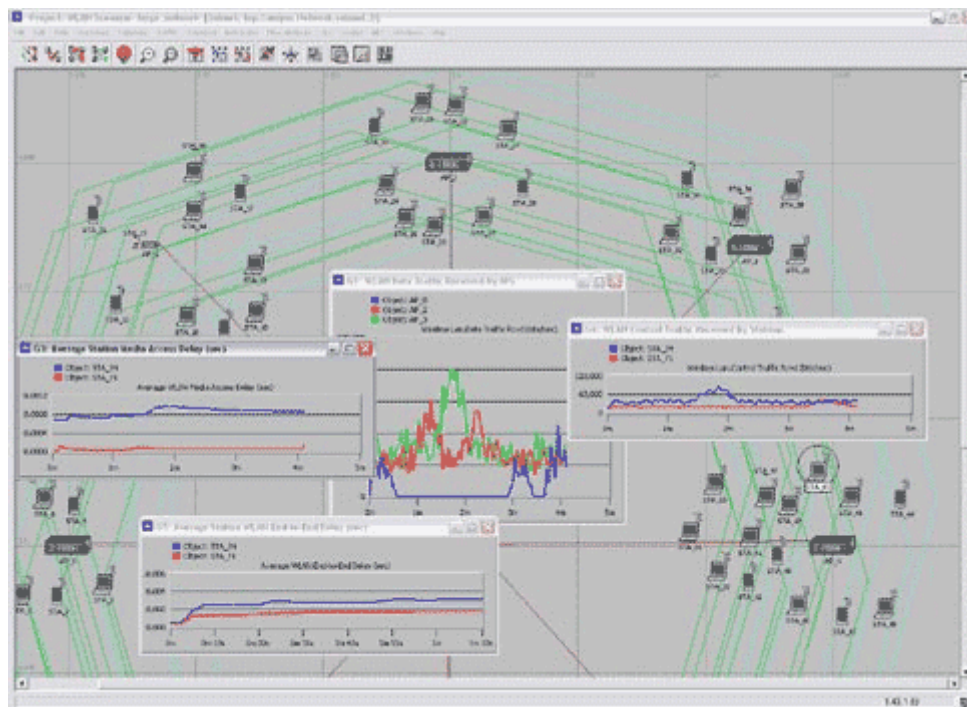




Πτυχιακή εργασία

«Προσομοίωση λειτουργίας ασύρματου δικτύου με χρήση ΙΕΕΕ 802.11e ως πρωτόκολλο»



Του φοιτητή
Παλιουδάκη Πέτρου (02/2020)

Επιβλέπων καθηγητής
Αμανατιάδης Δημήτριος

Θεσσαλονίκη 2010

ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ Τ.Ε.Ι. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Πτυχιακή εργασία

Προσομοίωση λειτουργίας ασύρματου δικτύου με χρήση IEEE
802.11e ως πρωτόκολλο

Του φοιτητή
Παλιουδάκη Πέτρου (02/2020)

Επιβλέπων καθηγητής
Αμανατιάδης Δημήτριος

Πρόλογος

Τα τελευταία χρόνια ο τομέας των τηλεπικοινωνιών έχει πραγματοποιήσει αλματώδεις ρυθμούς ανάπτυξης. Ένα από τα σημαντικότερα επιτεύγματα είναι το Διαδίκτυο (Internet). Η ανάγκη για επικοινωνία και ανταλλαγή πληροφοριών μέσω του Διαδικτύου οδήγησε στην ανάπτυξη τεχνολογιών και πρωτοκόλλων δικτύωσης. Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται τόσο αυξάνονται οι απαιτήσεις των τελικών χρηστών και των εφαρμογών που χρησιμοποιούν. Μια μεγάλη ποικιλία εφαρμογών επινοείται καθημερινά οι οποίες έχουν διαφορετικές απαιτήσεις από τα πρωτόκολλα δικτύων. Η σύνδεση στο Διαδίκτυο με υψηλό εύρος ζώνης έχει γίνει πλέον βασική προϋπόθεση για την επίτευξη σχεδόν όλων αυτών των εφαρμογών.

Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless Local Area Networks) έχουν καταστεί μια από τις πιο ελπιδοφόρες και επιτυχημένες τεχνολογίες για σύνδεση με το Internet. Καταλυτικός παράγοντας στην υλοποίηση ενός ασύρματου τοπικού δικτύου ήταν η επιτυχία του ενσύρματου τοπικού δικτύου Ethernet (IEEE 802.3). Η επιθυμία υλοποίησης ενός «ασύρματου Ethernet», οδήγησε το 1990 στη σύσταση της ομάδας εργασίας 802.11, που αρκετά χρόνια μετά είχε ως αποτέλεσμα τη σύσταση τριών πολύ επιτυχημένων προτύπων, το 802.11b και το 802.11g στη ζώνη των 2.4 Ghz και του 802.11a στα 5 Ghz. Ο λόγος της ευρείας διάδοσης των παραπάνω WLANs είναι κυρίως ο συνδυασμός χαμηλού κόστους με αρκετά αξιόπιστη παροχή υπηρεσιών και δυνατότητα περιορισμένης κινητικότητας στους χρήστες. Η ευρεία απήχηση των WLANs οδήγησε σε περαιτέρω έρευνα σε μια προσπάθεια συνεχούς βελτίωσης των υπηρεσιών των WLANs δικτύων. Το 2005 η προτυποποίηση του 802.11e, έφερε τη τεχνολογική λύση για εφαρμογές υψηλών απαιτήσεων με στόχο την βελτίωση της ποιότητας υπηρεσιών (Quality of Service) στα WLANs.

Περίληψη

Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless Local Area Networks) έφεραν την επανάσταση στο τρόπο που οι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές για να επικοινωνήσουν. Τα πιο δημοφιλή εμπορικά WLANs είναι εκείνα που χρησιμοποιούν τα πρότυπα της IEEE 802.11. Τα πρότυπα αυτά χρησιμοποιούν είτε τον αλγόριθμο DCF είτε τον PCF για την πρόσβαση στο μέσο. Παρόλο που έχουν καταφέρει να επιτύχουν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεν μπορούν να ικανοποιήσουν την απαίτηση των χρηστών για παροχή QoS υπηρεσιών όπως τα ενσύρματα. Το πρότυπο 802.11e προσπαθεί να παρέχει υπηρεσίες QoS χρησιμοποιώντας τους αλγόριθμους EDCA και HCCA για την πρόσβαση στο μέσο. Υπηρεσίες όπως το video conferencing, VoIP κ.α. είναι μερικές από αυτές που απαιτούν τα δίκτυα να παρέχουν υποστήριξη QoS. Τα αποτελέσματα που παραθέτονται από μια σειρά προσομοιώσεων προσπαθούν να δείξουν εύκολα και κατανοητά πως το πρότυπο 802.11e υποστηρίζει QoS μέσω των αλγόριθμων που χρησιμοποιεί για την μετάδοση των δεδομένων.

Abstract

The Wireless LANs (Local Area Networks) revolution has completely changed the way in which people use personal computers to communicate. Those WLANs which belong to the IEEE 802.11 standards family are the most successful commercially. The IEEE 802.11 uses either the DCF algorithm or the PCF algorithm to media access. However, they are not able to meet the QoS demands, which include in wired networks. The IEEE 802.11e standard attempts to provide QoS using both EDCA and HCCA algorithms to media access. Video conferencing, VoIP, etc. are among those services which require QoS support. After a number of simulations results are indicated to show how easily the 802.11e standard supports QoS, through the algorithms that are used for data transmission.

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Αμανατιάδη Δημητρίο για όλη την βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε κατά την διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας.

Θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω την κυρίο Χατζημίσιο Περικλή για την πολύτιμη βοήθεια του σε ένα πρόβλημα που προέκυψε και αφορούσε το πρόγραμμα προσομοίωσης OPNET MODELER καθώς είναι ο διδάσκων στο εργαστηριακό μέρος του μαθήματος «Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Η\Υ» στο τμήμα πληροφορικής του Αλεξάνδρειου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Θεσσαλονίκης.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου για την συμπαράσταση τους όλο αυτό το χρονικό διάστημα.

Ευρετήριο Περιεχομένων

Πρόλογος	1
Περίληψη	2
Περίληψη στα Αγγλικά (Abstract)	3
Ευχαριστίες	4
Ευρετήριο Περιεχομένων	5
Ευρετήριο Εικόνων	8
Ευρετήριο Πινάκων	9
Συντμήσεις	10
Εισαγωγή	12

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΤΟΠΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

1.1 Εισαγωγή	13
1.2 Ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless Local Area Networks).....	13
1.2.1 Τρόπος λειτουργίας ενός WLAN.....	16
1.2.2 Πλεονεκτήματα ενός ασύρματου LAN	16
1.2.3 Μειονεκτήματα ενός ασύρματου LAN	17
1.3 Εφαρμογές Ασυρμάτων Δικτύων	18
1.4 Τεχνικές Μετάδοσης	19
1.5 Ποιότητα υπηρεσιών (Quality of Services)	21
1.6 Επίλογος	22

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ 802.11

2.1 Εισαγωγή	23
2.2 Βασικές Μονάδες και Τοπολογία	23
2.3 Σύστημα Διανομής.....	26
2.4 Υπηρεσίες Ασυρμάτου Δικτύου 802.11	28
2.5 Υπόστρωμα MAC 802.11	29

2.6 Πρόσβαση στο μέσο και Μηχανισμός Ανίχνευσης Φέροντος	30
2.7 Χρόνοι Αναμονής.....	31
2.8 Χρήση του αλγορίθμου DCF για τη πρόσβαση στο μέσο	32
2.9 Χρήση του αλγορίθμου PCF για τη πρόσβαση στο μέσο	35
2.10 Λειτουργία RTS/CTS	36
2.11 Το πλαίσιο του MAC υποστρώματος.....	38
2.12 Τύποι πλαισίων του MAC υποστρώματος.....	41
2.13 Επίλογος	45

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ 802.11e

3.1 Εισαγωγή	46
3.2 Πλαίσιο 802.11e	46
3.3 Μηχανισμός HCF (Hybrid Coordination Function).....	47
3.4 EDCA (Enhanced Distributed Channel Access).....	48
3.5 EDCA TXOP (Transmission Opportunity).....	49
3.6 HCF Controlled Channel Access (HCCA)	50
3.6.1 Δομή και διάρκεια του TXOP	51
3.7 Κανόνες μετάδοσης HCCA.....	52
3.8 Μηχανισμοί ελέγχου εισόδου.....	52
3.9 Πλαίσια Επιβεβαίωσης (Block Acknowledgments).....	53
3.10 Επιπλέον μηχανισμοί	55
3.10.1 Συνύπαρξη DCF, PCF, HCF.....	55
3.11 Πλαισίωση του 802.11e MAC υποστρώματος.....	56
3.12 Τροποποιήσεις frames ελέγχου και δεδομένων	61
3.13 Επίλογος	64

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ 802.11e MAC

4.1 Εισαγωγή	66
4.2 Μοντέλα Κίνησης.....	67
4.3 Προδιαγραφές και απαιτήσεις προσομοιωτή.....	68

4.4 Επιλογή Πλατφόρμας Προσομοίωσης.....	69
4.5 Υλοποίηση προσομοιώσεων	70
4.5.1 Προσομοίωση ενός 802.11g δίκτυου με χρήση του μηχανισμού DCF	72
4.5.2 Υλοποίηση του 802.11e δικτύου με χρήση του μηχανισμού EDCA	75
4.5.3 Προσομοίωση 802.11e σε δίκτυο με διαφοροποίηση υπηρεσιών	86
4.5.3.1 Σενάριο με ισότιμο αριθμό υπηρεσιών σε όλα τα QSTAs (σενάριο 1)	87
4.5.3.2 Σενάριο με 5 υπηρεσίες HDTV ανά QSTAs (σενάριο 2).....	89
4.5.3.3 Σενάριο με 5 υπηρεσίες HDTV, 4 υπηρεσίες VoIP, 3 BE και BG ανά QSTAs (σενάριο 3).....	90
4.5.3.4 Σύγκριση Throughput των υπηρεσιών VoIP και HDTV	91
Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	94
Βιβλιογραφία	96

Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 2.1: Τοπολογία IBSS	24
Εικόνα 2.2: Τοπολογία infrastructure BSS	26
Εικόνα 2.3: Σύστημα Διανομής.....	27
Εικόνα 2.4: Η διαδικασία πρόσβασης στο μέσο με χρήση του DCF.....	33
Εικόνα 2.5: Πρόβλημα κρυμμένου κόμβου	37
Εικόνα 2.6: Γενική μορφή πλαισίου υποστρώματος MAC του 802.11	38
Εικόνα 2.7: Πεδίο Frame Control του πλαισίου MAC του 802.11	38
Εικόνα 3.1: Σχέσεις μεταξύ των διαφόρων IFS στο MAC 802.11e	47
Εικόνα 3.2: Εναλλαγή CFP-CP.....	51
Εικόνα 3.3: Polled TXOP.....	51
Εικόνα 3.4: Αρχιτεκτονική MAC 802.11e	56
Εικόνα 3.5: Δομή MAC πλαισίου	56
Εικόνα 3.6: Η ελάχιστη δομή ενός 802.11e MAC πλαισίου	57
Εικόνα 3.7: Δομή πλαισίου Block Ack Request	63
Εικόνα 3.8: Δομή Block Ack πλαισίου	63
Εικόνα 3.9: Δομή πλαισίου δεδομένων	64
Εικόνα 4.1: Delay σε 802.11g σε δίκτυα με 4,8 και 16 σταθμούς.	74
Εικόνα 4.2: Throughput σε 802.11g σε δίκτυα με 4,8 και 16 σταθμούς.....	84
Εικόνα 4.3: Σύγκριση Delay στα σενάρια με 4 σταθμούς	76
Εικόνα 4.4: Σύγκριση Delay στα σενάρια με 8 σταθμούς	77
Εικόνα 4.5: Σύγκριση Delay στα σενάρια με 16 σταθμούς	78
Εικόνα 4.6: Σύγκριση Throughput στα σενάρια με 4 σταθμούς	79
Εικόνα 4.7: Σύγκριση Throughput στα σενάρια με 8 σταθμούς.	80
Εικόνα 4.8 : Σύγκριση Throughput στα σενάρια με 16 σταθμούς.....	81
Εικόνα 4.9 : Σύγκριση Delay της υπηρεσίας VoIP.....	82
Εικόνα 4.10: Σύγκριση Throughput της υπηρεσίας VoIP.....	83
Εικόνα 4.11 : Σύγκριση Delay της υπηρεσίας video.	83
Εικόνα 4.12 : Σύγκριση Throughput της υπηρεσίας video	84
Εικόνα 4.13:Καθυστέρηση πρόσβασης στο μέσο ανά υπηρεσία (σενάριο 1).....	88
Εικόνα 4.14:Καθυστέρηση πρόσβασης στο μέσο ανά υπηρεσία (σενάριο 2).....	89
Εικόνα 4.15:Καθυστέρηση πρόσβασης στο μέσο BE,HDTV, VoIP (σενάριο 3).....	90
Εικόνα 4.16 : Throughput VoIP στα σενάρια (1,2,3).....	92

Εικόνα 4.17 : Throughput HDTV στα σενάρια (1,2,3).....	93
--	----

Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 1.1: Τα πρότυπα του 802.11.....	15
Πίνακας 3.1: Κατηγορίες πρόσβασης EDCA	49
Πίνακας 3.2: Υποπεδία του QoS Control field	57
Πίνακας 3.3: Κωδικοποίηση TID υποπεδίου	58
Πίνακας 4.1: Αντιστοίχιση Μοντέλων Κίνησης με κατηγορίες πρόσβασης	66
Πίνακας 4.2: Παράμετροι Προσομοίωσης.....	76
Πίνακας 4.3: EDCA default παράμετροι καθυστέρησης πρόσβασης στο μέσο	86
Πίνακας 4.4: Επικεφαλίδες στρωμάτων μεταφοράς και δικτύου	87
Πίνακας 4.5: Παράμετροι του φυσικού στρώματος και του MAC.....	87

Συντμήσεις

AC	Access Category
AP	Access Point
AIFS	Arbitrary IFS
BA	Block Acknowledgment
BE	Best Effort
BG	Background
BSA	Basic Service Area
BSS	Basic Service Set
BSSID	Basic Service Set ID
CA	Collision Avoidance
CAP	Control Access Phase
CD	Collision Detection
CP	Contention Period
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
CTS	Clear To Send
CW	Contention Window
DCF	Distributed Coordination Function
DIFS	Distributed Coordination Function IFS
EDCF	Enhanced Distributed Coordination Function
EIFS	Extended IFS
HC	Hybrid Coordinator
HCF	Hybrid Coordination Function
HDTV	High Definition Television
IFS	Inter Frame Space
MAC	Medium Access Control
MSDU	MAC Service Data Unit
MPDU	MAC Protocol Data Unit
NAV	Network Allocation Vector
PCF	Point Coordination Function
PIFS	Point Coordination Function IFS
QoS	Quality of Service
RF	Radio Frequency

RTS	Ready To Send
SIFS	Short Inter Frame Space
TXOP	Transmission Opportunity
UP	User Priorities
VoIP	Voice over Internet Protocol
WEP	Wired Equivalent Privacy
WLAN	Wireless Local Area Network
WPA	WiFi Protected Access

Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία έχει σαν σκοπό να δοθεί μία εποπτική περιγραφή του πρωτοκόλλου IEEE 802.11 και να μελετηθεί το 802.11e ως προς την εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσιών σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου μέσα από την προσομοίωση μίας σειράς δυναμικών καταστάσεων. Με την χρήση ενός εργαλείου προσομοίωσης, του OPNET Modeler, θα αναπτυχθούν υπολογιστικά μοντέλα προσομοίωσης ώστε να δειχθεί το κατά πόσο είναι ικανό το πρότυπο IEEE 802.11e να παρέχει QoS στις εφαρμογές που υποστηρίζει.

Στο κεφάλαιο 1 γίνεται μία ιστορική αναδρομή των ασύρματων δικτύων, δίνονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους, η τοπολογία τους καθώς και οι κύριες τεχνικές μετάδοσης που χρησιμοποιούν.

Στο κεφάλαιο 2 αναλύεται εκτενώς το υποεπίπεδο MAC του προτύπου 802.11, αφού λειτουργεί ως βάση για τις προσθήκες των υπολοίπων προτύπων και αναλύονται οι τεχνικές (διαμόρφωση, κωδικοποίηση, κλπ.) που χρησιμοποιούνται κατά περίπτωση.

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται αναλυτική περιγραφή του προτύπου 802.11e. Περιγράφονται τόσο οι κύριοι μηχανισμοί που εισάγει το πρότυπο όσο και προαιρετικοί μηχανισμοί που στοχεύουν σε μεγαλύτερη αποδοτικότητα του δικτύου ανάλογα με τις ειδικές απαιτήσεις των χρηστών.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα μοντέλα κίνησης που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στην προσομοίωση, γίνεται παρουσίαση της υλοποίησης του μοντέλου στο OPNET και δίνεται έμφαση στην αντιστοιχία των διαφόρων διεργασιών με τις λειτουργίες του πραγματικού δικτύου και τέλος αναλύονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων. Παρουσιάζονται διαφορετικές δυναμικές καταστάσεις και εξετάζεται η συμπεριφορά του δικτύου κατά περίπτωση.

1.1 Εισαγωγή

Με τον όρο *ασύρματο δίκτυο* επικοινωνιών καλούνται όλες οι τεχνολογικές λύσεις δικτύωσης μεταξύ ηλεκτρονικών συσκευών στις οποίες το φυσικό μέσο μετάδοσης των πληροφοριών είναι ο αέρας και έτσι δεν απαιτείται η ύπαρξη καλωδίων για την διασύνδεσή τους. Οι συσκευές που χρησιμοποιούν την ασύρματη τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιήσουν το ασύρματο δίκτυο είτε για να στείλουν είτε για να λάβουν δεδομένα. Η ασύρματη επικοινωνία είναι ο πλέον ελπιδοφόρος τρόπος για την διασύνδεση των χρηστών. Στα ασύρματα δίκτυα εντάσσονται τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, οι δορυφορικές επικοινωνίες, τα ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής (WWAN), τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (WMAN), τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) και τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα (WPAN).

Το 1970 κάτω από την επίβλεψη του Norman Abramson δημιουργήθηκε στο Πανεπιστήμιο της Χαβάη το πρώτο ασύρματο δίκτυο και πήρε την ονομασία ALOHAnet. Χρησιμοποιώντας χαμηλού κόστους ερασιτεχνικά (ham-like) ραδιόφωνα αναπτύχθηκε η πρώτη, παγκοσμίως, δικτυακή επικοινωνία. Η αμφίδρομη τοπολογία αστέρα του συστήματος περιελάμβανε επτά υπολογιστές διασκορπισμένους σε τέσσερα νησιά, οι οποίοι επικοινωνούσαν με τον κεντρικό υπολογιστή στο νησί Oahu χωρίς τη χρήση ενσύρματων καλωδίων.

1.2 Ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless Local Area Networks)

Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα υπολογιστών έφεραν την επανάσταση στο τρόπο που οι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές για να επικοινωνήσουν. Εξαλείφουν την ανάγκη των καλωδίων για την διασύνδεση των τελικών χρηστών και παρέχουν ένα πολύ εύκολο τρόπο για την πρόσβαση στο δίκτυο και τις υπηρεσίες του. Ένα *ασύρματο τοπικό δίκτυο* ή αλλιώς *Wireless Local Area Network (WLAN)*, είναι η σύνδεση μεταξύ δύο ή περισσότερων ηλεκτρονικών υπολογιστών χωρίς τη χρήση καλωδίων. Το μέσο που χρησιμοποιούν τα WLANs για να πετύχουν την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών είναι ο αέρας και πιο συγκεκριμένα τα ραδιοκύματα με διαμόρφωση ευρέως φάσματος, μία τεχνολογία

γνωστή και ως Basic Service Set (BSS). Έτσι οι χρήστες έχουν την ευχέρεια να κινούνται ελεύθερα μέσα σε συγκεκριμένα γεωγραφικά ορια και να συνεχίζουν να είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο. Η ελευθερία κίνησης είναι το χαρακτηριστικό το οποίο διαφοροποιεί τα ασύρματα από τα ενσύρματα δίκτυα.

Προς το τέλος της δεκαετίας του 1970 από τον Fritz R. Gfeller στα IBM Ruschlikon Laboratories στην Ελβετία έγιναν οι πρώτες προσπάθειες για τη δημιουργία ενός WLAN. Η τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτή των υπέρυθρων ακτίνων (Infrared – IR), σχέδιο το οποίο εγκαταλείφθηκε, διότι δεν ήταν εφικτή η επίτευξη του επιθυμητού ρυθμού μετάδοσης 1 Mbps μέσα σε μια λογική περιοχή κάλυψης. Στη συνέχεια έγιναν κι άλλες απόπειρες με χρήση ραδιοκυμάτων στα 900 Mhz (Ferrert, HP Palo Alto Research Laboratories, 1980) και λίγο αργότερα στα 1,73 Ghz (Motorola), αλλά απέτυχαν λόγω της πολυπλοκότητας των σχεδίων και της αδυναμίας εξασφάλισης μόνιμης άδειας χρήσης φάσματος από την FCC (Federal Communications Commission).

Μετά από πολλές προσπάθειες και πειραματισμούς φτάσαμε στο 1991, όπου προϊόντα για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα είχαν κάνει μόλις την εμφάνισή τους καθώς και η επιτροπή του IEEE 802.11 είχε μόλις αρχίσει τις δραστηριότητες της για την ανάπτυξη προτύπου για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα. Μέχρι το 1996, η τεχνολογία είχε σχετικά ωριμάσει, είχε καθοριστεί μία ποικιλία εφαρμογών και είχαν κατανοηθεί πλήρως οι τεχνολογίες που επέτρεπαν αυτές τις εφαρμογές. Αυτή την εποχή, στην αγορά ήταν αναδυόμενα τα σύνολα των ολοκληρωμένων, που στόχευαν στην υλοποίηση και στις εφαρμογές των ασύρματων τοπικών δικτύων. Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα είχαν εδραιωθεί πλέον στη καθημερινή ζωή και χρησιμοποιούνταν στα νοσοκομεία, στις πανεπιστημιούπολεις, καθώς και στα διάφορα κτήρια με σκοπό την μαζική πρόσβαση και την επικοινωνία. Ένα ακόμη γεγονός που αποδεικνύει την άνθιση των WLANs σε αυτή την περίοδο, είναι ότι το πρωτόκολλο IEEE 802.11 και οι παραλλαγές του είχαν σημειώσει ραγδαία εξέλιξη.

Στις 21 Ιουλίου του 1999, πρωτοεμφανίστηκε το AirPort στην πόλη της Νέας Υόρκης από τον Steve Jobs (ιδρυτής της Apple), ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο που βασίζεται στο πρωτόκολλο IEEE 802.11b. Οι καταναλωτές το επιδοκίμασαν καθώς συνειδητοποίησαν την χρηστικότητα της μη ύπαρξης καλωδίων. Αυτή ήταν η πρώτη φορά που τα ασύρματα τοπικά δίκτυα έγιναν δημόσια διαθέσιμα στους ιδιώτες καταναλωτές για προσωπική χρήση. Πριν από τη δημοσίευση του AirPort, η ιδιωτική χρήση των WLANs ήταν πολύ ακριβή για τους καταναλωτές και αυτό

είχε ως αποτέλεσμα την αποκλειστική τους χρήση σε εγκαταστάσεις μεγάλων εταιριών.

Αρχικά το υλικό για την εγκατάσταση ενός ασύρματου τοπικού δικτύου ήταν τόσο ακριβό που χρησιμοποιήθηκε μόνο ως εναλλακτική λύση του ενσύρματου σε περιοχές όπου η καλωδίωση ήταν δύσκολη ή αδύνατη. Η πρώιμη ανάπτυξη των ασύρματων τοπικών δικτύων περιελάμβανε λύσεις προσαρμοσμένες στην βιομηχανία και πρωτόκολλα ιδιοκτησίας, αλλά στα τέλη της δεκαετίας του 1990 αυτά αντικαταστάθηκαν από πρότυπα, κυρίως των διαφόρων εκδόσεων του IEEE 802.11. Τα πρωτόκολλα IEEE 802.11 που έχουν εμφανιστεί στην αγορά αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα:

Έκδοση	Ημ/νία	Ζώνη συχνοτήτων	Συνήθης ρυθμός μετάδοσης	Ονομαστικός ρυθμός μετάδοσης	Εμβέλεια εσωτερικών χώρων	Σχόλιο
802.11	1997	2.4 GHz	0.9 Mbit/s	2 Mbit/s	~20 m	Το κλασικό πρότυπο, τώρα σε αχρηστία
802.11b	1999	2.4 GHz	4.3 Mbit/s	11 Mbit/s	~38 m	Το πλέον επιτυχές εμπορικά, καθιέρωσε αρχικά τον όρο WiFi
802.11a	1999	5 GHz	23 Mbit/s	54 Mbit/s	~35 m	Άγνωστη εμπορική πορεία λόγω ασυμβατότητας με το 802.11b
802.11g	2003	2.4 GHz	19 Mbit/s	54 Mbit/s	~38 m	Αντικατάστης του 802.11b με μεγάλη εμπορική επιτυχία
802.11n	2009	2.4 Ghz / 5 GHz	30-130 Mbit/s	72-150 Mbit/s	~70 m	Αντικατάστης του 802.11b/g, αύξηση του throughput

Πίνακας 1.1 : Τα πρότυπα του 802.11

1.2.1 Τρόπος λειτουργίας ενός WLAN

Ο τρόπος λειτουργίας ενός WLAN είναι παρόμοιος με αυτόν του ενσύρματου τοπικού δικτύου Ethernet. Εκτελούν τις ακόλουθες λειτουργίες προκειμένου να επιτύχουν την μεταφορά δεδομένων από την πηγή στον προορισμό:

1. Το μέσο πρόσβασης παρέχει ένα δίαυλο δεδομένων για να μπορέσουν τα μεταδοθούν τα δεδομένα μεταξύ των σταθμών του ασύρματου τοπικού δικτύου.
2. Οι τεχνικές πρόσβασης στο μέσο (Medium Access Control) διευκολύνουν τον τρόπο με τον οποίο το μέσο πρόσβασης θα διαμοιράζεται σε όλους τους σταθμούς του ασύρματου δικτύου.
3. Μηχανισμοί συγχρονισμού και ελέγχου σφαλμάτων φροντίζουν ώστε τα δεδομένα να μεταφέρονται άθικτα στο προορισμό τους.
4. Μηχανισμοί δρομολόγησης παραδίδουν τα δεδομένα στο σωστό προορισμό.
5. Το λογισμικό διασύνδεσης συνδέει μια συσκευή με το λογισμικό εφαρμογής που βρίσκεται σε κάποιον server.

1.2.2 Πλεονεκτήματα ενός ασύρματου LAN

- Κινητικότητα χρηστών : Το προφανέστερο πλεονέκτημα που προσφέρει ένα WLAN. Για να το εκμεταλλευτεί ο χρήστης πρέπει φυσικά να διαθέτει το αντίστοιχο κινητό τερματικό.
- Ευκολία και ταχύτητα εγκατάστασης : Σε αντίθεση με τα ενσύρματα δίκτυα δεν απαιτούνται μεγάλες παρεμβάσεις στην περιοχή λειτουργίας, όπως είναι η εγκατάσταση καλωδιώσεων.

- Σχεδίαση : Τα ασύρματα ad hoc (χωρίς υποδομή) δίκτυα επιτρέπουν την επικοινωνία χωρίς την ανάγκη ύπαρξης κάποιου είδους σχεδίασης σε αντίθεση με τα ενσύρματα που χρειάζονται σχέδιο καλωδίωσης για το στήσιμο τους.
- Ευελιξία και επεκτασιμότητα : Τα ασύρματα δίκτυα μπορούν να επεκταθούν εύκολα, εφόσον το μέσο μετάδοσης που χρησιμοποιούν είναι παντού διαθέσιμο. Επίσης μπορούν να προσαρμοστούν σε διάφορες ανάγκες των χρηστών τους, ανάλογα με την περίπτωση.
- Κόστος: Σε μερικές περιπτώσεις η λύση του WLAN είναι φτηνότερη από το παραδοσιακό LAN. Μία τέτοια περίπτωση είναι η χρήση ασύρματου εξοπλισμού για μία ζεύξη σημείο – προς – σημείο (point – to – point) ανάμεσα σε δύο κτίρια, αντί της μίσθωσης κάποιας μόνιμης γραμμής. Όσο η τεχνολογία αυτή εξελίσσεται, εμφανίζονται νέα προϊόντα που προσφέρουν καλύτερες επιδόσεις με μικρότερο κόστος.
- Ανθεκτικότητα (robustness): Τα ασύρματα δίκτυα μπορούν να επιβιώσουν από φυσικές καταστροφές, αν οι ασύρματες συσκευές παραμείνουν άθικτες οι χρήστες θα είναι ικανοί να επικοινωνήσουν.
- Ακίνδυνα για τον ανθρώπινο οργανισμό: Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται είναι εντελώς ακίνδυνος για τον ανθρώπινο οργανισμό. Η ακτινοβολία είναι μη ιονίζουσα και τα επίπεδα ακτινοβολίας είναι πολύ πιο χαμηλά από τα επιτρεπτά για τον ανθρώπινο οργανισμό όρια. Αρκεί να αναφέρουμε ότι μια ασύρματη κάρτα δικτύου (802.11b) ακτινοβολεί ισχύ 50 - 100 mWatt, ενώ ένα κινητό τηλέφωνο φτάνει και τα 2000 mWatt.

1.2.3 Μειονεκτήματα ενός ασύρματου LAN

- Εμβέλεια σύνδεσης: Μπορεί να μην χρειάζονται καλώδια για να συνδεθεί κάποιος σταθμός σε ένα WiFi δίκτυο, όμως η περιοχή κάλυψης ενός hotspot είναι αρκετά περιορισμένη, συνήθως 100 έως 300 μέτρα για

εξωτερικούς χώρους 30 έως 50 μέτρα για εσωτερικούς χώρους. Αν ο σταθμός βρεθεί έξω από αυτή τη περιοχή τότε δεν θα είναι πλέον συνδεδεμένος στο δίκτυο. Αυτό είναι και το μεγαλύτερο μειονέκτημα των ασύρματων δικτύων.

- QoS (Quality of Service): Δεν διασφαλίζεται η ποιότητα υπηρεσιών (QoS) για εφαρμογές πραγματικού χρόνου που εκτελούνται πάνω σε ένα WLAN.
- Ασφάλεια: Από τη στιγμή που το μέσο μεταφοράς δεδομένων είναι τα ραδιοκύματα υπάρχει η περίπτωση να δημιουργηθούν παρεμβολές με άλλες συσκευές. Η μεγαλύτερη πρόκληση που έχουν να αντιμετωπίσουν σήμερα οι παροχείς WiFi είναι να αποτρέψουν μη εξουσιοδοτημένους χρήστες να έχουν πρόσβαση στο ασύρματο δίκτυο.

1.3 Εφαρμογές Ασύρματων Δικτύων

Κατά την αρχική περίοδο της ανάπτυξής τους τα ασύρματα δίκτυα προορίζονταν ως αντικαταστάτες των ενσύρματων, αυτό σήμερα έχει αλλάξει. Τα ενσύρματα δίκτυα προσφέροντας πολύ μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης, μεγαλύτερη ασφάλεια αλλά και σχετική ευκολία εγκατάστασης (τα σύγχρονα κτίρια διαθέτουν σχεδόν πάντα τη σχετική καλωδίωση) δεν πρόκειται να αντικατασταθούν εξολοκλήρου. Τα ασύρματα δίκτυα έχουν σήμερα τέσσερις βασικές εφαρμογές.

- Επέκταση των ενσύρματων LAN: Τα ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση των χρηστών με το βασικό κορμό (backbone) του ενσύρματου δικτύου. Έτσι δεν απαιτείται η ύπαρξη καλωδίωσης μέχρι τον τελικό χρήστη, που μπορεί να είναι δύσκολο και οικονομικά ασύμφορο να εγκατασταθεί.
- Διασύνδεση μεταξύ κτιρίων: Είναι δυνατόν με την τεχνολογία των ασυρμάτων δικτύων να κατασκευαστούν ζεύξεις μεταξύ κτιρίων. Οι

συσκευές που συνδέονται στα δύο άκρα της ζεύξης είναι συνήθως δρομολογητές (routers) ή γέφυρες (bridges).

- Σποραδική πρόσβαση στο δίκτυο: Ασύρματα δίκτυα μπορούν να εγκατασταθούν σε χώρους όπου κινούνται διάφοροι χρήστες ελεύθερα, όπως σε βιβλιοθήκες, εκπαιδευτικά ιδρύματα ή χώρους εργασίας, για να προσφέρουν πρόσβαση στο ενσύρματο δίκτυο του εκάστοτε οργανισμού. Σημαντικό θέμα σε αυτήν την περίπτωση είναι φυσικά η ασφάλεια των δεδομένων.
- Δημιουργία Ad – Hoc δικτύων : Τα δίκτυα ad-hoc είναι αποκεντρωμένα peer-to-peer δίκτυα, που συνήθως δημιουργούνται για να ικανοποιήσουν άμεσα μία συγκεκριμένη ανάγκη. Τέτοια δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παράδειγμα σε συνεδριακούς χώρους ή σε αίθουσες διδασκαλίας, οπότε οι συμμετέχοντες μπορούν να ανταλλάσσουν δεδομένα μέσω του προσωρινού ασυρμάτου δικτύου, χωρίς να απαιτείται οποιαδήποτε εκ των προτέρων διαμόρφωση του χώρου.

1.4 Τεχνικές Μετάδοσης

Οι τεχνικές μετάδοσης είναι πέντε και χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- Με Υπέρυθρες
- Με Εξάπλωση Φάσματος (Spectrum Spread)
- Με Ορθογώνια Πολύπλεξη Διαίρεση Συχνότητας OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

Υπέρυθρες : Η υπέρυθρη επιλογή χρησιμοποιεί διάχυτη μετάδοση στα 0.85 ή 0.95 microm και επιτρέπονται δύο ταχύτητες: 1 Mbps και 2 Mbps. Τα υπέρυθρα σήματα δεν μπορούν να διαπεράσουν τους τοίχους, έτσι οι κυψέλες που βρίσκονται σε διαφορετικά δωμάτια είναι καλά απομονωμένες η μία από την άλλη. Λόγω του χαμηλού εύρους ζώνης και του γεγονότος ότι το φως του ήλιου εξαφανίζει τα υπέρυθρα σήματα, η επιλογή αυτή δεν είναι δημοφιλής.

Εξάπλωση Φάσματος

- Με Συνεχή Αλλαγή Συχνότητας-FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum): Χρησιμοποιείται μία γεννήτρια ψευδοτυχαίων αριθμών για την παραγωγή της ακολουθίας συχνοτήτων στις οποίες μεταβαίνουν διαδοχικά οι σταθμοί. Η χρονική διάρκεια στην οποία μένουν οι σταθμοί στη ίδια συχνότητα είναι μία ρυθμιζόμενη παράμετρος (χρόνος παραμονής) και θα πρέπει να είναι μικρότερη από 400 msec. Η παραγωγή της τυχαίας ακολουθίας παρέχει ένα δίκαιο τρόπο εκχώρησης του φάσματος καθώς επίσης και κάποια περιορισμένη ασφάλεια, αφού ένας εισβολέας που δεν γνωρίζει την ακολουθία συχνοτήτων ή το χρόνο παραμονής δεν μπορεί να υποκλέψει τις μεταδόσεις. Είναι επίσης ανθεκτική στις ραδιοκυματικές μεταβολές. Κύρια μειονεκτήματα αυτής της τεχνικής είναι το χαμηλό εύρος ζώνης και ότι σε μεγάλες αποστάσεις μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα η εξασθένηση των πολλαπλών διαδρομών.
- Άμεσης Ακολουθίας – DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum): Περιορίζεται στα 1 ή 2 Mbps. Κάθε bit μεταδίδεται ως 11 θραύσματα, χρησιμοποιώντας την ονομαζόμενη ακολουθία Baker. Χρησιμοποιεί διαμόρφωση μετατόπισης φάσης στο 1 Mbaud, με μετάδοση 1 bit ανά baud για λειτουργία στο 1 Mbps και 2 bit ανά baud για λειτουργία στο 2 Mbps. Επί χρόνια ήταν απαίτηση όλος ο εξοπλισμός της ασύρματης επικοινωνίας που λειτουργούσε στις ζώνες ISM στις Η.Π.Α, να χρησιμοποιεί αυτή τη τεχνική αλλά το 2002 αυτό καταργήθηκε.
- Άμεσης Ακολουθίας Υψηλού Ρυθμού Μετάδοσης – HRDS (High Rate - Direct Sequence Spread Spectrum) : Χρησιμοποιεί 11 εκατομμύρια θραύσματα/sec για να επιτύχει ταχύτητα 11 Mbps στη ζώνη των 2.4 Ghz. Οι ρυθμοί μετάδοσης των δεδομένων που υποστηρίζονται είναι 1, 2, 5.5 και 11 Mbps. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων μπορεί να προσαρμοστεί δυναμικά κατά τη λειτουργία του συστήματος, ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη δυνατή ταχύτητα κάτω από τις τρέχουσες συνθήκες φορτίου και θορύβου.

Ορθογώνια Πολύπλεξη με Διαίρεση Συχνότητας - OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) : Χρησιμοποιούνται διαφορετικές 52 συχνότητες, 48 για δεδομένα και 4 για συγχρονισμό. Αυτή η διαίρεση του φάσματος σε πολλές στενές ζώνες έχει κάποια βασικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τη χρήση μίας μόνο ευρείας ζώνης, μερικά από τα οποία είναι η καλύτερη ανοχή σε παρεμβολές στενής ζώνης και η δυνατότητα χρήσης μη συνεχόμενων ζωνών. Χρησιμοποιείται ένας περίπλοκος αλγόριθμος κωδικοποίησης ο οποίος βασίζεται σε διαμόρφωση μετατόπισης φάσης για ταχύτητες μέχρι τα 18 Mbps και σε QAM για τις μεγαλύτερες ταχύτητες. Η τεχνική αυτή έχει καλή αποδοτικότητα φάσματος και καλή αντοχή στην εξασθένηση των πολλαπλών μεταδόσεων.

1.5 Ποιότητα υπηρεσιών (Quality of Services)

Ο όρος ποιότητα υπηρεσιών (QoS) 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 (π.χ. Εφαρμογές πραγματικού χρόνου, όπως VoIP, HDTV 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 και άλλων πολλών. Οι μηχανισμοί QoS παρέχουν εγγυήσεις για τη σταθερότητα ενός ή περισσότερων από αυτά τα χαρακτηριστικά της σύνδεσης υπό συνθήκες συμφόρησης και περιορισμένης χωρητικότητας του τηλεπικοινωνιακού καναλιού.

Οι ασύρματες επικοινωνίες αρχικά αναπτύχθηκαν για στρατιωτική χρήση, εξαιτίας όμως της ευελιξίας, της ευκινησίας, της επεκτασιμότητας και του χαμηλού κόστους η χρήση τους εξαπλώθηκε σε πλήθος εφαρμογών. Σε αντίθεση όμως με τα ενσύρματα δίκτυα που υποστηρίζουν πλήρως QoS υπηρεσίες τα ασύρματα δίκτυα αδυνατούν. Λύση σε αυτή τους την αδυναμία προσπαθεί να δώσει το πρότυπο 802.11e το οποίο θα μελετήσουμε στην παρούσα εργασία.

1.6 Επίλογος

Ανακεφαλαιώνοντας τα ασύρματα δίκτυα εξαλείφουν την ανάγκη των καλωδίων για την διασύνδεση των τελικών χρηστών και παρέχουν ένα εύκολο τρόπο για την πρόσβαση στο δίκτυο και τις υπηρεσίες του. Το μέσο μετάδοσης των ασύρματων δικτύων είναι ο αέρας και οι τεχνικές μετάδοσης χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, τις υπέρυθρες, την εξάπλωση φάσματος και την ορθογώνια πολύπλεξη. Ο τρόπος λειτουργίας τους είναι παρόμοιος με των ενσύρματων. Ένα ασύρματο δίκτυο το συναντάμε είτε σε μορφή infrastructure είτε σε μορφή ad-hoc. Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα όπου εντάσσονται στα ασύρματα δίκτυα έχουν γνωρίσει τεράστια άνθιση τα τελευταία χρόνια με κύριο όμως μειονέκτημα τους το γεγονός του μη διαχωρισμού των κατηγοριών κίνησης με αποτέλεσμα την αδυναμία υποστήριξης QoS υπηρεσιών. Κύριος εκπρόσωπος ενός WLAN είναι το πρότυπο IEEE 802.11. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί θα γίνει εκτενής αναφορά στο πρότυπο IEEE 802.11, στις βασικές μονάδες και την τοπολογία του, στη μορφή του MAC πλαισίου, στους αλγόριθμους που υλοποιεί για την πρόσβαση στο μέσο μετάδοσης και στις υπηρεσίες που προσφέρει.

2.1 Εισαγωγή

Το πρότυπο 802.11 ανακοινώθηκε από την IEEE το 1997. Στη συνέχεια ανακοινώθηκαν συμπληρωματικά πρότυπα, όπως το 802.11a και 802.11b το 1999, το 802.11g το 2003 και το 802.11n το 2009 με το τελευταίο να προσφέρει σημαντική αύξηση του throughput του δικτύου. Τα ασύρματα δίκτυα που βασίζονται σε αυτήν την οικογένεια προτύπων είναι τα πιο δημοφιλή, ενώ διατίθεται στην αγορά μια μεγάλη ποικιλία σχετικών προϊόντων.

Τα επίπεδα του μοντέλου OSI (Open System Interconnection) τα οποία αναφέρεται το 802.11 είναι τα δύο χαμηλότερα, δηλαδή το φυσικό επίπεδο (Physical Layer – PHY) και το επίπεδο ζεύξης δεδομένων και πιο συγκεκριμένα στο υποεπίπεδο MAC (Medium Access Control).

Το πρότυπο 802.11 στηρίζεται στην ύπαρξη ενός μόνο MAC που υποστηρίζει περισσότερα του ενός φυσικά επίπεδα. Κάθε φυσικό επίπεδο χωρίζεται σε δύο υποεπίπεδα, το PLCP (Physical Layer Converge Procedure) και το PMD (Physical Medium Dependent). Το υποεπίπεδο PLCP χρησιμοποιείται για την προσαρμογή των διαφόρων φυσικών επιπέδων στο κοινό MAC ενώ το υποεπίπεδο PMD περιέχει όλες που είναι απαραίτητες για τη μετάδοση της πληροφορίας από το εκάστοτε φυσικό επίπεδο.

2.2 Βασικές Μονάδες και Τοπολογία

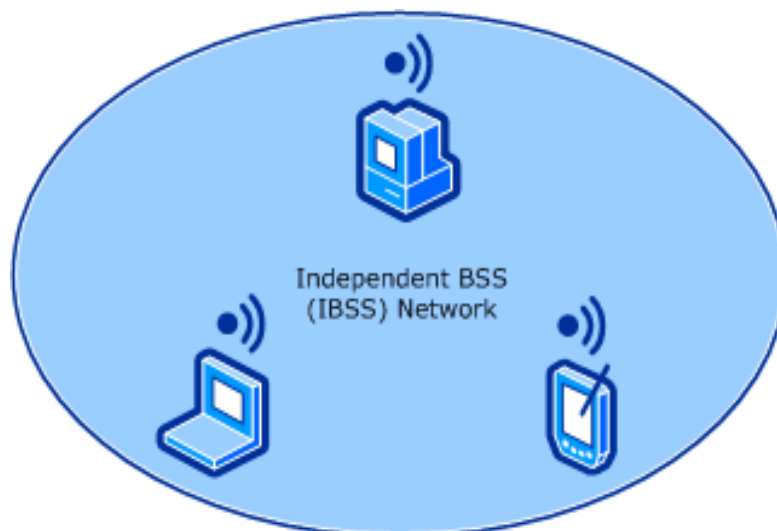
Οι βασικές μονάδες ενός δικτύου 802.11 είναι τέσσερις. Αυτές είναι:

- Σημείο πρόσβασης (Access Point – AP): Βασική λειτουργία ενός AP να μετατρέπει κατάλληλα τα πλαίσια που ανταλλάσσονται μεταξύ των ενσύρματων και των ασύρματων δικτύων.
- Σύστημα διανομής (Distribution System): Το σύστημα διανομής ενώνει τα AP που ανήκουν στο ίδιο δίκτυο, έτσι μπορούν να ανταλλάσσουν πλαίσια. Δεν προσδιορίζεται όμως ο τρόπος που θα γίνεται αυτό.

- Ασύρματο μέσο μετάδοσης (Wireless Medium): Οι σταθμοί των ασυρμάτων δικτύων για την μετάδοση των πλαισίων τους χρησιμοποιούν είτε ραδιοσυχνότητες είτε υπέρυθρες ακτίνες.
- Σταθμοί (Stations): Οι σταθμοί που ανταλλάσσουν δεδομένα ασυρμάτου δικτύου είναι συνήθως φορητές συσκευές.

Κάθε ασύρματο δίκτυο 802.11 αποτελείται από μία ομάδα σταθμών που επικοινωνούν μεταξύ τους όπου είναι και η βασική δομική μονάδα τους όπου αποκαλείται Basic Service Set (BSS). Basic Service Area (BSA) είναι η περιοχή ραδιοκάλυψης του BSS. Σε ένα BSS ένας σταθμός μπορεί να επικοινωνεί με με οποιοδήποτε άλλο σταθμό στο ίδιο BSS. Επιπρόσθετα ορίζονται δύο είδη ασύρματων δικτύων με βάση δύο βασικών τοπολογιών, τα ad hoc δίκτυα και τα δίκτυα υποδομής (infrastructure networks).

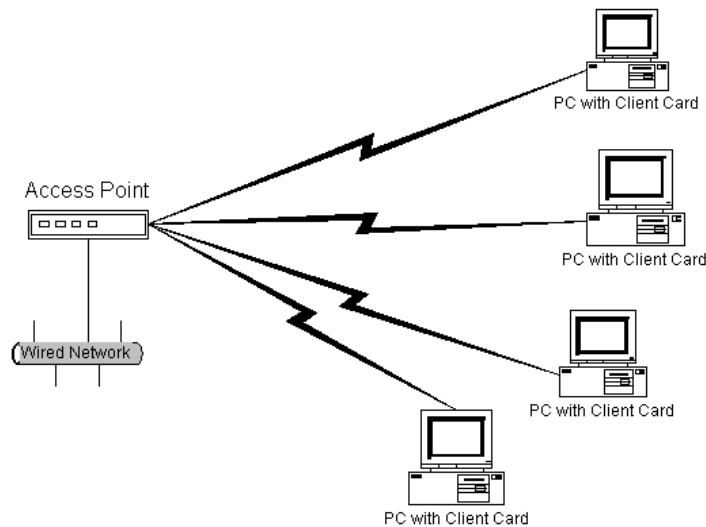
Σε ένα ad hoc δίκτυο οι σταθμοί επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους, το BSS σε αυτήν την περίπτωση ονομάζεται και IBSS (Independent BSS). Το IBSS αποτελείται το λιγότερο από δύο σταθμούς και συνήθως είναι προσωρινό, δημιουργείται για κάποιο σκοπό και μετά διαλύεται. Αυτός είναι και ο απλούστερος τύπος ασύρματου δικτύου. Ένα IBSS αναπαριστάται στην εικόνα 2.1:



Εικόνα 2.1: Τοπολογία IBSS

Στο infrastructure δίκτυο, το BSS χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη ενός AP όπου συνδέει το BSS με το ενσύρματο δίκτυο, είναι υπεύθυνο για την ανταλλαγή πλαισίων μεταξύ των σταθμών και γενικότερα για τον κεντρικό έλεγχο της λειτουργίας του BSS. Ένας σταθμός όταν θελήσει να μεταδώσει ένα πλαίσιο σε έναν άλλο σταθμό πρέπει το πλαίσιο να μεταδοθεί στο AP και αυτό το αναμεταδίδει στον τελικό προορισμό του. Σε αυτήν την περίπτωση η BSA είναι η περιοχή όπου υπάρχει ραδιοκάλυψη από το AP, έτσι για να επικοινωνήσουν μεταξύ τους οι σταθμοί αρκεί να βρίσκονται στη περιοχή ραδιοκάλυψης του AP, άσχετα με την μεταξύ τους απόσταση. Για να μπορέσει ένας σταθμός να είναι μέρος ενός BSS θα πρέπει να ακολουθήσει τη διαδικασία association με το AP. Η συγκεκριμένη διαδικασία ξεκινάει πάντα με πρωτοβουλία του σταθμού και το AP είναι αυτό που θα αποφασίσει αν τελικά ο σταθμός θα γίνει δεκτός στο BSS. Ενώ δεν υπάρχει μέγιστος αριθμός σταθμών που μπορούν να συμμετάσχουν σε ένα BSS, τίθενται περιορισμοί στις διάφορες υλοποιήσεις AP.

Αν ενώσουμε τα APs των BSSs μέσω ενός ενσύρματου δικτύου κορμού τότε αυτά συνδέονται μεταξύ τους με αποτέλεσμα να δημιουργούν ένα Extended Service Set (ESS). Έτσι καθίσταται δυνατή η επικοινωνία μεταξύ σταθμών όπου ανήκουν σε διαφορετικά BSSs. Το ESS τελειώνει όταν παρεμβληθεί μεταξύ των APs οντότητα δικτύου που λειτουργεί σε υψηλότερο επίπεδο, όπως είναι ο δρομολογητής. Εάν το δίκτυο κορμού είναι ένα απλό LAN τότε το 802.11 είναι ικανό να προσφέρει κινητικότητα σε ένα ESS. Σε κάθε άλλη περίπτωση η σύνδεση στα ανώτερα επίπεδα θα χαθεί, εκτός αν χρησιμοποιείται κάποια άλλη τεχνολογία όπως το Mobile IP.

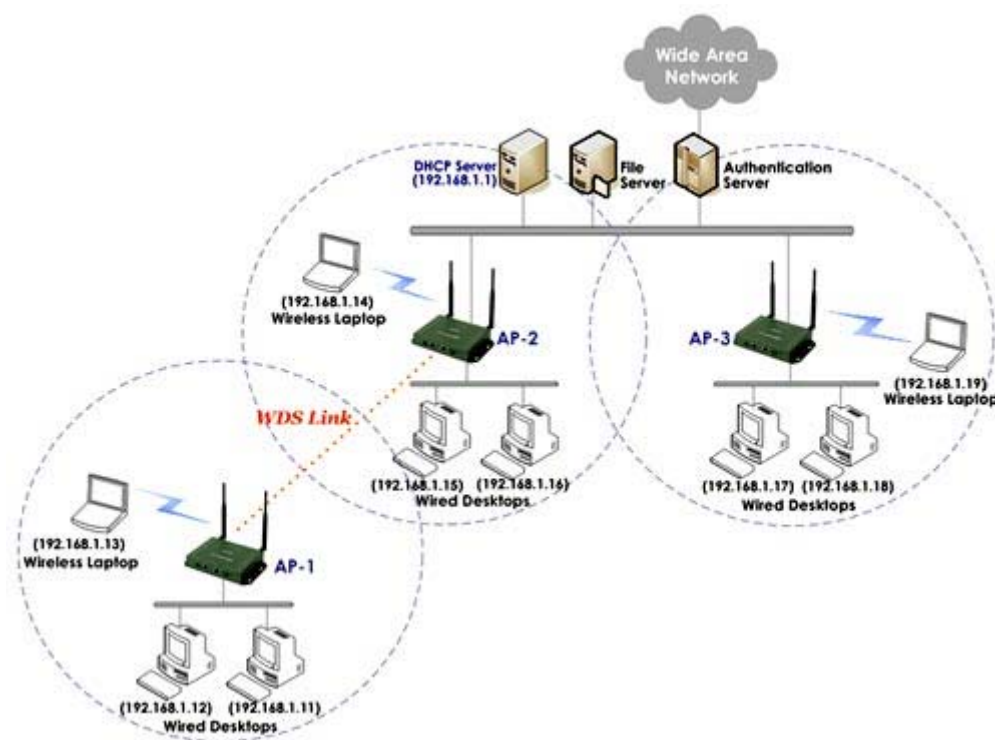


Εικόνα 2.2: Τοπολογία infrastructure BSS

2.3 Σύστημα Διανομής

Παρόλο που στο πρότυπο 802.11 δεν περιγράφεται η υλοποίηση του, το σύστημα διανομής παίζει σημαντικό ρόλο στη λειτουργία του αφού όπως αναφέρθηκε προηγουμένως το σύστημα διανομής έχει την ευθύνη για τη διασύνδεση BSSs καθώς και τη δημιουργία ESSs. Έτσι καθίσταται δυνατή η ανταλλαγή πλαισίων ανάμεσα σε σταθμούς διαφορετικών BSS εντός του ίδιου ESS.

Προκειμένου να επιτευχθεί η σωστή παράδοση των πλαισίων τα APs πρέπει να επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω του συστήματος διανομής χρησιμοποιώντας ένα πρωτόκολλο που ονομάζεται Inter Access Point Protocol (IAPP). Αφού ανά πάσα στιγμή κάθε σταθμός μπορεί να ανήκει σε ένα μόνο BSS, έχοντας δημιουργήσει association με το αντίστοιχο AP θα πρέπει όλα τα υπόλοιπα APs να ενημερώνονται μέσω του συστήματος διανομής ώστε να πραγματοποιηθεί η προώθηση των πλαισίων προς το συγκεκριμένο σταθμό το κατάλληλο AP. Στην εικόνα 2.3 φαίνεται η λειτουργία ενός συστήματος διανομής.



Εικόνα 2.3 : Σύστημα Διανομής

Μπορούμε να παρομοιάσουμε τα APs σαν γέφυρα μεταξύ του συστήματος διανομής και του ασυρμάτου δικτύου και να θεωρηθούν ως μέρη του συστήματος διανομής, τουλάχιστον όσο αναφορά το interface τους προς το ενσύρματο LAN που αποτελεί το μέσο μετάδοσης του συστήματος διανομής. Ας υποθέσουμε ότι στην εικόνα 2.3 ο σταθμός (STA1) ο οποίος ανήκει στην περιοχή ραδιοκάλυψης του AP1 θέλει να στείλει ένα πλαίσιο σε ένα σταθμό (STA2) ο οποίος ανήκει στην περιοχή ραδιοκάλυψης του AP2. Ο STA1 πρέπει να αποστείλει το πλαίσιο στο AP1, να μετατραπεί σε πλαίσιο του μέσου μετάδοσης του συστήματος διανομής (συνήθως Ethernet), να μεταδοθεί στο AP2 που εξυπηρετεί το STA2, να μετατραπεί ξανά σε πλαίσιο 802.11 και να μεταδοθεί από το AP2 στον STA2.

Το σύστημα διανομής είναι δυνατόν να είναι κι αυτό ασύρματο δίκτυο. Τέτοια περίπτωση είναι η διασύνδεση δύο LANs σε διαφορετικές φυσικές τοποθεσίες μέσω μιας ασύρματης ζεύξης σημείο – προς – σημείο. Τότε το ασύρματο δίκτυο χρησιμεύει ως γέφυρα που ενώνει τα δύο LANs στο στρώμα ζεύξης δεδομένων. Ο μηχανισμός αυτός ονομάζεται wireless bridging.

Πρέπει τέλος να επισημάνουμε το γεγονός ότι οι σταθμοί του ασυρμάτου δικτύου χρησιμοποιούν διευθύνσεις MAC των 48 bit, κάτι που κάνει τη θεώρηση του ασύρματου δικτύου ως επέκταση του ενσύρματου ευκολότερη.

2.4 Υπηρεσίες Ασύρματου Δικτύου 802.11

Οι βασικές υπηρεσίες που προσφέρει ένα ασύρματο δίκτυο 802.11 είναι εννέα στο σύνολο τους. Οι τρεις σχετίζονται με τη μεταφορά δεδομένων ενώ οι υπόλοιπες έξι με τη διαχείριση. Αυτές είναι οι εξής:

- **Authentication**: Πρέπει κάθε χρήστης να πιστοποιεί την ταυτότητά του πριν να προχωρήσει στη διαδικασία του association αλλά μόνο στην περίπτωση που απαιτείται από το διαχειριστή του δικτύου.
- **Association**: Διαδικασία συσχετισμού ενός σταθμού με το AP, προκειμένου να είναι ο σταθμός να μπορεί να στείλει και να δεχτεί πλαίσια μέσω του ασυρμάτου δικτύου.
- **Reassociation**: Χρησιμοποιείται από mobile σταθμούς σε περίπτωση μετακίνησης από μία BSS σε μία άλλη. Είναι μέρος του μηχανισμού της διαπομπής.
- **Disassociation**: Η διαδικασία αυτή αφαιρεί έναν σταθμό από το δίκτυο. Το MAC του 802.11 μπορεί να χειριστεί και σταθμούς που εγκαταλείπουν το δίκτυο χωρίς να κάνουν πρώτα disassociation.
- **Deauthentication**: Μέσω αυτής της υπηρεσίας τερματίζεται μια ισχύουσα κατάσταση authentication. Τερματίζει και το association, εφόσον το authentication είναι προαπαιτούμενο αυτού.
- **Distribution**: Μέσω αυτής της υπηρεσίας πραγματοποιείται η παράδοση ενός πλαισίου από το AP στον τελικό προορισμό του. Είναι απαραίτητη για τον εντοπισμό του παραλήπτη ώστε να είναι εφικτή η τελική παράδοση του πλαισίου.
- **Integration**: Αυτή η υπηρεσία απαιτείται για τη διασύνδεση του συστήματος διανομής σε ένα δίκτυο διαφορετικό του 802.11. Παρέχεται από το σύστημα διανομής.

- MSDU (MAC Service Data Unit) Delivery: Αυτή η υπηρεσία είναι υπεύθυνη για τη παράδοση των πλαισίων MAC στον τελικό προορισμό τους.
- Privacy: Λόγω του ασύρματου περιβάλλοντος μετάδοσης έχουν οριστεί από το 802.11 προαιρετικές υπηρεσίες κρυπτογράφησης των δεδομένων. Τέτοιες είναι, η WEP (Wired Equivalent Privacy) το οποίο έχει πλέον αντικατασταθεί καθώς δεν προσφέρει ασφαλής μεταφορά δεδομένων, οι WPA (WiFi Protected Access) και WPA2 οι οποίες δημιουργήθηκαν με σκοπό την βελτίωση της WEP και τέλος η WPS (WiFi Protected Setup) όπου δημιουργήθηκε με σκοπό να απλοποιηθεί η διαδικασία της ταυτοποίησης σε ένα ασύρματο οικιακό δίκτυο.

2.5 Υπόστρωμα MAC 802.11

Ένα σημαντικό κομμάτι της προτυποποίησης 802.11 είναι το υπόστρωμα MAC. Προσφέρει υπηρεσίες αξιόπιστης μεταφοράς δεδομένων και πρόσβασης στο μέσο στα ανώτερα στρώματα υποστηρίζοντας παράλληλα όλα τα φυσικά στρώματα. Έχει αρκετές διαφορές από το αντίστοιχο MAC ενσύρματων δικτύων οι οποίες οφείλονται στις ιδιαιτερότητες του ασύρματου μέσου μετάδοσης που χρησιμοποιείται στο φυσικό επίπεδο. Εξαιτίας της αδυναμίας του δέκτη να αντιλαμβάνεται την κατάσταση του ασύρματου μέσου την χρονική στιγμή που μεταδίδει κάποιο πλαίσιο, ο μηχανισμός που επιλέχθηκε για τη πρόσβαση στο μέσο είναι ο CSMA (Carrier Sense Multiple Access) με αποφυγή συγκρούσεων CA (Collision Avoidance). Ο λόγος που δε προτιμήθηκε ο μηχανισμός ανίχνευσης συγκρούσεων CD (Collision Detection) που χρησιμοποιείται στο 802.3 ήταν για να αποφευχθούν όσο το δυνατόν περισσότερο οι συγκρούσεις, καθώς το φαινόμενο της σύγκρουσης (δύο ή περισσότεροι σταθμοί μεταδίδουν την ίδια ακριβώς χρονική στιγμή) γίνεται αντιληπτό από τους σταθμούς εργασίας μόνο εκ του αποτελέσματος που είναι φυσικά η μη παράδοση των πακέτων της πληροφορίας. Η αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων μεταξύ των διαφόρων κόμβων γίνεται ακόμα πιο δύσκολη εξαιτίας του ασύρματου φυσικού μέσου. Η κακή ποιότητα της ασύρματης ζεύξης λόγω θορύβου ή παρεμβολών, η πιθανότητα κάποιος κόμβος

να βγει προσωρινά εκτός της περιοχής κάλυψης του δικτύου και η ύπαρξη κρυμμένων κόμβων (hidden nodes) είναι προβλήματα που δεν υπάρχουν σε ενσύρματα δίκτυα. Για να αντιμετωπιστούν τα παραπάνω το MAC του 802.11 προσφέρει κατάλληλους μηχανισμούς, όπως η θετική επιβεβαίωση (positive acknowledgment) κάθε πλαισίου και την ανταλλαγή πλαισίων RTS (Ready To Send) και CTS (Clear To Send) πριν την μετάδοση κάποιου πλαισίου, ο τελευταίος χρησιμοποιείται κυρίως για την αντιμετώπιση της περίπτωσης hidden node.

2.6 Πρόσβαση στο μέσο και Μηχανισμός Ανίχνευσης Φέροντος

Όπως ήδη αναφέραμε παραπάνω για την πρόσβαση στο 802.11 MAC χρησιμοποιείται ο μηχανισμός πρόσβασης CSMA/CA. Υπάρχουν δύο τρόποι λειτουργίας που χρησιμοποιούν δύο διαφορετικούς αλγόριθμους. Ο ένας τρόπος είναι αποκεντρωμένος και χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο DCF (Distributed Coordination Function) και ο άλλος είναι με κεντρικό έλεγχο τον οποίο επιτυγχάνει μέσω του αλγόριθμου PCF (Point Coordination Function). Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται ο PCF, ο χρόνος χωρίζεται σε περιόδους ανταγωνισμού για την πρόσβαση στο μέσο contention period (CP), όπου χρησιμοποιείται ο DCF και περιόδους μη ανταγωνισμού (CFP). Αφού ο PCF εκτελείται μόνο σε AP μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε infrastructure δίκτυα.

Στα ασύρματα δίκτυα εξαιτίας του μεγάλου αριθμού στα σχήματα διαμόρφωσης που χρησιμοποιούνται, των διαφόρων περιπτώσεων όσο αφορά τις αποστάσεις μεταξύ των σταθμών αλλά και με το πρόβλημα των hidden nodes είναι πολύ δύσκολο να δημιουργηθεί αξιόπιστος μηχανισμός ανίχνευσης φέροντος που να λειτουργεί αποκλειστικά στο φυσικό επίπεδο. Εξαιτίας αυτού το πρότυπο 802.11 προβλέπει και έναν δεύτερο μηχανισμό ανίχνευσης φέροντος που λειτουργεί μόνο στο υποεπίπεδο MAC. Ονομάζεται εικονικός μηχανισμός ανίχνευσης φέροντος (virtual carrier sensing) και χρησιμοποιεί έναν μετρητή χρόνου που ονομάζεται NAV (Network Allocation Vector). Ο μετρητής αυτός συμπεριλαμβάνεται στα πλαίσια που ανταλλάσσονται. Κάθε σταθμός θέτει το πεδίο αυτό ίσο με το χρόνο που θέλει να κρατήσει δεσμευμένο το μέσο μετάδοσης, όταν φυσικά αποκτήσει το δικαίωμα να το κάνει. Οι υπόλοιποι σταθμοί βλέποντας

ότι το πεδίο NAV είναι μη μηδενικό καταλαβαίνουν ότι το μέσο είναι δεσμευμένο και ξεκινάνε έναν αντίστροφο τοπικό μετρητή με αρχική τιμή ίση με NAV, αν η τιμή του NAV είναι μεγαλύτερη από την υπάρχουσα τιμή του τοπικού μετρητή αυτού. Με χρήση του NAV οι σταθμοί μπορούν να επιτελέσουν συγκεκριμένες ενέργειες χωρίς να χάσουν τον έλεγχο του μέσου μετάδοσης.

2.7 Χρόνοι Αναμονής

Ο καθένας από τους παραπάνω αλγορίθμους χρησιμοποιεί διάφορες χρονικές παραμέτρους για τον έλεγχο της πρόσβασης στο μέσο. Όταν ένας σταθμός θέλει να μεταδώσει κάποιο πλαίσιο, πρώτα περιμένει ένα ορισμένο χρονικό διάστημα (interframe space) και εφόσον δεν ανιχνεύσει άλλη μετάδοση σε αυτό τότε μπορεί να προχωρήσει στη διαδικασία απόκτησης πρόσβασης στο μέσο, όπου βέβαια διαφέρει ανάλογα με τον αλγόριθμο που χρησιμοποιείται. Το χρονικό διάστημα εξαρτάται και από τον τύπο του πλαισίου που πρόκειται να μεταδοθεί. Οι χρόνοι αναμονής είναι οι εξής:

- Short Inter-Frame Space (SIFS): Είναι ο μικρότερος χρόνος αναμονής και χρησιμοποιείται για μεταδόσεις μέγιστης προτεραιότητας, όπως είναι τα πλαίσια RTS/CTS και οι επιβεβαιώσεις.
- PCF Inter-Frame Space (PIFS): Είναι μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από ότι είναι το SIFS και χρησιμοποιείται αποκλειστικά σε συνδυασμό με τον αλγόριθμο PCF. Οι σταθμοί περιμένουν PIFS χρόνο πριν μεταδώσουν κατά την περίοδο που την πρόσβαση στο μέσο ελέγχει ο PCF αποκτώντας προτεραιότητα έναντι αυτών που προσπαθούν να μεταδώσουν με χρήση του DCF.
- DCF Inter-Frame Space (DIFS): Ο χρόνος αναμονής για μετάδοση πλαισίου μετά από επιτυχή προηγούμενη μετάδοση στο μέσο. Αναφέρεται σε λειτουργία με βάση τον αλγόριθμο DCF (περίοδος με ανταγωνισμό - contention period) και είναι μεγαλύτερος σε διάρκεια από τους δύο προηγούμενους χρόνους.

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

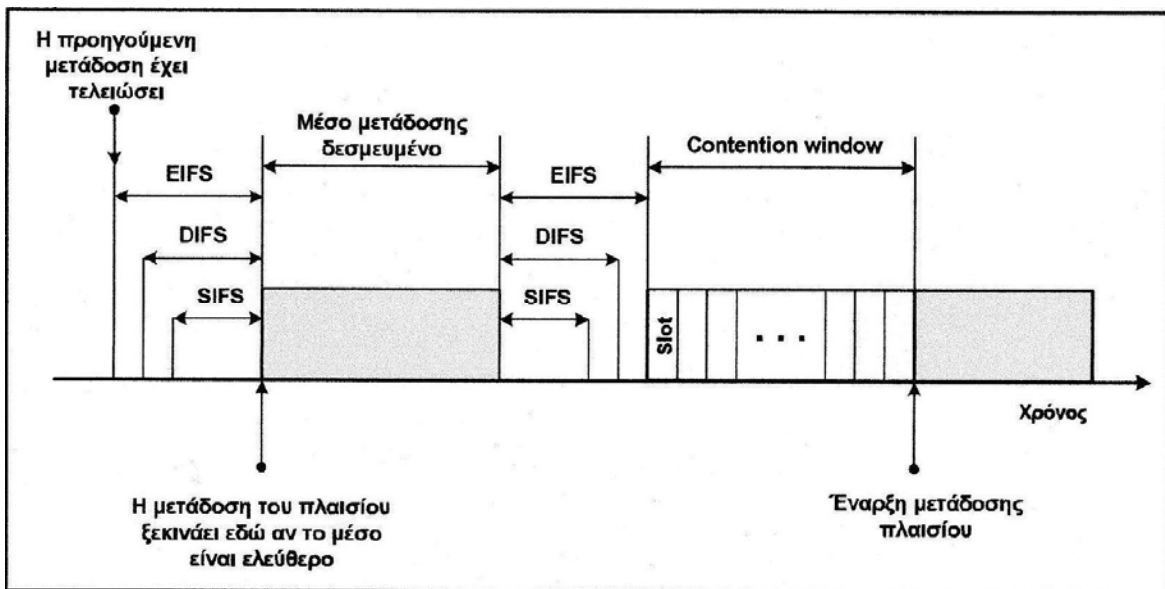
2.8 Χρήση του αλγορίθμου DCF για τη πρόσβαση στο μέσο

Ο DCF αλγόριθμος είναι αποκεντρωμένος και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η χρήση να είναι εφικτή σε κάθε είδους ασύρματο δίκτυο. Τα βήματα που πρέπει να εκτελέσει ένα σταθμός πριν την εκπομπή κάποιου πλαισίου είναι τα ακόλουθα:

- Ο σταθμός πριν επιχειρήσει να εκπέμψει, ελέγχει το μέσο για να δει αν είναι διαθέσιμο αν δηλαδή δεν εκπέμπει κάποιος άλλος σταθμός εκείνη τη χρονική στιγμή. Ο έλεγχος γίνεται τόσο σε φυσικό επίπεδο όσο και μέσω εικονικής ανίχνευσης φέροντος.
- Στην περίπτωση που το μέσο μετάδοσης είναι δεσμευμένο τότε ο σταθμός συνεχίζει περιοδικά τον έλεγχο του ασύρματου μέσου μέχρι να αποδεσμευτεί. Όταν το μέσο ελευθερωθεί ο σταθμός περιμένει ένα χρονικό διάστημα που εξαρτάται από το είδος του πλαισίου που θέλει να μεταδώσει (IFS) και ελέγχει ξανά το μέσο. Ο χρόνος αναμονής που χρησιμοποιείται συνήθως είναι ο DIFS. Στην περίπτωση που ο σταθμός θέλει να στείλει πλαίσιο CTS, πλαίσιο θετικής επιβεβαίωσης (ACK), ή τμήμα μεγαλύτερου πλαισίου τότε ο χρόνος αναμονής είναι ο SIFS. Στην περίπτωση που η μετάδοση του προηγούμενου πλαισίου περιείχε λάθη τότε ο χρόνος αναμονής είναι ο EIFS.
- Αν το μέσο είναι ελεύθερο ο σταθμός απλά μεταδίδει το πλαίσιο που θέλει. Αν το μέσο είναι δεσμευμένο ο σταθμός περιμένει μέχρι το μέσο να μείνει ελεύθερο για IFS. Τότε ξεκινάει τη διαδικασία της δυαδικής εκθετικής υποχώρησης (binary exponential backoff) για να καθορίσει πόσο θα είναι το επιπλέον χρονικό διάστημα αναμονής. Αυτό γίνεται επιλέγοντας τυχαία μια

σχισμή του παραθύρου ανταγωνισμού (contention window). Αφού περάσει και αυτό το τελευταίο χρονικό διάστημα, ο σταθμός μεταδίδει το πλαίσιο που θέλει.

- Αν η μετάδοση είναι αποτυχημένη θεωρείται ότι έχει συμβεί σύγκρουση (collision). Τότε ο σταθμός επιλέγει πάλι τυχαία μια σχισμή του contention window, το οποίο όμως είναι μεγαλύτερο αυτή τη φορά, και επιχειρεί ξανά να μεταδώσει. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να υπάρξει επιτυχής μετάδοση του πλαισίου ή να απορριφθεί το πλαίσιο.



Εικόνα 2.4: Η διαδικασία πρόσβασης στο μέσο με χρήση του DCF

Όλα τα παραπάνω αντιπροσωπεύουν τον τρόπο με τον οποίο ο σταθμός προσπαθεί να αποκτήσει πρόσβαση στο μέσο, υπάρχουν όμως και άλλα βήματα τα οποία συμπληρώνουν τα προηγούμενα. Αυτά εξαρτώνται άμεσα από την κατάσταση ή από την κατάληξη της προηγούμενης μετάδοσης. Μερικά από αυτά τα βήματα είναι τα εξής:

- Επιτυχημένη θεωρείται η μετάδοση ενός πλαισίου μόνο αν ληφθεί σωστά και το αντίστοιχο πλαίσιο Ack. Όλα τα πλαίσια πρέπει να επιβεβαιώνονται από τον παραλήπτη. Είναι ευθύνη του αποστολέα να στείλει ξανά το πλαίσιο αν δεν ληφθεί η ανάλογη επιβεβαίωση. Κάθε αποτυχία αποστολής που οφείλεται είτε σε αδυναμία ελέγχου του μέσου είτε σε μη λήψη Ack

αυξάνει έναν μετρητή (retry counter) που χρησιμεύει για τον προσδιορισμό του χρόνου μέχρι την επόμενη προσπάθεια αποστολής του πλαισίου. Κάθε φορά που επανεκπέμπεται το πλαίσιο που δεν έχει ληφθεί ο retry counter που αντιστοιχεί στο πλαίσιο αυξάνεται κατά 1. Αν ο μετρητής ξεπεράσει κάποιο προκαθορισμένο όριο, το πλαίσιο απορρίπτεται και η απώλειά του αναφέρεται στα υψηλότερα στρώματα.

- Κάθε σταθμός που συμμετέχει στην μετάδοση πολλών πλαισίων μπορεί να ανανεώνει το NAV μετά από κάθε λήψη πλαισίου. Με αυτόν το τρόπο ο έλεγχος του μέσου διατηρείται μέχρι να ολοκληρωθεί η μετάδοση. Η διατήρηση του ελέγχου μπορεί να εξασφαλιστεί επιπλέον με τη χρήση του SIFS στις περιπτώσεις που έχουν ήδη αναφερθεί.
- Υπάρχουν συγκεκριμένα όρια μεγέθους για τα πλαίσια. Κάθε πλαίσιο μεγαλύτερο από το όριο RTS πρέπει να σταλεί χρησιμοποιώντας το μηχανισμό RTS/CTS. Κάθε πλαίσιο μεγαλύτερο από το όριο κατακερματισμού (fragmentation threshold) διασπάται σε μικρότερα πλαίσια πριν σταλεί.

Ένα άλλος σημαντικός παράγοντας για τη πρόσβαση στο μέσο είναι το παράθυρο ανταγωνισμού (Contention Window). Το contention window χωρίζεται σε σχισμές (slots) που η διάρκεια τους είναι άμεσα εξαρτώμενη από το φυσικό επίπεδο. Κάθε σταθμός διαλέγει τυχαία ένα slot με βάση μία διαδικασία που ονομάζεται δυαδική εκθετική υποχώρηση και περιμένει τη σειρά του για να αποστείλει τα προς μετάδοση πλαίσια. Στη περίπτωση που περισσότεροι από ένα σταθμοί προσπαθήσουν να αποκτήσουν τον έλεγχο του μέσου, νικητής θα αναδειχθεί όποιος επιλέξει το πρώτο slot.

Εδώ πρέπει να τονίσουμε ότι ο αριθμός των slot του contention window αυξάνεται όσο αποτυγχάνει η επιθυμητή μετάδοση πλαισίου. Το εύρος τιμών από το οποίο καλείται να επιλέξει τυχαία ο κάθε σταθμός είναι πάντα αριθμός κατά ένα μικρότερος από κάποια δύναμη του 2. Κάθε φορά που η μετάδοση αποτυγχάνει το εύρος υπολογίζεται ξανά με βάση την αμέσως επόμενη δύναμη του 2. Αυτό γίνεται μέχρι να φτάσει το εύρος μία μέγιστη τιμή, οπότε δεν μεγαλώνει άλλο. Το εύρος αυτό επανέρχεται στην ελάχιστη τιμή του μετά από επιτυχημένη μετάδοση ή από

απόρριψη του προς μετάδοση πλαισίου. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η σταθερότητα της λειτουργίας του δικτύου, ακόμη και κάτω από καταστάσεις έντονης κίνησης.

2.9 Χρήση του αλγορίθμου PCF για τη πρόσβαση στο μέσο

Σκοπός του PCF είναι να προσφέρει πρόσβαση στο μέσο χωρίς ανταγωνισμό μεταξύ των σταθμών (contention - free medium access) και η λειτουργία του μοιάζει αρκετά με σχήματα ελέγχου πρόσβασης με σκυτάλη (token based). Απαιτεί κεντρικό έλεγχο από κάποιο AP, επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε infrastructure δίκτυα. Δεν χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στα προϊόντα που κυκλοφορούν στην αγορά και οι κατασκευαστές δεν είναι υποχρεωμένοι να τον υποστηρίξουν, αφού αποτελεί προαιρετικό μέρος του προτύπου 802.11.

Ο αλγόριθμος PCF δημιουργεί χρονικές περιόδους χωρίς ανταγωνισμό (contention - free periods), ενώ κατά τον υπόλοιπο χρόνο η πρόσβαση ελέγχεται κανονικά από τον DCF (contention periods). Η σχέση των δύο παραπάνω χρονικών περιόδων καθορίζεται ανάλογα με τη χρήση του δικτύου. Αυτές οι περιόδοι επαναλαμβάνονται διαδοχικά, ενώ η διάρκειά τους κάθε φορά ονομάζεται contention - free repetition interval. Όσο διαρκεί το contention - free period η διαδικασία πρόσβασης στο μέσο για τους σταθμούς ελέγχεται από το AP. Στην αρχή του contention - free period το AP στέλνει ένα πλαίσιο που ονομάζεται Beacon το οποίο περιέχει τη μέγιστη διάρκεια της περιόδου αυτής. Οι σταθμοί που λαμβάνουν το Beacon πλαίσιο θέτουν το NAV σε αυτήν την τιμή αποτρέποντας την πρόσβαση μέσω του DCF γι' αυτήν την περίοδο. Όταν το AP πάρει τον έλεγχο του μέσου δίνει την άδεια σε κάθε σταθμό διαδοχικά να μεταδώσει στέλνοντάς του ένα άλλο πλαίσιο το οποίο ονομάζεται polling (CF-Poll), τα οποία πρέπει να επιβεβαιωθούν από τους σταθμούς. Αν κάποιος σταθμός δεν στείλει πλαίσιο επιβεβαίωσης ACK αφού λάβει το polling πλαίσιο το AP προχωράει στον επόμενο σταθμό. Όλοι οι σταθμοί κατά τη διαδικασία της διαδικασίας association με το AP μπαίνουν σε μία λίστα (polling list) ώστε το AP να τους δίνει το δικαίωμα μετάδοσης κατά την contention - free period. Σημειώνεται ότι κάθε πλαίσιο polling

δίνει στο σταθμό που το έλαβε δικαίωμα μετάδοσης ενός μόνο πλαισίου. Κάθε σταθμός που λαμβάνει ένα πλαίσιο rolling έχει δικαίωμα να στείλει μόνο ένα πλαίσιο.

Όλοι οι χρόνοι αναμονής που χρησιμοποιούνται είναι SIFS ή PIFS ώστε να μπορέσει το AP να εξασφαλίσει κατά την contention - free period ότι ο έλεγχος του μέσου θα παραμείνει σε αυτό. Ο χρόνος αναμονής από το AP για να επιβεβαιωθεί το rolling πλαίσιο που έστειλε είναι ίσος με PIFS ενώ όλοι οι υπόλοιποι χρόνοι αναμονής είναι ίσοι με SIFS. Η διάρκεια της contention-free period είναι τουλάχιστον ίση με το χρόνο που απαιτείται να μεταδοθεί και να επιβεβαιωθεί ένα πλαίσιο μεγίστου μεγέθους. Η contention-free period έχει μειωμένη διάρκεια στην περίπτωση που η contention period δεν έχει τελειώσει όταν πρέπει να αρχίσει η contention-free period. Το AP έχει το δικαίωμα να διακόψει νωρίτερα την contention-free period για οποιοδήποτε λόγο. Οι σταθμοί για να εκμεταλλεύονται όσο το δυνατόν περισσότερο την contention-free period συνηθίζουν να συνδυάζουν σε ένα πλαίσιο επιβεβαιώσεις, rolling και μεταφορά δεδομένων, έτσι προκύπτουν σύνθετα πλαίσια με πολλές λειτουργίες.

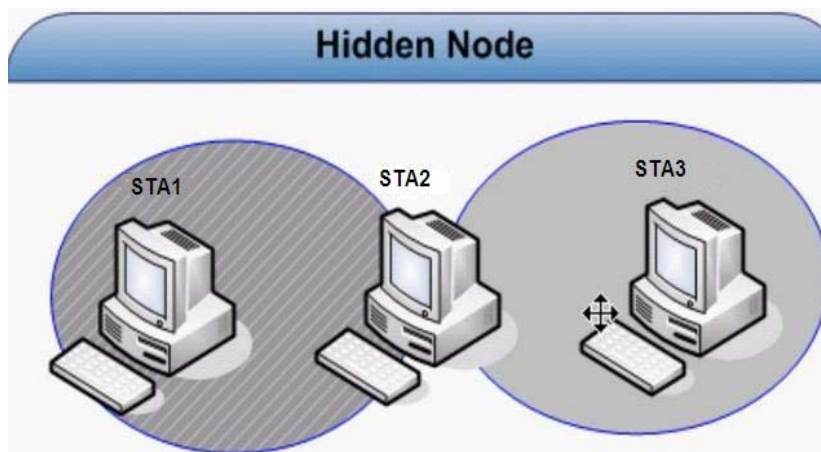
2.10 Λειτουργία RTS/CTS

Το 802.11 υποστηρίζει το μηχανισμό RTS/CTS προκειμένου να εξασφαλίσει ότι μια ανταλλαγή πλαισίων θα γίνει χωρίς διακοπή από μετάδοση τρίτου σταθμού. Εισάγονται δύο επιπλέον πλαίσια, τα RTS (Ready To Send) και CTS (Clear To Send). Ο μηχανισμός RTS/CTS βελτιώνει σε μεγάλο βαθμό την απόδοση του ασύρματου δικτύου σε περιπτώσεις μεγάλου φόρτου εξαιτίας της ύπαρξης πολλών τερματικών και αντιμετωπίζει το πρόβλημα του κρυμμένου κόμβου. Αν όμως χρησιμοποιείται χωρίς λόγο, έχει το ακριβώς αντίθετο αποτέλεσμα, αφού προκύπτει επιπλέον φορτίο στο ασύρματο δίκτυο.

Μεταδίδεται αρχικά από τον αποστολέα ένα πλαίσιο RTS στον παραλήπτη που δεν περιέχει δεδομένα. Έτσι δεσμεύεται από τον αποστολέα το μέσο μετάδοσης για όσο χρόνο υπολογίζει ότι θα διαρκέσει η αποστολή του πλαισίου δεδομένων και να το ανακοινώσει στους υπόλοιπους σταθμούς μέσω του μετρητή NAV στο πλαίσιο RTS. Ο παραλήπτης όταν λάβει το RTS απαντάει με ένα πλαίσιο CTS. Κατόπιν ο αποστολέας στέλνει το πλαίσιο δεδομένων και περιμένει την

επιβεβαίωση ορθής λήψης του από τον παραλήπτη. Με αυτόν τον τρόπο η διαδικασία αποστολής πλαισίου απαιτεί την ανταλλαγή τεσσάρων πλαισίων για να ολοκληρωθεί σωστά.

Όταν το μέγεθος ενός πλαισίου είναι μεγαλύτερο από το RTS threshold τότε ενεργοποιείται αυτόματα ο μηχανισμός RTS/CTS ώστε να διασφαλιστεί η ομαλή αποστολή μεγάλων πλαισίων. Τα κατώφλια RTS threshold και fragmentation threshold τίθενται στην ίδια τιμή έτσι όλα τα fragments ενός πλαισίου μεταδίδονται με τη σειρά προστατευμένα από το μηχανισμό RTS/CTS. Σε αυτήν την περίπτωση το πλαίσιο RTS που στέλνει ο αποστολέας στην αρχή της διαδικασίας δεσμεύει το μέσο για όσο χρόνο απαιτεί η αποστολή και η επιβεβαίωση του πρώτου τμήματος του πλαισίου. Όταν ο αποστολέας πάρει το CTS αρχίζει να στέλνει διαδοχικά τα τμήματα περιμένοντας φυσικά κάθε φορά για το αντίστοιχο πλαίσιο ACK, του οποίου η αποστολή γίνεται με χρήση του χρόνου SIFS. Ο αποστολέας και ο παραλήπτης ανανεώνουν το NAV όσο ανταλλάσσουν πλαίσια, εξασφαλίζοντας έτσι ότι θα διατηρήσουν τον έλεγχο του μέσου. Το μέσο αποδεσμεύεται με την λήψη από τον αποστολέα του τελευταίου πλαισίου ACK από τον παραλήπτη. Το RTS/CTS αντιμετωπίζει αποτελεσματικά το πρόβλημα ύπαρξης ενός κρυμμένου κόμβου (hidden node). Το πρόβλημα αυτό φαίνεται στην εικόνα 2.5.



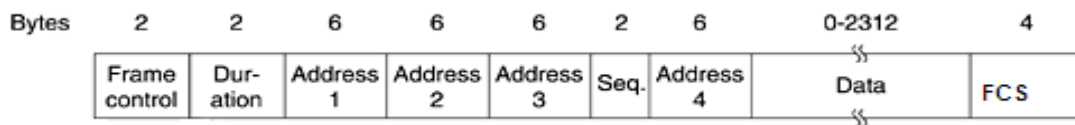
Εικόνα 2.5 : Πρόβλημα κρυμμένου κόμβου

Στο σχήμα 2.5, ο σταθμός STA1 δεν γνωρίζει την ύπαρξη του STA3, μιας και είναι έξω από την περιοχή κάλυψής του. Ομοίως ο STA3 για τον ίδιο λόγο δεν γνωρίζει την ύπαρξη του STA1. Ο STA2 βρίσκεται στην κοινή περιοχή κάλυψης των STA1 και STA3 και μπορεί να ανταλλάσσει πλαίσια και με τους δύο. Το πρόβλημα δημιουργείται όταν οι STA1 και STA3 επιχειρούν να επικοινωνήσουν με

τον STA2 ταυτόχρονα. Τότε προκύπτουν συγκρούσεις και τα πλαίσια που έχουν εκπεμφθεί χάνονται. Αν όμως χρησιμοποιηθεί ο μηχανισμός RTS/CTS ο κόμβος STA2 θα εκπέμψει ένα πλαίσιο CTS σε απάντηση του RTS που θα του έχει στείλει νωρίτερα ο STA1. Το CTS θα το λάβει και ο STA3 με αποτέλεσμα να αποφύγει να μεταδώσει κι αυτός κάποιο πλαίσιο το οποίο θα προκαλούσε σύγκρουση. Το RTS που μεταδίδει ο STA1, ενημερώνει και αυτό άλλους κρυφούς κόμβους που μπορεί να βρίσκονται γύρω του και δεν βλέπουν τον STA2.

2.11 Το πλαίσιο του MAC υποστρώματος

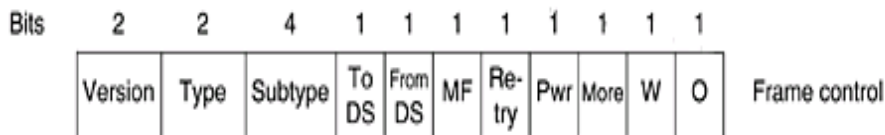
Στην εικόνα 2.6 φαίνεται η μορφή του πλαισίου του 802.11 MAC υποστρώματος όπου χρησιμοποιείται σε όλους τους τύπους πλαισίων χωρίς όμως να χρησιμοποιούνται όλα τα πεδία με τον ίδιο τρόπο.



Εικόνα 2.6 : Γενική μορφή πλαισίου υποστρώματος MAC του 802.11

Frame Control

Όπως διακρίνεται και στην εικόνα 2.7 το πεδίο αυτό διαιρείται εκ νέου σε υποπεδία.



Εικόνα 2.7: Πεδίο Frame Control του πλαισίου MAC του 802.11

Version

Πεδίο που κωδικοποιεί την έκδοση του πρωτοκόλλου MAC που χρησιμοποιείται.

Type και Subtype

Τα δύο αυτά πεδία παίρνουν διάφορες τιμές οι οποίες χρησιμοποιούνται για την δήλωση του τύπου του πλαισίου. Οί βασικοί τύποι πλαισίων είναι τρεις, τα πλαίσια Data, τα πλαίσια Control και τα πλαίσια Management.

To DS και From DS

Έχουν μέγεθος ενός bit το καθένα και δείχνουν αν το πλαίσιο προορίζεται για το σύστημα διανομής (distribution system). Στα infrastructure δίκτυα όλα τα πλαίσια έχουν τιμή σε ένα από τα δύο πλαίσια ίση με «1».

MF (More Fragments)

Αν το πεδίο αυτό είναι ίσο με «1» τότε υποδηλώνεται ότι το πλαίσιο αυτό είναι τμήμα (fragment) ενός μεγαλύτερου πλαισίου.

Retry

Στην περίπτωση που το πεδίο αυτό είναι ίσο με «1» τότε πλαίσιο αυτό έχει μεταδοθεί ξανά.

PWR (Power Management)

Αν το πεδίο αυτό είναι ίσο με «1» τότε υποδηλώνεται ότι ο σταθμός που το στέλνει μόλις τελειώσει η αποστολή, θα περάσει σε λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας (power-save mode).

More Data

Στην περίπτωση που σε ένα πλαίσιο το πεδίο αυτό είναι ίσο με «1» σημαίνει ότι ο παραλήπτης του έχει κι άλλα πλαίσια αποθηκευμένα στο AP και πρέπει να τα παραλάβει. Το πεδίο αυτό μπορεί να το αλλάξει μόνο το AP.

WEP (Wired Equivalent Privacy)

Το πεδίο αυτό είναι ίσο με «1» για να υποδηλώσει ότι το πλαίσιο προστατεύεται από τον αλγόριθμο ασφαλείας WEP.

Order

Όταν τα πλαίσια ή τα τμήματα πλαισίων μεταδίδονται με τη σειρά τότε το πεδίο αυτό τίθεται ίσο με «1».

Duration

Το πεδίο αυτό έχει τρεις διαφορετικές χρήσεις.

- Όταν το τελευταίο bit του είναι ίσο με «0» το πεδίο χρησιμοποιείται για να ενημερώσει την τιμή του NAV. Το περιεχόμενό του είναι ο χρόνος που το μέσο θα είναι δεσμευμένο.
- Κατά τη διάρκεια των contention free περιόδων το bit 14 είναι ίσο με «0», το bit 15 ίσο με 1 και όλα τα υπόλοιπα bits 0. Τότε η τιμή του πεδίου (32768) χρησιμεύει ως NAV για να μπλοκάρει την πρόσβαση στο μέσο σε αυτούς τους σταθμούς που δεν έλαβαν το Beacon πλαίσιο που ανακοίνωσε το AP στην αρχή της περιόδου αυτής.
- Τέλος, τα bits 14 και 15 τίθενται ίσα με «0» στα PS-Poll πλαίσια. Το πεδίο αυτό περιέχει το Association ID (AID) του σταθμού που στέλνει το PS-Poll πλαίσιο προκειμένου να λάβει αποθηκευμένα στο AP πλαίσια που προορίζονται για αυτόν. Οι έγκυρες τιμές για το AID είναι από 1 έως 2007, οι υπόλοιπες είναι δεσμευμένες και δεν χρησιμοποιούνται.

Πεδία Address

Το πλαίσιο μπορεί να περιέχει μέχρι 4 πεδία διευθύνσεων. Ποιες διευθύνσεις περιέχονται σε κάθε πεδίο εξαρτάται από το είδος του πλαισίου. Συνήθως η πρώτη διεύθυνση είναι του παραλήπτη, η δεύτερη του αποστολέα ενώ η τρίτη χρησιμοποιείται για φιλτράρισμα. Όλες οι διευθύνσεις είναι μεγέθους 48 bit στα πρότυπα του Ethernet. Κάποιο από τα πεδία αυτά μπορεί να περιέχει και το BSSID (Basic Service Set ID) του δικτύου. Τα περισσότερα πλαίσια πάντως χρησιμοποιούν μόνο τα τρία πεδία διευθύνσεων.

Sequence Control

Το πεδίο αυτό χρησιμεύει για την επανένωση κατακερματισμένων πλαισίων και για την απόρριψη αντιγράφων. Χωρίζεται σε δύο υποπεδία, το Fragment Number το οποίο είναι μήκους 4 bits και το Sequence Number μήκους 12 bits. Κάθε πλαίσιο που περνάει στο MAC από ανώτερα στρώματα αποκτάει ένα Sequence Number. Το πεδίο αυτό, χρησιμεύει σαν μετρητής. Αν χρειαστεί κάποιο πλαίσιο να χωριστεί σε περισσότερα από ένα πλαίσια για να μεταδοθεί ή επαναμεταδοθεί τότε όλα τα πλαίσια τα οποία έχει κατακερματιστεί το αρχικό πλαίσιο θα έχουν τον ίδιο Sequence Number. Το πεδίο Fragment Number είναι αυτό που διαχωρίζει τα τμήματα μεταξύ τους και αυξάνεται κατά 1 για κάθε νέο τμήμα ενός μεγαλύτερου πλαισίου που μεταδίδεται.

Data

Το πεδίο αυτό περιέχει το ωφέλιμο φορτίο του πλαισίου (payload), δηλαδή το πλαίσιο ανωτέρου στρώματος που πρέπει να μεταφερθεί. Το μέγιστο μέγεθος του πεδίου είναι 2304 bytes.

FCS (Frame Check Sequence)

Το πεδίο αυτό περιέχει ένα CRC κώδικα για να προστατεύει ολόκληρο το πλαίσιο MAC.

2.12 Τύποι πλαισίων του MAC υποστρώματος

Υπάρχουν τρεις τύποι πλαισίων MAC υποστρώματος:

1. Πλαίσια Data
2. Πλαίσια Control
3. Πλαίσια Management

Πλαίσια Data

Χρησιμεύουν για τη μεταφορά δεδομένων από ανώτερα επίπεδα του πρωτοκόλλου, αλλά επιτελούν κι άλλες λειτουργίες. Υπάρχουν διάφορα πλαίσια αυτού του τύπου:

- Data: Το απλούστερο πλαίσιο του τύπου αυτού, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε contention - free period και σε contention period. Το μόνο που κάνει είναι να μεταφέρει δεδομένα.
- Data & CF-Ack: Το πλαίσιο αυτό χρησιμοποιείται μόνο κατά την contention - free period. Μεταφέρει δεδομένα και ταυτόχρονα επιβεβαιώνει κάποιο πλαίσιο που έχει ήδη ληφθεί.
- Data & CF-Poll: Το πλαίσιο αυτό αποστέλλεται από το AP που τρέχει τον PCF αλγόριθμο κατά την contention - free period. Μεταφέρει δεδομένα προς έναν σταθμό και ζητάει από αυτόν να στείλει ότι πλαίσια έχει αποθηκεύσει προσωρινά.
- Data & CF-Ack & CF-Poll: Συνδυάζει τις λειτουργίες των προηγούμενων πλαισίων, αποστέλλεται μόνο από το AP.
- Null: Το πλαίσιο αυτό δεν μεταφέρει δεδομένα. Αποστέλλεται από έναν σταθμό στο AP έχοντας το bit Power Management του πεδίου Frame Control ίσο με «1» για να δηλώσει στο AP ότι μπαίνει σε λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας. Το AP όταν λάβει τέτοιο πλαίσιο πρέπει να αποθηκεύει μελλοντικά πλαίσια προς το σταθμό αυτόν.
- CF-Ack: Ίδια λειτουργία με το Data + CF-Ack χωρίς να μεταφέρει δεδομένα.
- CF-Ack & CF-Poll: Ίδια λειτουργία με το Data + CF-Ack + CF-Poll χωρίς να μεταφέρει δεδομένα.

Πλαίσια Control

Λειτουργούν βοηθητικά για την αξιόπιστη μεταφορά των Data πλαισίων και την πρόσβαση στο μέσο των σταθμών. Υπάρχουν έξι διαφορετικά πλαίσια:

- Power Save Poll (PS-Poll): Το πλαίσιο αυτό αποστέλλεται από οποιοδήποτε σταθμό στο AP, όταν αυτός επανέλθει στην κανονική του

λειτουργία μετά από περίοδο λειτουργίας εξοικονόμησης ενέργειας, για να ζητήσει να του αποσταλούν όσα πλαίσια προορίζονται για αυτόν και είναι προσωρινά αποθηκευμένα στο AP.

- RTS: Το πλαίσιο αυτό, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι μέρος του μηχανισμού RTS/CTS για την απρόσκοπτη μεταφορά ενός ή περισσότερων πλαισίων. Ειδοποιεί τον σταθμό προορισμού αλλά και όσους άλλους το λάβουν ότι ζητάει άδεια να στείλει δεδομένα.
- CTS: Το έτερο πλαίσιο του μηχανισμού RTS/CTS. Δίνει την άδεια σε κάποιον σταθμό να στείλει δεδομένα, ενώ ειδοποιεί τους υπόλοιπους ότι επίκειται ανταλλαγή πλαισίων.
- ACK: Το πλαίσιο αυτό επιβεβαιώνει τη λήψη του αμέσως προηγούμενου πλαισίου. Η σωστή λήψη του είναι απαραίτητη για να θεωρήσει ο αποστολέας ότι το πλαίσιο που έστειλε παραδόθηκε κανονικά.
- Contention Free End (CF-End): Το πλαίσιο αυτό αποστέλλεται από το AP που ελέγχει την πρόσβαση κατά μία contention - free period για να δηλώσει τη λήξη της.
- CF-End & CF-Ack: Σύνθετο πλαίσιο που δηλώνει τη λήξη της contention free period και επιβεβαιώνει τη λήψη του τελευταίου πλαισίου που είχε σταλεί.

Πλαίσια Management

Χρησιμοποιούν διάφορα πεδία για διαφορετικό λόγο. Τέτοιο παράδειγμα είναι το πεδίο Data ή Frame Body που χρησιμοποιείται από κάποια Management πλαίσια για να μεταφέρει επιπλέον πληροφορίες. Ορισμένα πλαίσια αυτού του τύπου είναι τα εξής:

- Association Request: Το πλαίσιο αυτό στέλνεται από έναν σταθμό στο AP για να δηλώσει την πρόθεσή του να ξεκινήσει τη διαδικασία του association

με το BSS αυτό. Το πλαίσιο περιέχει πληροφορίες όπως το SSID (Service Set ID), το είδος του δικτύου, τη χρήση ή όχι του αλγορίθμου WEP, τους υποστηριζόμενους από το σταθμό ρυθμούς μετάδοσης και άλλα.

- Association Response: Στέλνεται από το AP σε σταθμό ως απάντηση σε πλαίσιο Association Request. Δηλώνει αν ο σταθμός έγινε αποδεκτή η αίτηση του σταθμού και σε περίπτωση θετικής απάντησης περιέχει το AID.
- Reassociation Request: Το ίδιο με το Association Request, αποστέλλεται όταν ένας σταθμός κινείται μεταξύ διαφορετικών BSS εντός του ιδίου ESS ή αν χάσει προσωρινά τη σύνδεση στο BSS που βρίσκεται.
- Reassociation Response: Απάντηση στο πλαίσιο Reassociation Request.
- Disassociation: Το πλαίσιο αυτό αποστέλλεται από έναν σταθμό στο AP του BSS για να τερματίσει τη σχέση association με αυτό. Περιέχει έναν κωδικό που δηλώνει την αιτία του τερματισμού (Reason Code).
- Probe Request: Πλαίσιο που αποστέλλεται από έναν σταθμό που ψάχνει ασύρματα δίκτυα στην περιοχή του. Περιέχει το SSID του δικτύου που ψάχνει ο σταθμός και τους υποστηριζόμενους από αυτόν ρυθμούς μετάδοσης.
- Probe Response: Απάντηση σε πλαίσιο Probe Request. Περιέχει διάφορες παραμέτρους του δικτύου ώστε να μπορέσει ο σταθμός που το λαμβάνει να συνεχίσει τη διαδικασία ένταξης στο δίκτυο.
- Authentication: Πλαίσια που ανταλλάσσονται μεταξύ AP και ενδιαφερόμενου σταθμού για τη διαδικασία του authentication που προηγείται του association.
- Deauthentication: Αντίστοιχο του Disassociation, περιέχει και αυτό πεδίο Reason Code.

- **Beacon:** Το πλαίσιο αυτό εκπέμπεται περιοδικά από το AP και έχουν ήδη αναφερθεί κάποιες λειτουργίες που σχετίζονται με αυτό (δήλωση έναρξης contention free period). Κύριος ρόλος τους είναι η γνωστοποίηση της ύπαρξης του δικτύου στην περιοχή κάλυψής του. Περιέχει διάφορες παραμέτρους λειτουργίας του δικτύου.

2.13 Επίλογος

Συνοψίζοντας η οικογένεια πρωτοκόλλων IEEE 802.11 αποτελεί το καθιερωμένο πρότυπο της βιομηχανίας στο χώρο των ασύρματων τοπικών δικτύων. Όλα τα πρωτόκολλα 802.11x έχουν κοινό υποεπίπεδο MAC και διαφέρουν στο φυσικό μέσο. Το υποεπίπεδο LLC, που αναλαμβάνει τον έλεγχο ροής, τον έλεγχο σφαλμάτων και τη διασύνδεση προς το επίπεδο δικτύου, ταυτίζεται με το καθιερωμένο κοινό πρωτόκολλο 802.2 που χρησιμοποιείται και στο Ethernet και στα περισσότερα ενσύρματα τοπικά δίκτυα -με αποτέλεσμα την άμεση και χωρίς ανάγκη μετατροπών συνδεσιμότητα ενός 802.11 WLAN με το Internet ή άλλα WAN/διαδίκτυα που χρησιμοποιούν το IP ως πρωτόκολλο δικτύου. Ο βασικός μηχανισμός στο MAC του 802.11 είναι ο DCF, ο οποίος βασίζεται στη μέθοδο CSMA/CA, ενώ στα δομημένα WLAN πάνω από τον DCF τρέχει επιπλέον ο μηχανισμός PCF ο οποίος, αξιοποιώντας το AP, προσφέρει στα τερματικά όταν χρειάζεται πρόσβαση στο κοινό μέσο χωρίς ανταγωνισμό και συγκρούσεις.

Ο μηχανισμός DCF δίνει λύση στα έμφυτα στις ασύρματες επικοινωνίες προβλήματα του κρυμμένου τερματικού και του εκτεθειμένου τερματικού, τα οποία είναι και ο λόγος για τον οποίον δεν μπορεί να εφαρμοστεί η μέθοδος CSMA/CD του Ethernet σε WLAN. Το πρότυπο 802.11e προσπαθεί να δώσει λύση στο πρόβλημα της παροχής QoS το οποίο και θα αναπτύξουμε στο επόμενο κεφάλαιο.

3.1 Εισαγωγή

Στις εκδόσεις του πρωτοκόλλου 802.11 που είναι διαθέσιμες στην αγορά όλοι οι σταθμοί έχουν την ίδια προτεραιότητα, έτσι δεν είναι εφικτό να υποστηριχθούν εφαρμογές που απαιτούν ποιότητα υπηρεσίας. Ο στόχος του 802.11e είναι να παρέχει μηχανισμούς ελέγχου και πρόσβασης στο μέσο που θα προσδίδουν ποιότητα υπηρεσιών QoS. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα κάποιες προσθήκες και τροποποιήσεις στο υποεπίπεδο MAC του 802.11. Οι σταθμοί που λειτουργούν πάνω στο 802.11e είναι αναβαθμισμένοι και ένας τέτοιος σταθμός θα μπορούσε προαιρετικά να δουλεύει ακόμα και σαν κεντρικός ελεγκτής για όλους τους άλλους σταθμούς στην ίδια BSS δομή. Η αρχιτεκτονική του MAC 802.11e στηρίζεται στην παροχή των PCF και HCF (Hybrid Coordination Function) ως υπηρεσιών της DCF. Όταν σε ένα σταθμό δεν παρέχεται ποιότητα υπηρεσιών η HCF δεν έχει λόγο ύπαρξης ενώ η PCF είναι προαιρετική.

3.2 Πλαίσιο 802.11e

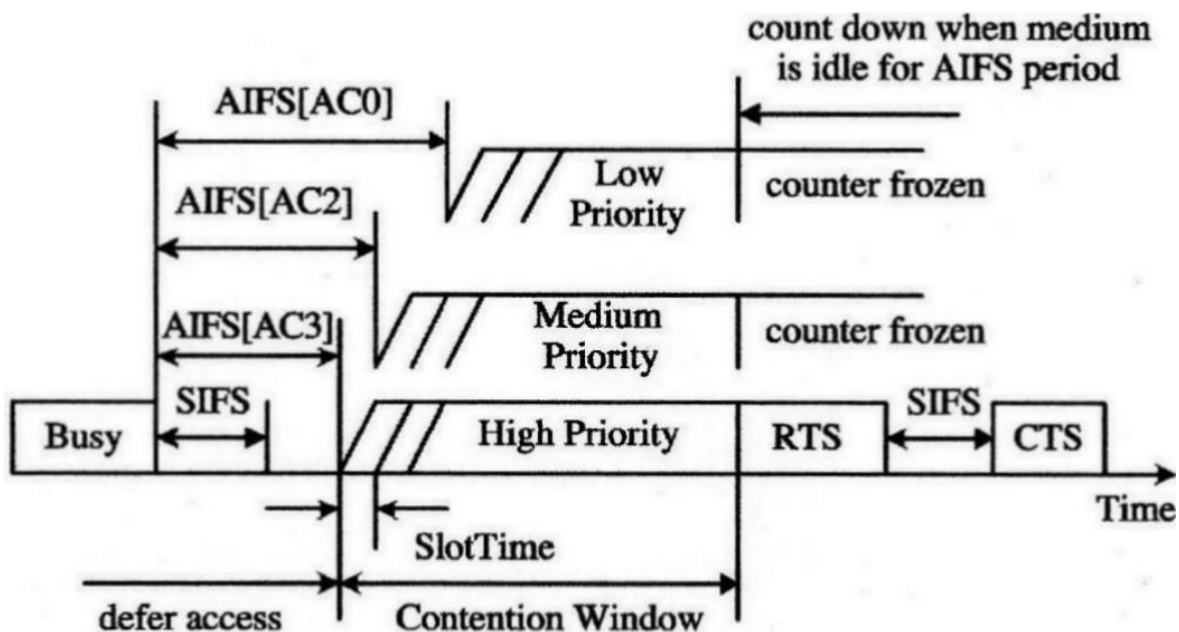
Ένα πλαίσιο 802.11e το οποίο καλείται MSDU (MAC Service Data Unit) τεμαχίζεται σε μικρότερα πλαίσια MAC επιπέδου ώστε να αυξηθεί η αξιοπιστία μετάδοσης αυξάνοντας την πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης σε διαύλους επιφορτισμένους με βαρύ φορτίο, όπου μεγαλύτερα πλαίσια θα οδηγούσαν σε οριακές καταστάσεις αξιόπιστης μετάδοσης και λήψης. Οι σταθμοί έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιούν τη μέθοδο αυτή ώστε να αυξήσουν την αποδοτικότητα από την πλευρά του δικτύου όμως θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη η αποστολή των δεδομένων τους θα πρέπει να έχει ολοκληρωθεί σε μία καθορισμένη χρονική διάρκεια.

Ο χρόνος αναμονής για την μετάδοση ενός πλαισίου είναι IFS. Ένας σταθμός αποφασίζει να εκπέμψει όταν ανιχνεύσει το μέσο ελεύθερο μέσω της μεθόδου ανίχνευσης φέροντος για το χρονικό αυτό διάστημα.

Πλέον στα χρονικά IFS έχουμε την είσοδο ενός ακόμη διαστήματος του AIFS (Arbitration Interframe Space) που σε συνδυασμό με τα ήδη γνωστά παρέχει επίπεδα προτεραιοτήτων για την πρόσβαση στο ασύρματο μέσο. Τα διάφορα IFS είναι ανεξάρτητα από το bit rate του σταθμού και οι τιμές τους είναι σταθερές για κάθε φυσικό στρώμα με εξαίρεση την περίπτωση του AIFS. Ο AIFS μπορεί να

χρησιμοποιηθεί από τους σταθμούς για την εκπομπή όλων των πακέτων δεδομένων και διαχείρισης και των εξής πακέτων ελέγχου:

- PS-Poll
- RTS
- CTS
- BlockAckReg
- BlockAck



Εικόνα 3.1 : Σχέσεις μεταξύ των διαφόρων IFS στο MAC 802.11e

3.3 Μηχανισμός HCF (Hybrid Coordination Function)

Ο μηχανισμός HCF, χρησιμοποιείται μόνο σε δίκτυα παροχής ποιότητας υπηρεσιών. Ο HCF συνδυάζει τους μηχανισμούς DCF και PCF σε συνδυασμό με κάποιους ενισχυμένους μηχανισμούς QoS και τύπους πλαισίων. Έτσι επιτρέπει τόσο κατά την CP όσο και την CFP μια ομοιόμορφη ανταλλαγή αλυσίδων από πλαίσια να χρησιμοποιηθούν για μεταφορές δεδομένων ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη QoS. Ο HCF για την πρόσβαση στο μέσο χρησιμοποιεί μια μέθοδο πρόσβασης στο κανάλι μέσω ανταγωνισμού που ονομάζεται EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) και μια μέθοδο ελεγχόμενης πρόσβασης στο κανάλι

που ονομάζεται HCCA (HCF Controlled Channel Access) για πρόσβαση άνευ ανταγωνισμού.

Ο βασικός τρόπος απόκτησης δικαιώματος εκπομπής στην HCF στο ασύρματο μέσο είναι το TXOP (Transmission Opportunity). Κάθε TXOP χαρακτηρίζεται από μία χρονική στιγμή έναρξης και μια καθορισμένη μέγιστη διάρκεια. Για να αποκτήσουν TXOPs οι σταθμοί του ασύρματου δικτύου χρησιμοποιούν τον ένα ή και τους δύο μηχανισμούς πρόσβασης του καναλιού. Αν ένα TXOP παρέχεται μέσω της πρόσβασης στο κανάλι με συναγωνισμό τότε καλείται EDCA TXOP, όταν αποκτιέται χρησιμοποιώντας την ελεγχόμενη πρόσβαση του διαύλου χαρακτηρίζεται ως HCCA TXOP, ενώ το TXOP αποκαλείται rolled- TXOP όταν αποκτιέται λόγω ενός QoS(+)CF-Poll πλαισίου από την HC.

3.4 EDCA (Enhanced Distributed Channel Access)

Μέσω του EDCA παρέχεται στους σταθμούς κατανεμημένη πρόσβαση στο ασύρματο μέσο μετάδοσης χρησιμοποιώντας οκτώ διαφορετικές προτεραιότητες χρηστών (User Priority). Επιπλέον καθορίζονται τέσσερις κατηγορίες πρόσβασης (access categories) που παρέχουν υποστήριξη για την διανομή της κίνησης μέσω των προτεραιοτήτων των σταθμών. Στον πίνακα 3.1 φαίνονται οι κατηγορίες πρόσβασης του EDCA.

Για κάθε κατηγορία πρόσβασης (Access Category) μια τροποποιημένη εκδοχή της DCF που ονομάζεται EDCAF (Enhanced Distributed Channel Access Function) διεκδικεί TXOPS χρησιμοποιώντας μια ομάδα EDCA παραμέτρων. Το AP γνωστοποιεί στους σταθμούς τις παραμέτρους της EDCA μέσω beacon frames και Probe Response τις οποίες οι σταθμοί αποθηκεύουν, φορτώνουν στην δικιά τους MIB (Management Information Base) και στη συνέχεια τα υιοθετούν. Σε περίπτωση μη εκπομπής από το AP των παραμέτρων οι σταθμοί υιοθετούν τις αρχικές τιμές αυτών.

Εδώ δεν υπάρχει ένας μοναδικός καθορισμένος ελάχιστος χρόνος αδράνειας όπως ο DIFS στο DCF και το παράθυρο ανταγωνισμού (CW) παίρνει τιμές στο διάστημα aCW_{min} , aCW_{max} από το οποίο υπολογίζεται και η τυχαία τιμή του backoff. Οι συγκρούσεις εντός σταθμού επιλύονται με τέτοιο τρόπο ώστε

τα πλαίσια δεδομένων υψηλότερης προτεραιότητας να λαμβάνουν μια TXOP ενώ τα πλαίσια των χαμηλότερων επιπέδων προτεραιότητας να συμπεριφέρονται σαν να έχουν βρεθεί σε κατάσταση σύγκρουσης στο ασύρματο μέσο. Κατά τη διάρκεια που μια EDCA TXOP επιτευχθεί ο σταθμός μπορεί να ξεκινήσει μια πολλαπλή εκπομπή αλυσίδων από πλαίσια που ανήκουν στο ίδιο επίπεδο προτεραιότητας.

Κατηγορία Πρόσβασης (AC)	802.11e Υπηρεσία κίνησης
0	Best Effort
1	Background
2	Video
3	Voice

Πίνακας 3.1: Κατηγορίες Πρόσβασης EDCA

3.5 EDCA TXOP (Transmission Opportunity)

Σε κάθε επίπεδο προτεραιότητας ορίζεται μια ευκαιρία μετάδοσης TXOP. Όταν δοθεί σε ένα σταθμό ένα TXOP μπορεί να στείλει πολλαπλά πλαίσια σε μια σειρά, για ένα δεδομένο χρονικό διάστημα που επιλέγεται από το AP. Το EDCA TXOP μπορούμε να το συναντήσουμε σε δύο καταστάσεις. Η μία κατάσταση είναι η έναρξή του και η δεύτερη είναι όταν ο σταθμός που έχει τον έλεγχο του ασύρματου μέσου μετάδοσης μπορεί κατά τη διάρκεια του TXOP να πραγματοποιήσει πολλαπλές εκπομπές πακέτων. Η διάρκεια ενός TXOP είναι η χρονική περίοδος κατά την οποία το TXOP διατηρεί εξολοκλήρου το μέσο συν το χρόνο που απαιτείται για την εκπομπή πακέτων που εστάλησαν ως άμεση απάντηση στις εκπομπές κατόχου του TXOP. Η χρονική διάρκεια του TXOP καθορίζεται και κοινοποιείται από το AP μέσα στα πλαίσια Beacon και Probe Response. Η διάρκεια $AIFS[AC]$ προκύπτει μέσω της σχέσης $AIFS[AC] = AIFSN[AC] * aSlotTime + aSIFSTime$ όπου $AIFSN[AC] \geq 2$ για τους σταθμούς και $AIFSN[AC] \geq 1$ για τα AP. Κάθε μετρητής πρόσβασης στο μέσο έχει ένα backoff counter όπου η μονάδα μέτρησης είναι τα backoff slots.

Το EDCA TXOP δίνεται εσωτερικά σε ένα σταθμό όταν ο μηχανισμός EDCAF αντιληφθεί ότι απαιτείται η εκκίνηση εκπομπής μιας αλυσίδας ανταλλαγής πακέτων και πραγματοποιεί μία και μόνο μία από τις εξής ενέργειες:

- Εκκίνηση αλληλουχία ανταλλαγής πακέτων
- Μείωση του μετρητή backoff
- Αν συμβεί εσωτερική σύγκρουση υλοποιεί την backoff διεργασία

Ο μηχανισμός EDCAF θα εκκινήσει μια αλυσίδα εκπομπών αν υπάρχει πλαίσιο για μετάδοση και ο backoff μετρητής έχει τιμή μηδέν σε αυτό το EDCAF, αλλιώς δεν επιτρέπεται η εκκίνηση αλληλουχίας εκπομπής για EDCAF υψηλότερων UP(user priorities).

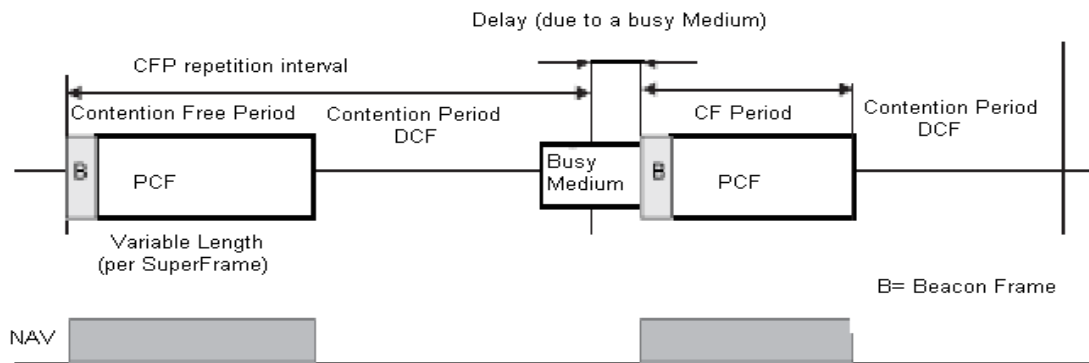
3.6 HCF Controlled Channel Access (HCCA)

Ο μηχανισμός HCCA είναι παρόμοιος με τον PCF οι κανόνες λειτουργίας του όμως είναι διαφορετικοί. Για την παροχή ποιότητας υπηρεσιών χρησιμοποιείται ένας συντονιστής, ο HC (Hybrid Coordinator). Για να μπορέσει να παρέχει ελεγχόμενη πρόσβαση (Control Access Phase) στο μέσο ο HC αρχικοποιεί την ανταλλαγή πλαισίων και δεσμεύει τα TXOPs για το AP και τους άλλους σταθμούς του ασυρμάτου δικτύου. Τα παραπάνω επιτυγχάνονται με την χρήση των υψηλότερων προτεραιοτήτων για την πρόσβαση στο μέσο.

Στην περίοδο της CP (contention period) παραμετροποιείται η κίνηση και δεσμεύονται τα TXOP ώστε να επιτευχθούν οι απαιτήσεις παροχής ποιότητας υπηρεσιών μιας συγκεκριμένης κατηγορίας (TC). Ο HC αποκτά τον έλεγχο του ασύρματου μέσου για να στείλει δεδομένα QoS μόνο σε σταθμούς αναμένοντας μικρότερο διάστημα μεταξύ των εκπομπών από ότι περιμένουν οι σταθμοί που χρησιμοποιούν την EDCA. Δημιουργεί δηλαδή μια περίοδο CFP, με τον περιορισμό ότι μια CFP που έχει ξεκινήσει από τον HC πάντοτε τελειώνει με ένα πλαίσιο CF-end που μόνο το AP μπορεί να λήξει με ένα CF-end+CF-Ack πλαίσιο .

Ο HC ανιχνεύει το μέσο για να ξεκινήσει μια CFP ή ένα TXOP στην CP. Στην περίπτωση που το μέσο μετάδοσης είναι ανενεργό για χρόνο ίσο με την

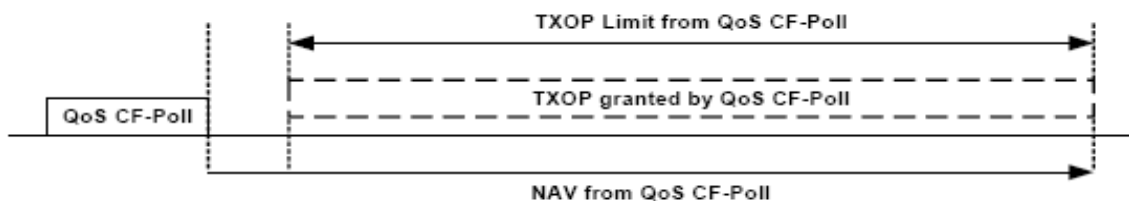
διάρκεια PIFS, ο HC εκπέμπει το πρώτο πλαίσιο όποιας επιτρεπόμενης αλυσίδας ανταλλαγής το οποίο έχει τιμή που η διάρκειας του να μην ξεπερνάει τη διάρκεια της CFP ή του TXOP. Ένα πλαίσιο beacon είναι το πρώτο επιτρεπόμενο πλαίσιο σε μια CFP έπειτα από TBTT (Target Beacon Transmission Time). Μόλις αποσταλεί το τελευταίο πλαίσιο της αλυσίδας κατά τη διάρκεια ενός TXOP, ο κάτοχος του TXOP περιμένει για διάστημα SIFS και στη συνέχεια μεταδίδει το πρώτο πλαίσιο της επόμενης αλυσίδας. Μόλις λήξει το TXOP ο HC μπορεί να ανιχνεύσει τον δίαυλο και να τον ανακτήσει μετά από PIFS εάν φυσικά το μέσο δεν είναι δεσμευμένο. Η περίοδος ελεγχόμενης πρόσβασης τελειώνει όταν ο HC δεν ανακτήσει το δίαυλο μέχρι το τέλος του PIFS από τη λήξη του TXOP.



Εικόνα 3.2: Εναλλαγή CFP-CP

3.6.1 Δομή και διάρκεια του TXOP

Κάθε πλαίσιο δεδομένων QoS που περιλαμβάνει CF-Poll εμπεριέχει ένα όριο (TXOPLimit) ως τιμή στο υποπεδίο του QoS-Control. Η ακολουθούμενη rolled- TXOP προστατεύεται από το NAV που είναι ορισμένο στο υποπεδίο Duration του πλαισίου QoS(+)CF-Poll όπως φαίνεται παρακάτω στην εικόνα. Ένας σταθμός μπορεί να εκπέμψει μία και περισσότερες αλυσίδες ανταλλαγής πακέτων αρκεί να μην ξεπερνάει την διάρκεια του rolled TXOP.



Εικόνα 3.3: rolled TXOP

Το μέγεθος του TXOP-limit ορίζεται από τον συνυπολογισμό όλων των μεταδόσεων πακέτων, καθώς και των πακέτων 'απάντησης' επειδή σε ένα rolled-TXOP θεωρούνται μέρος του TXOP.

3.7 Κανόνες μετάδοσης HCCA

Ένας σταθμός ο οποίος έχει αποκτήσει TXOP εξαιτίας της παραλαβής ενός QoS(+)CF-Poll πλαισίου και θέλει να ξεκινήσει μία ή περισσότερες αλληλουχίες ανταλλαγής πακέτων θα πρέπει να έχει ολοκληρώσει μέσα στα όρια του TXOP-limit. Στα πλαίσια QoS CF-Poll και QoS CF Ack+CF-Poll, το υποπεδίο TID του QoS-Control υποπεδίου υποδεικνύει την παροχή κίνησης (Traffic Stream) για την οποία πραγματοποιείται το poll. Τα πλαίσια QoS CF-Poll εκπέμπονται αποκλειστικά από τον HC. Οι σταθμοί μπορούν μόνο να στείλουν αιτήσεις για TXOP για όσο διαρκεί το rolled TXOP αρκεί το υποπεδίο QoS-Control στο πλαίσιο δεδομένων που στέλνουν στον HC. Τα APs υποδεικνύουν αν επεξεργάζονται TXOP Request ή Queue Size στο πεδίο QoS Info των beacons, probe response και association response πακέτων. Επίσης οι σταθμοί μπορούν να μεταδώσουν RTS πλαίσια ως το πρώτο πλαίσιο κάθε αλληλουχίας ανταλλαγής πακέτων κατά τη διάρκεια τόσο της CFP όσο και της CP. Αν πρέπει να προστατευτεί το NAV για μία εκπομπή προς απάντηση ενός QoS Data πλαισίου που περιέχει CF-Poll προς το AP, τότε ο σταθμός μπορεί να στείλει ένα CTS πλαίσιο με το πεδίο που τοποθετείται η διεύθυνση παραλήπτη να περιέχει τη MAC διεύθυνσή του ούτως ώστε να ορίσει το NAV χωρίς την ανάγκη του επιπλέον χρόνου για την αποστολή ενός RTS πλαισίου.

3.8 Μηχανισμοί ελέγχου εισόδου

Ένα δίκτυο που υλοποιεί το πρωτόκολλο 802.11 έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει έλεγχο εισόδου ώστε να μπορέσει να ελέγξει τα όρια του διαθέσιμου εύρους ζώνης του. Η HC είναι αυτή που διαχειρίζεται τον έλεγχο εισόδου στο δίκτυο και καθώς έχουμε δυο μηχανισμούς πρόσβασης υπάρχουν και αντίστοιχα δύο μηχανισμοί ελέγχου εισόδου, ένας για την πρόσβαση μέσω συναγωνισμού και ένας για την ελεγχόμενη πρόσβαση. Στην περίπτωση της

πρόσβασης μέσω συναγωνισμού (contention based access), για την πρόσβαση στο AP, ο αλγόριθμος συναγωνισμού αποφασίζει αν θα δεχτεί ή θα απορρίψει ένα πλαίσιο request ADDTS. Αυτή η απόφαση είναι ζήτημα τοπικό και εξαρτάται από παραμέτρους που σχετίζονται με το δίκτυο, την χωρητικότητά του κτλ ενώ σε περίπτωση αδειοδότησης πρόσβασης στέλνει ένα πλαίσιο response ADDTS στον εκάστοτε χρήστη. Στην περίπτωση της ελεγχόμενης πρόσβασης το AP πρέπει να οργανώσει ένα scheduler έτσι ώστε οι σταθμοί στους οποίους θα δώσει αδειοδότηση για πρόσβαση και που κατά συνέπεια θα χρειαστεί να τους αποδοθούν TXOPs να πληρούν ορισμένες προϋποθέσεις έτσι ώστε το σύστημα να συνεχίσει να είναι αποδοτικό και να παρέχει ικανοποιητικές ποιότητες στις υπηρεσίες που υποστηρίζει.

3.9 Πλαίσια Επιβεβαίωσης (Block Acknowledgments)

Υπάρχουν πολλοί τρόποι για να αυξηθεί η αποδοτικότητα του καναλιού μετάδοσης, ένας από αυτούς είναι και ο συνδυασμός πολλών διαφορετικών acknowledgments (επιβεβαιώσεων ορθής μετάδοσης) σε ένα πλαίσιο με την βοήθεια του μηχανισμού Block Ack. Υπάρχουν δύο μηχανισμοί Block Ack, ο Immediate Block Ack και ο Delayed Block Ack.

Στις περιπτώσεις όπου θέλουμε να υποστηρίξουμε εφαρμογές όπου το φορτίο τους απαιτεί υψηλό bandwidth χρησιμοποιείται ο Immediate Block Ack ενώ στις υπόλοιπες ο Delayed Block Ack.

Ένα Block Ack ξεκινάει με την ανταλλαγή πλαισίων ADDBA response/request και συνεχίζεται με την αποστολή ομάδων πλαισίων δεδομένων από τον αποστολέα στον παραλήπτη με τα acknowledgments των πλαισίων που ανήκουν στο ίδιο TID αλλά εκπέμπονται σε διαφορετικά TXOP να συναθροίζονται σε μόνο ένα Block Ack πλαίσιο. Η αποστολή των πλαισίων μπορεί να γίνει όπως έχουμε καταστήσει γνωστό είτε με EDCA contention είτε με rolled TXOP. Η μετάδοση από τον αποστολέα κάθε ομάδας πλαισίων γίνεται με διαφορά SIFS, ενώ ο αριθμός των πλαισίων που υπάρχουν σε κάθε ομάδα δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερος από την τιμή που του υποπεδίου Buffer Size του πλαισίου ADDBA response.

Η χρήση των TXOPs έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη κάποιων περιορισμών. Έτσι ο αποστολέας μπορεί να διαχωρίσει σε διαφορετικά TXOPs τα πλαίσια Block Ack και Block Ack request, να διαχωρίσει ένα πλαίσιο Block σε διαφορετικά TXOP και να τοποθετήσει πλαίσια που έχουν διαφορετικές τιμές στο TID στο ίδιο TXOP.

Όταν χρησιμοποιείται ο μηχανισμός Immediate Block Ack, ο παραλήπτης απαντάει σε ένα BlockAckReq πλαίσιο με ένα BlockAck ενώ όταν εφαρμόζεται ο Delayed Block Ack, ο παραλήπτης απαντάει σε ένα BlockAckReq με ένα Ack πλαίσιο και περιμένει το επόμενο TXOP που θα του δοθεί για να αποστείλει ένα Block Ack Response.

Ο παραλήπτης στο buffer του διατηρεί ένα αρχείο που περιέχει όλα τα μέρη μιας ημιτελούς αλυσίδας ελέγχου ώστε όταν ολοκληρωθεί να την ενώσει και να την προωθήσει στα ανώτερα επίπεδα. Διατηρεί δηλαδή ένα Block Ack αρχείο που αποτελείται από τη διεύθυνση του αποστολέα και το TID. Η συλλογή των MSDUs από τον buffer γίνεται ως εξής:

- Αν γίνει λήψη ενός BlockAckReq πλαισίου όλα τα συμπληρωμένα MSDUs με αύξοντες τιμές αλληλουχίας μικρότερες της αρχικής που περιέχεται στο BlockAckReq πλαίσιο υποδεικνύονται στον MAC client.
- Αν έπειτα από τη λήψη ενός MPDU (MAC Protocol Data Unit) το Buffer του παραλήπτη γεμίσει, το συνολικό MSDU με τον μικρότερο αριθμό αλληλουχίας υποδεικνύεται στον MAC client.

Η αποδοτικότητα του μέσου μετάδοσης στο πρότυπο 802.11e μπορεί να αυξηθεί αν ο αποστολέας μεταδώσει πλαίσια MPDU περιορισμένου αριθμού και να τοποθετήσει την τιμή Normal Ack στο υποπεδίο Ack Policy του πεδίου Qos Control.

Όταν πλέον ο αποστολέας δεν έχει πλαίσια για να στείλει και παράλληλα έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία BlockAck Exchange τότε ο μηχανισμός Block Ack ολοκληρώνεται με την αποστολή ενός πλαισίου DELBA στον παραλήπτη ώστε να απελευθερώσει όλους τους πόρους που είχε δεσμεύσει για τον Block Ack μηχανισμό.

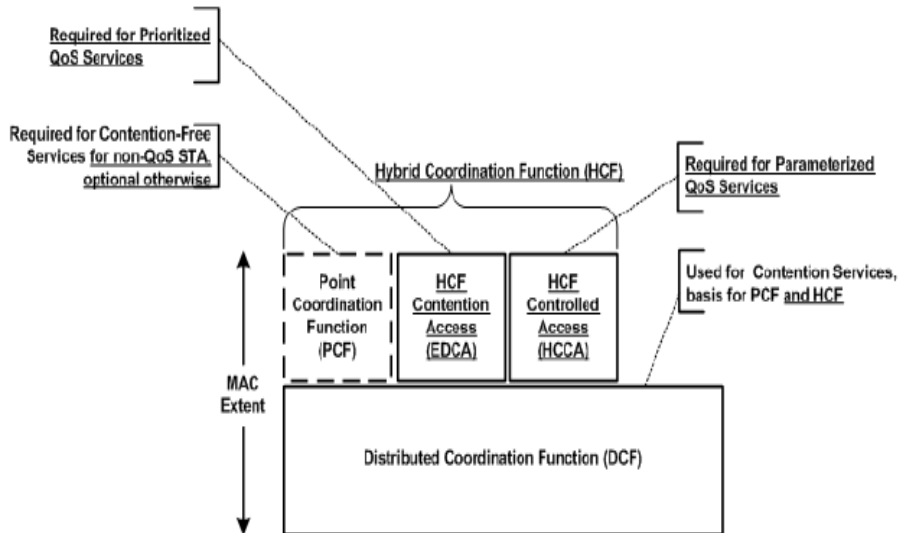
3.10 Επιπλέον μηχανισμοί

Στο πρότυπο 802.11e υπάρχουν και επιπλέον μηχανισμοί λειτουργίας όπου σκοπός τους είναι να παρέχεται ποιότητα υπηρεσιών με πιο αποτελεσματικό τρόπο. Μερικοί από αυτούς τους μηχανισμούς είναι οι παρακάτω:

- *DLS (Direct Link Setup)*: Με αυτόν το μηχανισμό δύο σταθμοί που ανήκουν σε ένα BSS δίκτυο μπορούν να επικοινωνήσουν απευθείας μεταξύ τους χωρίς την ύπαρξη AP, έτσι μειώνεται το φορτίο στον AP και τρέχουμε εφαρμογές που δεν απαιτούν την ύπαρξη AP. Οι σταθμοί στους δέκτες τους χρησιμοποιούν πολλαπλές MAC διευθύνσεις.
- *APSD (Automatic Power Save Delivery)*: Χρησιμοποιείται κυρίως στις κλήσεις VoIP και είναι ένας πολύ αποτελεσματικός τρόπος διαχείρισης ενέργειας καθώς με αυτό τον μηχανισμό το τηλέφωνο VoIP μεταβαίνει σε μία κατάσταση αναμονής όταν δεν λαμβάνει δεδομένα, καταναλώνοντας έτσι λιγότερη ενέργεια. Οι κλήσεις VoIP έχουν ίδιους ρυθμούς δεδομένων και προς τις δύο κατευθύνσεις, έτσι κάθε φορά που τα δεδομένα μίας VoIP κλήσης αποστέλλονται στο AP, το AP ενεργοποιείται αμέσως για να τα μεταδώσει προς τον προορισμό τους. Όταν δεν αποστέλλονται δεδομένα από το AP στο VoIP τηλέφωνο αυτό αυτομάτως τίθεται σε κατάσταση ημιλειτουργίας ώσπου να του αποσταλούν νέα δεδομένα κλήσης από το AP.
- *NoAck (No Acknowledgments)*: Όταν για την αποτελεσματική λειτουργία μιας ενεργής υπηρεσίας με μεγάλο φορτίο απαιτείται να τηρούνται κανόνες συγχρονισμού τότε είναι δυνατό να απενεργοποιούμε την αποστολή acknowledgments μειώνοντας έτσι το φορτίο του μέσου για την επανεκπομπή των acknowledgments πλαισίων.

3.10.1 Συνύπαρξη DCF, PCF, HCF.

Η DCF και μία κεντρική συντονιστική διεργασία (PCF ή HCF) συνυπάρχουν κατά ένα τρόπο που επιτρέπει να δουλεύουν ταυτόχρονα σε ένα δίκτυο.



Εικόνα 3.4: Αρχιτεκτονική MAC 802.11e

Όταν το AP αναλαμβάνει τον συντονισμό οι μέθοδοι πρόσβασης PCF και DCF εναλλάσσονται με μία περίοδο μη συναγωνισμού contention free period(CFP) ακολουθούμενη από μία περίοδο συναγωνισμού contention period(CP). Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται μία εναλλαγή μεταξύ των CFP και CP χρησιμοποιώντας την DCF μόνο κατά την CP. Οι μέθοδοι πρόσβασης της HCF λειτουργούν διαδοχικά όταν το κανάλι είναι στην CP. Η διαδοχική αυτή λειτουργία επιτρέπει την εναλλαγή των rolled και contention based μεθόδων πρόσβασης με πολύ σύντομες χρονικές παύσεις.

3.11 Πλαισίωση του 802.11e MAC υποστρώματος

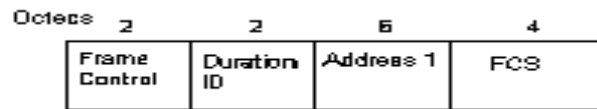
Το πλαίσιο του 802.11e φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Η δομή του είναι ελάχιστα τροποποιημένη από αυτή του πλαισίου του προτύπου 802.11. Στο πλαίσιο του 802.11e MAC υπάρχει ένα επιπλέον πεδίο το οποίο είναι και αυτό το οποίο παίζει και τον σημαντικότερο ρόλο για την παροχή QoS υπηρεσιών.

Octets	2	2	6	6	6	2	6	2	0-23424	4
	Frame Control	Duration/ID	Address 1	Address 2	Address 3	Sequence Control	Address 4	QoS Control	Frame Body	FCS

————— MAC HEADER —————

Εικόνα 3.5 : Δομή MAC πλαισίου

Η ελάχιστη δομή του MAC πλαισίου φαίνεται στην παρακάτω εικόνα και τα πεδία που απαρτίζεται είναι παρόντα σε όλα τα πλαίσια ενώ η ύπαρξη των υπόλοιπων πεδίων εξαρτάται από τον τύπο του πλαισίου που χρησιμοποιείται κάθε φορά. Στη συνέχεια ακολουθεί η περιγραφή των πιο σημαντικών υποπεδίων του QoS Control πεδίου του MAC 802.11e πλαισίου.



Εικόνα 3.6 : Η ελάχιστη δομή ενός 802.11e MAC πλαισίου

QoS Control

Το πεδίο αυτό ανιχνεύει όλες τις πληροφορίες που σχετίζονται με την παροχή ποιότητας υπηρεσιών καθώς και την κατηγορία κίνησης του συγκεκριμένου πλαισίου, το μέγεθος του είναι 16 bits. Χωρίζεται σε πέντε υποπεδία τα οποία φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Applicable frame (sub) types	Bits 0-3	Bit 4	Bit 5-6	Bit 7	Bit 8-15
QoS(+)CF-Poll frames sent by HC	TID	EOSP	Ack Policy	Reserved	TXOP Limit
QoSData, QoS null, QoS Data+CF-Ack sent by HC	TID	EOSP	Ack Policy	Reserved	QAP PS Buffer State
QoS data frames sent by non-AP QSTAs	TID	0	Ack Policy	Reserved	TXOP Duration Requested
	RID	1	Ack Policy	Reserved	Queue Size

Πίνακας 3.2: Υποπεδία του QoS Control field

TID υποπεδίο

Ανιχνεύει την κατηγορία κίνησης που ανήκει το συγκεκριμένο πλαίσιο καθώς και την κατηγορία κίνησης για την οποία έχει ζητηθεί ένα TXOP μέσω των παραμέτρων διάρκειας TXOP ή μεγέθους ουράς. Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζεται η κωδικοποίηση του υποπεδίου TID.

Πολιτική πρόσβασης	Χρήση	Επιτρεπόμενες τιμές στα bits 0-3 (TID υποπεδίο)
EDCA	UP για TC ή TS, ανεξαρτήτως μηχανισμού πρόσβασης που απαιτείται	0-7
HCCA	TSID	8-15
HEMM	TSID, ανεξαρτήτως του μηχανισμού πρόσβασης που χρησιμοποιείται	8-15

Πίνακας 3.3: Κωδικοποίηση TID υποπεδίου

EOSP (End Of Service Period) υποπεδίο

Το μήκος του είναι 1bit και μέσω αυτού ο HC καθορίζει το τέλος της περιόδου της τρέχουσας υπηρεσίας. Ο HC θέτει την τιμή 1 κατά την εκπομπή και τη τιμή 0 όταν λήξει η εκπομπής του τελευταίου frame .

Ack Policy υποπεδίο

Έχει μήκος 2 bits και επιβεβαιώνει τη λήψη που ακολουθεί η παράδοση των MPDU. Μπορούμε να το συναντήσουμε σε τέσσερις δυνατούς συνδυασμούς:

00 Normal Ack: Όταν ο αποστολέας ζητά acknowledgments τότε η τιμή αυτή λαμβάνεται σε όλα τα frames. Για frames (QoS Null) που δεν έχουν δεδομένα αυτή είναι και η μόνη επιτρεπτή τιμή που μπορεί να έχει το συγκεκριμένο υποπεδίο. Ο παραλήπτης επιστρέφει ένα Ack ή QoS +CF-Ack frame έπειτα από χρονικό διάστημα SIFS.

10 No Ack: ;Όταν ο αποστολέας δεν ζητά acknowledgments η τιμή αυτή λαμβάνεται σε όλα τα frames και ο παραλήπτης έτσι δεν προβαίνει σε καμία κίνηση.

01 No explicit Acknowledgment: Η τιμή αυτή λαμβάνεται σε όλα τα frames δεδομένων QoS CF-Poll και QoS CF-Ack+CF-Poll.

11 Block Ack: Ο παραλήπτης δεν προβαίνει σε καμία κίνηση σε αυτή την περίπτωση πλην της καταγραφής του γεγονότος.

TXOP Limit υποπεδίο

Το μήκος του είναι 8 bits και καθορίζει το χρονικό όριο σε ένα TXOP που έχει παραχωρηθεί από ένα QoS(+)CF-Poll frame από τον HC σε ένα σταθμό. Στα QoS data frames με υποπεδία που περιλαμβάνουν CF-Poll ο σταθμός που είναι ο παραλήπτης παραλαμβάνει ένα TXOP που ξεκινά χρονικά έπειτα από διάστημα SIFS και διαρκεί όχι παραπάνω από τον αριθμό περιόδων των 32μs που καθορίζονται από το όριο TXOP limit. Όταν το TXOP limit έχει τιμή 0 σημαίνει ότι θα έχουμε εκπομπή ενός QoS Null frame.

Queue Size υποπεδίο

Το υποπεδίο αυτό υποδεικνύει το μέγεθος της κίνησης που βρίσκεται στο buffer για μια συγκεκριμένη TC ενός QSTA και έχει μήκος 8 bits. Έχει την τιμή 1 στα QoS data frames (βλέπε πίνακα 3.1) που αποστέλλονται από τους σταθμούς συνδυασμένο με το bit τιμής 11 του TID QoS control υποπεδίου. Το QAP χρησιμοποιεί τις πληροφορίες που περιέχονται στο υποπεδίο Queue Size ώστε να καθορίσει τη διάρκεια του TXOP των σταθμών που ζητούν υπηρεσίες με ύπαρξη QoS. Το μέγεθος της ουράς ενός σταθμού είναι το ολικό μέγεθος όλων των MSDU που βρίσκονται στο buffer του QSTA στην ουρά που χρησιμοποιείται για MSDU. Οι τιμές του υποπεδίου TID είναι ίσες προς την τιμή του TID αυτού του QoS Control υποπεδίου στρογγυλοποιημένο προς τα πάνω προς το κοντινότερο πολλαπλάσιο του 256 (bytes) και είναι εκφρασμένο σε μονάδες των 256 bytes. Η τιμή 0 για το μέγεθος της ουράς χρησιμοποιείται μόνο για να υποδείξει την απουσία φορτίου κίνησης στο buffer στην εν λόγω ουρά που χρησιμοποιείται από την TID. Τιμή μεγέθους ουράς 254 χρησιμοποιείται για όλα τα μεγέθη μεγαλύτερα των 64768 bytes, ενώ τιμή μεγέθους ουράς 255 χρησιμοποιείται για να υποδείξει ένα μη καθορισμένο ή μη γνωστό μέγεθος. Εάν ένα QoS data frame είναι κατακερματισμένο η τιμή του μεγέθους της ουράς μπορεί να παραμείνει σταθερή σε όλα τα τεμάχια αν και το μέγεθος της ουράς κίνησης αλλάζει διαρκώς με την εκπομπή των τεμαχίων.

TXOP Duration Requested υποπεδίο

Το υποπεδίο TXOP Duration Requested έχει μήκος 8 bits και υποδεικνύει τη διάρκεια σε μονάδες των 32μs που ο σταθμός αποστολέας επιθυμεί για το επόμενο του TXOP για το καθορισμένο TID. Η τιμή του χρονικού διαστήματος

λαμβάνει τιμές στο διάστημα 32,8160 μ s. Εάν η υπολογισμένη διάρκεια του TXOP που ζητείται δεν είναι παράγοντας των 32 μ s τότε η διάρκεια αυτή στρογγυλοποιείται στον επόμενο μεγαλύτερο ακέραιο που είναι πολλαπλάσιο του 32 μ s. Το υποπεδίο TXOP Duration Requested υπάρχει σε QoS frames δεδομένων που έχουν αποσταλεί από σταθμούς (όχι APs) συνδυασμένο με το bit 11 του QoS Control υποπεδίου στην τιμή μηδέν. Το QAP μπορεί να επιλέξει να προσδώσει μια διάρκεια του TXOP μικρότερη από αυτή που ζητήθηκε από το υποπεδίο TXOP Duration Requested. Η τιμή μηδέν στο υποπεδίο TXOP Duration Requested υποδεικνύει ότι δεν έχει ζητηθεί TXOP για τα MSDU της συγκεκριμένης TID στην τρέχουσα περίοδο εξυπηρέτησης. Οι τιμές του υποπεδίου TXOP Duration Requested δεν είναι αθροιστικές. Η τιμή 0 σε ένα υποπεδίο TXOP Duration Requested μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ακυρώσει ένα σε αναμονή μη ικανοποιητικό TXOP request όταν το MSDU του δεν είναι πλέον στην ουρά αναμονής για να αποσταλεί.

QAP PS Buffer State υποπεδίο

Το υποπεδίο αυτό χρησιμοποιείται για να καθορίσει την κατάσταση PS Buffer (Power Save buffer) στο QAP για ένα χρήστη ο οποίος είναι STA και όχι AP. Το μήκος του είναι 8 bits και διαιρείται σε τρία υποπεδία, το Buffer state indicated subfield, το highest priority Buffered AC και το QAP Buffered Load. Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικότερα τα τρία υποπεδία του QAP PS Buffer State subfield:

- **Buffer State Indicated sub-field**: Το μήκος αυτού του υποπεδίου είναι 1 bit και υποδεικνύει εάν έχει καθοριστεί το QAP PS Buffer State. Όταν η τιμή αυτού του υποπεδίου είναι 0 τότε τα άλλα δύο υποπεδία του QAP PS Buffer State δεσμεύονται και οι τιμές τους είναι είτε άγνωστες είτε μη καθορισμένες.
- **Highest priority Buffered AC**: Το μήκος αυτού του υποπεδίου είναι 2 bit και υποδεικνύει την AC με την υψηλότερη προτεραιότητα που έχει απομείνει στο buffer.
- **QAP Buffered Load**: Το μήκος του είναι 4 bit και η τιμή του εκφράζει το μέγεθος του buffer όλων των MSDU που βρίσκονται στο buffer του QAP.

Το μέγεθος εκφράζεται σε ένα αριθμό στρογγυλοποιημένο στο κοντινότερο πολλαπλάσιο του 4096 octets. Εάν η τιμή του πεδίου είναι 15 σημαίνει ότι το μέγεθος του buffer ξεπερνάει τα 57344 octets, το 0 χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει την απουσία κίνησης στο buffer για την εν λόγω υψηλότερης προτεραιότητας AC όταν η τιμή του Buffer State Indicated είναι 1.

3.12 Τροποποιήσεις frames ελέγχου και δεδομένων

Σε αυτήν την ενότητα θα αναφερθούν οι προσθήκες στα frames RTS ,CTS, Block ACK Request και Block ACK.

Request to Send (RTS) frame format

Τα πλαίσια RTS στο πρότυπο 802.11e μπορούν να αποστέλλονται είτε υπό την EDCA ακολουθώντας τη μέθοδο πρόσβασης του διαύλου μέσω του ανταγωνισμού είτε υπό την HCCA .

Η τιμή της διάρκειας του RTS frame όταν αποστέλλεται με τη μέθοδο πρόσβασης μέσω του ανταγωνισμού καθορίζεται ως εξής:

- Αν είναι επιθυμητή η προστασία NAV για την πρώτη μετάδοση ή είναι το μοναδικό frame στην TXOP η τιμή καθορίζεται στα microsecond που απαιτούνται για την εκπομπή του εν αναμονή frame συν ένα CTS frame συν ένα ACK frame (αν χρειάζεται) συν 3 διαστήματα μεγέθους SIFS.
- Αλλιώς η τιμή καθορίζεται στον εναπομείναντα χρόνο της διάρκειας του TXOP.

Όλα τα πλαίσια RTS που αποστέλλονται υπό την HCCA η τιμή της διάρκειας καθορίζεται ως εξής:

- Αν το εν αναμονή frame είναι το τελευταίο η τιμή της διάρκειας ορίζεται στο χρόνο σε microseconds που χρειάζεται για την μετάδοση του εν λόγω frame συν ένα CTS frame συν ένα ACK frame (αν χρειάζεται) συν 3 διαστήματα μεγέθους SIFS.

- Αν το εν αναμονή frame δεν είναι το τελευταίο στην TXOP η τιμή τη διάρκειας ορίζεται στον εναπομείναντα χρόνο της διάρκειας του TXOP.

Clear to Send (CTS) frame format

Όλα τα πλαίσια CTS που αποστέλλονται ως το πρώτο frame υπό την EDCA η τιμή της διάρκειας καθορίζεται ως εξής:

- ❖ Αν είναι επιθυμητή η προστασία NAV για το πρώτο ή μοναδικό frame στην TXOP η τιμή καθορίζεται στα microsecond:
 - που απαιτούνται για την εκπομπή του εν αναμονή frame συν ένα διάστημα μεγέθους SIFS συν ένα πλαίσιο απάντησης (ACK ή Block Ack response frame) συν ένα επιπλέον SIFS εάν υπάρχει πλαίσιο απάντησης.
 - που απαιτούνται για την εκπομπή του εν αναμονή frame συν ένα διάστημα μεγέθους SIFS εάν δεν υπάρχει πλαίσιο απάντησης
- ❖ Διαφορετικά η τιμή καθορίζεται στον εναπομείναντα χρόνο της διάρκειας του TXOP.

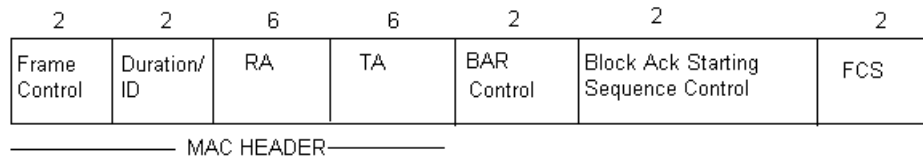
Όλα τα πλαίσια CTS που αποστέλλονται υπό την HCCA η τιμή της διάρκειας καθορίζεται ως εξής:

- ❖ Αν το εν αναμονή πλαίσιο είναι το μόνο πλαίσιο στην TXOP η τιμή της διάρκειας ορίζεται στα microseconds:
 - του χρόνου που απαιτείται για την εκπομπή του εν αναμονή πλαίσιο συν ένα SIFS συν ένα πλαίσιο απάντησης (ACK ή Block Ack response frame) συν ένα επιπλέον SIFS εάν υπάρχει πλαίσιο απάντησης.
 - του χρόνου που απαιτείται για την εκπομπή του εν αναμονή frame συν ένα διάστημα μεγέθους SIFS εάν δεν υπάρχει πλαίσιο απάντησης.

- ❖ Αν το εν αναμονή πλαίσιο δεν είναι το τελευταίο πλαίσιο στην TXOP η τιμή της διάρκειας καθορίζεται στον εναπομείναντα χρόνο της διάρκειας του TXOP.

Block Ack Request frame formats

Το πλαίσιο Block Ack Request φαίνεται στη παρακάτω εικόνα.



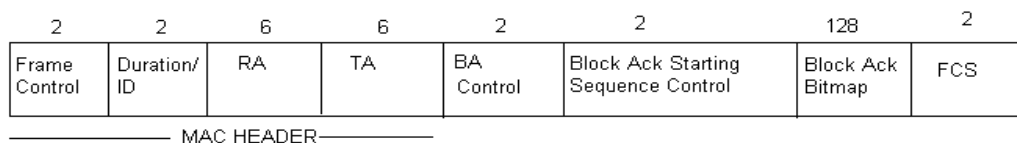
Εικόνα 3.7: Δομή Πλαισίου Block Ack Request

Τα πεδία ενός πλαισίου Block Ack Request είναι τα εξής:

- Duration / ID: Η τιμή του είναι μεγαλύτερη ή ίση στο χρόνο σε microseconds που απαιτείται για την μετάδοση ενός Ack ή Block Ack πλαισίου συν το χρόνο ενός SIFS.
- RA: συνιστά τη διεύθυνση του παραλήπτη σταθμού.
- TA: συνιστά τη διεύθυνση του αποστολέα σταθμού.
- BAR Control: παρατηρείται στον επόμενο πίνακα.
- TID: περιέχει το TID για το οποίο ένα Block Ack πλαίσιο έχει ζητηθεί.

Block Ack frame formats

Το πλαίσιο Block Ack φαίνεται στη παρακάτω εικόνα.



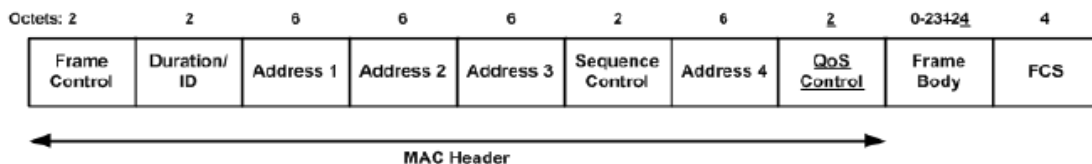
Εικόνα 3.8: Δομή Block Ack πλαισίου

Αν το πλαίσιο Block Ack έχει αποσταλεί προς απάντηση στο Block Ack Request πλαίσιο τότε η τιμή του πεδίου Duration/ID είναι η τιμή που λαμβάνουμε από το Duration/ID πεδίο του Block Ack Req πλαισίου μείον το χρόνο σε microseconds που απαιτείται για να για την εκπομπή του Block Ack πλαισίου και του SIFS αυτού.

Αν το πλαίσιο Block Ack δεν έχει αποσταλεί προς απάντηση στο Block Ack Request πλαίσιο τότε η τιμή του πεδίου Duration/ID είναι μεγαλύτερη (σε σχέση με το TXOP όριο) ή τουλάχιστον ίση του χρόνου για την εκπομπή ενός πλαισίου Ack συν του χρόνου SIFS. Το πεδίο RA συνιστά τη διεύθυνση του παραλήπτη σταθμού που ζήτησε το Block Ack. Τέλος το πεδίο TA συνιστά τη διεύθυνση του αποστολέα σταθμού του Block Ack.

Data frames

Η δομή των πλαισίων δεδομένων είναι εξαρτώμενη του υποπεδίου QoS γεγονός που παρατηρείται και στο προηγούμενο σχήμα καθώς το πεδίο QoS Control ανήκει στο MAC Header. Πλαίσια δεδομένων με τιμή 1 στο υποπεδίο QoS αναφέρονται ως πλαίσια δεδομένων ποιότητας υπηρεσιών(QoS data frames).



Εικόνα 3.9: Δομή πλαισίου δεδομένων

Ένας σταθμός που υλοποιεί το 802.11e πάντοτε χρησιμοποιεί QoS data frames για την εκπομπή δεδομένων σε ένα δίκτυο όπου και όλοι οι άλλοι σταθμοί που επικοινωνούν μαζί του υλοποιούν το πρωτόκολλο αυτό και η εξάρτησή του από το υποπεδίο QoS Control ακολουθεί τους κανόνες των MAC frames.

3.13 Επίλογος

Το IEEE 802.11e έχει στόχο την βελτίωση της ποιότητας υπηρεσιών (Quality of Service) στα WLANs. Για να το πετύχει αυτό χρησιμοποιεί τους μηχανισμούς EDCA και HCCA για την πρόσβαση στο μέσο. Η απονομή

προτεραιοτήτων στις κατηγορίες κίνησης και οι μηχανισμοί ελέγχου και πρόσβασης στο μέσο που προσφέρει το 802.11e είναι αυτά που προσδίδουν ποιότητα υπηρεσιών QoS. Η αρχιτεκτονική του MAC 802.11e και ο τύπος των πλαισίων διαφέρουν από το 802.11x. Οι σταθμοί που λειτουργούν πάνω στο 802.11e είναι αναβαθμισμένοι και ονομάζονται QSTAs και όλοι θεωρούνται ισότιμοι από το πρότυπο.

Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται διαφορετικές δυναμικές καταστάσεις και εξετάζεται η συμπεριφορά του δικτύου κατά περίπτωση μέσω προσομοιώσεων.

4.1 Εισαγωγή

Εφαρμογές πολυμέσων όπως το video conference, το video on demand αλλά και φωνής όπως το VoIP έχουν διαφορετικές απαιτήσεις από το ασύρματο δίκτυο σε σχέση με παραδοσιακές εφαρμογές όπως το web browsing, το file transferring και το e-mail. Οι διαφορετικές απαιτήσεις είναι τόσο σε ρυθμό όσο και σε καθυστέρηση μετάδοσης, παρόλο που βασίζονται σε μια κοινή πλατφόρμα ανωτέρου επιπέδου που προσφέρεται από το IP πρωτόκολλο. Μέσω της ανάπτυξης του MAC 802.11e έχουμε σαν σκοπό την υποστήριξη όλων των παραπάνω υπηρεσιών προς τους τελικούς χρήστες.

Η προσομοίωση του ασύρματου δικτύου με φορτίο διαφορετικών υπηρεσιών θα δοκιμάσει την απόδοση του δικτύου και θα κρίνει αν είναι ικανό να υποστηρίξει QoS για τις εφαρμογές των χρηστών του. Προκειμένου να είναι όσο τον δυνατόν ορθότερη η προσομοίωση θα πρέπει να γίνει τόσο σε επίπεδο συνόδου όσο και σε επίπεδο πακέτου. Σε επίπεδο πακέτου αναπτύξαμε ξεχωριστά μοντέλα κίνησης που βασίζονται στις τέσσερις κατηγορίες πρόσβασης που υποστηρίζει ένα 802.11e δίκτυο, τα οποία στηρίχθηκαν σε δεδομένα όπως έχουν προτυποποιηθεί από διεθνείς οργανισμούς. Τα μοντέλα και η κατηγορία στην οποία ανήκουν παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΙΝΗΣΗΣ	AC
VoIP	3 → Voice
HDTV (High Definition Television)	2 → Video
Background	1 → Background
Best Effort	0 → Best Effort

Πίνακας 4.1: Αντιστοίχιση Μοντέλων Κίνησης με κατηγορίες πρόσβασης

Σε επίπεδο συνόδου βασιστήκαμε στο ποσοστό συμμετοχής του κάθε τύπου υπηρεσίας στο συνολικό φορτίο. Αυτό που πρώτιστα χαρακτηρίζει ένα ασύρματο δίκτυο είναι η δυναμική συμπεριφορά των χρηστών που είναι συνδεδεμένοι σ' αυτό, όσον αφορά την συμμετοχή τους στο συνολικό φορτίο. Οι διάφοροι χρήστες εισέρχονται στο δίκτυο σε τυχαίες χρονικές στιγμές, ζητώντας

διαφορετικές υπηρεσίες, διαφορετικής ποιότητας και εξέρχονται μετά από τυχαίο χρονικό διάστημα.

4.2 Μοντέλα Κίνησης

- Μοντέλο VoIP: Μια συνεχόμενη εναλλαγή μεταξύ ενεργών και ανενεργών περιόδων σταθερής διάρκειας αποτελεί την κίνηση μιας συνόδου VoIP. Κατά τη διάρκεια των ενεργών περιόδων εκπέμπονται με σταθερό bit rate πλαίσια σταθερού μεγέθους. Η διάρκεια τόσο των ενεργών όσο και των ανενεργών περιόδων είναι πολύ μικρή ώστε να μην υπάρχουν διαλείψεις στην λαμβανόμενη ομιλία.
- Μοντέλο HDTV: Στις ροές πολυμέσων (multimedia streaming) απαιτείται η μετάδοση δεδομένων με τέτοιο τρόπο που να καθίσταται δυνατή η επεξεργασία τους από το δέκτη με τρόπο συνεχή και σταθερό. Γενικά η προσομοίωση της γεννήτριας κίνησης ενός χρήστη που πραγματοποιεί video streaming είναι εξαιρετικά δύσκολη και σπάνια μπορεί να αποδώσει την πραγματικότητα. Έτσι, μια συνήθης τεχνική που εφαρμόζεται στην πράξη είναι η καταγραφή αρχείων κίνησης από πραγματικά δίκτυα και η εν συνεχεία αναπαραγωγή τους κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Στην προσομοίωση θεωρήσαμε σταθερό bit rate και μέγεθος πακέτου για την HDTV γιατί είναι εφαρμογή με υψηλό bit rate και θελήσαμε να εξαλείψουμε τον τυχαίο παράγοντα στη δημιουργία της κίνησης του εστιάζοντας περισσότερο στην αλληλεπίδραση με τις άλλες υπηρεσίες και στην αντιμετώπισή τους από το δίκτυο.
- Μοντέλα background και Best Effort: Εκτός των υπηρεσιών φωνής και πολυμέσων θα χρησιμοποιηθούν και υπηρεσίες που χαρακτηρίζονται ως Best Effort και background. Οι υπηρεσίες αυτές δεν εξειδικεύονται σε κάποια συγκεκριμένη εφαρμογή αλλά η χρήση τους έγκειται στην προσομοίωση κίνησης που σύμφωνα με το πρότυπο ανήκει στις AC 0 και 1 αντίστοιχα. Για διατήρηση της απλοποίησης του συστήματος και για τις δύο αυτές κατηγορίες κίνησης το bit rate και ο χρόνος άφιξης νέων πακέτων

θεωρήθηκαν σταθερά. Το μέγεθος πακέτου για τις υπηρεσίες background θεωρείται επίσης σταθερό, ενώ για την κίνηση Best Effort σε ορισμένες περιπτώσεις προκύπτει από κατανομή Poisson, ανάλογα με τις ανάγκες του εκάστοτε σεναρίου.

4.3 Προδιαγραφές και απαιτήσεις προσομοιωτή

Η προσομοίωση μας δίνει τη δυνατότητα να μελετήσουμε τη συμπεριφορά μιας διεργασίας μέσω της μεταβολής των παραμέτρων της, των μεταβλητών λειτουργίας καθώς και των μεγεθών παρεμβολής εξωτερικών παραγόντων. Η προσομοίωση προσφέρει μια άνετη και σχετικά αδάπανη μελέτη όλων των παραπάνω.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η προσομοίωση της λειτουργίας των ασύρματων δικτύων που χρησιμοποιούν το 802.11g και 802.11e MAC και την μελέτη της διαφοράς της απόδοσης των δύο αυτών δικτύων, κυρίως όμως την μελέτη των παραμέτρων που βελτιστοποιούν την απόδοση του 802.11e MAC ως προς την παροχή QoS υπηρεσιών. Θα επικεντρωθούμε στην υλοποίηση του 802.11e MAC σε δίκτυο ad hoc. Για την όσο το δυνατό ορθότερη υλοποίηση των βασικών στοιχείων του δικτύου, ο προσομοιωτής θα λειτουργήσει βάσει κάποιων προδιαγραφών οι οποίες περιγράφονται παρακάτω.

- Θα υλοποιηθεί προσομοίωση διακριτών γεγονότων (Discrete Event Simulation).
- Η υλοποίησή μας θα δίνει βαρύτητα σε όλες τις υπηρεσίες που μπορεί και απαιτείται να υποστηρίζονται διαδραστικές (διάφορες υπηρεσίες Best Effort και background) αλλά και ροής πολυμέσων όπου έχουμε την κύρια απαίτηση ικανοποιητικής παροχής ποιότητας υπηρεσιών (VoIP, video conference, HDTV).
- Το δίκτυο οφείλει να παραμείνει κατά το δυνατόν παραμετροποιήσιμο τόσο ως προς τις απαιτήσεις των υπηρεσιών όσων και ως προς τις απαιτήσεις μας για συγκεκριμένες παροχές ποιότητας υπηρεσιών.

- Η πολυπλοκότητα της δομής του MAC πρέπει να είναι η ελάχιστη δυνατή.
- Η υλοποίηση του κάθε στοιχείου οφείλει να λαμβάνει υπόψη την χρονική πολυπλοκότητα της επεξεργασίας του αντίστοιχου κώδικα κατά την διάρκεια της προσομοίωσης.

4.4 Επιλογή Πλατφόρμας Προσομοίωσης

Σημαντική απόφαση πριν την υλοποίηση μιας προσομοίωσης αποτελεί η επιλογή της κατάλληλης πλατφόρμας στην οποία θα πραγματοποιηθεί η υλοποίηση της. Τα βασικότερα κριτήρια με βάση τα οποία γίνεται η επιλογή αυτή είναι:

- Η αξιοπιστία και η εγκυρότητα της πλατφόρμας.
- Η ύπαρξη προηγούμενων γνώσεων στην πλατφόρμα υλοποίησης, οι οποίες θα επιταχύνουν την υλοποίηση του έργου.
- Η παροχή διευκολύνσεων υλοποίησης από την συγκεκριμένη πλατφόρμα. Παραδείγματα τέτοιων διευκολύνσεων είναι η ύπαρξη ειδικών editors και γραφικού περιβάλλοντος για την επίβλεψη της προσομοίωσης.
- Η ταχύτητα προσομοίωσης της συγκεκριμένης πλατφόρμας.
- Η δυνατότητα εύκολης παραμετροποίησης της προσομοίωσης.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω κριτήρια επιλέξαμε ως πλατφόρμα προσομοίωσης το πρόγραμμα OPNET Modeler. Το πρόγραμμα αυτό υλοποιεί προσομοίωση διακριτών γεγονότων (Discrete Event Simulation), δημιουργώντας ένα περιβάλλον τεχνητού λειτουργικού συστήματος στο οποίο κάθε τμήμα του δικτύου καθώς και κάθε χρήστης θεωρείται ως μια ανεξάρτητη διεργασία. Οι διεργασίες αυτές αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με κατάλληλα σήματα διακοπών (interrupt signals) και το τελικό αποτέλεσμα είναι η προσομοίωση της συνολικής

συμπεριφοράς του δικτύου. Οι κύριοι λόγοι για τους οποίους επιλέξαμε αυτό το πρόγραμμα είναι οι παρακάτω:

- Το OPNET Modeler υλοποιεί προσομοίωση διακριτών γεγονότων (Discrete Event Simulation) που είναι κατάλληλη για τις απαιτήσεις της εργασίας μας.
- Ο κώδικας των διεργασιών γράφεται σε γλώσσα C++, στην οποία υπάρχει προηγούμενη εμπειρία.
- Είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο εμπορικό προϊόν προσφέροντας ιδιαίτερη αξιοπιστία.
- Το OPNET Modeler σαν εμπορικό προϊόν προσφέρει πληθώρα διευκολύνσεων που επιταχύνουν το έργο μας. Τέτοια είναι η αυτόματη συλλογή στατιστικών στοιχείων, παροχή ειδικών editors για την συγγραφή του κώδικα, η ύπαρξη γραφικού περιβάλλοντος και η εύκολη δημιουργία μενού επιλογών.
- Το γεγονός ότι οι διεργασίες του OPNET είναι γραμμένες σε γλώσσα C, η οποία βρίσκεται πολύ κοντά στο επίπεδο μηχανής του συστήματος, προσφέρει μεγάλη ταχύτητα προσομοίωσης.

Το OPNET Modeler 11.5 αποτελεί την πιο πρόσφατη έκδοση του προϊόντος το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ελεύθερα χωρίς την ανάγκη αγοράς του.

4.5 Υλοποίηση προσομοιώσεων

Πολλές εφαρμογές πολυμέσων πραγματικού χρόνου όπως για παράδειγμα το VoIP, η διάσκεψη video (video conferencing), η τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας (High Definition TV) και πολλές άλλες έχουν ιδιαίτερα υψηλές απαιτήσεις τόσο σε εύρος ζώνης όσο και σε χρονική καθυστέρηση. Προκειμένου να διασφαλιστεί η αποδοτική λειτουργία των υπηρεσιών αυτών στα WLANs είναι απαραίτητη η ύπαρξη διαφορετικών προτεραιοτήτων, έτσι ώστε το MAC υποεπίπεδο να διασφαλίζει ποιότητα υπηρεσιών ανάλογα με την εφαρμογή.

Τα πρότυπα IEEE 802.11 που υποστηρίζουν οι διάφορες συσκευές δικτύωσης (netbook, laptop, smartphones κ.α.) που κυκλοφορούν στην αγορά είναι κατά κύριο λόγο τα 802.11b, 802.11g, 802.11n, τα οποία δεν διαφοροποιούν την πρόσβαση στο μέσο ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής. Το πιο πρόσφατο είναι το 802.11n και έγινε standard το 2009, επειδή όμως η έκδοση 11.5 του Opnet Modeler που θα χρησιμοποιηθεί για να υλοποιηθούν οι προσομοιώσεις εμφανίστηκε για πρώτη φορά το 2005, δεν υποστηρίζει το 802.11n. Αυτό που επιλέχθηκε είναι το 802.11g το οποίο είναι πιο πρόσφατο από το 802.11b και αντικαταστάτης του εμπορικά.

Το πλήθος των παραμέτρων και των συνδυασμών τους που θα μπορούσαν να επιλεγθούν για να προσομοιώσουν την λειτουργία ενός ασύρματου δικτύου είναι τεράστιο. Είναι ευνόητο ότι η μελέτη του συνόλου των παραμέτρων που επιδρούν στην απόδοση του δικτύου είναι αδύνατη. Βασικά κριτήρια για την επιλογή των κατάλληλων συνδυασμών παραμέτρων είναι οι δυνατότητες του εξοπλισμού που είναι διαθέσιμος, η διάρκεια μιας προσομοίωσης πρέπει να διαρκεί ικανοποιητικό χρόνο και να μην επηρεάζουν σημαντικά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης ώστε να ανταποκρίνονται όσο το δυνατόν στην πραγματικότητα.

Στην προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε ένα laptop με CPU 1.74 Ghz και RAM 2 Gb και ο μέγιστος αριθμός των σταθμών που θα απαρτίζεται ένα δίκτυο είναι 16, αριθμός κατάλληλος ώστε από τα αποτελέσματα που μας δίνονται να είναι τα βέλτιστα και ο χρόνος προσομοίωσης να διατηρείται σε ικανοποιητικά επίπεδα.

Σε μια σειρά απο σενάρια που παρατίθενται παρακάτω, σκοπός είναι να μελετηθεί η συμπεριφορά του μηχανισμού EDCA ανά AC όταν μεταβάλλεται το φορτίο ανά υπηρεσία αλλά και ο συνολικός αριθμός των σταθμών στο δίκτυο. Στο πρώτο προσομοιώνεται ένα δίκτυο 802.11g με σκοπό να αποδειχθεί η αδυναμία του μηχανισμού DCF να εξασφαλίσει QoS, αφού δεν διαφοροποιεί την πρόσβαση στο μέσο ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής. Οι μετρήσεις που προσφέρουν χρήσιμα συμπεράσματα για την απόδοση του δικτύου είναι με βάση την καθυστέρηση πρόσβασης στο μέσο (Media Access Delay), την καθυστέρηση μετάδοσης (Delay) και την διαπερατότητα (Throughput).

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι πολλοί ερευνητές που χρησιμοποιούν το Opnet σαν εργαλείο για να μελετήσουν την συμπεριφορά ενός 802.11e δικτύου έχουν

τους σταθμούς που αποτελούν το ασύρματο δίκτυο να είναι τύπου `mobile_station`. Αυτό οφείλεται στην απλότητα που προσφέρει ένας σταθμός `mobile_station` στην προσομοίωση, αφού δεν προσδίδει πολυπλοκότητα στο MAC layer. Σε ένα `mobile_station` όμως για να υποστηρίζονται περισσότερες από μία υπηρεσίες πρέπει να τροποποιηθεί το MAC layer με την χρήση κώδικα. Στις προσομοιώσεις αυτής της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν σταθμοί τύπου `mobile_workstation` έτσι ώστε να ξεπεραστούν προβλήματα προγραμματισμού στο MAC layer.

4.5.1 Προσομοίωση ενός 802.11g δίκτυου με χρήση του μηχανισμού DCF

Υλοποιήθηκαν τρία σενάρια για να διαπιστωθεί στην πράξη η αδυναμία του 802.11g να εξασφαλίζει ποιότητα υπηρεσιών. Η λειτουργία του προσομοιώθηκε με χρήση του μηχανισμού DCF για την πρόσβαση στο μέσο, σε δίκτυο ad-hoc, όπου όλοι οι σταθμοί είναι ισότιμοι. Με τον DCF παρέχονται ουσιαστικά υπηρεσίες best effort αφού δεν διαφοροποιείται η πρόσβαση στο μέσο ανά προτεραιότητα.

Δημιουργούμε στον OPNET modeler δίκτυο 802.11g στα 54 Mbps χωρίς μηχανισμό PCF αφού δεν υπάρχει AP στο δίκτυο και χωρίς RTS/CTS. Θεωρούμε ότι ο κάθε σταθμός μεταδίδει τεσσάρων ειδών ροές δεδομένων (Voice, video, best effort και background) χρησιμοποιώντας το UDP σαν πρωτόκολλο μεταφοράς. Ο χρόνος προσομοίωσης, όπως και σε όλα τα υπόλοιπα σενάρια είναι 600 δευτερόλεπτα, χρόνος αρκετός για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων. Το μέγεθος ουράς στο MAC θεωρείται 50 και χρησιμοποιείται η γεννήτρια κίνησης Voice όπου κατά τη διάρκεια των ενεργών περιόδων υλοποιείται η κωδικοποίηση ITU-T G.711 που δημιουργεί πακέτα μεγέθους 160 byte κάθε 20 msec και αντιστοιχεί σε ρυθμό μετάδοσης 64 Kb/s. Ο ρυθμός μετάδοσης του video είναι 1024 Kb/s με μέγεθος πακέτου 1280 bytes. Τέλος ο ρυθμός μετάδοσης της best effort και background κίνησης είναι 960 Kb/s με μέγεθος πακέτου 1500 bytes.

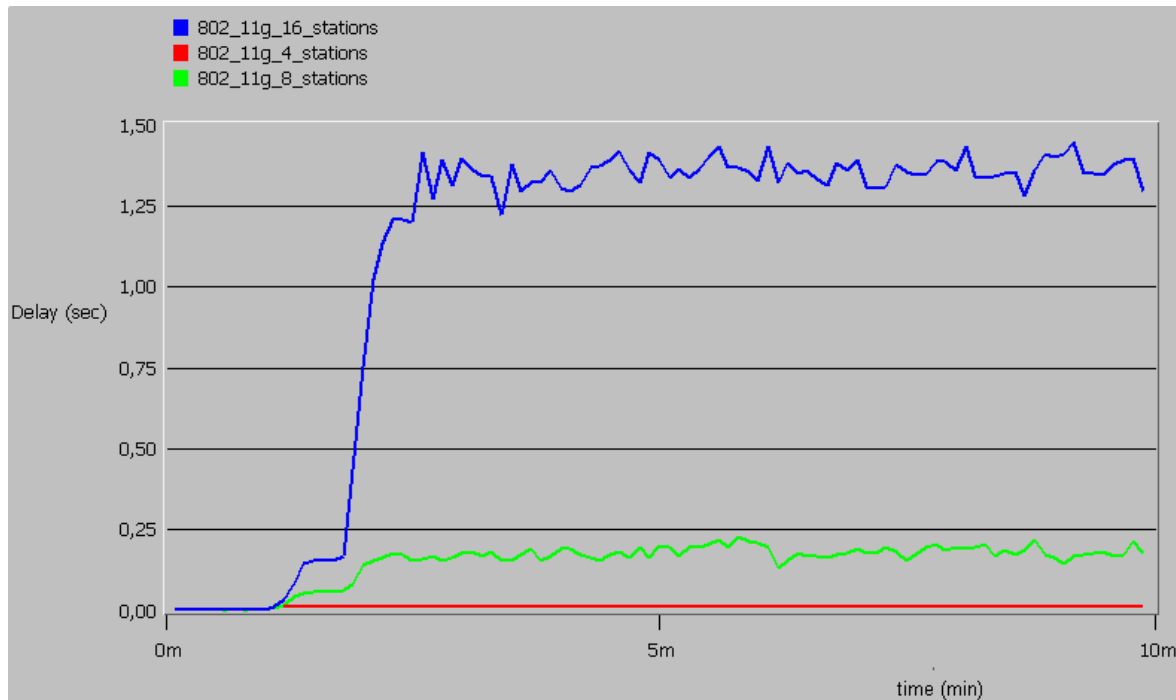
Σε όλα τα σενάρια που αφορούν την μελέτη της απόδοσης του 802.11g, η υπηρεσία Best Effort όπου επιλέξαμε να είναι κίνηση heavy browsing εμφανίζεται στο πέμπτο δευτερόλεπτο ενώ η υπηρεσία Video στο πενήτηκοστό δευτερόλεπτο και διατηρούνται συνεχώς μέχρι το τέλος της προσομοίωσης. Η υπηρεσία VoIP συναντάται για πρώτη φορά στο εκατοστό δευτερόλεπτο της προσομοίωσης και

επαναλαμβάνεται σε τυχαία χρονικά διαστήματα έως το τέλος της προσομοίωσης. Τέλος η υπηρεσία background επιλέχθηκε να εμφανίζεται σε τυχαίες χρονικές.

Μεταβάλλουμε το συνολικό αριθμό σταθμών από 4 σε 8 και τέλος σε 16 με σκοπό να ερευνήσουμε πως συμπεριφέρεται το δίκτυο με μικρό και με μεγάλο αριθμό χρηστών. Ένα σενάριο με παραπάνω από 16 σταθμούς αυξάνει σημαντικά την διάρκεια ολοκλήρωσης της προσομοίωσης χωρίς να προσφέρει διαφορετικά συμπεράσματα. Στο σενάριο με τέσσερις σταθμούς, όλοι τους παρέχουν και τις 4 κατηγορίες κίνησης, όταν αυξάνεται ο αριθμός των σταθμών σε οκτώ οι τέσσερις από αυτούς δεν μεταδίδουν VoIP πακέτα. Τέλος στο σενάριο που υπάρχουν δεκαέξι σταθμοί, μόνο 8 σταθμοί παρέχουν όλα τα είδη κίνησης ενώ οι υπόλοιποι παρέχουν 3 από τα 4 είδη κίνησης. Δηλαδή κάποιοι έχουν φορτίο φωνής ενώ οι υπόλοιποι έχουν φορτίο video αλλά όχι φωνής. Η διάρκεια ολοκλήρωσης της προσομοίωσης στο καθένα από τα τρία σενάρια εξαρτάται από τον αριθμό των σταθμών που απαρτίζουν το δίκτυο, το πλήθος των υπηρεσιών και τις δυνατότητες του εξοπλισμού που χρησιμοποιούμε. Με τον εξοπλισμό που έχει ήδη αναφερθεί, στο σενάριο όπου το δίκτυο απαρτίζεται από 4 σταθμούς, η διάρκεια της προσομοίωσης είναι 31 λεπτά, με 8 σταθμούς 48 λεπτά ενώ με 16 σταθμούς 1 ώρα και 44 λεπτά.

Πρώτα θα μελετήσουμε τη μέση καθυστέρηση μετάδοσης (Delay) του δικτύου. Στο παρακάτω γράφημα εμφανίζεται και αναλύεται η γραφική παράσταση που αφορά τη μέση καθυστέρηση των τεσσάρων τύπων δεδομένων και των τριών σεναρίων συναρτήσει του χρόνου προσομοίωσης.

Αποδεκτή τιμή για την καθυστέρηση της VoIP υπηρεσίας είναι τα 150 ms καθώς πάνω από 200 ms παραποιείτε η ομιλία και είναι πλέον αναγνωρίσιμη σε κάθε ανθρώπινο αυτί. Στην υπηρεσία video αν έχουμε καθυστέρηση μετάδοσης περισσότερο από 175ms γίνεται ορατή η έλλειψη κίνησης της εικόνας και δεν υπάρχει συγχρονισμός μεταξύ εικόνας και ήχου.

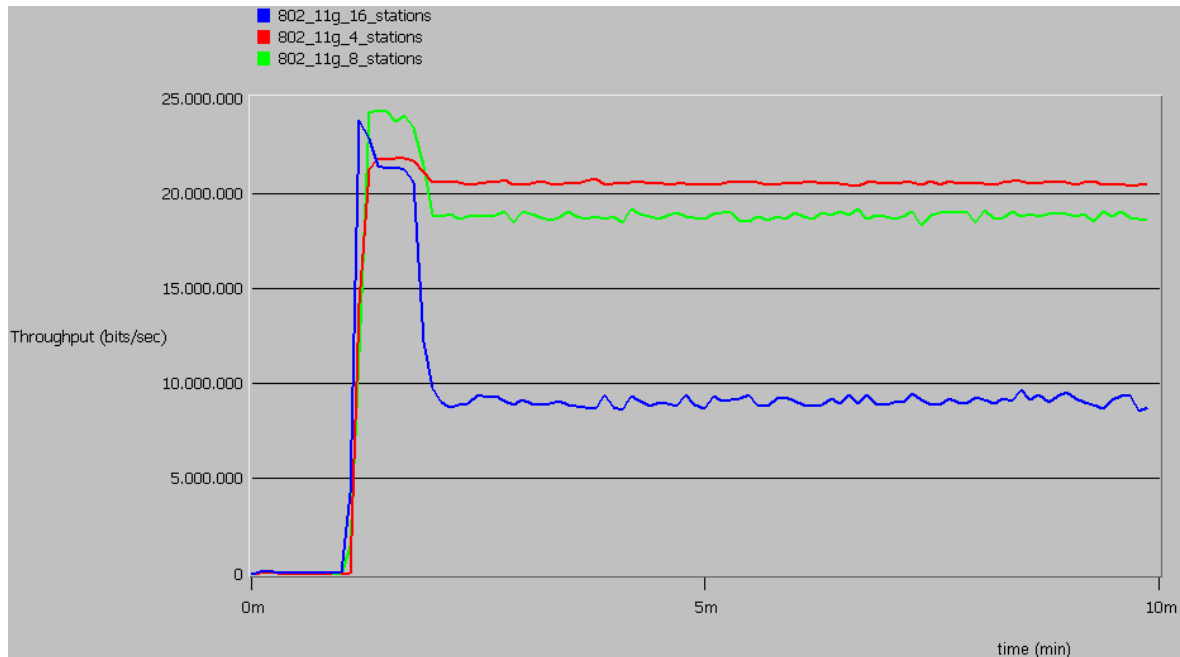


Εικόνα 4.1: Delay σε 802.11g σε δίκτυα με 4,8 και 16 σταθμούς

Στο γράφημα της εικόνας 4.1 φαίνεται ότι η μέση καθυστέρηση είναι αμελητέα όταν ο αριθμός των σταθμών δεν ξεπερνάει τους 4 και το δίκτυο μπορεί να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις των χρηστών. Στα άλλα δυο σενάρια η καθυστέρηση είναι μηδαμινή μέχρι την χρονική στιγμή που εισάγεται κίνηση video και VoIP, τότε η καθυστέρηση αυξάνεται κατακόρυφα. Όταν προστίθενται τέσσερις ακόμα πελάτες παρόλο που δεν αυξάνονται οι VoIP συνδέσεις στο δίκτυο η καθυστέρηση μετάδοσης αγγίζει τα 240 msec γεγονός που ειδικά για το VoIP δεν είναι ανεκτό αφού σε IP δίκτυο για να διασφαλιστεί QoS. Όταν πλέον ο αριθμός των σταθμών του δικτύου έχει αυξηθεί σε 16 και οι συνδέσεις VoIP και video αυξάνονται σε 12, η μέση καθυστέρηση αυξάνεται στα 1400 msec. Συμπεραίνουμε ότι επειδή ο μηχανισμός DCF αντιμετωπίζει ακριβώς με τον ίδιο τρόπο τα διαφορετικά είδη κίνησης καθιστά ανεπαρκή το πρότυπο 802.11g για εφαρμογές με αυστηρές απαιτήσεις ως προς την καθυστέρηση όταν το φορτίο στο δίκτυο είναι υψηλό.

Πέρα από την καθυστέρηση μετάδοσης ιδιαίτερη σημασία για την εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσιών έχει και η διαπερατότητα (Throughput) των πιο απαιτητικών εφαρμογών του δικτύου. Για VoIP υπηρεσία κατάλληλο throughput είναι περίπου στα 10 Mbps ενώ για video γύρω στα 15 Mbps. Παρατίθενται στη

συνέχεια οι γραφικές παραστάσεις του throughput του δικτύου κατά την εκτέλεση και των τριών σεναρίων.



ΕΙΚΟΝΑ 4.2: Throughput σε 802.1g δίκτυα με 4, 8 και 16 σταθμούς

Στο γράφημα της εικόνας 4.2 παρατηρούμε ότι το throughput αρχίζει να αυξάνεται σημαντικά μετά το πρώτο λεπτό όπου εισάγεται κίνηση Best Effort στο δίκτυο. Όπως παρατηρούμε όταν το δίκτυο απαρτίζεται από μόνο 4 σταθμούς το Throughput κυμαίνεται σε ανεκτά επίπεδα έστω και αν μειώνεται ελάχιστα όταν εισάγεται VoIP κίνηση. Όταν οι σταθμοί γίνονται 8 μειώνεται αρκετά το throughput όταν εισάγεται VoIP και video κίνηση, εξακολουθεί όμως να παραμένει σε καλό επίπεδο. Στο σενάριο με τους 16 σταθμούς όπου έχουν αυξηθεί οι συνδέσεις video και VoIP σε 8 το throughput μειώνεται δραματικά ειδικά όταν εισάγεται η κίνηση VoIP και το δίκτυο αδυνατεί να αντεπεξέλθει.

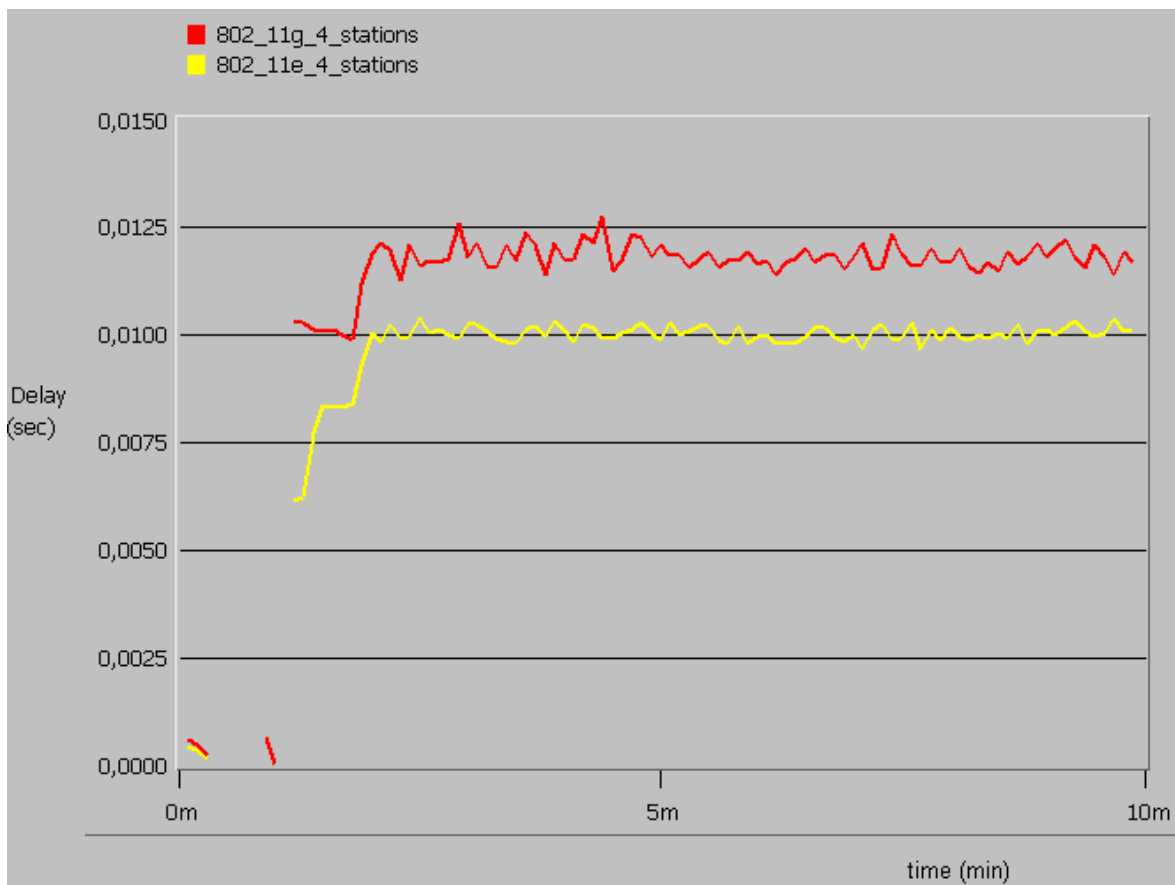
4.5.2 Υλοποίηση του 802.11e δικτύου με χρήση του μηχανισμού EDCA

Όπως ήδη διαπιστώθηκε το πρότυπο 802.11g αδυνατεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις των χρηστών όταν αυξάνεται σημαντικά ο αριθμός των σταθμών του δικτύου. Επαναλαμβάνουμε τα ίδια σενάρια με διαφορετικό πλήθος σταθμών αλλά

με τη χρήση του προτύπου 802.11e. Οι παράμετροι των προσομοιώσεων και το φυσικό επίπεδο παραμένουν ίδια. Οι σταθμοί αντικαθίστανται με QSTAs προκειμένου να υλοποιηθεί το 802.11e. Οι παράμετροι της προσομοίωσης για κάθε κατηγορία πρόσβασης φαίνονται στον πίνακα 4.2.

	VoIP	Video	Best Effort	Background
Πρωτόκολλο	UDP	UDP	UDP	UDP
AC	3	2	0	1
Cwmin	3	7	15	15
CWmax	7	15	1023	1023
AIFSN	2	2	3	7
Μέγεθος Πακέτου	160 bytes	1280 bytes	1500 bytes	1500 bytes
Ρυθμός Μετάδοσης	64 Kb/s	1024 Kb/s	960 Kb/s	960 Kb/s

Πίνακας 4.2: Παράμετροι Προσομοίωσης

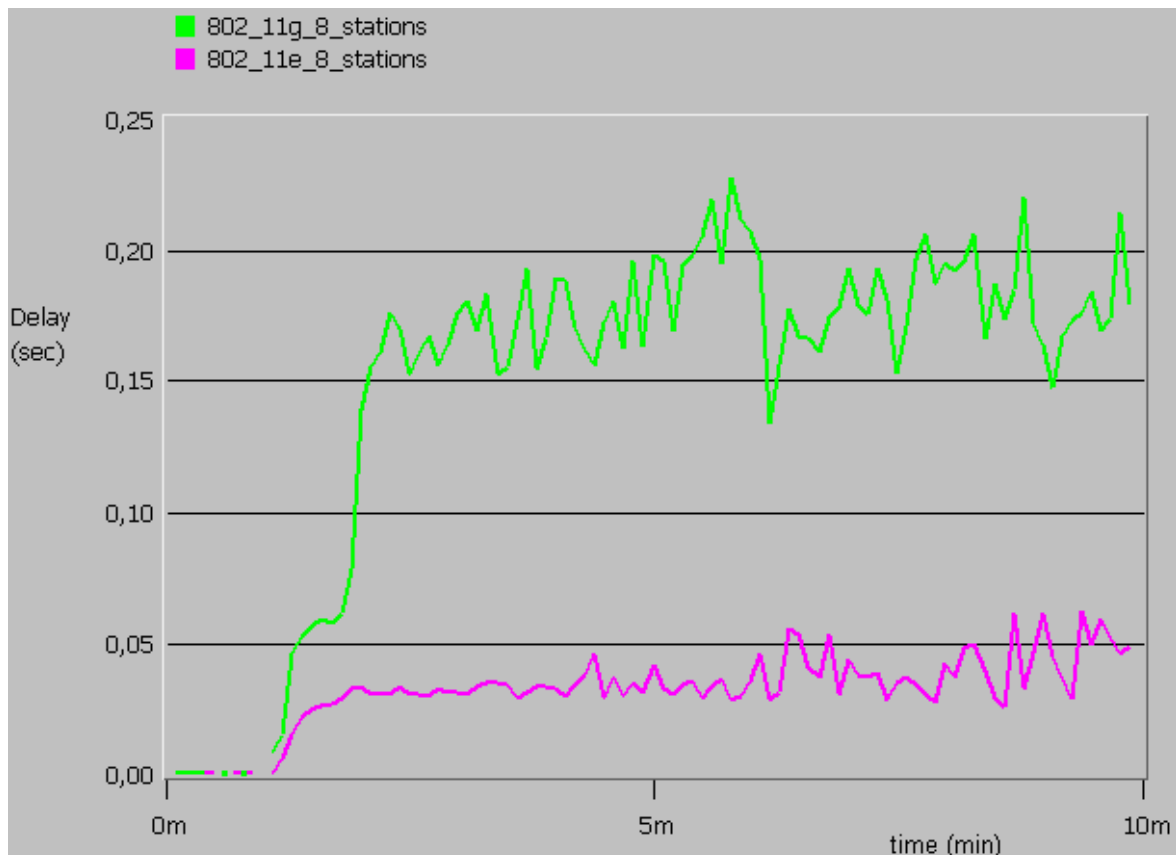


ΕΙΚΟΝΑ 4.3: Σύγκριση Delay στα σενάρια με 4 σταθμούς

Σε όλες τις γραφικές παραστάσεις η καθυστέρηση αυξάνεται κατακόρυφα την χρονική στιγμή που εισάγεται VoIP κίνηση στο δίκτυο. Αρχικά συγκρίνουμε το Delay ανάμεσα στο 802.11g και 802.11e. Στη γραφική παράσταση της εικόνας 4.3 συγκρίνονται οι δύο περιπτώσεις που αποτελούνται από 4 σταθμούς.

Όπως φαίνεται από στο γράφημα της εικόνας 4.3 η μείωση της συνολικής καθυστέρησης μετάδοσης για όλες τις υπηρεσίες σε δίκτυο με 4 σταθμούς που υλοποιεί το 802.11g είναι σε πολύ χαμηλό επίπεδο, η μέγιστη τιμή της είναι μόλις 12,5 msec και το δίκτυο μπορεί να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις των χρηστών. Στο 802.11e μειωμένη ακόμα περισσότερο είναι η καθυστέρηση και συγκεκριμένα στα 10 msec.

Μεταβάλλοντας τον αριθμό των ενεργών σταθμών (QSTAs) από 4 σε 8 όχι όμως και των VoIP συνδέσεων, εκτελούμε ξανά τις προσομοιώσεις.

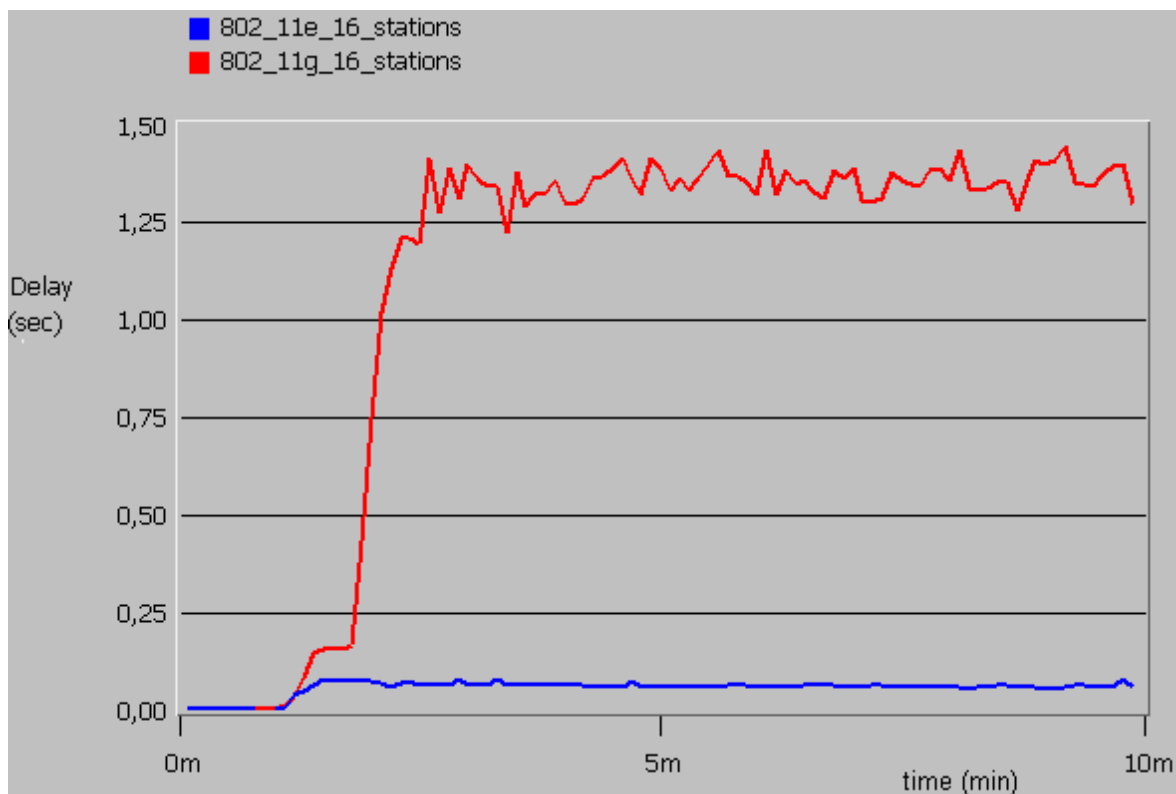


ΕΙΚΟΝΑ 4.4: Σύγκριση Delay στα σενάρια με 8 σταθμούς

Αποδεικνύεται πλέον ότι το 802.11g αδυνατεί να παρέχει QoS υπηρεσίες. Η καθυστέρηση φτάνει έως τα 250 msec και γίνεται ολοφάνερο ότι τόσο η κίνηση VoIP όσο και η κίνηση video δεν μπορούν να εξυπηρετηθούν. Στη γραφική παράσταση της εικόνας 4.4 φαίνεται ξεκάθαρα ότι ενώ επηρεάζεται και το 802.11e

από την αύξηση του πλήθους των QSTAs, η μέγιστη τιμή της καθυστέρηση δεν ξεπερνάει κατά μέσο όρο τα 50 msec άρα μπορεί να παρέχει με μεγάλη ευκολία QoS υπηρεσίες.

Στην επόμενη προσομοίωση ο αριθμός των σταθμών αυξάνεται σε δεκαέξι. Οι συνδέσεις όμως VoIP είναι οκτώ καθώς και συνδέσεις video, ενώ όλοι οι σταθμοί ανεξαιρέτως υλοποιούν best effort και background κίνηση. Όπως φαίνεται στο γράφημα της εικόνας 4.5, η καθυστέρηση στο 802.11g δίκτυο φτάνει μέχρι και 1500 msec, όταν θα έπρεπε να είναι το πολύ 150msec και 175 msec για να μπορεί να υποστηρίξει VoIP και video κίνηση αντίστοιχα. Η καθυστέρηση στο 802.11e δίκτυο παρόλο ότι προσθέσαμε 8 επιπλέον QSTAs, επηρεάστηκε ελάχιστα με μέγιστη τιμή τα 90 msec.

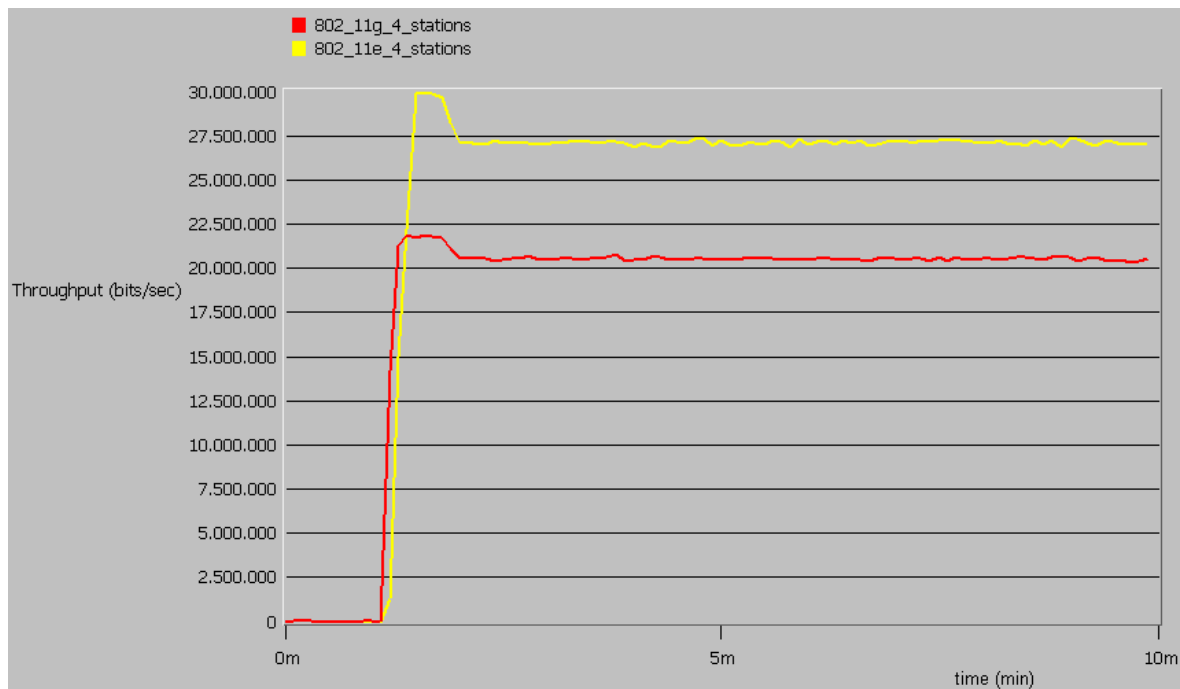


ΕΙΚΟΝΑ 4.5: Σύγκριση Delay στα σενάρια με 16 σταθμούς

Από την σύγκριση που φαίνεται στο παραπάνω γράφημα είναι πολύ εύκολο να εξηγηθεί γιατί δεν χρειάζεται να δοκιμάσουμε προσομοίωση με περισσότερους σταθμούς. Δοκιμάζοντας να αυξήσουμε κι άλλο το πλήθος των σταθμών, το μόνο που θα παρατηρούσαμε θα είναι να μεγαλώνει η διαφορά ανάμεσα στις δύο γραμμές της γραφικής παράστασης. Διαπιστώθηκε μέχρι τώρα ότι το 802.11e

υπερτερεί σημαντικά του 802.11g αντιμετωπίζοντας το ζήτημα της μεγάλης καθυστέρησης μετάδοσης που εμφανίζεται με φορτίο πολυμεσικών εφαρμογών.

Επόμενο βήμα είναι η σύγκριση του Throughput που είναι σημαντικός δείκτης απόδοσης του δικτύου μαζί με την καθυστέρηση. Εδώ παρατηρούμε ότι σε όλες τις προσομοιώσεις το Throughput μεγαλώνει την χρονική στιγμή που εισάγεται το video streaming και μειώνεται σταδιακά την περίοδο που τα QSTAs απαιτούν εξυπηρέτηση της VoIP κίνησης μέχρις ότου να αποκτήσει το δίκτυο ισορροπία.

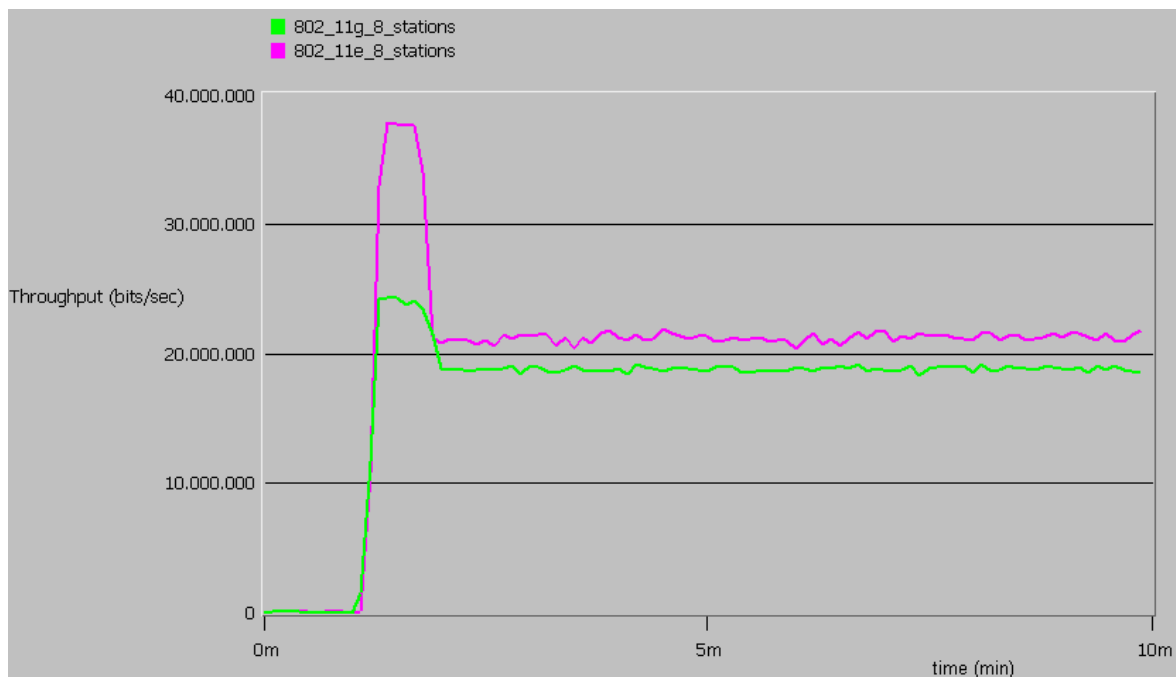


Εικόνα 4.6 : Σύγκριση Throughput στα σενάρια με 4 σταθμούς

Διακρίνεται στη γραφική παράσταση της εικόνας 4.6 ότι σε ένα δίκτυο με μικρό φόρτο κίνησης το Throughput για το 802.11e δίκτυο είναι κατά μέσο όρο 27 Mbps ενώ για το 802.11g 21 Mbps. Αποτέλεσμα αυτής της διαφοράς είναι ο διαχωρισμός των AC που πραγματοποιεί ο αλγόριθμος EDCA στο πρότυπο 802.11e εξυπηρετώντας έτσι τις υπηρεσίες που έχουν ανάγκη για υψηλό bandwidth όπως VoIP και video.

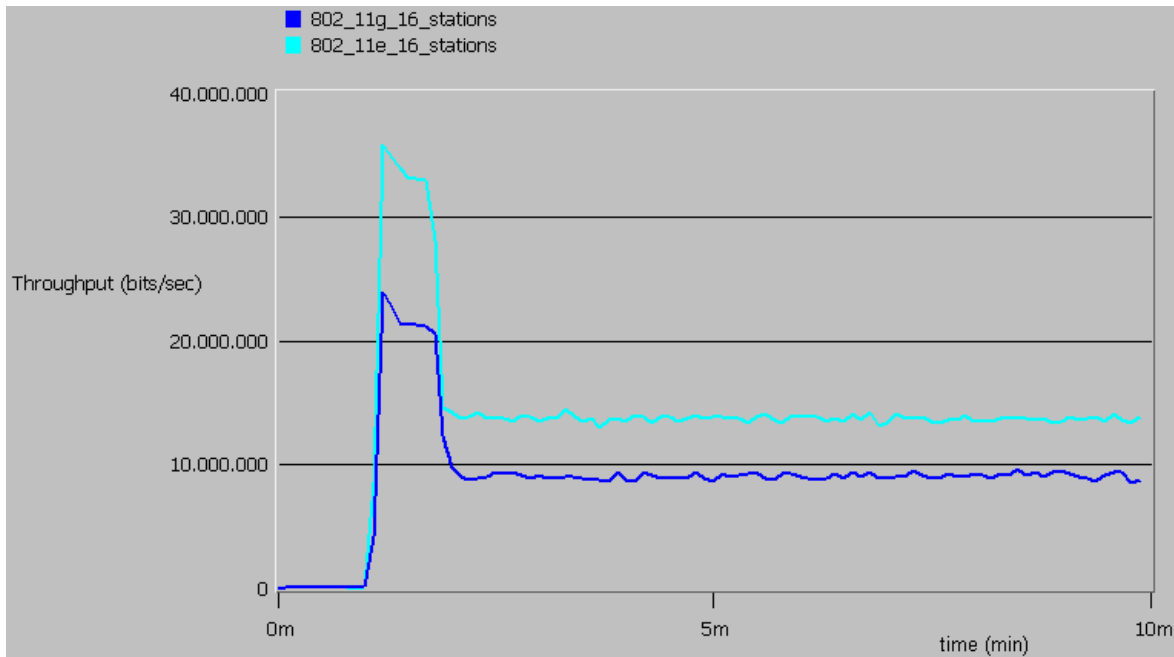
Στην επόμενη προσομοίωση εισάγονται τέσσερα επιπλέον QSTAs. Οι συνδέσεις BE, BG και video αυξάνονται πλέον σε οκτώ ενώ οι συνδέσεις VoIP παραμένουν τέσσερις. Στην γραφική παράσταση της εικόνας 4.7 την χρονική στιγμή που εισάγεται Video κίνηση στο δίκτυο 802.11e, το Throughput αυξάνεται σημαντικά, στο δίκτυο 802.11e φτάνει μέχρι τα 38 Mbps, ενώ στο δίκτυο 802.11g

τα 23 Mbps ώστε να εξυπηρετηθεί η υπηρεσία Video. Στο 802.11e δίκτυο παρατηρούμαι ότι μειώνεται κατακόρυφα στα 21Mbps, όταν εισάγεται VoIP κίνηση. Εξακολουθεί όμως να παραμένει σε καλό επίπεδο και μάλιστα υψηλότερο από ότι στο 802.11g όπου το Throughput είναι κατά μέσο όρο 19 Mbps. Τη χρονική στιγμή που εισάγονται πολλές συνδέσεις video το πρότυπο 802.11e κατά προτεραιότητα προσπαθεί να εξυπηρετήσει τη συγκεκριμένη κατηγορία υπηρεσίας, ο υψηλός όμως ρυθμός με τον οποίο δημιουργούνται τα νέα πακέτα video έχει σαν αποτέλεσμα την απότομη μείωση του Throughput.



Εικόνα 4.7 : Σύγκριση Throughput στα σενάρια με 8 σταθμούς

Στη συνέχεια αυξάνουμε και πάλι το πλήθος των σταθμών. Στην επόμενη γραφική παράσταση διακρίνουμε ότι ενώ έχει αυξηθεί ο αριθμός των QSTAs σε 16 το πρότυπο 802.11e ανταπεξέρχεται με μεγαλύτερη ικανότητα σε σχέση με το 802.11g. Το Throughput μειώνεται από τα 33 Mbps (όταν στο 802.11g την ίδια χρονική στιγμή είναι 22 Mbps) στα 16 Mbps όταν εισέρχεται ταυτόχρονα επιπλέον VoIP και video κίνηση. Δυσκολεύεται στον επιπλέον φόρτο κίνησης υψηλής προτεραιότητας αλλά το Throughput παραμένει σε ικανοποιητικό επίπεδο.

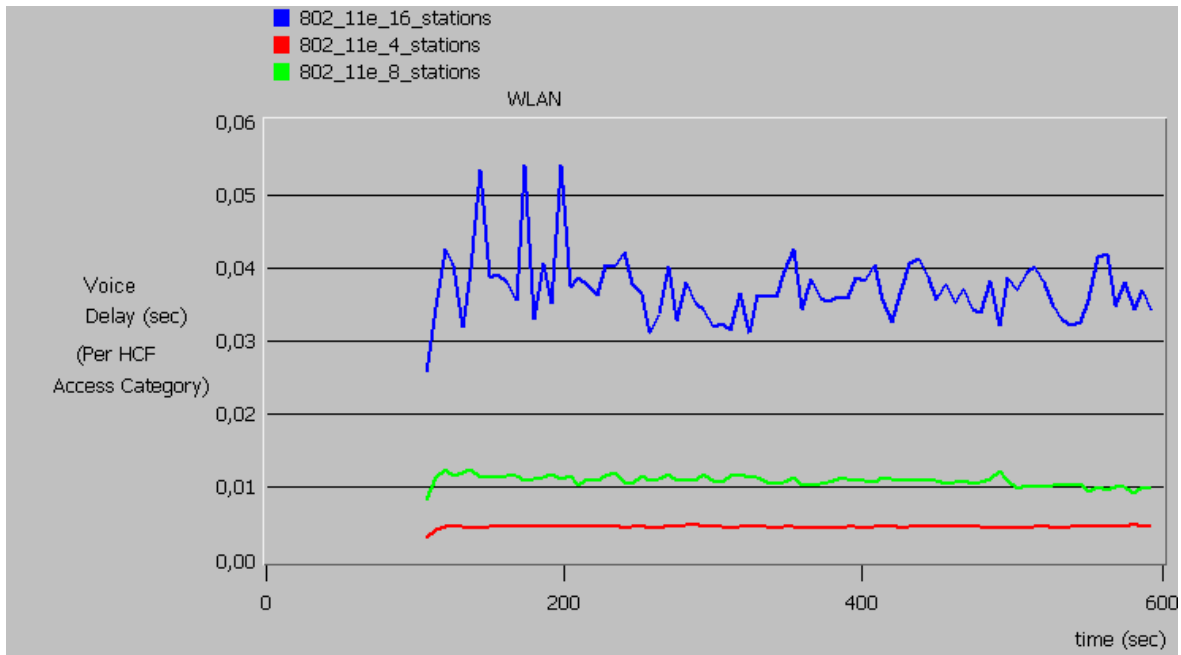


Εικόνα 4.8 : Σύγκριση Throughput στα σενάρια με 16 σταθμούς

Η διαπίστωση από τις μέχρι τώρα συγκρίσεις ανάμεσα στα δύο πρότυπα είναι ότι προφανώς υπερτερεί το 802.11e. Για να μπορέσουμε όμως δώσουμε απάντηση στο ερώτημα αν η παροχή QoS είναι εφικτή από το 802.11e, θα ήταν χρήσιμο να εξετάσουμε το Throughput και το Delay ξεχωριστά στις 2 κατηγορίες κίνησης με την υψηλότερη προτεραιότητα VoIP (AC3) και video (AC2) αφού είναι και οι πιο απαιτητικές.

Η κίνηση VoIP ανήκει στην κατηγορία voice όπου έχει την υψηλότερη προτεραιότητα. Έχει το μικρότερο CW που σημαίνει ότι χρειάζεται να περιμένει μικρότερο χρόνο για την πρόσβαση στο μέσο μετάδοσης αλλά είναι η υπηρεσία με την μεγαλύτερη ευαισθησία στην καθυστέρηση. Είναι ευνόητο ότι αν το δίκτυο δεν δώσει προτεραιότητα στην εν λόγω υπηρεσία τότε η συνομιλία θα είναι κακής ποιότητας εξαιτίας της μεγάλης καθυστέρησης που θα δημιουργηθεί και θα γίνεται εύκολα αντιληπτή από τους χρήστες.

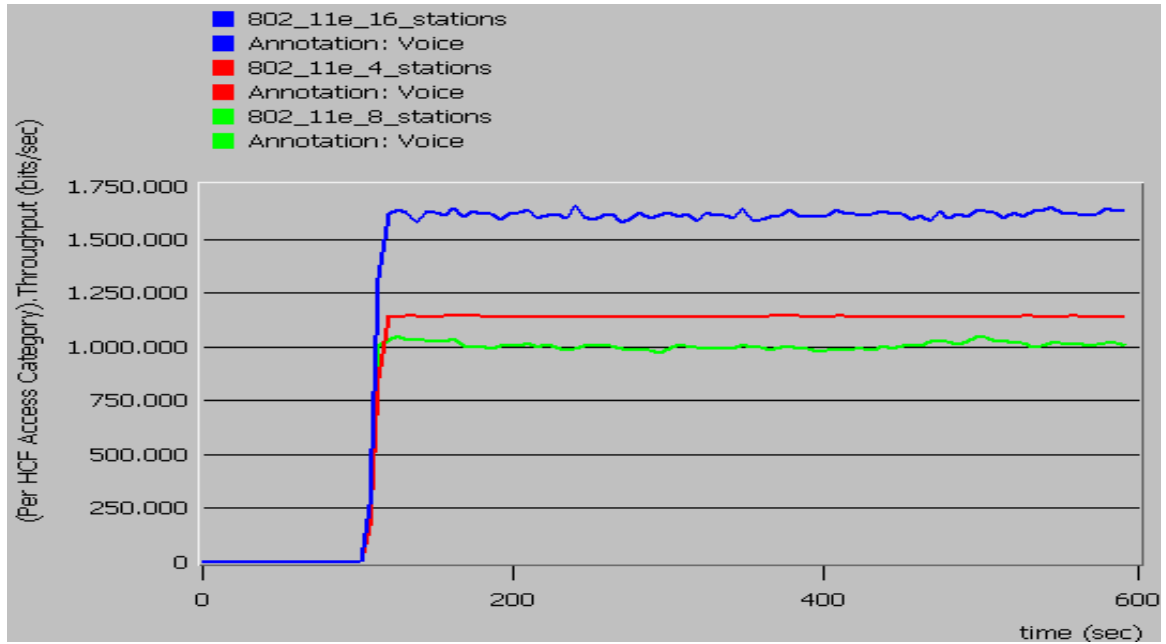
Στην γραφική παράσταση της εικόνας 4.9 φαίνεται ότι ο EDCA μπορεί να προσφέρει την αναμενόμενη διαφοροποίηση στις 4 κατηγορίες κίνησης ικανοποιώντας τις απαιτήσεις της κάθε υπηρεσίας. Συγκεκριμένα ακόμα και στο σενάριο με 16 QSTAs που το δίκτυο είναι φορτωμένο, η μέση καθυστέρηση για το VoIP δεν ξεπερνά τα 55 msec. Θα περίμενε κανείς και η υπηρεσία VoIP να έχει μεγάλες καθυστερήσεις λόγω του μικρού contention window κάτι τέτοιο όμως δε συμβαίνει.



Εικόνα 4.9 : Σύγκριση Delay της υπηρεσίας VoIP

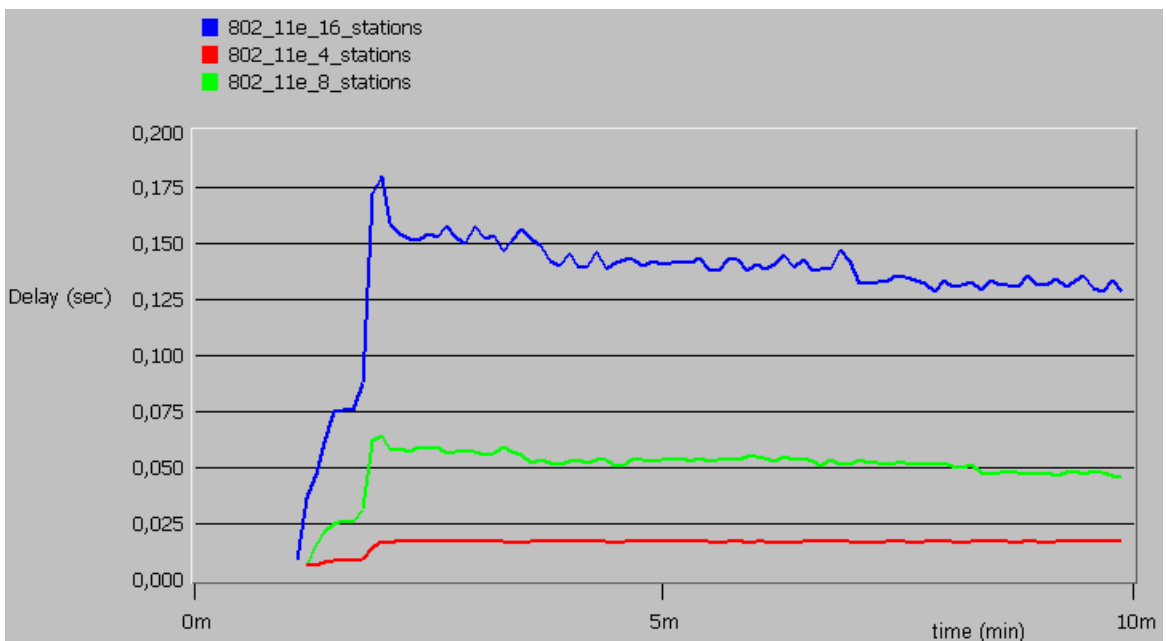
Η πρώτη αιτία του φαινομένου είναι ότι η κίνηση VoIP έχει την υψηλότερη προτεραιότητα (AC 3) γεγονός που της δίνει σαφές προβάδισμα σε σχέση με τις υπόλοιπες υπηρεσίες στο δίκτυο, τόσο λόγω των μικρών χρόνων defer και backoff όσο και λόγω της προτεραιότητας που έχει σε περίπτωση internal collision (εσωτερικής σύγκρουσης). Η δεύτερη αιτία είναι ο χαμηλός ρυθμός δημιουργίας φορτίου κίνησης (64kb/s) που έχει σαν αποτέλεσμα να συμβαίνουν πολύ λιγότερες συγκρούσεις μεταξύ των ροών VoIP σε σχέση με τις υπόλοιπες υπηρεσίες. Στην παραπάνω εικόνα η γραφική παράσταση του σεναρίου με 16 QSTAs παρουσιάζει διακυμάνσεις ενώ στα άλλα δύο σεναρία είναι σχεδόν ευθεία. Αυτό οφείλεται στον αυξημένο αριθμό VoIP συνδέσεων, δημιουργώντας έτσι επιπλέον φόρτο κίνησης για την VoIP υπηρεσία.

Στην εικόνα 4.10 φαίνεται ότι το Throughput της VoIP επηρεάζεται σημαντικά εξαιτίας της αύξησης των συνδέσεων VoIP (δίκτυο με 16 QSTAs). Αιτία είναι ο μεγάλος αριθμός συγκρούσεων μεταξύ των διαφορετικών σταθμών.



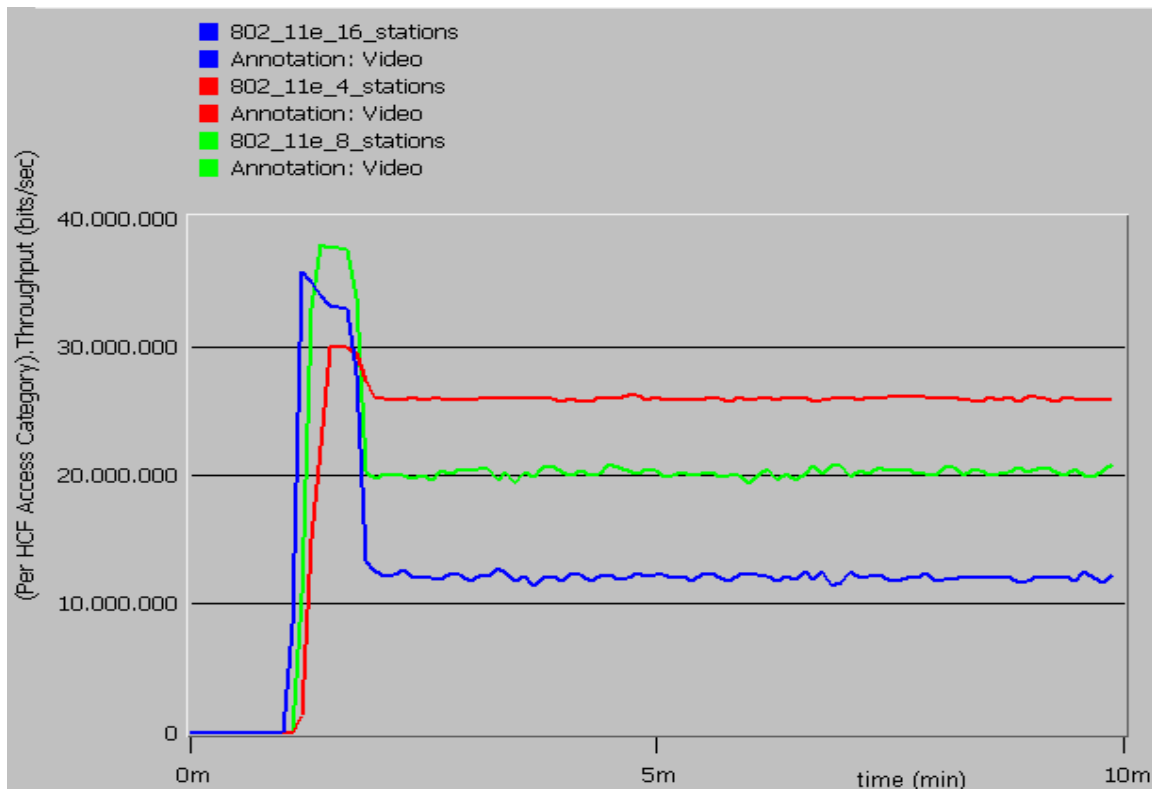
Εικόνα 4.10 : Σύγκριση Throughput της υπηρεσίας VoIP

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι λόγω του μικρού contention window της AC 3 (μέγιστο 7), ο αριθμός συνδέσεων VoIP πρέπει να είναι σχετικά μικρός σε ένα BSS για να διατηρηθεί η σταθερότητα του δικτύου, αφού ένας μεγάλος αριθμός συνδέσεων θα μπορούσε να οδηγήσει σε συνεχείς συγκρούσεις αυξάνοντας υπερβολικά τις καθυστερήσεις όλων των υπηρεσιών και μειώνοντας δραματικά το throughput.



Εικόνα 4.11 : Σύγκριση Delay της υπηρεσίας video

Η μέση καθυστέρηση για το video στο σενάριο με τα περισσότερα QSTAs φτάνει τα 178 msec (εικόνα 4.11). Το σενάριο αυτό δείχνει ότι παρόλο που εξασφαλίζεται διαφοροποίηση ανά υπηρεσία όταν το φορτίο του δικτύου μεγαλώσει πολύ, αρχίζει να φθίνει η ποιότητα ορισμένων υπηρεσιών. Η μεγάλη καθυστέρηση π.χ. για το video οφείλεται στο μικρό contention window που αυξάνει κατά πολύ τις καθυστερήσεις για μεγάλο αριθμό σταθμών. Συγκεκριμένα το CW του video κυμαίνεται όπως φαίνεται στον πίνακα 4.2 από 7 έως 15 και δεδομένου ότι στο δίκτυο υπάρχουν 12 πελάτες που στέλνουν πακέτα video με σχετικά μεγάλους ρυθμούς αυξάνεται κατά πολύ η πιθανότητα δύο ή περισσότεροι πελάτες να τελειώσουν το backoff την ίδια στιγμή με αποτέλεσμα να δημιουργούνται συγκρούσεις οι οποίες δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά αφού και το μέγιστο CW είναι σχετικά μικρό. Επίσης είναι αυξημένη και η πιθανότητα σύγκρουσης με κάποια από τις ροές Best Effort όταν ο αριθμός QSTAs είναι μεγάλος.



Εικόνα 4.12 : Σύγκριση Throughput της υπηρεσίας video

Το σενάριο επιβεβαιώνει ότι ο μηχανισμός EDCA διαφοροποιώντας την πρόσβαση στο μέσο ανά AC μπορεί να προστατεύσει τις υπηρεσίες υψηλής προτεραιότητας. Ωστόσο δεν μπορεί να αντιμετωπίσει το πρόβλημα των

συγκρούσεων μεταξύ πελατών της ίδιας υπηρεσίας όταν ο φόρτος του δικτύου είναι μεγάλος. Μέσω όμως του TXOP, των RTS/CTS, των διαφόρων μηχανισμών ACK (block, group, κλπ.) και βέβαια του μηχανισμού HCCA όπως έχουν περιγραφεί στο κεφάλαιο 3 δίνει μεγάλη ευελιξία προσαρμογής του δικτύου στις εκάστοτε συνθήκες έτσι ώστε η ποιότητα που παρέχεται στις υπηρεσίες να είναι η μεγαλύτερη δυνατή και να ανταποκρίνεται στις ανάγκες του χρήστη.

Το γράφημα της εικόνας 4.12 δείχνει τη διαφοροποίηση των τριών περιπτώσεων ως προς το Throughput της υπηρεσίας video. Η γραφική απεικόνιση που αντιστοιχεί στο σενάριο με πολλά VoIP QSTAs δείχνει ότι η δημιουργία νέων χρηστών υψηλότερης προτεραιότητας (VoIP) προκαλεί σημαντική μείωση της διαπερατότητας που κυμαίνεται στα 20Mb/s. Το αποτέλεσμα είναι αναμενόμενο αφού πέρα από την αύξηση του φορτίου στο δίκτυο η υπηρεσία video διεκδικεί την πρόσβαση στο μέσο έχοντας σαφές μειονέκτημα λόγω του μεγαλύτερου CW που έχει. Η γραφική παράσταση που αντιστοιχεί στο σενάριο με 4 QSTAs παρουσιάζει σταθερότητα στο throughput μέχρι το χρονικό σημείο που εισάγεται η νέα κίνηση όπου εμφανίζει μικρές διακυμάνσεις. Επειδή οι χρήστες που εισάγονται είναι χαμηλότερης προτεραιότητας η διαπερατότητα διατηρείται κοντά στα 30 έως 25 Mbps, ενώ οι ελαφρές διακυμάνσεις οφείλονται στον υψηλό ρυθμό με τον οποίο δημιουργούνται νέα πακέτα video.

Οι υπηρεσίες Best Effort και background έχουν την χαμηλότερη προτεραιότητα στο πρότυπο 802.11e και ενδεχόμενη καθυστέρηση μετάδοσης τους δέν επηρεάζουν την παροχή υπηρεσιών QoS. Σε όλες τις προσομοιώσεις που το πρότυπο μετάδοσης είναι το 802.11e είναι αυτές που παρουσίασαν την υψηλότερη καθυστέρηση μετάδοσης και το μικρότερο Throughput. Το γεγονός αυτό είναι φυσιολογικό αν λάβουμε υπόψιν ότι εξαιτίας της μη ευαισθησίας τους στη καθυστέρηση μετάδοσης έχουν μεγάλο CW (15 έως 1023). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα λόγω μεγάλου χρόνου αναμονής να συμβαίνουν πολλές συγκρούσεις πλαισίων και περισσότερες απορρίψεις πλαισίων. Οι γραφικές παραστάσεις τους δεν παρουσίαζαν διακυμάνσεις άλλα ούτε και χρονική συνέχεια και γιαυτό δεν τις εμφανίζουμε.

4.5.3 Προσομοίωση 802.11e σε δίκτυο με διαφοροποίηση υπηρεσιών

Στην παρούσα ενότητα γίνεται προσπάθεια να αναδειχθούν και άλλες πλευρές της διαφοροποίησης ανά υπηρεσία που προσφέρει ο EDCA. Για το σκοπό αυτό δεν εξετάζεται αυστηρά η συμπεριφορά του δικτύου σε συνάρτηση με τον αριθμό των πελατών, αλλά περισσότερο η σχέση μεταξύ των διαφόρων υπηρεσιών και το αντίκτυπο που έχει στις υπόλοιπες προτεραιότητες η εισαγωγή πελατών συγκεκριμένων προτεραιοτήτων.

Το φυσικό στρώμα που χρησιμοποιούμε είναι αυτό του 802.11g με διαμόρφωση 64 QAM και ρυθμό κωδικοποίησης $\frac{3}{4}$ ώστε να υποστηρίζει ρυθμό μετάδοσης στο δίαυλο 54 Mbps. Τα σενάρια που θα εξεταστούν αναφέρονται σε περιβάλλον με ιδιαίτερα απαιτητικές εφαρμογές τόσο σε καθυστέρηση όσο και σε εύρος ζώνης. Για το σκοπό αυτό πέρα από τις υπηρεσίες VoIP, Best Effort (BE) και background (BK) εισάγεται η υπηρεσία HDTV, η οποία απαιτεί εξαιρετικά υψηλό εύρος ζώνης με χαρακτηριστικά που περιγράφονται παρακάτω. Οι γεννήτριες VoIP, BE και BK είναι αμφίδρομες ενώ της HDTV είναι μονόδρομη (downlink). Χρησιμοποιούμε γεννήτρια VoIP με κωδικοποίηση G711 που δημιουργεί πακέτα με σταθερό ρυθμό 64 Kb/s, μεγέθους 160 bytes, με μεσοδιάστημα άφιξης τα 20 msec. Η υπηρεσία video υψηλής ευκρίνειας έχει σταθερό ρυθμό 20 Mb/s και μέγεθος πακέτου 1024 bytes. Το μέσο μέγεθος πακέτου για την κίνηση BE είναι 501 bytes και ακολουθεί εκθετική κατανομή ενώ η άφιξη των πακέτων ακολουθεί κατανομή Poisson με μεσοδιάστημα στα 25 msec. Τέλος η υπηρεσία BK παράγει πακέτα με σταθερό ρυθμό 250 Kb/s με μέγεθος πακέτου 750 bytes.

AC	CWmin	CWmax	AIFSn	ΤΥΠΟΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ
3	$(aCWmin+ 1)/4 - 1$	$(aCWmin+ 1)/2 - 1$	2	VoIP
2	$(aCWmin+1)/2 - 1$	aCWmin	2	HDvideo
1	aCWmin	aCWmax	7	BK
0	aCWmin	aCWmax	3	BE

Πίνακας 4.3: EDCA default παράμετροι καθυστέρησης πρόσβασης στο μέσο

Κατά την προσομοίωση λαμβάνονται υπόψη, πέρα από τις επικεφαλίδες φυσικού στρώματος και MAC οι επικεφαλίδες των στρωμάτων μεταφοράς και δικτύου. Οι παράμετροι καθυστέρησης της πρόσβασης στο μέσο που χρησιμοποιεί ως default ο EDCA του 802.11e σε σχέση με τις υπηρεσίες που χρησιμοποιούνται, φαίνονται στον πίνακα 4.3.

Ο πίνακας 4.4 και ο πίνακας 4.5 παρουσιάζουν συγκεντρωτικά τις επικεφαλίδες των στρωμάτων μεταφοράς και δικτύου και τις επιμέρους παραμέτρους του φυσικού στρώματος και του MAC.

Επικεφαλίδα TCP	20 bytes
Επικεφαλίδα UDP	8 bytes
Επικεφαλίδα IP	20 bytes
Επικεφαλίδα MAC	36 bytes

Πίνακας 4.4: Επικεφαλίδες στρωμάτων μεταφοράς και δικτύου

SIFS	16 μ s
a.slot.time	9 μ s
aCWmin	15
aCWmax	1023

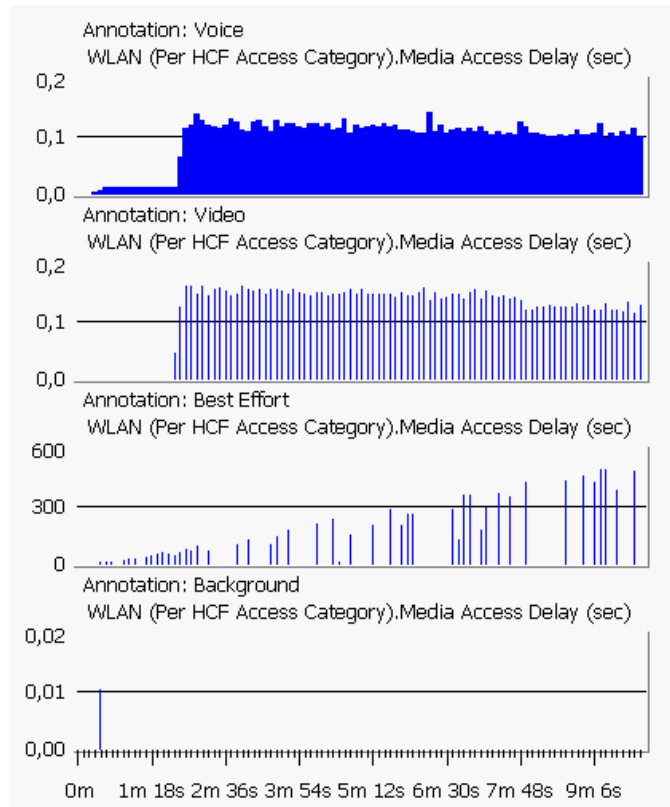
Πίνακας 4.5: Παράμετροι του φυσικού στρώματος και του mac.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τρία σενάρια με τις παραπάνω παραμέτρους στα οποία μεταβάλλεται το είδος και ο αριθμός των υπηρεσιών που προστίθενται στο δίκτυο. Στα παρακάτω σενάρια θα μελετήσουμε την καθυστέρηση πρόσβασης στο μέσο της κάθε υπηρεσίας.

4.5.3.1 Σενάριο με ισότιμο αριθμό υπηρεσιών σε όλα τα QSTAs (σενάριο 1)

Θεωρούμε ότι στο δίκτυο υπάρχουν μία αμφίδρομη υπηρεσία VoIP, μία υπηρεσία HDTV και οι αμφίδρομες BE και BK. Για να αναδειχθεί η επίδραση της προστιθέμενης νέας κίνησης στο ήδη υπάρχον φορτίο η εφαρμογή VoIP αρχίζει μετά από χρόνο προσομοίωσης 10 sec, ενώ οι εφαρμογές BE και BK ξεκινούν σε

χρόνο 20 sec. Η γραφική παράσταση της καθυστέρησης πρόσβασης στο μέσο φαίνεται στην εικόνα 4.13.



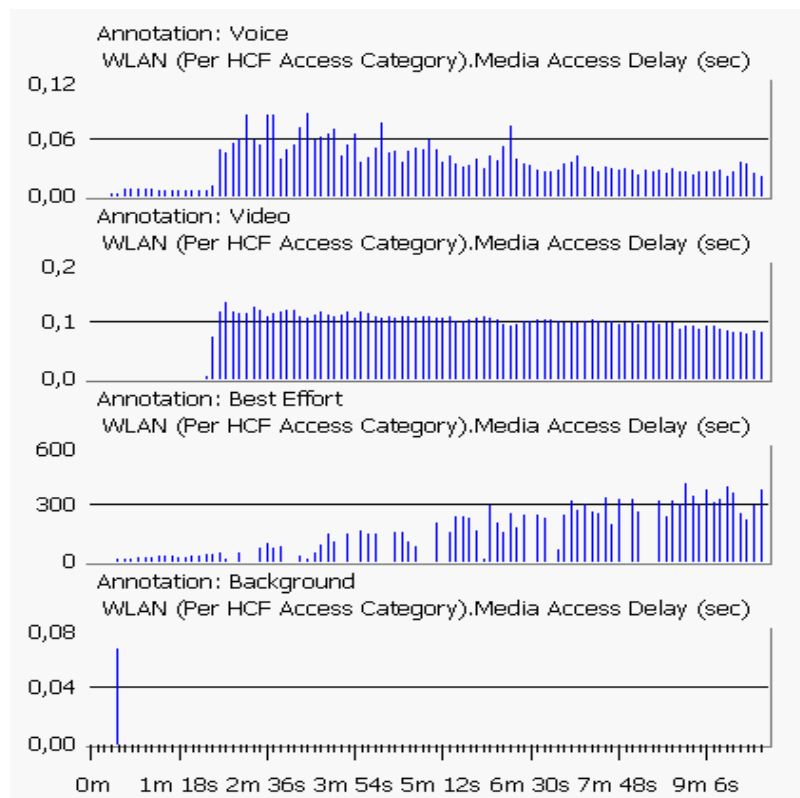
Εικόνα 4.13 : Καθυστέρηση πρόσβασης στο μέσο ανά υπηρεσία (σενάριο 1)

Στη γραφική παράσταση της παραπάνω εικόνας φαίνεται ότι η καθυστέρηση πρόσβασης στο μέσο της κίνησης VoIP είναι σχεδόν αμελητέα για χρόνο προσομοίωσης από 10 sec έως 1m 18sec αφού είναι η μόνη κίνηση στο δίκτυο και δεν ανταγωνίζεται με άλλες εφαρμογές για την πρόσβαση στο μέσο. Η κατηγορία κίνησης που επιβαρύνεται είναι η BE επειδή ανήκει σε AC χαμηλής προτεραιότητας, η καθυστέρηση πρόσβασης αγγίζει τα 50 sec. Όταν εισαχθεί η κίνηση HDTV σε χρόνο 1m 18sec η καθυστέρηση πρόσβασης στο μέσο για την VoIP μεγαλώνει ελαφρά ενώ η καθυστέρηση για τη HDTV είναι περίπου στα 0,2 msec. Αιτία είναι το μεγάλο μεσοδιάστημα μεταξύ της άφιξης δύο διαδοχικών πακέτων (20 msec) έναντι μόνο 0,4096 msec της HDTV. Λόγω αυτής της διαφοράς είναι πιο πιθανό για τα πακέτα VoIP να βρουν το δίαυλο κατειλημμένο περιμένοντας αρκετά msec μέχρι να μεταδοθεί το μεγάλο πακέτο HDTV. Τα πακέτα HDTV ακόμα και αν βρουν το δίαυλο κατειλημμένο περιμένουν πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα αφού το μέγεθος των πακέτων VoIP είναι μόνο 160 bytes.

Επίσης συγκρίνοντας με τις καθυστερήσεις των ΒΕ και ΒΚ με AC 0 και AC 1 αντίστοιχα, αρχίζει να γίνεται εμφανής η διαφοροποίηση που προσφέρει η AC ως προς την καθυστέρηση. Συγκεκριμένα βλέπουμε ότι η κίνηση ΒΕ φτάνει σε καθυστέρηση πρόσβασης κοντά στα 497 sec έναντι μιας μέγιστης καθυστέρησης 0,3 msec της VoIP.

4.5.3.2 Σενάριο με 5 υπηρεσίες HDTV ανά QSTAs (σενάριο 2)

Στο σενάριο αυτό αναλύεται η επίδραση που έχει η προσθήκη νέας κίνησης με υψηλή προτεραιότητα στο δίκτυο. Συγκεκριμένα αυξάνεται ο αριθμός των συνδέσεων HDTV από 1 σε 4 με χρόνο γέννησης τα 10 sec ενώ το υπόλοιπο φορτίο παραμένει αμετάβλητο. Οι νέες καθυστερήσεις πρόσβασης φαίνονται στις ακόλουθες γραφικές παραστάσεις:



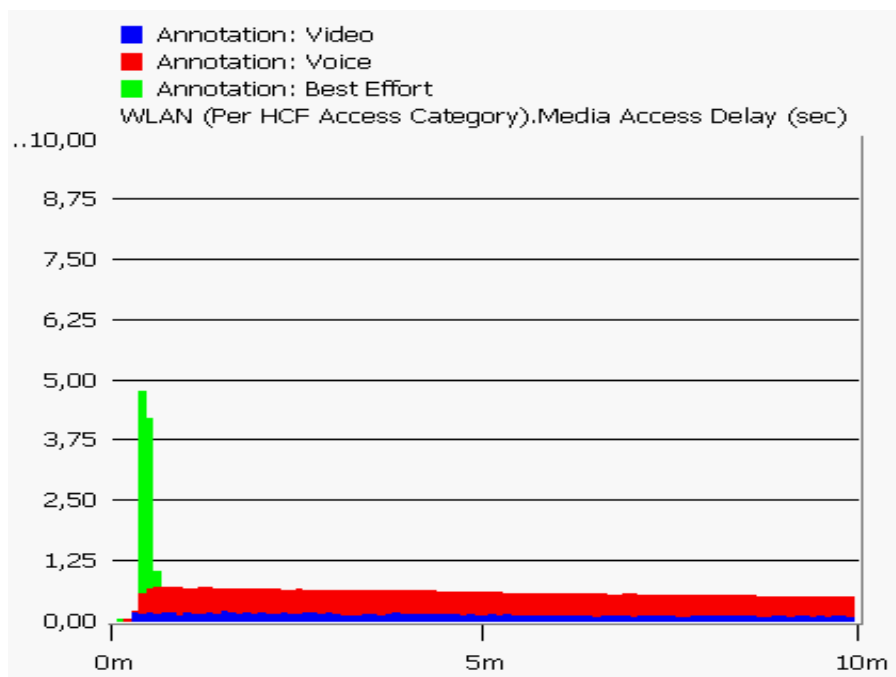
Εικόνα 4.14: Καθυστέρηση πρόσβασης στο μέσο ανά υπηρεσία (σενάριο 2)

Στην γραφική παράσταση της εικόνας 4.14 φαίνεται ότι η αύξηση της κίνησης HDTV αυξάνει την καθυστέρηση στην υπηρεσία αυτή κοντά στο 10 msec ενώ συγκριτικά με το προηγούμενο σενάριο δεν επηρεάζει δραματικά την καθυστέρηση στις υπηρεσίες χαμηλότερης προτεραιότητας. Για μία σύνδεση VoIP

η καθυστέρηση φτάνει τα 9 msec γεγονός που δείχνει ότι επηρεάζεται έστω και ελάχιστα. Παρά το γεγονός ότι η κίνηση VoIP (AC 3) πλεονεκτεί ως προς την καθυστέρηση πρόσβασης έναντι κατηγοριών κίνησης με μικρότερη προτεραιότητα σε χαμηλό φορτίο δικτύου λόγω των ειδικών χαρακτηριστικών της, το πλεονέκτημα αυτό αρχίζει να φθίνει όταν το φορτίο στο δίκτυο αυξηθεί. Για την BE κίνηση ανέρχεται ξανά σε αρκετά δευτερόλεπτα δείχνοντας την αδυναμία του δικτύου να την υποστηρίξει αποτελεσματικά αφού είναι χαμηλής προτεραιότητας.

4.5.3.3 Σενάριο με 5 υπηρεσίες HDTV, 4 υπηρεσίες VoIP, 3 BE και BG ανά QSTAs (σενάριο 3)

Σε αυτό το σενάριο προσθέτουμε δύο επιπλέον συνδέσεις BE και BK καθώς και τρεις συνδέσεις επιπλέον VoIP. Σκοπός της προσθήκης τριών επιπλέον συνδέσεων VoIP είναι να καταδειχτεί το κατά πόσο επηρεάζονται οι υπηρεσίες με χαμηλότερη προτεραιότητα. Η γραφική παράσταση που προκύπτει μετρώντας εκ νέου τις καθυστερήσεις πρόσβασης στο μέσο για τις τρεις τελευταίες προτεραιότητες παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 4.15: Καθυστέρηση πρόσβασης στο μέσο BE, HDTV και VoIP (σενάριο3)

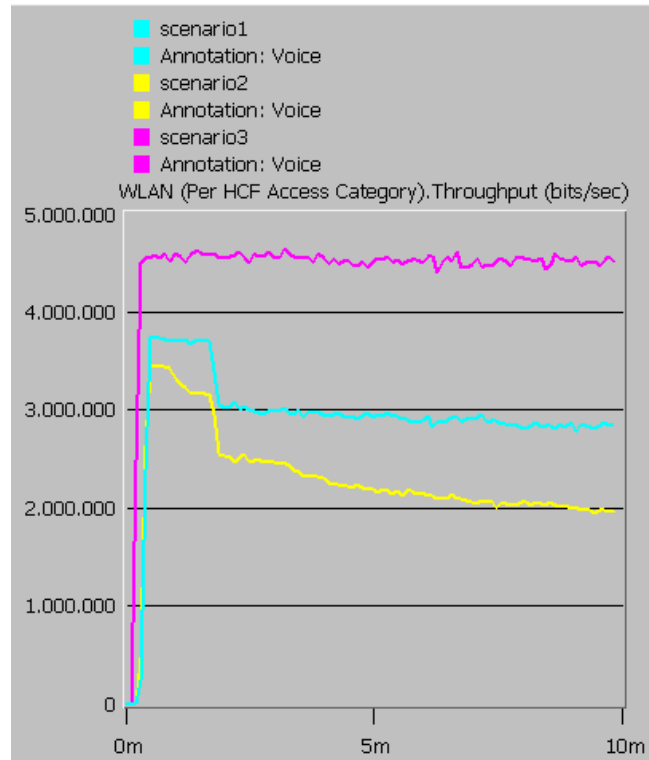
Στο γράφημα φαίνεται ότι η αύξηση στις συνδέσεις VoIP δεν επηρεάζουν τόσο την καθυστέρηση πρόσβασης για την HDTV υπηρεσία όσο επηρεάζεται η

καθυστέρηση πρόσβασης για την BE. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην υψηλότερη προτεραιότητα που έχει η HDTV από την BE, που της επιτρέπει να αποκτήσει ευκολότερα πρόσβαση στο μέσο παρά την αύξηση του φορτίου του δικτύου.

4.5.3.4 Σύγκριση Throughput των υπηρεσιών VoIP και HDTV

Επειδή πέρα από την καθυστέρηση πρόσβασης στο μέσο ιδιαίτερη σημασία για την εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσιών έχει και η διαπερατότητα (throughput) των πιο απαιτητικών εφαρμογών του δικτύου, παρατίθενται στη συνέχεια οι γραφικές παραστάσεις της διαπερατότητας των VoIP και HDTV σε συνάρτηση με το χρόνο προσομοίωσης, κατά την εκτέλεση όλων των σεναρίων.

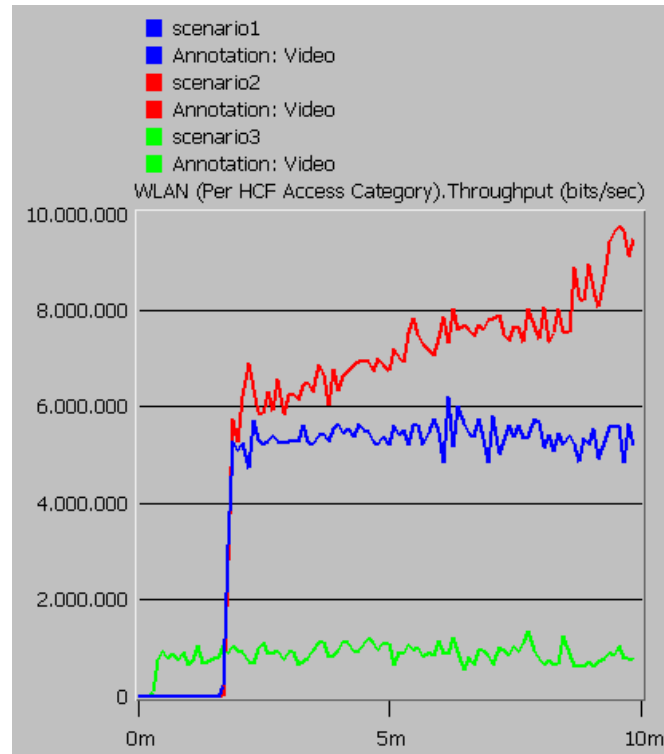
Στην εικόνα 4.16 φαίνεται ότι το Throughput της VoIP επηρεάζεται παρά πολύ και σε αυτά τα σενάρια από την προσθήκη επιπλέον συνδέσεων VoIP. Εξηγήθηκε ήδη ότι αιτία είναι η αύξηση των συγκρούσεων μεταξύ των διαφορετικών πελατών καθώς και λόγω του μικρού CW της BE υπηρεσίας (μέγιστο 7). Εξακολουθούμε να υποστηρίζουμε από τα αποτελέσματα που έχουμε στη διάθεσή μας ότι ο αριθμός συνδέσεων VoIP πρέπει να είναι σχετικά μικρός σε ένα δίκτυο για να μπορέσει να διατηρηθεί η σταθερότητα του για να μην μειωθεί δραματικά το Throughput.



Εικόνα 4.16 : Throughput VoIP στα σενάρια (1,2,3)

Η γραμμή που αντιστοιχεί στο δεύτερο σενάριο με τις επιπλέον συνδέσεις HDTV δείχνει ότι το Throughput της VoIP μένει σχεδόν ανεπηρέαστη από την αύξηση στις συνδέσεις HDTV. Είναι προφανές από την παραπάνω ανάλυση ότι η διαπερατότητα δεν μειώνεται λόγω της υψηλής προτεραιότητας που έχει το VoIP σε σχέση με τις υπόλοιπες υπηρεσίες. Συγκεκριμένα με τις BE και BK πέρα από τη διαφορά στο χρόνο backoff υπάρχει διαφορά και στο χρόνο defer αφού το AIFSn της VoIP είναι 2 έναντι 3 και 7 των άλλων δύο υπηρεσιών γεγονός που της δίνει σαφές πλεονέκτημα στον ανταγωνισμό για την πρόσβαση στο μέσο.

Τέλος τα γραφήματα της εικόνας 4.17 δείχνουν τη διαφοροποίηση των δύο σεναρίων ως προς το throughput της υπηρεσίας HDTV. Η γραφική που αντιστοιχεί στο σενάριο 3 δείχνει ότι η δημιουργία νέων χρηστών υψηλότερης προτεραιότητας (VoIP) προκαλεί σημαντική μείωση της διαπερατότητας που κυμαίνεται στα 5Mb/s.



Εικόνα 4.17: Throughput HDTV στα σενάρια (1,2,3)

Το αποτέλεσμα είναι αναμενόμενο αφού πέρα από την αύξηση του φορτίου στο δίκτυο, η υπηρεσία HDTV διεκδικεί την πρόσβαση στο μέσο έχοντας σαφές μειονέκτημα λόγω του μεγαλύτερου contention window που έχει. Η γραφική παράσταση που αντιστοιχεί στα δύο πρώτα σενάρια παρουσιάζει σταθερότητα στο throughput μέχρι το χρονικό σημείο που εισάγεται η νέα κίνηση έπειτα εμφανίζει μικρές διακυμάνσεις. Επειδή οι χρήστες που εισάγονται είναι χαμηλότερης προτεραιότητας η διαπερατότητα διατηρείται κοντά στα 5 έως 10 Mbps, ενώ οι διακυμάνσεις οφείλονται στον υψηλό ρυθμό με τον οποίο δημιουργούνται νέα πακέτα HDTV.

Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Το συμπέρασμα που προκύπτει από την παραπάνω ανάλυση είναι προφανές. Το MAC του 802.11e με τη διαφοροποίηση της κίνησης που παρέχει, ανάλογα με το είδος της υπηρεσίας, είναι σε θέση να εξασφαλίσει μικρότερες καθυστερήσεις και μεγαλύτερο throughput στις υπηρεσίες πραγματικού χρόνου. Ιδιαίτερα η κίνηση που ανήκει στην AC 3 (συνήθως η υπηρεσία VoIP) παρουσιάζεται ιδιαίτερα ανθεκτική στην αύξηση του φορτίου στο δίκτυο, κυρίως όταν αυτή προέρχεται από νέους πελάτες χαμηλότερων σε προτεραιότητα υπηρεσιών. Πρέπει τονιστεί ότι τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αναφέρονται αποκλειστικά σε ανάλυση του μηχανισμού EDCA, ενώ στην πράξη το 802.11e λειτουργεί με εναλλαγή των μηχανισμών EDCA και HCCA με αποτέλεσμα να γίνεται ακόμα πιο αποδοτικό. Επίσης η παρούσα μελέτη έγινε με την υπόθεση ότι οι σταθμοί βρίσκονται σχετικά κοντά με αποτέλεσμα η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος να είναι πάντα μεγαλύτερη από την ευαισθησία του δέκτη, ενώ αμελήθηκε η επίδραση του θορύβου. Οι δύο αυτοί παράγοντες είναι σε θέση να υποβαθμίσουν την ποιότητα των υπηρεσιών.

Το πρότυπο 802.11e πέρα από το βασικό τρόπο λειτουργίας προσφέρει και μία σειρά από προαιρετικές επιλογές οι οποίες μπορούν να βελτιώσουν την απόδοσή του ανάλογα με τις ειδικές συνθήκες της κάθε υλοποίησης. Η πολυπλοκότητά του σε σχέση με τα προηγούμενα πρότυπα αφήνει ανοιχτό ένα ιδιαίτερα ευρύ πεδίο για μελλοντική έρευνα. Παρακάτω παρατίθενται ορισμένα σημεία του προτύπου που θα μπορούσαν να αναλυθούν περαιτέρω ως προς το βαθμό που επηρεάζουν την αποδοτικότητα του δικτύου:

- Μελέτη του DLP πρωτοκόλλου με στόχο την πιο αποδοτική χρήση του διαύλου και τη μείωση της καθυστέρησης.
- Συγκριτική μελέτη των τεσσάρων ειδών Ack : normal Ack, no Ack, no explicit Ack, block Ack.
- TXOPs σε EDCA και HCCA.
- RTS/CTS για την αντιμετώπιση του φαινομένου hidden node.

Επίσης ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει πάντα η ανάλυση του δικτύου σε σχέση με τον θόρυβο και η συμπεριφορά του σε περιβάλλον με AP. Τέλος είναι ανοιχτά ζητήματα όπως η ασφάλεια που εξετάζεται στο 802.11i ή η αύξηση της διαπερατότητας που εξετάζεται στο 802.11n.

Βιβλιογραφία

- Haykin, Simon (1994), Συστήματα Επικοινωνίας, Παπασωτηρίου.
- Tanenbaum, Andrew S. (2000), Δίκτυα Υπολογιστών, Παπασωτηρίου.
- Bianchi, G. (2005), Understanding 802.11e Contention-Based Prioritization Mechanisms and Their Coexistence with Legacy 802.11 Stations, IEEE Network.
- Chen, D., Gu, D., Zhang, J. (2004), Supporting Real Traffic with Quality of Service in IEEE 802.11e based home networks, IEEE.
- Chou, C., Shankar, S., Shin, K. (2005) Achieving per-stream QoS with distributed airtime allocation and admission control in IEEE 802.11e Wireless LANs, in Proceedings of IEEE INFOCOM, Miami, Florida, pp. 1585-1595.
- Cooklev, Todor (2004), Wireless Communication Standards – A Study of IEEE 802.11, 802.15 and 802.16, IEEE.
- Dangerfield, I., Malone, D., Leith, D. (2006) Experimental Evaluation of 802.11e EDCA for Enhanced Voice over WLAN Performance, IEEE.
- Deng, J., Yeh, Y. (2008) ,Performance Analysis and Comparison of QoS Provisioning Mechanisms for CBR Traffic in Noisy IEEE 802.11e WLANs Environments, Tamkang Journal of Science and Engineering, Vol. 12, No. 2, pp. 143_149.
- Engelstad, P., Østerbø, O. (2006), Analysis of the Total Delay of IEEE 802.11e EDCA and 802.11 DCF, IEEE.

- Grilo, A., Macedo, M., Nunes, M., (2003) A scheduling algorithm for QoS support in IEEE 802.11e Networks, IEEE Wireless Communications, vol.10, pp. 36-43.
- Javier del Prado Pavón, Sai Shankar N, (2004) Impact of Frame Size, Number of Stations and Mobility on the Throughput Performance of IEEE 802.11e, Wireless Communications and Networking Conference, IEEE.
- Ksentini, A., Naimi, M., Guéroui, A. (2006), Toward an Improvement of H.264 Video Transmission over IEEE 802.11e through a Cross-Layer Architecture, IEEE Communications Magazine.
- Kuo, Y., Lu, C., Wu, E., Chen, G. (2003), An Admission Control Strategy for Differentiated Services in IEEE 802.11, GLOBECOM .
- Xiao, Y. (2004), IEEE 802.11e QoS Provisioning at the Mac Layer, IEEE Wireless Communications, IEEE.
- Xiao, Y., (2005) Performance Analysis of Priority Schemes for IEEE 802.11 and IEEE 802.11e WLANs, IEEE.
- Zhao, J., Zhang, Q., Guo, Z., Zhu, W., Zhang, Y. (2007), Throughput and QoS Optimization in 802.11e WLANs, Wireless Personal Communications ,Volume 43, Number 4 ,Springer Netherlands.