκτός από τα δικά τους πακέτα και τα πακέτα γειτονικών κόμβων. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι χρήσιμο σε περιπτώσεις που ο αποστολέας και ο παραλήπτης ενός πακέτου δεν βρίσκονται εντός της ακτίνας ο ένας του άλλου (ή πιθανόν μόνο ο ένας από τους δύο βρίσκεται εντός της ακτίνας του άλλου).

Το δίκτυο είναι ετερογενές, δεν αποτελείται μόνο από έναν τύπο συσκευών, όπως κινητά τηλέφωνα, φορητοί υπολογιστές, PDA κτλ, τα οποία πρέπει να έχουν δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ τους.

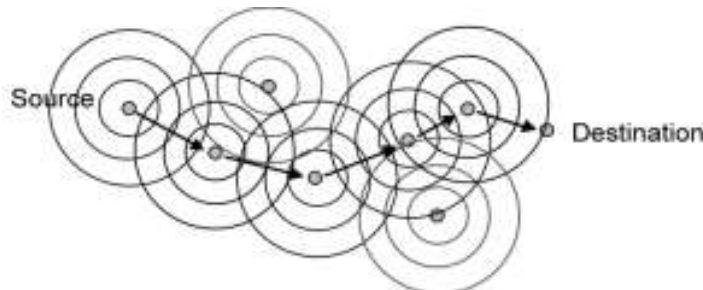
Η τοπολογία καθορίζεται από την κατανομή των κόμβων στο χώρο. Αν για παράδειγμα όλες οι συσκευές βρίσκονται πολύ κοντά η μία με την άλλη, είναι εφικτή μία σύνδεση single-hop από κόμβο σε κόμβο.



Σχήμα 2

Single Hop. Απευθείας επικοινωνία μεταξύ δύο κόμβων

Αντίθετα αν το δίκτυο εκτείνεται σε μεγάλη γεωγραφική έκταση, απαιτείται multi-hop διασύνδεση μεταξύ των κόμβων. Η σημασία των ad-hoc δικτύων είναι πολύ μεγάλη, κυρίως χάρη στην ευκολία και την ταχύτητα με την οποία μπορούν να εγκατασταθούν, αφού δεν απαιτούν την ύπαρξη σταθερής υποδομής.



Σχήμα 3

Επικοινωνία μεταξύ πομπού (source) και δέκτη (destination) με πολλαπλά άλματα (multi-hops)

Ακόμα ένα πλεονέκτημα της δυναμικής τους φύσης είναι η εύκολη προσθήκη και απομάκρυνση νέων κόμβων, καθώς και το γεγονός ότι κάθε κόμβος εξαρτάται μόνο από τους γειτονικούς του, με αποτέλεσμα την αυξημένη αξιοπιστία των δικτύων αυτών.

Τα ad-hoc δίκτυα παρουσιάζουν σημαντική ανομοιογένεια, αφού κάθε κόμβος μπορεί να διαφέρει από τους υπόλοιπους σε πολλά χαρακτηριστικά, όπως την ακτίνα εκπομπής, την υπολογιστική ισχύ ή τη διάρκεια ζωής των μπαταριών (αν π.χ. είναι ένας φορητός υπολογιστής ή ένα PDA).

Επιπλέον, τα διάφορα ad-hoc δίκτυα μπορεί να διαφέρουν σε πολλά χαρακτηριστικά τους, όπως τους χρησιμοποιούμενους ρυθμούς επικοινωνίας, στο αν παρέχουν δυνατότητες broadcast ή multicast, στο αν συνυπάρχουν ή όχι με άλλα δίκτυα τα οποία έχουν κάποια σταθερή υποδομή ή τέλος, αν υποστηρίζουν την κινητικότητα των χρηστών και με τι ρυθμούς.

Σημαντικό ρόλο σε κάθε ad-hoc δίκτυο παίζει η ακτίνα μετάδοσης κάθε κόμβου. Συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερη είναι η ακτίνα μετάδοσης των κόμβων, τόσο μικρότερος θα είναι ο μέσος αριθμός μεταδόσεων που θα απαιτείται για την αποστολή ενός πακέτου από ένα κόμβο σε κάποιον άλλο.

Από την άλλη μεριά, η μικρή ακτίνα εκπομπής των κόμβων μειώνει την πιθανότητα συγκρούσεων, καθώς και τις παρεμβολές μεταξύ των κόμβων. Με άλλα λόγια, όσο μικρότερη είναι η ακτίνα εκπομπής, τόσο περισσότερες μεταδόσεις θα μπορούν να πραγματοποιούνται ταυτόχρονα.

Επιπλέον, η ακτίνα μετάδοσης παίζει καθοριστικό ρόλο και στην κατανάλωση ενέργειας κάθε κόμβου, η οποία είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος στα περισσότερα ad-hoc δίκτυα και συχνά η σημαντικότερη στα MANETs.

Έτσι, η ακτίνα μετάδοσης θα πρέπει να είναι όσο το δυνατό μικρότερη, φροντίζοντας όμως ταυτόχρονα να μην είναι τόσο μικρή που το δίκτυο να παύει να είναι συνεκτικό.

Μια καλή επιλογή είναι, συνήθως, να επιλέγεται ακτίνα μετάδοσης, έτσι ώστε κάθε μετάδοση να “ακούγεται” από περίπου 6 κόμβους.

Συνοψίζοντας έχουμε τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- **Ασύρματη δικτύωση.** Οι κόμβοι επικοινωνούν ασύρματα και μοιράζονται το ίδιο φυσικό μέσο. Βασίζονται σε απευθείας συνδέσεις. Ένα ad-hoc δίκτυο είναι ένα προσωρινό δίκτυο το οποίο σχηματίζεται δυναμικά από ένα σύνολο κόμβων ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες συνδεσιμότητας.
- **Αυτόνομα και χωρίς σταθερή υποδομή (Infrastructureless).** Δεν εξαρτώνται από προϋπάρχουσα υποδομή ή κεντρική διαχείριση. Ο κάθε κόμβος του δικτύου λειτουργεί με έναν διανεμημένο τρόπο, δρα ως ξεχωριστός δρομολογητής (router) και παράγει ανεξάρτητα δεδομένα.
- **Multihop routing.** Δεν χρησιμοποιούνται ειδικοί δρομολογητές αφού κάθε κόμβος δρομολογεί αυτόνομα τα πακέτα στους γειτονικούς του κόμβους ώστε να επιτρέπει την μετάδοση δεδομένων μεταξύ τους.
- **Κινητικότητα.** Οι κόμβοι που συμμετέχουν σε ένα τέτοιο δίκτυο κινούνται με τυχαίο τρόπο αλλάζοντας διαρκώς την τοπολογία του δικτύου και την μεταξύ τους συνδεσιμότητα.

1.4 Εφαρμογές

Όλα τα παραπάνω πλεονεκτήματα των ad-hoc δικτύων τα κάνουν ιδιαίτερα ελκυστικά και κατάλληλα για εφαρμογές όπου οι παλιότερες δικτυακές τεχνολογίες δεν μπορούσαν να υλοποιηθούν.

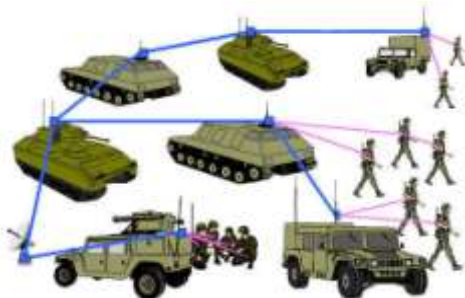
Στρατιωτικό περιβάλλον (στρατιώτες, άρματα μάχη)

Σε στρατιωτικές επιχειρήσεις όπου η εγκατάσταση δικτυακής υποδομής είναι ανέφικτη και οι ανάγκες για επικοινωνία είναι άμεσες (οι κόμβοι μπορούν να τοποθετηθούν πχ στα τανκ, στα αεροπλάνα ή και στους στρατιώτες).

Τα MANET δίκτυα είναι ιδιαίτερα σημαντικά και για τις ένοπλες δυνάμεις, για εφαρμογές όπως: στα στρατιωτικά οχήματα σ' ένα πεδίο μάχης, στα τηλεκατευθυνόμενα εναέρια οχήματα, σ' έναν στόλο πλοίων στη θάλασσα, στους τομείς των αισθητήρων και στα γοργά αναπτυσσόμενα δίκτυα πεδίου μάχης.

Στρατιώτες εξοπλισμένοι με κινητές επικοινωνιακές συσκευές μπορούν να επικοινωνούν επί τούτου, χωρίς να χρειάζονται σταθεροί ενσύρματους σταθμούς.

Επιπλέον, μικρές κινητές συσκευές εξοπλισμένες με αισθητήρες ακοής και κάμερες μπορούν να τοποθετηθούν σε στρατηγικής σημασίας περιοχές για τη συλλογή πληροφοριών περιβαλλοντικής ή χωροταξικής σημασίας, που μπορεί να κατευθυνθούν προς έναν κόμβο επεξεργασίας μέσα από συστήματα κινητών επικοινωνιών



Σχήμα 4

Οι στρατιώτες επικοινωνούν μεταξύ τους και με τα άρματα μάχης

Πολιτικό περιβάλλον (δίκτυο ταξί, στάδια, πλοία, μικρά αεροσκάφη)

Μπορούν να αναπτυχθούν επίσης κινητά συστήματα επικοινωνιών μεταξύ πλοίων, δεδομένου ότι παρέχονται εναλλακτικές διαδρομές επικοινωνίας που δεν στηρίζονται στις υφιστάμενες εναέριες ή επίγειες επικοινωνιακές υποδομές.

Σε δημόσιους χώρους όπως λιμάνια, αεροδρόμια και αυτοκινητόδρομους για παροχή χρήσιμων πληροφοριών και τουριστικών οδηγιών.

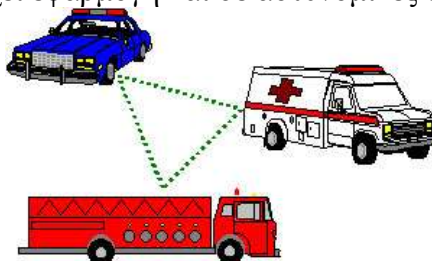
Επείγουσες επιχειρήσεις (αναζήτηση και διάσωση, αστυνόμευση και πυρόσβεση)

Σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, μετά από φυσικές ή άλλες καταστροφές, όπου όλες οι υποδομές έχουν καταρρεύσει και υπάρχει άμεση απαίτηση για επικοινωνία.

Χρησιμοποιείται εκεί που δημιουργούνται ομάδες αποκατάστασης και διαχείρισης καταστροφής, οι οποίες δεν θα μπορούσαν να στηριχθούν στην υπάρχουσα υποδομή, π.χ. το προσωπικό άμεσης ανάγκης σ' ένα σεισμό που κατάστρεψε την υπάρχουσα υποδομή.

Επίσης τα ad hoc επικοινωνιακά συστήματα μπορούν να έχουν πρακτική εφαρμογή σε αναμεταδιδόμενες πληροφορίες, μέσω video, data και voice μεταξύ σωστικών συνεργείων μέσα από μια μικρή φορητή συσκευή.

Αυτό μπορεί να έχει εφαρμογή και σε αστυνομικές επιχειρήσεις.



Σχήμα 5

Διάσωση, αστυνόμευση και πυρόσβεση

Εκπαιδευτικές εφαρμογές (Συνέδρια, συναντήσεις, διαλέξεις)

Σε virtual αίθουσες, αίθουσες σεναρίων και συνεδριάσεων ή σε ακαδημαϊκά περιβάλλοντα όπου η ανάγκη για επικοινωνία πρέπει να έχει ελευθερία χώρου.

Οι άνθρωποι σήμερα παρακολουθούν διαλέξεις και συνέδρια μέσω φορητών υπολογιστών, υπολογιστών χειρός κλπ. Είναι επιθυμητό επομένως να υπάρχει άμεση διαμόρφωση δικτύου και επιπλέον δυνατότητες διαμοιρασμού αρχείων και πόρων χωρίς την παρουσία σταθερών σταθμών εργασίας και ειδικών διαχειριστών δικτύου.

Ένας παρουσιαστής μπορεί να κάνει multicast διαφάνειες και ήχο σε συγκεκριμένους αποδέκτες. Για παράδειγμα στα συνέδρια ή σε διάφορες διαλέξεις, όπου όλα τα τερματικά και τα access points είναι απαραίτητο να είναι κινητά και στις οποίες έχουμε συγκέντρωση ατόμων με φορητούς υπολογιστές σε μια περιοχή που δεν διαθέτει δίκτυο 802.11.

Αφού είναι άμεση ανάγκη για τους συνέδρους να μετακινούνται, να ανταλλάσσουν πληροφορίες και να επικοινωνούν χωρίς να εξαρτώνται αποκλειστικά από ένα σταθερό σημείο πρόσβασης, το δίκτυο υλοποιεί επιτυχώς όλες αυτές τις απαιτήσεις.



Σχήμα 6

Παρακολούθηση διαλέξεων μέσω φορητών υπολογιστών και υπολογιστών χειρός

1.5 Κατηγορίες Ad-hoc δικτύων

Τα ασύρματα ad-hoc δίκτυα μπορούν να ταξινομηθούν περαιτέρω με βάση την εφαρμογή τους:

- Κινητά ad-hoc δίκτυα (**MANET** - Mobile Ad hoc Networks)
- Οχηματικά ad-hoc δίκτυα (**VANET** - Vehicular Ad-Hoc Networks)
- Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (**WSN** - Wireless Sensor Networks)
- Ασύρματα δίκτυα πλέγματος (**WMN** - Wireless Mesh Networks)

Ένα δίκτυο **MANET** αποτελείται από κόμβους οι οποίοι είναι ελεύθεροι να μετακινηθούν όπου θέλουν. Αυτοί οι κόμβοι μπορούν να βρίσκονται σε αεροπλάνα, πλοία, φορητά, αυτοκίνητα, ακόμα και σε ανθρώπους. Ένα δίκτυο MANET λοιπόν, είναι ένα αυτόνομο σύστημα αποτελούμενο από κινητούς κόμβους, που κινούνται αυθαίρετα.

Τα δίκτυα **VANET** αποτελούν ειδική περίπτωση των δικτύων MANET, όπου κινούμενα οχήματα και το οδικό δίκτυο εξοπλίζονται με ασύρματες συσκευές, με αποτέλεσμα τα οχήματα να μπορούν να επικοινωνούν αναμεταξύ τους αλλά και με το οδικό δίκτυο. Ο κύριος στόχος των VANET είναι να παρέχουν ασφάλεια και άνεση στους επιβάτες. Για το σκοπό αυτό, μια ειδική ηλεκτρονική συσκευή τοποθετείται μέσα σε κάθε όχημα, η οποία παρέχει ad hoc σύνδεση δικτύου για την επικοινωνία των οχημάτων σε μια περιοχή. Το δίκτυο αυτό τείνει να λειτουργεί χωρίς καμία υποδομή. Κάθε όχημα εφοδιασμένο με συσκευή VANET, είναι ένας κόμβος του ad-hoc δικτύου και μπορεί να λαμβάνει και ν' αναμεταδίδει μηνύματα μέσω του ασύρματου δικτύου.

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (**WSN**), αποτελούν μια ακραία μορφή των δικτύων MANET όσον αφορά τον αριθμό των συσκευών-κόμβων, και τις πολύ περιορισμένες δυνατότητές τους. Γύρω από το δίκτυο των αισθητήρων, τοποθετούνται σταθμοί (sinks) που συλλέγουν τις μετρήσεις από τους αισθητήρες και μεταφέρουν τις εντολές από τους ελεγκτές. Έτσι, οι αισθητήρες σχηματίζουν μια δομή που προωθεί πακέτα από τους αισθητήρες προς τους σταθμούς και μεταδίδει πακέτα στο δίκτυο των αισθητήρων από τους σταθμούς.

Τα ασύρματα δίκτυα πλέγματος (**WMN**) αποτελούνται από ομότιμους κόμβους πλέγματος (Mesh Nodes) που συνδέονται μεταξύ τους μέσω ασύρματων ζεύξεων τεχνολογίας WiFi. Οι κόμβοι πλέγματος διαθέτουν πολλαπλές ασύρματες διεπαφές που επιτρέπουν τη διασύνδεση ενός κόμβου με πολλούς άλλους. Κάποιοι από τους κόμβους διαθέτουν ασύρματες διεπαφές για διασύνδεση τερματικών συσκευών (όπως φορητούς υπολογιστές ή υπολογιστές χειρός), ενώ κάποιοι άλλοι διαθέτουν συνδέσεις με το διαδίκτυο. Πολύ απλά σκεφτόμαστε ένα ασύρματο δίκτυο πλέγματος σαν το διαδίκτυο, ένα πολύπλοκο δίκτυο πολλαπλών μονοπατιών και πολλαπλών συνδέσεων, μόνο που στην περίπτωσή μας οι συνδέσεις μεταξύ των κόμβων είναι ασύρματες.

Από τις παραπάνω κατηγορίες, η παρούσα διπλωματική θα ασχοληθεί μόνο με τα κινητά Ad-hoc δίκτυα (MANET). Κάθε φορά που θα χρησιμοποιείται ο όρος ασύρματο Ad-hoc δίκτυο θα εννοούμε ένα κινητό Ad-hoc δίκτυο.

1.6 Δυσκολίες που παρουσιάζουν τα Ad-hoc δίκτυα

Από την φύση του ένα ad-hoc δίκτυο παρουσιάζει δυσκολίες υλοποίησης. Παρακάτω θα παρουσιάσουμε πως τα χαρακτηριστικά ενός τέτοιου δικτύου δημιουργούν προκλήσεις και προβλήματα.

- **Περιορισμένο Εύρος Ζώνης και ποιότητα των ασύρματων ζεύξεων.**

Οι ασύρματες συσκευές – κόμβοι ενός ad-hoc δικτύου επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω περιορισμένου εύρους ζώνης, μη ασφαλή και επιδεκτικά σε σφάλματα, ασύρματα κανάλια, έτσι οι ασύρματες ζεύξεις συνεχίζουν να έχουν χαμηλότερη χωρητικότητα από τα ενσύρματα και με αποτέλεσμα η συμφόρηση πακέτων να οδηγεί σε προβλήματα.

- **Κατανάλωση ενέργειας.**

Σε ένα κινούμενο δίκτυο ad-hoc, οι συσκευές στηρίζονται για τη λειτουργία τους κατά βάση σε μπαταριές ξηρών στοιχείων, με στόχο κάθε υλοποίησης την όσον το δυνατό αποδοτικότερη χρήση της περιορισμένης διαθέσιμης ενέργειας.

- **Έλλειψη σταθερής δικτυακής υποδομής.**

Η έλλειψη σταθερής υποδομής στα ad-hoc δίκτυα σε συνδυασμό με την ασύρματη λειτουργία τους δημιουργεί πολλές προκλήσεις όσον αναφορά τον σχεδιασμό τους σε σχέση με τα ενσύρματα δίκτυα. Επίσης, η απουσία κεντρικής διαχείρισης σημαίνει ότι η διαχείριση του δικτύου θα πρέπει να διανέμεται στους κόμβους, κάτι που δυσκολεύει την ανίχνευση και αντιμετώπιση σφαλμάτων.

- **Δυναμικά μεταβαλλόμενη τοπολογία δικτύου.**

Στα MANET, οι κόμβοι είναι ελεύθεροι να κινούνται αυτόνομα, κάτι που οδηγεί σε συχνές μεταβολές της διαδρομής δρομολόγησης πακέτων και ενδεχόμενη απώλεια τους.

- **Περιορισμοί σε επίπεδο φυσικού μέσου.**

Ο ασύρματος πομποδέκτης κάθε κόμβου κάνει χρήση εκπομπής ευρείας ζώνης (broadcasting) για την μετάδοση πακέτων, και ακόμη έχει περιορισμένη ακτίνα εκπομπής. Τα παραπάνω οδηγούν σε προβλήματα δικτύωσης όπως αυτό του «κρυμμένου και του εκτιθεμένου τερματικού».

Επιπλέον η δρομολόγηση του επικοινωνιακού φόρτου βασιζόμενη στις δυνατότητες ισχύος των κόμβων, είναι ένας τρόπος για το διαχωρισμό των δρομολογητών που έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από κάποιους άλλους.

- **Διαφοροποιήσεις στα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της κάθε συσκευής – κόμβου.**

Η περιορισμένη δυνατότητα παροχής ισχύος των φορητών συσκευών που μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα στην μετάδοση των πακέτων σε ένα κινητό περιβάλλον ad-hoc. Για παράδειγμα διαφορετικής ισχύς πομποδέκτες οδηγούν σε ασύμμετρες ζεύξεις, ενώ το εύρος ζώνης συχνοτήτων εκπομπής ενδέχεται να διαφέρει. Ο σχεδιασμός και υλοποίηση δικτυακών πρωτοκόλλων και αλγορίθμων για τέτοια ετερογενή δίκτυα είναι εξαιρετικά πολύπλοκος.

- **Multicast.**

Το multicast είναι επιθυμητό ώστε να υποστηρίξει ασύρματες επικοινωνίες πολλαπλών χρηστών. Δεδομένου ότι η ιεραρχία multicast δεν είναι πλέον στατική (η τοπολογία του μεταβάλλεται στο χρόνο), το πρωτόκολλο δρομολόγησης multicast θα πρέπει να μπορεί να ανταπεξέλθει με την κινητικότητα αυτή.

- **Ποιότητα Υπηρεσιών.**

Η εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσιών (**Quality of Service –QoS**) είναι απαραίτητη για την επιτυχημένη αποστολή δικτυακής κίνησης πολυμεσικών εφαρμογών.

Οι απαιτήσεις του QoS τυπικά αναφέρονται σε ένα ευρύ φάσμα προδιαγραφών, όπως ρυθμοαπόδοση (throughput), καθυστέρηση (latency) και συχνότητα σφάλματος (error rate).

Τα χαρακτηριστικά των ad hoc δικτύων που αναφέρθηκαν και παραπάνω, θέτουν επιπλέον δυσκολία στην επίτευξη του επιθυμητού QoS.

Σε όρους QoS, είναι ανεπαρκές να θεωρηθεί το QoS μονάχα στο επίπεδο του δικτύου χωρίς να λάβει υπόψη του το υποκείμενο media access control layer.

Λαμβάνοντας υπόψη τα προβλήματα που συσχετίζονται με τη δυναμική των κόμβων, τα κρυμμένα τερματικά και τα μεταβαλλόμενα χαρακτηριστικά των επικοινωνιακών δεσμών, η υποστήριξη end to end QoS είναι θέμα που απαιτεί περισσότερη διερεύνηση.

Προς το παρόν, υπάρχει η τάση για μια προσέγγιση ενός προσαρμόσιμου QoS από μια απλή μέθοδο συγκράτησης πόρων με QoS εγγυήσεις.

Τα παραπάνω επεξηγούνται με μεγαλύτερη ανάλυση στο κεφάλαιο που ακολουθεί καθώς επίσης και οι προκλήσεις παροχής ποιότητας υπηρεσιών.

Κεφάλαιο 2. Ποιότητα Υπηρεσίας (QoS)

2.1 Βασικά χαρακτηριστικά Ποιότητας Υπηρεσίας

Σε αυτό το τμήμα, περιγράφουμε τις πρωταρχικές έννοιες σχετικές με την παροχή **QoS** στα κινητά ad-hoc δίκτυα. Αρχικά την έννοια QoS και έπειτα τις κατηγορίες περιορισμών QoS σαν παραμέτρους QoS ή περιορισμούς QoS.

Ποιότητα υπηρεσίας (QoS) σημαίνει ότι το δίκτυο πρέπει να παρέχει κάποιο είδος εγγύησης ή διαβεβαίωσης για το επίπεδο ή το βαθμό υπηρεσίας που παρέχεται σε μια εφαρμογή. Η πραγματική μορφή QoS και οι παράμετροι QoS που λαμβάνονται υπόψη, εξαρτώνται από τις συγκεκριμένες απαιτήσεις μιας εφαρμογής. Παραδείγματος χάριν, μια εφαρμογή που είναι ευαίσθητη στην καθυστέρηση μπορεί να απαιτήσει QoS από την άποψη των εγγυήσεων καθυστέρησης.

Μερικές εφαρμογές μπορούν να απαιτήσουν ότι τα πακέτα πρέπει να ρέουν με ένα ορισμένο ελάχιστο εύρος ζώνης. Σε εκείνη την περίπτωση, το εύρος ζώνης θα είναι μια παράμετρος QoS. Συγκεκριμένη εφαρμογή μπορεί να απαιτήσει μια εγγύηση ότι τα πακέτα θα παραδίδονται από μια δεδομένη πηγή στον προορισμό αξιόπιστα, κατόπιν, η αξιοπιστία θα είναι μια παράμετρος QoS.

Αν δεν τηρούνται αυτές οι εγγυήσεις, η εφαρμογή θα πρέπει να το αντιμετωπίζει κατάλληλα όπως με το να μην μας επιτρέψει να συνεχίσουμε ή να απαγορεύσει σε άλλους χρήστες να χρησιμοποιήσουν την υπηρεσία έως ότου επανέλθει η ποιότητα σε επιτρεπτά επίπεδα. Αναφέρεται σε μηχανισμούς διασφάλισης της στατικής ανάθεσης δικτυακών πόρων σε συνδέσεις οι οποίες το απαιτούν.

Η ποιότητα υπηρεσιών υλοποιείται με απόδοση προτεραιοτήτων στις διαφορετικές συνδέσεις ενός δικτύου, έτσι ώστε όσες χρειάζονται σταθερούς πόρους όπως εφαρμογές πραγματικού χρόνου π.χ. βιντεοδιάσκεψη ή άλλες υπηρεσίες πολυμέσων να είναι βέβαιο ότι τους διαθέτουν.

Οι εν λόγω πόροι διασφαλίζουν χαρακτηριστικά της σύνδεσης όπως τον απαιτούμενο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, την απαιτούμενη καθυστέρηση, μεταβολή της καθυστέρησης, πιθανότητα απώλειας πακέτων κλπ.

Οι μηχανισμοί ποιότητας υπηρεσιών παρέχουν εγγυήσεις για τη σταθερότητα ενός ή περισσότερων από αυτά τα χαρακτηριστικά της σύνδεσης υπό συνθήκες συμφόρησης και περιορισμένης χωρητικότητας του τηλεπικοινωνιακού καναλιού.

Επίσης η ποιότητα υπηρεσιών είναι απαραίτητη μόνο σε δίκτυα μεταγωγής πακέτων, αφού σε δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος ο τύπος και τα χαρακτηριστικά κάθε σύνδεσης γίνονται αντικείμενο διαπραγμάτευσης κατά εγκαθίδρυση της τελευταίας και παραμένουν σταθερά μέχρι τον τερματισμό της.

Το ζήτημα της ποιότητας υπηρεσιών δεν εισήχθη πρώτα στα ad hoc δίκτυα αλλά υπήρχε και είχε μελετηθεί και στα παραδοσιακά δίκτυα.

Εκείνο όμως που πρέπει να σημειωθεί είναι ότι λόγω της συνεχής μεταβολής της τοπολογίας του δικτύου το πρόβλημα είναι πιο δύσκολο. Όπως λέει και η έκφραση, η ποιότητα των υπηρεσιών αναφέρεται στο ποσοστό που ικανοποιείται ο χρήστης από τις υπηρεσίες που παρέχονται από το επικοινωνιακό σύστημα (δίκτυο).

Ο στόχος είναι να μπορέσει να υπάρξει μια όσο το δυνατόν προβλέψιμη συμπεριφορά ώστε να μπορέσει ο κατασκευαστής να εγγυηθεί κατώτατα όρια στις υπηρεσίες που προσφέρει το δίκτυο.

Το πρόβλημα εντοπίζεται στο ότι στα ad hoc δίκτυα, στις περισσότερες περιπτώσεις, δεν υπάρχει διαθέσιμη έγκυρη πληροφορία για τη κατάσταση του δικτύου (λόγω της κινητικότητας των κόμβων), όπως επίσης και στο ότι η QoS εξαρτάται και από τα χαρακτηριστικά όλων των components του δικτύου, από τους συνδέσμους μετάδοσης (μεταβλητή χωρητικότητα και υψηλός ρυθμός λαθών) μέχρι το MAC και το network επίπεδο.

Έτσι η εγγύηση για ποιότητα υπηρεσιών μπορεί να είναι αδύνατη αφού υπάρχει έλλειψη γνώσης της κατάστασης του δικτύου καθώς επίσης και των διαθέσιμων πόρων που διαθέτει ανά πάσα στιγμή το δίκτυο.

Τέλος θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η εξυπηρέτηση με βάση την QoS πρέπει να γίνεται ανάλογα με τις απαιτήσεις του κάθε χρήστη και όχι γενικά για όλους τους χρήστες. Η ποιότητα της υπηρεσίας (QoS) που προσφέρεται στο χρήστη πρέπει να είναι αρκετά σταθερή και δεν πρέπει να υποβιβάζεται κατά τη διάρκεια της μετακίνησής του μέσα στο δίκτυο.

Η ανάγκη ενσωμάτωσης ασύρματων πλατφορμών με την υπάρχουσα σταθερή δικτυακή υποδομή είναι γεγονός. Οι πελάτες τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών αναμένουν να έχουν τις ίδιες υπηρεσίες που τους παρέχει το σταθερό δίκτυο στις ασύρματες συσκευές τους, και μάλιστα με την ίδια ποιότητα (QoS).

Εντούτοις, το QoS είναι μια ευρεία έννοια που καλύπτει πολλές πτυχές του δικτύου (δηλ., διαφορετικά στρώματα και τμήματα του δικτύου) και των υποστηριγμένων υπηρεσιών του. Επομένως, σε πολλές περιπτώσεις είναι δύσκολο να αξιολογηθεί το προσφερόμενο QoS με ντετερμινιστικό τρόπο.

Όσον αφορά την επόμενη γενιά των κινητών συστημάτων, η ανάγκη για βελτίωση της κάλυψης, της χωρητικότητας των συστημάτων και της ποιότητας των υπηρεσιών γίνεται όλο και περισσότερο σημαντική. Διαφορετικές κατηγορίες υπηρεσιών έχουν διαφορετικές απαιτήσεις QoS και οι μελλοντικές υπηρεσίες θα έχουν επίσης ευρέως διαφορετικές απαιτήσεις QoS.

Το δίκτυο πρέπει να χειριστεί αυτές τις απαιτήσεις προκειμένου να ικανοποιήσει τους τελικούς χρήστες χωρίς σπατάλη των πόρων του. Επιπλέον, για να έχει νόημα, η παροχή QoS πρέπει να γίνεται από το ένα άκρο στο άλλο (δηλ., από την υπηρεσία μέχρι το τερματικό).

2.2 Μετρικές

Οι περιορισμοί QoS περιλαμβάνουν το διαθέσιμο εύρος ζώνης, την απ' άκρη σε άκρη καθυστέρηση, τις διακυμάνσεις καθυστέρησης ή jitter, την πιθανότητα της απώλειας πακέτων, κ.λπ.. Εν συνεχεία περιγράφουμε εν συντομία τις γενικές κατηγορίες περιορισμών QoS.

Μια από τις μεγαλύτερες σχεδιαστικές προκλήσεις είναι η παροχή ποιότητας υπηρεσίας από άκρη σε άκρη για μεγάλο αριθμό ενεργών συνδέσεων.

Λύσεις στο πρόβλημα της ποιότητας υπηρεσίας, που απαιτούν μεγάλο όγκο πληροφορίας για την κατάσταση κάθε ροής πακέτων και μεγάλη υπολογιστική ισχύ από τις μηχανές προώθησής τους, δεν θα μπορούν να δώσουν μια πραγματική απάντηση, καθώς ο αριθμός των χρηστών που απαιτούν QoS θα αυξάνεται.

Το πρόβλημα αυτό είναι κυρίως πιο έντονο στους δρομολογητές-κινητά τερματικά των ad hoc δικτύων, που είναι αναγκασμένοι να προωθούν χιλιάδες ροές με υψηλές ταχύτητες μετάδοσης.

Η βασική απαίτηση για ποιότητα υπηρεσίας οποιασδήποτε εφαρμογής είναι η διασφάλιση (assurance) ορισμένων παραμέτρων κίνησης.

2.2.1 Ρυθμοαπόδοση (throughput)

Σκοπός κάθε πρωτοκόλλου δρομολόγησης είναι να μεγιστοποιήσει τον αριθμό των bits που μεταδίδονται διατηρώντας παράλληλα στην ελάχιστη δυνατή τιμή την μέση καθυστέρηση παράδοσης.

Η ρυθμοαπόδοση συνήθως ορίζεται ως ο συνολικός αριθμός bit δεδομένων που παραδόθηκαν στον προορισμό προς τον συνολικό χρόνο που απαιτήθηκε για την παράδοσή τους.

2.2.2 Εύρος ζώνης (bandwidth)

Είναι ένας σημαντικός παράγοντας, αφού θα καθορίσει το ρυθμό μετάδοσης της σύνδεσης.

Αυτό καθορίζει πόση κίνηση μπορεί να ανεχτεί η εφαρμογή μέσα στο δίκτυο.

Ορισμένες εφαρμογές, μπορούν να μειώσουν το ποσοστό της κίνησης όταν υπάρχουν ενδείξεις ότι το throughput βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα. Τέτοιες εφαρμογές ονομάζονται rate adaptive. Το bandwidth είναι ο μέγιστος ρυθμός μεταφοράς δεδομένων ο οποίος μπορεί να εγκαθιδρυθεί μεταξύ δύο σημείων.

Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτό δεν περιορίζεται μόνο από τη φυσική εσωτερική δόμηση του μονοπατιού που δημιουργείται μεταξύ των επικοινωνούντων δικτύων και παρέχει ένα ανώτατο όριο στο bandwidth που μπορεί να προσφέρει, αλλά επηρεάζεται επίσης από τον αριθμό των άλλων ροών δεδομένων που μοιράζονται κοινούς συντελεστές του ίδιου μονοπατιού.

Το bandwidth που κρατείται για κάποια εφαρμογή δεν είναι πλέον ελεύθερο για τις best effort υπηρεσίες.

Η προτεραιότητα των QoS σχεδιαστών ήταν να διασφαλίσουν ότι το best effort traffic δεν θα παρουσιάζει φαινόμενα παρατεταμένης στέρησης μετά τις κρατήσεις που έχουν γίνει.

Η χειρότερη περίπτωση πρέπει να είναι οι υπηρεσίες με low priority στις οποίες απλά θα προσφέρονται λιγότερες υπηρεσίες μεν, αλλά θα τους προσφέρονται. Οι μη ελαστικές εφαρμογές απαιτούν υψηλό εύρος ζώνης ώστε να μεταδίδονται σε πραγματικό χρόνο

Σε περίπτωση που το ελάχιστο απαιτούμενο εύρος ζώνης δεν μπορεί να δεσμευτεί είναι προτιμότερο τα πακέτα δεδομένων να μην εκπεμφθούν καν, αφού ουσιαστικά, αν δεν χαθούν στην διαδρομή, θα φτάσουν στον προορισμό τους λανθασμένα ή καθυστερημένα επιβαρύνοντας το δίκτυο, καθώς σπαταλούν άδικα ενέργεια και εφαρμογές.

Η καθυστέρηση που υφίστανται τα πακέτα λόγω της κίνησης στο δίκτυο είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει αισθητά το QoS. Διάφοροι παράγοντες καθυστέρησης, έχουν διαφορετική επίδραση σε διαφορετικά είδη υπηρεσιών :

2.2.3 End-to-end delay:

Είναι το χρονικό διάστημα της μεταφοράς του πακέτου από τον αποστολέα στον παραλήπτη, μέσω του δικτύου. Όσο πιο μεγάλο είναι το delay, τόσο πιο μεγάλη είναι η πίεση που υποβάλλεται στο πρωτόκολλο μεταφοράς για να λειτουργήσει αποδοτικά.

Όταν το δίκτυο δεν είναι φορτωμένο, δηλαδή η χωρητικότητα του κυκλώματος είναι μεγαλύτερη (αρκετά) από την διακινούμενη κυκλοφορία, τότε η καθυστέρηση είναι μικρή. Αλλά όταν το δίκτυο είναι "φορτωμένο", δηλαδή η χωρητικότητα του κυκλώματος είναι μικρότερη από τα δεδομένα που πρέπει να περάσουν, τότε τα δεδομένα πρέπει να περιμένουν στην ουρά (ή ουρές) και έχουμε καθυστέρηση.

Η καθυστέρηση μετριέται σε ms. Συνήθως σε επίπεδο τοπικού δικτύου, ή κατευθείαν στον πάροχο, ο χρόνος είναι κάτω από 50 ms, και ουσιαστικά η καθυστέρηση αυτή δημιουργείται από την ταχύτητα μετάδοσης, το μέγεθος του πακέτου, και την ταχύτητα του εξοπλισμού στην διαμεταγωγή (switches / routers κλπ). Αυτό είναι ανάλογο του χρόνου που απαιτείται από τον ταμιά της τράπεζας για να σας εξυπηρετήσει. Όταν λοιπόν αρχίσουμε να έχουμε καθυστέρηση, τότε ο χρόνος γίνεται 100, 200, 500 και μπορεί να φτάσει και ακόμη μεγαλύτερους χρόνους. Όταν λοιπόν συμβαίνει αυτό, τότε αρκετές εφαρμογές, και ειδικά αυτές που είναι Playback δηλαδή παίζουν ήχο ή βίντεο για παράδειγμα έχουν σοβαρό πρόβλημα. Αυτό συμβαίνει γιατί, η εφαρμογή πρέπει να "παίζει" ταυτόχρονα με τον αποστολέα.

Για το πρωτόκολλο TCP, τα ψηλά επίπεδα καθυστέρησης υπονοούν μεγαλύτερα ποσά δεδομένων που κρατούνται στο δίκτυο εν αναμονή, πράγμα που σημαίνει ότι θα υπάρχει πίεση στους timers και στους counters που σχετίζονται με το πρωτόκολλο. Πρέπει να σημειωθεί ότι το TCP είναι ένα πρωτόκολλο με "αυτορυθμιζόμενο ρολόι". Ο ρυθμός μετάδοσης του αποστολέα προσαρμόζεται δυναμικά με την ροή των σημάτων πληροφορίας που έρχονται από τον παραλήπτη, μέσω της αντίστροφης κατεύθυνσης των acknowledgments (ACK), που ειδοποιούν τον αποστολέα ότι τα δεδομένα έχουν παραλειφθεί επιτυχώς.

Όσο πιο μεγάλη είναι η καθυστέρηση μεταξύ του αποστολέα και του παραλήπτη, τόσο πιο μη ευαίσθητο είναι το πρωτόκολλο σε μικρού χρονικού διαστήματος, δυναμικές αλλαγές στην φόρτιση του δικτύου.

2.2.4 Διακύμανση καθυστέρησης (Jitter).

Το jitter είναι η διακύμανση της καθυστέρησης. Αναφέρεται στην ποικιλία της χρονικής διάρκειας μεταξύ όλων των πακέτων της ίδιας ακολουθίας που ακολουθούν τον ίδιο router.

Όταν λοιπόν έχουμε σχετικά μεγάλη καθυστέρηση στα πακέτα (latency), πολλές εφαρμογές (που είναι ευαίσθητες σε αυτό) μπορούν να το πάρουν αυτό υπόψη τους και να προσαρμοστούν ανάλογα. Αλλά όταν όμως το latency διαφέρει και αλλάζει συνεχώς, τότε το πρόβλημα γίνεται πολύπλοκο και δεν μπορεί η εφαρμογή να ανταποκριθεί.

Το jitter παρουσιάζεται όταν έχουμε μεγάλες διακυμάνσεις υπερφόρτωσης των κυκλωμάτων. Δηλαδή μπουκώνει η γραμμή και ανεβαίνει η καθυστέρηση, και μετά από λίγο ξεμπουκώνει.

Εφόσον λοιπόν μπουκώνει - ξεμπουκώνει η γραμμή, εμφανίζονται διακυμάνσεις στην καθυστέρηση και το φαινόμενο jitter. Με μαθηματικούς όρους, το jitter μετρείται σαν η απόλυτη τιμή της πρώτης παραγώγου της ακολουθίας των ατομικών μέτρων καθυστέρησης. Ψηλά επίπεδα jitter, δεν μπορούν να γίνουν αποδεκτά από σε εφαρμογές που βασίζονται στο UDP και είναι εφαρμογές πραγματικού χρόνου, όπως για παράδειγμα το audio ή το video signal.

Οι διαλογικές εφαρμογές πραγματικού χρόνου (Interactive Real Time applications), όπως για παράδειγμα η μεταφορά ήχου, είναι ευαίσθητες στο end-to-end delay και στο jitter. Οι μεγάλες καθυστερήσεις έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση της διαλογικότητας στην επικοινωνία. Μη διαλογικές εφαρμογές πραγματικού χρόνου (non-interactive real time applications), όπως για παράδειγμα εκπομπή μονής κατεύθυνσης (one-way broadcast), δεν είναι ευαίσθητες ως προς το end-to-end delay αλλά επηρεάζονται από το jitter.

Το jitter συνήθως διευθετείται με την χρησιμοποίηση ενός buffer στον παραλήπτη, όπου αποθηκεύονται τα παραλαμβανόμενα πακέτα και “παίζονται” (εκτελούνται) στην κατάλληλη χρονική μετατόπιση (time offset). Η χρονική μετατόπιση – που ονομάζεται επίσης και “playback point” – καθορίζεται σύμφωνα με το μέγιστο jitter. Εφαρμογές οι οποίες μπορούν να προσαρμόσουν το “playback point” βασισμένες στις αλλαγές της τιμής του jitter ονομάζονται προσαρμοζόμενες εφαρμογές (adaptive applications).

Πακέτα που φτάνουν στον παραλήπτη αφού περάσει το “playback point” που τους αντιστοιχεί, δεν είναι χρήσιμα ως προς την εφαρμογή. Στις μη-ελαστικές εφαρμογές θέλουμε μικρή διακύμανση της καθυστέρησης γιατί αν είναι μεγάλη η τιμή της τότε, π.χ. σε περίπτωση μετάδοσης συνεχούς ροής βίντεο άλλα πακέτα θα φτάνουν πιο γρήγορα από άλλα, με αποτέλεσμα η εικόνα να παραμορφωθεί και ο ήχος να υποστεί τέτοια αλλοίωση που μην είναι καν δυνατή η αναπαραγωγή του.

Οι εφαρμογές που δεν είναι πραγματικού χρόνου, συνήθως δεν επηρεάζονται από τυχόν καθυστερήσεις.

Εντούτοις, επειδή αυτές οι εφαρμογές μπορεί να χρησιμοποιήσουν την καθυστέρηση ως μέτρο για να ελέγξουν τα ποσοστά της κίνησης στο δίκτυο (π.χ. TCP), ή μπορεί να χρειαστεί να φυλάξουν προσωρινά δεδομένα μέχρι αυτά να γίνουν acknowledged (π.χ. FTP), γι’ αυτό μεγάλες καθυστερήσεις μπορούν επίσης να επηρεάσουν το QoS των εφαρμογών αυτών.

Υπάρχουν διάφοροι παράμετροι που επηρεάζουν το end-to-end delay :

- Καθυστέρηση Μετάδοσης (**Transmission Delay**) Ο χρόνος που χρειάζεται για να μεταφέρουμε όλα τα bits του πακέτου πάνω στην σύνδεση.
- Καθυστέρηση Διάδοσης (**Propagation Delay**) Ο χρόνος που χρειάζεται ένα bit για να διασχίσει την σύνδεση μέσω της οποίας γίνεται η μεταφορά δεδομένων.
- Καθυστέρηση Επεξεργασίας (**Processing Delay**) Ο χρόνος που χρειάζεται για επεξεργασία πακέτου και μετατροπή του σε στοιχείο δικτύου (network element).
- Καθυστέρηση Ουράς (**Queuing Delay**) Ο χρόνος που πρέπει να περιμένει το πακέτο στην ουρά πριν να προγραμματιστεί η μετάδοση του.

Καθυστερήσεις μπορούν επίσης να υπάρχουν στην μεταφορά του πακέτου από το επίπεδο δικτύου στο επίπεδο εφαρμογής και τελικά στον χρήστη.

2.2.5 Απώλειες πακέτων (packet loss)

Οι καθυστερήσεις ουρών (queuing delays) οδηγούν στην απώλεια πακέτων και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέτρο για μέτρηση απόδοσης από άκρο σε άκρο. Όπως είπαμε και πριν οι συσκευές διαμεταγωγής μπορεί να διαγράψουν πακέτα. Όταν λοιπόν έχουμε διαγραφή πακέτων, λόγω υπερφόρτωσης των κυκλωμάτων, τότε έχουμε απώλειες. Κάποια πρωτόκολλα το αντιμετωπίζουν αυτό (πχ TCP) και έτσι όταν υπάρχουν απώλειες (με απλά λόγια) ο αποδέκτης μπορεί να ζητήσει από τον αποστολέα να του ξαναστείλει τα χαμένα πακέτα και να χαμηλώσει τον ρυθμό μετάδοσης.

Κάποια άλλα πρωτόκολλα δεν είναι τόσο έξυπνα όπως το TCP, για να είναι όσο το δυνατόν πιο γρήγορα (μικρότερο latency, μικρότερο overhead πακέτου κλπ) και τα χρησιμοποιούν εφαρμογές που συνήθως θέλουν συγκεκριμένο σταθερό bandwidth (cbr - constant bit rate).

Συνήθως τέτοιες εφαρμογές είναι εφαρμογές φωνής / ήχου, και συνήθως στηρίζονται στο πρωτόκολλο UDP. Σε αυτές τις εφαρμογές, απώλεια πακέτου δε σημαίνει μόνο ότι ένα πακέτο δεν έφτασε ποτέ στον προορισμό του, αλλά και ότι έφτασε μετά από τον προγραμματιζόμενο χρόνο αναπαραγωγής του. Η αναμετάδοση ενός χαμένου πακέτου δεν είναι μια πρακτική κατάλληλη για εφαρμογές πραγματικού χρόνου.

Για τον λόγο αυτό, οι απώλειες πακέτων πρέπει να είναι σχετικά μικρές ώστε να διατηρηθεί ένα αποδεκτό επίπεδο στην ποιότητα των εφαρμογών αυτών. Προτιμούν το UDP γιατί είναι ελαφρύ και γρήγορο, γιατί δεν θέλουν την αναμετάδοση των πακέτων και έχει μικρό latency. Χρησιμοποιούν πάνω από το UDP το RTP για το sequencing των πακέτων (να μπαίνουν στην σειρά κατά την λήψη, γιατί μπορεί να έρθει το νούμερο 2 πακέτο πριν το νούμερο 1).

Αλλά το UDP όμως έχει τα δικά του προβλήματα. Δεν ανταποκρίνεται στο μπουκώμα. Όταν αρχίσουν να διαγράφονται πακέτα λόγω συνοχής, δεν μπορεί να συμμορφωθεί (όπως το TCP) και να χαμηλώσει τον ρυθμό μετάδοσης. Αντίθετα διατηρεί μια σταθερή ροή πακέτων, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής, που συνεχίζουν να μπουκώνουν τους δρομολογητές, και να διαγράφονται πακέτα.

Αξιοπιστία : μπορεί να θεωρηθεί σαν ο μέσος όρος σφάλματος στο μέσο.

Η αξιοπιστία μπορεί να θεωρηθεί ότι παράγεται από το switching system υπό την έννοια ότι αν το τελευταίο έχει φτωχή διαμόρφωση ή φτωχή εκτέλεση, τότε μπορεί να αλλάξει την σειρά των πακέτων που μεταφέρονται, και να τα παραδώσει στον παραλήπτη με διαφορετική σειρά από αυτή που πραγματικά τα μετάδωσε ο αποστολέας ή μπορεί ακόμη να χαθούν πακέτα κατά την μεταφορά τους από τον ένα router στον άλλο.

Η αναξιοπιστία μπορεί να προκαλέσει την αναμετάδοση των πακέτων. Το TCP δεν μπορεί να διακρίνει αν ένα πακέτο χάθηκε λόγω διακοπής στην μεταφορά ή λόγω της συμφόρησης στο δίκτυο. Γι' αυτό όταν χαθεί ένα πακέτο λόγω διακοπής, ο αποστολέας συμπεριφέρεται με τον ίδιο τρόπο που συμπεριφέρεται όταν υπάρχει συμφόρηση .

Ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων του αποστολέα δηλαδή μειώνεται με την ενεργοποίηση των αλγορίθμων αποφυγής συμφόρησης, παρόλο που δεν παρατηρήθηκε συμφόρηση στο δίκτυο.

Στην περίπτωση του UDP, εφαρμογές που βασίζονται στον ήχο και στο video, η αναξιοπιστία προκαλεί παραμόρφωση του πραγματικού αναλογικού σήματος στο άκρο του παραλήπτη. Ανάλογα, όταν αναφερόμαστε στην διαφοροποίηση ποιότητας υπηρεσίας, αναφερόμαστε στην διαφοροποίηση ενός ή περισσότερων, από τους τέσσερις συντελεστές μέτρησης της ποιότητας για μια συγκεκριμένη κατηγορία του traffic.

Άλλες σημαντικές παράμετροι:

Κατανάλωση Ισχύος (*power consumption*): Μετράει την κατανάλωση ισχύος των κόμβων εξαιτίας της επικοινωνίας

Κόστος δρομολόγησης (*routing overhead*): Κάθε πόρους του συστήματος που δεν χρησιμοποιείται αυστηρά για την μετάδοση των πραγματικών δεδομένων. Για παράδειγμα ο αριθμός των bit ελέγχου στην κεφαλίδα κάθε πακέτου μπορεί να θεωρηθεί σαν κόστος. Συνήθως, αυτό που χαρακτηρίζεται σαν κόστος δρομολόγησης στα MANET είναι ο αριθμός των πακέτων που μεταδίδονται και δεν περιέχουν δεδομένα.

Ρυθμός παράδοσης (*delivery rate*): Αφορά τον αριθμό των πακέτων (ή των bit) που παραδίδονται σωστά προς τον αριθμό των συνολικά απεσταλμένων πακέτων. Αποτελεί μια καλή ένδειξη για την αποτελεσματικότητα του πρωτοκόλλου δρομολόγησης.

Μήκος δρομολογίων (*routes' length*): Μετράει το μήκος των μονοπατιών που επιλέγει ο αλγόριθμος (σε μονάδες της χρησιμοποιούμενης μετρικής). Έχει ενδιαφέρον σε περιπτώσεις αλγορίθμων που προσπαθούν να βρουν συντομότερες διαδρομές. Επίσης μπορεί να εκφραστεί και με την μορφή της διαφοράς του μήκους του μονοπατιού από το βέλτιστο δυνατό (εφόσον ο προσομοιωτής παρέχει αυτή την πληροφορία).

Κατανάλωση Ισχύος (*power consumption*): Μετράει την κατανάλωση ισχύος των κόμβων εξαιτίας της επικοινωνίας. Όσον αφορά τις ροές πολυμέσων η παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσίας και ο έλεγχος της είναι πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό. Ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει είναι ο χρόνος.

Τέτοιες εφαρμογές εξαρτώνται από τη χρονική σειρά των πακέτων καθώς πρέπει να καταφθάνουν και να επεξεργάζονται με την ίδια σειρά που αποστέλλονται.

Η αποστολή τους εκ νέου δεν εξυπηρετεί κανένα σκοπό αφού θα φτάσουν εκτός του χρόνου που έπρεπε να τύχουν επεξεργασίας και άρα θα απορριφθούν.

Αν οι απώλειες είναι αρκετές τότε η ποιότητα υπηρεσίας θα είναι πολύ Χαμηλή αφού η βίντεο ροή θα έχει γίνει.

Φυσικά ανάλογα με το πρωτόκολλο ή την εφαρμογή που προσομοιώνουμε μπορεί να χρειάζεται να μετρηθούν και διάφορα άλλα χαρακτηριστικά του δικτύου, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση εφαρμογών βίντεο, η τιμή του jitter, η οποία μετράει την διακύμανση της από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρησης.

2.3 Κατηγορίες μετρικών

Ένας περιορισμός καθιστά την εργασία ενός πρωτοκόλλου πιο αγωγική σε σύγκριση με το σενάριο όταν δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός που να διευκρινίζεται.

Παραδείγματος χάριν, στην περίπτωση της δρομολόγησης, μια διαδρομή θα εξεταστεί εάν ικανοποιεί τους διευκρινισμένους περιορισμούς.

Η γενική αξία ενός περιορισμού από την πηγή στον προορισμό μπορεί να εκφραστεί από την άποψη των τιμών των συστατικών του.

Έστω ότι υπάρχει ένα μονοπάτι multihop μεταξύ των κόμβων u και v που αποτελούνται από τους κόμβους u_1, u_2, \dots, u_k . Το $c(i, j)$ δείχνει την τιμή του περιορισμού c μεταξύ των κόμβων i και j ή της ζεύξης (i, j) .

Εναλλακτικά, η τιμή ενός περιορισμού κατά μήκος μιας πορείας εξαρτάται από τις μεμονωμένες τιμές του περιορισμού κατά μήκος των συνδέσεων που διαμορφώνουν την πορεία.

Βασισμένα στον τρόπο με τον οποίο οι τιμές των περιορισμών των μονοπατιών συσχετίζονται με τις τιμές των αντίστοιχων περιορισμών των ζεύξεών τους, οι περιορισμοί QoS ταξινομούνται στις ακόλουθες τρεις ευρείες κατηγορίες:

- **Additive:** Ένας περιορισμός, του οποίου η γενική τιμή είναι το άθροισμα των τιμών των συστατικών του. Με άλλα λόγια,

$$c(u, v) = c(u, u_1) + c(u_1, u_2) + \dots + c(u_k, v).$$

Παραδείγματος χάριν η καθυστέρηση, το jitter, αριθμός των αλμάτων είναι additive περιορισμοί.

- **Multiplicative:** Ένας περιορισμός, του οποίου η προκύπτουσα τιμή είναι ένα προϊόν των τιμών των συστατικών του. Με άλλα λόγια,

$$c(u, v) = c(u, u_1) \cdot c(u_1, u_2) \cdot \dots \cdot c(u_k, v).$$

Παραδείγματος χάριν, η αξιοπιστία, και η πιθανότητα της απώλειας πακέτων είναι multiplicative περιορισμοί.

- **Concave:** Ένας περιορισμός είναι κοίλος εάν

$$c(u, v) = \min \{c(u, u_1) + c(u_1, u_2) + \dots + c(u_k, v)\}.$$

Παραδείγματος χάριν, το εύρος ζώνης κατά μήκος μιας διαδρομής είναι το ελάχιστο από το εύρος ζώνης των ζεύξεων που αποτελούν την διαδρομή. Επομένως, το εύρος ζώνης είναι ένας concave περιορισμός QoS.

2.4 NP και P προβλήματα

Σημειώστε ότι μερικές φορές κάποιος μπορεί να μην είναι σε θέση να επινοήσει τις μεθόδους για να προσδιορίσει τα μονοπάτια που ικανοποιούν έναν συνδυασμό περιορισμών QoS.

Με άλλα λόγια, μπορεί να υπάρξει ένας συνδυασμός περιορισμών QoS που να μην μπορεί να ικανοποιηθεί από έναν βασικό αλγόριθμο σε ένα λογικό χρονικό διάστημα.

Ένα τέτοιο πρόβλημα περιέρχεται σε μια συγκεκριμένη κατηγορία προβλημάτων αποκαλούμενων NP-πλήρη προβλημάτων.

Εάν ένας συνδυασμός περιορισμών QoS μπορεί να ικανοποιηθεί μέσα σε ένα λογικό χρονικό διάστημα, τότε ένα τέτοιο πρόβλημα λέγεται ότι είναι ένα πολυωνυμικό πρόβλημα (P).

Υπάρχει μια συγκεκριμένη διαδικασία για να καθοριστεί εάν ένα πρόβλημα είναι στο P ή NP.

Το σχήμα 7 παρουσιάζει εικονογραφημένη αντιπροσώπευση των περιορισμών QoS και των συνδυασμών τους που εμπίπτουν στις κατηγορίες των NP και P προβλημάτων.

Τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται είναι τα ακόλουθα: A για τους Additive περιορισμούς, M για τους Multiplicative, και C για τους Concave.

Σημειώστε ότι η εύρεση μιας βέλτιστης διαδρομής υπαγόμενης σε έναν συνδυασμό δύο ή περισσότερων Additive ή/και Multiplicative περιορισμών είναι ένα πλήρες πρόβλημα NP.

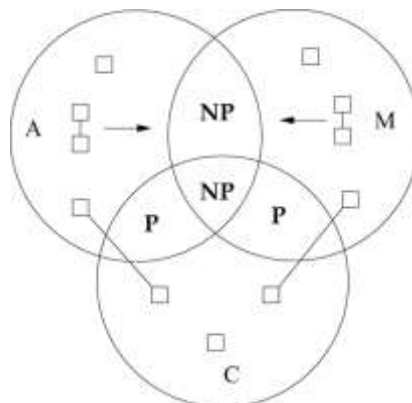
Κατά συνέπεια, το πρόβλημα οποιοδήποτε συνδυασμού δύο ή περισσότερων παραμέτρων QoS (όπως η καθυστέρηση, το jitter, αριθμός αλμάτων, και η πιθανότητα απώλειας) είναι ένα NP-πλήρες πρόβλημα.

Οι μόνοι συνδυασμοί παραμέτρων QoS ή μετρικών που είναι υπολογιστικά εφικτοί είναι το εύρος ζώνης (που είναι ένας concave περιορισμός) και οποιοδήποτε από τους Additive/Multiplicative περιορισμούς που προαναφέρθηκαν.

Εντούτοις, οι αλγόριθμοι προσέγγισης υπάρχουν για έναν συνδυασμό δύο ή περισσότερων περιορισμών. Περαιτέρω, μια συνήθως χρησιμοποιημένη μέθοδος για να ικανοποιηθούν πολλαπλοί περιορισμοί είναι το διαδοχικό φιλτράρισμα.

Στο διαδοχικό φιλτράρισμα, ο πρώτος εξετάζει εάν οι διαδρομές μεταξύ μιας δεδομένης πηγής και ενός προορισμού ικανοποιούν έναν περιορισμό QoS.

Το υποσύνολο των διαδρομών που ικανοποιούν τον πρώτο περιορισμό QoS εξετάζονται περαιτέρω εάν ικανοποιούν και το δεύτερο περιορισμό QoS, και ούτω καθεξής.



Σχήμα 7

Περιορισμοί και ο συνδυασμός αυτών που βρίσκονται στα P ή NP-πλήρη προβλήματα

Αυτές είναι γενικές αρχές που μπορούν να ισχύσουν για οποιοδήποτε δίκτυο για την παροχή QoS ανεξάρτητα από εάν το δίκτυο συνδέεται με καλώδιο ή είναι ασύρματο, και εάν το δίκτυο κατέχει μια υποδομή ή όχι.

2.5 Θέματα σχεδιασμού-Μετρικές που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό QoS

- Ελάχιστη απαιτούμενη ρυθμοαπόδοση ή Χωρητικότητα (b / s). Το επιθυμητό throughput για τα δεδομένα μιας εφαρμογής.

- Μέγιστη ανεκτή καθυστέρηση. Συνήθως ορίζεται ως η μέγιστο ανεκτό όριο end-to-end (πηγή στον προορισμό) καθυστέρηση για τα πακέτα δεδομένων.

- Μέγιστη ανεκτή διακύμανση καθυστέρησης. Ένας ευρέως αποδεκτός ορισμός είναι η διαφορά μεταξύ του άνω όριο της end-to-end καθυστέρησης με την ελάχιστη καθυστέρηση. Ο πρώτος όρος περιλαμβάνει την καθυστέρηση αναμονής σε κάθε κόμβο και ο τελευταίος καθορίζεται από τη καθυστέρηση διάδοσης και το χρόνο μετάδοσης ενός πακέτου. Ο χρόνος μετάδοσης μεταξύ δύο κόμβων είναι απλά το μέγεθος του πακέτου σε bits / τη χωρητικότητα καναλιού.

- Μέγιστο ανεκτό ποσοστό απώλειας πακέτων. Το αποδεκτό ποσοστό επί τις εκατό των συνολικά πακέτων που στάλθηκαν , τα οποία δεν εισπράχθηκαν από το πράκτορα του επίπεδου μεταφοράς και πάνω στο τελικό κόμβο προορισμού του πακέτου.

Μια εφαρμογή συνήθως κάνει αίτηση για ένα συγκεκριμένο είδος ποιότητας υπηρεσίας προσδιορίζοντας τις απαιτήσεις της σε όρους ενός η περισσότερων των παραπάνω μετρήσεων. Για παράδειγμα, μπορεί να απαιτεί ένα εγγυημένο throughput των 500 KB / s και μια μέγιστη καθυστέρηση πακέτου των 50 ms.

Στις περισσότερες περιπτώσεις πρωτόκολλο QoS θα πρέπει να δέχεται μόνο αυτά τα δεδομένων της συνεδρίας στο δίκτυο εάν μπορεί να παρέχει τις αιτούμενες υπηρεσίες. Ο μηχανισμός με τον οποίο αυτή η απόφαση λαμβάνεται ονομάζεται συνεδρία έλεγχου εισόδου (SAC) ή απλά έλεγχος εισόδου.

Κεφάλαιο 3.

Προκλήσεις Ποιότητας Υπηρεσίας σε ένα Ad-hoc δίκτυο

3.1 Προβλήματα παροχής Ποιότητας Υπηρεσίας σε ένα Ad-hoc δίκτυο

Εξετάζοντας τα MANETS (Mobile Ad hoc NETworks) από την πλευρά της ποιότητας υπηρεσιών (QoS) που μπορούν να επιτύχουν, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η διατήρηση ενός ικανοποιητικού επίπεδου QoS συναντά εμπόδια, εξαιτίας των περιορισμών που τίθενται στο διαθέσιμο εύρος ζώνης συχνοτήτων, στις ζεύξεις μεταξύ κόμβων, αλλά και από το ίδιο το φυσικό κανάλι εκπομπής.

Ακόμη, η συνεχής αλλαγή της τοπολογίας του δικτύου σημαίνει πως η παροχή QoS είναι αρκετά δυσκολότερη παρότι σε ενσύρματα δίκτυα στα οποία τίθενται στατικοί περιορισμοί όπως μνήμης και υπολογιστικής ισχύος.

Με τον όρο ποιότητα υπηρεσιών (Quality of Service) στον τομέα των τηλεπικοινωνιών και των δικτύων εννοούμε την ικανότητα ενός δικτύου ή μιας εφαρμογής δικτύου να μας δώσει εγγυήσεις για την ποιότητα υπηρεσιών που έχουμε ζητήσει.

Οι QoS εγγυήσεις απαιτούνται από τις περισσότερες εφαρμογές πολυμέσων καθώς και από άλλες χρονικά μεταβαλλόμενες και ευαίσθητες σε λάθη εφαρμογές. Οι δυσκολίες στην παροχή αυτών των εγγυήσεων έχουν περιορίσει την χρησιμότητα των MANETs.

Πολλές ελπίδες για την αυθόρμητη και σταθερή ασύρματη επικοινωνία έχουν τεθεί στα MANETs εξαιτίας της αποκεντρωμένης φύσης τους, το γεγονός ότι είναι αυτορρυθμιζόμενα, και την δυναμική φύση, η οποία αποφεύγει την ανάγκη για μια δαπανηρή υποδομή σταθμού βάσης. Παρά το ευρύ φάσμα των τεχνολογικών λύσεων για τα MANETs, η πρακτική τους εφαρμογή και χρήση στο πραγματικό κόσμο έχει περιοριστεί μέχρι στιγμής.

Δεδομένου ότι η διασκέδαση και άλλες υπηρεσίες πολυμέσων είναι συνήθως ότι ζητάει η μάζα, συνάγεται ότι για να συνειδητοποιήσουμε πραγματικά τις δυνατότητες των MANETs, θα πρέπει να είναι σε θέση να παρέχουν αυτές τις υπηρεσίες, όπου τα πρωτόκολλα καλύτερης δυνατής προσπάθειας (best-effort) δεν είναι επαρκείς.

Αυτό συμβαίνει επειδή πολυμεσικές εφαρμογές συχνά είναι αυστηρές στο χρόνο και απαιτούν υπηρεσίες αξιοπιστίας και ευαισθησίας, όπου το δίκτυο θα πρέπει να καλύψει. Κατά συνέπεια, η εστίαση έχει μετατοπιστεί από την καλύτερη δυνατή προσπάθεια με την παροχή μεγαλύτερων και καλύτερων υπηρεσιών QoS που ορίζεται στην έρευνα των MANET.

Προβλήματα :

Αναξιόπιστο ασύρματο κανάλι

Το ασύρματο κανάλι είναι επιρρεπής σε λάθη που γίνονται λόγω παρεμβολών από άλλες εκπομπές, θερμικού θορύβου, του φαινομένου της σκίασης και της εξασθένησης πολλαπλών διαδρομών.

Αυτό καθιστά αδύνατη την παροχή ενός μεγάλου ρυθμού πακέτων στους κόμβους- προορισμούς καθώς επίσης και την εγγύηση μακροζωίας της σύνδεσης.

Κινητικότητα Κόμβων

Οι κόμβοι σε ένα MANET μπορεί να κινούνται τελείως ανεξάρτητα και τυχαία όσον αφορά τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που είναι υπό εξέταση.

Αυτό σημαίνει ότι η πληροφορία για την τοπολογία έχει περιορισμένη διάρκεια ζωής και θα πρέπει οι ενημερώσεις να γίνονται συχνά για να επιτρέψουν τα πακέτα δεδομένων να κατευθύνονται προς τους προορισμούς τους. Επιπλέον, μια κατάσταση QoS η οποία αναφέρεται στην σύνδεση ή σε κάποιον κόμβο πρέπει να ενημερώνεται με συχνότητα που αυξάνει με την κινητικότητα των κόμβων.

Μια σημαντική παραδοχή που θα πρέπει να επισημάνουμε είναι ότι για κάθε πρωτόκολλο δρομολόγησης που είναι σε θέση να λειτουργήσει σωστά, ο ρυθμός μεταβολής τοπολογίας του δικτύου δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό διάδοσης της πληροφορίας για την τρέχων κατάσταση του δικτύου.

Διαφορετικά, η δρομολόγηση πληροφοριών θα είναι πάντοτε μη έγκυρη και η δρομολόγηση θα είναι αναποτελεσματική ή θα μπορούσε ακόμα και να αποτύχει εντελώς.

Η έλλειψη κεντρικού ελέγχου

Το μεγάλο πλεονέκτημα ενός ad hoc δικτύου είναι ότι μπορεί να δημιουργηθεί αυθόρμητα, χωρίς κάποιον στοιχειώδη σχεδιασμό, και τα μέλη της μπορούν να αλλάξουν δυναμικά. Αυτό καθιστά δύσκολη την παροχή κάθε μορφής κεντρικού ελέγχου.

Ως εκ τούτου, τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούν τις διαθέσιμες καταστάσεις μόνο σε τοπικό επίπεδο και λειτουργούν με ένα εντελώς καταναμημένο τρόπο προτιμώνται. Αυτό αυξάνει γενικά το overhead του αλγορίθμου και την πολυπλοκότητα του, αφού η πληροφορία για την κατάσταση QoS πρέπει να διαδοθεί αποτελεσματικά.

Πρόσβαση καναλιού

Για να ανακαλυφθεί η τοπολογία του δικτύου, οι κόμβοι σε ένα MANET πρέπει να επικοινωνούν σε ένα κοινό κανάλι. Ωστόσο, αυτό παρουσιάζει τα προβλήματα των παρεμβολών και η πρόσβαση στο κανάλι.

Για peer-to-peer επικοινωνίες δεδομένων αυτά μπορούν να αποφευχθούν με διάφορους τρόπους. Ένας τρόπος είναι να προσπαθήσουμε να επιτύχουμε τον

συγχρονισμό ενός παγκόσμιου ρολογιού και να χρησιμοποιήσουμε ένα σύστημα βασισμένο στο TDMA, όπου κάθε κόμβος μπορεί να διαβιβάσει μια πληροφορία σε έναν προκαθορισμένο χρόνο.

Αυτό είναι δύσκολο να επιτευχθεί λόγω της έλλειψης ενός κεντρικού ελεγκτή, της κινητικότητας των κόμβων και την πολυπλοκότητα του overhead που εμπλέκεται. Άλλοι τρόποι είναι να χρησιμοποιηθεί μια διαφορετική ζώνη συχνοτήτων ή κώδικες διασκορπισμού (όπως στο CDMA) για κάθε πομπό.

Οι περισσότερες τεχνολογίες των ad-hoc δικτύων βασίζονται στην πρόσβαση σε ένα κοινό κανάλι, δηλαδή με την τεχνική CSMA/CA. Ωστόσο το CSMA/CA περιπλέκει σε μεγάλο βαθμό τον υπολογισμό της ρυθμοαπόδοσης και της καθυστέρησης των πακέτων σε σύγκριση με τις προσεγγίσεις του TDMA. Αυτό συμβαίνει επειδή οι κόμβοι πρέπει να λαμβάνουν υπόψη την κυκλοφορία σε όλους τους κόμβους που βρίσκονται στο εύρος της εμβέλειας τους.

Επιπλέον, προκύπτει και η πιθανότητα των συγκρούσεων. Συγκρούσεις σπαταλούν την χωρητικότητα του καναλιού, καθώς και μπαταρία ενέργειας των κόμβων, προκαλεί αύξηση της καθυστέρησης, και μπορεί να υποβαθμίσει τον ρυθμό παράδοσης των πακέτων.

Τέλος, το καλώς εννοούμενο πρόβλημα του κρυμμένο τερματικού και του εκτιθέμενου κόμβου, είναι ένα ακόμη αποτέλεσμα της έριδος του καναλιού. Αυτά τα προβλήματα είναι ακόμη πιο έντονη όταν θεωρούν ότι οι κόμβοι μπορούν να επηρεάσουν τη μετάδοση έξω της εμβέλειας εκπομπής τους, δεδομένου ότι οι δέκτες είναι σε θέση να ανιχνεύσουν ένα σήμα σε μια πολύ μεγαλύτερη απόσταση από ότι μπορούν να αποκωδικοποιήσουν τις πληροφορίες του.

Περιορισμένοι πόροι συσκευής

Σε κάποιο βαθμό αυτός είναι ένας ιστορικός περιορισμός, δεδομένου ότι οι φορητές συσκευές γίνονται όλο και πιο ισχυρές και ικανές. Ωστόσο, εξακολουθεί να ισχύει ότι οι εν λόγω συσκευές έχουν γενικά λιγότερο υπολογιστική ισχύ, λιγότερη μνήμη, και περιορισμένη (μπαταρία) παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, σε σύγκριση με συσκευές όπως οι επιτραπέζιοι υπολογιστές που συνήθως απασχολούνται σε ενσύρματα δίκτυα.

Αυτός ο παράγοντας έχει σημαντικές επιπτώσεις στην παροχή QoS, αφού η χαμηλή χωρητικότητα στην μνήμη περιορίζει τη ποσότητα των καταστάσεων QoS που μπορεί να αποθηκευτεί, και κάνει αναγκαίο την απαίτηση για πιο συχνές ενημερώσεις, που έχουν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη επιβάρυνση.

Έτσι μπορούν να τεθούν κάποιες πρώτες αρχές στις παραμέτρους του δικτύου. Οι διαθέσιμοι πόροι και η σταθερότητα των πόρων. Οι πόροι είναι λιγοστοί και χρειάζονται μηχανισμοί που θα πρέπει να λειτουργούν με αποδοτικό τρόπο ώστε να δίνουν στους τελικούς χρήστες όλα όσα υπόσχεται ένα ικανό δίκτυο QoS.

Επίσης οι μηχανισμοί αυτοί θα πρέπει να επιτρέπουν ένα ελαστικό σει από πολιτικές και να αποτρέπουν προσπάθειες εξαπάτησης από πλευράς χρηστών των υπηρεσιών QoS του δικτύου. Επίσης το πρωτόκολλο πρέπει να είναι πλήρως προσαρμοζόμενο στις γεωγραφικές αλλαγές του δικτύου, στη μεταβολή των διαθέσιμων πόρων αλλά και στη μικρή χωρητικότητα του δικτύου.

3.2 Πόροι ενός δικτύου που απαιτούνται για την παροχή Ποιότητας Υπηρεσίας

Με τον όρο πόρο εννοούμε ότι απαιτείται για να εκτελέσει μια εργασία η οποία καταναλώνεται κατά τη διάρκεια εκτέλεσης.

Παρακάτω αναγράφεται μια λίστα με τους πόρους ενός δικτύου.

- **Υπολογιστικός χρόνος κόμβου.**

Οι φορητές συσκευές κατασκευάζονται με ολοένα και πιο ισχυρούς επεξεργαστές, που εξακολουθούν να είναι περιορισμένης υπολογιστικής ισχύος, ειδικά όταν πρέπει όχι μόνο να τρέξει τις εφαρμογές, αλλά και τα πρωτόκολλα που απαιτούνται για την υποστήριξη του δικτύου και των εφαρμογών.

Ωστόσο, αυτός είναι ίσως ο λιγότερο κρίσιμος πόρος, αφού συνήθως τα πρωτόκολλα επικοινωνίας δεν τοποθετούν βαρύ φορτίο στον επεξεργαστή.

- **Φόρτιση της μπαταρίας του Κόμβου.**

Μερικοί υποστηρίζουν ότι αυτός είναι ο πιο κρίσιμος πόρος, δεδομένου ότι αν η μπαταρία ενός κόμβου αδειάσει, δεν μπορεί να λειτουργήσει καθόλου. Αποτυχίες κόμβων μπορούν επίσης να προκαλέσουν κατάτμηση του δικτύου, με αποτέλεσμα την πλήρη αποτυχία του δικτύου και καθόλου παροχή υπηρεσιών. Ως εκ τούτου, ενεργειακά αποδοτικά πρωτόκολλα δρομολόγησης έχουν λάβει μεγάλη ερευνητική προσοχή. Στη συνέχεια θα επεκταθούμε παραπάνω στο θέμα της ενέργειας και στις καταστάσεις κατανάλωσης της.

- **Μνήμη κόμβου.**

Σχεδόν αναπόφευκτα, σε κάποια στιγμή κατά τη λειτουργία ενός δικτύου, περισσότεροι του ενός κόμβοι θα εκπέμπουν τη φορά, ή ακόμα μπορεί να μην υπάρχει γνωστή διαδρομή σε άλλη συσκευή.

Σε καθεμία από αυτές τις περιπτώσεις τα πακέτα δεδομένων πρέπει να αποθηκεύονται στην μνήμη εν αναμονή μετάδοσης. Επιπλέον, όταν οι μνήμες είναι πλήρεις, κάθε νέα πακέτα που φθάνουν θα πρέπει να απορρίπτονται, συμβάλλοντας έτσι στο ποσοστό απώλειας πακέτων.

- **Χωρητικότητα καναλιού**

Στην κυριολεξία, αυτό μετρείται σε bit ανά δευτερόλεπτο (bps) και επηρεάζει τα δεδομένα της ρυθμοαπόδοσης, και έμμεσα την καθυστέρηση, και ως εκ τούτου, μια σειρά από άλλες μετρήσεις.

Ωστόσο, δεδομένου ότι όλοι οι κόμβοι πρέπει να μοιραστούν το μέσο μετάδοσης, πρέπει με κάποιον τρόπο να εκφράσουμε τι κομμάτι της συνολικής χωρητικότητας του μέσου αντιστοιχεί σε κάθε κόμβο. Ο τρόπος για να εκφράσουμε κάτι τέτοιο εξαρτάται από την τεχνική του στρώματος MAC. Σε ένα σύστημα καθαρά βασισμένο στο MAC επίπεδο, κανένας κόμβος δεν έχει εγγυημένη πρόσβαση στο κανάλι, απλώς τοποθετούνται με μια ορισμένη πιθανότητα. Με μία TDMA λύση η χωρητικότητα καναλιού εκφράζεται σε χρονοθηρίδες.

Ομοίως, στην FDMA, υπάρχουν ζώνες συχνοτήτων, και στις τεχνικές φάσματος, διάδοση κωδικών. Δεδομένου ότι, στα MANETs, οι κόμβοι πρέπει να επικοινωνούν στο ίδιο κανάλι για να ανακαλύψουν την τοπολογία του δικτύου, οι τεχνικές FDMA και διάδοσης φάσματος απασχολούνται μόνο αν υπάρχει ένα ξεχωριστό κανάλι για σηματοδότηση ώστε να διαθέσουν ζεύγη καναλιών για να επικοινωνήσουν οι κόμβοι.

Η πλειοψηφία των QoS λύσεων δρομολόγησης στη βιβλιογραφία βασίζονται σε ένα κανάλι και ως εκ τούτου υποστηρίζεται μόνο η τεχνική TDMA.

3.3 Διαχείριση ενέργειας σε ένα κινητό Ad-hoc δίκτυο

Στα ασύρματα δίκτυα το σύνολο των φορητών συσκευών που συνδέονται σε αυτά (notebooks, PDAs, κινητά τηλέφωνα, αισθητήρες) αναπόφευκτα βασίζονται στις μπαταρίες για τις ενεργειακές τους ανάγκες.

Η ασύρματη φύση τους και η ανάγκη για κινητικότητα είναι οι λόγοι που επιβάλλουν κάτι τέτοιο, με αποτέλεσμα ο χρόνος ζωής της μπαταρίας να παίζει σημαντικό ρόλο για αυτού του είδους τα δίκτυα και γενικότερα στο τομέα του κινητού υπολογισμού (mobile computing).

Η ενέργεια όμως που αποθηκεύεται από τα ξηρά στοιχεία είναι πεπερασμένη, γεγονός που θέτει σοβαρούς περιορισμούς στον σχεδιασμό αλγορίθμων για φορητές συσκευές. Το γεγονός αυτό οδηγεί στη προσπάθεια σχεδιασμού ενεργό-αποδοτικών αλγορίθμων που θα επεκτείνει το χρόνο ζωής των δικτυακών συσκευών και κατά επέκταση και του δικτύου.

Σαν χρόνος ζωής ενός ασύρματου ad hoc δικτύου θεωρούμε τον χρόνο μέχρι να εξαντληθεί η ενέργεια σε κάποιον (οποιοδήποτε) κόμβο. Επίσης στην κάθε ζεύξη η καταναλισκόμενη από τους κόμβους ισχύς λαμβάνεται ως κόστος με αποτέλεσμα να στοχεύουν στην ελάττωση της.

Καθίσταται λοιπόν επιτακτική η ανάγκη για όσον το δυνατό πιο αποδοτική χρήση της διαθέσιμης ενέργειας, χωρίς αυτό να σημαίνει χαμηλότερες επιδόσεις στην εκτέλεση εφαρμογών από τις συσκευές.

Τα μέτρα για την εξοικονόμηση ενέργειας δεν περιορίζονται σε ένα επίπεδο του OSI μοντέλου, αλλά απαιτείται συντονισμένη μεθοδολογία από όλα τα σχετιζόμενα επίπεδα, συμπεριλαμβανόμενων του επιπέδου φυσικού μέσου, του λειτουργικού συστήματος και του επιπέδου εφαρμογών.

Μία φορητή συσκευή αποτελείται από διάφορα τμήματα υλικού τα οποία καταναλώνουν ενέργεια. Ενδεικτικά αναφέρουμε τα εξής components: display monitor, δίσκος, CPU, μνήμες καθώς και η wireless network interface κάρτα. Η τελευταία μάλιστα μπορεί να καταναλώσει 10-50% των συνολικών αποθεμάτων ενέργειας του συστήματος.

Είναι επομένως φανερό ότι υπάρχει η ανάγκη για υποστήριξη σχεδιασμού χαμηλής κατανάλωσης όλων των components που συμμετέχουν στη κατανάλωση ενέργειας.

3.3.1 Καταστάσεις κόμβου και κατανάλωση ενέργειας

Επίσης κάθε κόμβος ενός ασύρματου δικτύου μπορεί να βρίσκεται σε 4 καταστάσεις λειτουργίας: στη κατάσταση εκπομπής, στη κατάσταση παραλαβής, στη κατάσταση αναμονής και στη κατάσταση αναστολής.

Μελέτες δείχνουν ότι η διάταξη της συσκευής που χρησιμοποιείται για τη δικτύωση, καταναλώνει σχεδόν την ίδια ισχύ στις καταστάσεις εκπομπής (transmit state), παραλαβής (receive state), είτε αναμονής (idle state).

Ενώ όταν βρίσκεται σε κατάσταση αναστολής (sleep state), στην οποία δεν μπορεί να γίνει λήψη ή εκπομπή πακέτων, η κατανάλωση ισχύος είναι μειωμένη δραματικά.

Κατά τη κατάσταση της εκπομπής ενέργεια δαπανάται για τη δημιουργία, τη διαμόρφωση και την υπόλοιπη επεξεργασία του σήματος που πρόκειται να μεταδοθεί.

Κατά τη κατάσταση της παραλαβής, ενέργεια δαπανάται για την επεξεργασία του λαμβανόμενου σήματος ενώ στη κατάσταση αναμονής ενέργεια δαπανάται για τη παρακολούθηση του φυσικού μέσου μετάδοσης.

Λόγω της χαμηλής κατανάλωσης που παρουσιάζει η 4^η κατηγορία, παρατηρείται προσπάθεια εύρεσης τεχνικών οι οποίες θα μπορούν να προβλέπουν τις χρονικές στιγμές στις οποίες θα μπορούν κάποιοι κόμβοι να μπουν σε κατάσταση αναστολής.

Δυστυχώς η προσέγγιση της μεγιστοποίησης του χρόνου που ένα τερματικό είναι σε sleep mode, δεν είναι επιθυμητή λύση στα ad-hoc δίκτυα, καθώς ένας κόμβος που είναι σε αυτή τη λειτουργία μη συμμετέχοντας στην δρομολόγηση πακέτων του δικτύου, μπορεί να αυξήσει την διάρκεια της μπαταρίας του, αλλά θα μειώσει αισθητά την λειτουργικότητα του συνολικού δικτύου.

Κάποιες άλλες στρατηγικές για την εξοικονόμηση ενεργείας, περιλαμβάνουν την επιλεκτική απενεργοποίηση κάποιων κόμβων σε ένα πυκνό δίκτυο (dense network), με ενεργοποιημένους μόνο όσους κόμβους απαιτούνται για την δρομολόγηση της τηλεπικοινωνιακής κίνησης, ώστε να βελτιστοποιηθεί η κατανάλωση ισχύος του συνολικού δικτύου.

Από όλα τα παραπάνω καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι για να επιτευχθεί χαμηλή κατανάλωση ενέργειας θα πρέπει το πρόβλημα να αντιμετωπιστεί σε όλες τις πτυχές του.

Μια και μόνο αποσπασματική αντιμετώπιση δεν μπορεί να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα και κατά συνέπεια η προσπάθεια θα πρέπει να γίνει προς όλες τις κατευθύνσεις στις οποίες γίνεται αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων ενέργειας του δικτύου.

3.4 Συμβιβασμοί (Trade-offs)

3.4.1 Χωρητικότητα εναντίον Καθυστέρηση

Στα MANET, η χωρητικότητα μπορεί να εξισορροπηθεί με την καθυστέρηση των πακέτων. Αν οι περιορισμοί της καθυστέρησης είναι χαλαροί, τότε η χωρητικότητα του δικτύου μπορεί να αυξηθεί με την αξιοποίηση πολλαπλών χρηστών.

Πιο συγκεκριμένα, στη περίπτωση που η καθυστέρηση εμφανίζεται ως περιορισμός, μια πηγή μπορεί να διαιρέσει τα πακέτα μιας συνόδου και να τα στείλει σε πολλούς διαφορετικούς γειτονικούς κόμβους. Οι γειτονικοί κόμβοι, στη συνέχεια, προωθούν τα πακέτα στον προορισμό όταν μετακινούνται στην εμβέλεια εκπομπής του.

Αυτό το σύστημα έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνει την ρυθμοαπόδοση, δεδομένου ότι τώρα λιγότεροι ενδιάμεσοι κόμβοι μεταδίδουν πακέτα και προκαλούν παρεμβολές αλλά επιβαρύνεται με το κόστος της μεγάλης αύξησης της καθυστέρησης.

Μια άλλη στρατηγική είναι να βελτιώσουμε την καθυστέρηση με την δημιουργία αντιγράφων των κρίσιμων στοιχείων του συστήματος με σκοπό την αύξηση της αξιοπιστίας του, σε βάρος της αποτελεσματικής χρήσης της χωρητικότητας του δικτύου.

Αν δημιουργούνται και στέλνονται πολλά αντίγραφα ενός πακέτου σε διάφορα μονοπάτια, έχει αποδειχθεί ότι ο κόμβος-προορισμού δέχεται τα πακέτα με λιγότερη καθυστέρηση κατά μέσο όρο. Από την άλλη πλευρά, περισσότερη χωρητικότητα δικτύου καταναλώνεται στην αποστολή πολλαπλών αντιγράφων των πακέτων.

Σαφώς, η αύξηση αυτή των πακέτων μειώνει επίσης και την ενεργειακή απόδοση του πρωτοκόλλου.

3.4.2 Ρυθμός απωλειών πακέτων εναντίον της χωρητικότητας και της ενεργειακής απόδοσης

Με παρόμοιο τρόπο, όπως μεταξύ της καθυστέρησης και της χωρητικότητας, ο ρυθμός απωλειών πακέτων (PLR-packet loss ratio) μπορεί επίσης να εξισορροπηθεί με την χωρητικότητα.

Στέλνοντας πολλαπλά αντίγραφα πακέτων στις διάφορες διαδρομές έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη πιθανότητα ο δέκτης να λάβει ένα αντίγραφο, αλλά μειώνεται έτσι η ωφέλιμη χωρητικότητα του δικτύου. Αυτή η τεχνική μπορεί να είναι περισσότερο χρήσιμη σε δίκτυα αισθητήρων, όπου τα δεδομένα συχνά μεταδίδονται χωρίς ένα αξιόπιστο πρωτόκολλο χειραγίας που διαχειρίζεται από το στρώμα MAC. Αυξάνεται και η ενέργεια που δαπανάται ανά πακέτο.

3.4.3 Κατανάλωση ενέργειας εναντίον ανταπόκρισης και ακρίβειας

Η δρομολόγηση δεν μπορεί να είναι ακριβείς παρά μόνο εάν η συχνότητα ανακάλυψης γειτόνων είναι αρκετά υψηλή ώστε να αντικατοπτρίζει συχνές τοπολογικές αλλαγές.

Ωστόσο, μια υψηλή απόκριση στις αλλαγές έρχεται σε μια αύξηση του κόστους της ενέργειας. Αν λάβουμε υπόψη δρομολόγηση με QoS, η εξισορρόπηση μεταξύ της ακρίβειας και της ενέργειας κατανάλωσης γίνεται ακόμη οξύτερη, όχι μόνο από τοπολογικής απόψεως, αλλά και οι πληροφορίες κατάστασης QoS απαιτούν συχνή ενημέρωση, έτσι ώστε να καταστούν ακριβείς αποφάσεις για την δρομολόγηση με κριτήρια QoS.

3.4.4 Έλεγχος μετάδοσης ισχύος : Μακρινά εναντίον κοντινά άλματα

Η μεταβολή στην ισχύ εκπομπής, ώστε να ρυθμίσουμε τον αριθμό των αλμάτων που απαιτούνται για να διαβιβάσουμε ένα πακέτο στον προορισμό του, μπορεί να αποφέρει πολλά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Αυτό συχνά αποκαλείται ως " το δίλλημα μακρινών αλμάτων έναντι των κοντινών." Ένα άλλο ερώτημα είναι αν οι σχεδιαστές του πρωτόκολλου θα αναλάβουν τη χρήση έλεγχου μετάδοσης ισχύος. Υποθέτοντας τέτοιους περιορισμούς πρέπει να ληφθεί υπόψη και το γεγονός ότι δεν μπορούν όλοι οι κόμβοι να είναι εξοπλισμένοι με αυτήν τη δυνατότητα ελέγχου.

Επιπλέον, αυτό μπορεί συχνά να οδηγήσει και σε μονόδρομες συνδέσεις. Για παράδειγμα, ένας κόμβος X μπορεί να είναι σε θέση να διαβιβάσει δεδομένα σε έναν κόμβο Y, αλλά ο Y δεν μπορεί να απαντήσει, δεδομένου ότι χρησιμοποιεί μια χαμηλότερη ισχύ μετάδοσης, εκτός και αν γνωρίζει την απόσταση έως τον X και μπορεί να υπολογίσει τη ισχύ μετάδοσης που απαιτείται για να φτάσει εκεί.

3.4.5 Παγκόσμιοι στόχοι εναντίον ιδιαίτερες απαιτήσεις

Από τη μεριά του κατασκευαστή ενός δικτύου, στόχος είναι συνήθως να ευχαριστεί όσο το δυνατόν περισσότερους χρήστες, παρέχοντας μια συνολική και υψηλή ποιότητα υπηρεσιών.

Ένας άλλος στόχος είναι η αύξηση της διάρκειας ζωής του δικτύου με τη διεύρυνση της χρήσης της μπαταρίας για την αποφυγή αποτυχιών των κόμβων και την τμηματοποίηση του δικτύου. Ωστόσο, κάθε συνεδρία δεδομένων έχει τις δικές της ειδικές ανάγκες και, για την ικανοποίηση των χρηστών, το δίκτυο πρέπει να ταιριάζει με τις απαιτήσεις τους.

Σε πιο πολύπλοκα σενάρια, μια εφαρμογή μπορεί να προσδιορίζει μια ποικιλία QoS περιορισμών. Για παράδειγμα, μπορεί να καθορίζει ένα ανεκτό ανώτατο όριο στις τιμές για το PLR καθώς και για την καθυστέρηση του πακέτου. Σε αυτή τη περίπτωση, θέλουμε το πρωτόκολλο δρομολόγησης να βρει ένα σταθερό μονοπάτι με ένα ελαφρύ φορτίο. Ωστόσο, από τη μεριά της διάρκειας ζωής του δικτύου, το μονοπάτι που έχει το μικρότερο δυνατό κόστος είναι προτιμότερο.

Ο στόχος μας για χαμηλή καθυστέρηση ταιριάζει με το στόχο της εξισορρόπησης του φορτίου, παρόλο που το μονοπάτι με τη μικρότερη κίνηση δεν μπορεί να είναι ένα σταθερό μονοπάτι. Σε αυτή τη περίπτωση, έχουμε σαφή σύγκρουση ανάμεσα στις διάφορες απαιτήσεις μας. Ένας σχεδιαστής του πρωτοκόλλου πρέπει να αποφασίσει πώς να αντιμετωπίσει αυτόν τον συμβιβασμό.

Κεφάλαιο 4. Ταξινόμηση λύσεων ποιότητας υπηρεσίας στα Ad-hoc

4.1 Εισαγωγή

Με βάση όλα τα παραπάνω που αναφέρθηκαν, ένα πρωτόκολλο για να παρέχει QoS σε ένα Ad-hoc δίκτυο πρέπει να είναι ελαφρύ (light-weight) όσο το δυνατόν περισσότερο και πρέπει να είναι σε θέση να χρησιμοποιεί τους πόρους κατά τρόπο αποδοτικό και αποτελεσματικό.

Σημειώνουμε ότι το QoS μπορεί να παρασχεθεί, σε κάποια μορφή ή άλλη, στα διαφορετικά στρώματα της λίστας πρωτοκόλλου. Σε ποιο στρώμα και με ποια μορφή το QoS παρέχεται εξαρτάται από τις απαιτήσεις μιας εφαρμογής. Ανάλογα με τις παρούσες απαιτήσεις QoS μιας εφαρμογής, τα ζητήματα που περιλαμβάνονται στην παροχή QoS είναι διαφορετικά.

Σε αυτό που ακολουθεί, συζητάμε τις μεθόδους ταξινόμησης των διαφορετικών μεθοδολογιών/λύσεων για την παροχή QoS στα κινητά Ad-hoc δίκτυα.

4.2 Ταξινόμηση των μεθοδολογιών

Δεδομένου ότι επισημάναμε νωρίτερα, τα ζητήματα που περιλαμβάνονται στην παροχή QoS είναι διαφορετικά ανάλογα με τον τύπο και τις απαιτήσεις μιας εφαρμογής, τη μεθοδολογία της παροχής QoS, και το στρώμα της λίστας πρωτοκόλλου στους οποίους το QoS πρόκειται να παρασχεθεί.

Σε αυτό το τμήμα, επιθυμούμε να ταξινομήσουμε τις μεθοδολογίες της παροχής QoS στα κινητά Ad-hoc δίκτυα και έπειτα αναλύουμε τις διαφορετικές μεθόδους που αναφέρονται στη λογοτεχνία σε κάθε κατηγορία.

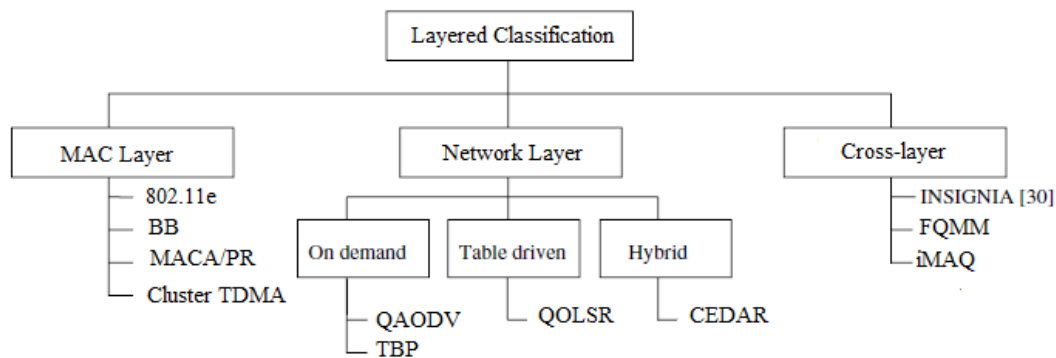
4.3 Layered classification

Το σχήμα 8 παρουσιάζει μια ταξινόμηση των μεθόδων της παροχής QoS στα κινητά Ad-hoc δίκτυα που την καλούμε ταξινόμηση σε επίπεδα (**layered classification**), δηλαδή οι υπάρχουσες λύσεις QoS μπορούν να ταξινομηθούν με βάση σε ποιο στρώμα/επίπεδο στη λίστα πρωτοκόλλου δικτύων λειτουργούν. Κάποιος μπορεί να ταξινομήσει τις λύσεις παροχής QoS στις ακόλουθες κατηγορίες:

- MAC Layer
- Network Layer
- Cross Layer.

Με βάση τις μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται, αυτές οι κατηγορίες μπορούν να διαιρεθούν περαιτέρω σε υποκατηγορίες. Το υποεπίπεδο MAC περιέχει τεχνικές πρόσβασης μέσου και πρωτόκολλα που παρέχουν QoS.

Το επίπεδο δικτύου πρωτόκολλα δρομολόγησης με QoS και τέλος το cross-layer περιέχει αρχιτεκτονικές QoS. Για την περαιτέρω ανάλυση αυτών των υποκατηγοριών θα ασχοληθούμε στα παρακάτω κεφάλαια.



Σχήμα 8
Ταξινόμηση κατά επίπεδα

4.4 QoS-approach classification

Ταξινόμηση με βάση στην προσέγγιση QoS που υιοθετείται (**QoS-approach classification**). Όπως φαίνεται στο σχήμα 9 διάφορα κριτήρια χρησιμοποιούνται για την κατηγοριοποίηση των προσεγγίσεων QoS.

Οι προσεγγίσεις QoS μπορούν να ταξινομηθούν με βάση την αλληλεπίδραση μεταξύ του πρωτοκόλλου δρομολόγησης και των μηχανισμών παροχής QoS, με βάση την αλληλεπίδραση μεταξύ του επιπέδου δικτύου και του στρώματος MAC, ή με βάση τον μηχανισμό αναβάθμισης των πληροφοριών δρομολόγησης.

Με βάση την αλληλεπίδραση μεταξύ του πρωτοκόλλου δρομολόγησης και των μηχανισμών παροχής QoS, οι προσεγγίσεις QoS μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες, coupled και decoupled προσεγγίσεις QoS.

Στην πρώτη περίπτωση (coupled), το πρωτόκολλο δρομολόγησης και ο μηχανισμός παροχής QoS αλληλεπιδρούν πολύ το ένα με το άλλο για την παράδοση εγγυήσεων QoS. Εάν το πρωτόκολλο δρομολόγησης αλλάζει, μπορεί να αποτύχει να εξασφαλίσει εγγυήσεις QoS.

Στην δεύτερη περίπτωση (decoupled) ο μηχανισμός παροχής QoS δεν εξαρτάται από οποιοδήποτε συγκεκριμένο πρωτόκολλο δρομολόγησης για να εξασφαλίσει εγγυήσεις QoS.

Παρόμοια, στην αλληλεπίδραση μεταξύ του πρωτοκόλλου δρομολόγησης και του πρωτοκόλλου MAC, οι προσεγγίσεις QoS μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες, τις ανεξάρτητες (independent) και εξαρτώμενες (dependant) προσεγγίσεις QoS.

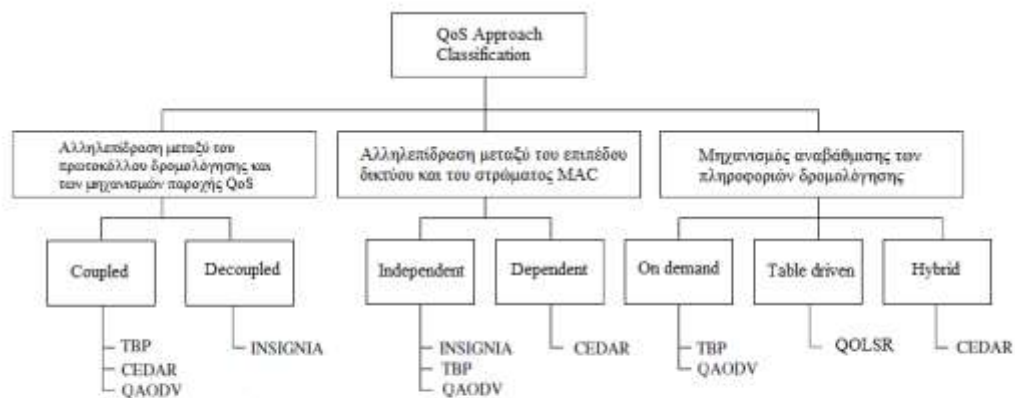
Στην ανεξάρτητη προσέγγιση QoS, το στρώμα δικτύου δεν εξαρτάται από το στρώμα MAC για την παροχή QoS.

Η εξαρτώμενη προσέγγιση απαιτεί το στρώμα MAC να βοηθήσει το πρωτόκολλο δρομολόγησης για την παροχή QoS.

Τέλος ο μηχανισμός αναβάθμισης των πληροφοριών δρομολόγησης που χρησιμοποιείται, ταξινομείται και αυτός με την σειρά του σε τρεις κατηγορίες, table-driven, on-demand, και hybrid προσεγγίσεις QoS.

Στην table-driven προσέγγιση, κάθε κόμβος στο δίκτυο διατηρεί έναν πίνακα δρομολόγησης που ενισχύει την αποστολή των πακέτων.

Στην on-demand προσέγγιση, κανένας τέτοιος πίνακας δεν διατηρείται στους κόμβους, και ως εκ τούτου ο κόμβος πηγή πρέπει να ανακαλύψει τη διαδρομή. Η υβριδική προσέγγιση ενσωματώνει τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα και των δύο παραπάνω προσεγγίσεων.



Σχήμα 9

Ταξινόμηση με βάση την προσέγγιση QoS

4.5 Functional classification

Από την άλλη μεριά, μπορούν να ταξινομηθούν βασισμένα στις σημαντικότερες λειτουργίες που απαιτούνται για την παροχή QoS. Την προσέγγιση αυτήν την καλούμε λειτουργική ταξινόμηση (**functional classification**), και παρουσιάζεται στο σχήμα 10. Οι σημαντικότερες κατηγορίες που είναι μέρος μιας τέτοιας ταξινόμησης είναι η δρομολόγηση (routing), MAC, διαφοροποίηση (Differentiation), έλεγχος εισόδου (Admission Control), κράτηση των πόρων (Resource Reservation), και ο σχεδιασμός (Scheduling). Μπορούν να υπάρξουν διαφορετικές υποκατηγορίες. Παραδείγματος χάριν, ο σχεδιασμός μπορεί να διαιρεθεί με βάση το ποσοστό σχεδιασμού, το πλέον σημαντικό σχεδιασμό, καιροσκοπικό σχεδιασμό, κ.λπ.



4.6 Parametric classification

Μπορούν να υπάρξουν και άλλες ταξινομήσεις επίσης. Παραδείγματος χάριν, μπορεί να υπάρξει μια παραμετρική ταξινόμηση (**parametric classification**) που βασίζεται στις παραμέτρους QoS όπως η καθυστέρηση, το εύρος ζώνης, τη ρυθμοαπόδοση, κ.λπ. Μια άλλη ταξινόμηση μπορεί να είναι η συμπεριφοριστική ταξινόμηση στην οποία οι μέθοδοι είναι ταξινομημένες με βάση τον τρόπο με τον οποίο το QoS παρέχεται όπως ανά hop, ανά ροή, ανά κατηγορία, κ.λπ.

4.7 Συμπεράσματα ταξινομήσεων

Σε αυτό το σημείο είναι καλό να αναφέρουμε ότι καμία από αυτές τις ταξινομήσεις δεν είναι μια απόλυτη ταξινόμηση. Με άλλα λόγια, μπορεί να υπάρξει μια μέθοδος που είναι ταξινομημένη σε μια κατηγορία, εντούτοις, μπορεί να ενσωματώνει μεθόδους ή να χρησιμοποιήσει άλλες μεθόδους που ανήκουν σε άλλες κατηγορίες.

Ωστόσο, πιστεύουμε ότι διαφορετικές εργασίες εκτελούνται από διαφορετικούς ερευνητές με διαφορετικούς στόχους και τα ζητήματα στο μυαλό, επομένως, μια ταξινόμηση βοηθά απλά στη μελέτη τους με έναν οργανωμένο τρόπο. Επομένως, δεν είναι ουσιαστικό για μια ταξινόμηση να ταξινομήσει τις μεθόδους σε απόλυτα επίπεδα ή κατηγορίες.

Στην παρούσα διπλωματική θα ασχοληθούμε με την layered-classification την κατάταξη δηλαδή των λύσεων ανάλογα στο ποιο επίπεδο υλοποιούνται. Το κεφάλαιο που ακολουθεί περιγράφει το MAC layer.

Κεφάλαιο 5. MAC Layer

5.1 Το υπόστρωμα MAC

Λαμβάνοντας υπόψη το OSI μοντέλο, το MAC (Επίπεδο Ελέγχου Πρόσβασης στο Μέσο) είναι ένα υπό-επίπεδο του Data Link επιπέδου, ακριβώς επάνω από το physical επίπεδο. Κύριος στόχος του είναι ο συντονισμός και η οργάνωση της πρόσβασης των διαφόρων κόμβων του δικτύου στο κοινό μέσο. Η κατανάλωση ενέργειας των συσκευών αλλά και η γενικότερη απόδοση των ad hoc δικτύων εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τη πολιτική που ακολουθείται στο MAC επίπεδο.

Οι κόμβοι σε ένα ασύρματο Ad-hoc δίκτυο μοιράζονται ένα κοινό ράδιο κανάλι μετάδοσης. Δεδομένου ότι το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων είναι περιορισμένο, το διαθέσιμο εύρος ζώνης για την επικοινωνία σε τέτοια δίκτυα είναι επίσης περιορισμένο. Η πρόσβαση στο κοινό μέσο πρέπει να ελεγχθεί με έναν τέτοιο τρόπο έτσι ώστε όλοι οι κόμβοι λαμβάνουν ένα σημαντικό μέρος του διαθέσιμου εύρους ζώνης, και ότι το εύρος ζώνης χρησιμοποιείται αποτελεσματικά. Επίσης δεδομένου ότι τα χαρακτηριστικά του ασύρματου μέσου είναι απολύτως διαφορετικά από εκείνα στο ενσύρματο μέσο (καλώδιο), και τα μοναδικά ζητήματα (όπως η κινητικότητα κόμβων, η περιορισμένη διαθεσιμότητα εύρους ζώνης, κ.τ.λ) που έχουν να αντιμετωπίσουν τα Ad-hoc δίκτυα, απαιτείται ένα διαφορετικό σύνολο πρωτοκόλλων για τον έλεγχο της πρόσβασης στο κοινό μέσο.

5.2 Πρωτόκολλα πρόσβασης στο μέσο

Αυτό το κεφάλαιο εστιάζει στα πρωτόκολλα πρόσβασης μέσων για τα ασύρματα Ad-hoc δίκτυα. Για την σχεδίαση ενός MAC Πρωτοκόλλου είναι σημαντικό να λάβουμε υπόψη τη είδους εφαρμογές θα υποστηριχτούν και ποια θα είναι η συμπεριφορά του πρωτοκόλλου σε αυτές τις εφαρμογές.

Αρχικά, πρέπει να προσδιοριστούν όλες οι πιθανές εφαρμογές που θα τρέχουν στο δίκτυο, ώστε να γίνει μία εκτίμηση των απαιτήσεων ως προς το εύρος ζώνης του καναλιού, το μέγιστο μήκος δικτύου, τον μέγιστο αριθμό σταθμών, το είδος και το μέγεθος των μεταδιδόμενων πακέτων, τον μέγιστο επιτρεπτό χρόνο καθυστέρησης πακέτου, κ.λ.π. Η εκτίμηση της απόδοσης, στηρίζεται στην υπόθεση της σταθερής κατάστασης (steady-state).

Για συμβατικές δικτυακές εφαρμογές δεδομένων η απόδοση ενός πρωτοκόλλου εκτιμάται ως προς τη χωρητικότητα και τη σχέση του φορτίου ως προς τη μέση καθυστέρηση πακέτου.

Αντίθετα, ένα πρωτόκολλο για εφαρμογές πραγματικού χρόνου υπόκειται σε αυστηρότερους περιορισμούς, που εντοπίζονται κυρίως στο μέγιστο χρόνο απόκρισης και στην ύπαρξη δικτυακής κίνησης με διαφορετικές προτεραιότητες.

Στο MAC layer υπάρχουν δύο καταστάσεις λειτουργίας: κατάσταση ανταγωνισμού (contention period - CP) και κατάσταση χωρίς ανταγωνισμό (contention-free period- CFP). Στην κατάσταση ανταγωνισμού (CP) όλοι οι σταθμοί “ανταγωνίζονται” μεταξύ τους για να αποκτήσουν πρόσβαση στο κανάλι και να μεταδώσουν τα δεδομένα τους. Στην contention-free period (CFP) η πρόσβαση στο μέσο μετάδοσης ελέγχεται από το access point και οι σταθμοί οι οποίοι θα μεταδώσουν επιλέγονται από αυτό.

5.2.1 DCF

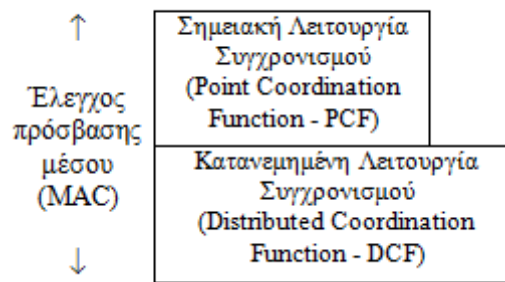
Το IEEE 802.11 παρέχει δύο MAC πρωτόκολλα πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης (σχήμα 11). Ο βασικός τρόπος πρόσβασης στο κοινό μέσο ονομάζεται Κατανεμημένη λειτουργία συγχρονισμού (Distributed Coordination Function - DCF), βασίζεται στον “ανταγωνισμό” των σταθμών και είναι μια θεμελιώδης μέθοδος πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης γνωστή και ως μηχανισμός ελέγχου πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος σήματος και αποφυγή συγκρούσεων (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA).

Ο DCF μηχανισμός έχει εφαρμογή σε πολλά δίκτυα στα οποία ο κάθε σταθμός θα πρέπει πρώτα να βεβαιωθεί ότι το κανάλι είναι ελεύθερο προτού αρχίσει να μεταδίδει.

Πρόκειται για μία κατανεμημένη λειτουργία του δικτύου, κατά την διάρκεια της οποίας όλα τα τερματικά έχουν την ίδια προτεραιότητα και ανταγωνίζονται επί ίσους όρους για την κατάληψη του μέσου. Συνήθως η ασύγχρονη κίνηση χρησιμοποιεί την DCF λειτουργία.

Η σημειακή λειτουργία συντονισμού (Point Coordination Function - PCF) αποτελεί έναν κεντρικοποιημένο MAC αλγόριθμο ο οποίος χρησιμοποιείται για την παροχή υπηρεσιών χωρίς ανταγωνισμούς (contention-free) κατά τη διάρκεια της οποίας ο Point Coordinator (PC) που υλοποιείται στο access point επιλέγει τους σταθμούς που θα αποκτήσουν πρόσβαση στο κανάλι και θα μεταδώσουν τα πακέτα τους. Η PCF λειτουργία λειτουργεί πάνω από την DCF και εκμεταλλεύεται χαρακτηριστικά της DCF λειτουργίας για να εξασφαλίσει την πρόσβαση στους χρήστες του δικτύου.

Το DCF υπάρχει μόνο του στα ad-hoc δίκτυα και συνυπάρχει με το PCF στα δίκτυα υποδομής (infrastructure).



Σχήμα 11
Πρωτόκολλα πρόσβασης στο μέσο

Μία τρίτη επιλογή προσφέρεται στο πρότυπο 802.11e, που είναι όμως ακόμα υπό ανάπτυξη.

Το 802.11e συμπληρώνει το MAC υπόστρωμα του 802.11 και ορίζει έναν επιπλέον μηχανισμό ελέγχου πρόσβασης μέσω του αλγορίθμου EDCF (Enhanced DCF). Ο αλγόριθμος DCF είναι κατάλληλος για εξυπηρέτηση ασύγχρονης κίνησης, ενώ ο PCF είναι κατάλληλος για σύγχρονη κίνηση. Ο EDCF εισάγει ένα σχήμα προτεραιοτήτων για να προσφέρει συγκεκριμένη ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service – QoS).

Οι παραπάνω αλγόριθμοι χρησιμοποιούν διάφορες χρονικές περιόδους για τον έλεγχο της πρόσβασης στο μέσο.

Γενικά, κάθε σταθμός που θέλει να μεταδώσει κάποιο πλαίσιο πρέπει πρώτα να περιμένει ένα ορισμένο χρονικό διάστημα (interframe space – IFS) και αν δεν ανιχνεύσει άλλη μετάδοση σε αυτό τότε να προχωρήσει στο επόμενο βήμα της διαδικασίας απόκτησης πρόσβασης στο μέσο, που διαφέρει ανάλογα με τον αλγόριθμο που χρησιμοποιείται (DCF ή PCF).

Το χρονικό διάστημα αυτό ποικίλει ανάλογα με τον τύπο του πλαισίου που πρόκειται να μεταδοθεί.

Οι ορισμένοι από το πρότυπο χρόνοι αναμονής είναι οι εξής:

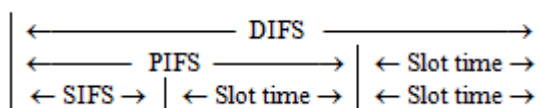
Short Interframe Space (SIFS): Ο μικρότερος χρόνος αναμονής Χρησιμοποιείται για μεταδόσεις μέγιστης προτεραιότητας, όπως είναι τα πλαίσια RTS/CTS και οι επιβεβαιώσεις (ACK).

PCF Interframe Space (PIFS): Μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από το SIFS, χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τον αλγόριθμο PCF. Οι σταθμοί περιμένουν PIFS χρόνο πριν μεταδώσουν κατά την περίοδο που την πρόσβαση στο μέσο ελέγχει ο κεντρικός αυτός αλγόριθμος (περίοδος χωρίς ανταγωνισμό - contention – free period), αποκτώντας προτεραιότητα έναντι αυτών που προσπαθούν να μεταδώσουν με χρήση του DCF.

DCF Interframe Space (DIFS): Αμέσως μεγαλύτερο είναι το DIFS, το οποίο εκφράζει και την μικρότερη δυνατή καθυστέρηση ανάμεσα στην εκπομπή δύο διαδοχικών πακέτων δεδομένων στην λειτουργία DCF

Extended Interframe Space (EIFS): Ο μέγιστος χρόνος αναμονής, δεν έχει κάποια συγκεκριμένη τιμή και χρησιμοποιείται όταν συμβεί κάποιο σφάλμα κατά την μετάδοση του πλαισίου.

Οι σχέσεις ανάμεσα στα IFS και οι τιμές τους για κάθε σύστημα μετάδοσης δίνονται στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 12). Η τιμή της χρονοθυρίδας (slot time) δεν είναι σταθερή, αλλά εξαρτάται από το εκάστοτε σύστημα μετάδοσης



Σχήμα 12
Χρόνοι IFS

Το DCF υπό επίπεδο κάνει χρήση ενός απλού αλγορίθμου πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος (carrier sense multiple access – CSMA). Εάν ένας σταθμός θέλει να μεταδώσει ένα MAC πλαίσιο ανιχνεύει το μέσο.

Εάν το μέσο είναι ανενεργό, ο σταθμός μπορεί να μεταδώσει, διαφορετικά ο σταθμός πρέπει να περιμένει μέχρι η τρέχουσα μετάδοση να ολοκληρωθεί.

Η DCF λειτουργία δεν υποστηρίζει κάποιον μηχανισμό ανίχνευσης των συγκρούσεων (π.χ το CSMA/CD) διότι η ανίχνευση των συγκρούσεων δεν είναι πρακτική σε ένα ασύρματο δίκτυο.

Η δυναμική εμβέλεια των σημάτων στο μέσο είναι πολύ μεγάλη, έτσι ώστε ένας σταθμός που μεταδίδει να μην μπορεί να ξεχωρίσει αποτελεσματικά τα εισερχόμενα αδύναμα σήματα από τον θόρυβο και τα αποτελέσματα της μετάδοσής τους.

5.2.2 Μηχανισμός ανίχνευσης φέροντος

Η ανίχνευση φέροντος στο IEEE 802.11 γίνεται και στην ασύρματη διεπαφή αναφερόμενη ως φυσική ανίχνευση φέροντος και στο υπόστρωμα MAC αναφερόμενη ως νοητή ανίχνευση φέροντος.

Στην ασύρματη διεπαφή η παρουσία άλλων χρηστών διαπιστώνεται με την ανάλυση όλων των λαμβανόμενων πακέτων και μέσω της σχετικής έντασης του σήματος που προέρχεται από άλλες πηγές.

Στο υπόστρωμα MAC η νοητή ανίχνευση φέροντος πραγματοποιείται στέλνοντας πληροφορία για τη διάρκεια του πακέτου στην επικεφαλίδα των πλαισίων RTS/CTS και των πλαισίων δεδομένων.

Ο μηχανισμός αυτός διαθέτει μικρή εξασφάλιση για την ποιότητα της υπηρεσίας. Ο διάυλος χαρακτηρίζεται ως κατειλημμένος όταν τουλάχιστον μια από τις τεχνικές δείξει ότι ο διάυλος είναι κατειλημμένος.

Τα πλαίσια ελέγχου RTS (request-to-send) και CTS (clear-to-send) μπορούν να χρησιμοποιηθούν από κάποιον σταθμό για να δεσμεύσει εύρος ζώνης πριν την αποστολή πλαισίου, ελαχιστοποιώντας το εύρος ζώνης που χάνεται λόγω συγκρούσεων αφού έχουν μικρό μέγεθος.

Όταν ένας σταθμός έχει να στείλει κάποιο πλαίσιο προς άλλο σταθμό στέλνει πρώτα το πλαίσιο ελέγχου RTS. Όλοι οι σταθμοί που ακούνε το RTS διαβάζουν το πεδίο διάρκειας του και ρυθμίζουν κατάλληλα το NAV τους έναν μετρητή χρόνου (Network Allocation Vector) που χρησιμοποιεί ο εικονικός μηχανισμός ανίχνευσης φέροντος.

5.2.3 802.11e

Τα MAC πρωτόκολλα του IEEE 802.11 δεν παρέχουν καμιά προτεραιότητα στους σταθμούς που μεταδίδουν. Όλοι οι σταθμοί έχουν την ίδια προτεραιότητα, με αποτέλεσμα να μη μπορούν να υποστηριχθούν εφαρμογές που απαιτούν ποιότητα υπηρεσίας.

Η ομάδα εργασίας 802.11e ή προσπαθεί να διασφαλίσει ποιότητα υπηρεσιών για εφαρμογές πραγματικού χρόνου που εκτελούνται πάνω σε ένα WLAN ελαχιστοποιώντας ή μεγιστοποιώντας ένα από τα παρακάτω κριτήρια: μέση καθυστέρηση από άκρο σε άκρο, μέση μεταβολή της καθυστέρησης ή μέσο ποσοστό επιτυχούς παράδοσης πλαισίων.

Αυτό το επιτυγχάνει βελτιώνοντας τους μηχανισμούς DCF και PCF με τους μηχανισμούς EDCF, ο οποίος αναθέτει προτεραιότητες στα πλαίσια δεδομένων ανάλογα με το πόσο χρονικά κρίσιμη είναι η παράδοσή τους και με τα μεγαλύτερης προτεραιότητας πλαίσια να έχουν περισσότερες πιθανότητες να κερδίσουν στον ανταγωνισμό για την πρόσβαση στο κοινό μέσο, και HCF, ο οποίος περιορίζει τον μέγιστο χρόνο δέσμευσης του καναλιού από ένα τερματικό, αντίστοιχα.

Enhanced Coordination Function (EDCF)

Ο αλγόριθμος πρόσβασης Enhanced DCF (EDCF) είναι ο νεότερος αλγόριθμος πρόσβασης στο υπόστρωμα MAC του 802.11e. Σκοπός του είναι να προσφέρει πρόσβαση στο μέσο είτε με ανταγωνισμό είτε χωρίς ανταγωνισμό μεταξύ των σταθμών, προσφέροντας ταυτόχρονα έναν μηχανισμό προτεραιοτήτων. Χρησιμοποιεί στοιχεία από τους DCF και PCF και διατηρεί τη συμβατότητα με αυτούς.

Το EDCF αποτελεί μία επέκταση του DCF. Για να υποστηρίξει εφαρμογές που απαιτούν QoS εισάγει τέσσερις κατηγορίες πρόσβασης (Access Categories, ACs). Κάθε AC αντιστοιχίζεται με ροές πληροφορίας συγκεκριμένης προτεραιότητας (για παράδειγμα βέλτιστης προσπάθειας, video, φωνής). Κάθε AC χρησιμοποιεί μία παραλλαγή του DCF για να αποκτήσει πρόσβαση στο μέσο.

Για τον κάθε ασύρματο σταθμό, διαφοροποιείται ο χρόνος αναμονής για πρόσβαση στο κανάλι μετάδοσης ανάλογα με το AC στο οποίο ανήκει.

Ένα AC με υψηλή προτεραιότητα έχει μικρότερο CW από ένα AC με χαμηλότερη προτεραιότητα προκειμένου να αποκτήσει γρηγορότερα πρόσβαση στο μέσο μετάδοσης.

Υπάρχει διαφοροποίηση τόσο του contention window (CW), όσο και του IFS, που σε αυτήν την περίπτωση ονομάζεται arbitration IFS (AIFS), ανάλογα με το AC.

Το AIFS είναι τουλάχιστον ίσο με DIFS. Ομοίως τα CW_{min} και CW_{max} δεν παραμένουν ούτε και αυτά σταθερά αλλά μεταβάλλονται ανάλογα με το AC.

Επιπλέον, κάθε AC σε έναν σταθμό συμπεριφέρεται σαν εικονικός σταθμός (virtual station), προσπαθώντας να αποκτήσει πρόσβαση στο μέσο με τις δικές τις παραμέτρους. Οι συγκρούσεις εντός του ίδιου σταθμού διευθετούνται σαν τις κλασσικές συγκρούσεις στο ασύρματο μέσο.

Στην περίπτωση που συμβεί σύγκρουση ανάμεσα σε δύο ACs διαφορετικής προτεραιότητας, τότε το AC με την υψηλότερη προτεραιότητα θα αποκτήσει πρόσβαση στο κανάλι και θα μεταδώσει τα δεδομένα του, ενώ αυτό με την χαμηλή προτεραιότητα θα υπολογίσει ένα νέο backoff time.

Προκειμένου να παρέχει ακόμα μεγαλύτερη διαφοροποίηση, εισάγει οκτώ προτεραιότητες χρήστη (User Priorities, UP) ώστε να κατηγοριοποιήσει τις ροές που ανήκουν στο ίδιο AC. Κάθε σταθμός ανήκει σε κάποιο AC και έχει ένα UP. Ένα ή περισσότερα UPs μπορεί να ανήκουν στο ίδιο AC.

Hybrid Coordination Function (HCF)

Το HCF αποτελεί επέκταση του PCF. Κατά τη διάρκεια του CFP ο hybrid coordinator (HC) που υλοποιείται στο AP στέλνει ένα QoS CF-Poll πακέτου ελέγχου σ' έναν STA δίνοντας του την ευκαιρία να μεταδώσει δεδομένα (transmission opportunity, TXOP).

Οι υπόλοιποι σταθμοί του BSS λαμβάνουν το QoS CF-Poll, διαβάζουν το duration field του πακέτου και ενημερώνουν το NAV τους.

Από αυτή τη στιγμή οι υπόλοιποι STAs σταματούν τις προσπάθειες απόκτησης του καναλιού και ο STA που έχει το TXOP αρχίζει να μεταδίδει δεδομένα. Αυτός ο μηχανισμός δεσμεύει τους πόρους του δικτύου για αποκλειστική χρήση από τον STA που διαθέτει το TXOP.

Επιτυγχάνει να μειώσει την πιθανότητα να συμβεί κάποια σύγκρουση, διότι όλοι οι STAs εκτός από αυτόν που διαθέτει το TXOP και από το AP, δεν έχουν πρόσβαση στο κανάλι, μέχρι να παρέρθει DIFS χρόνος από την ολοκλήρωση μίας επιτυχημένης μετάδοσης .

5.3 Black Burst

Ένα άλλο καταναμημένο MAC σχήμα που βασίζεται στον ανταγωνισμό και η μέθοδος πρόσβασης στο μέσο είναι η CSMA είναι το Black-Burst (BB) όπου υποστηρίζει ποιότητα υπηρεσιών (μειώνοντας την καθυστέρηση) σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου.

Σε αυτό το σχήμα οι κόμβοι ανταγωνίζονται το κανάλι έως ότου αυτό ελευθερωθεί.

Περιμένουν διάρκεια μεγαλύτερη του διαστήματος IFS όταν το κανάλι είναι απασχολημένο. Κόμβοι που χρησιμοποιούνται για πραγματικού χρόνου εφαρμογές έχουν διαφορετικές τιμές IFS.

Τα πακέτα πραγματικού χρόνου (real time) μαρκάρονται ως πακέτα υψηλής προτεραιότητας αποτέλεσμα οι κόμβοι που επιθυμούν να μεταδώσουν πακέτα πραγματικού χρόνου (realtime packets) έχουν προτεραιότητα πρόσβασης στο κανάλι έναντι των κόμβων που φέρουν πακέτα μη-πραγματικού χρόνου (non-realtime packets).

Εάν το μέσο βρίσκεται απασχολημένο όταν θέλει να διαβιβάσει ένας κόμβος τα πραγματικού χρόνου δεδομένα, ο κόμβος περιμένει έως ότου αυτό ελευθερωθεί και έπειτα μπλοκάρει το ασύρματο μέσο με ενεργειακούς παλμούς αποκαλούμενους BBs για μια χρονική περίοδο, διαφορετικού μήκους.

Το μήκος του BB (black burst) καθορίζεται από τον χρόνο που περιμένει να έχει πρόσβαση ο σταθμός στο μέσο. Εφόσον έχει μεταδώσει ένα BB ο σταθμός 'ακούει' το μέσο εάν κάποιος άλλος σταθμός στέλνει ένα μεγαλύτερου μήκους BB, υπονοώντας ότι άλλος σταθμός περιμένει περισσότερο και πρέπει έτσι να έχει πρόσβαση στο μέσο πρώτος.

Εάν το μέσο δεν είναι απασχολημένο, ο σταθμός θα στείλει το πλαίσιό του, διαφορετικά θα περιμένει έως ότου το μέσο ελευθερωθεί πάλι και εισάγει ένα άλλο BB. Κατά συνέπεια, μόνο ένας νικητής παράγεται από αυτόν τον ανταγωνισμό και αυτός θα διαβιβάσει τα πραγματικού χρόνου πακέτα του επιτυχώς.

Το Black Burst εξασφαλίζει ότι τα πακέτα πραγματικού χρόνου διαβιβάζονται χωρίς συγκρούσεις και έχουν προτεραιότητα από τα πακέτα καλύτερης προσπάθειας (best-effort packets).

5.4 MACA/PR – Multihop Access Collision Avoidance with Piggyack Reservation

Παρέχει εγγυημένη υποστήριξη εύρους ζώνης μέσω της δέσμευσης (reservation) για κίνηση πραγματικού χρόνου.

Εντούτοις, πρέπει να λειτουργήσει με έναν αλγόριθμο δρομολόγησης QoS και έναν γρήγορο μηχανισμό δέσμευσης εύρους ζώνης.

Το πρώτο πακέτο δεδομένων σε μια πραγματικού χρόνου ροή δεσμεύει τους πόρους κατά μήκος του μονοπατιού.

Ένας διάλογος RTS/CTS χρησιμοποιείται σε κάθε σύνδεση για αυτό το πρώτο πακέτο προκειμένου να σιγουρευτεί ότι διαβιβάζεται επιτυχώς. Και το RTS και το CTS διευκρινίζουν πόσο μεγάλο το πακέτο δεδομένων θα είναι.

Οποιοσδήποτε σταθμός κοντά στον αποστολέα που 'ακούει' το RTS θα αναβάλει κάποια μετάδοση για αρκετό καιρό έτσι ώστε ο αποστολέας να μπορεί να

λάβει την επιστροφή CTS. Οποιοσδήποτε κόμβος κοντά στον δέκτης που 'ακούει' το CTS θα αποφύγει τη σύγκρουση με το ακόλουθο πακέτο δεδομένων.

Ο διάλογος RTS/CTS χρησιμοποιείται μόνο για το πρώτο πακέτο για την εγκαθίδρυση της δέσμευσης των πόρων. Τα επόμενα πακέτα δεν απαιτούν αυτόν τον μηχανισμό.

Όταν ένας αποστολέας στέλνει ένα πακέτο δεδομένων, ο αποστολέας σχεδιάζει τον επόμενο χρόνο μετάδοσης μετά από την τρέχουσα μετάδοση δεδομένων και την δέσμευση των πόρων με τον piggyback μηχανισμό στο τρέχον πακέτο δεδομένων.

Καθώς ληφθεί το πακέτο δεδομένων σωστά, ο προοριζόμενος δέκτης θέτει την δέσμευση του εύρους ζώνης στον πίνακα των δεσμευμένων πόρων του και επιστρέφει ένα ACK (acknowledgement- μήνυμα επιβεβαίωσης).

Οι γείτονες που 'ακούνε' το πακέτο δεδομένων μπορούν να μάθουν για τον επόμενο χρόνο μετάδοσης των πακέτων.

Παρομοίως, οι γείτονες από την πλευρά του δέκτη που 'ακούνε' το ACK θα αποφύγουν να στείλουν την ώρα που ο δέκτης σχεδιάζει να λάβει το επόμενο πακέτο. Παρατηρούμε ότι το ACK χρησιμεύει για να ανανεώσει την δέσμευση παρά να την ανακτήσει από την απώλεια πακέτων.

Στην πραγματικότητα, εάν το ACK δεν παραλαμβάνεται, το πακέτο δεν αναμεταδίδεται.

Αντ' αυτού, εάν ο αποστολέας αποτυγχάνει συνεχώς να λάβει ACKs για ορισμένες μεταδόσεις, υποθέτει ότι η σύνδεση δεν ικανοποιεί την απαίτηση εύρους ζώνης και ειδοποιεί το ανώτερο στρώμα (δηλ., το πρωτόκολλο δρομολόγησης QoS).

Έτσι αυτή η δέσμευση των μηνυμάτων επιβεβαίωσης χρησιμεύει ως προστατής για το δεδομένο χρονικό διάστημα, και ως μηχανισμός να ενημερώνει τον αποστολέα εάν κάτι πηγαίνει λάθος στη σύνδεση.

5.5 Τεχνική TDMA και Ad-Hoc δίκτυα

Μια ακόμα τεχνική που είναι πολύ διαδεδομένη είναι η τεχνική διαίρεσης χρόνου πολλαπλής πρόσβασης (Time division multiple access, TDMA). Είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται σε δίκτυα κοινού μέσου (συνήθως ράδιο δίκτυα). Επιτρέπει σε αρκετούς χρήστες να μοιράζονται την ίδια συχνότητα με το να διαιρείται το κανάλι σε διάφορες χρόνο σχισμές.

Οι χρήστες εκπέμπουν στην δική τους χρόνο σχισμή, διαδέχοντας ο ένας τον άλλο πολύ γρήγορα. Αυτό επιτρέπει πολλαπλούς χρήστες να χρησιμοποιούν το ίδιο μέσο εκπομπής (π.χ. το ράδιο κανάλι) ενώ χρησιμοποιούν ένα μόνο μέρος του εύρους του καναλιού που απαιτείται.

Η χρονική σχισμή χρησιμοποιείται αποκλειστικά και μόνο από την αντίστοιχη σύνδεση (κύκλωμα) καθ'όλη τη διάρκεια της κλήσης. Τα MANETs είναι δίκτυα με περιορισμένα αποθέματα ενέργειας. Είναι επομένως πολύ σημαντικό να χρησιμοποιηθεί ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης που δεν θέτει μεγάλες απαιτήσεις σε ενέργεια. Τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν TDMA σπαταλούν λιγότερη ενέργεια, αφού οι κόμβοι του δικτύου παραμένουν ανενεργοί, σε σχέση με άλλα πρωτόκολλα που σπαταλούν ενέργεια 'ακούγοντας' συνεχώς το κανάλι (idle listening).

Με τη τεχνική αυτή πολλές συνδέσεις μπορούν να εξυπηρετούνται ταυτόχρονα από το δίκτυο χωρίς να παρεμβάλλονται μεταξύ τους. Μπορούν επομένως να μοιραστούν το κανάλι πολλοί χρήστες χωρίς να συγκρούονται τα πακέτα τους.

Αυτό είναι μεγάλης σημασίας γιατί η ποιότητα υπηρεσίας προϋποθέτει μικρή απώλεια πακέτων, αφού δεν μπορεί να εφαρμοστεί κάποια τεχνική αναμετάδοσης των χαμένων πακέτων (γιατί τα πακέτα θα φτάσουν ούτως ή άλλως καθυστερημένα). Τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν TDMA μπορούν να προβλέψουν επαρκώς το εύρος ζώνης κάθε σύνδεσης και την καθυστέρηση των πακέτων από άκρο σε άκρο.

5.5.1 Cluster TDMA

Η βασική ιδέα είναι η ομαδοποίηση των κόμβων σε ομάδες (clusters) ώστε να διαχωριστεί η δρομολόγηση σε δύο (ή και περισσότερα) επίπεδα: το πρώτο ανάμεσα στις ομάδες και το δεύτερο στο εσωτερικό κάθε ομάδας.

Το ασύρματο ad hoc δίκτυο χωρίζεται σε κομμάτια για καθένα από τα οποία ορίζεται ένας κόμβος ως αρχηγός (cluster-head) ο οποίος αναλαμβάνει την επικοινωνία των κόμβων της ομάδας του με τους υπόλοιπους αλλά και την ενημέρωση για τυχών μετακινήσεις κόμβων από ομάδα σε ομάδα.

Τα πλεονεκτήματα των cluster-based πρωτοκόλλων είναι ότι χαρακτηρίζονται από μειωμένο αριθμό μηνυμάτων ελέγχου, επαναχρησιμοποίηση του bandwidth κ.

Κάθε κόμβος μέσα σε μια ομάδα είναι ένας hop μακριά από τον αρχηγό του. Ο σχηματισμός των ομάδων και η επιλογή των αρχηγών γίνεται με έναν διανεμημένο τρόπο.

Αλγόριθμοι ομαδοποίησης χωρίζουν τους κόμβους σε ομάδες έτσι ώστε να διασυνδέονται και να καλύπτουν όλους τους κόμβους. Τρεις τέτοιοι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται είναι, ο αλγόριθμος lowest-ID, ο αλγόριθμος highest-degree (ο βαθμός αναφέρεται στον αριθμό γειτόνων που είναι μέσα στη εμβέλεια μετάδοσης ενός κόμβου) και ο αλγόριθμος least cluster change (LCC).

Σε κάθε ομάδα, ο αντίστοιχος αρχηγός διατηρεί έναν πίνακα με τις εξασθενημένες ενέργειες από τον αποστολέα στον παραλήπτη. Περιέχει τις λίστες με τις ενέργειες μετάδοσης όλων των κόμβων που ανήκουν σε μια ιδιαίτερη ομάδα. Είναι χρήσιμο για τον έλεγχο της μεταδιδόμενης ενέργειας και την κατανομή κωδικών μέσα σε μια ομάδα.

Το σχήμα TDMA χρησιμοποιείται μέσα σε μια ομάδα για τον έλεγχο της πρόσβασης στο κανάλι. Περαιτέρω, είναι πιθανό γ πολλαπλές συνόδους να μοιραστεί μια δεδομένη χρονοθυρίδα TDMA μέσω CDMA. Επίσης ένα πλαίσιο διαιρεμένο σε χρονοθυρίδες ορίζεται για να υποστηρίξει TDMA πρόσβαση μέσα σε μια ομάδα και να ανταλλάξει πληροφορίες ελέγχου. Οι θυρίδες και τα πλαίσια είναι συγχρονισμένα σε όλο το δίκτυο. Ένα πλαίσιο είναι χωρισμένο σε μια φάση ελέγχου και μια φάση δεδομένων.

Η φάση δεδομένων υποστηρίζει πραγματικού χρόνου κίνηση. Με βάση την απαίτηση εύρους ζώνης σε συνόδους πραγματικού χρόνου, ένα εικονικό κύκλωμα (VC) εγκαθίσταται διανέμοντας ικανοποιητικό αριθμό θυρίδων στη φάση δεδομένων. Όταν ένας σταθμός θέλει να επικοινωνήσει με κάποιο άλλο σταθμό, αν γίνει δεκτή η κλήση του, γνωρίζει ότι το δίκτυο θα του παρέχει το κατάλληλο εύρος ζώνης -μέσω των χρονοθυρίδων- ώστε τα δεδομένα να φτάσουν στον προορισμό τους χωρίς να υπερβαίνουν την καθυστέρηση που έχει συμφωνηθεί.

Για κάθε κόμβο, μια προκαθορισμένη θυρίδα ορίζεται στη φάση ελέγχου για να μεταδώσει ραδιοφωνικά τις πληροφορίες ελέγχου της. Η πληροφορία ελέγχου μεταδίδεται με έναν κοινό κώδικα σε όλο το δίκτυο. Στο τέλος της φάσης ελέγχου, κάθε κόμβος έχει μάθει από τη ραδιοφωνική μετάδοση πληροφοριών του αρχηγό του, τις δεσμευμένες θυρίδες της φάσης δεδομένων και τις λίστες με τις ενέργειες μετάδοσης όλων των γειτόνων του. Αυτές οι πληροφορίες βοηθούν έναν κόμβο για να σχεδιαστούν ελεύθερες θυρίδες, να ελέγξουν την αποτυχία των διατηρημένων θυρίδων, και να ρίξουν τα ληγμένα σε πραγματικό χρόνο πακέτα.

Ένα γρήγορο σχέδιο δέσμευσης του εύρους ζώνης χρησιμοποιείται στο οποίο η δέσμευση γίνεται όταν διαβιβάζεται το πρώτο πακέτο, και οι ίδιες θυρίδες στα επόμενα πλαίσια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ίδια σύνδεση. Εάν οι διατηρημένες θυρίδες παραμένουν απασχολημένες για μια ορισμένη χρονική περίοδο, απελευθερώνονται.

Συνοψίζοντας, η τεχνική TDMA εξασφαλίζει τη μη ύπαρξη παρεμβολών μεταξύ κόμβων, μικρή απώλεια πακέτων, επαρκές εύρος ζώνης για κάθε σύνδεση, ανεκτές καθυστερήσεις από άκρο σε άκρο και μικρές απαιτήσεις ενέργειας.

Κεφάλαιο 6. Network Layer

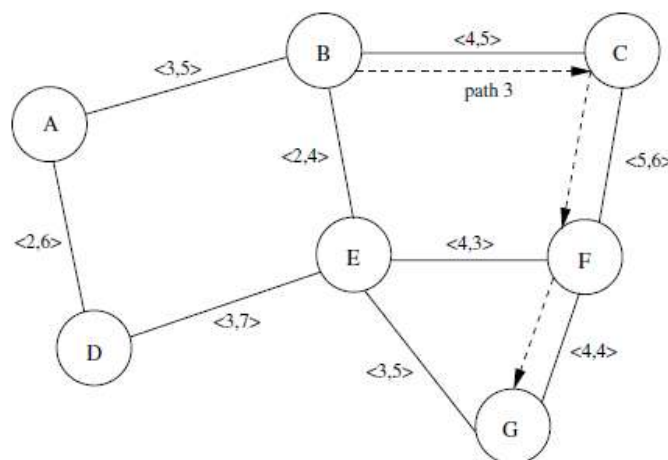
6.1 Δρομολόγηση

Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετήσουμε πρωτόκολλα δρομολόγησης που υλοποιούνται στο network επίπεδο των ad hoc δικτύων. Σύμφωνα με το OSI μοντέλο το network επίπεδο βρίσκεται επάνω από το data link επίπεδο και είναι υπεύθυνο για τη δρομολόγηση των πακέτων προς τους ενδεδειγμένους προορισμούς τους. Αν και στα ενσύρματα δίκτυα η λειτουργία της δρομολόγησης γίνεται μόνο μια φορά, κατά την αρχικοποίηση του δικτύου, στα ασύρματα δίκτυα η διαδικασία αυτή είναι συχνή αφού οι κόμβοι κινούνται και οι διαθέσιμες διαδρομές συνέχεια μεταβάλλονται. Έτσι το ασύρματο network επίπεδο χρειάζεται να διαχειρίζεται αυτή τη κινητικότητα των κόμβων κάνοντας ενημερώσεις για τις τοποθεσίες τους, κάτι το οποίο δεν απαιτείται στα στατικά ενσύρματα δίκτυα.

Σε ένα ad hoc δίκτυο, τα πακέτα συνήθως απαιτείται να αναμεταδοθούν από αρκετούς κόμβους μέχρι να φθάσουν στο τελικό προορισμό τους. Η επιλογή των μονοπατιών που πρόκειται να ακολουθήσουν γίνεται με βάση κριτήρια όπως είναι ο αριθμός των συνδέσμων που τα απαρτίζουν, η ποιότητά τους κ.α. Στη συνέχεια το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται δεν έχει παρά να επιλέξει εκείνη τη διαδρομή που ελαχιστοποιεί το συγκεκριμένο κριτήριο.

Παραδείγματος χάριν, εξετάζουμε το δίκτυο που παρουσιάζεται στο σχήμα 13. Τα χαρακτηριστικά της κάθε σύνδεσης παρουσιάζονται στο ζευγάρι $\langle BW, D \rangle$, όπου το BW και το D αντιπροσωπεύουν το διαθέσιμο εύρος ζώνης σε Mbps και την καθυστέρηση στα χιλιοστά του δευτερολέπτου(ms) αντίστοιχα. (Θεωρούμε ότι η καθυστέρηση περιλαμβάνει και την καθυστέρηση μετάδοσης και την καθυστέρηση διάδοσης αλλά και την καθυστέρηση ουράς). Υποθέτουμε ότι μια ροή πακέτων από τον κόμβο B στον κόμβο G απαιτεί μια εγγύηση εύρους ζώνης 4 Mbps.

Η δρομολόγηση με QoS (QoS routing) αναζητά ένα μονοπάτι που έχει επαρκές εύρος ζώνης ώστε να καλύψει την απαίτηση εύρους ζώνης της ροής. Εδώ βλέπουμε ότι 6 διαδρομές είναι διαθέσιμες μεταξύ των κόμβων B και G όπως φαίνεται στον πίνακα 1.



Σχήμα 13

Μεταφορά δεδομένων από τον κόμβο B στον κόμβο G

Το QoS routing επιλέγει το μονοπάτι 3 (δηλ., $B \rightarrow C \rightarrow F \rightarrow G$) επειδή, από τις διαθέσιμες διαδρομές, το μονοπάτι 3 μόνο συναντά τον περιορισμό εύρους ζώνης 4 Mbps για τη ροή των πακέτων. Το από άκρο σε άκρο εύρος ζώνης μιας διαδρομής είναι ίσο με το εύρος ζώνης της σύνδεσης που έχει το ελάχιστο εύρος ζώνης μεταξύ όλων των συνδέσεων μιας διαδρομής. Η από άκρου σε άκρο καθυστέρηση μιας διαδρομής είναι ίση με το άθροισμα των καθυστερήσεων όλων των συνδέσεων μιας διαδρομής. Σαφώς το μονοπάτι 3 δεν είναι το βέλτιστο από την άποψη των αριθμών των αλμάτων (hop count) και/ή των παραμέτρων της καθυστέρησης, ενώ το μονοπάτι 1 είναι βέλτιστο και από την άποψη του αριθμού των αλμάτων και της καθυστέρησης. Ως εκ τούτου, το QoS routing πρέπει να επιλέξει μια κατάλληλη διαδρομή που να συναντά τους περιορισμούς QoS που διευκρινίζονται στο αίτημα υπηρεσιών που υποβάλλεται από το χρήστη.

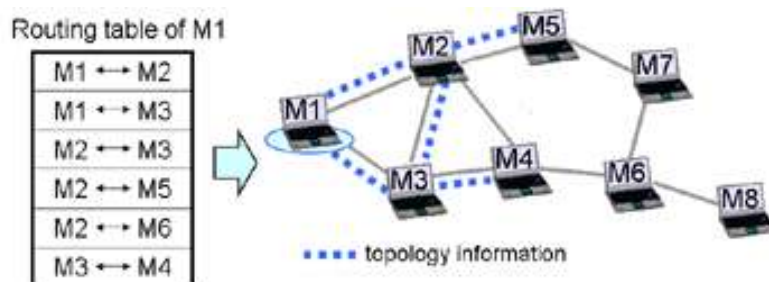
Πίνακας 1 :

Διαθέσιμα μονοπάτια από τον κόμβο B στον κόμβο G

No.	Μονοπάτι	Αριθμός αλμάτων	BW(Mbps)	Delay(ms)
1	$B \rightarrow E \rightarrow G$	2	2	9
2	$B \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow G$	3	2	11
3	$B \rightarrow C \rightarrow F \rightarrow G$	3	4	15
4	$B \rightarrow C \rightarrow F \rightarrow E \rightarrow G$	4	3	19
5	$B \rightarrow A \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow G$	4	2	23
6	$B \rightarrow A \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow G$	5	2	25

Πιο συγκεκριμένα από τις μετρικές και τους δείκτες ποιότητας, μέσω έρευνας, έχουν προταθεί διάφοροι αλγόριθμοι και πρωτόκολλα όσον αφορά την συνδεσμολογία και δρομολόγηση των MANETs. Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης είναι υπεύθυνα για να βρεθεί το καλύτερο μονοπάτι ανάμεσα στον κόμβο πηγή και στον κόμβο προορισμού. Μετά την εύρεση του μονοπατιού αρχίζει η μεταφορά των πακέτων. Επειδή, όπως είχαμε προαναφέρει, η τοπολογία των MANETs είναι δυναμική και μπορεί να αλλάζει, έτσι και τα πρωτόκολλα δρομολόγησης πρέπει να είναι δυναμικά και να είναι σε θέση να βρίσκουν κάθε φορά την καλύτερη διαδρομή, όταν η τοπολογία αλλάζει.

Ωστόσο, η ευελιξία αποτελεί ακόμη ένα σημαντικό θέμα. Ένα ευέλικτο ad-hoc πρωτόκολλο δρομολόγησης μπορεί να συμπεριλάβει προσεγγίσεις table-driven και on-demand που βασίζονται σε δεδομένες καταστάσεις και επικοινωνιακές απαιτήσεις. Η συνεχής μεταβαλλόμενη τοπολογία στα ad hoc δίκτυα δυσκολεύει τον τρόπο με τον οποίο θα γίνεται η δρομολόγηση των πακέτων και με ποιόν τρόπο θα υπολογίζονται οι νέες διαδρομές.



Σχήμα 14

Πίνακας δρομολόγησης του τερματικού M1

Η ανάγκη της μετάβασης της πληροφορίας για την τοπολογία στους κόμβους του δικτύου είναι επιτακτική ώστε να μπορούν να τροποποιηθούν οι διαδρομές που γνωρίζει ο κάθε κόμβος για να μπορεί να επικοινωνήσει με τους υπόλοιπους.

Τέλος πρέπει να γίνουν εξισορροπήσεις μεταξύ κάποιων απαιτήσεων όπως τα σύντομα μονοπάτια, ο αριθμός των συγκρούσεων, και η διατήρηση της συνεκτικότητας του δικτύου. Αρκετά πρωτόκολλα δρομολόγησης έχουν αναπτυχθεί που υποστηρίζουν QoS με έναν ή περισσότερους από τους ακόλουθους τρόπους:

- Επιλογή διαδρομών με το μεγαλύτερο διαθέσιμο εύρος ζώνης (ή ελάχιστη καθυστέρηση)
- Παροχή δυνατότητας αποδοχής κλήσης για να απορρίψετε τις αιτήσεις για μια διαδρομή, αν είναι ανεπαρκές το εύρος ζώνης για να υποστηρίξει το αίτημα.
- Παροχή ανταπόκρισης στην εφαρμογή για τους διαθέσιμους πόρους του εύρους ζώνης ή την εκτίμηση καθυστέρησης του μονοπατιού.

Αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζει αρχικά τα ζητήματα που περιλαμβάνονται στο σχεδιασμό ενός πρωτοκόλλου δρομολόγησης και έπειτα των διαφορετικών ταξινομήσεων των πρωτοκόλλων δρομολόγησης για τα ασύρματα Ad-hoc δίκτυα. Περιγράφει έπειτα διάφορα υπάρχοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης με τις απεικονίσεις (CEDAR-CoreExtraction Distributed Adhoc Routing, TBR- ticket-based probing, AODV with QoS Extensions (QAODV), QOLSR- Quality Optimized Link State Routing)

6.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των QoS πρωτοκόλλων δρομολόγησης

Κατά την αξιολόγηση της απόδοσης των πρωτοκόλλων QoS, μια σειρά από παράγοντες έχουν σημαντικές επιπτώσεις στα αποτελέσματα. Μερικές από αυτές τις παραμέτρους είναι εκδήλωση των χαρακτηριστικών ενός περιβάλλοντος MANET. Καθορίζουν ένα σενάριο σε μια προσομοίωση ή στη πραγματική ζωή, και μπορούν να συνοψισθούν ως εξής:

• **Κινητικότητα κόμβων.**

Αυτός ο παράγοντας περιλαμβάνει γενικά αρκετές παραμέτρους: την μέγιστη και την ελάχιστη ταχύτητα των κόμβων, , το μοτίβο ταχύτητας και τον χρόνο παύσης. Το μοτίβο ταχύτητας του κόμβου καθορίζει αν ο κόμβος κινείται με ενιαία ταχύτητα ανά πάσα στιγμή ή εάν συνεχώς μεταβάλλεται, και επίσης, πώς θα επιταχύνει, για παράδειγμα, ενιαία ή εκθετικά με το χρόνο. Ο χρόνος παύσης καθορίζει το μήκος του χρόνου των κόμβων που παραμένουν σταθεροί μεταξύ κάθε περιόδου κίνησης. Η μέγιστη και η ελάχιστη ταχύτητα, καθορίζουν πόσο συχνά αλλάζει η τοπολογία του δικτύου και κατά συνέπεια τη συχνότητα ενημέρωσης της πληροφορίας για την κατάσταση του δικτύου.

• Το μέγεθος του δικτύου.

Αφού η κατάσταση QoS πρέπει να συγκεντρώνεται ή να διαδίδεται με κάποιο τρόπο για τις αποφάσεις δρομολόγησης, όσο μεγαλύτερο είναι το δίκτυο, τόσο πιο δύσκολο είναι αυτό από την άποψη της καθυστέρησης, της ενημέρωσης και γενικά του φόρτου του μηνύματος.

Αυτό είναι το ίδιο όπως με όλες τις πληροφορίες κατάστασης του δικτύου, όπως αυτή που χρησιμοποιείται στα πρωτόκολλα βέλτιστης διαδρομής.

•Αριθμός, είδος και ρυθμός δεδομένων πηγών κίνησης.

Διαισθητικά, μικρότερος αριθμός των πηγών κίνησης έχει ως αποτέλεσμα λιγότερες διαδρομές και το αντίστροφο. Πηγές κίνησης μπορεί να είναι ένας σταθερός ρυθμός bit (CBR) ή μπορούν να παράγουν bits ή πακέτα με ρυθμό που ποικίλλει με το χρόνο σύμφωνα με τη κατανομή Poisson, ή οποιοδήποτε άλλο μαθηματικό μοντέλο. Ο μέγιστος ρυθμός δεδομένων επηρεάζει τον αριθμό των πακέτων στο δίκτυο και κατά συνέπεια το φόρτο του δικτύου. Όλοι αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση.

•Μετάδοση ισχύος Κόμβου.

Μερικοί κόμβοι μπορεί να έχουν την δυνατότητα να ποικίλλουν στην μετάδοση της ισχύος τους. Αυτό είναι σημαντικό, δεδομένου ότι σε υψηλή ισχύ, οι κόμβοι έχουν περισσότερους άμεσους γειτονικούς κόμβους και ως εκ τούτου αυξάνει τη διάρκεια της σύνδεσης, αλλά η παρεμβολή μεταξύ των κόμβων είναι σαφώς ισχυρή. Ο έλεγχος εκπομπής ισχύος μπορεί επίσης να οδηγήσει σε μονόδρομο κατεύθυνση των συνδέσεων μεταξύ των κόμβων, το οποίο μπορεί να επηρεάσει την απόδοση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης.

•Χαρακτηριστικά καναλιού.

Όπως περιγράφεται και παραπάνω, υπάρχουν πολλοί λόγοι για το ασύρματο κανάλι που δεν είναι αξιόπιστο, και πολλοί λόγοι για τους οποίους bits, και ως εκ τούτου πακέτων δεδομένων, δεν μπορούν να παραδοθούν σωστά. Όλα αυτά επηρεάζουν την ικανότητα του δικτύου να παρέχει ποιότητα υπηρεσιών.

Βασικές εκτιμήσεις σχεδιασμού για ένα QoS-aware πρωτόκολλο δρομολόγησης.

Δεδομένων αυτών των στόχων, παρακάτω θα δούμε τις βασικές εκτιμήσεις του σχεδιασμού για ένα QoS-aware πρωτόκολλο δρομολόγησης.

Εκτίμηση των πόρων: Το να προσφέρεις μια διαδρομή με εγγυήσεις πόρων, η έννοια-κλειδί είναι η απόκτηση πληροφοριών σχετικά με τους διαθέσιμους πόρους από τα χαμηλότερα στρώματα. Αυτές οι πληροφορίες βοηθούν την εκτέλεση του call admission και QoS προσαρμογής. Οι περισσότερες υπάρχουσες τεχνικές έχουν επικεντρωθεί στους περιορισμούς QoS του εύρους ζώνης και της καθυστέρησης και ως εκ τούτου, το διαθέσιμο εύρος ζώνης ή η καθυστέρηση σε ένα κόμβο ή σύνδεσης πρέπει να εκτιμηθεί. Στα MANETs, οι χρήστες μοιράζονται το εύρος ζώνης με τους γειτονικούς τους, και ως εκ τούτου, το διαθέσιμο εύρος ζώνης σε έναν κόμβο ποικίλλει και επηρεάζεται δυναμικά από την κίνηση των γειτόνων τους. Ως εκ τούτου, τα δύο βασικά προβλήματα στην εκτίμηση του εύρους ζώνης είναι: πώς ακριβώς μπορεί να υπολογιστεί το διαθέσιμο εύρος ζώνης και πόσο συχνά μπορεί να γίνει η εκτίμηση αυτή. Σε γενικές γραμμές, ο συμβιβασμός του οφέλους μεταξύ της χρήσης των πόρων και την εκτίμηση του κόστους από την άποψη του overhead και των υπολογιστικών πόρων που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των πόρων είναι ένα βασικό ζήτημα.

Ανακάλυψη Διαδρομής : Υπάρχουν δύο κύριες προσεγγίσεις για τη δρομολόγηση σε MANETs: reactive και proactive δρομολόγηση . Η reactive δρομολόγηση μειώνει το overhead σε βάρος της καθυστέρησης στην εξεύρεση κατάλληλης διαδρομής. Το αντίθετο συμβαίνει για την proactive δρομολόγηση. Για QoS-aware δρομολόγηση, ένα άλλο ζήτημα είναι ο καθορισμός του συνδυασμού του μειωμένου χρόνου αναμονής και της μείωσης του overhead, ότι καλύτερο για την υποστήριξη QoS.

Κράτηση των πόρων: Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι πόροι του εύρους ζώνης είναι κοινές για τους γειτονικούς κόμβους στα MANETs. Ως εκ τούτου, ένα άλλο δύσκολο θέμα είναι το πώς να κατανειμούμε αυτούς τους πόρους από κοινού, το είδος της κράτησης των πόρων, καθώς και το είδος των εισερχομένων κλήσεων που πρέπει να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία και τη διατήρηση της QoS-aware διαδρομής.

Συντήρηση Διαδρομής: Η κινητικότητα των κόμβων στα MANETs προκαλεί συχνές αλλαγές στην τοπολογία του δικτύου, καθιστώντας δύσκολο να ανταποκριθούν οι περιορισμοί QoS. Η τυπική προσέγγιση για την συντήρηση διαδρομής, η οποία συνεπάγεται αναμονή για τον χρήστη να ανακαλύψει αν ένα μονοπάτι είναι ενεργό ή καταστράφηκε λόγω κάποιου προβλήματος , επηρεάζει σημαντικά τις επιδόσεις των δρομολογίων. Ως εκ τούτου, ένα σύστημα πρόβλεψης είναι χρήσιμο για να βοηθήσει στην συντήρηση της διαδρομής.

Επιλογή Διαδρομής: Η QoS-aware δρομολόγηση έχει αυστηρότερες απαιτήσεις για τη σταθερότητα των δρομολογίων, καθώς συχνές αποτυχίες διαδρομών επηρεάζουν αρνητικά την end-to-end QoS. Έτσι, κατά μια έννοια, η διαδρομή με το μεγαλύτερο διαθέσιμο εύρος ζώνης δεν είναι η μόνη παράμετρος που λαμβάνουμε υπόψη αλλά πρέπει να μελετήσουμε και άλλες μετρήσεις, όπως είναι η αξιοπιστία της διαδρομής και το μήκος διαδρομής, κατά την επιλογή μιας κατάλληλης διαδρομής με ένα πρωτόκολλο δρομολόγηση με QoS.

6.3 Μετρικές εκτίμησης πρωτοκόλλου δρομολόγησης με QoS

Οι ακόλουθες μετρικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της απόδοσης ενός Πρωτοκόλλου δρομολόγησης QoS.

- Ρυθμός απόδοσης δικτύου (b / s). Το ποσό των δεδομένων κίνησης που διεξήχθησαν από ολόκληρο το δίκτυο στον προορισμό του σε ένα δευτερόλεπτο.
- Ρυθμός απόδοσης ανά κόμβο (b / s). Ο μέσος όρος απόδοσης που έχει επιτευχθεί από ένα μόνο κόμβο.
- Καθυστερήση ανακάλυψης διαδρομής για αντιδραστικά πρωτόκολλα (reactive). Είναι ένα μέτρο της αποτελεσματικότητας των αντιδραστικών πρωτοκόλλων, δηλαδή, κατά μέσο όρο, το χρονικό διάστημα της αίτησης για μια διαδρομή που εκδόθηκε μέχρι την απάντηση με μια έγκυρη διαδρομή που έλαβε.
Σε ορισμένες περιπτώσεις, αυτό μπορεί επίσης να αναφέρεται ως ο χρόνος εγκατάστασης συνόδου (SET).
- Κανονικοποίηση φορτίου δρομολόγησης (NRL). Ο λόγος των πακέτων δρομολόγησης που μεταδίδονται προς τα δεδομένα πακέτων που λαμβάνονται στον τόπο προορισμού. Αυτό δίνει ένα μέτρο του λειτουργικού κόστους και της αποδοτικότητας του πρωτοκόλλου δρομολόγησης.
- Διάρκεια ζωής Δικτύου. Μπορεί να οριστεί ως ο χρόνος μέχρι τον διαχωρισμό του δικτύου που συμβαίνει λόγω αποτυχίας ενός κόμβου, ή το χρονικό διάστημα μέχρι ένα ορισμένο ποσοστό των κόμβων να αποτύχει. Αυτό το μέτρο δείχνει την ενεργειακή απόδοση του πρωτόκολλου και την ικανότητα εξισορρόπησης του φορτίου.
- Ενεργειακή απόδοση Δρομολόγησης(%) = $(E_{data}) / (E_{total}) \times 100$, όπου E_{data} είναι η ενέργεια που καταναλώνεται για την μετάδοση και λήψη των χρήσιμα bit δεδομένων, και E_{total} η συνολική ενέργεια που καταναλώνεται στην επικοινωνία των πακέτων δεδομένων συν την δρομολόγηση κεφαλίδες και πακέτα ελέγχου

6.4 Ταξινόμηση Πρωτοκόλλων

Τα υπάρχοντα πρωτόκολλα μπορούν να χωριστούν ανάλογα με την μεταχείριση της τοπολογίας του δικτύου σε τρεις κατηγορίες, σε locationbased και non location-based ανάλογα με το αν οι κόμβοι γνωρίζουν μόνο τους ενεργούς συνδέσμους ή όχι, σε hierarchical και flat, ανάλογα με το αν οι κόμβοι ομαδοποιούνται σε clusters ή όχι.

Άλλη σημαντική κατηγοριοποίησή τους αφορά την προσέγγιση ανακάλυψης της διαδρομής και χωρίζονται σε proactive και reactive. Στα proactive υπάρχει η τάση να υπολογίζονται συνεχώς οι διαδρομές μέσα στο δίκτυο. Έτσι όταν ένα πακέτο πρέπει να προωθηθεί, η διαδρομή που πρέπει να ακολουθήσει έχει ήδη υπολογιστεί και μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα.

Επομένως κάθε κόμβος διαθέτει μια υπαρκτή διαδρομή, κάθε χρονική στιγμή για κάθε προορισμό.

Το μειονέκτημα των proactive πρωτοκόλλων είναι το overhead που προστίθεται ώστε να υπάρχει συνεχής ενημέρωση για τη τοπολογία του δικτύου. Εάν όμως το διαθέσιμο εύρος ζώνης και η ενέργεια λειτουργίας δεν αποτελούν ανασταλτικό παράγοντα, η proactive προσέγγιση είναι η ζητούμενη λύση.

Στα reactive πρωτόκολλα, από την άλλη πλευρά, λαμβάνεται η απαραίτητη πληροφορία μονό όταν χρειάζεται να υπολογιστεί μια διαδρομή μεταξύ δύο κόμβων και η διαδρομή διατηρείται μόνο για το διάστημα όπου είναι ενεργή.

Μια άλλη ονομασία που δίνεται στα reactive πρωτόκολλα και on-demand πρωτόκολλα. Εάν αυτό υλοποιηθεί με έξυπνο τρόπο μπορεί να γίνει εφικτή μία καλύτερη αξιοποίηση του εύρους ζώνης και των διαθέσιμων ενεργειακών πόρων του δικτύου.

Το τίμημα που πληρώνουμε σε αυτήν την περίπτωση είναι μία αύξηση στην συνολική καθυστέρηση των πακέτων καθώς η διαδρομή (route) που θα ακολουθηθεί κατά την δρομολόγηση των πακέτων δεν είναι γνωστή εκ των προτέρων και πρέπει να βρεθεί εκείνη τη χρονική στιγμή.

Τα reactive πρωτόκολλα επιβαρύνουν πολύ λιγότερο το δίκτυο με πακέτα ενημέρωσης (updates) απ' ό,τι τα proactive αλλά άσχουν από καθυστερήσεις στην εγκατάσταση των διαδρομών όταν μια επικοινωνία ξεκινά.

Τέλος σε αυτόν τον διαχωρισμό παραθέτουμε ακόμα μια κατηγορία την υβριδική προσέγγιση, όπου ενσωματώνει τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα και των δύο παραπάνω προσεγγίσεων, proactive και reactive.

6.5 AODV

Ο AODV (Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing) είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης που σχεδιάστηκε ειδικά για τα κινητά Ad-Hoc δίκτυα. Το AODV παρέχει γρήγορη εγκατάσταση διαδρομών και ελάχιστη επιβάρυνση ελέγχου. Το πρωτόκολλο δρομολόγησης AODV έχει τις ρίζες του στο πρωτόκολλο δρομολόγησης DSDV.

6.5.1 Η λειτουργία του AODV

Εκτός από τη δρομολόγηση unicast υποστηρίζει και multicasting. Ο AODV είναι ένας αλγόριθμος ζήτησης (on demand), το οποίο σημαίνει ότι οι διαδρομές μεταξύ των κόμβων δημιουργούνται μόνο όταν αυτό ζητείται από έναν κόμβο που θέλει να αποστείλει ένα μήνυμα. Οι διαδρομές διατηρούνται μόνο εφ' όσον τις χρειάζονται οι δημιουργοί. Το multicasting υποστηρίζεται με τη διαμόρφωση δέντρων που συντίθενται από ομάδες multicast κόμβων και των ενδιάμεσων κόμβων που απαιτούνται για να συνδέσουν τα μέλη ομάδας. Προκειμένου να εξασφαλιστεί ισχύς των διαδρομών (ότι όλες οι διαδρομές είναι ελεύθερες και περιέχουν πιο καλά ενημερωμένες πληροφορίες διαδρομών) ο AODV χρησιμοποιεί αριθμούς ακολουθίας προορισμού (από το DSDV).

Όταν η πηγή κόμβου επιθυμεί να στείλει ένα μήνυμα σε κάποιο κόμβο προορισμού και δεν έχει ήδη μια έγκυρη διαδρομή για εκείνο τον προορισμό κινεί μια διαδικασία ανακαλύψεων (Path Discovery) πορειών για να εντοπίσει άλλο κόμβο. Η εύρεση των διαδρομών στον AODV γίνεται μετά από ζήτηση και ακολουθεί ένας κύκλος εύρεσης διαδρομής μέσω μιας αίτησης / απάντησης (Rooting Request / Rooting Reply). Όποτε απαιτείται μια διαδρομή μεταξύ δύο κόμβων, ο κόμβος πηγή

μεταδίδει ραδιοφωνικά ένα αίτημα διαδρομών (RREQ) προς το δίκτυο. Οι κόμβοι που λαμβάνουν αυτό το RREQ θα ενημερώσουν τα στοιχεία τους για τον κόμβο πηγή και θα δημιουργήσουν δείκτες προς τον κόμβο πηγή στους πίνακες δρομολόγησης τους (η αντίστροφη διαδρομή ιδρύεται προκειμένου να διαβιβαστεί ένα πακέτο RREP πίσω στο δημιουργό από τον προορισμό ή από έναν ενδιάμεσο κόμβο που συνδέεται με τον προορισμό).

Το RREQ περιέχει τον πιο πρόσφατο αριθμό ακολουθίας προορισμού για τον οποίο ο κόμβος πηγή είναι ενήμερος. Ένας κόμβος που λαμβάνει το μήνυμα RREQ μπορεί εκπέμψει μια απάντηση (RREP) πίσω στον κόμβο πηγή εάν: (1) είναι ο προορισμός ή (2) εάν έχει μια πιο νέα διαδρομή στον προορισμό (ο αριθμός ακολουθίας μεγαλύτερος ή ίσος με αυτόν που περιείχε στο RREQ). Διαφορετικά, ο κόμβος κάνει μια αναμετάδοση το RREQ. Όλοι οι κόμβοι κρατούν τη διαδρομή εκείνων των RREQ που έχουν ήδη δει. Εάν είναι το ίδιο RREQ παραλαμβάνεται πάλι, απορρίπτεται

Δεδομένου ότι το RREP μεταδίδεται πίσω στον κόμβο πηγή, όλοι οι κόμβοι κατά μήκος του μονοπατιού ιδρύουν μια μπροστινή διαδρομή για να στείλει τα πακέτα δεδομένων από έναν κόμβο πηγή προς τον επιθυμητό προορισμό της. Μόλις λάβει ο κόμβος πηγή το RREP, θα είναι σε θέση να στείλει τα πακέτα δεδομένων στον κόμβο προορισμού. Εάν ο κόμβος πηγή λάβει αργότερα ένα RREP περιέχοντας έναν μεγαλύτερο αριθμό ακολουθίας ή ένα RREP με τον ίδιο αριθμό ακολουθίας αλλά με μικρότερο αριθμό αλμάτων (hop), μπορεί να ενημερώσει τον πίνακα δρομολόγησης του για εκείνο τον προορισμό και να επιλέξει τη "καλύτερη" διαδρομή.

Κάθε πίνακας δρομολόγησης περιλαμβάνει τα ακόλουθα πεδία:

- Διεύθυνση προορισμού IP
- Αριθμός ακολουθίας προορισμού
- Interface
- Αριθμός αλμάτων (αριθμός αλμάτων μέχρι τον προορισμό)
- Αριθμός τελευταίου άλματος (η αρίθμηση hop που υποδεικνύεται στο πακέτο RREP καταχωρείται ως η τελευταία αρίθμηση στον πίνακα δρομολόγησης).
- Επόμενο άλμα.
- Κατάλογος προδρόμων (περιέχει τις διευθύνσεις IP για τους γείτονες που είναι πιθανό να χρησιμοποιήσουν αυτόν τον κόμβο ως επόμενο hop προς τον προορισμό που είναι τώρα απρόσιτος)
- Διάρκεια ζωής (χρόνος λήξης ή διαγραφής των πληροφοριών για τους μέχρι τώρα απρόσιτους προορισμούς. Εάν ο κόμβος πηγή χρειάζεται ακόμα τις διαδρομές σε αυτούς τους προορισμούς, μπορεί να επανακινήσει τη διαδικασία εύρεσης διαδρομής).
- Σημαίες δρομολόγησης

Οι διαδρομές διατηρούνται εφ' όσον παραμένουν ενεργές. Εάν παρουσιαστεί ένα σπάσιμο στη σύνδεση ενώ η διαδρομή είναι ακόμα ενεργή, τότε δημιουργείται ένα σφάλμα διαδρομής RERR και στέλνεται από τον κόμβο που είναι πιο στενός στον κόμβο πηγή. Το μήνυμα RERR περιλαμβάνει τις πληροφορίες για τους μέχρι τώρα απρόσιτους προορισμούς. Εάν ο κόμβος πηγή χρειάζεται ακόμα τις διαδρομές σε αυτούς τους προορισμούς, μπορεί να επανεκκινήσει τη διαδικασία εύρεσης διαδρομής.

6.5.2 Οι επεκτάσεις QoS στον AODV

Η διαδικασία δρομολόγησης QoS μπορεί να ενημερώσει έναν κόμβο πηγής για το εύρος ζώνης και τη διαθεσιμότητα QoS στον κόμβο προορισμού στο δίκτυο. Αυτή η γνώση επιτρέπει την καθιέρωση των συνδέσεων QoS μέσα στο δίκτυο και την αποδοτική υποστήριξη της στον πραγματικό χρόνο κυκλοφορίας πολυμέσων.

Το AODV είναι ένα από τα λίγα ειδικά πρωτόκολλα δρομολόγησης που είναι σε θέση να παρέχουν εγγύηση της ποιότητας υπηρεσίας (QoS). Υπάρχουν όλο και περισσότερες νέες εφαρμογές που να ωφεληθούν από αυτές τις εγγυήσεις QoS. Παραδείγματος χάριν, η εγγύηση της μέγιστης καθυστέρησης και jitter είναι πολύ χρήσιμη για τη φωνή πάνω από IP (VoIP) όπως επίσης στα κινητά Ad-Hoc δίκτυα. Η κύρια ιδέα της παραγωγής της επιτρεπόμενης QoS στο AODV είναι να προστεθούν οι επεκτάσεις στα μηνύματα δρομολογήσεων (RREQ, RREP), κατά τη διάρκεια της φάσης ανακάλυψης διαδρομών.

Ένας κόμβος που λαμβάνει ένα μήνυμα RREQ με μια επέκταση QoS πρέπει να είναι σε θέση να ικανοποιήσει τη δεδομένη απαίτηση υπηρεσίας. Εάν, μετά από την εγκατάσταση μιας διαδρομής, οποιοσδήποτε κόμβος κατά μήκος του μονοπατιού ανιχνεύσει ότι οι ζητούμενες παράμετροι QoS δεν μπορούν να διατηρηθούν άλλο, εκείνος ο κόμβος πρέπει να στείλει ένα "ICMP QOS_LOST" πίσω στον κόμβο, ο οποίος αρχικά ζήτησε την ικανοποίηση αυτών των παραμέτρων.

Τα ακόλουθα πεδία προστίθενται σε κάθε μήνυμα RREQ και RREP και σε κάθε πίνακα δρομολόγησης και που αντιστοιχεί σε κάθε προορισμό:

- Μέγιστη καθυστέρηση
- Ελάχιστο διαθέσιμο εύρος ζώνης συχνοτήτων
- Κατάλογος με τους κόμβους που ζητούν εγγυήσεις μέγιστης καθυστέρησης
- Κατάλογος με τους κόμβους που ζητούν εγγυήσεις εύρους ζώνης

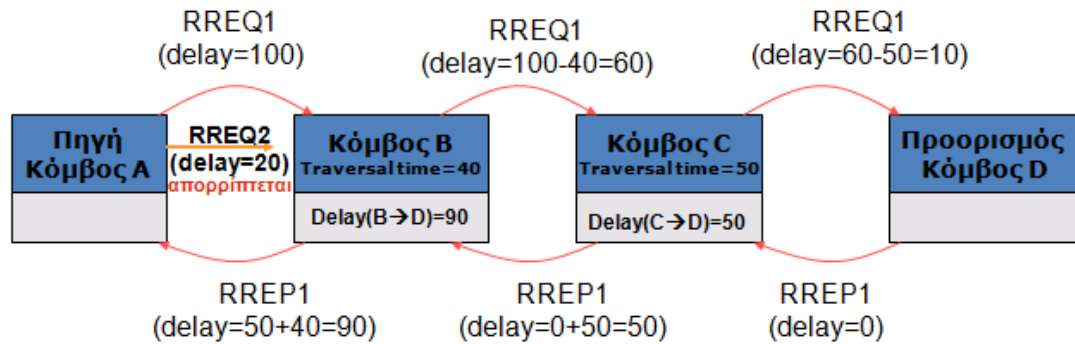
Μέγιστη καθυστέρηση (Maximum Delay)

Η μέγιστη καθυστέρηση δείχνει το μέγιστο αριθμό δευτερολέπτων που επιτρέπονται για μια μετάδοση από μια πηγή (ή από έναν ενδιάμεσο κόμβο που διαβιβάζει το RREQ) στον προορισμό. Κάθε φορά που λαμβάνει ένας κόμβος το ένα RREQ, αφαιρεί (από την καθυστέρηση που υποδεικνύεται στο RREQ) το NODE TRAVERSAL TIME, ο οποίος είναι ο χρόνος που απαιτείται από αυτόν τον κόμβο για να επεξεργαστεί το RREQ. Εάν ο NODE TRAVERSAL TIME είναι μεγαλύτερος από το χρόνο καθυστέρησης που υποδεικνύεται στο RREQ ο κόμβος απλά απορρίπτει το RREQ και δεν το επεξεργάζεται περαιτέρω.

Στο σχήμα 15 παρουσιάζεται πώς το RREQ1 διαβιβάζεται από τους ενδιάμεσους δρομολογητές (πυρήνων) κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ανακάλυψης δρομολογήσεων. Σε κάθε βήμα το πεδίο καθυστέρησης στο μήνυμα RREQ μειώνεται μέχρι το χρόνο Traversal του δρομολογητή. Στο τέλος η έξοδος D θα απαντήσει ένα μήνυμα RREP που θα έχει μια αρχική αξία καθυστέρησης 0.

Αυτή η τιμή καθυστέρησης θα προστίθεται στο χρόνο Traversal κάθε κόμβου και θα καταχωρείται στον πίνακα δρομολόγησης για μελλοντικά μηνύματα RREQs.

Η αποθήκευση της τιμής καθυστέρησης θα κάνει τη μελλοντική ανακάλυψη μιας διαδρομής έναν τετριμμένο στόχο. Επίσης στο σχήμα 5 φαίνεται και η περίπτωση της απόρριψης με την αποστολή του RREQ2 καθώς η μέγιστη απαιτούμενη καθυστέρηση είναι 20 ms ενώ ο χρόνος επεξεργασίας του ενδιάμεσου κόμβου B είναι 40 ms.



Σχήμα 15
Ανακάλυψη διαδρομής με βάση την καθυστέρηση

Ελάχιστο διαθέσιμο εύρος ζώνης(Minimum Available Bandwidth)

Το ελάχιστο διαθέσιμο εύρος ζώνης είναι ένα πεδίο που δείχνει το ζητούμενο ποσό εύρους ζώνης για μία συγκεκριμένη σύνδεση (διαδρομή). Κάθε φορά που λαμβάνει ένας κόμβος ένα RREQ πρέπει να συγκρίνει τη διαθέσιμη ικανότητα των συνδέσεών του με την ικανότητα του εύρους ζώνης που ζητείται στο RREQ. Εάν το ζητούμενο εύρος ζώνης δεν είναι διαθέσιμο ο κόμβος πάλι, όπως στο παράδειγμα της καθυστέρησης, θα απορρίψει το RREQ και δεν θα το επεξεργαστεί περαιτέρω (πχ. εάν το αίτημά του είναι 70Kbps που υπερβαίνει τα διαθέσιμο 50Kbps που εναποθηκεύεται τώρα στους κόμβους.

Εάν το εύρος ζώνης είναι διαθέσιμο τότε το αίτημα θα επεξεργαστεί έως ότου επιτευχθεί η έξοδος του δρομολογητή D. Σε εκείνο το σημείο ο δρομολογητής εξόδου στο D, θα αποκριθεί με ένα μήνυμα RREP που θα μονογραφεί με μια τιμή εύρους ζώνης ίση με ένα πολύ μεγάλο αριθμό. Κάθε κόμβος που διαβιβάζει το RREP συγκρίνει την τιμή του πεδίου εύρους ζώνης στο RREP με την ικανότητα των συνδέσεών του και διατηρεί το ελάχιστο των δύο τιμών στον τομέα εύρους ζώνης του RREP πριν στείλει το RREP. Αυτή η τιμή του εύρους ζώνης θα καταχωρηθεί στο πίνακα δρομολόγησης στην τιμή του εύρους ζώνης για μελλοντικά RREQs .

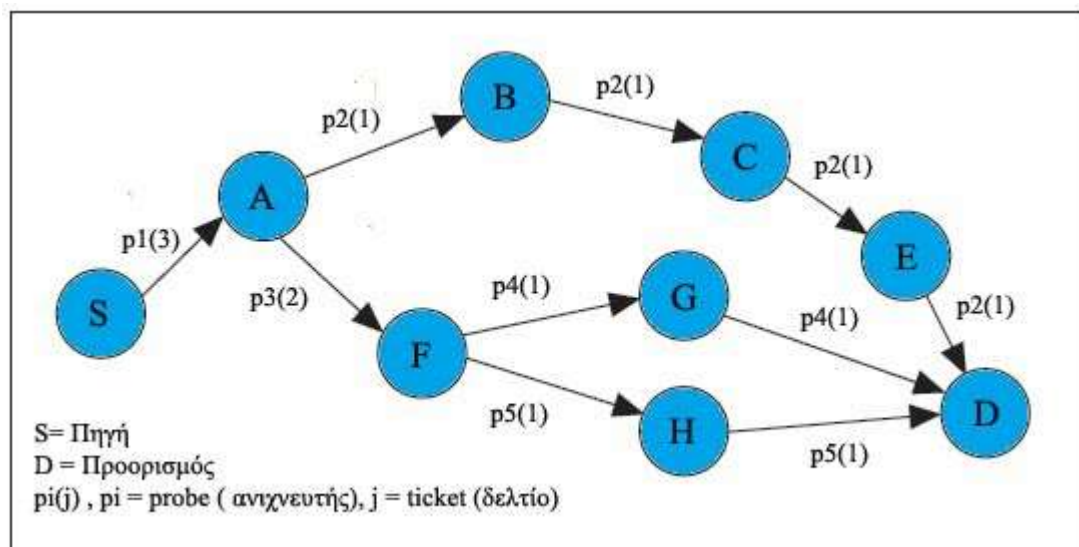
Όπως στην περίπτωση καθυστέρησης, ένας κόμβος στο μέλλον μπορεί να έχει μια πτώση στην ικανότητα συνδέσεων που θα οδηγήσει στην παραγωγή ενός ICMP χαμένου QoS μηνύματος σε όλους τους ενδεχομένως κόμβους που επηρεάζονται από την παράμετρο QoS. Ο κατάλογος κόμβων που επηρεάζονται από αυτήν την ιδιοκτησία αποθηκεύεται τώρα στο "Κατάλογο των Απαιτούμενων Πηγών που Ζητούν Εγγυήσεις Εύρους ζώνης.

6.6 Ticket based probing

Ο αλγόριθμος δρομολόγησης Ticket-Based probing είναι ένας καταναμημένος αλγόριθμος εύρεσης πολλαπλών διαδρομών. Αρχικά στέλνονται κάποια μηνύματα δρομολόγησης τα οποία ονομάζονται ανιχνευτές (probes), από τον κόμβο πηγή προς τον κόμβο προορισμού. Οι ανιχνευτές αυτοί προσπαθούν να ανακαλύψουν χαμηλού κόστους μονοπάτια τα οποία να ικανοποιούν την απαίτηση για μια συγκεκριμένη παράμετρο QoS, την καθυστέρηση ή το εύρος ζώνης .

Ο κόμβος πηγή εκδίδει ένα συγκεκριμένο αριθμό από δελτία (tickets) ανάλογα με τους πόρους του δικτύου. Ο κάθε ανιχνευτής απαιτείται να μεταφέρει τουλάχιστον ένα δελτίο. Επομένως, ο μέγιστος αριθμός ανιχνευτών εξαρτάται από το συνολικό αριθμό δελτίων. Από τη στιγμή που κάθε ανιχνευτής αναζητεί ένα μονοπάτι, ο μέγιστος αριθμός μονοπατιών εξαρτάται από τον αριθμό των δελτίων .

Όταν ένας ανιχνευτής φτάσει σε ένα κόμβο, μπορεί να διασπαστεί σε περισσότερους ανιχνευτές, στους οποίους θα μοιραστούν τα δελτία που μετέφερε ο αρχικός ανιχνευτής. Οι νέοι ανιχνευτές θα προωθηθούν σε διαφορετικά μονοπάτια. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί την πληροφορία για την κατάσταση του δικτύου που έχει ο κάθε ενδιαμέσος κόμβος προκειμένου να οδηγήσει κάθε ανιχνευτή στην καλύτερη διαδρομή προς τον προορισμό, έτσι ώστε η πιθανότητα να βρεθεί ένα εφικτό μονοπάτι χαμηλού κόστους να μεγιστοποιηθεί.



Σχήμα 16
Δρομολόγηση Ticket-Based probing

Ο αριθμός των δελτίων παράγεται με βάση την ακρίβεια της διαθέσιμης πληροφορίας στον κόμβο πηγής και τις απαιτήσεις QoS του αιτήματος της σύνδεσης. Εάν οι διαθέσιμες πληροφορίες για την κατάσταση του δικτύου δεν είναι ακριβείς ή εάν οι απαιτήσεις QoS είναι πολύ αυστηρές, περισσότερα δελτία εκδίδονται προκειμένου να βελτιωθούν οι πιθανότητες για μια εφικτή διαδρομή.

Όταν ένας οι περισσότεροι ανιχνευτές φτάσουν στον κόμβο προορισμού τότε η διαδρομή είναι γνωστή, όπως και οι πληροφορίες για την καθυστέρηση και για το εύρος ζώνης. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξασφάλιση των αναγκαίων πόρων κατά μήκος του μονοπατιού που θα ικανοποιούν το ζητούμενο επίπεδο QoS.

Στην περίπτωση που θέλουμε να βρούμε ένα μονοπάτι με περιορισμό στην καθυστέρηση ο κάθε ανιχνευτής συσσωρεύει την καθυστέρηση της διαδρομής που έχει διαβεί μέχρι τώρα. Με άλλα λόγια, εάν ένας ενδιάμεσος κόμβος B λάβει ένα πακέτο από έναν γειτονικό του κόμβο, A, ο κόμβος B ανανεώνει το πεδίο της καθυστέρησης προσθέτοντας τη τιμή της καθυστέρησης που έχει η ζεύξη μεταξύ των κόμβων A και B.

Κατόπιν ο κόμβος B καθορίζει τον κατάλογο των υποψήφιων γειτόνων του, στους οποίους πρέπει να στείλει τους ανιχνευτές. Διανέμει τα δελτία που βρίσκονται στα παρόντα πακέτα σε αυτά τα οποία ετοιμάζεται τώρα να στείλει στους υποψήφιους κόμβους.

Εάν πολλαπλά πακέτα φθάνουν στον κόμβο προορισμού (με κάθε έναν που φέρνει τον κατάλογο ενδιάμεσων κόμβων κατά μήκος της πορείας του), επιλέγει την διαδρομή με το λιγότερο κόστος ως αρχική διαδρομή και όλες τις άλλες τις έχει ως εφεδρικές, σε περίπτωση που το αρχικό μονοπάτι καταστραφεί λόγω της κινητικότητας των ενδιάμεσων κόμβων.

Ο αλγόριθμος Ticket-Based probing έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά :

Η επιβάρυνση που δημιουργείται στο δίκτυο λόγω της δρομολόγησης ελέγχεται από τον αριθμό των δελτίων που δημιουργούνται.

Είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε να λειτουργεί με ασαφής πληροφορίες. Ο βαθμός ασάφειας είναι αυτός που καθορίζει και το πλήθος των δελτίων που θα δημιουργηθούν.

Η διαδικασία δρομολόγησης λαμβάνει υπόψη της όχι μόνο τις απαιτήσεις σε QoS αλλά και τη βέλτιστη διαδρομή όσον αφορά το μικρότερο κόστος.

Ο κόμβος πηγής εκδίδει δύο τύπους δελτίων, τα κίτρινα δελτία (yellow tickets) και τα πράσινα δελτία (green tickets) και τα στέλνει μαζί με τους ανιχνευτές. Τα κίτρινα προτιμούν τα μονοπάτια εκείνα που ικανοποιούν τις παραμέτρους QoS.

Τα πράσινα χρησιμοποιούνται για να ψάξει εκείνο το QoS μονοπάτι με το χαμηλότερο κόστος. Η διανομή των κίτρινων και πράσινων δελτίων (από έναν ενδιάμεσο κόμβο στους υποψηφίους γείτονες του) γίνεται με βάση τις απαιτήσεις καθυστέρησης και κόστους στο αίτημα της σύνδεσης, αντίστοιχα.

Η έννοια των δύο τύπων δελτίων είναι να χρησιμοποιηθούν τα πράσινα δελτία για να βρεθεί η διαδρομή με το ελάχιστο κόστος και τα κίτρινα δελτία να χρησιμοποιηθούν ως στήριγμα που μεγιστοποιεί την πιθανότητα εύρεσης μιας εφικτής διαδρομή.

6.7 OLSR

Το OLSR (Optimized Link State Routing) είναι ένα δυναμικό πρωτόκολλο δρομολόγησης για τα MANETs.

Το πρωτόκολλο αυτό έχει κληρονομήσει τη σταθερότητα ενός link state αλγόριθμου με το πλεονέκτημα ότι οι διαδρομές είναι διαθέσιμες οποιανδήποτε στιγμή χρειαστούν λόγω της δυναμικής φύσης του πρωτοκόλλου.

Γενικά αποτελεί μια βελτιστοποίηση του κλασσικού link state πρωτοκόλλου προσαρμοσμένο σε MANETs. Σαν πρωτόκολλο δρομολόγησης είναι proactive, και βασίζεται στον αλγόριθμο του Dijkstra.

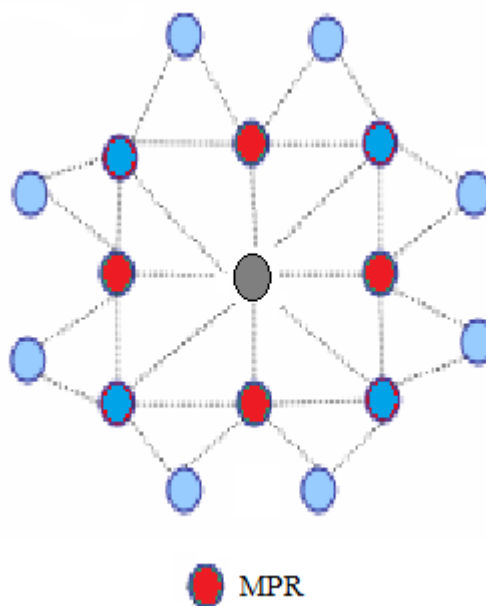
Ως proactive πρωτόκολλο, είναι κατάλληλο για συνθήκες στις οποίες τα δύο άκρα αλλάζουν με το χρόνο: δεν χρειάζεται επιπλέον κίνηση με δεδομένα ελέγχου, καθώς διατηρούνται διαρκώς οι διαδρομές προς όλα τα σημεία.

Ενώ στους τυπικούς link-state αλγορίθμους η πληροφορία διαχέεται στο δίκτυο χωρίς περιορισμούς, το OLSR έχει σχεδιαστεί για ασύρματα δίκτυα και είναι βελτιωμένο ώστε να χρησιμοποιεί το εύρος ζώνης πιο συντηρητικά.

Η βελτίωση αυτή είναι το MultiPointRelaying (MPR). Το OLSR βασίζεται στους MultiPoint Relay (αναμεταδότες πολλών σημείων) κόμβους δρομολόγησης.

Η χρήση των κόμβων αυτών μειώνει το μέγεθος των μηνυμάτων ελέγχου. Αντί ένας κόμβος να ανακοινώνει όλες τις ζεύξεις του σε όλους τους κόμβους του δικτύου ανακοινώνει μόνο το σύνολο των ζεύξεων με τους κόμβους γείτονες του που τον έχουν επιλέξει ως MPR.

Η χρήση των MPR ελαχιστοποιεί επίσης την πλημμύρα των μηνυμάτων ελέγχου. Στην πράξη μόνο οι MPR κόμβοι προωθούν μηνύματα ελέγχου.



Σχήμα 17

Δίκτυο με αναμεταδότες πολλών σημείων

Οι δύο κύριες λειτουργίες του OLSR είναι η ανακάλυψη των γειτονικών κόμβων (Neighbor Discovery) και η διάδοση της τοπολογίας (Topology Dissemination).

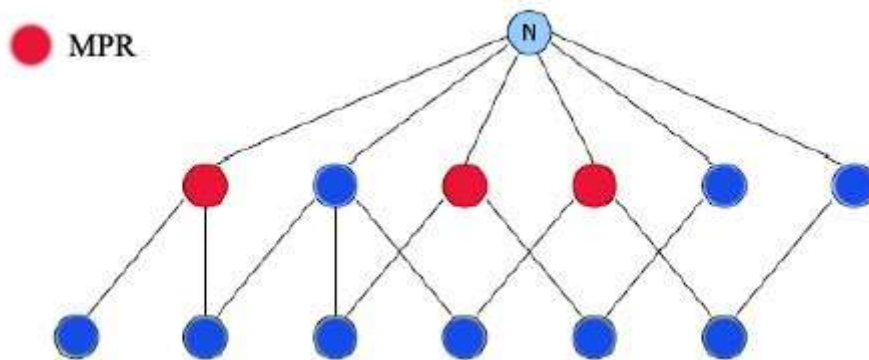
Στην πρώτη περίπτωση ένας κόμβος για να εντοπίσει τους κόμβους με τους οποίους συνδέεται απευθείας στέλνει περιοδικά μηνύματα Hello, που περιλαμβάνουν τη λίστα με τους γείτονες που είναι γνωστοί στον κόμβο και την κατάσταση της ζεύξης.

Τα Hello μηνύματα λαμβάνονται από όλους τους γείτονες ενός άλματος αλλά δεν προωθούνται. Εκπέμπονται μια φορά ανά περίοδο ανανέωσης που ονομάζεται Hello_interval. Έτσι γίνεται η ανακάλυψη των γειτονικών κόμβων.

Με βάση αυτήν την πληροφορία κάθε κόμβος N επιλέγει ανεξάρτητα το δικό του σύνολο από MPRs από τους γείτονες του ενός άλματος (σχήμα).

Στην περίπτωση της διάδοσης της τοπολογίας, ο κάθε κόμβος διατηρεί τη τοπολογική πληροφορία του δικτύου λαμβάνοντας μηνύματα ελέγχου τοπολογίας (TC – Topology Control messages) από τους MPR κόμβους που έχει διαλέξει.

Ο κόμβος που έχει επιλεγεί ως MPR ευρεκεπέμπει (broadcast) ένα TC μήνυμα τουλάχιστον κάθε διάστημα TC_interval. Τα TC μηνύματα εκμεταλλεύονται τους MPR για να μειώσουν τον αριθμό των αναμεταδόσεων.



Σχήμα 18
Επιλογή MPR

Το OLSR είναι κατάλληλο για μεγάλα και πυκνά κινητά δίκτυα, καθώς η βελτιστοποίηση που επιτυγχάνεται με τη χρήση των MPR δουλεύει καλά σε τέτοιες συνθήκες. Χρησιμοποιεί βήμα-προς-βήμα (hop by hop) δρομολόγηση, με άλλα λόγια κάθε κόμβος χρησιμοποιεί την δική του τοπική πληροφόρηση για τη δρομολόγηση των πακέτων.

Είναι ιδιαίτερα καλό για δίκτυα όπου η κίνηση είναι τυχαία και σποραδική ανάμεσα σε έναν μεγάλο αριθμό κόμβων, παρά σε καταστάσεις όπου η κίνηση αφορά σχεδόν αποκλειστικά ένα μικρό και συγκεκριμένο σετ από κόμβους.

Επίσης το OLSR διαρκώς διατηρεί πληροφορία για τις διαδρομές προς όλους τους προορισμούς στο δίκτυο, και ως εκ τούτου είναι ιδανικό για την κίνηση που δημιουργείται μεταξύ ενός μεγάλου αριθμού κόμβων όπου η δυάδα αφετηρία-προορισμός αλλάζει διαρκώς.

Έχει σχεδιαστεί να λειτουργεί απολύτως κατανεμημένα, και δεν εξαρτάται από καμία κεντρική οντότητα.

Δεν απαιτείται αξιόπιστη μετάδοση των μηνυμάτων ελέγχου: ο κάθε κόμβος αποστέλλει μηνύματα ελέγχου περιοδικά, και μπορεί να αντέξει απώλεια μηνυμάτων σε λογικά πλαίσια, χωρίς προβλήματα. Αυτές οι απώλειες είναι σύνηθες φαινόμενο στις ασύρματες επικοινωνίες. Ακόμα δεν απαιτείται η μετάδοση των μηνυμάτων με συγκεκριμένη σειρά. Κάθε μήνυμα ελέγχου είναι αριθμημένο αυξητικά. Με αυτόν τον τρόπο, ο παραλήπτης μπορεί να γνωρίζει ανά πάσα στιγμή ποια πληροφορία από ότι έλαβε είναι η πιο πρόσφατη, ακόμα και εάν έχουν μεταδοθεί με λάθος σειρά.

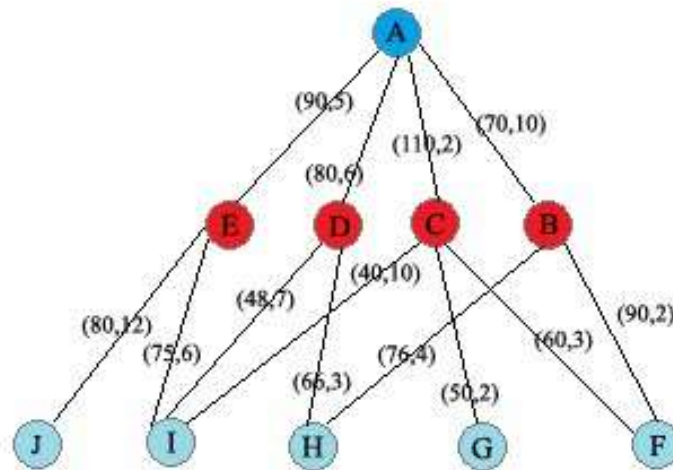
Τέλος παρέχει υποστήριξη για επεκτάσεις του πρωτοκόλλου, όπως επεκτάσεις ποιότητας υπηρεσίας.

6.7.1 Οι επεκτάσεις QoS στον OLSR

Τα μηνύματα Hello και οι πίνακες δρομολόγησης μέσω των TC μηνυμάτων επεκτείνονται με τις παραμέτρους της μέγιστης καθυστέρησης και του ελάχιστου εύρους ζώνης. Με τον τρόπο δεν έχουμε αύξηση του φόρτου του δικτύου. Πολύ απλά επεκτείνονται τα Hello και TC μηνύματα. Τα καινούργια Hello μηνύματα που στέλνονται από κάθε κόμβο στον γειτονικό του (συμμετρική και απευθείας σύνδεση) είναι υπεύθυνα για την εύρεση των QMPR και αυτοί με την σειρά τους QMPR στέλνουν σε όλους τους κόμβους του δικτύου τα καινούργια TC μηνύματα (αυτά που τώρα πια έχουν επεκτάσεις QoS) με όλες τις απαραίτητες πληροφορίες. Έτσι δημιουργούνται πίνακες δρομολόγησης και συνδέσεις με απαιτήσεις QoS.

Για να υπολογιστούν οι μετρικές QoS το QOLSR λαμβάνει ανακοινώσεις από το πρωτόκολλο MAC (παρόλο που είναι ανεξάρτητο του πρωτοκόλλου MAC) όπως για τον χρόνο μετάδοσης ενός πακέτου, τον χρόνο επανεκπομπής, την καθυστέρηση σε περίπτωση συγκρούσεων και τον χρόνο αναμονής. Επίσης αποκτούνται και οι διαθέσιμες πληροφορίες του εύρου ζώνης.

Έτσι οι καινούργιοι κόμβοι MPR βρίσκουν τα μονοπάτια εκείνα που ικανοποιούν τις απαιτήσεις QoS (σχήμα 19). Ένα παράδειγμα είναι το παρακάτω σχήμα. Υποθέτουμε τον κόμβο A, κόμβο πηγή. Αρχικά θα επικοινωνήσει με τους γειτονικούς του κόμβους στέλνοντας HELLO μηνύματα. Στην περίπτωση του OLSR θα επέλεγε για MPR τους κόμβους E, C, B. Όμως στην περίπτωση του QOLSR λαμβάνουμε υπόψη και τις απαιτήσεις QoS. Αυτές φαίνονται με τους αριθμούς στις παρενθέσεις. Τώρα το πρωτόκολλο επιλέγει διαφορετικούς MPR κόμβους γιατί θέλουμε να καλύψουμε τις απαιτήσεις QoS. Οι ενδιαμέσοι κόμβοι ονομάζονται QMPR και είναι οι E,C,D. Ο A για να επικοινωνήσει με τον H πρέπει να γίνει μέσο ή του D ή του B. Και τα δυο δρομολόγια έχουν το ίδιο εύρος ζώνης αλλά μέσο του D έχουμε μικρότερη καθυστέρηση(9msec έναντι 14msec). Για αυτό και επιλέγεται ο D ως QMPR και όχι ο B. Με τον ίδιο τρόπο βρίσκονται και οι υπόλοιποι QMPR.



Σχήμα 19

Παράδειγμα επιλογής MPR υπό συνθήκες QoS

Πίνακας 2:

Επιλογή MPR με κριτήρια QoS και χωρίς

	MPR	1-άλμα γείτονες	2-άλματα γείτονες
OLSR	E,C,B	B,C,D,E	F,G,H,I,J
QOLSR	E,C,D	B,C,D,E	F,G,H,I,J

Το ζευγάρι στην παρένθεση αναπαριστά το εύρος ζώνης και την καθυστέρηση αντίστοιχα.

6.8 CEDAR

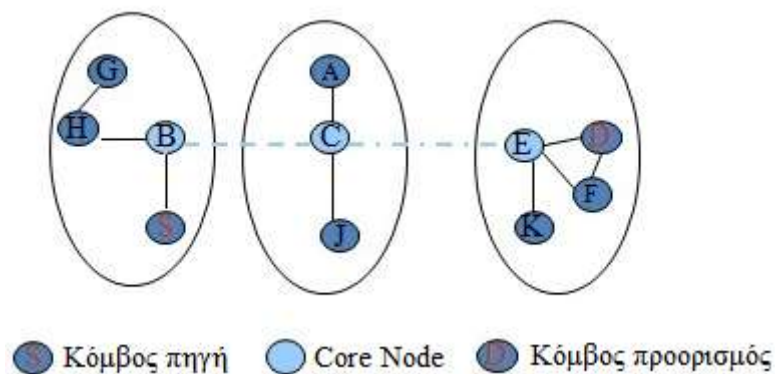
Ο CEDAR (Core Extraction Distributed Ad hoc Routing algorithm) είναι ένας αλγόριθμος που παρέχει ποιότητα υπηρεσιών (quality of services) για μικρού και μεσαίου μεγέθους Ad-hoc δίκτυα τα οποία βασίζονται σε δεκάδες ή και εκατοντάδες κόμβους. Ο αλγόριθμος αυτός δημιουργεί δυναμικά ένα πυρήνα δικτύου και στη συνέχεια δημοσιοποιεί στους κόμβους του πυρήνα τις συνδέσεις υψηλού εύρους ζώνης. Ο υπολογισμός της διαδρομής εκτελείται από τους κόμβους του πυρήνα και ανταλλάσσει πληροφορίες για τη διαθεσιμότητα εύρους ζώνης με την μορφή κυμάτων.

Για να κατανοήσουμε την λειτουργία του αλγορίθμου παρουσιάζουμε τα τρία κύρια βήματα που επιτελεί:

α) Εξαγωγή πυρήνα (Core Extraction) . Ένα σύνολο κόμβων επιλέγεται δυναμικά και καταναμημένα ώστε να αποτελέσει τον πυρήνα του δικτύου.

Κάθε κόμβος του πυρήνα διατηρεί πληροφορίες για τη τοπολογία των κόμβων που βρίσκονται στο πεδίο του (γειτονιά) και είναι υπεύθυνος για τη δρομολόγηση στους κόμβους αυτούς.

Οι κόμβοι του πυρήνα επιλέγονται από ένα ελάχιστο υποσύνολο του δικτύου όπου ο κάθε κόμβος που δεν βρίσκεται στο υποσύνολο αυτό βρίσκεται κοντά τουλάχιστο σε έναν κόμβο που είναι μέσα στο υποσύνολο του Ad-hoc δικτύου (σχήμα 20).



Σχήμα 20

Εξαγωγή Πυρήνα - εύρεση διαδρομής μεταξύ του κόμβου S (κόμβος πηγή) και του κόμβου D (κόμβος προορισμός) με τον αλγόριθμο CEDAR.

β) Διάδοση της κατάστασης σύνδεσης (Link State Propagation) . Η δρομολόγηση της ποιότητας υπηρεσιών (Quality Of Services) στον CEDAR επιτυγχάνεται με την διάδοση των πληροφοριών των σταθερών συνδέσεων που διαθέτουν άφθονο εύρος ζώνης συχνοτήτων (bandwidth) σε όλους τους κόμβους του πυρήνα.

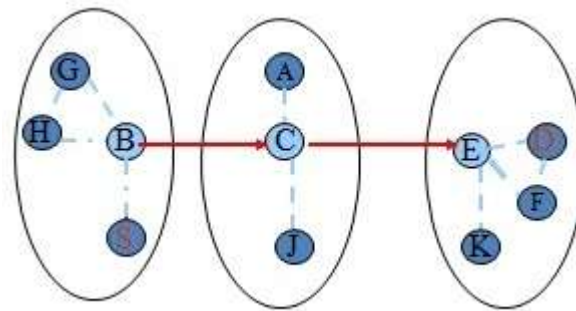
Μεταξύ των πυρήνων του δικτύου διαδίδονται πληροφορίες διαθεσιμότητας εύρους ζώνης, δηλαδή πληροφορίες για την κατάσταση σταθερών και υψηλού εύρους ζώνης συνδέσεων.

Οι πληροφορίες αυτές μεταξύ των πυρήνων του δικτύου διαδίδονται με τη μορφή κυμάτων. Συγκεκριμένα, ένα αργά κινούμενο αυξανόμενο κύμα δηλώνει μια αύξηση του εύρους ζώνης της σύνδεσης, ενώ ένα γρήγορα κινούμενο μειούμενο κύμα δηλώνει τη μείωση εύρους ζώνης μιας σύνδεσης.

Τα κύματα που υποδηλώνουν χαμηλό εύρος ζώνης δεν επιτρέπεται να ταξιδεύουν μακριά μέσα στο δίκτυο σε αντίθεση με τα κύματα που υποδηλώνουν σταθερό και υψηλό εύρος ζώνης.

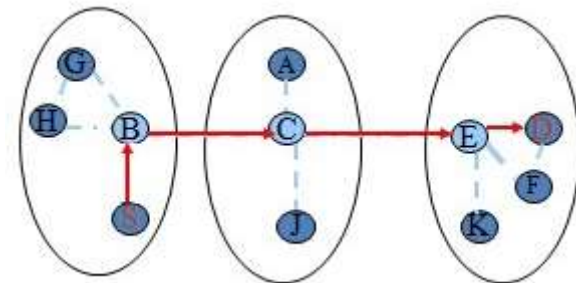
Η βασική ιδέα είναι ότι οι πληροφορίες για σταθερές με υψηλό bandwidth συνδέσεις, μπορούν να γίνουν γνωστές σε απομακρυσμένους κόμβους του δικτύου, ενώ οι πληροφορίες σχετικά με τις δυναμικές συνδέσεις ή για εκείνες που έχουν χαμηλό bandwidth παραμένουν τοπικά.

γ) Υπολογισμός της διαδρομής (Route Computation). για να υπολογίσει τη διαδρομή από τον κόμβο-πηγή στον κόμβο-προορισμό δημιουργεί αρχικά ένα μονοπάτι από τον πυρήνα στο πεδίο του οποίου ανήκει ο κόμβος-πηγή προς τον πυρήνα στο πεδίο του οποίου ανήκει ο κόμβος-προορισμός. Το μονοπάτι αυτό αποτελεί έναν οδηγό του τελικού μονοπατιού (σχήμα 21). Είναι δηλαδή ένα μονοπάτι που δείχνει από ποιες γειτονιές θα διέλθει το τελικό μονοπάτι.



Σχήμα 21
Αρχικό μονοπάτι

Οι τοπικές πληροφορίες κάθε πυρήνα-γειτονιάς θα καθορίσουν από ποιους κόμβους θα διέλθει το τελικό μονοπάτι ώστε να βελτιστοποιηθεί το εύρος ζώνης (σχήμα 22).



Σχήμα 22
Τελικό μονοπάτι

Με τον αλγόριθμο CEDAR, ο πυρήνας παρέχει μια αποτελεσματική δομή για την εκτέλεση της δρομολόγησης, ενώ ο μηχανισμός διάδοσης της κατάστασης παρέχει διαθεσιμότητα στις link-state πληροφορίες προς τους κόμβους χωρίς μεγάλη επιβάρυνση (overhead)

Κεφάλαιο 7. Cross-Layer

7.1 Αρχιτεκτονική cross-layer

Μέχρι στιγμής είδαμε ότι για την βελτίωση της απόδοσης η σχεδίαση πρωτοκόλλων αντιμετωπίζονταν το κάθε επίπεδο ξεχωριστά. Για την επίτευξη κοινών σκοπών όμως στην cross layer λογική, γίνεται προσπάθεια να ληφθούν υπ' όψιν ή ακόμα και να εκμεταλλευτούν αλληλεξαρτήσεις και αλληλεπιδράσεις μεταξύ διαφορετικών επιπέδων που μέχρι τώρα αγνοούντο

Για παράδειγμα γίνεται εύκολα κατανοητό ότι η συνολική καθυστέρηση μετάδοσης ενός πακέτου εξαρτάται και επηρεάζεται σε κάποιο βαθμό από όλα τα επίπεδα του δικτυακού σωρού. Ένα ακόμα παράδειγμα είναι η κατανάλωση ενέργειας. Πραγματικά βέλτιστη αντιμετώπιση του θέματος αυτού γίνεται μόνο αν ληφθεί υπ' όψιν ότι στην κατανάλωση συνεισφέρει τόσο το φυσικό μέσο με την ισχύ μετάδοσης-λήψης- αδράνειας, όσο και το MAC, όσο και το routing επίπεδο με την διαδρομή που επιλέγει.

Έτσι μια cross-layer αρχιτεκτονική μπορεί να επεμβαίνει σε παραπάνω του ενός επιπέδου ταυτόχρονα, οπότε η πρόβλεψη κάθε πιθανής επίδρασης είναι πολύ πιο πολύπλοκη σε σχέση με την επίδραση σε ένα και μόνο επίπεδο.

Χαρακτηριστικά της cross layer αρχιτεκτονικής

Ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ επιπέδων. Σε αυτή τη κατηγορία επίπεδα δέχονται, αξιολογούν και χρησιμοποιούν πληροφορίες προερχόμενες από άλλα επίπεδα προς βελτίωση της λειτουργίας τους.

Η προσέγγιση αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι η κατάτμηση του δικτυακού σωρού σε επίπεδα, πολλές φορές, αποκρύπτει χρήσιμα στοιχεία από επίπεδα που σε αντίθετη περίπτωση θα μπορούσαν να τα χρησιμοποιήσουν προς βελτιστοποίηση της απόδοσης του δικτύου.

Ενσωμάτωση σε επίπεδα λειτουργιών και ρόλων άλλων επιπέδων.

Με τη συνεχή εξέλιξη των τεχνολογιών δικτύων συγκεκριμένες λειτουργίες ισχυροποιούνται όταν αποδεικνύονται κρίσιμες άλλες εξασθενούν και άλλες αποδεικνύεται ότι θα ήταν πιο αποτελεσματικές σε άλλο επίπεδο.

Σε τέτοιες περιπτώσεις παρατηρείται ισχυρή σύζευξη, γειτονικών συνήθως, επιπέδων και αλλαγή ρόλων και λειτουργιών.

Από τις cross layer αρχιτεκτονικές θα επεκταθούμε και θα αναλύσουμε την framework προσέγγιση και τα μοντέλα QoS.

Τα πλαίσια (framework) αποτελούν δομές που περικλείουν όλο το δικτυακό σωρό και μπορούν να αλληλεπιδρούν με όλα τα επίπεδα αυτού.

Με τη λέξη “αλληλεπίδραση” εννοούμε τη δυνατότητα συλλογής πληροφοριών από το OSI μοντέλο, επεξεργασία αυτής σε modules του πλαισίου έξω

από τα αυστηρά όρια του μοντέλου αλλά και δυνατότητα παροχής πληροφοριών στο μοντέλο όπως και επηρεασμό της λειτουργίας των επιπέδων.

Φυσικά η λειτουργία γίνεται παράλληλα με αυτήν των επιπέδων.

Από τα παραπάνω εννοιολογικά είναι σαφές ότι μεταβαίνουμε από το κλασικό OSI/ISO μοντέλο σε ένα με τα 5 απαραίτητα επίπεδα για ασύρματα δίκτυα (Φυσικό, Data link, δικτύου, μεταφοράς, εφαρμογής) και από εκεί σε μια νέα δομή.

Το πλαίσιο περικλείει όλο το δικτυακό σωρό, επικοινωνεί με όλα τα επίπεδα αυτού και σε κάθε περίπτωση πρέπει να εκτελεί τις ακόλουθες λειτουργίες.

1. Συλλογή πληροφοριών από ένα ή περισσότερα επίπεδα
2. Επεξεργασία αυτών με ένα ή συνδυασμό αλγορίθμων και κριτηρίων
3. Εξαγωγή πληροφοριών ή εντολών προς ένα ή περισσότερα επίπεδα

Στο σημείο αυτό θα παρουσιάσουμε τρεις ολοκληρωμένες αρχιτεκτονικές βασισμένες στην cross-layer προσέγγιση.

Σκοπός είναι να φανεί η βελτίωση της απόδοσης ενός ασύρματου δικτύου μέσω της προσέγγισης αυτής.

Τα **μοντέλα QoS** είναι υπεύθυνα για την αρχιτεκτονική (architecture) του δικτύου. Δηλαδή για τον καθορισμό ενός συνόλου QoS διεπαφών, οι οποίες διασφαλίζουν την ύπαρξη της QoS τόσο στο τελικό σύστημα όσο και στο δίκτυο, παρέχοντας έτσι και ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο ένταξης για τον έλεγχο της QoS (έλεγχος καθυστέρησης, έλεγχος εισόδου, έλεγχος της πολιτικής, ταξινόμηση, διαμόρφωση, έλεγχος ανάδρασης, προγραμματισμός, έλεγχος της κυκλοφορίας, εκτέλεση των συμβάσεων) και μηχανισμούς για την διαχείριση του δικτύου.

Κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφορα μοντέλα QoS, μερικά από αυτά είναι .

- IntServ (Integrated Services),
- DiffServ (Differentiated Services),
- FQMM (Flexible QoS Model for mobile networks)
- Cross-Layer Mode INSIGNIA
- iMAQ

Απόρροια της ύπαρξης των μοντέλων QoS είναι η διαχείριση του δικτύου. Τα μοντέλα QoS πρέπει να καθορίζουν τον τρόπο διαχείρισης των MANETs.

Η διαχείριση αυτή θα πρέπει να ακολουθεί κάποια πολιτική, η οποία να αντιμετωπίζει τα διάφορα θέματα των MANETs όπως είναι οι QoS μετρήσεις ή η ασφάλεια.

Επίσης το σύστημα διαχείρισης είναι υπεύθυνο για την διατήρηση πληροφοριών του δικτύου για την τοπολογία, για τις εφαρμογές των χρηστών, για τη χρήση του δικτύου, κ.α..

Τέλος, το σύστημα διαχείρισης, πρέπει να ανακαλύπτει τα προβλήματα του δικτύου όπως η αποτυχία των στοιχείων του δικτύου, και να ρυθμίζει τα στοιχεία του δικτύου καθώς και να καθορίζει την μεταξύ τους σχέση.

Τέλος, συνοψίζοντας τα παραπάνω και έχοντας πάντα κατά νου τα επίπεδα ενός δικτύου MANET, μπορούμε να πούμε πως οι QoS μετρικές λαμβάνονται υπόψη και στα πέντε επίπεδα (Physical Layer, Link Layer, Network Layer, Transport Layer, Application Layer), αφού προσπαθούν μέσω αλγορίθμων και μηχανισμών να διασφαλίσουν και να παρέχουν την απαιτούμενη ποιότητα των υπηρεσιών.

7.2 Ποιότητα υπηρεσίας και ενσύρματα δίκτυα

Το διαδίκτυο βασίζεται σε μια στοίβα πρωτοκόλλων που δεν παρέχουν καμία εγγύηση για την ικανοποίηση των απαιτήσεων που θέτει η ποιότητα υπηρεσίας. Ωστόσο υπάρχουν πρωτόκολλα που προσπαθούν να μεταδώσουν τα πακέτα στον προορισμό τους με το καλύτερο δυνατό τρόπο, όπως το TCP/IP.

Πολλές φορές τα πακέτα που φτάνουν σε έναν δρομολογητή συσσωρεύονται στην μνήμη του και παρατηρείται το φαινόμενο της υπερχειλίσης. Έτσι πολλά από τα πακέτα που βρίσκονται στην ουρά του καθυστερούν να μεταδοθούν και άλλα από αυτά απορρίπτονται από το δίκτυο.

Αυτό παρατηρείται και στις ελαστικές αλλά και στις μη ελαστικές εφαρμογές. Στην πρώτη περίπτωση μια τέτοια υπερφόρτωση δεν έχει τόσο σημαντικές συνέπειες, αφού θα λειτουργήσουν οι μηχανισμοί αποσυμφόρησης και το πακέτο είτε θα αναμεταδοθεί σε περίπτωση που χαθεί ή καταστραφεί είτε απλά θα καθυστερήσει να φτάσει στον προορισμό του.

Από την άλλη πλευρά στις μη ελαστικές εφαρμογές τα πράγματα διαφέρουν. Οποιαδήποτε καθυστέρηση έχει σαν αποτέλεσμα την κακή ποιότητα της εφαρμογής. Έτσι λοιπόν για να μπορεί να εξασφαλιστεί ποιότητα υπηρεσίας σε ένα δίκτυο που δεν παρέχει καμία από τις εγγυήσεις που χρειάζονται οι νέες εφαρμογές για να λειτουργήσουν ικανοποιητικά η Internet Engineering Task Force (IETF) όρισε δυο αρχιτεκτονικές ποιότητας υπηρεσίας, το μοντέλο ενοποιημένων υπηρεσιών (Integrated Service Architecture, IntServ) και το μοντέλο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (Differentiated Service Framework, DiffServ) για να λύσει το πρόβλημα της παροχής ποιότητας υπηρεσίας στο Διαδίκτυο.

Ενοποιημένες υπηρεσίες (Integrated Services).

Μέσα στο μοντέλο αυτό εισάγεται ο όρος flow (δηλαδή μια ροή από πακέτα) και ορίζονται πολλαπλές κατηγορίες τηλεπικοινωνιακής κίνησης (traffic classes) οι οποίες έχουν διαφορετικές απαιτήσεις από το δίκτυο όσο αφορά την ποιότητα υπηρεσίας.

Πέραν της υπάρχουσας κλάσης βέλτιστης προσπάθειας (Best Effort Service) ορίζονται δυο νέες κατηγορίες κίνησης: η κλάση ελεγχόμενου φορτίου (Controlled Load Service) και η κλάση εγγυημένης υπηρεσίας (Guaranteed Service)

Η κλάση ελεγχόμενου φορτίου παρέχει σχεδόν την ίδια ποιότητα υπηρεσίας τόσο κάτω από συνθήκες υπερφόρτωσης δικτύου όσο και κάτω από συνθήκες ελαφριάς κίνησης στο δίκτυο.

Η βασική διαφορά σε σχέση με την υπάρχουσα κλάση βέλτιστης προσπάθειας του Διαδικτύου είναι ότι η αύξηση της τηλεπικοινωνιακής κίνησης μέσα

στο δίκτυο δεν επιδεινώνει την ποιότητα υπηρεσίας των ροών που υπόκεινται στη κλάση ελεγχόμενου φορτίου.

Επίσης είναι κατάλληλη για υπηρεσίες πολυμέσων οι οποίες μπορούν να ανεχθούν μικρές απώλειες πακέτων και καθυστερήσεις αρκεί αυτό να γίνεται μέσα σε ένα λογικό πλαίσιο.

Σε συνθήκες χαμηλού φόρτου τα πακέτα της ροής αυτής βλέπουν ουσιαστικά την ίδια ποιότητα υπηρεσίας με ροές που ανήκουν στη κλάση βέλτιστης προσπάθειας.

Από την άλλη μεριά στην κλάση εγγυημένης υπηρεσίας τα πακέτα φθάνουν στον προορισμό τους μέσα σε ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα και δεν πρόκειται να απορριφθούν λόγω υπερχειλίσης των αποταμιευτών στους δρομολογητές του δικτύου.

Τα παραπάνω βέβαια ισχύουν εφόσον η πηγή της συγκεκριμένης ροής στέλνει πακέτα στο δίκτυο σύμφωνα με τις παραμέτρους κίνησης που έχουν συμφωνηθεί με το δίκτυο.

Η ελάχιστη ή η μέση καθυστέρηση μιας ροής δεν ελέγχεται, ούτε ελαχιστοποιείται η διακύμανση της μέσης χρονικής απόστασης μεταξύ διαδοχικών πακέτων της συγκεκριμένης ροής (jitter).

Τέλος προορίζεται για υπηρεσίες πολυμέσων με αυστηρότατες απαιτήσεις όσο αφορά το χρόνο παράδοσης των ψηφιακών δεδομένων.

Το ενοποιημένο πρότυπο QoS υπηρεσιών (IntServ) περιλαμβάνει τέσσερα βασικά στοιχεία: το πρωτόκολλο δέσμευσης πόρων (Resource Reservation Protocol, RSVP), την διαδικασία αποδοχής κλήσης (Admission Control), τον ταξινομητή πακέτων (Classifier) και τον χρονοδρομολογητή πακέτων (Packet Scheduler).

Στο σχήμα 23 παρουσιάζεται ένα μοντέλο αναφοράς δρομολογητή που υποστηρίζει το μοντέλο ενοποιημένων υπηρεσιών.

Όπως παρατηρείται πέραν των βασικών οντοτήτων ενός τυπικού δρομολογητή περιλαμβάνονται και κάποιες επιπλέον μονάδες.

Η *Μονάδα επεξεργασίας σηματοδοσίας* λαμβάνει αιτήσεις από το χρήστη για εγκατάσταση νέων ροών ή κατάργηση παλαιών και τις προωθεί στις άλλες εσωτερικές μονάδες του δρομολογητή.

Η μονάδα αυτή ουσιαστικά υλοποιεί το πρωτόκολλο δέσμευσης πόρων (RSVP). *Μονάδα αποδοχής κλήσης* αποφασίζει αν μια νέα αίτηση εγκατάστασης ροής μπορεί να γίνει αποδεκτή ή όχι.

Στη πρώτη φάση ελέγχεται αν ο χρήστης που ζητάει να γίνει η συγκεκριμένη δέσμευση έχει και την ανάλογη άδεια (Policy Control).

Στη δεύτερη φάση συγκρίνονται οι παράμετροι της κίνησης της νέας ροής με τους διαθέσιμους πόρους του δρομολογητή.

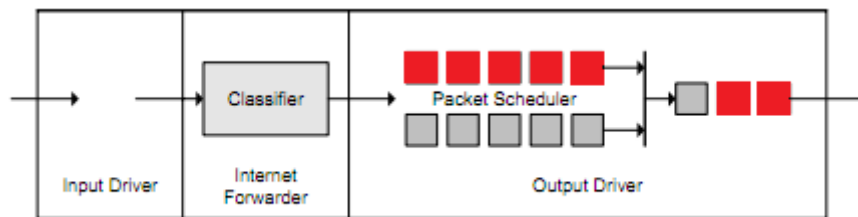
Η *Μονάδα αναγνώρισης ροής* αναλαμβάνει να βρίσκει την ροή στην οποία ανήκει κάθε εισερχόμενο πακέτο και να το τοποθετεί στην αντίστοιχη ουρά του χρονοδρομολογητή πακέτων.

Η *Μονάδα χρονοδρομολόγησης πακέτων* διατηρεί μια ξεχωριστή ουρά πακέτων για κάθε ενεργή ροή.

Αρχικά κάθε μια ροή ελέγχεται κατά πόσο είναι σύμφωνη με το αρχικό προφίλ κίνησης που είχε ζητήσει από το δίκτυο και στη συνέχεια πακέτα που δεν είναι σύμφωνα με το αρχικό προφίλ κίνησης απορρίπτονται.

Τέλος η μονάδα χρονοδρομολόγησης αδειάζει μια μια τις ουρές πακέτων εξυπηρετώντας πρώτη εκείνη με τη μεγαλύτερη προτεραιότητα.

Η μονάδα χρονοδρομολόγησης υλοποιείται στο σημείο στο οποίο τα πακέτα μπαίνουν σε σειρά, δηλαδή στο επίπεδο του οδηγού εξόδου (output driver) ενός τυπικού λειτουργικού συστήματος.



Σχήμα 23

Μοντέλο αναφοράς δρομολογητή ενοποιημένων υπηρεσιών Διαδικτύου

7.2.1 Το πρωτόκολλο σηματοδότησης του Διαδικτύου (RSVP)

Το μοντέλο ενοποιημένων υπηρεσιών του Διαδικτύου χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο δέσμευσης πόρων (RSVP) για μεταφορά αιτήσεων δέσμευσης πόρων δικτύου.

Στη παράγραφο αυτή θα κάνουμε μια σύντομη περιγραφή του πρωτοκόλλου αυτού.

Όπως προαναφέρθηκε το RSVP χρησιμοποιείται από τους υπολογιστές για να ζητήσουν συγκεκριμένη ποιότητα υπηρεσίας από το δίκτυο για διάφορες εφαρμογές και ροές.

Το RSVP επίσης χρησιμοποιείται από τους δρομολογητές για να παραδώσουν τις αιτήσεις για ποιότητα υπηρεσίας σε όλους τους κόμβους κατά μήκος της διαδρομής ροής και για να κάνουν τις κατάλληλες ρυθμίσεις ώστε να παρέχουν την ζητούμενη υπηρεσία.

Τυπικά οι αιτήσεις RSVP έχουν σαν αποτέλεσμα τη δέσμευση πόρων κατά μήκος της διαδρομής της ροής. Το RSVP σχεδιάστηκε για να σηματοδοτεί απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας πάνω από διαδικτυακές συνδέσεις και στηρίζεται στο IP.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να γίνει σαφές ότι το RSVP δεν είναι το ίδιο ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης, είναι όμως σχεδιασμένο να λειτουργεί με τα τρέχοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης.

Οι διαδικασίες του RSVP συμβουλευονται τις τοπικές βάσεις δρομολόγησης για να ανακαλύψουν το μονοπάτι που πρέπει να ακολουθήσουν.

7.2.2 Το μοντέλο των Διαφοροποιούμενων υπηρεσιών – Differentiated Services

Το μοντέλο των Διαφοροποιούμενων υπηρεσιών ουσιαστικά προτείνει μια ενδιάμεση λύση μεταξύ της βέλτιστης προσπάθειας (όλες οι ροές ίδιες) και των ενοποιημένων υπηρεσιών (κάθε ροή είναι ξεχωριστή) (σχήμα 24). Ορίζεται ένα μικρό σύνολο από διαφοροποιούμενες υπηρεσίες (classes) κάθε μια από τις οποίες έχει διαφορετική προτεραιότητα.

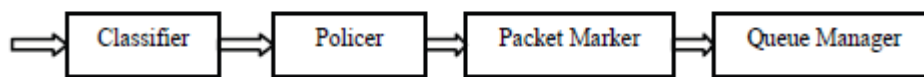
Η κάθε ροή κατατάσσεται σε μια κλάση διαφοροποιούμενων υπηρεσιών δημιουργώντας αθροίσματα ροών (aggregates) τα οποία απολαμβάνουν τον ίδιο τρόπο μεταχείρισης από τους δρομολογητές που περνούν (Per Hop Behavior, PHB). Με αυτόν τον μηχανισμό οι δρομολογητές διακρίνουν και προωθούν τα πακέτα όχι με βάση την ροή αλλά την υπηρεσία στην οποία ανήκουν.

Οι μηχανισμοί ποιότητας υπηρεσίας του μοντέλου παραμένουν απλοί στον κορμό του δικτύου και η πολυπλοκότητα της ταξινόμησης των πακέτων και της διατήρησης ξεχωριστών ουρών μετατοπίζεται προς τις άκρες του δικτύου όπου οι ρυθμοί μετάδοσης πακέτων και ο αριθμός των ροών είναι πολύ χαμηλότεροι.

Τα βασικά δομικά στοιχεία με τα οποία επιτυγχάνεται η διαφοροποίηση υπηρεσίας είναι το πεδίο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (DiffServ field) στην επικεφαλίδα του πακέτου IP και η συμπεριφορά προώθησης ανά κόμβο (Per Hop Behavior, PHB).

Κάθε πακέτο που εισέρχεται στο δίκτυο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών μαρκάρεται στο πεδίο διαφοροποιημένων υπηρεσιών (DiffServ Code Point, DSCP) που αποτελεί καινούργιο πεδίο της επικεφαλίδας IP.

Όλα τα πακέτα με το ίδιο DSCP ανήκουν σε μια συσσωρευτική συμπεριφορά (aggregate behavior) και λαμβάνουν την ίδια μεταχείριση PHB, ανεξάρτητα από την ροή στην οποία ανήκουν.



Σχήμα 24

Αρχιτεκτονική Διαφοροποιούμενων Υπηρεσιών

7.2.3 Ακατάλληλο MANET περιβάλλον

Παραπάνω περιγράφηκαν οι βασικές έννοιες των προτύπων QoS του ενσύρματου Διαδικτύου (IntServ/RSVP και DiffServ). Στην συνέχεια θα αναλυθούν οι λόγοι για τους οποίους τα πρότυπα αυτά δεν είναι κατάλληλα για τα MANETs.

Σε αντίθεση με το ενσύρματο δίκτυο ένα δίκτυο MANET έχει κάποιες ιδιαιτερότητες που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τον σχεδιασμό του. Το Περιορισμένο εύρος ζώνης και η μεταβλητή χωρητικότητα διαύλου καθώς και η χαμηλή ασφάλεια είναι κάποιες από αυτές.

Οι ασύρματες ζεύξεις έχουν όπως είναι γνωστό, σημαντικά μικρότερη χωρητικότητα (capacity) και απόδοση (throughput) απ'ότι οι ενσύρματες. Αυτό οφείλεται σε πληθώρα φαινομένων όπως είναι η πολύοδη διάδοση, η ύπαρξη θορύβου, η παρεμβολή σημάτων και η πολλαπλή πρόσβαση.

Για τους παραπάνω λόγους είναι εξαιρετικά δύσκολη αν όχι αδύνατη η παροχή υπηρεσιών με συγκεκριμένες προδιαγραφές σε Ποιότητα Υπηρεσίας (Quality of Service, QoS). Επίσης η αυξημένη πιθανότητα πλαστογράφησης, υποκλοπής ή επιθέσεων άρνησης υπηρεσίας (Denial-of-Service ή DoS attacks) κάνει τα ασύρματα δίκτυα πιο ευάλωτα.

Μέχρι στιγμής τα μοντέλα IntServ και DiffServ δεν έχουν εφαρμοστεί στα κινητά ad-hoc δίκτυα. Τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν είναι ένας από τους λόγους που αποθαρρύνουν την εφαρμογή τους.

Integrated Service Architecture

Όσον αφορά το μοντέλο IntServ, ένα από τα μειονεκτήματα είναι η επεκτασιμότητα. Το ποσό των πληροφοριών για την κατάσταση αυξάνεται αναλογικά, με τον αριθμό των ροών.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επιβαρύνεται η μνήμη των δρομολογητών, και ο κάθε επεξεργαστής σπαταλά περισσότερη ενέργεια για να αναλύσει τις πληροφορίες. Ωστόσο, το πρόβλημα της επεκτασιμότητας είναι λιγότερο πιθανό να συμβεί στα τρέχοντα MANETs λαμβάνοντας υπόψη το μικρό αριθμό ροών, το περιορισμένο μέγεθος του δικτύου και το εύρος ζώνης της ασύρματης σύνδεσης.

Αντίθετα, από την άλλη πλευρά με την ανάπτυξη της τεχνολογίας στην αποδοτική χρήση του χαμηλού εύρους ζώνης, η ανάγκη υψηλών ταχυτήτων και μεγάλου μεγέθους MANETs με άφθονες εφαρμογές είναι προβλέψιμη. Έτσι, η προσέγγιση του μοντέλου IntServ για τα MANETs θα συναντήσει αναπόφευκτα το πρόβλημα της επεκτασιμότητας.

Ένα άλλο μειονέκτημα είναι η σηματοδότηση. Τα πρωτόκολλα σηματοδότησης περιέχουν τρεις φάσεις: την εγκατάσταση της σύνδεσης, τη σύνδεση tear-down και την συντήρηση της σύνδεσης. Όσο μικρότερο είναι ένα δίκτυο και μεταβάλλεται σε συνάρτηση με τον χρόνο τότε το ποσοστό της χωρητικότητας της ζεύξης που θα διατίθεται για τον έλεγχο της επιβάρυνσης στο δίκτυο θα είναι μεγαλύτερο.

Τα MANETs με την δυναμική τοπολογία τους και με την χωρητικότητα των συνδέσεων, τα γενικά έξοδα της συντήρησης της σύνδεσης συνήθως ξεπερνούν το αρχικό κόστος για την ίδρυση της σύνδεσης. Ως εκ τούτου, η σηματοδότηση δεν είναι πρακτική στα MANETs.

Το κυριότερο μειονέκτημα όμως που εμποδίζει την εφαρμογή του στα MANETs είναι ότι απαιτείται μεγάλη κατανάλωση ενέργειας στην επεξεργασία πληροφοριών και στη δέσμευση πόρων. Η επεξεργασία των πακέτων από τους κόμβους πρέπει να είναι απλή ώστε να μην επιβαρύνει το χαμηλής ενέργειας ad-hoc δίκτυο.

Επιπλέον, στο μοντέλο IntServ, επειδή κάθε κόμβος αναλαμβάνει να εξακριβώσει την κατάσταση των γειτονικών του κόμβων, χρειάζεται συνεχής επαναδιαπραγμάτευση με τους κινητούς γειτονικούς κόμβους. Επομένως, η δέσμευση πόρων για μεγάλο χρονικό διάστημα δεν είναι εφικτή σε μια τοπολογία δυναμική όπως αυτή των MANETs. Τέλος οι μηχανισμοί του μοντέλου IntServ επιβάλλει υψηλές απαιτήσεις στους δρομολογητές.

Όλοι οι δρομολογητές πρέπει να έχουν τέσσερα βασικά συστατικά: RSVP, admission control, ταξινόμηση και δρομολόγηση πακέτων.

Κατά συνέπεια, τα γενικά έξοδα επεξεργασίας των δρομολογητών είναι υψηλά το οποίο είναι ανεπιθύμητα στα περιορισμένα ενεργειακά MANETs.

Differentiated Service Framework

Το μοντέλο DiffServ έχει σχεδιαστεί για να ξεπεραστεί η δυσκολία της εφαρμογής και της ανάπτυξης του μοντέλου IntServ και RSVP στο βασικό δίκτυο Internet.

Το μέγεθος των MANETs δεν είναι συγκρίσιμο με εκείνο της ραχοκοκαλιάς του διαδικτύου, αλλά οι λειτουργίες των κόμβων είναι ανάλογες με εκείνες των δρομολογητών στη ραχοκοκαλιά του Internet.

Ο ρόλος του κάθε κόμβου στα MANETs είναι διπλός, και χρήστης και δρομολογητής.

Ως δρομολογητής, ένας κόμβος δρομολογεί τα πακέτα στους άλλους κόμβους, όπως οι δρομολογητές κορμού κάνουν στο Διαδίκτυο.

Ως εκ τούτου, ένα MANET είναι παρόμοιο με ένα δίκτυο κορμού από την άποψη των λειτουργιών των κόμβων.

Αυτή η ομοιότητα υποδηλώνει μια πιθανή χρήση του μοντέλου DiffServ στα MANETs.

Μια ακόμα ομοιότητα παρατηρείται και στο χρονοδιάγραμμα, όπου το μοντέλο DiffServ παρέχει στους πελάτες υπηρεσίες για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Στα MANETs, η κινητικότητα και η χωρητικότητα της σύνδεσης φτάνει περίπου σε μια σταθερή κατάσταση για μεγάλο χρονικό διάστημα, παρά τις στιγμιαίες αλλαγές στη τοπολογία και τις συνθήκες του εύρους ζώνης.

Τέλος το μοντέλο DiffServ είναι ελαφρύ στους εσωτερικούς κόμβους καθώς καταργεί τη σηματοδότηση σε κάθε hop.

Κάτι τέτοιο ευνοεί τα MANETs, αφού είναι παράλογο ένας κόμβος σε μια προσωρινή αποστολή του, να έχει πολύ βαρύ φορτίο.

Αντίθετα, μειονέκτημα του μοντέλου DiffServ είναι ότι οι κόμβοι του δικτύου πρέπει να έχουν την ίδια διαχείριση, να υποστηρίζουν την αρχιτεκτονική αυτή και να συνεργάζονται ώστε να παρέχουν πραγματικά διαφοροποιημένες υπηρεσίες.

Η συνεργασία αυτή δεν είναι εφικτή σε κινητούς κόμβους.

Το πρόβλημα επομένως είναι πως θα μπορούσαμε να εξυπηρετήσουμε τις διάφορες συνδέσεις ταυτόχρονα (multihop network) χωρίς συγκρούσεις, απώλειες και καθυστερήσεις. Διάφοροι αλγόριθμοι έχουν προταθεί για τη δρομολόγηση στα MANETs.

Παρόλο τις πολλά υποσχόμενες πτυχές τα MANETs δεν είναι ακόμη εύκολο να υιοθετήσουν τη προσέγγιση του μοντέλου DiffServ, αφού έχει σχεδιαστεί για σταθερά και σχετικά υψηλών ταχυτήτων δίκτυα.

Είναι επίσης επιθυμητό τα MANETs να εφοδιαστούν με κατάλληλα χαρακτηριστικά QoS που παρέχονται από το μοντέλο IntServ.

7.3 FQMM

Το πρώτο μοντέλο QoS που προτάθηκε για τα MANETs είναι το ευέλικτο QoS μοντέλο (Flexible QoS Model for MANET, FQMM) (σχήμα 25). Μπορεί να αντιμετωπισθεί ως υβριδικό των μοντέλων IntServ και DiffServ.

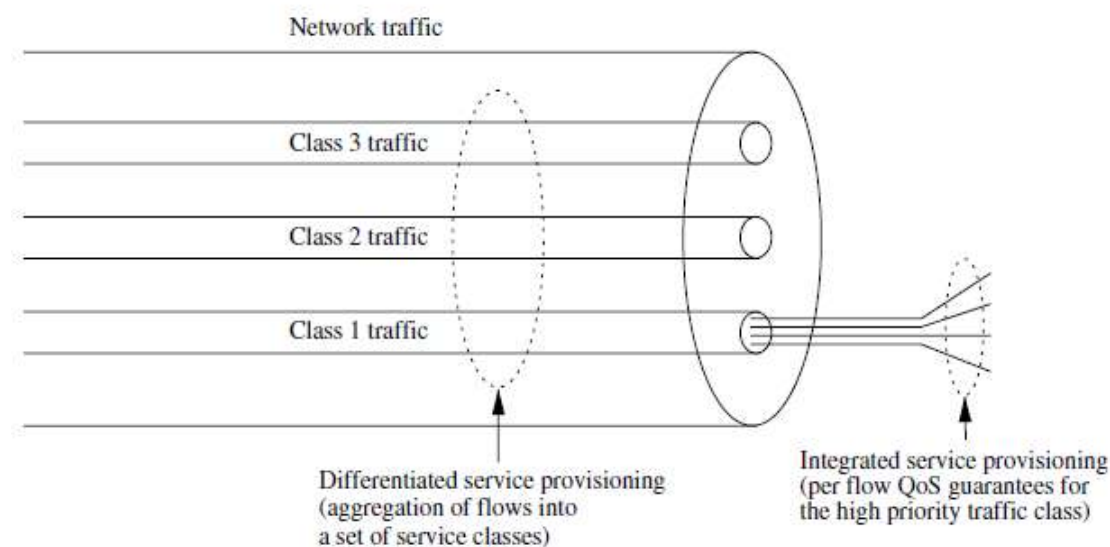
Η ιδέα του μοντέλου είναι να συνδυαστούν οι γνώσεις από τις λύσεις που προσφέρονται στα ενσύρματα δίκτυα και η εφαρμογή τους σε ένα νέο μοντέλο QoS που θα λάβει υπόψη τα χαρακτηριστικά των MANETs.

Η βασική ιδέα όμως είναι ότι εκμεταλλεύεται την διακριτοποίηση σε ροές (flows) του IntServ και τη συνάθροιση των υπηρεσιών σε κατηγορίες (classes) του DiffServ.

Με άλλα λόγια το FQMM παρέχει στις ροές που έχουν υψηλή προτεραιότητα εγγυήσεις QoS (per-flow QoS provisioning) ενώ οι ροές χαμηλότερης προτεραιότητας αθροίζονται σε ένα σύνολο κατηγοριών υπηρεσιών (per-class QoS provisioning) όπως διευκρινίζονται στο σχήμα 3.

Αυτό το υβριδικό QoS μοντέλο είναι βασισμένο στην υπόθεση ότι το ποσοστό των ροών που απαιτούν εγγυήσεις QoS ροής είναι πολύ λιγότερο από αυτό των ροών χαμηλής προτεραιότητας που μπορούν να αθροιστούν σε ένα σύνολο κατηγοριών QoS, δηλαδή ότι δεν επιδιώκουν πραγματικά όλα τα πακέτα στο δίκτυο για την πιο υψηλή προτεραιότητα.

Με βάση το τρέχον φορτίο κυκλοφορίας στο δίκτυο, το επίπεδο εξυπηρέτησης μιας ροής μπορεί να αλλάξει δυναμικά από ανά ροή σε ανά κατηγορία και αντίστροφα.



Σχήμα 25

Μοντέλο FQMM

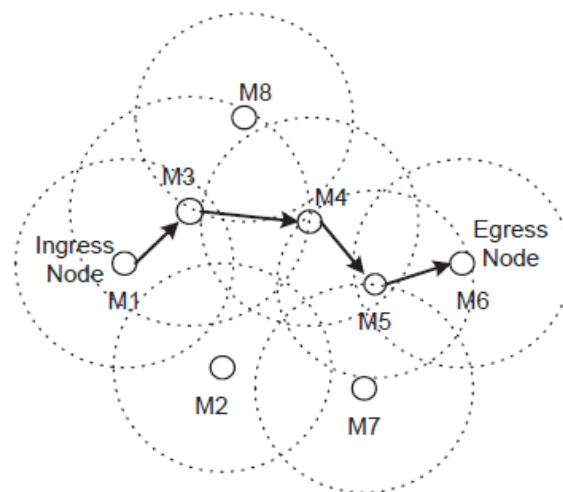
(από T.B Reddy et al. Ad Hoc Networks 4 (2006) 83-124)

Το FQMM είναι για μικρά και μεσαία σε μέγεθος MANETs που χρησιμοποιούν μια επίπεδη μη-ιεραρχική τοπολογία. Αυτό το υβριδικό πρότυπο καθορίζει τρεις τύπους κόμβων όπως και στο DiffServ: α) κόμβος πηγή, εάν μεταδίδει δεδομένα, β), τον πυρήνα (ενδιάμεσοι κόμβοι) εάν προωθεί τα δεδομένα και γ), τον κόμβο προορισμού εάν λαμβάνει τα δεδομένα.

Η διαφορά είναι ότι στο FQMM ο τύπος ενός κόμβου δεν έχει καμία σχέση με τη φυσική θέση του στο δίκτυο, δεδομένου ότι αυτό δεν θα είχε οποιοδήποτε νόημα σε μια δυναμική τοπολογία δικτύων.

Παραδείγματος χάριν, στο σχήμα 26, οκτώ κόμβοι κινούνται και μια διαδρομή καθιερώνεται για την επικοινωνία από τον κόμβο M1 στον κόμβο M6. Όταν δεδομένα στέλνονται από τον M1 στον M6, ο M1 συμπεριφέρεται ως κόμβος πηγή (ingress node).

Οι κόμβοι M3, M4 και M5, κατά μήκος της διαδρομής από τον M1 στον M6, συμπεριφέρονται ως ενδιάμεσοι κόμβοι και τέλος ο M6 είναι ο egress node δηλαδή ο κόμβος προορισμού.



Σχήμα 26
Συμπεριφορά κόμβων

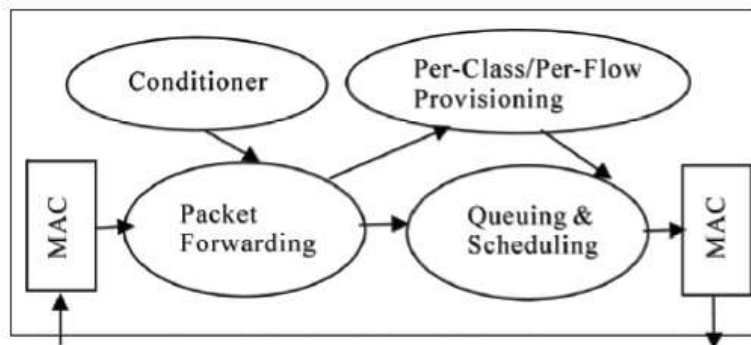
Το σχήμα 27 επεξηγεί την αρχιτεκτονική FQMM. Ένας ρυθμιστής της κίνησης του δικτύου τίθεται στον κόμβο πηγή όπου η κυκλοφορία δημιουργείται. Αστυνομεύει την κίνηση σύμφωνα με το σχεδιάγραμμα κυκλοφορίας αφότου βρεθεί μια έγκυρη διαδρομή.

Τα συστατικά του ρυθμιστή περιλαμβάνουν το σχεδιάγραμμα της κυκλοφορίας, το μετρητή, το δείκτη και το μηχανισμό απόρριψης των πακέτων λόγω συμφόρησης της. Για το FQMM, το απόλυτο σχεδιάγραμμα κυκλοφορίας δεν ισχύει δεδομένου ότι το αποτελεσματικό εύρος ζώνης μιας ασύρματης σύνδεσης μεταξύ των κόμβων ποικίλει ανάλογα με τον χρόνο.

Κατά συνέπεια, το σχεδιάγραμμα κυκλοφορίας ορίζεται ως το σχετικό ποσοστό της αποτελεσματικής χωρητικότητας της σύνδεσης προκειμένου να κρατηθεί η διαφοροποίηση μεταξύ των κατηγοριών κάτω από τη δυναμική του δικτύου. Επιπλέον, το σχεδιάγραμμα πρέπει να είναι προσαρμοστικό στη δυναμικότητα του δικτύου.

Η διαμόρφωση κυκλοφορίας είναι η διαδικασία της καθυστέρησης των πακέτων που ανήκουν σε μια ροή έτσι ώστε τα πακέτα να προσαρμόζονται σε ένα καθορισμένο σχεδιάγραμμα κυκλοφορίας.

Το σχεδιάγραμμα κυκλοφορίας περιέχει μια περιγραφή των χρονικών ιδιοτήτων μιας ροής όπως το μέσο ρυθμό (δηλ., τον ρυθμό στον οποίο τα δεδομένα μπορούν στέλνονται ανά μονάδα χρόνου κατά μέσον όρο) και μέγεθος των δεδομένων που μεταδίδονται (που διευκρινίζεται στα bit ανά μετάδοση, πόση κυκλοφορία μπορεί να σταλθεί μέσα σε μια δεδομένη μονάδα του χρόνου χωρίς δημιουργία ανησυχιών σχεδιασμού).



Σχήμα 27

Αρχιτεκτονική FQMM

Το FQMM παρέχει per-flow εγγυήσεις QoS και ξεπερνάει το πρόβλημα της επεκτασιμότητας ταξινομώντας την χαμηλή σε προτεραιότητα κίνηση σε τάξεις υπηρεσιών.

Ωστόσο αρκετά θέματα παραμένουν άλυτα και εμφανίζουν δυσκολίες όπως για να κάνει ένα δυναμικά συζητημένο σχεδιάγραμμα κυκλοφορίας είναι πολύ δύσκολο καθώς επίσης και να κωδικοποιήσει το PHB στον τομέα DS της IP, εάν το PHB περιλαμβάνει το πολύ-πολύ 8 μπιτ χωρίς επέκταση.

Ακόμα ο κόμβος πηγή πρέπει δώσει μεγάλη προσοχή στη ρύθμιση της κίνησης του δικτύου, δεδομένου ότι το ποσοστό του σχεδιαγράμματος της κυκλοφορίας πρέπει να είναι επεξεργάσιμο σε όλες τις περιοχές του δικτύου.

Τέλος προβλήματα υπάρχουν και στους μηχανισμούς που χρησιμοποιούνται από τους ενδιάμεσους κόμβους για να λάβουν πληροφορίες σχετικά με μια ροή ή να προωθήσουν πακέτα.

7.4 Insignia

7.4.1 Σηματοδότηση

Η σηματοδότηση χρησιμοποιείται στα δίκτυα QoS για τη διαχείριση των πόρων του δικτύου, δηλαδή την δέσμευση και την αποδέσμευση τους (resource reservation), και εξαρτάται άμεσα από την χωρητικότητα του δικτύου, την μνήμη, το εύρος ζώνης και άλλα.

Προκειμένου να επιτευχθεί η σωστή σηματοδότηση QoS υπάρχουν δύο προϋποθέσεις: α) αξιόπιστη μεταφορά των σημάτων μεταξύ των δρομολογητών και β) σωστή ερμηνεία και ενεργοποίηση του κατάλληλου μηχανισμού χειρισμού του σήματος.

Με απλά λόγια η σηματοδότηση που στέλνεται με τη δρομολόγηση ανάμεσα στους κόμβους μέσα στο δίκτυο πρέπει να είναι κατανοητή και εφαρμοσμένη από τους υπολοίπους κόμβους.

Η μεταφορά των σημάτων μεταξύ των δρομολογητών μπορεί να διαιρεθεί σε in-band σηματοδότηση και out- of- band σηματοδότηση.

Η in-band σηματοδότηση αναφέρεται στο γεγονός ότι οποιεσδήποτε πληροφορίες ελέγχου δικτύων είναι τοποθετημένες σε μέσα στα πακέτα δεδομένων καθιστώντας την προσέγγιση της σηματοδότησης εύκολη και "ελαφριά".

Η εκτός ζώνης σηματοδότηση αφ' ετέρου αναφέρεται στην προσέγγιση που χρησιμοποιεί τα ρητά πακέτα ελέγχου. Αυτή η προσέγγιση χαρακτηριστεί "βαριά" (heavyweight) επειδή πρόσθετες πληροφορίες μεταφέρονται στο δίκτυο και καταναλώνουν περισσότερο εύρος ζώνης δικτύων.

Το RSVP αποτελεί ένα παράδειγμα της out-of-band σηματοδότησης. Στα MANETs, το εύρος ζώνης και ο περιορισμός της δύναμης είναι σημαντικά θέματα. Τα MANETs δεν μπορούν να ανεχτούν πολύπλοκα πρωτόκολλα σηματοδότησης.

Άντε' αυτού επιδιώκεται ένα ελαφρύ και απλό πρωτόκολλο σηματοδότησης που μπορεί να διατεθεί από την αρχιτεκτονική MANet. Η άμεση χαρτογράφηση της ύπαρξης των πρωτοκόλλων σηματοδότησης είναι επίσης ανέφικτη.

Το RSVP είναι το de facto πρωτόκολλο σηματοδότησης για IntServ και αν και μπορεί να αποδώσει σχετικά καλά στα μικρής κλίμακας ενσύρματα δίκτυα, δεν λαμβάνει υπόψη του τα ευδιάκριτα χαρακτηριστικά των MANETs. Στο RSVP το εύρος ζώνης και η περιορισμένη δύναμη (power constrains) δεν αποτελούν σημείο προβληματισμού.

Επιπλέον, δεν είναι προσαρμοστικό για τις ποικίλες τοπολογίες χρόνου επειδή δεν έχει κανέναν μηχανισμό για να αποκριθεί γρήγορα στην αλλαγή τοπολογίας στα MANETs.

7.4.2 Το μοντέλο INSIGNIA

Το μοντέλο INSIGNIA αναπτύχθηκε για την παροχή προσαρμοστικών υπηρεσιών στα ασύρματα Ad-hoc δίκτυα.

Ο πρωταρχικός σχεδιαστικός σκοπός της INSIGNIA QoS αρχιτεκτονικής είναι η υποστήριξη προσαρμοζόμενων υπηρεσιών που μπορούν να εξασφαλίζουν κάποιο βασικό επίπεδο ποιότητας εξυπηρέτησης (QoS), αποκαλούμενο και ως base QoS (όπως το ελάχιστο εύρος ζώνης).

Το επίπεδο εξυπηρέτησης μπορεί να επεκταθεί αργότερα στο λεγόμενο enhanced QoS όταν οι επαρκή πόροι θα γίνουν διαθέσιμοι.

Βασικό στοιχείο είναι ότι οι χρήστες προσαρμόζονται στο διαθέσιμο επίπεδο υπηρεσίας χωρίς μια ρητή σηματοδότηση μεταξύ αρχικού αποστολέα και τελικού παραλήπτη.

Τα βασικά ζητήματα σχεδίου στην παροχή προσαρμοστικής υπηρεσίας είναι τα ακόλουθα πόσο γρήγορα μπορεί το επίπεδο εξυπηρέτησης μιας εφαρμογής να αλλάξει από base QoS σε enhanced QoS και αντίστροφα στις αλλαγές της τοπολογίας των δικτύων και στις συνθήκες των καναλιών; πώς και πότε να λειτουργήσει το base QoS ή enhanced QoS για μια προσαρμοστική εφαρμογή (δηλ., εφαρμογή που μπορεί να στηρίξει τις αλλαγές στα επίπεδα QoS);

Αυτή η αρχιτεκτονική μπορεί να προσαρμοστεί στις συνόδους των χρηστών με βάση τη δυναμική των δικτύων και τις απαιτήσεις των χρηστών.

Ένα συστατικό κλειδί της INSIGNIA είναι το σύστημα της in-band, σηματοδότησης το οποίο υποστηρίζει γρήγορη δέσμευση, αποκατάσταση, και σχέδια προσαρμογής για να παραδοθούν οι προσαρμοστικές υπηρεσίες.

Το σύστημα αυτό είναι ελαφρύ και ανταποκρίνεται γρήγορα στις αλλαγές της τοπολογίας του δικτύου.

Η αρχιτεκτονική της INSIGNIA απεικονίζεται στο σχήμα 28.

Βασική θεώρηση στην εν λόγω αρχιτεκτονική η απομάκρυνση των λειτουργιών ποιότητας υπηρεσίας από το πρωτόκολλο δρομολόγησης (Routing module).

Κάτι τέτοιο έγινε διότι οι σχεδιαστές του insignia, μελετώντας τα χρονικά διαστήματα στα οποία μια ροή δεδομένων εγκαθίσταται και δρομολογείται, θεώρησαν ότι τα MANET πρωτόκολλα δρομολόγησης δεν πρέπει να φορτωθούν με την ενσωμάτωση του μοντέλου ποιότητας υπηρεσίας. Επιπλέον με τον τρόπο αυτό η προτεινόμενη αρχιτεκτονική μπορεί να συνεργαστεί με ένα πλήθος διαφορετικών πρωτοκόλλων δρομολόγησης.

Όπως αναφέραμε όλη η λειτουργικότητα της αρχιτεκτονικής επιτυγχάνεται χωρίς σαφή σύνδεση αποστολέα-παραλήπτη, κάτι τέτοιο είναι δυνατό με τη εκμετάλλευση των πακέτων πληροφορίας για τη μετάδοση πληροφορίας ελέγχου και ονομάζεται inband signaling.

Η αντίθετη προσέγγιση ονομάζεται *out-of-band signaling* και σύμφωνα με αυτήν η πληροφορία ελέγχου μεταδίδεται με ξεχωριστά πακέτα ελέγχου ή ακόμα μεταδίδεται και σε ξεχωριστά κανάλια από τα δεδομένα.

Η επιλογή αυτή έγινε διότι, εν γένει, τα συστήματα που χρησιμοποιούν την *out-of-band signaling* προσέγγιση δε ανταποκρίνονται αρκετά γρήγορα σε αλλαγές στα χαρακτηριστικά του δικτύου (γεγονός ιδιαίτερα έντονο στα ad-hoc ασύρματα δίκτυα).

Αντίθετα με την inband προσέγγιση ένα σύστημα μπορεί να ανταποκριθεί σε τοπολογικές αλλαγές μέσα σε μερικά συνεχόμενα IP πακέτα.

Στη σχεδίαση του insignia η υλοποίηση του in-band signaling και της μετάδοσης πληροφορίας ελέγχου μέσω των πακέτων δεδομένων γίνεται με την χρήση της IP επικεφαλίδα του πακέτου.

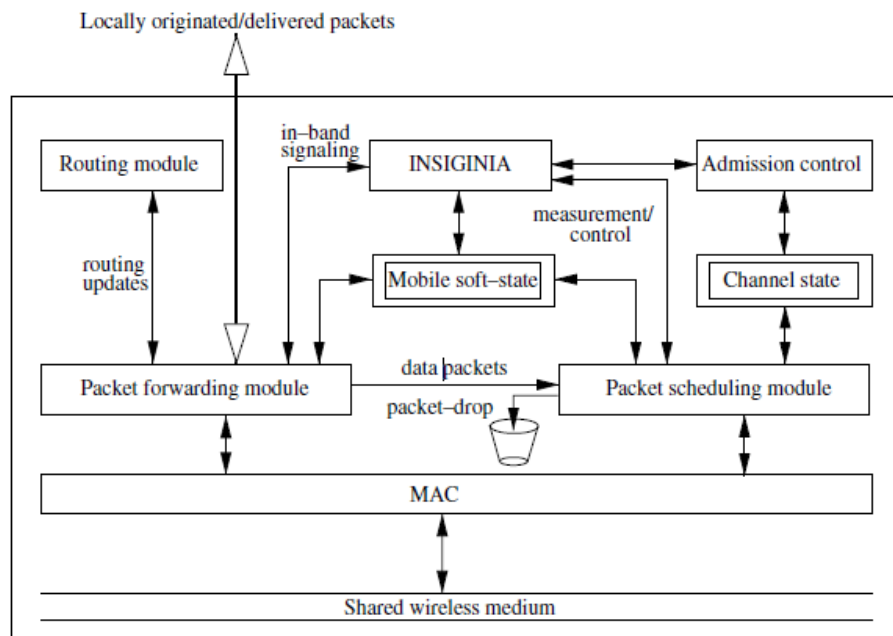
Κάθε πακέτο δεδομένων περιέχει ένα πεδίο επιλογής QoS (INSIGNIA option) για να διεξάγει την πληροφορία ελέγχου.

Με τη χρήση των πεδίων αυτών υλοποιείται όλη η λειτουργικότητα της αρχιτεκτονικής.

Η μονάδα προώθησης των πακέτων (packet forwarding module) ταξινομεί τα εισερχόμενα πακέτα και τα παραδίδει στην κατάλληλη μονάδα.

Εάν το πακέτο έχει την επιλογή INSIGNIA, παραδίδεται στην μονάδα σηματοδότησης INSIGNIA. Τα πακέτα που πρόκειται να δρομολογηθούν σε άλλους κόμβους αντιμετωπίζονται από την μονάδα σχεδιασμού των πακέτων (packet scheduling module). Τα πακέτα που διαβιβάζονται από έναν κόμβο σχεδιάζονται από το χρονοπρογραμματισμό με βάση στην πολιτική προώθησης.

Η INSIGNIA είναι φανερή από οποιαδήποτε MAC πρωτόκολλο και χρησιμοποιεί soft state διαχείριση των πόρων. Όταν ένας ενδιαμέσος κόμβος λαμβάνει ένα πακέτο δεδομένων με τη σημαία RES (reservation) τίθεται μια ροή QoS αν καμία δέσμευση δεν έχει γίνει μέχρι τώρα, η μονάδα ελέγχου αποδοχής διαθέτει τους πόρους με βάση την διαθεσιμότητα. Εάν η δέσμευση έχει ήδη γίνει, επιβεβαιώνεται ξανά.



Σχήμα 28

Αρχιτεκτονική INSIGNIA

Το μοντέλο INSIGNIA υποστηρίζει προσαρμοζόμενες εφαρμογές που μπορούν να είναι εφαρμογές που απαιτούν την βέλτιστη υπηρεσία (best-effort) ή εφαρμογές με απαιτήσεις base QoS ή εκείνες με απαιτήσεις enhanced QoS.

Λόγω της προσαρμογής του πρωτοκόλλου στην δυναμική συμπεριφορά των ασύρματων Ad-hoc δικτύων το επίπεδο εξυπηρέτησης μιας εφαρμογής μπορεί να υποβιβαστεί με έναν διανεμημένο τρόπο εάν αρκετοί πόροι δεν είναι διαθέσιμοι.

7.4.3 Το πεδίο επιλογής (Option) στην INSIGNIA

Η επιλογή INSIGNIA είναι τοποθετημένη μέσα σε ένα IP πακέτο. Ο Reservation Mode είναι ένας τομέας του ενός bit που δείχνει εάν αυτό το πακέτο επιδιώκει αυτήν την περίοδο μια αίτηση για πόρους (REQ) ή εάν αυτή η συσκευασία έχει ήδη διατηρήσει τους πόρους (RES).

Στην περίπτωση που βρίσκεται σε τρόπο REQ, η συσκευασία διαβιβάζεται στην INSIGNIA ενότητα για την περαιτέρω επεξεργασία.

Το πεδίο επιλογής στην INSIGNIA περιλαμβάνει το πεδίο service mode, το payload type, το δείκτη του εύρους ζώνης (bandwidth indicator) και το αίτημα για εύρος ζώνης (bandwidth request)

Το service mode μπορεί να πάρει τιμές είτε (BE), δηλαδή Best-Effort είτε (RES), υπηρεσίες δέσμευσης πόρων. Ο τύπος του payload δείχνει τις απαιτήσεις QoS της εφαρμογής.

Μπορεί να είναι είτε base QoS για μια εφαρμογή που απαιτεί το ελάχιστο εύρος ζώνης, είτε enhanced QoS για μια εφαρμογή που απαιτεί ένα ορισμένο μέγιστο εύρος ζώνης αλλά μπορεί να λειτουργήσει και με ένα ορισμένο ελάχιστο εύρος ζώνης κάτι το οποίο είναι ανούσιο.

Ο δείκτης του εύρους ζώνης (bandwidth indicator) έχει μια τιμή ή MIN ή MAX που αντιπροσωπεύει το διαθέσιμο εύρος ζώνης για τη ροή.

Ο πίνακας 3 απεικονίζει πώς το service mode, το payload type και το bandwidth indicator απεικονίζουν την παρούσα κατάσταση των ροών.

Μπορεί να δει κανείς από τον πίνακα ότι τα πακέτα της βέλτιστης διαδρομής (BE) καθοδηγούνται ως κανονικά πακέτα δεδομένων.

Εάν απαιτείται ποιότητα υπηρεσίας όμως από μια εφαρμογή, τότε θα μεταβούμε σε base QoS όπου ένα ορισμένο ελάχιστο εύρος ζώνης είναι εγγυημένο.

Για αυτήν την εφαρμογή η τιμή του δείκτη εύρους ζώνης τίθεται στο MIN.

Για enhanced QoS, η πηγή θέτει τη τιμή του δείκτη εύρους ζώνης σε MAX αλλά αυτό μπορεί να υποβαθμιστεί (degradation) στους ενδιάμεσους κόμβους σε MIN.

Έτσι και το service mode αλλάζει σε BE από RES, εάν το επαρκές εύρος ζώνης δεν είναι διαθέσιμο. Η υποβαθμισμένη υπηρεσία μπορεί να αποκατασταθεί σε RES, εάν το ικανοποιητικό εύρος ζώνης διατίθεται.

Στην περίπτωση που έχουμε enhanced QoS, η υπηρεσία μπορεί να είναι υποβαθμιστεί είτε σε BE είτε σε RES με base QoS.

Το υποβαθμισμένο enhanced QoS μπορεί να αναβαθμιστεί αργότερα, εάν όλοι οι ενδιάμεσοι κόμβοι έχουν το απαραίτητο (MAX) εύρος ζώνης.

Πίνακας 3.

Μεταβολή συστήματος σε καταστάσεις Best Effort (BE), Base QoS και Enhanced QoS

Service mode	Payload type	BW indicator	Degrading	Upgrading
BE	-	-	-	-
RES	Base QoS	MIN	Base QoS→BE	BE→Base QoS
RES	Enhanced QoS (EQoS)	MAX	EQoS→BE EQoS→BQoS	BE→EQoS BQoS→EQoS

Συνολικά το INSIGNIA είναι ένα αποτελεσματικό πρωτόκολλο σηματοδότησης, δεδομένου ότι είναι ένα in-band πρωτόκολλο σηματοδότησης και δεδομένου ότι η κατανομή των πόρων βρίσκεται σε "soft-state".

Το σημαντικότερο μειονέκτημα εν τούτοις για το INSIGNIA είναι ότι οι στατικές πληροφορίες των ροών πρέπει να κρατηθούν στους κινητούς χρήστες (mobile hosts), οι οποίες θα μπορούσαν να δημιουργήσουν πρόβλημα ανάπτυξης καθώς ο αριθμός ροών αυξάνεται.

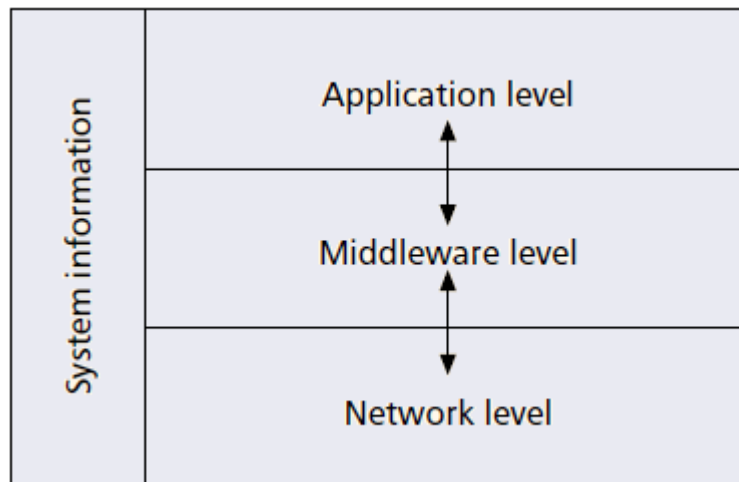
7.5 iMAQ

Μία ακόμα πολύ αξιόλογη ερευνητική προσπάθεια είναι η iMAQ αρχιτεκτονική η οποία σκοπό έχει να υποστηρίξει τη μετάδοση πολύ μεσικών δεδομένων πάνω από MANET δίκτυα. Στο σχήμα 29 φαίνεται ένα μοντέλο της δομής.

Η δομή περιλαμβάνει το επίπεδο δικτύου και ένα ενδιάμεσο επίπεδο υπηρεσιών (middlewareservice layer). Τα δύο αυτά επίπεδα ανταλλάσσουν πληροφορίες και συνεργάζονται με σκοπό να παράσχουν εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσίας σε πολυμεσικά δεδομένα.

Στο επίπεδο δικτύου πρωταγωνιστικό ρόλο έχει ένα QoS πρωτόκολλο δρομολόγησης το οποίο βασίζεται σε τοπολογικές προβλέψεις. Το ενδιάμεσο επίπεδο επικοινωνεί με τα επίπεδα εφαρμογής και δικτύου με σκοπό τη μεγιστοποίηση της εξυπηρέτησης της ποιότητας υπηρεσίας του δικτύου συνολικά. Επίσης το ενδιάμεσο επίπεδο χρησιμοποιεί τοπολογικές πληροφορίες από τα χαμηλότερα επίπεδα προσπαθώντας να προβλέψει τη μελλοντική συμπεριφορά του δικτύου και ειδικά το φαινόμενο κατάτμησης του δικτύου.

Ειδικά για το τελευταίο και για καλύτερη πρόσβαση στα δεδομένα υποστηρίζεται λειτουργία αντιγραφή δεδομένων σε διαφορετικά κομμάτια του δικτύου όταν επίκειται κατάτμηση αυτού.



Σχήμα 29
Μοντέλο iMAQ

Είναι γνωστό ότι ένα από τα πιο απαιτητικά θέματα στα ad-hoc ασύρματα δίκτυα είναι το γεγονός ότι λόγω της απρόβλεπτης και πολλές φορές γρήγορης κινητικότητας των κόμβων η πληροφορία δρομολόγησης μπορεί να μην είναι έγκυρη όταν φτάσει στο κόμβο που πρέπει. Κάτι τέτοιο ισχύει ακόμα και σε on-demand πρωτόκολλα δρομολόγησης όπως το DSR, η απόδοση των οποίων επηρεάζεται από κατάργηση συνδέσμων λόγω κινητικότητας.

Στο iMAQ το φαινόμενο αυτό αντιμετωπίζεται με την εισαγωγή κατάλληλου πρωτοκόλλου δρομολόγησης το οποίο προσπαθεί να προβλέψει μελλοντική θέση

κόμβων με βάση τις ενημερώσεις του κόμβου που αφορούν τη θέση του και τους πόρους του.

Κατά συνέπεια ένας κόμβος πρέπει να παράγει πακέτα ενημέρωση περιοδικά ή στη περίπτωση σημαντικής αλλαγής τοπολογικής ή διαθέσιμων πόρων.

Με βάση τις προηγούμενες ενημερώσεις ο μηχανισμός πρόβλεψης θέσης (*location prediction mechanism*) θα προσπαθήσει να προβλέψει τον απαιτούμενο χρόνο για ένα πακέτο να φτάσει στο προορισμό του και συσχετίζοντας το χρόνο αυτό και τις ενημερώσεις του παραλήπτη θα κάνει μια εκτίμηση για τη θέση του παραλήπτη τη χρονική στιγμή λήψης του πακέτου.

Όταν δημιουργείται μια διαδρομή μπορεί να γίνει επιλογή του καλύτερου επόμενου κόμβου με βάση τη πρόβλεψη για τη μελλοντική του θέση.

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται ωστόσο το πακέτο φτάσει τον παραλήπτη.

Φυσικά αν κατά τη διάρκεια της σύνδεσης υπάρξει σημαντική τοπολογική αλλαγή γίνεται αναθεώρηση και διόρθωση της βέλτιστης διαδρομής.

Παράλληλα το ενδιάμεσο επίπεδο δύναται να επαναδιαπραγματευθεί την παροχή ποιότητας υπηρεσίας με την εφαρμογή όταν οι διαθέσιμοι πόροι μειώνονται. Βασικό στοιχείο της λειτουργίας είναι η δυνατότητα αντιγραφής δεδομένων μεταξύ μερών του δικτύου όταν προβλέπεται κατάτμηση μεταξύ των μερών αυτών.

Έτσι λοιπόν στο iMAQ ενσωματώνονται υπηρεσίες αναζήτησης και αντιγραφής δεδομένων. Σε κάθε κόμβο η υπηρεσία αναζήτησης δεδομένων διατηρεί πίνακα διαθεσιμότητας δεδομένων.

Επίσης αντίστοιχα μηνύματα διαφήμισης των διαθέσιμων δεδομένων μεταδίδονται περιοδικά από κάθε κόμβο.

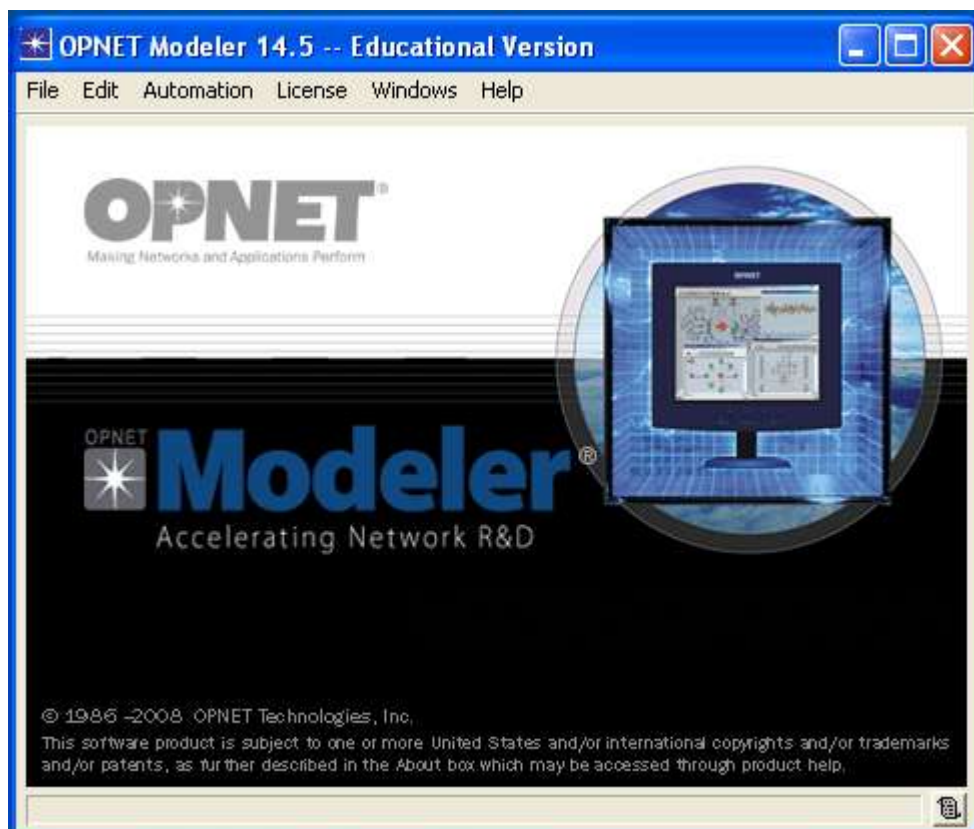
Κατά συνέπεια με τη λήψη των πακέτων αυτών ενημερώνεται άμεσα και ο πίνακας διαθέσιμων δεδομένων. Όταν το πρωτόκολλο δρομολόγησης προβλέπει κατάτμηση τα μέρη του δικτύου επιλέγονται με έξυπνα κριτήρια και γίνεται η κατάλληλη αντιγραφή πριν την πραγματική κατάτμηση του δικτύου.

Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική είναι ότι στην ουσία αφορά ένα QoS πρωτόκολλο δρομολόγησης το οποίο προσπαθεί να προβλέψει τη θέση των κόμβων χρησιμοποιώντας υπηρεσίες διαφήμισης δεδομένων, εύρεσης και αντιγραφής δεδομένων.

Κεφάλαιο 8. Προσομοίωση πρωτοκόλλου δρομολόγησης OLSR και QOLSR με την χρήση του OPNET MODELER

8.1 Γενικά για την πλατφόρμα προσομοίωσης OPNET MODELER

Το OPNET Modeler είναι ένα εμπορικό εργαλείο για τη μοντελοποίηση, την προσομοίωση και την ανάλυση των δικτύων επικοινωνιών, των καταναμημένων συστημάτων, των υπολογιστικών συστημάτων και των εφαρμογών υπολογιστών. Επιτρέπει τον σχεδιασμό και τη μελέτη δικτύων επικοινωνιών, συσκευών, πρωτοκόλλων και εφαρμογών με μεγάλη ευελιξία και επεκτασιμότητα (scalability).



Σχήμα 30

Προσομοιωτής OPNET MODELER

Το πακέτο Modeler χρησιμοποιείται από οργανισμούς με το μεγαλύτερο κύρος στον τομέα της τεχνολογίας παγκοσμίως για να επισπεύσουν τη διαδικασία R&D (research and development). Η προσέγγιση με εστίαση στο αντικείμενο κατά τη μοντελοποίηση και οι γραφικοί editors του Modeler απεικονίζουν τη δομή πραγματικών δικτύων και τμημάτων αυτών, ώστε το σύστημα διαισθητικά να χαρτογραφεί το μοντέλο.

Για την ακρίβεια το OPNET διαθέτει ένα πλήθος editors καθένας από τους οποίους αναλαμβάνει τη μοντελοποίηση ενός σταδίου του δικτύου. Έτσι υπάρχει editor αρμόδιος για την τοπολογία των σταθμών, τη σύνδεση των κόμβων και τη διαμόρφωση των χαρακτηριστικών τους, δεύτερος editor αρμόδιος για τη σύνδεση των διαφόρων στρωμάτων για τη λειτουργία κάθε ασύρματου κόμβου, τρίτος editor που διαμορφώνει τις λειτουργίες και τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις σε κάθε στρώμα και ούτω καθεξής. Αυτή η ιεραρχία διευκολύνει το χρήστη στη μεταβολή των χαρακτηριστικών ενός δικτύου καθώς ανάλογα με το επίπεδο όπου απαιτείται να λάβει χώρα κάθε μεταβολή απευθύνεται στον κατάλληλο editor.

Το OPNET διαθέτει μια πολύ αποδοτική μηχανή προσομοίωσης που ενισχύεται και από τη δυνατότητα που παρέχεται στον χρήστη να μεταβάλλει τη utilization της μνήμης κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Ο πυρήνας του είναι γραμμένος σε C++ γλώσσα προγραμματισμού και μεταγλωττίζεται (compiled) και εκτελείται ακριβώς όπως ένα C++ πρόγραμμα. Το γεγονός αυτό δίνει τη δυνατότητα πολύ λεπτομερούς ελέγχου από τον χρήστη, εφ' όσον ο τελευταίος γνωρίζει σε καλό επίπεδο τη γλώσσα.

Το εργαλείο αυτό υποστηρίζει όλους τους τύπους δικτύων και τεχνολογιών επιτρέποντας με τον τρόπο αυτόν τον σχεδιασμό και τη δοκιμασία ποικίλων σεναρίων με λογική βεβαιότητα για τα αποτελέσματα εξόδου, ενώ με την αλλαγή κάποιων παραμέτρων είναι αμέσως δυνατή η μελέτη της επίδρασης των αλλαγών αυτών στο δίκτυο. Οι περιοχές εφαρμογής περιλαμβάνουν πρωτόκολλα και σχέδια (schemes) ασυρμάτων (όπως Ad-hoc) και δορυφορικών επικοινωνιών, τον σχεδιασμό δικτύων και την ανάλυση της απόδοσής τους και των προβλημάτων τους πριν την πραγματική τους υλοποίηση, τη διαχείριση μικροκομματικών δικτύων και δικτύων οπτικών ινών, την ανάπτυξη και διαχείριση πρωτοκόλλων, την παροχή ποιότητας υπηρεσίας, την εκτίμηση αλγόριθμων δρομολόγησης για δρομολογητές, μεταγωγής και άλλες συνδετικές συσκευές

8.2 Χαρακτηριστικά του OPNET MODELER

Κάποια από τα χαρακτηριστικά του που το κάνουν ένα τόσο δυνατό εργαλείο είναι τα ιεραρχικά μοντέλα δικτύων, η αντικειμενοστραφής μοντελοποίηση (επιτρέπει στους κόμβους και στα πρωτόκολλα να μοντελοποιούνται σαν τάξεις (classes) με όλα τα χαρακτηριστικά του αντικειμενοστραφούς σχεδιασμού), η δυνατότητα ταυτόχρονης προσομοίωσης και σύγκρισης πολλαπλών σεναρίων, η δυνατότητα εισαγωγής μοντέλων κίνησης (traffic patterns) στο λογισμικό μοντελοποίησης, η ικανότητα ανάλυσης με τη χρήση ενσωματωμένων (built-in) γραφικών εργαλείων.

Με λίγα λόγια το OPNET παρέχει :

- Πολύ αποδοτική και scalable μηχανή προσομοίωσης, προσφέροντας γρήγορες προσομοιώσεις κάνοντας χρήση υψηλού επιπέδου τεχνικών επιτάχυνσης για ενσύρματα και ασύρματα modules.
- Βατή υποστήριξη για προγραμματισμό πρωτοκόλλων. Πάνω από 400 συναρτήσεις βιβλιοθήκης για μοντέλα πρωτοκόλλων.
- Ιεραρχικά μοντέλα δικτύου, τα οποία διαχειρίζονται σύνθετες τοπολογίες δικτύων με απεριόριστο φώλιασμα υποδικιών (subnet nesting).
- Αντικειμενοστραφής μοντελοποίηση. Οι κόμβοι και τα πρωτόκολλα μοντελοποιούνται σαν τάξεις (classes) με όλα τα χαρακτηριστικά του αντικειμενοστραφούς σχεδιασμού (κληρονομικότητα και specialization).
- Μοντελοποίηση μηχανής πεπερασμένων καταστάσεων των πρωτοκόλλων και άλλων διαδικασιών. Υπάρχει η δυνατότητα προσομοίωσης κάθε απαιτούμενης συμπεριφοράς με τη λογική της C/C++ σε καταστάσεις και μεταβάσεις μηχανής πεπερασμένων καταστάσεων και ο έλεγχός της σε επίπεδο λεπτομέρειας.
- Απλό paradigm μοντελοποίησης. Μοντελοποίηση της συμπεριφοράς μεμονωμένων αντικειμένων στο «Επίπεδο Επεξεργασίας» (Process Level) και διασύνδεσή τους για τον σχηματισμό συσκευών σε «Επίπεδο Κόμβου»(Node Level). Διασύνδεση των τελευταίων μέσω ζεύξεων για τον σχηματισμό δικτύων σε «Επίπεδο Δικτύου» (Network Level). Οργάνωση πολλαπλών σεναρίων δικτύων σε «Εργασίες» (Projects) για τη σύγκριση σχεδίων.
- Ασύρματες, από σημείο σε σημείο (point-to-point) και μεταξύ πολλαπλών σημείων ζεύξεις με δυνατότητα προγραμματισμού και συμπεριλαμβανόμενα χαρακτηριστικά

ρυθμού λαθών (bit error) , διαθεσιμότητας (availability), καθυστέρησης και throughput.

- Την πιο ανεπτυγμένη πλατφόρμα μοντελοποίησης με μια υψηλής ποιότητας ακολουθιακή (sequential) και πλήρως παράλληλη (fully parallel) προσομοίωση διακριτών γεγονότων (discrete event simulation), υβριδική και αναλυτική προσομοίωση αλλά και άλλες τεχνολογίες προσομοίωσης.
- Πλήρως ανοικτό κώδικα, παρέχοντας APIs για την κατασκευή ή την αλλαγή μοντέλων και αρχείων αποτελεσμάτων, βιβλιοθήκες κώδικα που μπορούν να ενσωματωθούν στις νέες προσομοιώσεις και τον κώδικα όλων των μοντέλων του λογισμικού.
- Ολοκληρωμένο αποσφαλματωτή (debugger), παρέχοντας γρήγορη validation της συμπεριφοράς προσομοίωσης ή γρήγορο εντοπισμό προβλημάτων.

8.3 Editors του OPNET MODELER

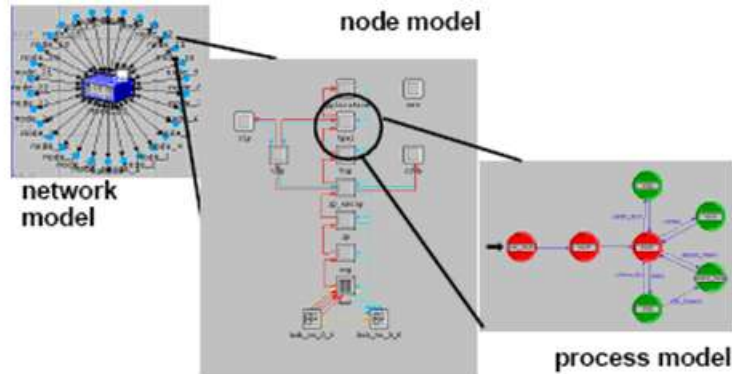
Το OPNET Modeller, αποτελεί ένα εξειδικευμένο εργαλείο στο χώρο των επικοινωνιών, που προσφέρει τη δυνατότητα με τη βοήθεια ενός γραφικού περιβάλλοντος να μοντελοποιηθούν και να προσομοιωθούν διάφορα είδη δικτύων.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται το OPNET Modeller 14.5, το οποίο περιέχει έτοιμα μοντέλα δικτύων. Η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται (και για την κατασκευή νέων μοντέλων) είναι η Proto C, μια παραλλαγή της γλώσσας C, η οποία μπορεί να χρησιμοποιεί και έτοιμες συναρτήσεις από τον πυρήνα (Kernel) του OPNET.

Για την κατασκευή της δομής ενός δικτύου, ακολουθείται αυστηρά η παρακάτω ιεραρχία τριών επιπέδων:

- Μοντέλο Δικτύου (Project Editor)
- Μοντέλο Κόμβων (Node Editor)
- Μοντέλο Επεξεργασίας (Process Editor)

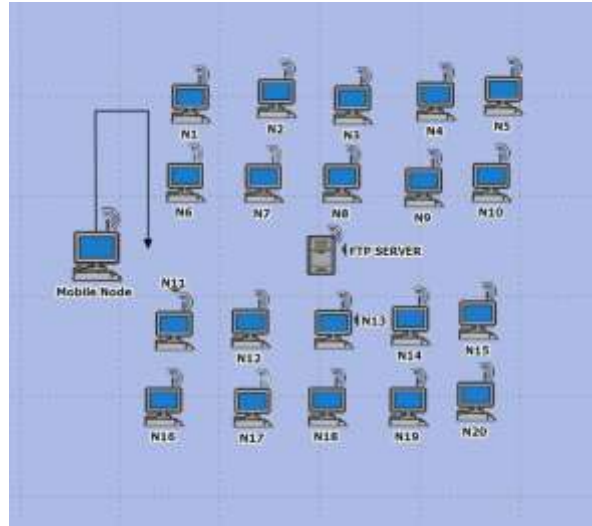
Τα αντικείμενα που ανήκουν στο μοντέλο δικτύου περιγράφονται από αντικείμενα που ανήκουν στο μοντέλο κόμβων, ενώ αυτά που ανήκουν στο μοντέλο κόμβων περιγράφονται από αντικείμενα που ανήκουν στο μοντέλο επεξεργασίας. Ένα παράδειγμα αυτής της ιεραρχίας φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 31

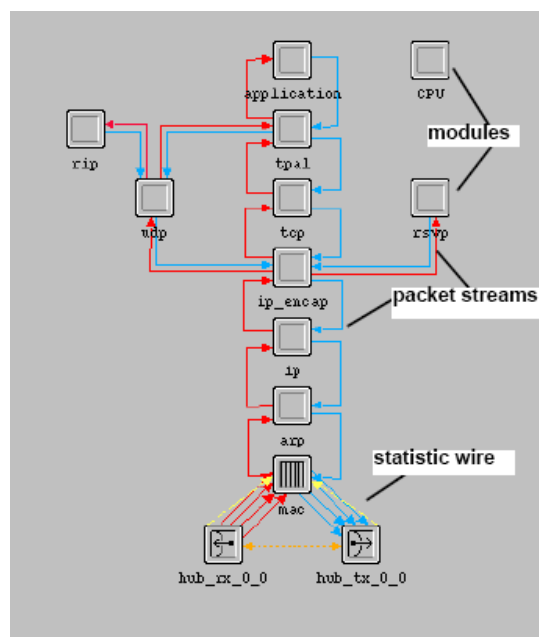
Ιεραρχική δομή μοντελοποίησης στο OPNET

Το *Μοντέλο Δικτύου* (Project Editor), αποτελεί την κύρια πλατφόρμα εργασίας για την κατασκευή και προσομοίωση ενός δικτύου. Αναπαριστά γραφικά την τοπολογία ενός δικτύου τηλεπικοινωνιών. Από εδώ μπορούμε να κτίσουμε ένα μοντέλο δικτύου, χρησιμοποιώντας τα έτοιμα μοντέλα (π.χ. ένα Τοπικό Δίκτυο (LAN), ένα Μητροπολιτικό Δίκτυο (MAN) ή ένα δίκτυο με δύο υπολογιστές κ.τ.λ.) που υπάρχουν στη βιβλιοθήκη του OPNET, να επιλεγθούν στατιστικά στοιχεία για το δίκτυο, να «τρέξει» μια προσομοίωση και να προβληθούν τα αποτελέσματα. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα υλοποίησης μοντέλων δικτύου και επεξεργασίας, να κατασκευαστούν μοντέλα για πακέτα που στέλνονται, να δημιουργηθούν φίλτρα και παράμετροι στα οποία δύναται να υπάρχει πρόσβαση από το μοντέλο επεξεργασίας (παράδειγμα ενός μοντέλου δικτύου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 32)



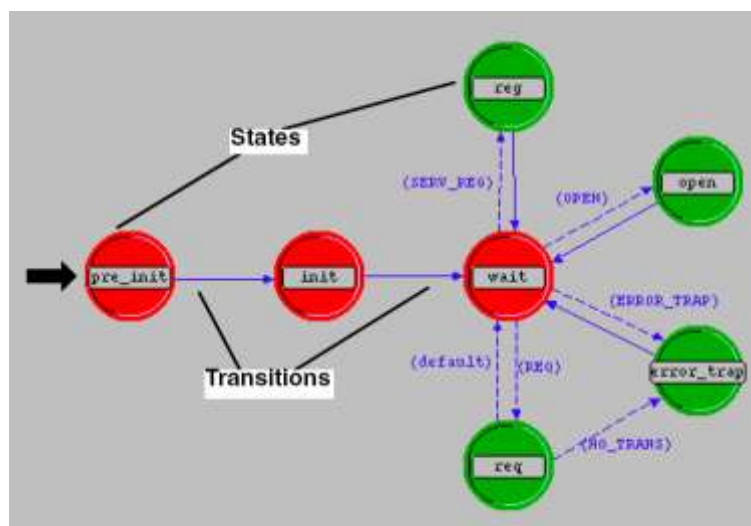
Σχήμα 32
Μοντέλο δικτύου

Τα αντικείμενα του *Μοντέλου Κόμβων* (Node Editor) περιγράφουν την αρχιτεκτονική μιας συσκευής δικτύου ή συστήματος αναπαριστώντας τη ροή δεδομένων μεταξύ λειτουργικών στοιχείων που καλούνται “modules”(υπομονάδες). Κάθε υπομονάδα μπορεί να παράγει, να στείλει και να λάβει πακέτα από άλλες υπομονάδες για να εκτελέσει τη λειτουργία της μέσα στον κόμβο. Οι υπομονάδες τυπικά αναπαριστούν εφαρμογές, επίπεδα πρωτοκόλλων, αλγορίθμους και φυσικούς πόρους, όπως θύρες, buffers και buses. Οι υπομονάδες είναι προσδιορισμένα μοντέλα επεξεργασίας (που έχουν αναπτυχθεί στον Process Editor) για να επιτύχουν οποιαδήποτε επιθυμητή συμπεριφορά (Node model) (παράδειγμα στο σχήμα 33).



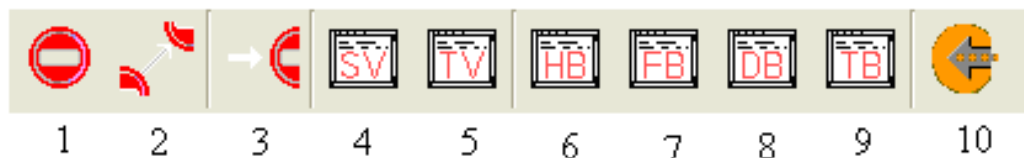
Σχήμα 33
Μοντέλο κόμβου

Το *Μοντέλο Επεξεργασίας* (Process Editor), αναπαρίσταται με διαγράμματα πεπερασμένων καταστάσεων (finite state machines - FSMs) που ελέγχουν την εσωτερική λειτουργικότητα των αντικειμένων στο μοντέλο κόμβων. Τα διαγράμματα αυτά δημιουργούνται από εικόνες που αντιπροσωπεύουν καταστάσεις (states) και γραμμές (transitions) που αντιπροσωπεύουν μεταβάσεις μεταξύ αυτών των καταστάσεων. Κάθε κατάσταση χαρακτηρίζεται από τις λειτουργίες εισόδου (enter execution) – οι οποίες περιγράφονται σε κώδικα της γλώσσας C και γράφονται στο πάνω μισό κομμάτι της εικόνας μιας κατάστασης- και τις λειτουργίες εξόδου (exit execution) – οι οποίες γράφονται στο κάτω μισό κομμάτι. “Αναδυόμενα” παράθυρα εμφανίζονται με διπλή επιλογή για κάθε κομμάτι, όπου μπορεί να γραφεί κώδικας. Οι καταστάσεις επίσης χαρακτηρίζονται ως “εξαναγκασμένες” (forced, πράσινο χρώμα) και “μη-εξαναγκασμένες” (unforced, κόκκινο χρώμα), ανάλογα με το αν επιλέγεται μια κατάσταση να μεταβαίνει στην επόμενη χωρίς κανένα περιορισμό ή όχι αντίστοιχα. Συνθήκες μετάβασης μπορούν επίσης να οριστούν στις γραμμές μετάβασης για να ορίσουν περιορισμούς για τη μετάβαση από την μια κατάσταση στην άλλη (παράδειγμα στο σχήμα 34).



Σχήμα 34
Μοντέλο επεξεργασίας

Σε αυτό το σημείο καλό είναι να αναφερθούμε και στο μενού του process editor στο toolbar δηλαδή που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Το κάθε ένα αντιστοιχεί με έναν αριθμό όπου εξηγείται στην συνέχεια.



Σχήμα 35

Toolbar του μοντέλου επεξεργασίας

1. *Δημιουργία κατάστασης (create state)*: Με την επιλογή αυτή, μπορεί να δημιουργηθεί μια κατάσταση. Η κατάσταση αυτή, αποτελεί ένα κομμάτι της όλης διαδικασίας που εκτελείται σε ένα “στοιχείο” του Μοντέλου Κόμβων. Με επιλογή του δεξιού κουμπιού του “mouse” του υπολογιστή, εμφανίζεται η επιλογή για να μετατραπεί μια κατάσταση από “εξαναγκασμένη” σε “μη-εξαναγκασμένη” και το αντίθετο. Στο πάνω μισό κομμάτι της κατάστασης, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, γράφονται οι συναρτήσεις που θα εκτελεστούν κατά την είσοδο στην κατάσταση ενώ στο κάτω μισό κομμάτι γράφονται οι συναρτήσεις που θα εκτελεστούν κατά την έξοδο από την κατάσταση. Οι συναρτήσεις αυτές μπορεί να

γράφονται εξ’ ολοκλήρου μέσα στην κατάσταση ή να καλούνται με συγκεκριμένες

παραμέτρους, ανατρέχοντας στο “κομμάτι συναρτήσεων” (function block), για να βρουν τον κώδικα της συγκεκριμένης συνάρτησης.

2. *Δημιουργία μετάβασης (create transition)*: Από εδώ μπορεί να δημιουργηθεί μια γραμμή μετάβασης από μια κατάσταση σε μια άλλη. Οι μεταβάσεις ακολουθούν συγκεκριμένη κατεύθυνση (δεν είναι αμφίδρομες). Επίσης ορίζονται συνθήκες μετάβασης για το πότε και κάτω από ποιες προϋποθέσεις μια συγκεκριμένη μετάβαση θα συμβεί.

3. *Καθορισμός αρχικής κατάστασης (set initial state)*: Κάθε διαδικασία που περιγράφεται στο μοντέλο επεξεργασίας, πρέπει να έχει μια αρχική κατάσταση, δηλαδή μια κατάσταση που θα εκτελεστεί πρώτη κατά την έναρξη της διαδικασίας. Στην αρχική κατάσταση, αρχικοποιούνται παράμετροι, δίνονται αρχικές τιμές σε μεταβλητές που χρειάζεται να έχουν συγκεκριμένη τιμή σε κάθε εκτέλεση της διαδικασίας καθώς ανακτώνται και παράμετροι από το προηγούμενο επίπεδο (Μοντέλο Κόμβων), που θα χρησιμοποιηθούν.

4. *Μορφοποίηση μεταβλητών της διαδικασίας (edit state variables)*: Στο παράθυρο που “αναδύεται” με αυτή την επιλογή, δηλώνονται όλες οι μεταβλητές που

χρησιμοποιούνται στον κώδικα που περιγράφει τις διάφορες συναρτήσεις της διαδικασίας. Για κάθε μεταβλητή, επιλέγεται ένας συγκεκριμένος τύπος (π.χ. int, double, float, char) καθώς επίσης μπορούν να γραφούν και σχόλια για το τι αντιπροσωπεύει η κάθε μία από αυτές. Οι μεταβλητές που δηλώνονται εδώ κρατούν την τιμή τους κάθε φορά που “τρέχει” η διαδικασία.

5. *Μορφοποίηση προσωρινών μεταβλητών (edit temporary variables)*: Εδώ δηλώνονται βοηθητικές μεταβλητές, οι οποίες χάνουν την τιμή που έχουν μετά το τέλος της διαδικασίας και την επόμενη φορά που αυτή θα “τρέξει” χρειάζεται να αρχικοποιηθούν ξανά.

6. *Μορφοποίηση κομματιού επικεφαλίδας (edit header block)*: Στο παράθυρο που εμφανίζεται με αυτή την επιλογή, δηλώνονται όλα τα εξωτερικά αρχεία που θα χρησιμοποιηθούν καθώς και οι έτοιμες βιβλιοθήκες της C που χρειάζονται στον κώδικα (η δήλωση γίνεται με include). Επίσης μπορούν να δηλωθούν μεταβλητές με σταθερές τιμές καθώς και αναγνωριστικά διακοπών (interrupts) που θα συμβούν στη διαδικασία (η δήλωση γίνεται με define).

7. *Μορφοποίηση κομματιού συναρτήσεων (edit function block)*: Εδώ γράφονται όλες οι συναρτήσεις που θα χρησιμοποιηθούν στην εκτέλεση της διαδικασίας. Οι μεταβλητές που αυτές χρησιμοποιούν, δηλώνονται είτε στην αρχή κάθε συνάρτησης είτε στις μεταβλητές της διαδικασίας (state variables). Ο κώδικας που γράφεται είναι σε γλώσσα C αλλά χρησιμοποιούνται και έτοιμες συναρτήσεις που προσφέρει ο πυρήνας του OPNET. Αυτές οι συναρτήσεις αφορούν κυρίως ανάκτηση και μεταφορά παραμέτρων ανάμεσα στα διάφορα επίπεδα, συλλογή στατιστικών στοιχείων, διακοπές κ.τ.λ.

8. *Μορφοποίηση διαγνωστικού κομματιού (edit diagnostic block)*: Εδώ συνήθως γράφονται συναρτήσεις που αφορούν την επικοινωνία της προσομοίωσης με τον έξω κόσμο κατά τη διάρκεια που αυτή εκτελείται. Για παράδειγμα οι συναρτήσεις αυτές τυπώνουν μηνύματα και τιμές παραμέτρων και μεταβλητών.

9. *Μορφοποίηση κομματιού τερματισμού (edit termination block)*: Εδώ συνήθως γράφονται συναρτήσεις που αφορούν τον τερματισμό της διαδικασίας.

10. *Μετατροπή κώδικα μοντέλου επεξεργασίας (compile process model)*: Με την επιλογή αυτή γίνεται το compilation του μοντέλου επεξεργασίας. Συντακτικά λάθη που εμφανίζονται στον κώδικα, λανθασμένη χρησιμοποίηση ονομάτων μεταβλητών ή μη σωστή ανάκληση μνήμης, οδηγούν σε σφάλμα κατά την μετατροπή του κώδικα.

8.4 Στήσιμο του OPNET MODELER 14.5

Η έκδοση του opnet modeler που χρησιμοποιήθηκε είναι η 14.5. Η όλη προσπάθεια προσομοίωσης βασίζεται στα αρχεία του OLSR που έχουν αναρτήσει στο site τους <http://qolsr.lri.fr/sim/> μια ομάδα ερευνητών από το ινστιτούτο Gaspard-Monge, ένα ερευνητικό εργαστήριο του πανεπιστημίου της Γαλλίας, University of Paris-Est Marne-la-Vallie. Ωστόσο κατά την προσπάθεια μου να μεταγλωττίσω (compile) κάποια αρχεία συνάντησα κάποια προβλήματα με το περιβάλλον της C/C++. Για αυτό χρειάστηκαν να γίνουν κάποιες αλλαγές.

1. Εγκατάσταση Visual 2010
2. Εγκατάσταση Opnet 14.5
3. Αρχεία OLSR
4. Παραμετροποίηση Μεταβλητών Περιβάλλοντος

PATH=

```
C:\Program Files\Microsoft Visual Studio 8\Common7\IDE;  
C:\Program Files\Microsoft Visual Studio 8\VC\BIN;  
C:\Program Files\Microsoft Visual Studio 8\Common7\Tools;  
C:\Program Files\Microsoft Visual Studio 8\Common7\Tools\bin;  
C:\Program Files\Microsoft Visual Studio 8\VC\PlatformSDK\bin;  
C:\Program Files\Microsoft Visual Studio 8\SDK\v2.0\bin;  
C:\WINNT\Microsoft.NET\Framework\v2.0.50727;  
C:\Program Files\Microsoft Visual Studio 8\VC\VCpackages;  
C:\Program Files\Microsoft Visual Studio 8\SDK\v2.0\Bin;  
C:\WINNT\Microsoft.NET\Framework\v2.0.50727;  
C:\Program Files\Microsoft Visual Studio 8\VC\bin;
```

```
C:\Program Files\Microsoft Visual Studio 8\Common7\IDE;  
C:\Program Files\Microsoft Visual Studio 8\VC\vcpackages;  
  
INCLUDE=  
C:\Program Files\Microsoft Visual Studio 8\VC\ATLMFC\INCLUDE;  
C:\Program Files\Microsoft Visual Studio 8\VC\INCLUDE;  
C:\Program Files\Microsoft Visual Studio 8\VC\PlatformSDK\include;  
C:\Program Files\Microsoft Visual Studio 8\SDK\v2.0\include;  
  
LIB=  
C:\Program Files\Microsoft Visual Studio 8\VC\ATLMFC\LIB;  
C:\Program Files\Microsoft Visual Studio 8\VC\LIB;  
C:\Program Files\Microsoft Visual Studio 8\VC\PlatformSDK\lib;  
C:\Program Files\Microsoft Visual Studio 8\SDK\v2.0\lib;  
  
LIBPATH=  
C:\WINNT\Microsoft.NET\Framework\v2.0.50727;  
C:\Program Files\Microsoft Visual Studio 8\VC\ATLMFC\LIB;  
  
NETSAMPLEPATH=  
C:\Program Files\Microsoft Visual Studio 8\SDK\v2.0;  
  
DEVENVDIR=  
C:\Program Files\Microsoft Visual Studio 8\Common7\IDE;  
  
FRAMEWORKDIR=  
C:\WINNT\Microsoft.NET\Framework;  
  
FRAMEWORKSDKDIR=  
C:\Program Files\Microsoft Visual Studio 8\SDK\v2.0;  
  
FRAMEWORKVERSION=  
v2.0.50727;  
  
VCINSTALLDIR=  
C:\Program Files\Microsoft Visual Studio 8\VC;  
  
VSINSTALLDIR=  
C:\Program Files\Microsoft Visual Studio 8;
```

Κατά την προσπάθεια να μεταγλωττίσω (compile) τα αρχεία του OLSR δηλαδή τα process model προέκυπτε μήνυμα λάθους (op_sv_ptr undeclared indentifier). Το λάθος προέκυπτε λόγω του γεγονότος ότι το πρόγραμμα είχε γραφεί σε προηγούμενη έκδοση της C/C++. Για την διόρθωση των λαθών πρόσθεσα σε όλα τα function, FIN (initialize variables at the stack), FOUT (το βάζουμε στο τέλος μιας

void συνάρτησης) και FRET (αντικαθιστά το return value, FRET(value) στην συνάρτηση) statements όπου ήταν αυτό απαραίτητο.

Αφού έγιναν όλες οι απαραίτητες αλλαγές και όλα τα process models έγιναν compile θα προχωρήσουμε στην εκτέλεση των σεναρίων.

8.5 Λειτουργία πρωτοκόλλων OLSR και QOLSR

Παρόλο που τα πρωτόκολλα αυτά έχουν αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 6 – Network Layer) εδώ θα τα ξανά επαναλάβουμε με περισσότερες λεπτομέρειες και θα δείξουμε μεταβλητές από τον κώδικα της προσομοίωσης.

Το πρωτόκολλο δρομολόγησης OLSR (Optimized Link State Routing) για κινητά ad-hoc δίκτυα παρέχει μικρές διαδρομές σε όρους αλμάτων χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Dijkstra. Όμως για να παρέχει μια πληθώρα μετρικών κριτηρίων δρομολόγησης, μια επέκταση ποιότητας υπηρεσίας εισάγεται στην λειτουργία του πρωτοκόλλου χωρίς να έχουμε κάποια επιπλέον κίνηση ελέγχου. Έχουμε μόνο μια αύξηση στα μηνύματα HELLO και TC. Το QOLSR πρωτόκολλο χρησιμοποιεί συγκριμένους MPRs για να εξασφαλίσει ότι ο φόρτος του δικτύου θα είναι όσον το δυνατόν χαμηλός για την προώθηση της κίνησης. Οι πληροφορίες των τοπικών QoS μετρικών των συνδέσεων χρησιμοποιούνται για να υπολογιστούν οι QMPRs και στη συνέχεια στέλνονται στο δίκτυο TC μηνύματα για να υπολογιστούν οι πίνακες δρομολόγησης. Ο QOLSR βρίσκει βέλτιστα μονοπάτια τα οποία περιέχουν ως ενδιάμεσους κόμβους του κόμβου-πηγή και κόμβου-προορισμού μόνο τους QMPRs.

Στο OLSR πρωτόκολλο ο κόμβος στέλνει hello μηνύματα στους γειτονικούς του για να επιλέξει κάποιους από αυτούς ως Multi Point Relay (MPR) κόμβους. Αυτοί με την σειρά τους στέλνουν τα μηνύματα ελέγχου (topology control messages-TC) σε όλο το δίκτυο. Έτσι δημιουργούνται οι πίνακες δρομολόγησης.

Στο QOLSR πρωτόκολλο ο κόμβος κάνει πάλι την ίδια δουλειά αλλά αυτήν την φορά τα hello μηνύματα περιέχουν και πληροφορίες για την ποιότητα υπηρεσίας και για αυτό επιλέγονται διαφορετικοί MPR αυτήν τη φορά. Ονομάζονται QoS-Multi Point Relay (QMPR) κόμβοι. Τέλος αυτοί στέλνουν τα TC μηνύματα που και αυτά σε αυτήν την περίπτωση είναι διαφορετικά. Περιλαμβάνουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες QoS για την τοπολογία του δικτύου και έτσι δημιουργούν μονοπάτια με το επιθυμητό εύρος ζώνης ή την επιθυμητή καθυστέρηση.

Στην συνέχεια θα δούμε αναλυτικά πως λειτουργούν τα πρωτόκολλα αυτά και το σύνολο των μεταβλητών που χρησιμοποιούν. Επειδή το πρωτόκολλο QOLSR έχει πολλές ομοιότητες με αυτές του OLSR (είναι στην πραγματικότητα QoS + OLSR) στην παρακάτω επεξήγηση του κειμένου θα γίνει ανάλυση του κάθε σταδίου με τις μεταβλητές τους και για τα δύο πρωτόκολλα. Τα στάδια είναι τα εξής:

- Ανίχνευση της σύνδεσης
- Μέτρηση των παραμέτρων QoS της σύνδεσης (μόνο ο QOLSR)
- Γειτονικοί κόμβοι και ανίχνευση συνθηκών QoS
- Επιλογή κόμβων MPR (OLSR)
- Επιλογή κόμβων QMPR (QOLSR)
- QMPR και δήλωση συνθηκών QoS (μόνο ο QOLSR)
- Υπολογισμός πινάκων δρομολόγησης

Ο κάθε κόμβος του δικτύου κρατάει, αποθηκεύει δηλαδή και κάποιες πληροφορίες για το κάθε στάδιο σε μια βάση δεδομένων (information base). Αυτή η βάση δεδομένων περιλαμβάνει κάποια σύνολα (sets).

Multiple Interface Association Information Base

Στο στάδιο ανίχνευση της σύνδεσης ο κόμβος κρατάει έχει ένα σύνολο μεταβλητών (tuple) για τον κόμβο προορισμό. Αυτές είναι οι (I_iface_addr, I_main_addr, I_time), όπου η πρώτη είναι η interface διεύθυνση του κόμβου , η δεύτερη η κύρια διεύθυνση αυτού του κόμβου και η τρίτη είναι ο χρόνος λήξης αυτού του tuple όταν δηλαδή θα πάψει να ισχύει και θα αποσυρθεί από το δίκτυο.

Στον κόμβο αυτό το σύνολο αποθηκεύεται με το όνομα "Interface Association Set".

Local Link Information Base

Σε αυτό το στάδιο έχουμε ακόμα ένα tuple, το λεγόμενο link tuple με τα παρακάτω στοιχεία (L_local_iface_addr, L_neighbor_iface_addr, L_bandwidth, L_delay, L_met_1, ..., L_met_n, L_SYM_time, L_ASYM_time, L_time).

L_local_iface_addr: η interface διεύθυνση ενός τοπικού κόμβου (το ένα άκρο μια σύνδεσης δύο κόμβων)

L_neighbor_iface_addr: η interface διεύθυνση του γειτονικού κόμβου (το άλλο άκρο)

L_bandwidth, L_delay, L_met_1, ..., L_met_n: το διαθέσιμο εύρος ζώνης, η καθυστέρηση, και οι 1 έως n μετρικές τις σύνδεσης

L_SYM_time: ο χρόνος όπου η σύνδεση θεωρείται συμμετρική

L_ASYM_time: ο χρόνος όπου η σύνδεση θεωρείται ασύμμετρη

L_time: ο χρόνος όπου πάει να ισχύει μια συμμετρική ή ασύμμετρη σύνδεση

Όταν οι χρόνοι L_SYM_time, L_ASYM_time λήξουν τότε η σύνδεση θεωρείται χαμένη. Οι παραπάνω πληροφορίες χρησιμοποιούνται όταν δηλώνονται οι γειτονικοί κόμβοι στα Hello μηνύματα.

Στον κόμβο τα link tuples είναι δηλωμένα ως Link Set

Neighborhood Information Base

Ανακάλυψη γειτονικών κόμβων και ανίχνευση συνθηκών QoS. Εδώ αποθηκεύονται πληροφορίες για τους γειτονικούς κόμβους ενός άλματος, δύο αλμάτων, τους κόμβους MPRs, την επιλογή MPR, τους κόμβους QMPRS, την επιλογή QMPR, και τις συνθήκες QoS.

Αρχικά έχουμε ένα σύνολο από neighbor tuples (N_neighbor_main_addr, N_status, N_willingness, N_bandwidth, N_delay, N_met_1, ..., N_met_n) που περιγράφει τους γείτονες ενός κόμβου.

N_neighbor_main_addr: η κύρια διεύθυνση του γειτονικού κόμβου ενός άλματος

N_status: αν ο γειτονικός κόμβος είναι συμμετρικός ή όχι

N_willingness: ένας ακέραιος με τιμή από το 1 έως το 7 και δείχνει την προθυμία του κόμβου να πάρει κάποια κίνηση ενός άλλου κόμβου

N_bandwidth, N_delay, N_met_1, ..., N_met_n: το διαθέσιμο εύρος ζώνης, η καθυστέρηση και 1 έως n μετρικές στον γειτονικό κόμβο

Οι παραπάνω μετρήσεις υπολογίζονται από τα link set.

Στον κόμβο αυτό το tuple δηλώνεται ως Neighbor Set

Ο κόμβος καταγράφει και ένα σύνολο δεδομένων από τους κόμβους που απέχουν δύο άλματα από αυτόν. Οι 2-hop tuples είναι οι εξής: (N_neighbor_main_addr, N_2hop_addr, N_2hop_bandwidth, N_2hop_delay, N_2hop_met_1, ..., N_2hop_met_n N_time)

$N_neighbor_main_addr$: κύρια διεύθυνση του γειτονικού κόμβου ενός άλματος

N_2hop_addr : γειτονικός κόμβος δύο αλμάτων που είναι συμμετρικός ως προς τον κόμβο με διεύθυνση $N_neighbor_main_addr$

$N_2hop_bandwidth$, N_2hop_delay , $N_2hop_met_1$, ..., $N_2hop_met_n$: το διαθέσιμο εύρος ζώνης, η καθυστέρηση και 1 έως n μετρικές μεταξύ του κόμβου με διεύθυνση N_2hop_addr και $N_neighbor_main_addr$

N_time : δείχνει το χρόνο που λήγει αυτό το tuple και πρέπει να απομακρυνθεί

Το tuple αυτό δηλώνεται ως 2-hop Neighbor Set

Ο κόμβος διατηρεί και ένα σύνολο με τους κόμβους που έχουν επιλεγεί ως MPR με το όνομα με το όνομα MPR Set και αντιστοίχως όταν χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο QOLSR ο κόμβος διατηρεί ένα σύνολο κόμβων που έχουν επιλεγεί ως QMPR με το όνομα QMPR Set.

Ένα άλλο tuple είναι το σύνολο των κόμβων που αντιστοιχούν σε κάποιο MPR (MS_main_addr , MS_time)

MS_main_addr : διευθύνσεις κόμβων που αντιστοιχούν σε ένα συγκεκριμένο MPR

MS_time : ο χρόνος όπου λήγει το tuple και απομακρύνεται από το δίκτυο

Στον κόμβο το set αυτό ονομάζεται ως MPR Selector Set

Στο QOLSR πρωτόκολλο έχουμε το tuple των κόμβων που αντιστοιχούν σε κάποιο QMPR (QMS_main_addr , $QMS_bandwidth$, QMS_delay , QMS_met_1 , ..., QMS_met_n , QMS_time)

QMS_main_addr : διευθύνσεις κόμβων που αντιστοιχούν σε ένα συγκεκριμένο QMPR

$QMS_bandwidth$, QMS_delay , QMS_met_1 , ..., QMS_met_n : το διαθέσιμο εύρος ζώνης, η καθυστέρηση και 1 έως n μετρικές που υπάρχουν στην σύνδεση του κόμβου με διεύθυνση QMS_main_addr και του QMPR του.

QMS_time : χρόνος λήξης του tuple

Στον κόμβο το set αυτό ονομάζεται ως QMPR Selector Set

Topology Information Base

Ο κάθε κόμβος του δικτύου διατηρεί πληροφορίες για την τοπολογία του δικτύου. Τις πληροφορίες αυτές τις παίρνει από τα TC μηνύματα, όπου με βάση αυτά υπολογίζονται οι πίνακες δρομολόγησης.

Έτσι για κάθε έναν προορισμό τουλάχιστον ένα σύνολο από τις παρακάτω μεταβλητές καταγράφεται. (T_dest_addr, T_last_addr, T_bandwidth, T_delay, T_met_1, ..., T_met_n, T_seq, T_time)

T_dest_addr: η διεύθυνση του κόμβος προορισμού που απέχει ένα άλμα από τον κόμβο με διεύθυνση T_last_addr

T_last_addr: τυπικά είναι ένας κόμβος QMPR

T_bandwidth, T_delay, T_met_1, ..., T_met_n: το διαθέσιμο εύρος ζώνης, η καθυστέρηση και 1 έως n μετρικές που υπάρχουν στην σύνδεση του κόμβου με διεύθυνση T_dest_addr και T_last_addr

T_seq: ένας αριθμός ακολουθίας

T_time: χρόνος λήξης του tuple

Στον κόμβο το set αυτό ονομάζεται ως Topology Set

Τέλος σε αυτήν την ενότητα θα δούμε την μορφή που έχουν τα hello και TC μηνύματα του QOLSR.

Η μορφή στο πρωτόκολλο OLSR είναι η ίδια χωρίς τις παραμέτρους QoS.

HELLO μήνυμα

Η προτεινόμενη μορφή του HELLO μηνύματος είναι η ακόλουθη:

```

+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
|           Reserved           |           Htime           | Willingness |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Link Code | Reserved | Link Message Size |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
|           Neighbor Interface Address           |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
|           QoS fields values (bandwidth and delay)           |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
|           QoS fields values (other QoS metrics)           |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
    
```

Το παραπάνω στέλνεται ως ένα πακέτο δεδομένων. Ας δούμε τώρα ξεχωριστά το κάθε πεδίο.

Reserved: Αυτό το πεδίο πρέπει να οριστεί ως "000000000000" σύμφωνα με κάποιες προδιαγραφές.

HTime: Το πεδίο αυτό καθορίζει το διάστημα εκπομπής HELLO μηνυμάτων (HELLO interval)

Willingness: πόσο πρόθυμος είναι ένας κόμβος να διξάγει και να παράγει την κίνηση (traffic) κάποιου άλλου κόμβου. Όταν έχει την τιμή WILL_NEVER τότε αυτός ο κόμβος δεν θα πρέπει να διαλεχτεί ως QMPR , ενώ αν έχει την τιμή WILL_ALWAYS τότε πάντα θα πρέπει να διαλέγεται ως QMPR

Link Code: εδώ φαίνεται η πληροφορία της σύνδεσης μεταξύ κάποιου κόμβου που στέλνει δεδομένα με τον γειτονικό του

Link Message Size: το μέγεθος του μηνύματος της σύνδεσης σε bytes

Neighbor Interface Address: οι διευθύνσεις δύο γειτονικών κόμβων

QoS fields values: το διαθέσιμο εύρος ζώνης (αριθμός 24 bit, Kbits/sec) και η διαθέσιμη καθυστέρηση (8 –bit, millisecond)

QoS fields values (other QoS metrics): πιθανότητα απωλειών δεδομένων, διακύμανση καθυστέρησης, κατανάλωση ενέργειας , κόστος, σταθερότητα δικτύου, ασφάλεια

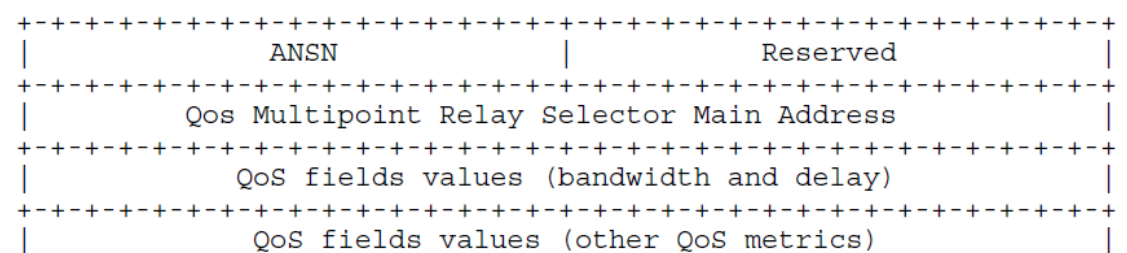
Από τα set που αναφέρθηκαν προηγούμενος τα μηνύματα HELLO είναι υπεύθυνα για την μετάδοση των Link Set, Neighbor Set και QMPR Set .

TC μήνυμα

Ένας κόμβος πρέπει να διαδώσει τις συνθήκες QoS των συνδέσεων με το σύνολο των κόμβων που ανήκουν σε κάποιο QMPR με σκοπό να έχουμε επαρκείς πληροφορίες για την QoS δρομολόγηση.

Αυτό επιτυγχάνεται με την μετάδοση των TC μηνυμάτων από τους QMPR. Ένα TC μήνυμα περιλαμβάνει μια λίστα με τους γειτονικούς κόμβους, οι οποίοι έχουν επιλέξει τον αποστολέα αυτού ως QMPR και τους περιορισμούς QoS αυτών των συνδέσεων. Υπάρχει και ένα αριθμός ακολουθίας που σχετίζεται με την λίστα των γειτονικών κόμβων που προαναφέραμε.

Η προτεινόμενη μορφή του TC μηνύματος είναι η ακόλουθη:



ANSN: αριθμός ακολουθίας που σχετίζεται με QMPR Selector Set

Qos Multipoint Relay Selector Main Address: γειτονικοί κόμβοι, που έχουν επιλέξει τον αποστολέα αυτού του TC ως QMPR

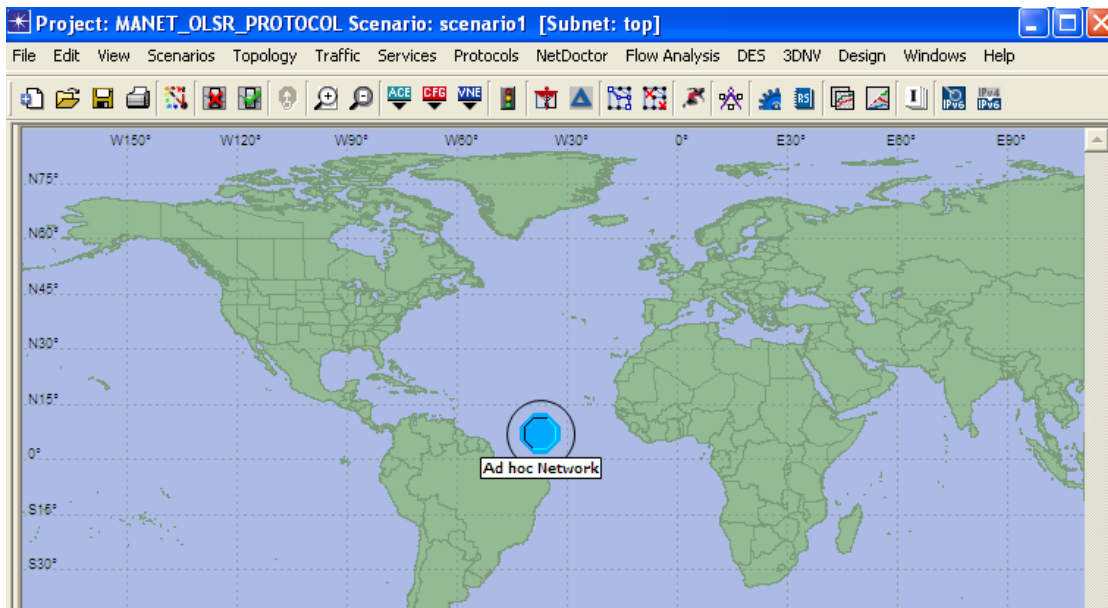
QoS fields values: το διαθέσιμο εύρος ζώνης (αριθμός 24 bit, Kbits/sec) και η διαθέσιμη καθυστέρηση (8 –bit, millisecond)

QoS fields values (other QoS metrics): πιθανότητα απωλειών δεδομένων, διακύμανση καθυστέρησης, κατανάλωση ενέργειας , κόστος, σταθερότητα δικτύου, ασφάλεια.

8.6 Το πρωτόκολλο OLSR στο περιβάλλον του OPNET MODELER

Σενάριο από τα αρχεία του OLSR

Project file: MANET_OLSR_PROTOCOL.prj

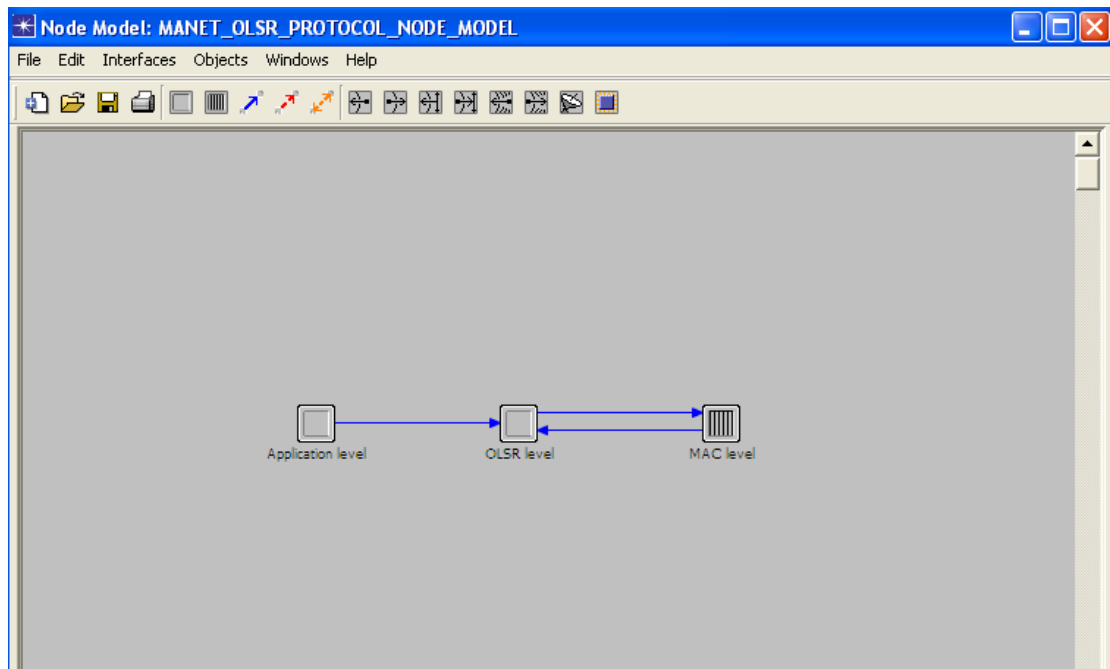


Σχήμα 36

Γραφική αναπαράσταση του δικτύου

Node file: MANET_OLSR_PROTOCOL_NODE_MODEL.nd

Το node model αυτού του σεναρίου είναι το MANET_OLSR_PROTOCOL_NODE_MODEL.nd (σχήμα 37) όπου μπορούμε να δούμε την επικοινωνία των επιπέδων μεταξύ τους και την ροή των δεδομένων.



Σχήμα 37

Μοντέλο κόμβου του Ad-hoc δικτύου που εξετάζουμε

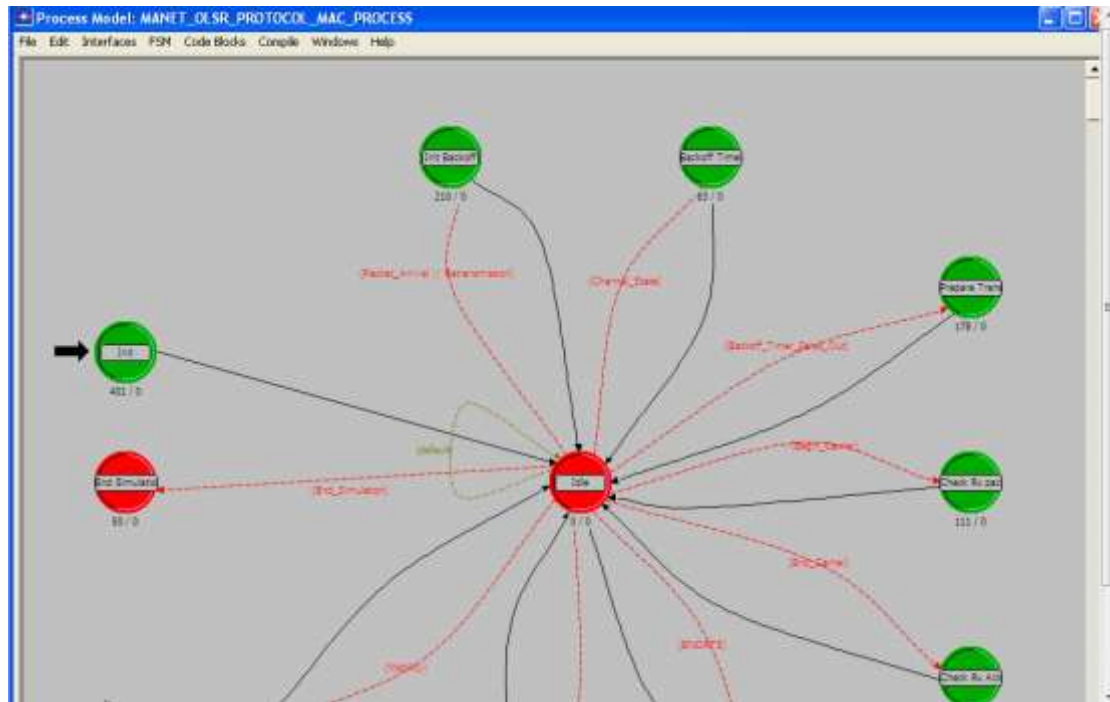
Περιλαμβάνει τρία process models:

MANET_OLSR_PROTOCOL_MAC_PROCESS.pr (σχήμα 38)

MANET_OLSR_PROTOCOL_OLSR_PROCESS.pr (σχήμα 41)

MANET_OLSR_PROTOCOL_SOURCE_PROCESS.pr (σχήμα 45)

Το πρώτο δηλαδή το MANET_OLSR_PROTOCOL_MAC_PROCESS.pr αναφέρεται στο MAC layer.



Σχήμα 38

Μοντέλο επεξεργασίας στο επίπεδο MAC

Σε αυτό το module υπάρχουν οι radio παράμετροι και ο μηχανισμός RTS_CTS και οι συντεταγμένες των κόμβων. Παραδείγματος χάριν μπορούμε να δούμε τα radio parameters στην παρακάτω εικόνα όπου είναι ένας κώδικας από μια κατάσταση (state) του MAC process model.

```

MANET_OLSR_PROTOCOL_MAC_PROCESS.Init.Enter.Executives
File Edit Options
00 owl_id = op_owl_id_get();
01
02
03
04
05 //***** Radio parameters *****
06 //*****
07
08
09
10 //***** recuperation de seuil qui represente l'occupation du channel " carrier sens"*****
11
12
13 op_ima_obj_attr_get (owl_id, "CsThreshold (watt)", &cslevel); //zone d'interference
14
15
16 //***** recuperation de la valeur minimale pour etabliir une communication entre 2 stations *
17
18
19 op_ima_obj_attr_get (owl_id, "RxThreshold (watt)", &datalevel); //calculer a partir de la zone de couverture 1/
20
21
22 op_ima_obj_attr_get (owl_id, "CaptureThreshold (db)", &capturelevel); //collision threshold
23
24
25 //***** recuperation de facteur d'attenuation *****//
26
27
28 op_ima_obj_attr_get (owl_id, "Alpha", &alpha);
29
30

```

Σχήμα 39
Radio parameters

Επίσης σε αυτήν την υπομονάδα υπάρχουν και διάφορα στατιστικά στοιχεία που θα τα δούμε αργότερα στις γραφικές παραστάσεις. Αυτά είναι

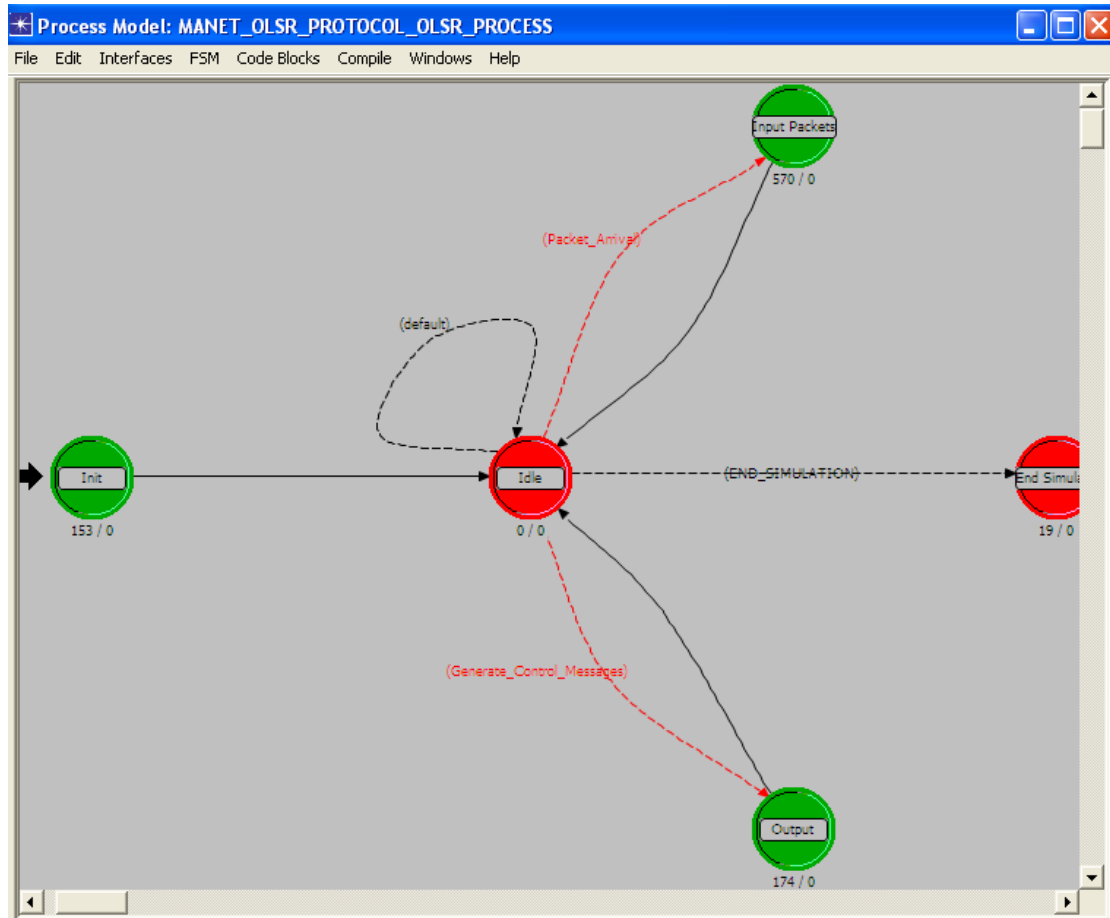
- Αριθμός δεδομένων που χάθηκαν λόγω συγκρούσεων
- Αριθμός συγκρούσεων
- Αριθμός χαμένων μεταδόσεων
- Επιτυχημένες μεταδόσεις δεδομένων
- Απόπειρες μετάδοσης,

όπου στο πρόγραμμα μας φαίνονται στην παρακάτω εικόνα

Stat Name	Mode	Count	Description	Group	Capture Mode	Draw Style	Low Bound	High Bound
nombre des DATA perdus(collision)	Single	N/A					0.0	disabled
nombre des collisions	Single	N/A					0.0	disabled
nombre des echecs de transmission des donnees	Single	N/A					0.0	disabled
nombre des succes de transmission des donnees	Single	N/A					0.0	disabled
nombre reception des lc messages inattendus	Single	N/A					0.0	disabled
nombre tentatives transmission	Single	N/A					0.0	disabled

Σχήμα 40
Local statistics

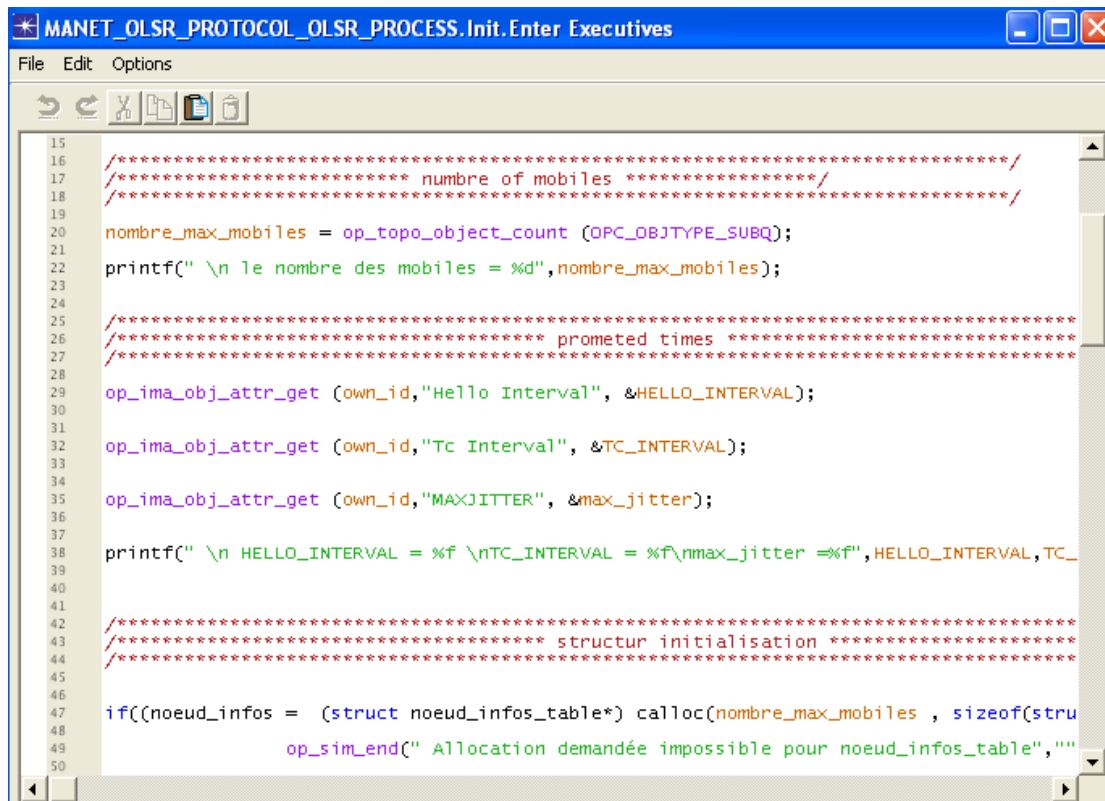
Το δεύτερο δηλαδή το MANET_OLSR_PROTOCOL_OLSR_PROCESS.pr αναφέρεται στο πρωτόκολλο OLSR



Σχήμα 41

Μοντέλο επεξεργασίας του OLSR

Εδώ έχουμε την παραγωγή των Hello για την εύρεση των MPR κόμβων, τα TC μηνύματα, τους interval χρόνους, τους πίνακες με τους γειτονικούς κόμβους και τους πίνακες δρομολόγησης. Οι παρακάτω εικόνες δείχνουν κάποια κομμάτια του κώδικα με τα στοιχεία αυτά.



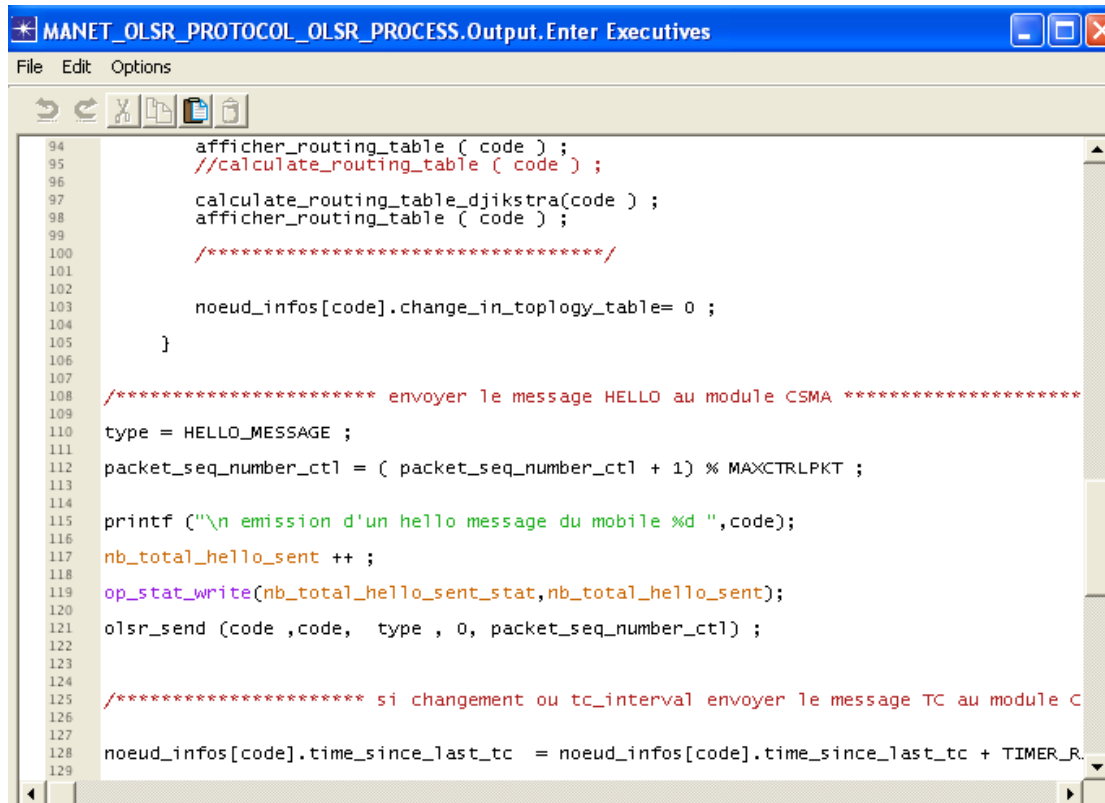
```

15
16
17 /*****
18 /***** nombre of mobiles *****/
19 /*****
20 nombre_max_mobiles = op_topo_object_count (OPC_OBJTYPE_SUBQ);
21
22 printf(" \n le nombre des mobiles = %d",nombre_max_mobiles);
23
24
25 /*****
26 /***** prometed times *****/
27 /*****
28
29 op_ima_obj_attr_get (own_id,"Hello Interval", &HELLO_INTERVAL);
30
31
32 op_ima_obj_attr_get (own_id,"Tc Interval", &TC_INTERVAL);
33
34
35 op_ima_obj_attr_get (own_id,"MAXJITTER", &max_jitter);
36
37
38 printf(" \n HELLO_INTERVAL = %f \nTC_INTERVAL = %f\nmax_jitter =%f",HELLO_INTERVAL,TC_
39
40
41
42 /*****
43 /***** structur initialisation *****/
44 /*****
45
46
47 if((noeud_infos = (struct noeud_infos_table*) calloc(nombre_max_mobiles , sizeof(stru
48
49
50

```

Σχήμα 42

Interval και jitter μεταβλητές



```

94
95 afficher_routing_table ( code ) ;
96 //calculate_routing_table ( code ) ;
97
98 calculate_routing_table_dijkstra(code) ;
99 afficher_routing_table ( code ) ;
100
101 /*****
102
103
104 noeud_infos[code].change_in_toplogy_table= 0 ;
105
106 }
107
108 /***** envoyer le message HELLO au module CSMA *****/
109
110 type = HELLO_MESSAGE ;
111
112 packet_seq_number_ctl = ( packet_seq_number_ctl + 1 ) % MAXCTRLPKT ;
113
114
115 printf (" \n emission d'un hello message du mobile %d ",code);
116
117 nb_total_hello_sent ++ ;
118
119 op_stat_write(nb_total_hello_sent_stat,nb_total_hello_sent);
120
121 olsr_send (code ,code, type , 0, packet_seq_number_ctl) ;
122
123
124
125 /***** si changement ou tc_interval envoyer le message TC au module C
126
127
128 noeud_infos[code].time_since_last_tc = noeud_infos[code].time_since_last_tc + TIMER_R
129

```

Σχήμα 43

Εκπομπή μηνυμάτων HELLO

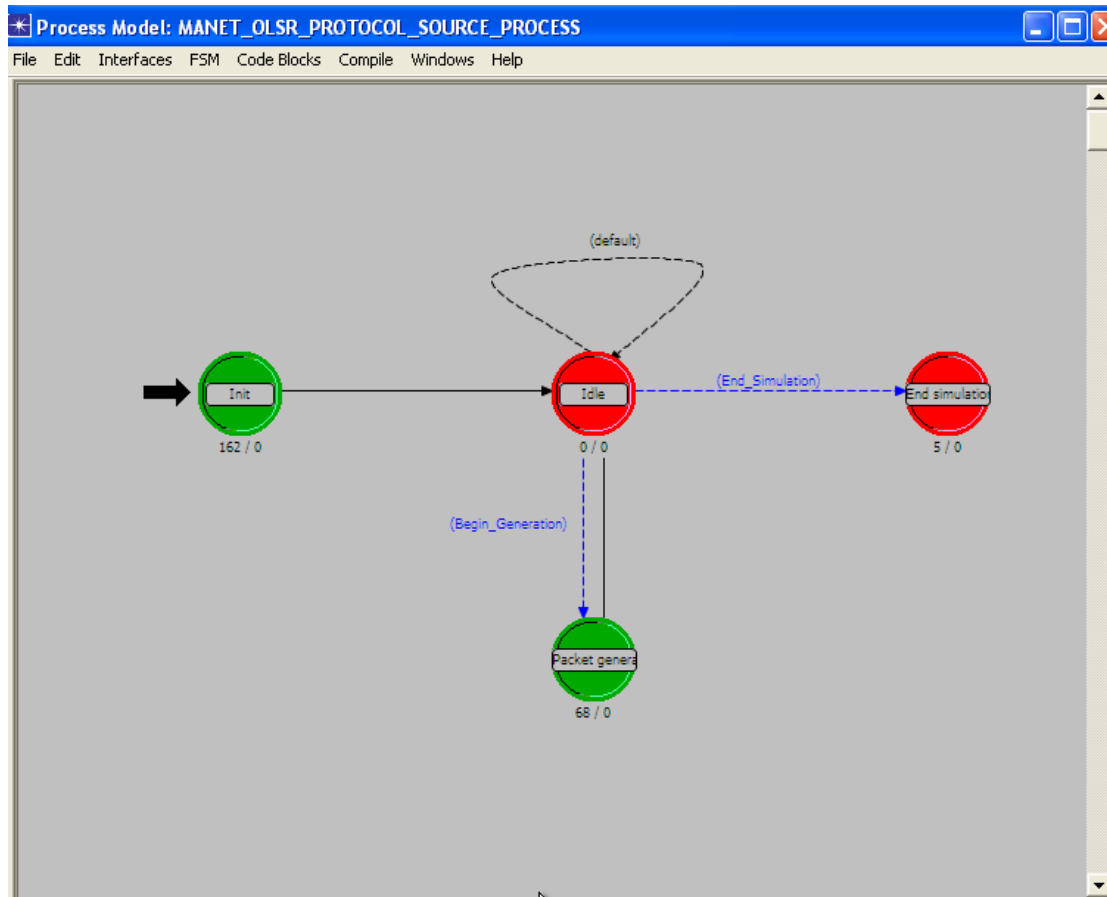
Ενώ από στατιστικά στοιχεία έχουμε:

- Τον αριθμό των υπό λήψη δεδομένων
- Τον αριθμό των δεδομένων που χάθηκαν
- Τον αριθμό αποστολής hello μηνυμάτων
- Τον αριθμό αποστολής tc μηνυμάτων»
- Συνολικό αριθμό πακέτων δεδομένων

* Declare Local Statistics: MANET_OLSR_PROTOCOL_OLSR_PROCESS								
Stat Name	Mode	Count	Description	Group	Capture Mode	Draw Style	Low Bound	High Bound
nombre des DATA bien recu	Single	N/A					0.0	disabled
nombre des DATA perdus(chemin non trouve)	Single	N/A					0.0	disabled
nombre des hello envoyees	Single	N/A					0.0	disabled
nombre des tc envoyees	Single	N/A					0.0	disabled
nombre total des paquets de donnees	Single	N/A					0.0	disabled

Σχήμα 44
Local statistics του OLSR

Τρίτο και τελευταίο μοντέλο επεξεργασίας το MANET_OLSR_PROTOCOL_SOURCE_PROCESS.pr όπου εδώ έχουμε την πηγή παραγωγής πακέτων. Επίσης εδώ καθορίζεται και το min και max μέγεθος των πακέτων.



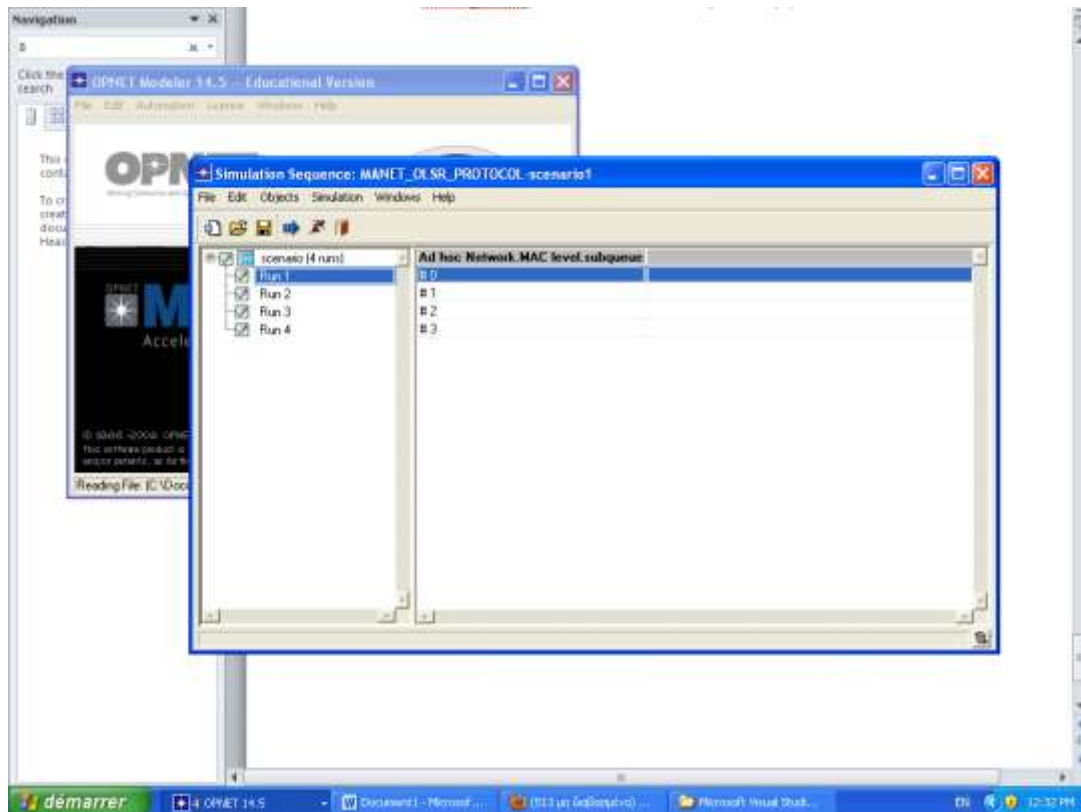
Σχήμα 45

Μοντέλο επεξεργασίας στο επίπεδο εφαρμογής

8.7 Εκτέλεση σεναρίου OLSR

Για να τρέξουμε τώρα το σενάριο πηγαίνουμε

DES -> Configure/Run discrete Event Simulation



Σχήμα 46
Τρέξιμο σεναρίου

Το σενάριο προσομοίωσης αποτελείται από 4 εκτελέσεις

Scenario 1

Εκτέλεση 1

Events: Total (18,048); Average Speed (110 events/sec.)

Time : Elapsed (2 min. 42 sec.); Simulated (10 min. 0 sec.)

Εκτέλεση 2

Events: Total (53,424); Average Speed (65 events/sec.)

Time : Elapsed (13 min. 32 sec.); Simulated (10 min. 0 sec.)

Εκτέλεση 3

Events: Total (126,096); Average Speed (94 events/sec.)

Time : Elapsed (22 min. 12 sec.); Simulated (10 min. 0 sec.)

Εκτέλεση 4

Events: Total (192,857); Average Speed (171 events/sec.)

Time : Elapsed (18 min. 45 sec.); Simulated (10 min. 0 sec.)

Simulation invocation:

```
op_runsim
```

```
-net_name MANET_OLSR_PROTOCOL-scenario1
```

```
-noprompt
```

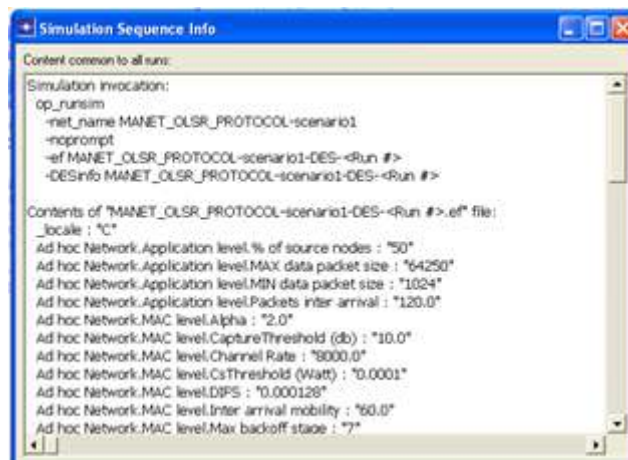
```
-ef MANET_OLSR_PROTOCOL-scenario1-DES-<Run #>
```

```
-DESinfo MANET_OLSR_PROTOCOL-scenario1-DES-<Run #>
```

Σε αυτό το αρχείο βρίσκονται τα object attributes:

Contents of "MANET_OLSR_PROTOCOL-scenario1-DES-<Run #>.ef" file:

```
_locale : "C"
```



Σχήμα 47

Contents of "MANET_OLSR_PROTOCOL-scenario1-DES-<Run #>.ef" file

Παρακάτω ορίζονται τα object attributes

Attribute	Value
Ad hoc Network.MAC level.subqueue	{...}, {...}, {...}, {...}
Ad hoc Network.Application level.% of source nodes	50
Ad hoc Network.MAC level.Y_max area	100.0
Ad hoc Network.MAC level.X_max area	100.0
Ad hoc Network.MAC level.RxThreshold (Watt)	0.00027
Ad hoc Network.MAC level.RTS_CTS (ON/OFF)	0
Ad hoc Network.MAC level.RTS Threshold	1024
Ad hoc Network.MAC level.Max backoff stage	7
Ad hoc Network.MAC level.MIN speed (m/s)	0.0
Ad hoc Network.MAC level.MAX speed (m/s)	2.0
Ad hoc Network.MAC level.Inter arrival mobility	60.0
Ad hoc Network.MAC level.CsThreshold (Watt)	0.0001
Ad hoc Network.MAC level.Channel Rate	8000.0
Ad hoc Network.MAC level.Alpha	2.0
Ad hoc Network.DLSR level.Tc Interval	6.0
Ad hoc Network.DLSR level.Hello Interval	2.0
Ad hoc Network.Application level.Packets inter arrival	120.0
Ad hoc Network.Application level.MIN data packet size	1024
Ad hoc Network.Application level.MAX data packet size	64250
Ad hoc Network.DLSR level.MAXJITTER	0.5
Ad hoc Network.MAC level.CaptureThreshold (db)	10.0
Ad hoc Network.MAC level.DIFS	0.000128
Ad hoc Network.MAC level.SIFS	0.000028
Ad hoc Network.MAC level.Slot time	0.00005

Σχήμα 48
Object attributes

Ad hoc Network.Application level.% of source nodes : "50"

Ad hoc Network.Application level.MAX data packet size : "64250" // είναι σε bits

Ad hoc Network.Application level.MIN data packet size : "1024" // είναι σε bits

Ad hoc Network.Application level.Packets inter arrival : "120.0" // είναι αριθμός, δεν υπάρχει μονάδα μέτρησης

Ad hoc Network.MAC level.Alpha : "2.0"

Ad hoc Network.MAC level.CaptureThreshold (db) : "10.0"

Ad hoc Network.MAC level.Channel Rate : "8000.0" //(bits/sec)

Ad hoc Network.MAC level.CsThreshold (Watt) : "0.0001"

Ad hoc Network.MAC level.DIFS : "0.000128"

Ad hoc Network.MAC level.Inter arrival mobility : "60.0" // είναι αριθμός, δεν υπάρχει μονάδα μέτρησης

Ad hoc Network.MAC level.Max backoff stage : "7"

Ad hoc Network.MAC level.MAX speed (m/s) : "2.0"

Ad hoc Network.MAC level.MIN speed (m/s) : "0.0"

Ad hoc Network.MAC level.RTS Threshold : "1024" // το κατώφλι στα 1024 όταν δηλαδή το μέγεθος των πακέτων υπερβεί αυτό το όριο τότε ο μηχανισμός ενεργοποιείται

Ad hoc Network.MAC level.RTS_CTS (ON/OFF) : "0" //0->OFF, 1 ON

Ad hoc Network.MAC level.RxThreshold (Watt) : "0.00027"

Ad hoc Network.MAC level.SIFS : "0.000028"

Ad hoc Network.MAC level.Slot time : "0.00005" //se sec

Ad hoc Network.MAC level.subqueue : <<Varying parameter>>

Ad hoc Network.MAC level.X_max area : "100.0"

Ad hoc Network.MAC level.Y_max area : "100.0"

Ad hoc Network.OLSR level.Hello Interval : "2.0" //(αριθμός – διάστημα μεταξύ των Hello messages)

Ad hoc Network.OLSR level.MAXJITTER : "0.5" // Hello_interval / 4

Ad hoc Network.OLSR level.Tc Interval : "6.0" //(αριθμός – διάστημα μεταξύ των TC messages)

Και κάποια άλλα στοιχεία του σεναρίου

anim_hist : "MANET_OLSR_PROTOCOL-scenario1-DES-<Run #>"

anim_view : "false"

comp_trace_info : "TRUE"

default_site_position_cache_time_granularity : "0"

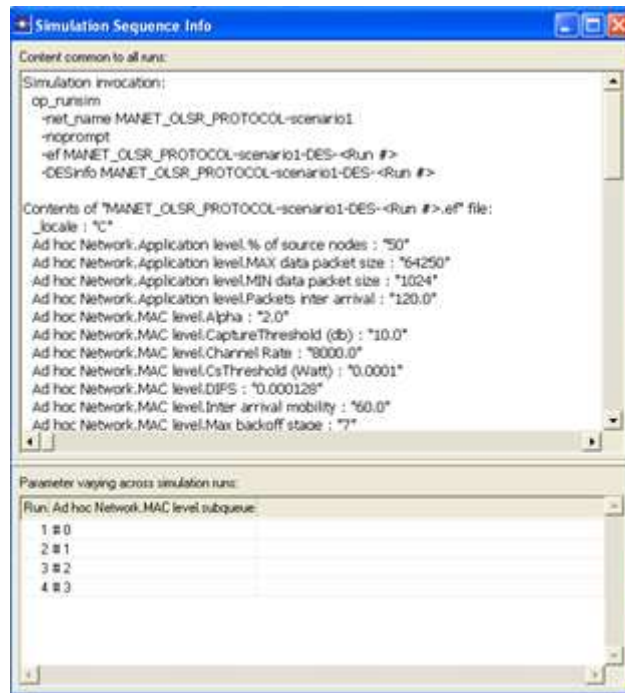
duration: "600" // 600 sec = 10 minutes

endsim_memstats : "false"

log_endsim_perf : "true"

```
log_file : "MANET_OLSR_PROTOCOL-scenario1-DES-<Run #>"
max_log_entries : "200"
num_collect_values : "100"
ot_file : "MANET_OLSR_PROTOCOL-scenario1-DES-<Run #>"
ov_file : "MANET_OLSR_PROTOCOL-scenario1-DES-<Run #>"
parallel_sim.event_execution_time_window : "0"
parallel_sim.mem_balance_interval : "100000"
parallel_sim.num_processors : "0"
probe : "MANET_OLSR_PROTOCOL-scenario1"
realtime_ratio : "0"
record_initial_attribute_values_as_scalar : "Ad hoc Network.MAC level.subqueue"
seed : "128"
sim_packet_sharing : "conservative"
sim_time_quantum : "0"
site_position_cache_size : "3"
tmm_simulate : "false"
update_interval : "500000"
verbose_cell_size_report : "false"
verbose_event_report : "false"
verbose_event_timing_report : "false"
verbose_load : "true"
verbose_packet_report : "false"
verbose_parallel_speedup_report : "false" // δεν εκτελείται παράλληλα και ούτε
υπάρχει κάποιο optimization
verbose_sim : "true" //όλα τα μηνύματα κατά την εκτέλεση εκτυπώνονται στο
simulation console.
```

Αυτό που είναι διαφορετικό στις τέσσερις εκτελέσεις είναι οι παράμετροι του MAC.level.subqueue

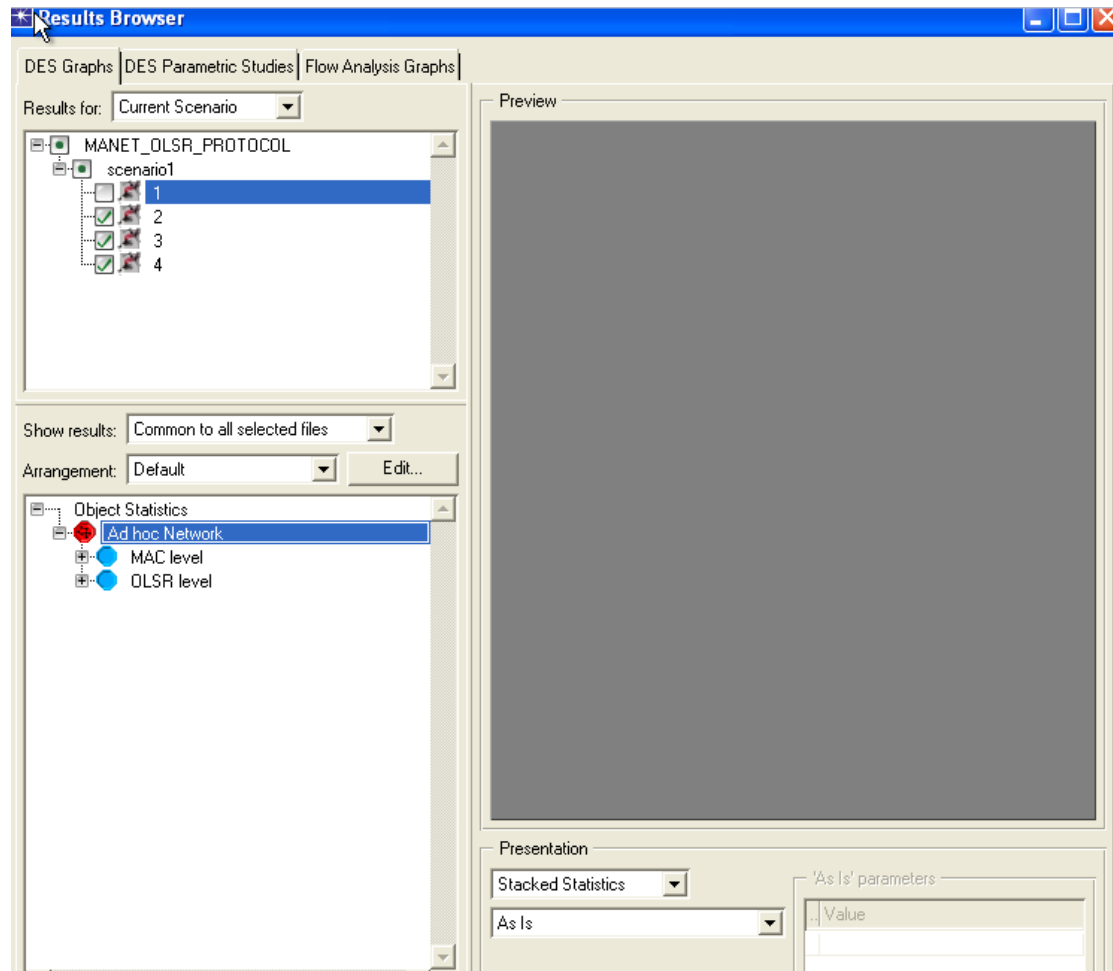


Σχήμα 49

MAC.level.subqueue

8.8 Γραφήματα από το σενάριο του OLSR

Αφού ολοκληρώθηκε η εκτέλεση του σεναρίου 1, θα αξιολογηθούν τα αποτελέσματα



Σχήμα 50

Αποτελέσματα του σεναρίου του OLSR

Να τονιστεί επίσης ότι το σενάριο τρέχει τέσσερις φορές. Σε κάθε ένα run έχει μπει κίνηση. Η αύξηση της κίνησης (traffic growth) είναι όπως παρακάτω

Traffic Growth

Run: iterations, each separated by:

Use growth rate of: % per iteration

Use compound growth

Start Time	Growth Rate (%)	Traffic Level (%)
Now		100.00
Now + 1 month	10.00	110.00
Now + 2 months	10.00	120.00
Now + 3 months	10.00	130.00

Σχήμα 51
Traffic growth

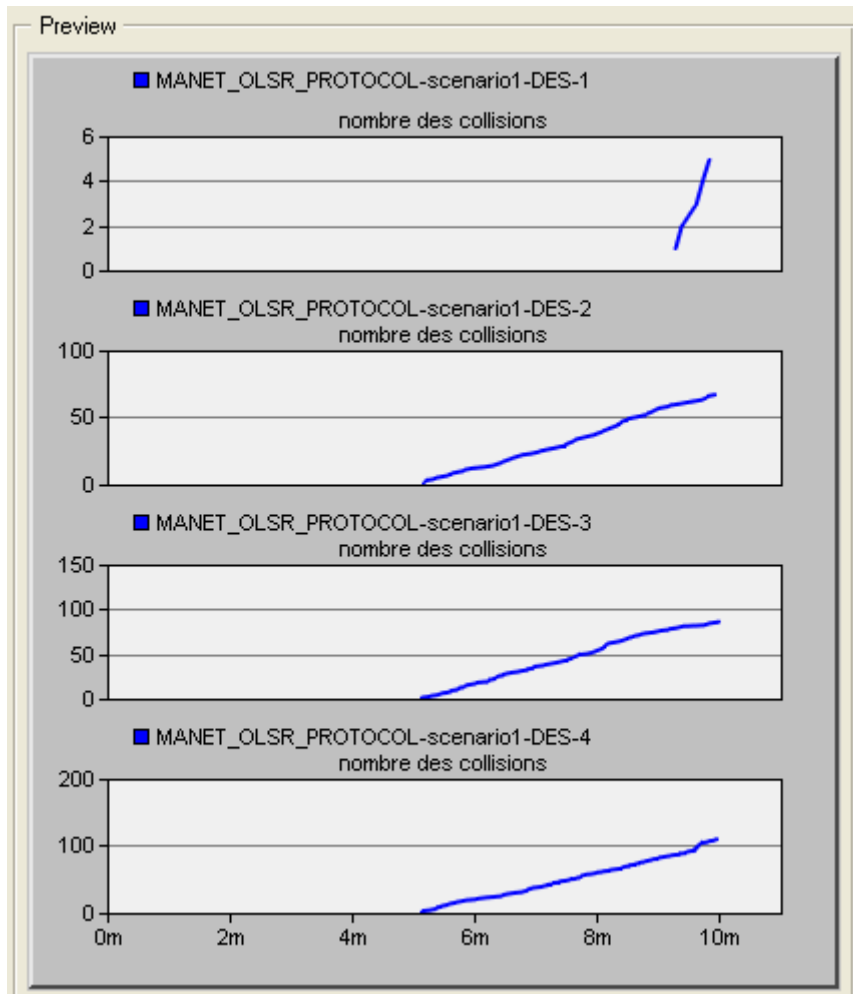
Έχουμε δηλαδή σε κάθε run μια αύξηση της τάξεως του 10%.

Στα παρακάτω γραφήματα εμφανίζεται η πορεία μεταβολής των object statistics κατά την διάρκεια των τεσσάρων εκτελέσεων. Σε κάθε εκτέλεση έχουμε και διαφορετικά αποτελέσματα. Επίσης θα δούμε και μια μεγάλη αύξηση στις τιμές του άξονα y στις δύο τελευταίες εκτελέσεις λόγω της μεγαλύτερης κίνησης που έχουμε.

Τα στατιστικά στοιχεία του MAC Level

Nombre des collisions

Το παρακάτω γράφημα παρουσιάζει την εξέλιξη της τιμής «του αριθμού των συγκρούσεων» κατά την διάρκεια της προσομοίωσης. Όπως παρατηρείται ο αριθμός των συγκρούσεων σε κάθε εκτέλεση αυξάνει. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το OLSR δεν έχει κάποιο μηχανισμό που να εγγυάται το reliable transmission ή ανάλογα με το μέσο που χρησιμοποιείται στο link layer.



Σχήμα 52

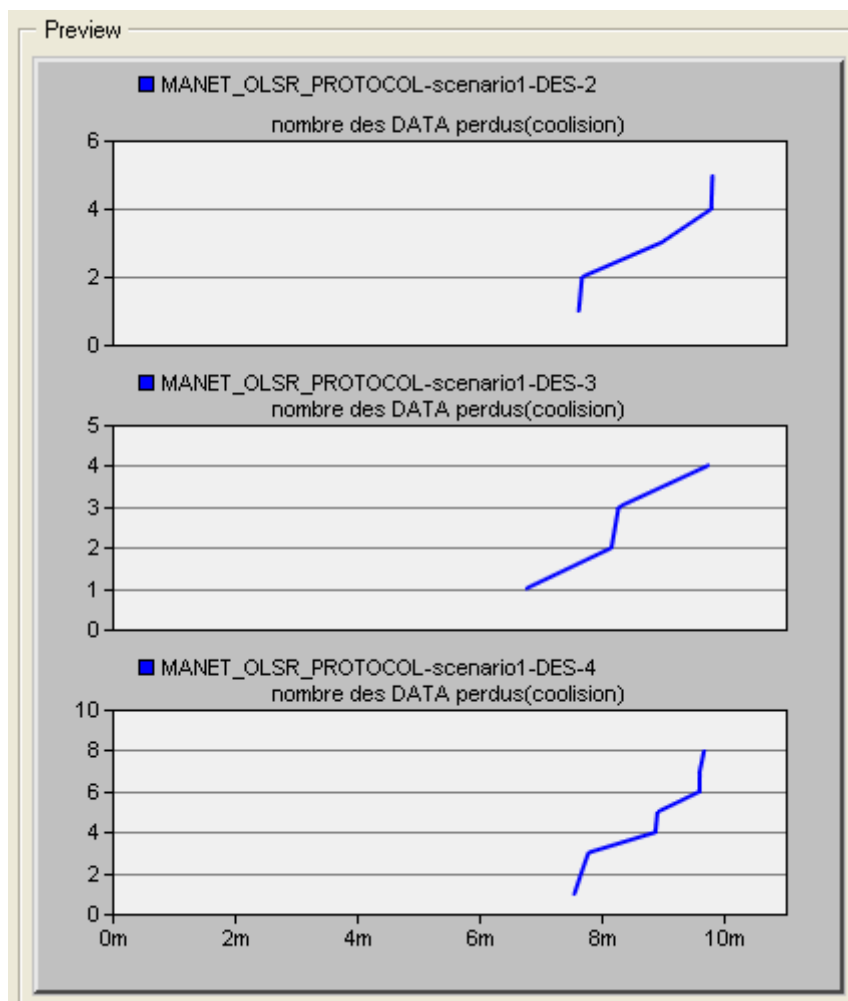
Αριθμός συγκρούσεων

Στην πρώτη εκτέλεση βλέπουμε ότι δεν υπάρχουν συγκρούσεις για ένα μεγάλο μέρος της προσομοίωσης. Πιο συγκεκριμένα η πρώτη σύγκρουση γίνεται μετά το όγδοο λεπτό και μέχρι το τέλος της προσομοίωσης δεν έχουμε παραπάνω από 5. Οι επόμενες εκτελέσεις μοιάζουν μεταξύ τους μιας και η κίνηση (traffic growth) είναι μεγαλύτερη. Οι συγκρούσεις ξεκινάνε από το πέμπτο λεπτό και αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου. Στην δεύτερη και τρίτη εκτέλεση οι συγκρούσεις δεν

ξεπερνάνε τις εκατό αλλά στην τελευταία όπως είναι φυσικό (λόγο και του μεγαλύτερου traffic growth) έχουμε σχεδόν εκατό συγκρούσεις.

Nombre des DATA perdus (coolision)

Το παρακάτω γράφημα παρουσιάζει την εξέλιξη της τιμής «του αριθμού των χαμένων μεταδόσεων» κατά την διάρκεια της προσομοίωσης. Οι λόγοι είναι κυρίως η έλλειψη flow/congestion control, sequence μετάδοσης και έλλειψη μηχανισμού αξιόπιστης μετάδοσης. Οι συγκρούσεις εμφανίζονται συνήθως προς το τέλος της προσομοίωσης λόγω των συσσωρευμένων floodings για την ανακάλυψη μονοπατιών.



Σχήμα 53

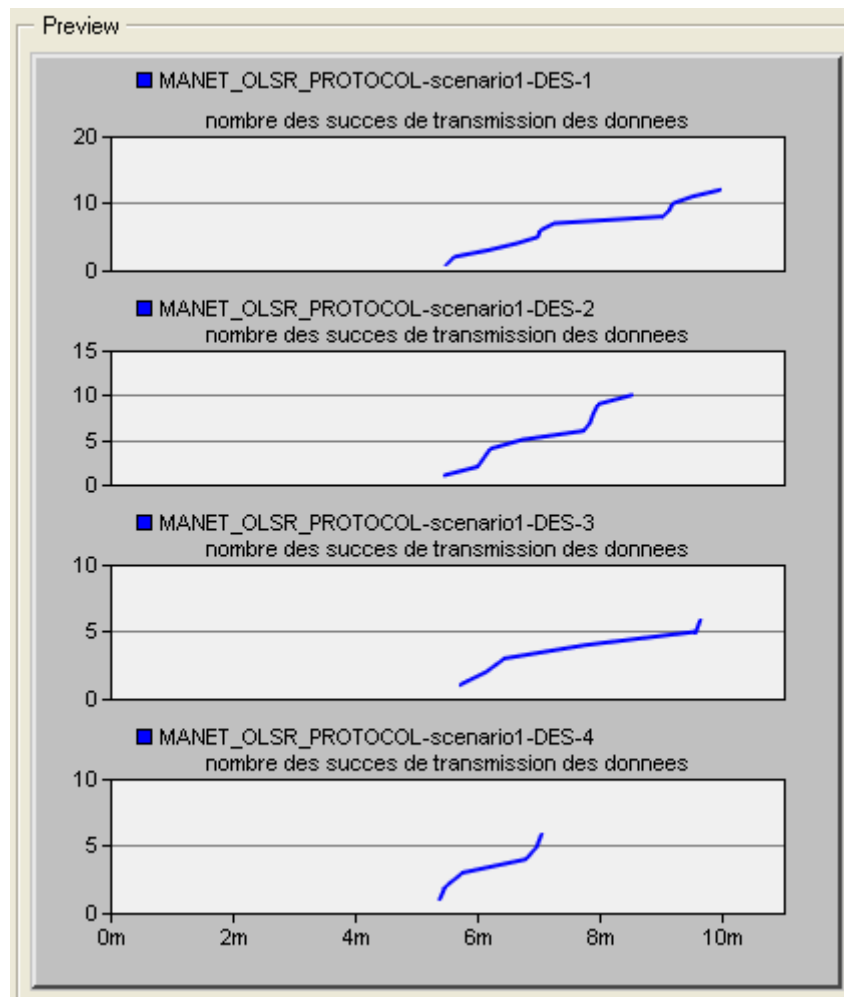
Αριθμός χαμένων μεταδόσεων

Και στις τρεις τελευταίες εκτελέσεις οι μεταδόσεις αρχίζουν να χάνονται μετά το έβδομο λεπτό. Στον πρώτο γράφο βλέπουμε ότι αρχικά είχαμε δύο χαμένες μεταδόσεις, όπου με την πάροδο του χρόνου αυτές αυξήθηκαν αλλά όχι σημαντικά με το τέλος της προσομοίωσης να σημειώνονται τέσσερεις. Ο δεύτερος γράφος και

αυτός έχει στο τέλος τέσσερις χαμένες μεταδόσεις ενώ στον τρίτο παρατηρείται μια διακύμανση με κατάληξη στις οχτώ χαμένες μεταδόσεις.

Nombre des success de transmission des donnees

Το παρακάτω γράφημα παρουσιάζει την εξέλιξη της τιμής «επιτυχημένες μεταδόσεις δεδομένων» κατά την διάρκεια της προσομοίωσης. Ο κύριος λόγος ότι τα πακέτα δεδομένων που στέλνονται δεν καταλήγουν στον προορισμό τους από την πρώτη στιγμή της προσομοίωσης δεν οφείλεται μόνο στην απόσταση αλλά και στην έλλειψη ενός αξιόπιστου μηχανισμού μετάδοσης δεδομένων. Προς το τέλος αυξάνονται και οι επιτυχημένες μεταδόσεις δεδομένων αφού η τιμή του TTL βαίνει αύξουσα.



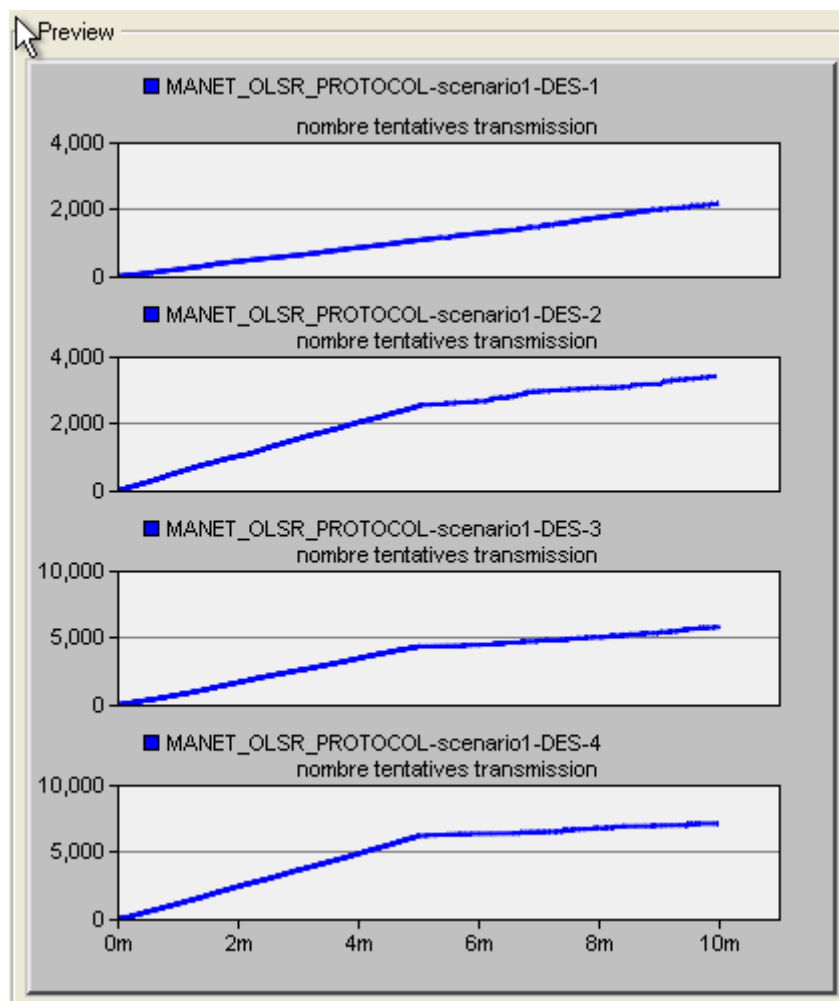
Σχήμα 54

Επιτυχημένες μεταδόσεις δεδομένων

Η πρώτη εκτέλεση έχει και τον μεγαλύτερο αριθμό επιτυχημένων μεταδόσεων αφού η κυκλοφορία (traffic) είναι χαμηλή. Όσο αυξάνεται μειώνονται οι επιτυχημένες μεταδόσεις με αριθμό δέκα, πέντε και πέντε στις επόμενες εκτελέσεις αντιστοίχως.

Nombre tentatives transmission

Το παρακάτω γράφημα παρουσιάζει την εξέλιξη της τιμής «απόπειρες (προσπάθειες) μετάδοσης» κατά την διάρκεια της προσομοίωσης. Παρατηρείται ότι για τους λόγους που περιγράψαμε παραπάνω ο ρυθμός επαναμετάδοσης δεδομένων είναι σχεδόν γραμμικός στην αρχή ενώ στην συνέχεια που εμφανίζονται πετυχημένες μεταδόσεις μειώνεται ο ρυθμός.



Σχήμα 55

Απόπειρες (προσπάθειες) μετάδοσης

Από την αρχή μέχρι το τέλος υπάρχει μια αύξηση. Στην πρώτη εκτέλεση έχουμε σχεδόν 2.000 προσπάθειες. Στην δεύτερη ενώ αρχικά ο ρυθμός ήταν έντονος μετά το πρώτο μισό της προσομοίωσης εμφανίζει μια μικρή σταθερότητα με τελικό

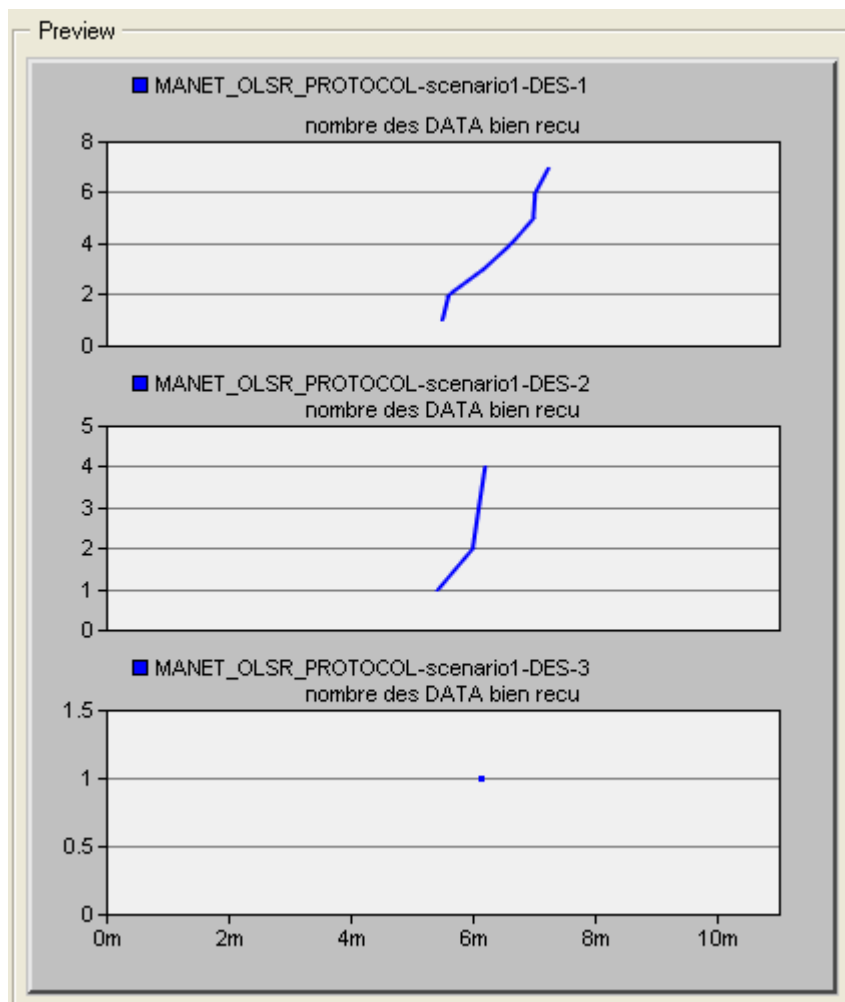
αριθμό μεταδόσεων λίγο λιγότερο από 4.000. Το ίδιο και στην τρίτη εκτέλεση αλλά με 5.000 προσπάθειες ενώ στην τέταρτη να φτάνει μέχρι και 7.500.

Όσο αυξάνεται η κυκλοφορία στο δίκτυο τόσες περισσότερες προσπάθειες έχουμε.

Τα στατιστικά στοιχεία του OLSR Level

Nombre des Data bien reçu

Το παρακάτω γράφημα παρουσιάζει την εξέλιξη της τιμής «τον αριθμό τον υπό λήψη δεδομένων» κατά την διάρκεια της προσομοίωσης



Σχήμα 56

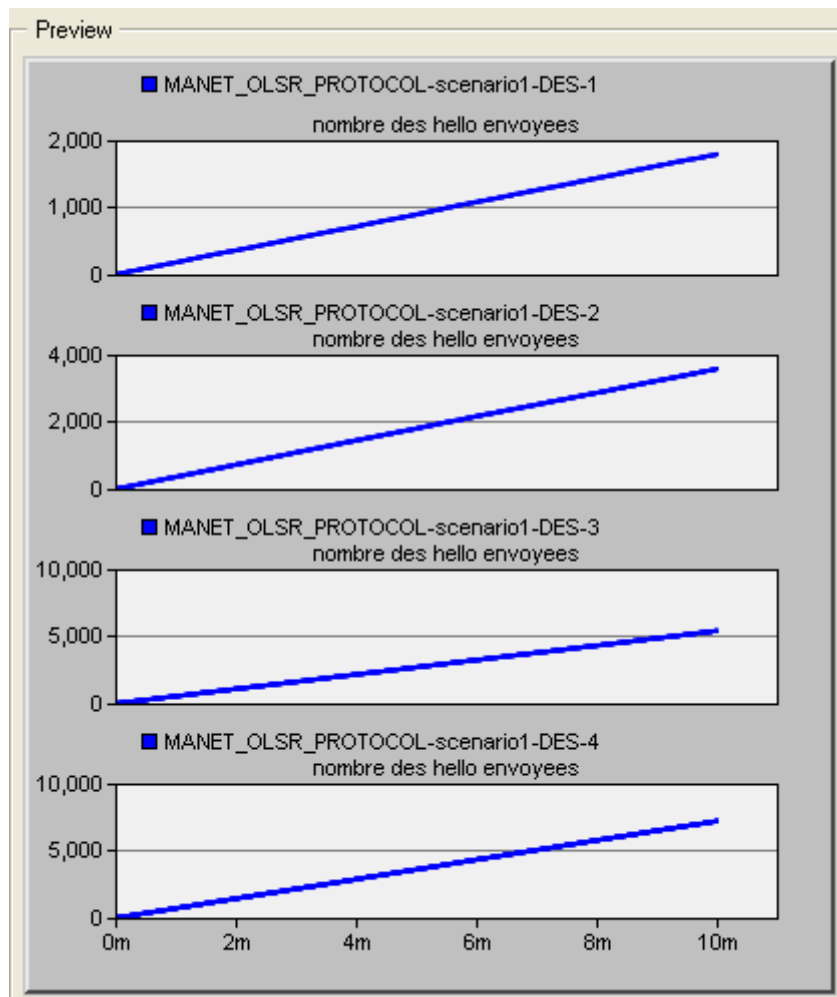
Αριθμός ληφθέντων δεδομένων

Στην πρώτη εκτέλεση μετά το πέμπτο λεπτό ξεκινάει η λήψη δεδομένων και διαρκεί λίγο πριν το όγδοο, όπου λήφθηκαν επτά μηνύματα δεδομένων. Στην δεύτερη

εκτέλεση σε διάστημα ενός λεπτού αυξανόταν ο αριθμός κατά ένα , ενώ στην τρίτη εκτέλεση βλέπουμε την λήψη μόνο ενός μηνύματος στο έκτο λεπτό.

Nombre des hello envoyees

Το παρακάτω γράφημα παρουσιάζει την εξέλιξη της τιμής «τον αριθμό αποστολής hello μηνυμάτων» κατά την διάρκεια της προσομοίωσης. Τα hello μηνύματα όπως και στα άλλα πρωτόκολλα δρομολόγησης χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν πίνακες τοπολογίας με τους γείτονες. Οπότε είναι φυσιολογικό με την πάροδο του χρόνου να αυξάνονται και τα μηνύματα.



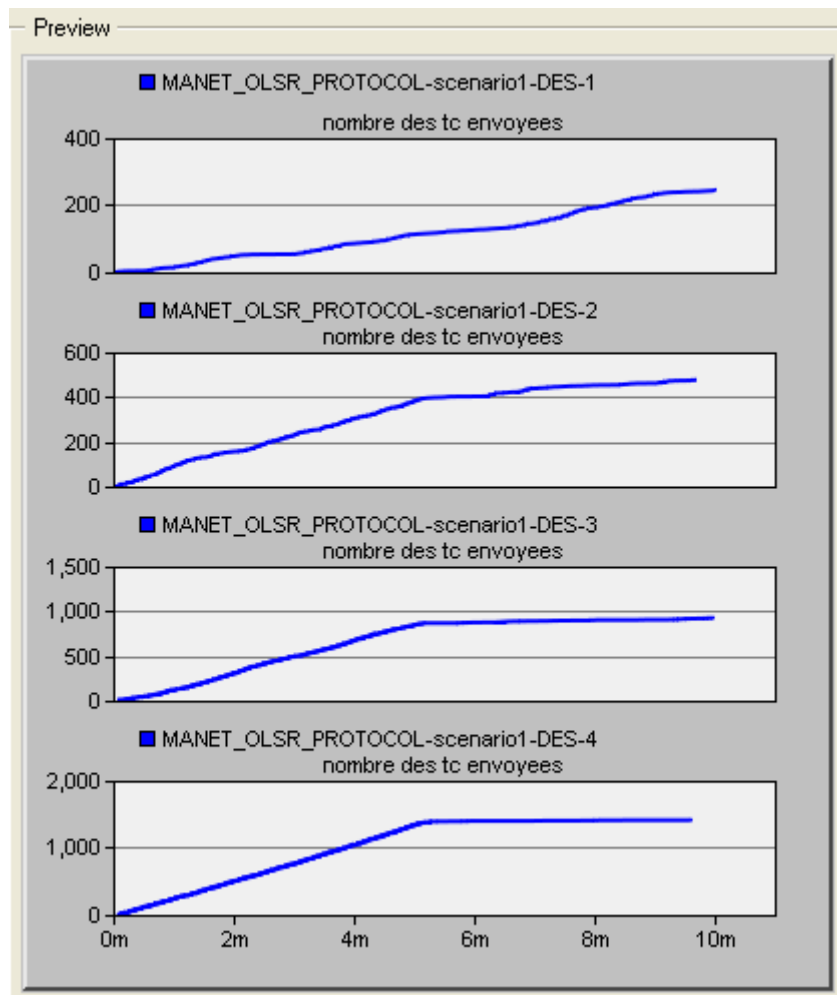
Σχήμα 57

Αριθμός αποστολής hello μηνυμάτων

Hello μηνύματα παράγονται σε όλη την διάρκεια της προσομοίωσης. Καθώς η κυκλοφορία αυξάνεται (ίσως να έχουμε και εισαγωγή νέων κόμβων στον δίκτυο) αυξάνεται και ο αριθμός το Hello μηνυμάτων που πρέπει να σταλούν. Στην πρώτη εκτέλεση στάλθηκαν 2.000 μηνύματα , στην δεύτερη 4.000, στην τρίτη περίπου 5.000 ενώ στην τέταρτη λίγο κάτω από 10.000.

Nombre des tc envoyees

Το παρακάτω γράφημα παρουσιάζει την εξέλιξη της τιμής «τον αριθμό αποστολής tc μηνυμάτων» κατά την διάρκεια της προσομοίωσης. Ομοίως, όπως τα hello messages τα TC messages χρησιμοποιούνται από τα MPR για τη δημιουργία τοπολογίας.



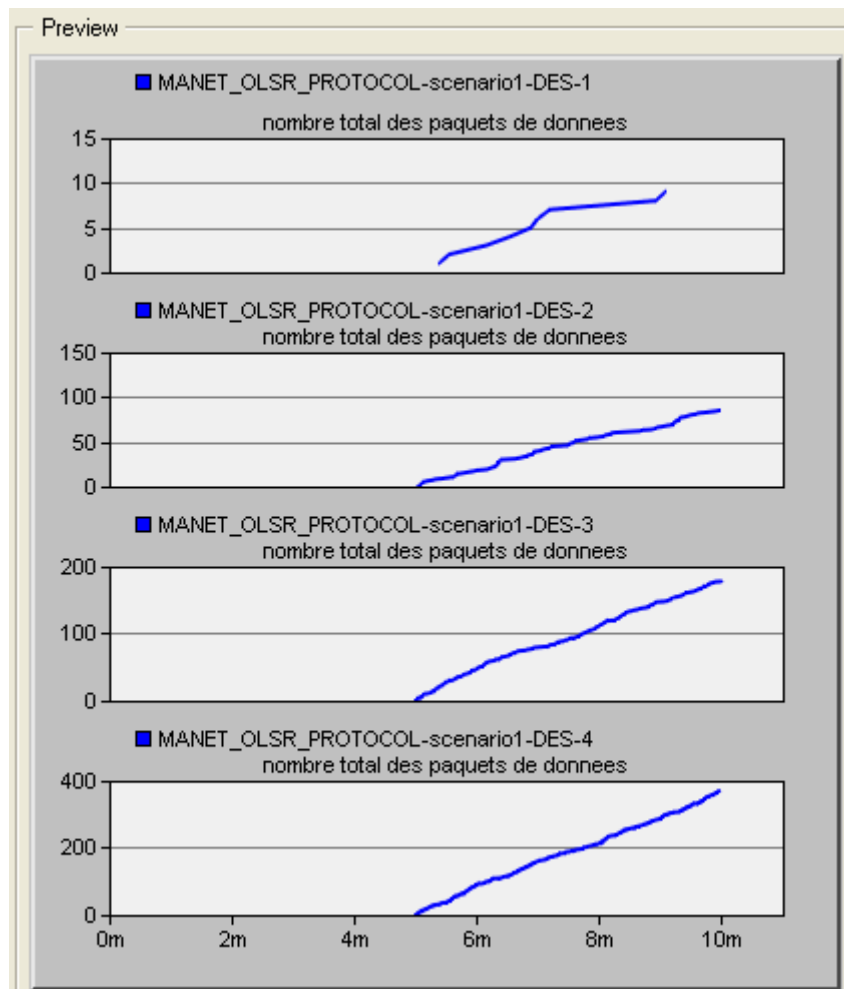
Σχήμα 58

Αριθμός αποστολής tc μηνυμάτων

Ο ρυθμός αποστολής των TC μηνυμάτων αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου στο πρώτο γράφημα . Στα επόμενα τρία αρχικά αυξάνεται αλλά μετά το πέμπτο λεπτό παρουσιάζει μια σταθερότητα. Στέλνει δηλαδή σχεδόν με τον ίδιο ρυθμό. Και σε αυτήν την περίπτωση ο αριθμός μεγαλώνει καθώς μεγαλώνει και η κυκλοφορία.

Nombre total des parquets de donnees

Το παρακάτω γράφημα δείχνει την πορεία του «Συνολικού αριθμού των πακέτων δεδομένων» κατά την διάρκεια της προσομοίωσης.



Σχήμα 59

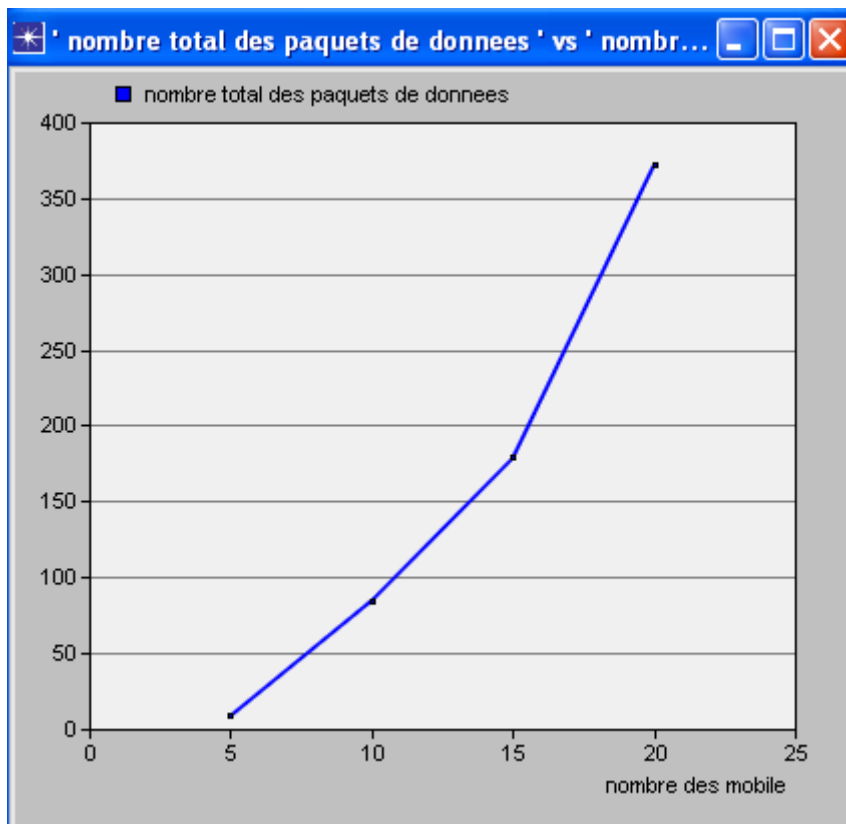
Συνολικός αριθμός πακέτων δεδομένων

Όπως και στο MAC επίπεδο έτσι και εδώ παρατηρούμε μέχρι τώρα ότι κάποιο event ξεκινά μετά το πέμπτο λεπτό της προσομοίωσης. Στην πρώτη εκτέλεση στο

ένατο λεπτό ο συνολικός των πακέτων δεδομένων ήταν 10. Στον δεύτερο γράφο προς το τέλος της προσομοίωσης είχαμε συνολικό αριθμό 100 όπου ο αριθμός αυτός διπλασιάζεται στο τρίτο και ξανά διπλασιάζεται στον τέταρτο.

Τέλος έχουν παραχθεί και κάποια γραφήματα σχετικά με τον αριθμό των κόμβων.

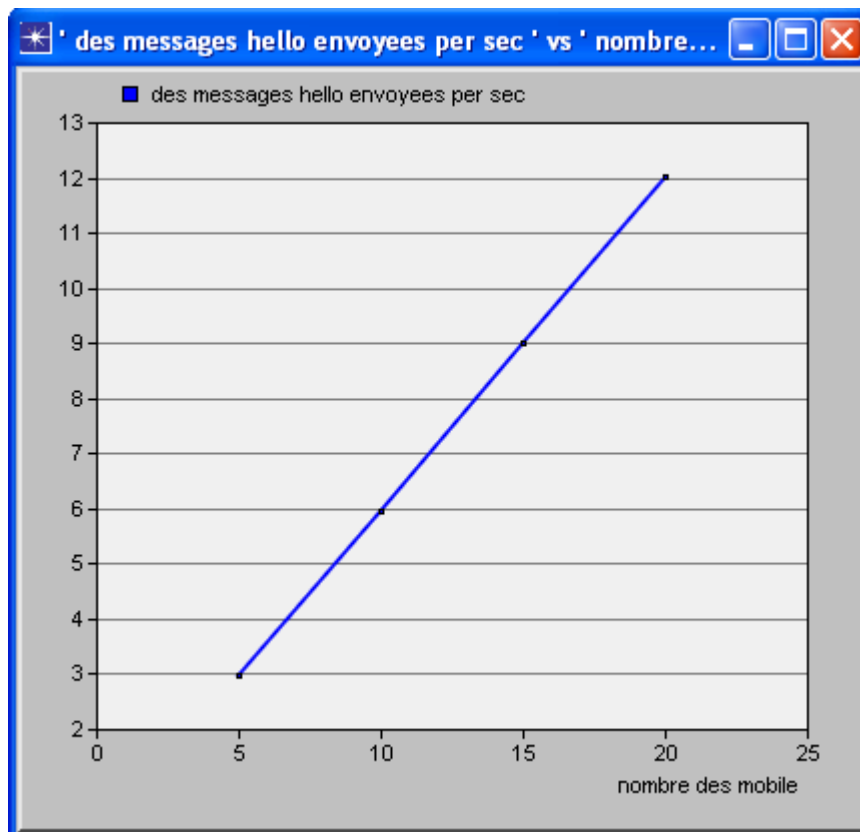
Στο παρακάτω γράφημα εμφανίζεται ο συνολικός αριθμός των πακέτων ανάλογα με τον αριθμό των κόμβων. Όσο περισσότεροι οι κόμβοι τόσο περισσότερα τα πακέτα το δευτερόλεπτο. (τα οποία δεν ξεπερνούν τα 400 ανά αριθμό κόμβων)



Σχήμα 60

Συνολικός αριθμός πακέτων vs αριθμό κόμβων

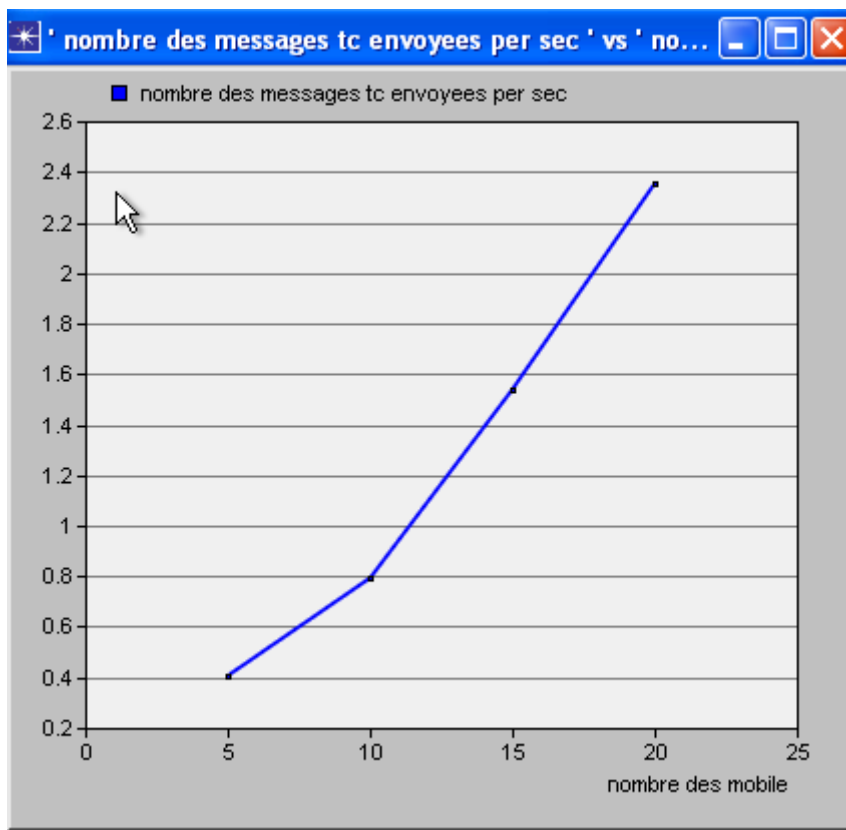
Στο παρακάτω γράφημα εμφανίζεται ο αριθμός των σταλμένων hello messages ανάλογα με τον αριθμό των κόμβων. Όσο περισσότεροι οι κόμβοι τόσο περισσότερα τα σταλμένα hello μηνύματα το δευτερόλεπτο. (τα οποία δεν ξεπερνούν τα 13)



Σχήμα 61

Αριθμός σταλμένων hello messages vs αριθμό κόμβων

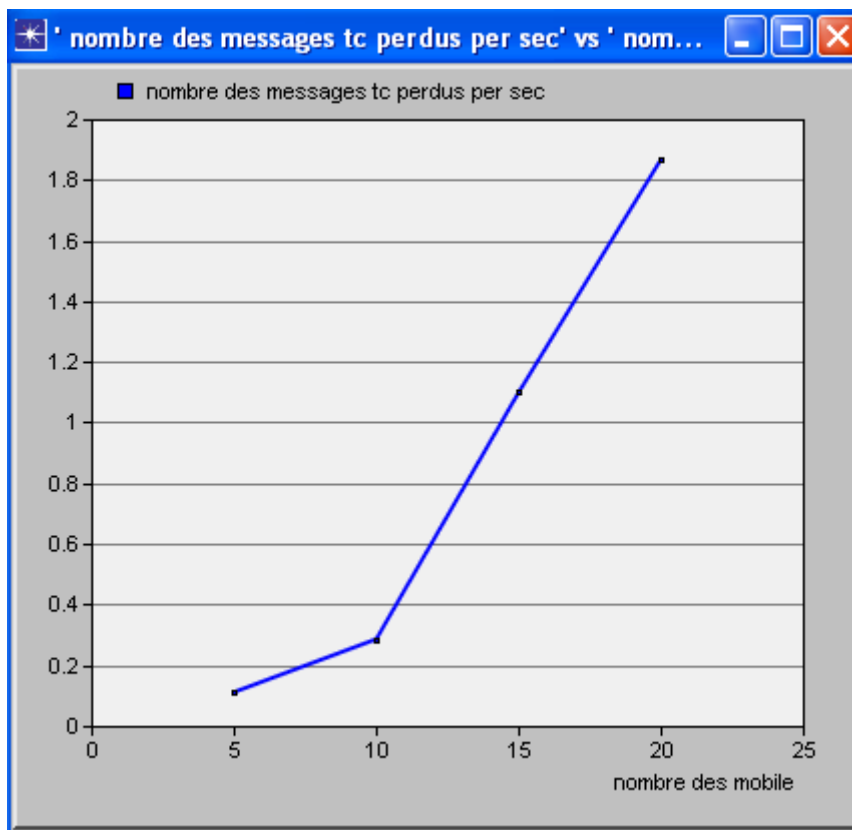
Στο παρακάτω γράφημα εμφανίζεται ο αριθμός των σταλμένων tc messages ανάλογα με τον αριθμό των κόμβων. Όσο περισσότεροι οι κόμβοι τόσο περισσότερα σταλμένα μηνύματα το δευτερόλεπτο. (τα οποία δεν ξεπερνούν τα 2.5)



Σχήμα 62

Αριθμός σταλμένων tc messages vs αριθμό κόμβων

Στο παρακάτω γράφημα εμφανίζεται ο αριθμός των χαμένων tc messages ανάλογα με τον αριθμό των κόμβων. Όσο περισσότεροι οι κόμβοι τόσο περισσότερα χαμένα μηνύματα το δευτερόλεπτο. (τα οποία δεν ξεπερνούν τα 2)



Σχήμα 63

Αριθμός χαμένων tc messages vs αριθμό κόμβων

Συμπεράσματα

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω οι μετρικές είναι απαραίτητες για την διασφάλιση τόσο της ποιότητας του δικτύου όσο και της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών. Όσο περνάνε τα χρόνια και όσο θα προκύπτουν νέες ανάγκες καθώς και νέες υπηρεσίες τις οποίες θα πρέπει να υποστηρίζουν τα MANETs, θα πρέπει να εφευρίσκονται νέες τεχνικές διασφάλισης της ποιότητας καθώς και να επανεξετάζονται οι ήδη υπάρχουσες. Επίσης θα πρέπει να είναι δυνατόν να προστεθούν νέες μετρικές και να ευρεθούν νέοι αλγόριθμοι οι οποίοι θα βοηθούν στην αξιολόγηση και την αναβάθμιση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών καθώς αυτές θα εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου και την ανάπτυξη της τεχνολογίας.

Οφείλεται να γίνει εκτενέστερη έρευνα και επανεξέταση των μοντέλων δρομολόγησης και των πρωτόκολλων διαχείρισης QoS των MANETs που μέχρι πρότινος ήταν σχεδιασμένα για να βελτιστοποιούν τις ήδη γνωστές απαιτήσεις QoS που σχετίζονταν με την απόδοση του δικτύου, όπως το ελάχιστο απαιτούμενο εύρος ζώνης, τη λανθάνουσα κατάσταση, το ποσοστό απωλειών κατά τη μεταφορά κ.α.

Βιβλιογραφία

Επιστημονικά Άρθρα

- 1) Charles E. Perkins Pravin Bhagwat Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers SIGCOMM 94 -8/94 London England UK
- 2) H. Shi, L. Wang, "A hybrid neural network for optimal TDMA transmission scheduling in packet radio networks", 2005. IJCNN '05. Proceedings. 2005 IEEE International Joint Conference on Neural Networks, Vol. 5, Aug. 2005, pp. 3210 – 3213.
- 3) "Dynamic QoS Allocation for Multimedia Ad Hoc Wireless Networks" by HSIAO-KUANG WU and PEI-HUNG CHUANG
- 4) Kousha Moaveni-Nejad and Xiang-Yang Li, Low-Interference Topology Control for Wireless Ad Hoc Networks, Ad Hoc & Sensor Wireless Networks, Vol. 1, pp. 41–64, 2005
- 5) Xiao Hannan, 'Quality of Service Provisioning in Mobile Ad-Hoc Networks'
- 6) Kui Wu and Janelle Harms 'QoS Support in Mobile Ad Hoc Networks'
- 7) Tomas Johansson, and Lenka CarrMotyčková, Reducing Interference in Ad hoc Networks through Topology Control, DIALMPOMC' 05, September 2, 2005,
- 8) Martin Burkhart, Pascal Von Rickenbach, Roger Wattenhofer and Aaron Zollinger (2004), Does topology control reduce interference, In ACM MobiHoc.
- 9) Joon Yoo and Chongkwon Kim, On the Hidden Terminal Problem in Multi-rate Ad Hoc Wireless Networks, ICOIN 2005, LNCS 3391, pp. 479–488, 2005.
- 10) J. R. Lorch and A. J. Smith, Software Strategies for Portable Computer Energy Management, IEEE Personal Communications, 1998
- 11) R. Kravets, K. Schwan, and K. Calvert, Power Aware Communication for Mobile Computers, IEEE International Workshop on Mobile Multimedia Communications. 1999
- 12) S. Banerjee and A. Misra, Minimum energy paths for reliable communication in multi-hop wireless networks, Proceedings of the 3rd ACM international Symposium on mobile ad hoc networking & computing ACM Press, 2002, pp. 146-156
- 13) Vasilis S. Gkamas, Karagiorgas M. Nikolaos, Emmanouel A. Varvarigos, A Slow Start Power Control MAC Protocol for Mobile Ad Hoc Networks, The 17th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC'06)

- 14) Michael J. Neely, Member, IEEE, and Eytan Modiano, Senior Member, IEEE, Capacity and Delay Tradeoffs for Ad-Hoc Mobile Networks, IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION THEORY, VOL. 51, NO. 6, JUNE 2005
- 15) Jinyang Li, Charles Blake, Douglas S. J. De Couto, Hu Imm, Lee Robert Morris, Capacity of Ad Hoc Wireless Networks, M.I.T. Laboratory for Computer Science
- 16) A. Iwata, C.-C. Chiang, G. Pei, M. Gerla, and T.-W. Chen, "Scalable Routing Strategies for Ad-hoc Wireless Networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communication, Aug 1999.
- 17) Corson, S., Macker, J., Network Working Group, "Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations", January 1999, RFC2501
- 18) Xukai Zou, Byrav Ramamurthy and Spyros Magliveras, "Routing Techniques in Wireless Ad Hoc Network Classification and Comparison", Proceedings of the SCI 2002/ISAS 2002
- 19) A.S. Tanenbaum, "Computer Networks", 3rd edition
- 20) Agha K, Pujolle G. QoS for Ad Hoc networking based on multiple metrics: bandwidth and delay [C] // Proceedings of IEEE MWCN2003, 2003.
- 21) Lin C R, Liu J. QoS routing in Ad Hoc wireless networks [J]. IEEE JSAC, 1999, 17(8): 1426-1438.
- 22) Zhao Weiliang, Li Yun, Liu Zhanjun. Research on the Pertinence of QoS Metrics in Mobile Ad Hoc Networks [M]. Acta Electronica Sinica [J]. 2006
- 23) IETF RFC: 1633, Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview

Internet Links

- 1) <http://www.acorn.net.au/telecoms/adhocnetworks/adhocnetworks.cfm> (Mobile Ad Hoc Networks)
- 2) http://www.ercim.eu/publication/Ercim_News/enw57/santi.html (Strategy-Proof Routing in Wireless Ad Hoc Networks)
- 3) http://www.antd.nist.gov/wahn_home.shtml (Mobile Ad Hoc Networks)
- 4) http://www.stanford.edu/~zhuxq/adhoc_project/adhoc_project.html (Cross-Layer Design of Ad-hoc Wireless Networks for Real-Time Media)
- 5) http://www.personal.psu.edu/sxr360/blogs/sucharita_ray/ (Mobile Ad Hoc Networks)

6) http://en.wikipedia.org/wiki/Ad_hoc (Ad- Hoc Networks)

7) http://en.wikipedia.org/wiki/Ad-hoc_QoS_multicast (Ad-hoc QoS multicast)

8) http://en.wikipedia.org/wiki/Quality_of_service (Quality of Service)

9) <http://www.stardust.com/qos/whitepapers/protocols.htm> (QoS protocols & architectures)

10) <http://www.stardust.com/policy/whitepapers/qospol.htm> (Introduction to QoS policies)

11) <http://qolsr.lri.fr/sim/>