

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ**

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ
ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΕ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ**

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Ν. ΑΛΑΦΟΥΖΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Α. ΣΥΡΗΣ

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΞΕΤΑΣΗΣ:

Καθ. ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΤΡΑΓΑΝΙΤΗΣ

Καθ. ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΣΥΡΗΣ

Καθ. ΜΑΝΟΛΗΣ ΒΑΒΑΛΗΣ

**ΗΡΑΚΛΕΙΟ
ΙΟΥΛΙΟΣ 2005**

Διερεύνηση Αναλυτικών Μοντέλων για την Εκτίμηση της Απόδοσης σε Ασύρματα Δίκτυα

Παναγιώτης Αλαφούζος

Διπλωματική Εργασία

Τμήμα Μαθηματικών
Πανεπιστήμιο Κρήτης

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια, ένας αυξανόμενος αριθμός χρηστών απολαμβάνει την πρόσβαση στο Διαδίκτυο μέσω της τεχνολογίας ασύρματης δικτύωσης. Η τεχνολογία που έχει κυριαρχήσει στην αγορά καρτών δικτύου είναι αυτή του τύπου IEEE 802.11 (Wi-Fi). Οι παροχείς δικτυακών υπηρεσιών αλλά και οι κατασκευαστές δικτυακών καρτών έχουν στρέψει την προσοχή τους στην δημιουργία ασύρματων δικτύων σε δημόσιους χώρους όπου η πρόσβαση των πολιτών στο Διαδίκτυο μπορεί να φανεί χρήσιμη. Όσο ο αριθμός των χρηστών αυξάνεται και η διαθεσιμότητα εύρους ζώνης μειώνεται, ζητήματα όπως η εκτίμηση της απόδοσης (throughput), η αποφυγή συμφόρησης και η εγγύηση ποιότητας υπηρεσίας (Quality of Service) γίνονται σημαντικά.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζουμε μια μελέτη για την εκτίμηση της απόδοσης σε ασύρματα δίκτυα τύπου IEEE 802.11e. Συγκεκριμένα παρουσιάζουμε το αναλυτικό μοντέλο (p-persistent) στο οποίο η πιθανότητα μετάδοσης ενός πακέτου είναι ανάλογη της απόδοσης. Επιπλέον, παρουσιάζουμε την χρήση αλυσίδων Markov για την εύρεση την βέλτιστης πιθανότητας μετάδοσης. Τέλος, εφαρμόζουμε οικονομικά μοντέλα για έλεγχο πόρων σε ασύρματα δίκτυα που λαμβάνουν υπόψη τους και την περίπτωση που οι χρήστες έχουν διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης.

Σκοπός μας είναι να διερευνήσουμε, μέσω των αναλυτικών μοντέλων αλλά και εκτενών πειραμάτων στον προσομοιωτή, τα κίνητρα στην επιλογή του βέλτιστου παραθύρου μετάδοσης στο κανάλι, την δικαιοσύνη ως αναφορά την ζήτηση πόρων των

χρηστών, αλλά και την παρεχόμενη διαφοροποίηση υπηρεσίας. Επίσης, μελετούμε τον τρόπο με τον οποίο τα παραπάνω χαρακτηριστικά επηρεάζονται από τον διαφορετικό ρυθμό μετάδοσης στο φυσικό μέσο, την πιθανότητα μετάδοσης ενός πακέτου, και την χρήση του μηχανισμού RTS/CTS για την αποφυγή συμφόρησης. Επιπρόσθετα, η μελέτη αυτή στοχεύει στο να συμβάλλει στην κατάλληλη ρύθμιση των παραμέτρων του πρωτοκόλλου IEEE 802.11e, έτσι ώστε να ικανοποιούνται συγκεκριμένες απαιτήσεις επίδοσης.

Τα πειραματικά μας αποτελέσματα δείχνουν πως η επιλογή του παραθύρου συμφόρησης είναι σημαντική όταν θέλουμε να πετύχουμε διαφοροποίηση υπηρεσίας. Η επιλογή του βέλτιστου παραθύρου από τα αναλυτικά μοντέλα συμφωνεί με τα αποτελέσματα των πειραμάτων στον προσομοιωτή. Στην περίπτωση UDP κίνησης είχαμε απόλυτη ταύτιση αναλυτικών αποτελεσμάτων με αυτά της προσομοίωσης. Στην περίπτωση της TCP κίνησης, εφαρμόσαμε οικονομικά μοντέλα για έλεγχο πόρων δίνοντας προτεραιότητα στα πακέτα των επιβεβαιώσεων. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι αναλυτικό μοντέλο που προέκυψε, μπορεί να παρέχει ικανοποιητικές προβλέψεις όσο αναφορά την εκτίμηση της απόδοσης.

Επιβλέπων:

Βασίλειος Α. Σύρης

Επίκουρος Καθηγητής

Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών

Πανεπιστήμιο Κρήτης

Performance Evaluation of Analytical Models in IEEE 802.11 Wireless LANS

Panagiotis Alafouzou

Bachelor's Thesis

Department of Mathematics
University of Crete

Abstract

In recent years, an increasing number of users are accessing the Internet via the technology of wireless networking. The technology that has dominated the market is IEEE 802.11, also known as Wi-Fi. Internet Service Providers and constructors of network cards have turned their attention in the creation of wireless networks in public spaces, where the access of citizens in the Internet can appear useful. As long as the number of users is increased and bandwidth availability in wireless networks is restricted, issues of throughput evaluation, congestion avoidance and quality of service support become of essential importance.

In this study, we are assessing and evaluating the performance of analytical modeling in IEEE 802.11 Wireless LANs throughput. First, we evaluate the analytical p-persistent model in which the throughput of a user is proportional to his transmission probability [6]. We compare the above model with a model introduced from the University of Berkeley, which solves a Markov chain to obtain the optimal transmission probability [13]. Finally, we use economic modeling and congestion pricing to evaluate throughput when different stations have different transmission rates, in order to support efficient throughput differentiation [3].

We focus on investigating, through extended experiments in simulator and analysis, the gains in choosing the optimal contention window, fairness issues as demand for

bandwidth increases, but also the quality of service support in a differentiated services environment. Also, we study the way that captures how various factors, such as the probability of attempting to transmit a frame, the use of RTS/CTS procedure, and the physical layer transmission rate, contribute to the congestion in IEEE 802.11e network.

Our experimental results indicate that the choice of contention window is important when we want to achieve throughput differentiation. The selection of the optimal contention window of the analytical models agrees with the simulation results. Moreover, analytical models make a good prediction of throughput of a station given its contention window in the case of UDP traffic. In the case of TCP traffic, motivated by a previous study, we introduce resource control model that gives higher priority to TCP ACK packets. Simulation results demonstrate that our resource control model can be a good approximation of throughput evaluation while maximizing the wireless channel utilization.

Supervisor:

Vasilios A. Siris
Associate Professor
Computer Science Department
University of Crete

**Part of this work is published in 14th IEEE LANMAN
Workshop**

V.A Siris and **P.Alafouz**, “Throughput Differentiation for TCP Uplink Traffic in IEEE 802.11e Wireless LANs”. In Proc. of 14th IEEE Workshop on Local and Metropolitan Area Networks (LANMAN), Chania, Crete, September 2005.

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επόπτη καθηγητή μου Βασίλειο Σύρη, ο οποίος πίστεψε σε εμένα και στις δυνατότητές μου και μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ σε ερευνητικό επίπεδο με το θέμα της εργασίας αυτής. Ιδιαίτερα τον ευχαριστώ για την υψηλή παιδεία και ενθάρρυνση που μου προσέφερε, την εξαιρετική συνεργασία, καθώς και για τις εύστοχες πάντα παρατηρήσεις του. Ευχαριστώ επίσης θερμά, για τη συμμετοχή τους στην επιτροπή εξέτασης της διπλωματικής μου εργασίας, τους καθηγητές Μανόλη Βάβαλη, Αντιπρόεδρο του τμήματος Μαθηματικών του Πανεπιστημίου Κρήτης και Απόστολο Τραγανίτη, Καθηγητή του τμήματος Επιστήμης Υπολογιστών και Επικεφαλή του Εργαστηρίου Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων του Ινστιτούτου Πληροφορικής του Ιδρύματος Τεχνολογίας και Έρευνας.

Ιδιαίτερα ευχαριστώ τον φίλο μου και «πνευματικό» μου επόπτη Δρ. Ιωάννη Παπαευσταθίου για τις πολύτιμες συμβουλές του, την ακράδαντη ενθάρρυνση του και τα εποικοδομητικά του σχόλια.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους φίλους μου : Χάρη, Βάσω, Νάσο, Παναγιώτη, Βασίλη, Αναστασία, Λυκούργο, Δέσποινα, Μάνο, Ρόη, Δημήτρη, Μάνο (the confious nous), Χρυσούλα, για τη στήριξή τους και αντοχή τους - αυτοί ξέρουν το γιατί- σε όλη τη διάρκεια της εργασίας μου. Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων του Ινστιτούτου Πληροφορικής του Ι.Τ.Ε για την άψογη συνεργασία μας κατά την διάρκεια της εργασίας αυτής.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την πλήρη στήριξή τους και αφοσίωση τους σε κάθε βήμα των σπουδών μου. Σε αυτούς οφείλω τα πάντα.

*Στους αξιολάτρευτους γονείς μου,
και στην αδερφή μου Ραμπελία.*

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.2 Η ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΥΠΟΛΟΙΠΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	3
2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	4
2.1 ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΤΟΠΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ – WLANS	4
2.2 ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	6
2.3 AD HOC ΚΑΙ INFRASTRUCTURE ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ	7
2.3.1 <i>Infrastructure Ασύρματα Δίκτυα</i>	7
2.3.2 <i>Ad hoc Ασύρματα Δίκτυα</i>	8
2.4 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΟΥ «ΚΡΥΜΜΕΝΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ» (HIDDEN NODE).....	9
2.5 ΦΥΣΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ (PHY LAYER)	10
2.6 ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΣΤΟ ΜΕΣΟ (MAC LAYER)	11
2.7 MAC ΠΑΚΕΤΟ.....	12
2.8 IFS TIME.....	12
2.9 ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΙΕΕΕ 802.11.....	13
2.9.1 <i>Distributed Coordination Function (DCF)</i>	13
2.9.1.1 <i>CSMA/CA χωρίς την χρήση μηχανισμού RTS/CTS</i>	13
2.9.1.2 <i>CSMA/CA με χρήση μηχανισμού RTS/CTS</i>	15
2.9.2 <i>Point Coordination Function (PCF)</i>	18
2.10 ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΙΕΕΕ 802.11E.....	20
2.10.1 <i>Enhanced Coordination Function (EDCF)</i>	21
2.10.2 <i>Hybrid Coordination Function (HCF)</i>	22
3 ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ.....	24
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	24
3.2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ [27].....	24
3.3 ΕΥΡΕΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ	26
3.4 ΧΡΟΝΙΚΑ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ T_{SUC} , T_{COL} , T_e	27
3.5 ΕΥΡΕΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΙΠΛΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ ΜΑΡΚΟΒ [13].....	30
3.6 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΙΑ ΈΛΕΓΧΟ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ [3].....	33
4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ.....	37
4.1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΗΣ	37
4.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΝΑΛΥΣΗΣ – ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΗΣ	37
4.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΧΡΗΣΤΩΝ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΒΑΡΗ	39
4.4 ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΙ ΡΥΘΜΟΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ	41
4.5 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΕ TCP ΚΙΝΗΣΗ	42
4.6 ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΣΕ UDP ΚΑΙ TCP	43
5 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	46
ΑΝΑΦΟΡΕΣ - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	47

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγή

Η Επιστήμη των Υπολογιστών και οι εφαρμογές της γνώρισαν σημαντική πρόοδο τα τελευταία χρόνια. Μετά την εμφάνιση της τεχνολογίας πυριτίου στους επεξεργαστές των υπολογιστών, τεχνολογικές και οικονομικές δυνάμεις έδωσαν μεγάλη προσοχή στην βιομηχανία των υπολογιστών η οποία με την σειρά της δημιούργησε την ανάγκη για την ανάπτυξη και πρόοδο δικτυακής τεχνολογίας. Η τελευταία ωθεί την οικονομία και την κοινωνία στο να προσαρμοστεί στην μεγάλη εφεύρεση του αιώνα: το Internet ή αλλιώς το Δίκτυο των Δικτύων. Το Internet, το μεγαλύτερο δίκτυο από όλα τα δίκτυα, επηρεάζει πλέον κάθε πτυχή της ανθρώπινης δραστηριότητας, όπως η εφεύρεση του ηλεκτρισμού επηρέασε την ζωή του ανθρώπου στο παρελθόν. Ο άνθρωπος αποδέχτηκε πολύ γρήγορα την εφεύρεση αυτή με αποτέλεσμα τα υπάρχοντα δίκτυα να μην επαρκούν στο να εκπληρώσουν την ανάγκη για επικοινωνία στο σύγχρονο τρόπο ζωής. Το επόμενο βήμα στην επιστήμη των υπολογιστών πηγάζει από της συνεχώς αυξανόμενες προσδοκίες για : «αυτονομία» (autonomicity), «εξελιξιμότητα» (scalability), «επεκτασιμότητα» (evolnability), και την «πανταχού παρουσία» (ubiquity) [12].

Η «πανταχού παρουσία» είναι η ικανότητα για παροχή συνεχούς πρόσβασης στην πληροφορία και στις υπηρεσίες από τον οποιοδήποτε, σε κάθε στιγμή, με υψηλή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων. Η «αυτονομία» είναι η ικανότητα του δικτύου να αυτοσυντηρείται και να προστατεύεται μόνο του με εσωτερικούς μηχανισμούς με την ελάχιστη δυνατή ανθρώπινη παρέμβαση. Η «επεκτασιμότητα» έχει να κάνει με την

ικανότητα του δικτύου να εξελίσσεται, ενσωματώνει νέες τεχνολογίες και να υποστηρίζει νέες εφαρμογές υψηλότερων απαιτήσεων.

Η πιο γνώστη τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την ασύρματη δικτύωση σε τοπικά δίκτυα μικρής εμβέλειας (Wireless Local Area Networks- WLAN) είναι αυτή του προτύπου IEEE 802.11, που έχει συμπληρωματικά πρότυπα. Το πρότυπο IEEE 802.11 εμφανίστηκε το 1997 και χρησιμοποιεί τον μηχανισμό ελέγχου πολλαπλής πρόσβασης στο μέσω μετάδοσης (MAC) με την χρήση μηχανισμού αποφυγής συμφόρησης (carrier sense multiple access with collision avoidance-CSMA/CA) και τρία διαφορετικά πρότυπα για το φυσικό επίπεδο : 802.11a ,802.11b, και 802.11g.

Το πρότυπο IEEE 802.11a λειτουργεί στην μπάνα συχνοτήτων των 5 GHz. Υποστηρίζει σε θεωρητικό επίπεδο μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων τα 54 Mbps (Mega bits per second), αλλά πρακτικά επιτυγχάνει ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των 20 έως 24 Mbps σε κανονικές συνθήκες κίνησης στο δίκτυο. Τα προϊόντα δικτυακών καρτών που βασίζονται σε αυτό το πρότυπο έχουν κατακλύσει την αγορά εξ' αιτίας του υψηλού ρυθμού μετάδοσης αυτού του προτύπου.

Το πρότυπο IEEE 802.11b λειτουργεί στην μπάνα συχνοτήτων των 2.4 GHz. Υποστηρίζει σε θεωρητικό επίπεδο μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων τα 11 Mbps , αλλά στην πράξη επιτυγχάνει ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των 4 έως 6 Mbps. Τα περισσότερα υπάρχοντα ασύρματα δίκτυα είναι υλοποιημένα με αυτό το πρότυπο. Οι συσκευές Bluetooth, τα ασύρματα οικιακά τηλέφωνα που χρησιμοποιούν την μπάνα των 2,4 GHz είναι συχνά αίτια για την κακή απόδοση του προτύπου αυτού λόγω παρεμβολών που εμφανίζονται μεταξύ των συσκευών αυτών.

Το πρότυπο IEEE 802.11g είναι συνδυασμός των δύο παραπάνω προτύπων 802.11b και 802.11a. Επιτυγχάνει ρυθμούς μετάδοσης όμοιους με αυτούς που πετυχαίνει το 802.11a αλλά λειτουργεί στην μπάνα συχνοτήτων των 2.4 GHz.Το πρότυπο αυτό χρησιμοποιεί πολυπλεξία με ορθογώνια διαίρεση συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – OFDM). Τα παραπάνω πρότυπα έρχεται να συμπληρώσει, για να καλύψει την ανάγκη για διαφοροποιημένες υπηρεσίες στα ασύρματα δίκτυα, το πρότυπο IEEE 802.11e.

Το πρότυπο αυτό αφορά το στρώμα ζεύξης δεδομένων και μπορεί να προσφέρει διαφοροποιημένη ποιότητα υπηρεσιών (Differentiated Services) για διαφορετικές ροές

κίνησης, κάνοντας χρήση προτεραιοτήτων. Ωστόσο το πρότυπο αυτό δεν προβλέπει πως θα χρησιμοποιηθούν οι μεταβλητές αυτών των προτεραιοτήτων για να καλύψουν συγκεκριμένες ανάγκες επίδοσης. Το ζήτημα αυτό είναι το θέμα της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας.

1.2 Η Δομή της υπόλοιπης εργασίας

Η παρούσα εργασία αποτελείται από 5 κεφάλαια. Συγκεκριμένα σε κάθε κεφάλαιο παρουσιάζονται διεξοδικά τα εξής :

Κεφάλαιο 1 : Γίνεται μια ιστορική αναδρομή στον τρόπο με τον οποίο η δικτυακή τεχνολογία επηρέασε και επηρεάζει την κοινωνία και αναφέρονται τα διάφορα πρότυπα λειτουργίας του προτύπου ασύρματων δικτύων IEEE 80.11. Παρουσιάζεται η δομή της υπόλοιπης εργασίας.

Κεφάλαιο 2 : Παρουσιάζεται το πρόβλημα του “κρυμμένου” σταθμού (hidden node problem), ο μηχανισμός ελέγχου πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης, το πρότυπο IEEE 802.11 και η επέκταση IEEE 802.11e για παροχή ποιότητας υπηρεσίας.

Κεφάλαιο 3 : Αναφέρεται ο θεωρητικός υπολογισμός της απόδοσης (throughput) στα ασύρματα δίκτυα, τα χρονικά διαστήματα κατά της μετάδοση ενός πακέτου, το μαθηματικό μοντέλο εκτίμησης της απόδοσης, η χρήση αλυσίδων Markov για την εύρεση της πιθανότητας μετάδοσης (Πανεπιστημίου Berkeley), και τέλος η εφαρμογή οικονομικών μοντέλων για έλεγχο πόρων σε ασύρματα δίκτυα, ακόμα και στη περίπτωση που οι χρήστες έχουν διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης (different transmission rates).

Κεφάλαιο 4 : Γίνεται αναφορά στο περιβάλλον προσομοίωσης, συγκρίνονται αναλυτικά αποτελέσματα με αυτά του προσομοιωτή για TCP και UDP κίνηση, καθώς και για διαφορετικές κατηγορίες χρηστών με στόχο την διερεύνηση παροχής διαφοροποιημένων υπηρεσιών, αλλά και την δίκαιη διαμοίραση πόρων στο ασύρματο κανάλι. Παρουσιάζονται συμπερασματικά τα αποτελέσματα αυτά.

Κεφάλαιο 5 : Ανακεφαλαίωση της εργασίας.

2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα – WLANS

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα WLANS είναι μια γρήγορα αναπτυσσόμενη αγορά και τεχνολογία. Η τεχνολογία αυτή, προσφέρει την ευκολία της ασύρματης πρόσβασης στο γραφείο, στο σπίτι, σε συνεδριακά κέντρα και πανεπιστήμια με το υπόλοιπο Internet. Σε αντίθεση με τα μεγάλα ενσύρματα δίκτυα τα WLANS περιορίζουν την διάμετρο τους σε ένα κτίριο, ένα πανεπιστήμιο, μια εταιρεία και διαχειρίζονται από ξεχωριστά άτομα και όχι από large-scale network providers. Ο σκοπός των WLANS είναι να αντικαταστήσουν τα κανονικά WLANS, να εξαφανίσουν γενικά την καλωδίωση και να εισάγουν ευκαμψία στις ad-hoc επικοινωνίες. Πιο κάτω παρατίθενται μερικά προτερήματα και μειονεκτήματα των WLANS σε σχέση με τα LANS:

Πλεονεκτήματα [22] :

- Ευκαμψία (Flexibility)

Με τα ραδιοκύματα ,οι διάφορες συσκευές του δικτύου μπορούν να επικοινωνούν χωρίς άλλους περιορισμούς (τοίχους, πατώματα) και μπορούν να τοποθετηθούν παντού. Γίνεται ακόμη πιο εύκολη η επικοινωνία μεταξύ κτιρίων.

- Προσχεδίαση (Planning)

Μόνο τα wireless ad-hoc δίκτυα επιτρέπουν την επικοινωνία χωρίς προηγούμενο σχεδιασμό –οποιαδήποτε ασύρματο δίκτυο χρειάζεται σχεδιασμό για τις καλωδιώσεις. Στα WLANS, οι συσκευές μπορούν να επικοινωνούν, φτάνει να ακολουθούν το ίδιο πρότυπο και πρωτόκολλο, ενώ στα ενσύρματα δίκτυα, χρειάζονται επιπρόσθετα

σύρματα, ειδικές πρίζες, πιθανόν ακόμη και εσωτερικές συσκευές (π.χ switches) για να γίνει δυνατή η επικοινωνία.

- Σχεδιασμός (Design)

Μόνο τα WLANS επιτρέπουν το σχεδιασμό μικρών φορητών συσκευών που θα ενώνονται με το δίκτυο. Τα καλώδια περιορίζουν όχι μόνο τους χρήστες αλλά και τους σχεδιαστές μικρών PDAs, notepads κτλ. Επιπλέον, η τρέχουσα τεχνολογία δικτύων μπορεί να εφαρμοστεί χωρίς να είναι ορατή.

- Δύναμη (Robustness)

Τα wireless LANS μπορούν να αντέξουν και να επιβιώσουν από διάφορες καταστροφές ,όπως σεισμούς. Τα παραδοσιακά LANS θα κατέρρεαν εντελώς.

Μειονεκτήματα [22] :

- Ποιότητα Υπηρεσίας (Quality of Service)

Τα WLANS, τυπικά προσφέρουν χαμηλότερη ποιότητα υπηρεσίας από τα ενσύρματα δίκτυα. Ο κύριος λόγος για αυτό, είναι το χαμηλό bandwidth που οφείλεται σε περιορισμούς στην εκπομπή ραδιοκυμάτων και στα μεγαλύτερα ποσοστά λαθών λόγω παρεμβολών.

- Ιδιοκτησιακές Λύσεις (Proprietary Solutions)

Λόγω της καθυστέρησης στις διαδικασίες προτυποποίησης, πολλές εταιρίες, έχουν βρει κάποιες ιδιοκτησιακές λύσεις και προσφέρουν προτυποποιημένες λειτουργίες με πολλές επιπρόσθετες υπηρεσίες.

- Περιορισμοί (Restrictions)

Όλα τα ασύρματα προϊόντα πρέπει να συμβιβάζονται με τους κρατικούς μηχανισμούς. Πολλές κυβερνήσεις και μη κυβερνητικά ιδρύματα, περιορίζουν κάποιες συχνότητες για να αποφεύγονται οι παρεμβολές.

- Ασφάλεια και Προστασία δεδομένων (Safety and Security)

Η χρήση ραδιοκυμάτων για μετάδοση δεδομένων, μπορεί να δημιουργήσει παρεμβολές σε κάποια άλλα μηχανήματα, όπως για παράδειγμα σε μηχανήματα που χρησιμοποιούνται σε νοσοκομεία.

Συνοψίζοντας θα λέγαμε πως τα ασύρματα δίκτυα έχουν περισσότερα πλεονεκτήματα παρά μειονεκτήματα και λύνουν αρκετά προβλήματα των δικτύων. Τα διάφορα πρότυπα

(standards) που κατά καιρούς εμφανίζονται σκοπό έχουν να βελτιώσουν την ομαλή χρηστικότητα τους.

2.2 Τοπολογίες Ασύρματων Δικτύων

Στην παράγραφο αυτή δίνονται κάποιοι ορισμοί σχετικά την ονομασία της τοπολογίας και της αρχιτεκτονικής των wireless δικτύων.

- Station (STA)

Ορίζεται η φορητή συσκευή που έχει τη δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας μέσω ασύρματων πρωτοκόλλων.

- Access Point (AP)

Ορίζεται το STA που είναι συνδεδεμένο με ενσύρματο δίκτυο και παρέχει υπηρεσίες υποδομής στα φορητά STAs.

- Basic Service Set (BSS)

Το σύνολο από όμοια STAs που λειτουργούν κάτω από το ίδιο πρωτόκολλο.

- Distribution System (DS)

Ορίζεται το δίκτυο μεταφοράς (συνήθως ενσύρματο) που διασύνδεει τα APs μεταξύ τους καθώς και με τα υπόλοιπα δίκτυα. Το πρότυπο δεν ορίζει τη μορφή του, έτσι μπορεί να είναι ένα ενσύρματο δίκτυο Ethernet 802.3.

- Extended Service Set (ESS)

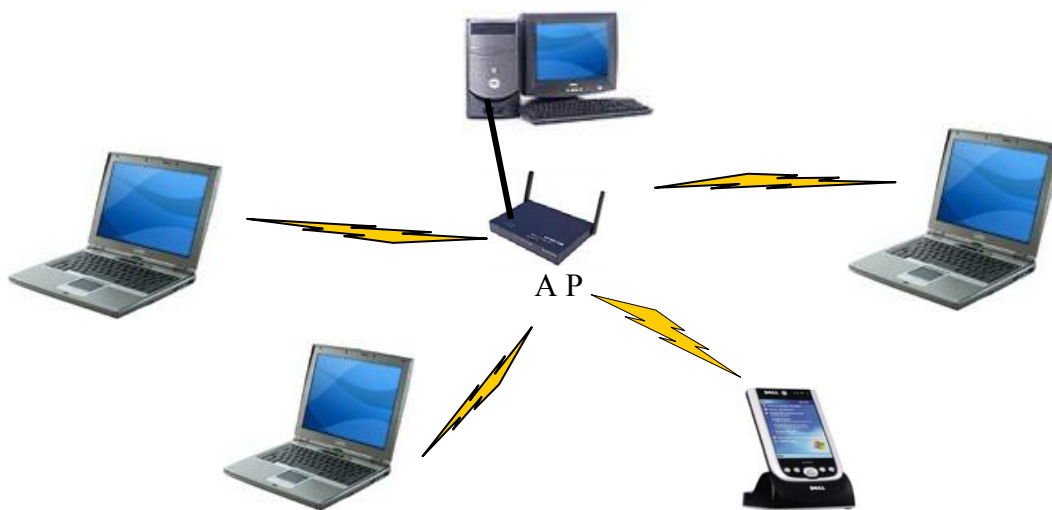
Αποτελείται από ένα αριθμό BSS, όπου τα APs είναι διασυνδεδεμένα μεταξύ τους με μία δομή δικτύου μετάδοσης DS. Σκοπός του είναι να μεγαλώσει την εμβέλεια ασύρματης κάλυψης. Επιτρέπει τη μετακίνηση ενός ασύρματου σταθμού από ένα BSS σε ένα άλλο. Το DS αποτελεί το δίκτυο κορμού του WLAN. Έτσι το DS είναι αυτό που θα αποφασίσει αν τα δεδομένα που λαμβάνονται από ένα σταθμό στο BSS θα μεταχθούν πίσω στο ίδιο BSS, θα προωθηθούν μέσω του DS σε κάποιο άλλο AP, ή θα σταλούν μέσω του DS σε προορισμό εκτός του ESS.

2.3 Ad hoc και Infrastructure Ασύρματα Δίκτυα

Στο IEEE 802.11 υπάρχουν 2 τρόποι για να σχηματιστεί ένα ασύρματο δίκτυο: ad-hoc και infrastructure.

2.3.1 Infrastructure Ασύρματα Δίκτυα

Στα infrastructure δίκτυα υπάρχουν κάποια σταθερά σημεία πρόσβασης (access points-AP) μέσω των οποίων μπορούν οι διάφορες συσκευές να επικοινωνούν. Οι συσκευές έχουν ενσωματωμένους μηχανισμούς πρόσβασης στο ασύρματο μέσο μετάδοσης και επικοινωνούν με τα AP μέσω ραδιοκυμάτων. Τα AP μαζί με τις συσκευές που βρίσκονται στην δική τους κάλυψη, σχηματίζουν ένα βασικό σετ υπηρεσιών (Basic Service Set -BSS). Η σύνθεση των διαφόρων BSS, γίνεται μέσω των AP με ένα κατακευματισμένο σύστημα και έτσι σχηματίζεται ένα δίκτυο. Οι συσκευές μπορούν να επιλέξουν ένα AP και να συσχετιστούν μαζί του. Τα AP παρέχουν συγχρονισμό μέσα στα BSS, υποστηρίζουν διαχείριση ενέργειας και μπορούν να ελέγχουν το μέσο πρόσβασης για υποστήριξη υπηρεσιών με χρονικούς περιορισμούς [24]. Στην Εικόνα 1 φαίνεται η τοπολογία ενός τέτοιου δικτύου.



Εικόνα 1: Η τοπολογία ενός infrastructure WLAN.

2.3.2 Ad hoc Ασύρματα Δίκτυα

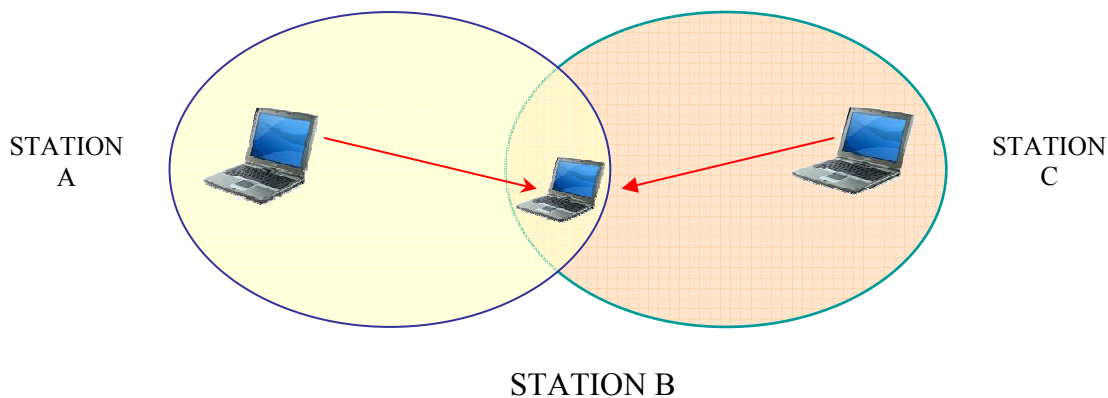
Στα ad-hoc δίκτυα δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη δομή στο δίκτυο. Κάθε ασύρματος σταθμός έχει την δυνατότητα να επικοινωνήσει απευθείας με οποιονδήποτε άλλο σταθμό χωρίς να χρειάζεται να παρεμβληθεί στην επικοινωνία το access point. Έτσι μεταξύ των συσκευών μπορούν να δημιουργηθούν διάφορα BSS. Σε αυτή την περίπτωση, ένα BSS αποτελείται από συσκευές που λειτουργούν και εκπέμπουν στην ίδια συχνότητα. Υπάρχουν διάφοροι αλγόριθμοι για την διατήρηση τέτοιου είδους δικτύου όπως για παράδειγμα αλγόριθμοι εκλογής προέδρου, όπου ένας κόμβος λειτουργεί σαν σταθμός βάση (base station) ή αφέντης και οι άλλοι σαν «σκλάβοι», αλγόριθμοι υπερχείλισης (flooding) και ευρείας μετάδοσης για επικοινωνία μεταξύ των κόμβων. Τα ad-hoc δίκτυα μπορούν να φανούν χρήσιμα, π.χ κατά την διάρκεια μια σύσκεψης οι συμμετέχοντες επικοινωνούν μεταξύ τους και ανταλλάσσουν αρχεία. Στην Εικόνα 2 φαίνεται η τοπολογία ενός τέτοιου δικτύου.



Εικόνα 2: Η τοπολογία ενός ad-hoc WLAN.

2.4 Το πρόβλημα του «κρυμμένου σταθμού» (hidden node)

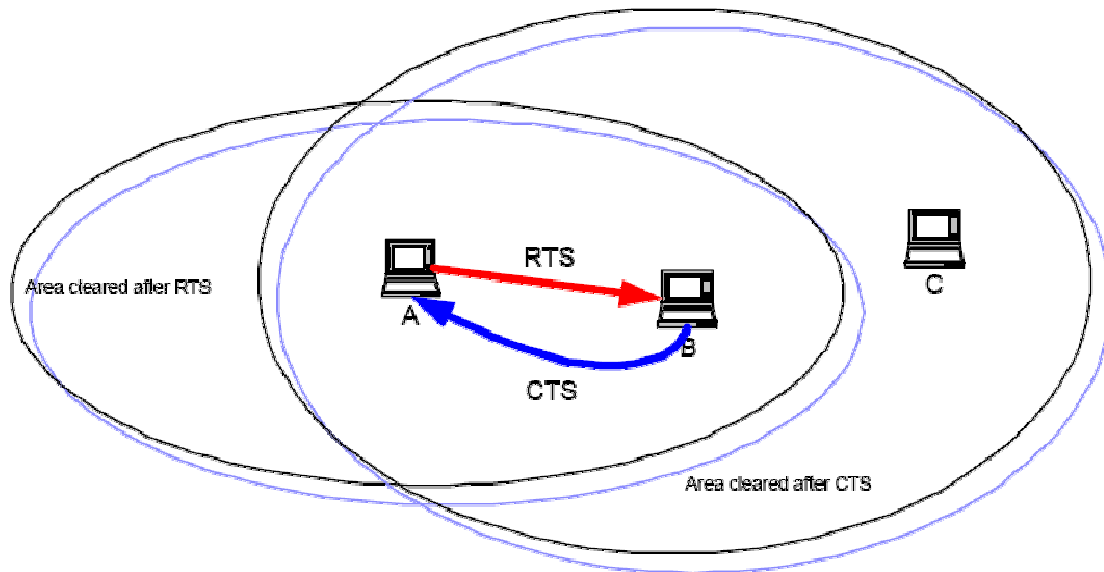
Μια αφελής προσέγγιση στην χρήση ενός ασύρματου LAN θα μπορούσε να είναι το CSMA: Απλώς «άκουσε» μην τυχόν μεταδίδει κάποιος άλλος και μετάδωσε αν κανείς άλλος δεν το κάνει. Το πρόβλημα κατά το οποίο ένας σταθμός δεν είναι σε θέση να ανιχνεύσει έναν πιθανό ανταγωνιστή για το μέσον, επειδή ο ανταγωνιστής βρίσκεται πολύ μακριά ονομάζεται πρόβλημα του κρυμμένου σταθμού. Το παραπάνω CSMA δεν είναι κατάλληλο γιατί σημασία έχουν οι παρεμβολές στον δέκτη και όχι στον πομπό. Αν δύο σταθμοί (A,C) είναι εκτός εμβέλειας και αν υπάρχει ένας σταθμός B ο οποίος βρίσκεται στην ενδιάμεση απόσταση των δύο άλλων σταθμών και μπορεί να μεταδώσει δεδομένα και στους A και B, τότε η μετάδοση δεδομένων από τον A στον B μπορεί να διακοπεί από τα δεδομένα που μπορεί να στέλνει ο B στον C και επειδή δεν μπορούσε να ακούσει τον A έστειλε και αυτός ταυτόχρονα δεδομένα. Η Εικόνα (3) δείχνει σχηματικά το hidden node problem.



Εικόνα 3: Το πρόβλημα του «κρυμμένου σταθμού».

Η λύση στο πρόβλημα του "κρυμμένου σταθμού", είναι η ανταλλαγή μικρών πλαισίων ελέγχου, ready-to-send (RTS) και clear-to-send (CTS) ανάμεσα στους σταθμούς εκπομπής και λήψης (Εικόνα 4). Σύμφωνα με το σχήμα, ο σταθμός A ζητά άδεια για αποστολή πακέτου δεδομένων στον B. Ο σταθμός B απαντάει στέλνοντας ένα

CTS μήνυμα. Ο σταθμός C καθώς και όλοι οι σταθμοί που βρίσκονται εντός της περιοχής κάλυψης του B, ακούει το CTS μήνυμα και αντιλαμβάνεται πως δεν πρέπει να μεταδώσει μέχρι να ακούσει την μετάδοση ενός ACK μηνύματος απ' τον B, το οποίο και θα υποδηλώνει πως η μεταφορά δεδομένων έχει ολοκληρωθεί επιτυχώς.



Εικόνα 4: Ανταλλαγή μικρών πλαισίων ελέγχου, ready-to-send (RTS) και clear-to-send (CTS) ανάμεσα στους σταθμούς εκπομπής και λήψης.

2.5 Φυσικό επίπεδο (PHY Layer)

Το πρότυπο 802.11 ορίζει τρία διαφορετικά PHY επίπεδα [25]. Η ύπαρξη περισσότερων από ένα επιπέδων κάνει την τεχνολογία περισσότερο ευέλικτη στα χέρια των σχεδιαστών συστημάτων. Το πρότυπο 802.11 προσδιορίζει ένα οπτικό PHY που χρησιμοποιεί υπέρυθρες ακτίνες για μετάδοση με ταχύτητες 1 ή 2 Mbps και δύο PHY ραδιοσυχνότητας (RF-based), τα οποία λειτουργούν στην περιοχή συχνοτήτων των 2,4 GHz του ISM (Industrial, Scientific and Medical).

Τα δύο PHY επίπεδα ραδιοσυχνότητας ανήκουν στην κατηγορία των τεχνικών διασποράς φάσματος (spread spectrum techniques). Οι τεχνολογίες διασποράς αποτελούνται από την τεχνική διασποράς φάσματος άμεσης ακολουθίας (Direct

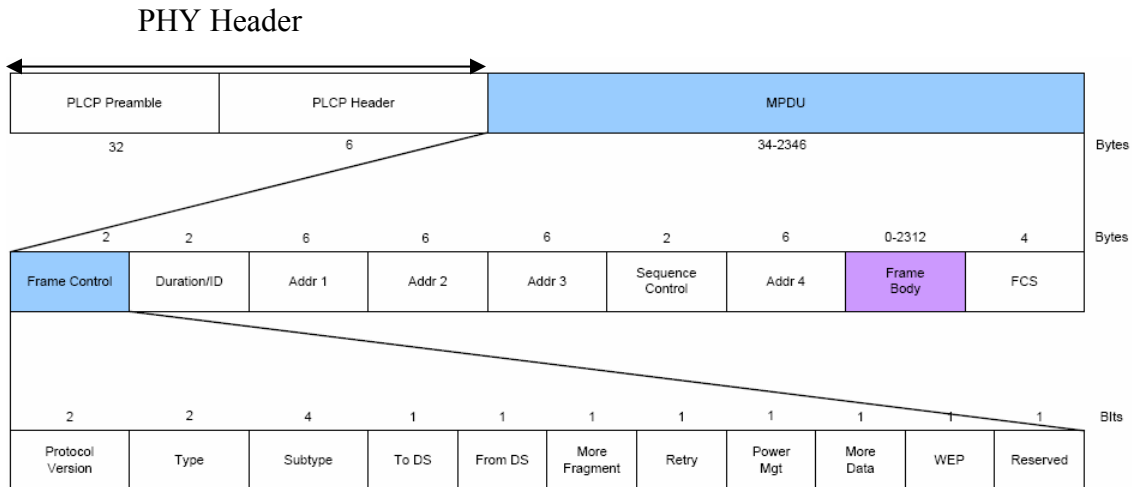
Sequence Spread Spectrum, DSSS) με ταχύτητα 1 ή 2 Mbps και την τεχνική διασποράς φάσματος αναπήδησης συχνότητας (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS) με ταχύτητα με 1 Mbps.

2.6 Επίπεδο Ελέγχου Πρόσβασης στο Μέσο (MAC Layer)

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

Το IEEE 802.11 παρέχει δύο MAC πρωτόκολλα πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης [25]. Το DCF (Distributed Coordination Function) βασίζεται στον “ανταγωνισμό” των σταθμών και είναι μια θεμελιώδης μέθοδος πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης γνωστή και ως μηχανισμός ελέγχου πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος σήματος και αποφυγή συγκρούσεων (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA). Ο DCF μηχανισμός έχει εφαρμογή σε πολλά δίκτυα στα οποία ο κάθε σταθμός θα πρέπει πρώτα να βεβαιωθεί ότι το κανάλι είναι ελεύθερο προτού αρχίσει να μεταδίδει. Το PCF από την άλλη πλευρά παρέχει CFP κατά τη διάρκεια της οποίας ο Point Coordinator (PC) που υλοποιείται στο access point επιλέγει τους σταθμούς που θα αποκτήσουν πρόσβαση στο κανάλι και θα μεταδώσουν τα πακέτα τους. Το DCF υπάρχει μόνο του στα ad-hoc δίκτυα και συνυπάρχει με το PCF στα δίκτυα υποδομής (infrastructure).

2.7 MAC Πακέτο



Εικόνα 5 : MAC πακέτο.

Το επίπεδο MAC υποστηρίζει τρεις (3) διαφορετικούς τύπους πακέτων [25], τα διαχείρισης, ελέγχου και δεδομένων. Η Εικόνα (5) παρουσιάζει την δομή ενός πακέτου MAC. Τα πακέτα δεδομένων χρησιμοποιούνται για την μετάδοση των δεδομένων, πακέτα ελέγχου για την επιβεβαίωση της σωστής λήψης των δεδομένων και τέλος τα πακέτα διαχείρισης χρησιμοποιούνται για λειτουργίες όπως η σύνδεση και η αποχώρηση από το δίκτυο.

2.8 IFS Time

Το IEEE 802.11 εισάγει τάξεις προτεραιότητας που αντιστοιχούν στα "διαπλασιακά κενά" (inter-frame spaces, IFS). Υψηλότερη προτεραιότητα σημαίνει πως επιτρέπεται η μεταφορά στην πιο πρόσφατη χρονοθυρίδα (time slot). Οι τεχνικές προτεραιότητας δεν μπορούν να εγγυηθούν ποιότητα υπηρεσιών (QoS). Η παρακάτω λίστα παρουσιάζει όλα τα IFS Times από τη μικρότερη διάρκεια προς τη μεγαλύτερη.

SIFS: Short Interframe Space είναι η μικρότερη IFS ποσότητα χρόνου. Οι STAs που αναμένουν για SIFS χρόνο έχουν την υψηλότερη προτεραιότητα να αποκτήσουν πρόσβαση στο κανάλι μετάδοσης.

PIFS: Ένας STA στο PCF αναμένει τουλάχιστον για PIFS χρόνο προτού αποκτήσει πρόσβαση στο κανάλι μετάδοσης για CFP διάρκεια.

DIFS: Ένας STA στο DCF επιτρέπεται να μεταδώσει μόνο αν το κανάλι παραμένει ανενεργό για τουλάχιστον DIFS χρόνο.

Slot Time: Ο χρόνος χωρίζεται σε σταθερές ποσότητες χρόνου (κβάντα). Κάθε τέτοια ποσότητα είναι ένα slot. Το μέγεθος ενός slot καθορίζεται από το PHY επίπεδο.

Back off Time: Με τη χρήση του μηχανισμού CSMA/CA στο DCF ένας STA αντιλαμβάνεται εάν το κανάλι είναι ελεύθερο ή κατειλημμένο. Εφόσον το κανάλι είναι κατειλημμένο ο STA περιμένει να ελευθερωθεί το κανάλι για DIFS χρόνο και επιλέγει ένα τυχαίο back off time στο διάστημα $[0, CW]$. Το CW (contention window) παίρνει τιμές ανάμεσα στο CW_{min} και CW_{max} . Ο δείκτης i δηλώνει το επίπεδο του back off, το οποίο μηδενίζεται ή πλησιάζει το CW_{max} , αν η μετάδοση είναι επιτυχημένη ή όχι αντίστοιχα.

2.9 Το πρότυπο IEEE 802.11

2.9.1 Distributed Coordination Function (DCF)

Το DCF βασίζεται στον CSMA/CA μηχανισμό, ο οποίος είναι ευρέως διαδεδομένος και χρησιμοποιείται σε πολλές τεχνολογίες δικτύων [25]. Ο μηχανισμός αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί και με την χρήση του μηχανισμού RTS/CTS έτσι ώστε το πρόβλημα του κρυμμένου σταθμού να μην εμφανίζεται.

2.9.1.1 CSMA/CA χωρίς την χρήση μηχανισμού RTS/CTS

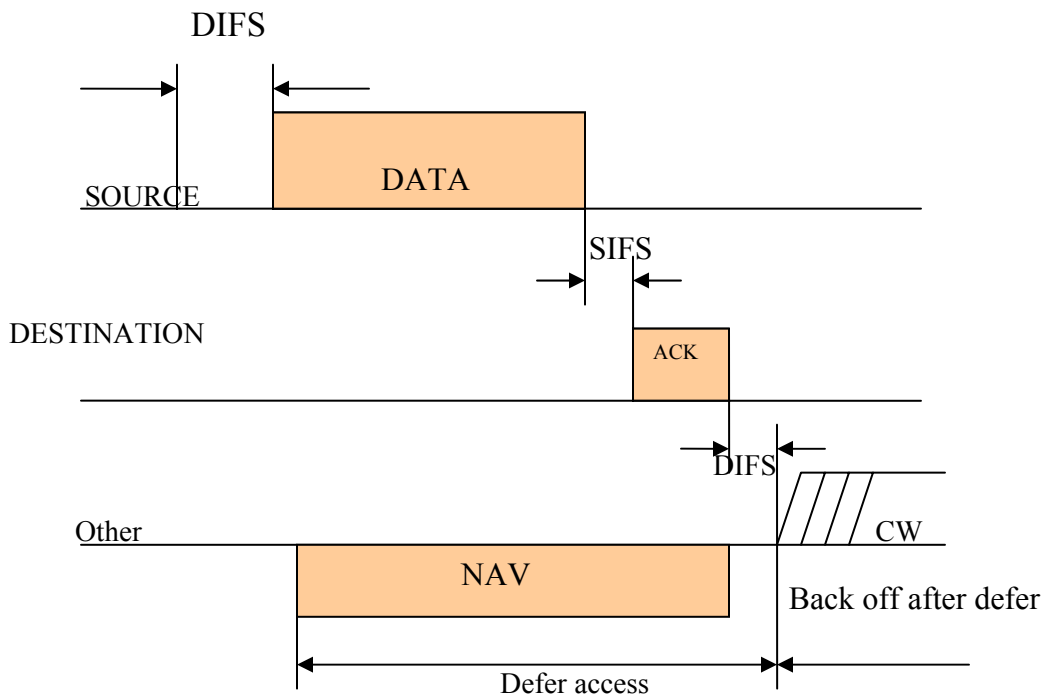
Ο Carrier Sensing (CS) μηχανισμός «ακούει» το κανάλι προτού επιτρέψει την μετάδοση ενός πακέτου και με αυτόν τον τρόπο, αποφεύγει τις συγκρούσεις (collision) που μπορούν να συμβούν κατά την διάρκεια μιας μετάδοσης. Στα ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιείται ο μηχανισμός πολλαπλής πρόσβασης με αποφυγή σύγκρουσης CSMA/CA σε αντίθεση με αυτόν που χρησιμοποιείται στα ενσύρματα δίκτυα - Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD). Ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιείται ο παραπάνω μηχανισμός, οφείλεται στο γεγονός ότι, ένας ασύρματος σταθμός δεν έχει τη δυνατότητα να ακούσει το κανάλι και να διαπιστώσει κάποια σύγκρουση ενώ ταυτόχρονα μεταδίδει δεδομένα. Το IEEE 802.11 εισάγει δύο μηχανισμούς ανίχνευσης, τον Physical CS και τον Virtual CS οι οποίοι δραστηριοποιούνται στο Physical και MAC επίπεδο αντίστοιχα. Στην παρούσα εργασία όταν μιλάμε για CS θα αναφερόμαστε στον Virtual CS.

Έστω ότι ένας σταθμός ετοιμάζει να μεταδώσει ένα MPDU. Ο σταθμός ενημερώνει το δεύτερο πεδίο του MPDU (duration field) με την ποσότητα του χρόνου (microseconds) που θα διαρκέσει η επιτυχημένη μετάδοση του πακέτου. Οι υπόλοιποι σταθμοί του συγκεκριμένου BSS διαβάζουν το duration field και ενημερώνουν το Network Allocation Vector (NAV) τους, το οποίο αναπαριστά τη διάρκεια του χρόνου η οποία θα πρέπει να παρέρθει μέχρι να ολοκληρωθεί επιτυχώς η τρέχουσα μετάδοση και το κανάλι να έρθει και πάλι σε ηρεμία.

Μόλις ένας σταθμός διαπιστώσει ότι το κανάλι δεν χρησιμοποιείται, περιμένει για DIFS χρόνο και ακούει ξανά. Αν το κανάλι εξακολουθεί να παραμένει ανενεργό, τότε ο STA ξεκινάει να μεταδίδει το MPDU του. Ο παραλήπτης ελέγχει το πακέτο για να διαπιστώσει αν έφτασε σωστά. Αν το πακέτο λήφθηκε χωρίς λάθη ο παραλήπτης περιμένει για SIFS χρόνο και επιβεβαιώνει τη σωστή λήψη στέλνοντας μια ACK στον αποστολέα. Από το duration field του MPDU οι υπόλοιποι σταθμοί του BSS γνωρίζουν για πόσο χρόνο το κανάλι θα παραμείνει απασχολημένο και ενημερώνουν το NAV τους. Ο χρόνος αυτός ισούται με το άθροισμα του χρόνου μετάδοσης του πακέτου δεδομένων, της ACK και του SIFS χρόνου. Στην Εικόνα 6 αναπαρίσταται γραφικά η μετάδοση ενός MPDU με χρήση του CSMA.

Ο STA δεν έχει τη δυνατότητα να ακούει το κανάλι όσο εκείνος μεταδίδει, για αυτό το λόγο, αν συμβεί κάποια σύγκρουση δεν θα μπορέσει να την αντιληφθεί πριν την

ολοκλήρωση της μετάδοσης του MPDU του. Αν το MPDU είναι μεγάλο τότε ένα σημαντικό ποσοστό της χωρητικότητας (bandwidth) της γραμμής σπαταλείται εξαιτίας της αποτυχημένης μετάδοσης του πακέτου. Τη λύση στο πρόβλημα αυτό έδωσε η ανάπτυξη ενός μηχανισμού (RTS/CTS) δέσμευσης των πόρων του δικτύου από το σταθμό που μεταδίδει.

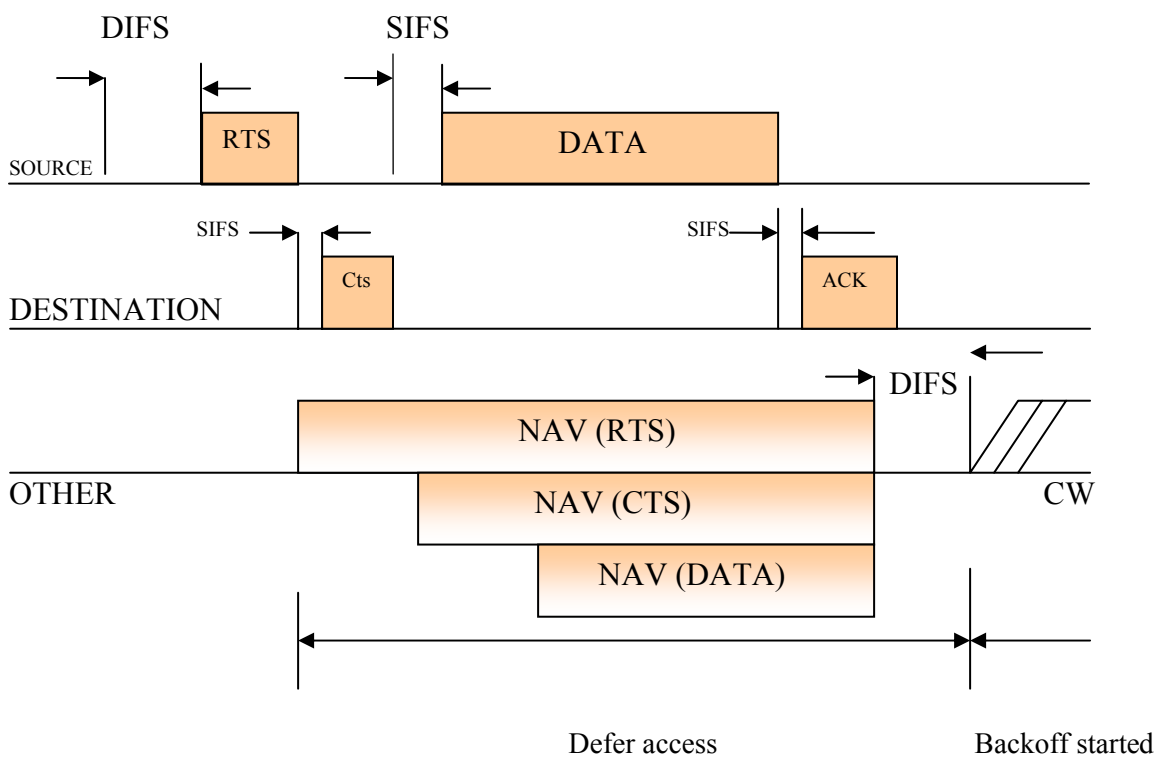


Εικόνα 6 :Μετάδοση MPDU μέσω CSMA μηχανισμού.

2.9.1.2 CSMA/CA με χρήση μηχανισμού RTS/CTS

Όπως έχει προαναφερθεί τα RTS/CTS είναι πακέτα ελέγχου τα οποία χρησιμοποιούνται από τον STA που θέλει να μεταδώσει προκειμένου να γίνει εκ των προτέρων κράτηση των πόρων του δικτύου και να ελαχιστοποιηθεί το ποσοστό του bandwidth που σπαταλάται στην περίπτωση που συμβεί σύγκρουση. Το RTS είναι το πρώτο πακέτο που στέλνεται από τον STA αμέσως μόλις αυτός αποκτήσει πρόσβαση στο κανάλι μετάδοσης. Οι υπόλοιποι σταθμοί που ανήκουν στον ίδιο BSS λαμβάνουν το RTS, διαβάζουν το duration field και ενημερώνουν το NAV τους . Ο σταθμός

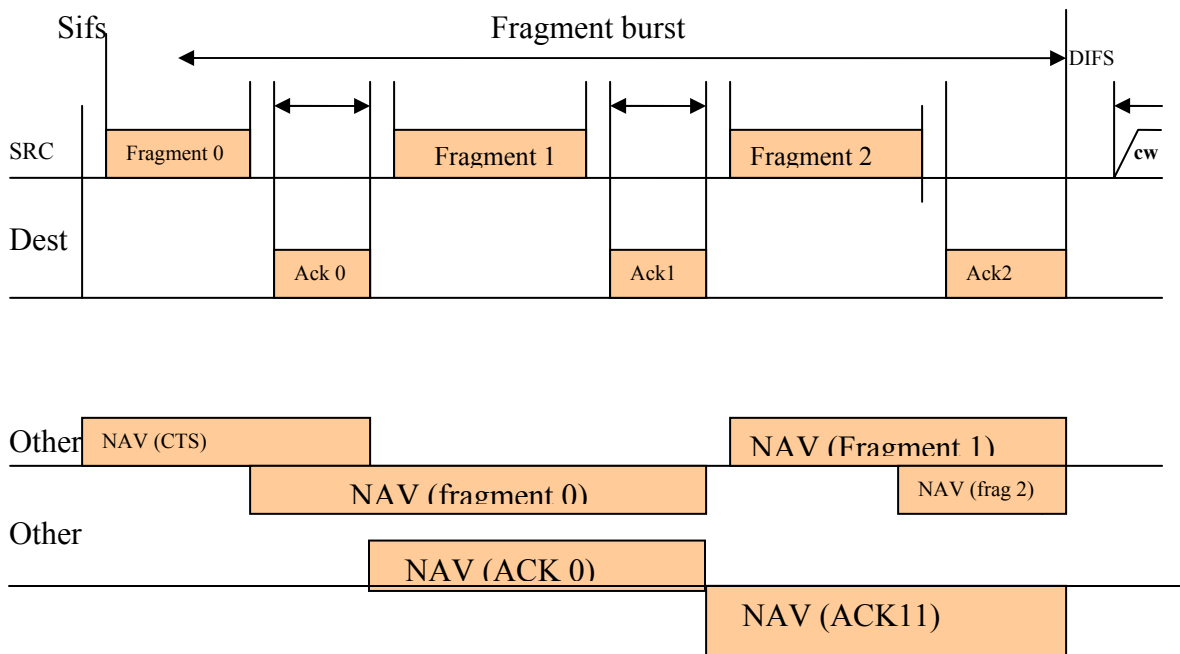
προορισμού απαντάει στο RTS πακέτο στέλνοντας ένα CTS μετά από SIFS χρόνο. Ομοίως οι υπόλοιποι σταθμοί του BSS λαμβάνουν το CTS, διαβάζουν το duration field και ενημερώνουν το NAV τους. Μετά την επιτυχημένη λήψη του CTS ο αποστολέας είναι βέβαιος ότι το κανάλι είναι ελεύθερο και έχει γίνει δέσμευση πόρων για την επιτυχημένη μετάδοση του MPDU. Η συνεχής ενημέρωση των NAVs των υπολοίπων σταθμών του BSS βοηθάει στη αντιμετώπιση του hidden terminal problem. Στην Εικόνα 7 αναπαριστάται η μετάδοση ενός MPDU με τη χρήση του μηχανισμού RTS/CTS. Ο μηχανισμός ενεργοποιείται αν το MPDU είναι μεγαλύτερο από το RTS_Threshold. Αν συμβεί σύγκρουση με το RTS/CTS το ποσοστό του bandwidth που σπαταλάτε είναι μικρότερο καθώς το μέγεθος των RTS και CTS πακέτων είναι πολύ μικρότερο από του MPDU.



Εικόνα 7 : Μετάδοση MPDU με RTS/CTS.

Τα μεγάλα πακέτα διαιρούνται σε μικρότερα πακέτα (fragments) προκειμένου να μεταδοθούν με μεγαλύτερη αξιοπιστία. Αν το μέγεθος του MPDU είναι μεγαλύτερο από το Fragmentation_Threshold τότε το αρχικό πακέτο διαιρείται σε μικρότερα πακέτα, τα

οποία μεταδίδονται το ένα μετά το άλλο. Το κανάλι μετάδοσης δεν απελευθερώνεται μέχρι να ολοκληρωθεί η μετάδοση ολόκληρου του MPDU ή μέχρι να αποτύχει η σωστή λήψη κάποιου fragment. Ο παραλήπτης επιβεβαιώνει τη σωστή λήψη των fragments που λαμβάνει, στέλνοντας θετικές επιβεβαιώσεις (ACKs). Ο αποστολέας προκειμένου να αυξήσει το throughput της γραμμής αναμένει SIFS χρόνο αφού λάβει το ACK πακέτο και προχωράει στη μετάδοση του επόμενου fragment (Εικόνα 8). Αν κάποια ACK δεν ληφθεί σωστά από τον αποστολέα τότε η μετάδοση του MPDU αποτυγχάνει και ο STA χάνει την πρόσβαση στο μέσο μετάδοσης. Αν χρησιμοποιείται ο μηχανισμός RTS/CTS τότε μόνο για το πρώτο fragment στέλνονται RTS και CTS πακέτα ελέγχου. Τέλος οι υπόλοιποι σταθμοί του BSS ενημερώνουν το NAV τους διαβάζοντας το duration field του κάθε fragment. 1



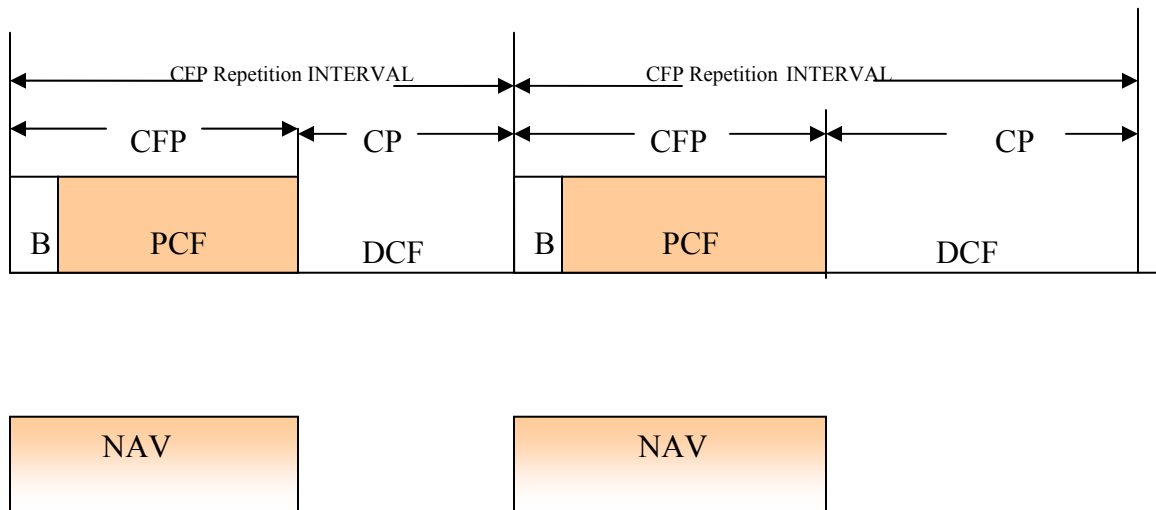
Εικόνα 8: Μετάδοση των fragments του MPDU.

Αν ο αποστολέας διαπιστώσει ότι το κανάλι δεν είναι ελεύθερο, τότε περιμένει μέχρι να ελευθερωθεί για DIFS χρόνο και υπολογίζει ένα backoff time. Μετά το πέρας του DIFS χρόνου και όσο το κανάλι παραμένει ελεύθερο, ο STA μειώνει το backoff time μέχρι αυτό να πάρει την τιμή μηδέν ή μέχρι το μέσο μετάδοσης να καταληφθεί από κάποιον άλλο STA. Αν το backoff δε φτάσει στο μηδέν και το κανάλι παύσει να είναι

ελεύθερο τότε ο back off timer παγώνει και συνεχίζει να μειώνεται μόνο όταν το κανάλι ελευθερωθεί και πάλι. Μόλις ο back off timer πάρει την τιμή μηδέν, τότε ο STA ξεκινάει τη μετάδοση. Αν ο back off timer δύο ή περισσότερων σταθμών γίνει μηδέν την ίδια χρονική στιγμή, τότε θα συμβεί σύγκρουση (collision) και οι σταθμοί αυτοί θα υπολογίσουν ένα νέο back off time και θα επαναλάβουν την παραπάνω διαδικασία.

2.9.2 Point Coordination Function (PCF)

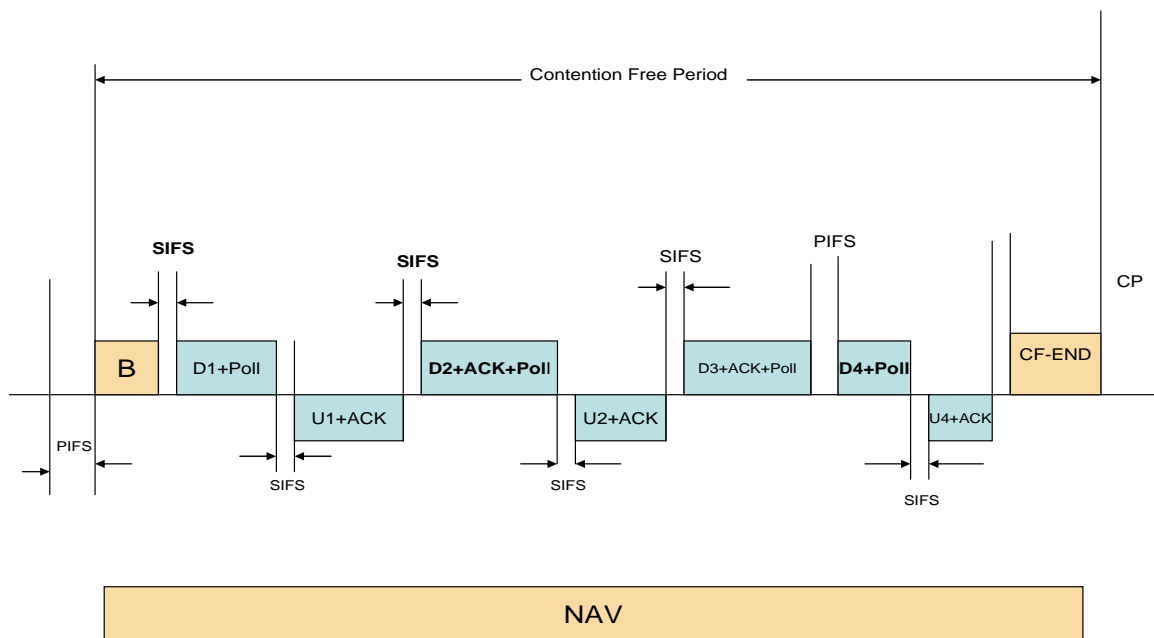
Το PCF είναι ένα πρωτόκολλο που παρέχει contention free (CF) μετάδοση δεδομένων. Το PCF συνυπάρχει με το DCF στα δίκτυα υποδομής (Εικόνα 9). Σε αντίθεση με το DCF, το PCF διαθέτει ένα κεντρικό ελεγκτή (point coordinator, PC) που υλοποιείται στο AP και περιορίζει την πρόσβαση στο μέσο μετάδοσης. Κάθε σταθμός που επιλέγει να χρησιμοποιεί το PCF είναι συνδεδεμένος με το δίκτυο αλλά δεν μπορεί να μεταδώσει αν δεν του το επιτρέψει το AP. Οι σταθμοί του BSS που θα αποκτήσουν πρόσβαση στο μέσο μετάδοσης από το AP ονομάζονται CF-aware STAs.



Εικόνα 9: Συνύπαρξη PCF και DCF.

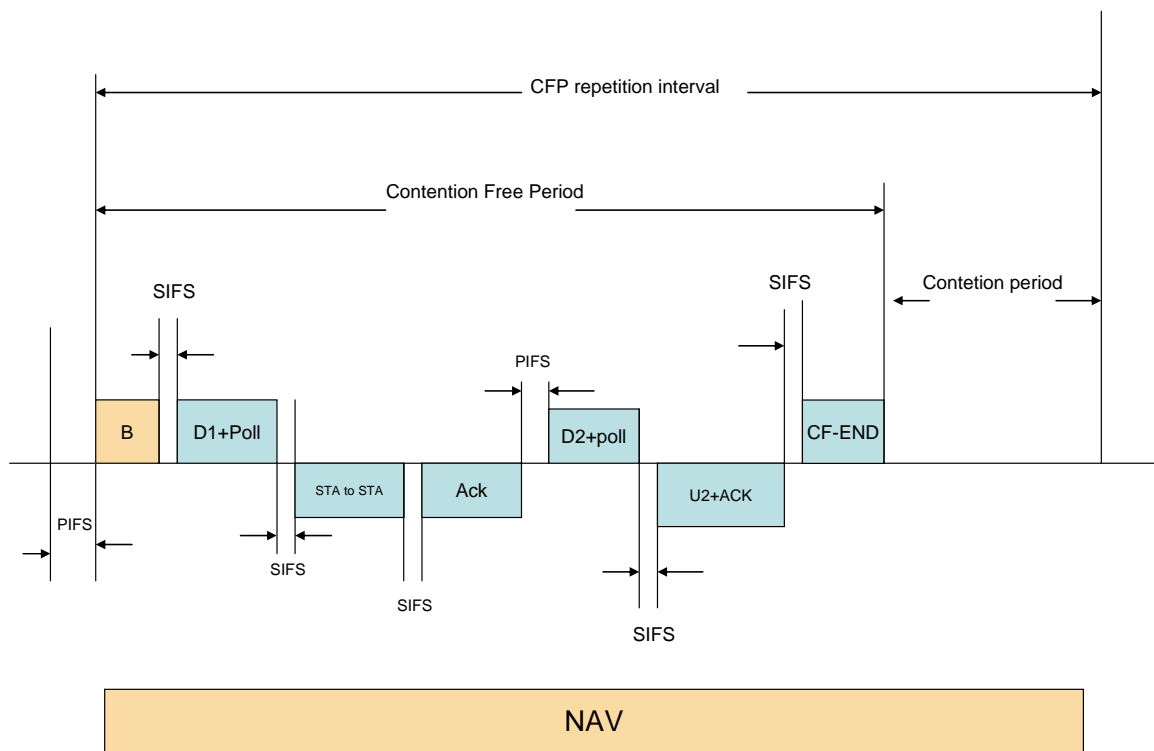
Με την έναρξη της CFP περιόδου όλοι οι σταθμοί στο ίδιο BSS δίνουν στο NAV τους τη τιμή του CFP Max Duration. Κατά τη διάρκεια του CFP επιτρέπεται να μεταδώσουν μόνο οι σταθμοί που επιλέγονται από το AP και όσοι STAs επιβεβαιώνουν τη λήψη κάποιου πακέτου στέλλοντας ACK στον αποστολέα τους.

Ο PC που βρίσκεται στο AP αρχικά ακούει το μέσο μετάδοσης για να διαπιστώσει αν είναι ελεύθερο ή κατειλημμένο. Αν το κανάλι παραμείνει ελεύθερο για PIFS χρόνο, ο PC στέλνει ένα beacon frame για να σημάνει την έναρξη του CFP. Στη συνέχεια ο PC περιμένει για SIFS χρόνο και στέλνει ένα CF-Poll πακέτο στον STA επιλέγοντας με αυτό τον τρόπο τον σταθμό που θα αποκτήσει πρόσβαση στο κανάλι μετάδοσης. Αν ο CF-aware STA λάβει το CF-Poll πακέτο από τον PC περιμένει για SIFS χρόνο και απαντάει στέλλοντας ένα CF-ACK+data πακέτο, όπου data τα δεδομένα που θέλει να στείλει στον παραλήπτη (Εικόνα 10). Αν ο PC στείλει ένα CF-Poll στον STA και αυτός δεν διαθέτει δεδομένα για αποστολή τότε απαντάει στον PC στέλλοντας του ένα Null πακέτο. Αν ο PC δεν λάβει ACK από κάποιον STA περιμένει για PIFS χρόνο και επιλέγει τον επόμενο στη λίστα από τους CF-aware STAs για μετάδοση.



Εικόνα 10 : Μετάδοση από τον PC στον STA.

Μετά τη λήψη του CF-Poll από τον PC ο STA μπορεί να θέλει να μεταδώσει ένα πακέτο σε κάποιον άλλο σταθμό του ίδιου BSS. Μόλις ο STA παραλήπτης λάβει το πακέτο περιμένει για SIFS χρόνο και επιβεβαιώνει τη σωστή λήψη στέλνοντας μία ACK στον αποστολέα. Ο PC αναμένει PIFS χρόνο μετά τη λήψη της ACK και προχωράει στη μετάδοση του επόμενου πακέτου (Εικόνα 11). Αν η απόδοση του δικτύου είναι πολύ χαμηλή και η κίνηση περιορισμένη, ο PC μπορεί να τερματίσει στην CFP περίοδο στέλνοντας ένα CF-End πακέτο ελέγχου.



Εικόνα 11: Μετάδοση από STA σε STA.

2.10 Το πρότυπο IEEE 802.11E

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

EDCF και HCF, που αποτελούν επέκταση των DCF και PCF αντίστοιχα. Τα πρωτόκολλα αυτά παρέχουν οκτώ κατηγορίες κίνησης (traffic classes - TC) και με αυτόν τον τρόπο μπορούν να υποστηρίξουν διαφοροποιημένες υπηρεσίες (Differentiated Services).

2.10.1 Enhanced Coordination Function (EDCF)

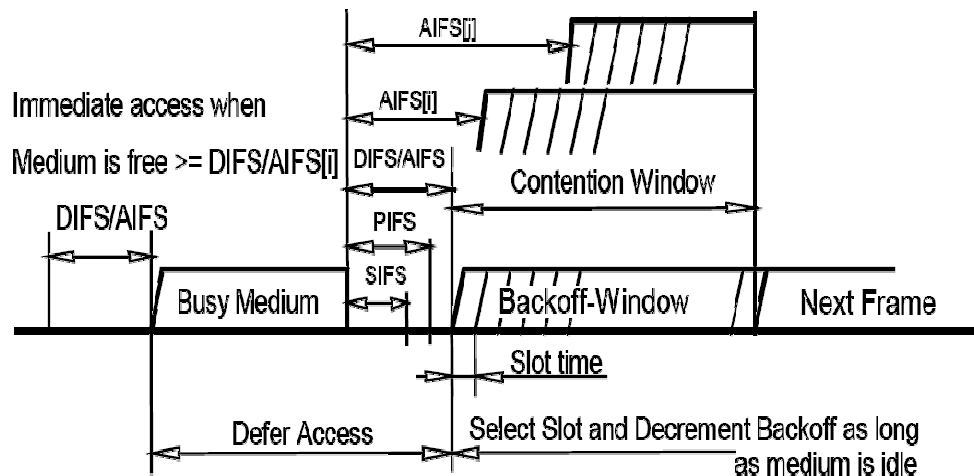
Το EDCF αποτελεί μία επέκταση του DCF. Για να υποστηρίξει εφαρμογές που απαιτούν QoS εισάγει τέσσερις κατηγορίες πρόσβασης (Access Categories, ACs). Για τον κάθε ασύρματο σταθμό, διαφοροποιείται ο χρόνος αναμονής για πρόσβαση στο κανάλι μετάδοσης ανάλογα με το AC στο οποίο ανήκει. Προκειμένου να παρέχει ακόμα μεγαλύτερη διαφοροποίηση, εισάγει οκτώ προτεραιότητες χρήστη (User Priorities, UP) ώστε να κατηγοριοποιήσει τις ροές που ανήκουν στο ίδιο AC (Πίνακας 1).

Priority	ACCESS CATEGORY	Designation (informative)
1	0	Best effort
2	0	Best effort
0	0	Best effort
3	1	Video Probe
4	2	Video
5	2	Video
6	3	Voice
7	3	Voice

Πίνακας 1 : Προτεραιότητα πρόσβασης ανά AC.

Κάθε σταθμός ανήκει σε κάποιο AC και έχει ένα UP. Ένα ή περισσότερα UPs μπορεί να ανήκουν στο ίδιο AC. Οι σταθμοί με την υψηλότερη προτεραιότητα ανήκουν στο AC[3]. Ένα AC με υψηλή προτεραιότητα έχει μικρότερο CW από ένα AC με χαμηλότερη προτεραιότητα προκειμένου να αποκτήσει γρηγορότερα πρόσβαση στο μέσο μετάδοσης. Στο EDCF, ο DIFS χρόνος δεν είναι σταθερός, αλλά μεταβλητός και ισούται με $AIFS [AC]$. Ομοίως τα CW_{min} και CW_{max} δεν παραμένουν ούτε και αυτά σταθερά αλλά μεταβάλλονται ανάλογα με το AC.

Στην περίπτωση που συμβεί σύγκρουση ανάμεσα σε δύο ACs διαφορετικής προτεραιότητας, τότε το AC με την υψηλότερη προτεραιότητα θα αποκτήσει πρόσβαση στο κανάλι και θα μεταδώσει τα δεδομένα του, ενώ αυτό με την χαμηλή προτεραιότητα θα υπολογίσει ένα νέο backoff time. Η αναπαράσταση της μετάδοσης ενός πακέτου μέσω του μηχανισμού EDCF παρουσιάζεται στην Εικόνα 12.



Εικόνα 12 : Μετάδοση δεδομένων στον EDCF μηχανισμό.

2.10.2 Hybrid Coordination Function (HCF)

Το HCF αποτελεί επέκταση του PCF. Κατά τη διάρκεια του CFP ο hybrid coordinator (HC) που υλοποιείται στο AP στέλνει ένα QoS CF-Poll πακέτου ελέγχου σ' έναν STA δίνοντας του την ευκαιρία να μεταδώσει δεδομένα (transmission opportunity, TXOP). Οι υπόλοιποι σταθμοί του BSS λαμβάνουν το QoS CF-Poll, διαβάζουν το duration field του πακέτου και ενημερώνουν το NAV τους. Από αυτή τη στιγμή οι

υπόλοιποι STAs σταματούν τις προσπάθειες απόκτησης του καναλιού και ο STA που έχει το TXOP αρχίζει να μεταδίδει δεδομένα. Αυτός ο μηχανισμός δεσμεύει τους πόρους του δικτύου για αποκλειστική χρήση από τον STA που διαθέτει το TXOP. Επιτυγχάνει να μειώσει την πιθανότητα να συμβεί κάποια σύγκρουση, διότι όλοι οι STAs εκτός από αυτόν που διαθέτει το TXOP και από το AP, δεν έχουν πρόσβαση στο κανάλι, μέχρι να παρέρθει DIFS χρόνος από την ολοκλήρωση μίας επιτυχημένης μετάδοσης .

3 ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετήσουμε το αναλυτικό μοντέλο για την εκτίμηση της απόδοσης στα ασύρματα δίκτυα. Συγκεκριμένα παρουσιάζουμε το αναλυτικό μοντέλο στο οποίο ο ρυθμός μετάδοσης ενός χρήστη είναι ανάλογος της πιθανότητας στο να μεταδώσει ένα πακέτο (p-persistent model) [6], την χρήση αλυσίδων Markov για την εύρεση την βέλτιστης πιθανότητας μετάδοσης [13], και τέλος οικονομικά μοντέλα για έλεγχο πόρων με σκοπό την παροχή διαφοροποίησης υπηρεσίας μέσω διαφορετικών παραθύρων μετάδοσης (CW) [3],[21].

3.2 Θεωρητικός υπολογισμός της απόδοσης [27]

Έστω ότι έχουμε n το πλήθος ασύρματους σταθμούς που συναγωνίζονται για το ποιος θα μεταδώσει στο κανάλι. Υποθέτουμε ότι ο σταθμός i χρησιμοποιεί παράθυρο ανταγωνισμού CW_i για να αποκτήσει πρόσβαση στο κανάλι. Τότε η πιθανότητα ο σταθμός i να μεταδώσει σε μια χρονοσχισμή (timeslot) είναι [26]:

$$t_i = \frac{2}{CW_i + 1} \quad (1)$$

και η πιθανότητα για μια επιτυχημένη μετάδοση του σταθμού i ισούται με :

$$P_{s,i} = t_i \cdot \prod_{j \neq i} (1 - t_j) \quad (2)$$

Χωρίς βλάβη της γενικότητας μπορούμε να πάρουμε τον σταθμό 1 ως σημείο αναφοράς και έτσι να ορίσουμε τον λόγο ω_i ως εξής :

$$\omega_i = \frac{t_i}{t_1} \quad (3)$$

Τότε η πιθανότητα μιας επιτυχημένης μετάδοσης ενός πακέτου είναι :

$$P_s = \sum_i t_i \cdot \prod_{j \neq i} (1 - t_j) = \sum_i \omega_i \cdot t_i \cdot \prod_{j \neq i} (1 - \omega_j \cdot t_1) \quad (4)$$

Και η πιθανότητα να είναι μια χρονοσχισμή άδεια, δηλαδή να μην χρησιμοποιείται από κανέναν ασύρματο σταθμό είναι:

$$P_e = \prod_i (1 - t_i) = \prod_i (1 - \omega_i \cdot t_1) \quad (5)$$

Η πιθανότητα να συμβεί σύγκρουση (collision) είναι:

$$P_c = 1 - P_s - P_e \quad (6)$$

Μπορούμε τότε να ορίσουμε την απόδοση (throughput) του σταθμού i ως εξής :

$$x_i = \frac{E[X_i]}{E[T]} \quad (7)$$

όπου $E[X_i]$ είναι η μέση τιμή των δεδομένων που μεταδόθηκαν σε μια χρονική στιγμή από τον σταθμό i , προς την μέση τιμή $E[T]$ του χρονικού διαστήματος που χρειάστηκε για να γίνει η μετάδοση αυτή. Η εξίσωση (7) μπορεί τότε να μετασχηματιστεί με την βοήθεια των εξισώσεων (4), (5), (6) στην εξίσωση (8) αν αθροίσουμε ως προς όλα τα i . Η έκφραση του throughput τότε γίνεται :

$$r_{TOTAL} = \frac{P_s L}{P_s T_s + P_e T_e + P_c T_c} \quad (8)$$

Όπου L είναι το μέγεθος του πακέτου, T_s είναι η μέση χρονική διάρκεια μιας επιτυχούς μετάδοσης, T_e είναι η μέση χρονική διάρκεια ενός άδειου timeslot, T_c είναι η μέση διάρκεια που διαρκεί ένα collision. Τα παραπάνω χρονικά διαστήματα διαφέρουν ανάλογα με το ποια έκδοση του πρωτοκόλλου IEEE 802.11 χρησιμοποιείται σε κάθε περίπτωση και με το αν χρησιμοποιείται ο μηχανισμός RTS/CTS για την αποφυγή του hidden node προβλήματος. Σε επόμενη παράγραφο του κεφαλαίου αναλύονται διεξοδικά.

3.3 Εύρεση βέλτιστης πιθανότητας μετάδοσης

Αν θέλουμε να δώσουμε βάρη στον κάθε σταθμό, τότε ένας τρόπος είναι η παρακάτω ισότητα :

$$\frac{r_i}{r_j} = \frac{\omega_i}{\omega_j} \quad (9)$$

Δηλαδή θεωρούμε ότι το βάρος του χρήστη i πρέπει να είναι ανάλογο της απόδοσης του. Αν αθροίσουμε προκύπτει η εξίσωση :

$$r_i = \frac{\omega_i}{\sum_i \omega_i} \cdot r_{total} \quad (10)$$

Και αντικαθιστώντας την εξίσωση (8) προκύπτει η εξίσωση (11) την οποία την θεωρούμε ως συνάρτηση του $r(t_i)$ και αναζητούμε το ακρότατο στο οποίο παρουσιάζει μέγιστο. Έχουμε :

$$r_i = \frac{\omega_i}{\sum_i \omega_i} \cdot \frac{l}{T_s - T_c + \frac{P_e \cdot (T_e - T_c) + T_c}{P_s}} \quad (11)$$

Στην παραπάνω σχέση (11) οι όροι L, T_e, T_c είναι σταθεροί και δεν μεταβάλλονται συναρτήσει του t_i , συνεπώς μεγιστοποίηση μπορεί να γίνει ως προς τον όρο

$$\hat{r} = \frac{P_s}{P_e \cdot (T_e - T_c) + T_c} = \frac{\sum_i \omega_i \cdot t_i \cdot \prod_{j \neq i} (1 - \omega_j \cdot t_i)}{\prod_i (1 - \omega_i \cdot t_i) \cdot (T_e - T_c) + T_c} \quad (12)$$

Με την παραδοχή ότι $t_i \ll 1$ το οποίο ισχύει για μεγάλες τιμές του n , η σχέση (12) μετασχηματίζεται σε:

$$\hat{r} = \frac{a \cdot t_1 - b \cdot t_1^2}{c \cdot t_1 + T_e} \quad (13)$$

Όπου

$$a = \sum_i \omega_i, \quad b = \sum_i \sum_{j \neq i} \omega_i \omega_j, \quad c = \sum_i \omega_i \cdot (T_c - T_e)$$

Η βέλτιστη τιμή του t_1, t_1^* που μεγιστοποιεί το \hat{r} προκύπτει από τον μηδενισμό της παραγώγου και υπολογίζεται ως εξής:

$$\left. \frac{d \hat{r}}{d \tau_1} \right|_{\tau_1 = \tau_1^*} = 0 \Rightarrow b \cdot c \cdot (t_1^*)^2 + 2 \cdot b \cdot T_e \cdot t_1^* - a \cdot T_e = 0 \quad (*) \quad \Rightarrow$$

$$t_1^* = \frac{\sqrt{(b \cdot T_e)^2 + a \cdot b \cdot c \cdot T_e} - b \cdot T_e}{b \cdot c} \quad (14)$$

(ως λύση της δευτεροβάθμιας εξίσωσης δεχόμαστε μόνο αυτήν που είναι στο διάστημα (0,1) αφού το t_1^* είναι βέλτιστη πιθανότητα μετάδοσης.)

Το βέλτιστο CW το οποίο μεγιστοποιεί ταυτόχρονα όλα τα τ_i 's υπολογίζεται από τον τύπο:

$$CW_i^* = \frac{2}{t_i^*} - 1 = \frac{2}{\omega_i \cdot t_1^*} - 1 \quad (15)$$

3.4 Χρονικά Διαστήματα T_{suc} , T_{col} , T_e

Τα χρονικά διαστήματα του MAC επιπέδου του IEEE 802.11 είναι τρία με διαφορετικά μεγέθη το κάθε ένα T_s, T_e, T_c . Η διάρκεια του κάθε χρονικού διαστήματος εξαρτάται από την κωδικοποίηση στο φυσικό επίπεδο και τις λειτουργίες που εκτελούνται στο επίπεδο MAC. Το σχήμα Εικόνα (13) δείχνει το χρονικό διάγραμμα για την βασική λειτουργία του CSMA/CA.

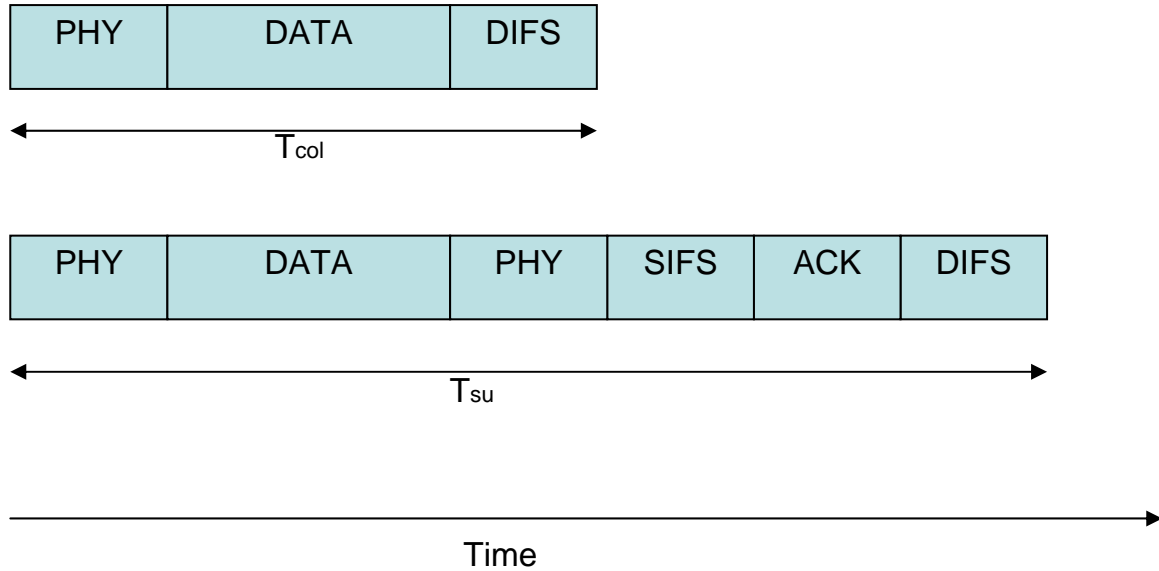
- T_s : Εξαρτάται από την κωδικοποίηση, τον ρυθμό μετάδοσης, την επικεφαλίδα του MAC επιπέδου, το μέγεθος του πακέτου και από το γεγονός αν χρησιμοποιείται ο μηχανισμός RTS/CTS. Στο 802.11 η επικεφαλίδα έχει μέγεθος 34 bytes. Αν L είναι το μέγεθος του πακέτου, στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιείται ο μηχανισμός RTS/CTS έχουμε :

$$T^{SUC} = 2 \cdot T_{PHY} + T_{DIFS} + T_{SIFS} + \frac{(34 + L) \cdot 8}{R} + T_{ACK} \quad (16)$$

Όπου T_{PHY} είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να μεταδοθούν τα bytes της επικεφαλίδας του φυσικού επιπέδου. Στην περίπτωση του 802.11b οι επιβεβαιώσεις ACK μεταδίδονται με ρυθμό 1Mbps, έτσι ο χρόνος μετάδοσης των ACK είναι

ανεξάρτητος του ρυθμού μετάδοσης R. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται ο μηχανισμός RTS/CTS (Εικόνα 14) έχουμε :

$$T^{SUC,RTS/CTS} = 4 \cdot T_{PHY} + T_{DIFS} + 3 \cdot T_{SIFS} + \frac{(34 + L) \cdot 8}{R} + T_{RTS} + T_{CTS} + T_{ACK} \quad (17)$$



Εικόνα 13: Χρονικό διάγραμμα στο CSMA/CA

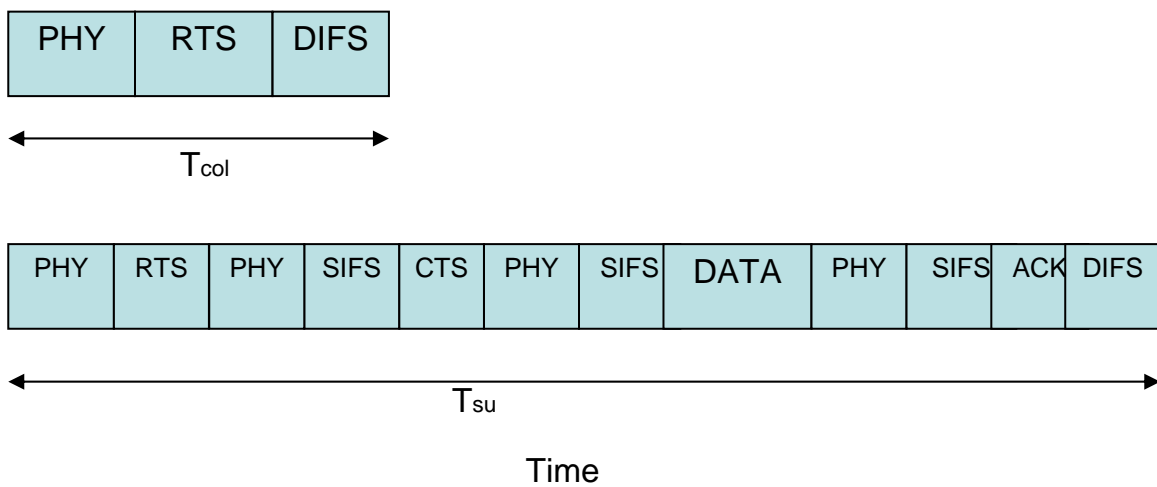
- T_c : Εξαρτάται από την κωδικοποίηση και από το γεγονός αν χρησιμοποιείται ο μηχανισμός RTS/CTS. Επιπρόσθετα εξαρτάται από τον ρυθμό μετάδοσης, την επικεφαλίδα του MAC επιπέδου και το μέγεθος του πακέτου. Όταν δεν χρησιμοποιείται ο μηχανισμός RTS/CTS ο χρόνος αυτός ισούται με :

$$T^{COL} = T_{PHY} + T_{DIFS} + \frac{(34 + L) \cdot 8}{R} \quad (18)$$

Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται ο μηχανισμός RTS/CTS ο χρόνος αυτός ισούται με :

$$T^{COL,RTS,CTS} = T_{PHY} + T_{DIFS} + T_{RTS} \quad (19)$$

- T_e : εξαρτάται από το φυσικό επίπεδο (PHY Layer). Στην περίπτωση του IEEE 802.11a είναι 9 μs ενώ στο IEEE 802.11b είναι 20 μs .
Οι πίνακες 2, 3 που ακολουθούν παρουσιάζουν αναλυτικά τις τιμές των παραμέτρων που χρειάζονται για να υπολογιστούν τα χρονικά αυτά διαστήματα.



Εικόνα 14 : Χρονικό διάγραμμα στο CSMA/CA με χρήση RTS/CTS.

Parameter	Value (in μs)
Slot Time	20
T_{DIFS}, T_{SIFS}	50, 10
T_{PHY}	192
$T_{ACK} = T_{CTS}, T_{RTS}$	112, 160

Πίνακας 2 : Τιμές χρονικών διαστημάτων στο IEEE 802.11b

Parameter	Value (in μs)
Slot Time	9
T_{DIFS}, T_{SIFS}	34, 16
T_{PHY}	20

Πίνακας 3 : Τιμές χρονικών διαστημάτων στο IEEE 802.11a

3.5 Εύρεση βέλτιστης πιθανότητας μετάδοσης με χρήση διπλής αλυσίδας Markov [13]

Το μοντέλο της διακριτής αλυσίδας Markov που παρουσιάζεται στην παράγραφο αυτή είναι παρόμοιο με αυτό του άρθρου [27]. Η μοντελοποίηση γίνεται με βάση την διακριτή διαίρεση χρόνου (timeslots). Υπάρχουν δύο πιθανά γεγονότα : να υπάρχει ένα άδειο timeslot κατά την διάρκεια του οποίου ο μετρητής οπισθοχώρησης (back off counter) υλοποιείται ή να υπάρχει μια μετάδοση ενός πακέτου κατά την διάρκεια της οποίας ο μετρητής είναι απενεργοποιημένος. Επομένως το μοντέλο αλυσίδας Markov που χρησιμοποιείται έχει 2 διαστάσεις $s(t)$ και $b(t)$. Συμβολίζουμε με p την συνεχή πιθανότητα σύγκρουσης (conditional collision probability). Η πιθανότητα αυτή θεωρείται ότι είναι ανεξάρτητη από τον αριθμό αναμεταδόσεων. Κατά την περίοδο του ανταγωνισμού, αν κάποιος σταθμός ανιχνεύσει το κανάλι κατειλημμένο, αρχίζει πάλι από την αρχή να μετρά, αφού για να μεταδώσει ένα πακέτο πρέπει να βρει το κανάλι διαθέσιμο (idle) τουλάχιστον για DIFS χρόνο. Ένα slot στο μοντέλο αυτό είναι η ένα άδειο slot ή μιας μετάδοσης. Η διδιάστατη αλυσίδα Markov $(s(t), b(t))$ μοντελοποιείται με τις εξισώσεις (20).

$$\begin{aligned}
P\{i, k / i, k+1\} &= (1-p), & k \in [0, W_i - 2], & i \in [0, m] \\
P\{i, k / i, k\} &= p, & k \in [1, W_i - 1], & i \in [0, m] \\
P\{i, k / i-1, 0\} &= p/W_i, & k \in [0, W_i - 1], & i \in [1, m] \\
P\{m, k / m, 0\} &= p/W_m, & k \in [0, W_m - 1] &
\end{aligned} \tag{20}$$

Η πρώτη και δεύτερη εξίσωση της (20) ουσιαστικά δείχνουν ότι στην αρχή του κάθε slot ο backoff counter μειώνεται αν το κανάλι είναι ελεύθερο (που συμβαίνει με πιθανότητα $(1-p)$) και «παγώνει» αν το κανάλι ανιχνευθεί κατειλημμένο (που συμβαίνει με πιθανότητα p). Η τρίτη και τέταρτη εξίσωση δείχνουν ότι μετά από μια ανεπιτυχή μετάδοση ,ο σταθμός στο $(i-1)$ στάδιο back off διαλέγει έναν τυχαίο κ αριθμό κανονικά καταναμημένο από το διάστημα $[0, W_i - 1]$ και όταν το στάδιο του backoff φθάνει το m , το W_m φθάνει στο μέγιστο.

Μπορούμε να λύσουμε τις εξισώσεις ισορροπίας (Παράρτημα Α) και να πάρουμε την κατανομή πιθανότητας.

$$\begin{aligned} b_{i-1,0} \cdot p &= b_{i,0} \rightarrow b_{i,0} = p^i b_{0,0}, \quad 0 < i < m \\ b_{m-1,0} \cdot p &= (1-p)b_{m,0} \rightarrow b_{m,0} = \frac{1}{(1-p)} p^m b_{0,0} \end{aligned} \quad (21)$$

Από την (22) έχουμε :

$$b_{i,k} = \frac{W_i - k}{W_i(1-p)} \cdot \begin{cases} (1-p) \cdot \sum_{j=0}^m b_{j,0} & i = 0 \\ p \cdot b_{i-1,0} & 0 < i < m \\ p \cdot (b_{m-1,0} + b_{m,0}) & i = m \end{cases} \quad (22)$$

Ή αλλιώς

$$\begin{aligned} b_{i,k} &= \frac{W_i - k}{W_i(1-p)} b_{i,0} \quad i \in [0, m], \quad k \in [0, W_i - 1] \\ 1 &= \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{W_i-1} b_{i,k} = \text{backoff} \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \text{backoff} &= \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{W_i-1} b_{i,k} = \\ &= \frac{b_{0,0}}{(1-p)} \left(\sum_{i=0}^m p^i \left(\frac{W_i + 1}{2} \right) + \frac{p^{m+1}}{(1-p)} \left(\frac{W_m + 1}{2} \right) \right) \end{aligned} \quad (24)$$

Όλα τα $b_{i,k}$ μπορούν εκφραστούν συναρτήσει του $b_{0,0}$ (όλο το άθροισμα των πιθανοτήτων ισούται με 1). Τελικά μετά από πράξεις καταλήγουμε στην εξίσωση (25).

$$b_{0,0} = \frac{1}{\frac{1}{(1-p)} \sum_{i=0}^m p^i \left(\frac{W_i+1}{2}\right) + \frac{p^{m+1}}{(1-p)^2} \left(\frac{W_{m+1}}{2}\right)} \quad (25)$$

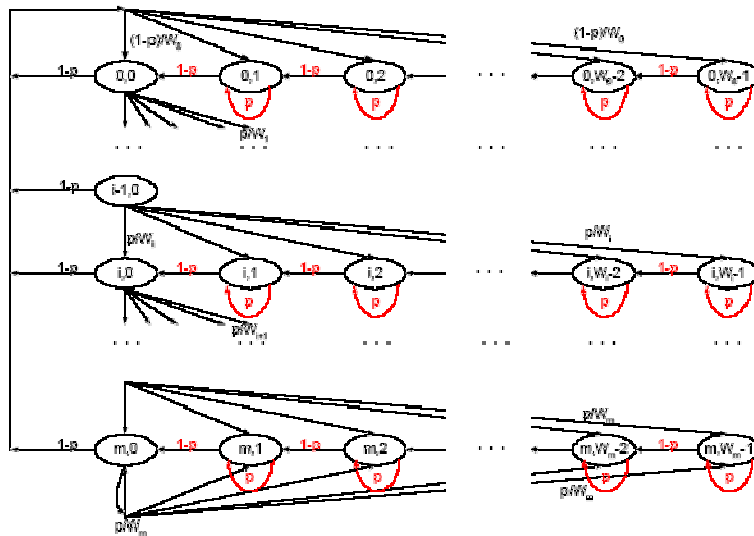
Ένα πακέτο μεταδίδεται στην κατάσταση $W_i = 2^i \cdot W$ $i \in [0, m]$, έτσι το τ είναι η συνολική πιθανότητα μετάδοσης και δίνεται από την (26).

$$\begin{aligned} \tau &= \sum_{i=0}^m b_{i,0} = \frac{b_{0,0}}{(1-p)} \\ &= \frac{1}{\sum_{i=0}^m p^i \left(\frac{W_i+1}{2}\right) + \frac{p^{m+1}}{(1-p)} \left(\frac{W_{m+1}}{2}\right)} \end{aligned} \quad (26)$$

Αν πάρουμε το $CW_{\max} = 2^i \cdot CW_{\min}$, δηλαδή $W_i = 2^i \cdot W$, $i \in [0, m]$ και $W = CW_{\min}$, τότε η εξίσωση (27) είναι μια απλή σχέση του τ .

$$\tau = \frac{1}{\frac{(1-2p)(W+1) + pW(1-(2p)^m)}{2(1-2p)(1-p)}} \quad (27)$$

Στο Εικόνα (15) φαίνεται το μοντέλο της Markov αλυσίδας που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή της σχέσης (27).



Εικόνα 15 : Το μοντέλο της αλυσίδας Markov για το IEEE 802.11 DCF.

3.6 Οικονομικά μοντέλα για έλεγχο πόρων και διαφοροποίηση υπηρεσίας [3]

Η απόδοση (throughput) για έναν σταθμό i όπως έχει προαναφερθεί είναι το πηλίκο :

$$x_i = \frac{E[X_i]}{E[T]} \quad (28)$$

ή ισοδύναμα μπορεί να γραφεί αν λάβουμε υπόψη μας ότι :

$$E[X_i] = p_i \prod_{i \neq j} (1 - p_j) \cdot L \quad (29)$$

$$E[T] = \sum_k p_k \prod_{j \neq k} (1 - p_j) T^{SUC} + \left[1 - \prod_j (1 - p_j) - \sum_k p_k \prod_{j \neq k} (1 - p_j) \right] T^{COL} + \prod_j (1 - p_j) \quad (30)$$

$$x_i = \frac{p_i (1 - P_{-i}) \cdot L}{\sum_k p_k (1 - P_{-k}) T^{SUC} + [P - \sum_k p_k (1 - P_{-k})] T^{COL} + 1 - P} \quad (31)$$

Όπου L είναι το μέγεθος του πακέτου και $P_{-i} = \sum_{i \neq j} p_j$. Η παραπάνω σχέση είναι παρόμοια με την εξίσωση (8). Τα χρονικά διαστήματα T_s, T_c στην εξίσωση (31) είναι κανονικοποιημένα ως προς T_e για κάθε περίπτωση αντίστοιχα. Η εξίσωση (31) είναι ακριβής για όλες τις εκδόσεις του IEEE 802.11 είτε χρησιμοποιείται απλό CSMA/CA, είτε χρησιμοποιείται μηχανισμός RTS/CTS. Όταν χρησιμοποιείται ο μηχανισμός RTS/CTS στο IEEE 802.11b ο ρυθμός μετάδοσης δεν επηρεάζει το χρονικό διάστημα T_c έτσι τα RTS πακέτα μεταδίδονται πάντα με βασικό ρυθμό 1 Mbps. Έτσι στο IEEE 802.11b με το RTS/CTS μηχανισμό και όταν διαφορετικοί σταθμοί έχουν διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης το μέσο throughput του σταθμού i είναι

$$x_i = \frac{p_i (1 - P_{-i}) \cdot L}{\sum_k p_k (1 - P_{-k}) T_k^{SUC} + [P - \sum_k p_k (1 - P_{-k})] T^{COL} + 1 - P} \quad (32)$$

Η εξίσωση (32) συλλαμβάνει και μια πολύ γνωστή ιδιότητα των ασυρμάτων δικτύων : Όταν ένας σταθμός μεταδίδει με χαμηλό ρυθμό, τότε μειώνει όχι μόνο την δική του απόδοση, αλλά και την απόδοση όλων των υπόλοιπων ασύρματων σταθμών ανεξάρτητα από τον ρυθμό μετάδοσης τους. Αυτό συμβαίνει, διότι ένας χαμηλός ρυθμός μετάδοσης αυξάνει τον παρονομαστή στην εξίσωση (9) μειώνοντας την απόδοσή του.

Όταν το διάστημα σύγκρουσης εξαρτάται από τον ρυθμό μετάδοσης και αν θεωρήσουμε ότι η πιθανότητα σύγκρουσης για τρία ή περισσότερα πακέτα είναι αμελητέα, τότε το throughput για τον σταθμό i δίνεται από την εξίσωση (33).

$$x_i = \frac{p_i(1-P_{-i}) \cdot L}{\sum_k p_k(1-P_{-k})T_k^{SUC} + \sum_k \sum_{j \neq k} p_j p_k \max\{T_k^{COL}, T_j^{COL}\} + 1 - P} \quad (33)$$

Όπου T_k^{COL} είναι το χρονικό διάστημα σύγκρουσης που αντιλαμβάνεται ο k -σταθμός .

Η εξίσωση (32) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εφαρμόσουμε οικονομικά μοντέλα για έλεγχο πόρων με σκοπό την διαφοροποίηση υπηρεσίας στο ασύρματο δίκτυο [3]. Για να πετύχουμε την διαμοίραση πόρων, μπορούμε να υποθέσουμε ότι η πιθανότητα μετάδοσης για κάθε χρήστη επιλέγεται σύμφωνα με την ακόλουθη συνάρτηση χρησιμότητας όπου w_i είναι το βάρος του χρήστη i ή αλλιώς ο παράγοντας willingness-to-pay factor [4], [5] :

$$U_i(x_i) = w_i \log x_i \quad (34)$$

Τότε το πρόβλημα της μεγιστοποίησης της συνάρτησης χρησιμότητας ή αλλιώς μεγιστοποίησης την κοινωνικής ευημερίας (social welfare maximization) σε ένα ασύρματο δίκτυο που αποτελείται από ένα σύνολο N χρηστών είναι :

$$\begin{aligned} & \max \sum_i U_i(x_i) \\ & \text{over } \{p_i \geq 0, i \in N\} \end{aligned} \quad (35)$$

Με την υπόθεση ότι η συνάρτηση της (33) εξίσωσης είναι διαφορίσιμη και κοίλη, τότε οι ικανές συνθήκες για μεγιστοποίηση του προβλήματος (35) είναι :

$$\frac{\partial \sum_i U_i(x_i)}{\partial p_i} = \frac{\partial U_i(x_i)}{\partial p_i} + \sum_{j \neq i} \frac{\partial U_j(x_j)}{\partial p_i} = 0 \quad (36)$$

Αν αντικαταστήσουμε (31) στην (36) και αφού υπολογίσουμε την μερική παράγωγο $\frac{\partial U_j(x_j)}{\partial p_i}$, η συνθήκη για την βέλτιστη λύση είναι :

$$\frac{\partial U_i(x_i)}{\partial p_i} = L \frac{(1-P)^2 T^{suc} + P(2-P)T^{col}}{E[T]^2} \sum_j U'_j p_j \quad (37)$$

Με $i \in N$, όπου $P = \sum_i p_i$. Αν θεωρήσουμε ότι $p_i \ll P$, υπόθεση που ισχύει όταν έχουμε πολλούς χρήστες στο δίκτυο, ο όρος $E[T]$ μπορεί να εκτιμηθεί ως :

$$E(T) = P(1-P)T^{suc} + P^2 T^{col} + (1-P) \quad (38)$$

Από την εξίσωση (37) όταν όλοι οι χρήστες έχουν την ίδια συνάρτηση χρησιμότητας η αναγκαία συνθήκη για το equilibrium είναι :

$$P = \frac{(1-P)E[T]}{(1-P)^2 \cdot T^{suc} + P(2-P) \cdot T^{col}} \quad (39)$$

Η βέλτιστη αθροιστική πιθανότητα μετάδοσης είναι ανεξάρτητη από την συνάρτηση χρησιμότητας σε αυτήν την περίπτωση. Η (39) μετά από πράξεις δίνει την (40) :

$$P = \frac{\sqrt{T^{col}} - 1}{T^{col} - 1} \quad (40)$$

Η εξίσωση (40) δείχνει ότι για ένα μεγάλο αριθμό σταθμών, οι οποίοι έχουν όλοι το ίδιο utility, η συνολική πιθανότητα εξαρτάται μόνο από τον όρο T^{col} κανονικοποιημένο ως προς T_e . Σε αυτή την περίπτωση, η πιθανότητα μετάδοσης του κάθε σταθμού δίνεται από την (41), όπου w_i είναι το βάρος του i -χρήστη .

$$p_i = \frac{w_i}{\sum_j w_j} \cdot P \quad (41)$$

Επιπρόσθετα, στην περίπτωση που διαφορετικοί χρήστες έχουν διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης η απόδοση (throughput) δίνεται από την (32) και η βέλτιστη πιθανότητα μετάδοσης του i -σταθμού από την (42):

$$P_i = \frac{w_i}{\sum_j w_j} \frac{(1-P)E[T]}{(1-P)^2 T_i^{suc} + P(2-P)T^{COL}} \quad (42)$$

Η παραπάνω εξίσωση μπορεί να λυθεί αριθμητικά (Κεφάλαιο 4) αν λάβουμε υπόψη ότι $P = \sum_i P_i$. Το βέλτιστο CW και στις δύο περιπτώσεις μπορεί να υπολογιστεί από την (15). Η εξίσωση που δίνει την συνολική (αθροιστική) πιθανότητα μετάδοσης P είναι η (42α) που προκύπτει με άθροιση ως προς i από την (42).

$$P = \frac{(1-P)E[T]}{(1-P)^2 T_i^{suc} + P(2-P)T^{COL}} \quad (42\alpha)$$

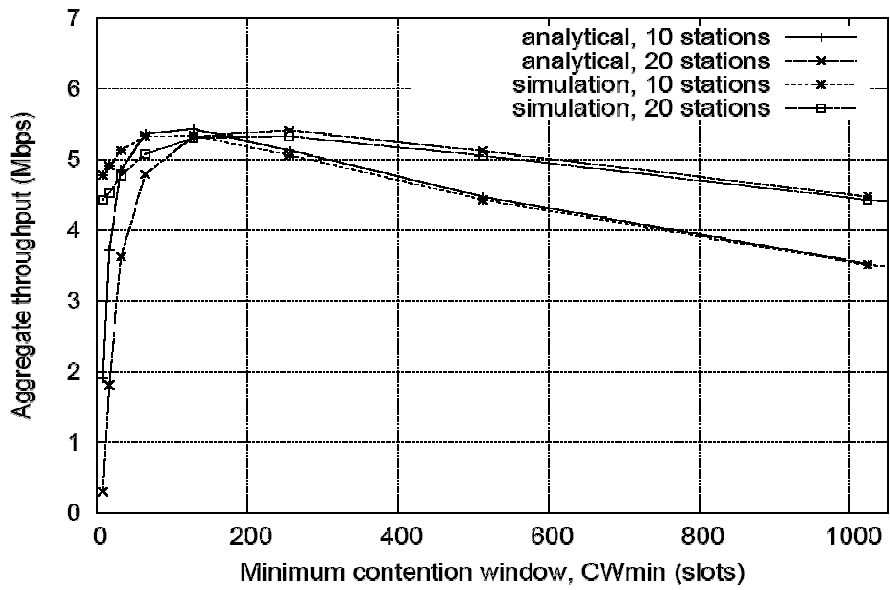
4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

4.1 Περιβάλλον προσομοίωσης

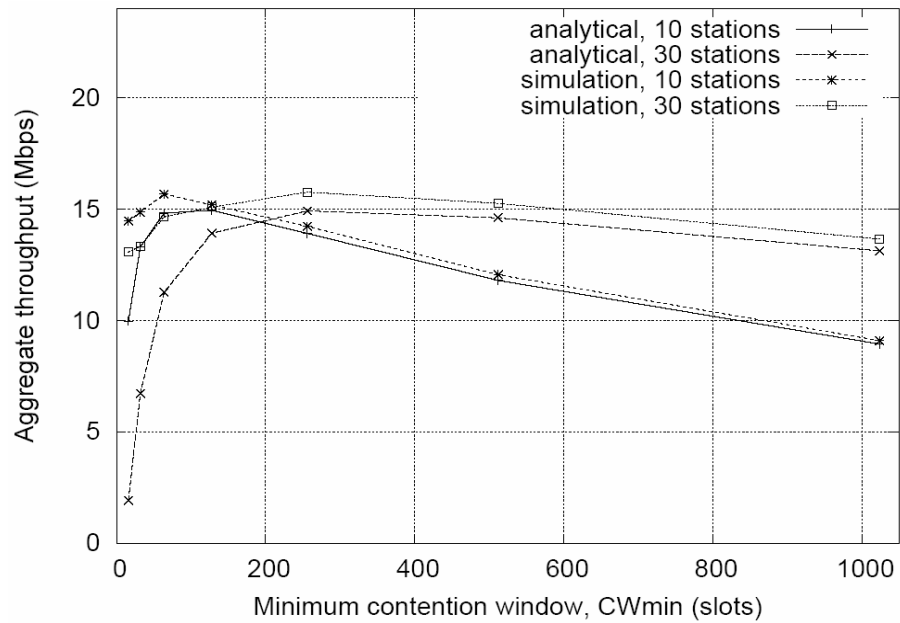
Στην εργασία αυτή για την πειραματική διερεύνηση χρησιμοποιήσαμε τον προσομοιωτή HCF/EDCF NS2 (έκδοση Stanford). Ο Network Simulator–NS [27] είναι ένας open-source εξομοιωτής, με αρκετά ευρύ πλήθος χρηστών. Αποτελείται από modules, κάθε ένα από τα οποία εξομοιώνει διακριτά γεγονότα σε σενάρια που ορίζει ο χρήστης. Ο NS-2 είναι ένα περιβάλλον προσομοίωσης για έρευνα πάνω σε ενσύρματα, όπως το Ethernet, και ασύρματα δίκτυα, όπως αυτά που παρουσιάζουμε στην εργασία αυτή. Όπως κάθε προσομοιωτής, ενδέχεται να παράγει αποτελέσματα που να απέχουν από τα πραγματικά, αλλά το στατιστικό λάθος είναι μικρό και ελεγχόμενο.

4.2 Σύγκριση ανάλυσης – προσομοίωσης

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζουμε αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση του μαθηματικού μοντέλου που αναφέραμε στην παράγραφο 3.2 και το αντιπαραθέτουμε με τα αποτελέσματα που λάβαμε από την εκτέλεση των διαφόρων σεναρίων στον προσομοιωτή. Τα πειράματα που παρουσιάζονται σε αυτό το σημείο είναι για UDP κίνηση με μέγεθος πακέτου 1044 bytes που περιλαμβάνει και τα UDP/IP headers. Η γραφική παράσταση της Εικόνας 16 δείχνει τα αποτελέσματα για 10 και 20 χρήστες αντίστοιχα. Από την ταύτιση των αποτελεσμάτων φαίνεται ότι το μαθηματικό μοντέλο που ερευνήσαμε στην Παράγραφο 3.2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προβλέψει την μέγιστη τιμή της απόδοσης.



Εικόνα 16 : Σύγκριση Ανάλυσης-Προσομοίωσης για 11 Mbps.



Εικόνα 17 : Σύγκριση Ανάλυσης - Προσομοίωσης για 24 Mbps.

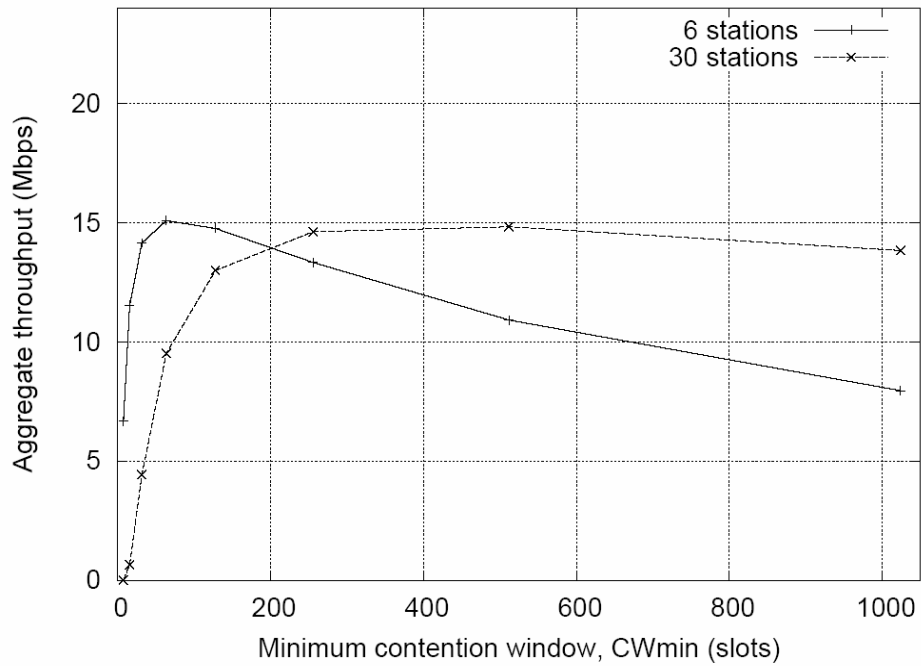
Στον Πίνακα 4 παρουσιάζουμε τις βέλτιστες τιμές του CW_{min} (το οποίο λαμβάνει διακριτές τιμές σε δυνάμεις του 2) που πήραμε από τα πειράματα στον προσομοιωτή και από την μαθηματική εφαρμογή της ανάλυσης που έγινε στην Παράγραφο 3.3. Κάθε πείραμα επαναλήφθηκε 3 φορές, ενώ η διάρκεια προσομοίωσης ήταν 300 δευτερόλεπτα.

		ΑΝΑΛΥΣΗ	ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΗ
802.11b (11Mbps)	10 χρήστες	128	128
802.11b	20 χρήστες	256	256
802.11g (24 Mbps)	10 χρήστες	128	64
802.11g	30 χρήστες	256	256

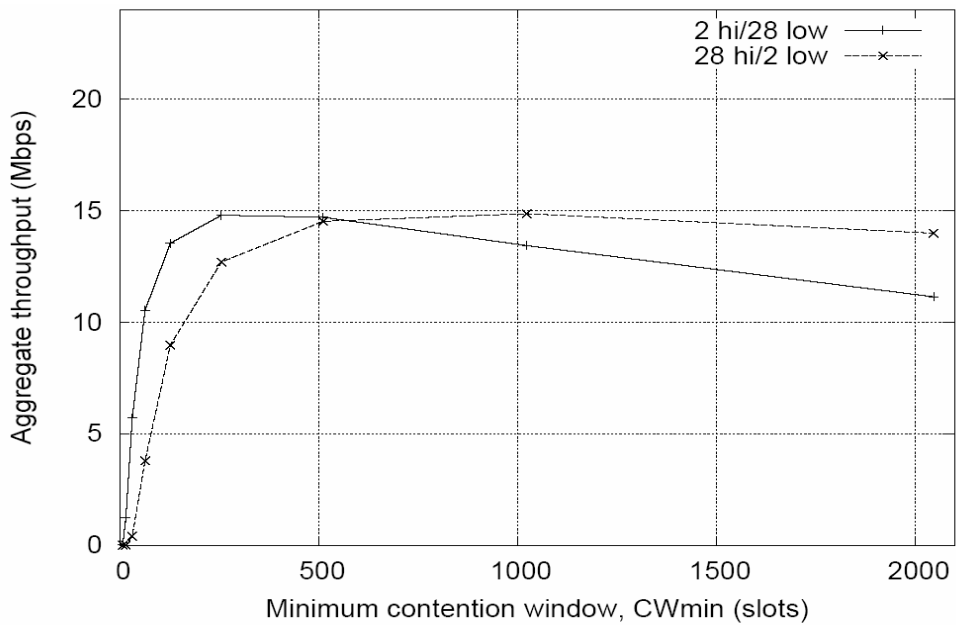
Πίνακας 4: Βέλτιστο CW_{min} για 11Mbps και 24 Mbps.

4.3 Κατηγορίες χρηστών με διαφορετικά βάρη

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζουμε την διερεύνηση στην συμπεριφορά του μαθηματικού μοντέλου για την εκτίμηση της απόδοσης στην περίπτωση που έχουμε διαφορετικούς τύπους χρηστών με διαφορετικές απαιτήσεις επίδοσης. Η Εικόνα 18 δείχνει την γραφική παράσταση της απόδοσης συναρτήσεως του παραθύρου CW_{min} στην περίπτωση των 6 και 30 συνολικά χρηστών, με αναλογία 1/3 high users 2/3 low users. Το βάρος της high class είναι W_{high}=2 ενώ το βάρος της low class είναι W_{low}=1. Από την γραφική παράσταση φαίνεται ότι η επιλογή του CW είναι σημαντική, αφού αν διαλέξουμε την βέλτιστη τιμή του CW που αντιστοιχεί στους 30 χρήστες (CW_{min}=512) για την περίπτωση των 6 χρηστών, τότε το throughput θα είναι 27% λιγότερο σε σχέση με την τιμή που αντιστοιχεί για το βέλτιστο παράθυρο (CW_{min}=64) των 6 χρηστών. Η Εικόνα 19 δείχνει 2 σενάρια, από 30 χρήστες συνολικά με διαφορετικά βάρη W_{high}=3 και W_{low}=1 και αναλογία χρηστών 2_{hi}/28_{low} και 28_{hi}/2_{low}. Όπως φαίνεται από την γραφική παράσταση η επιλογή του CW είναι και σε αυτό το σενάριο σημαντική.



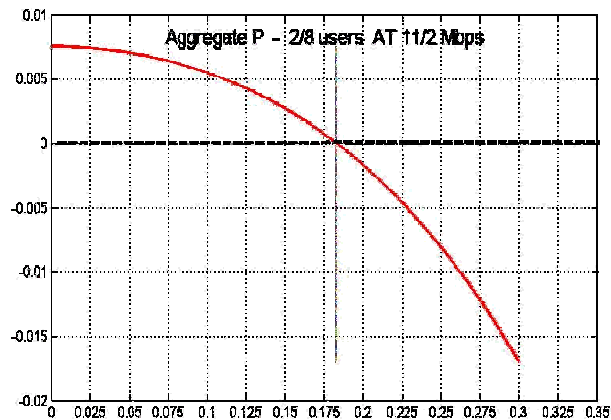
Εικόνα 18 : Throughput συναρτήσεσι του CWmin για 6,30 χρήστες και αναλογία 1/3 high και 2/3 low με βάρη Whigh=2, Wlow=1 για τα 24 Mbps.



Εικόνα 19 : Throughput συναρτήσεσι του CWmin για 30 χρήστες με βάρη Whigh=3, Wlow=1 για τα 24 Mbps.

4.4 Διαφορετικοί ρυθμοί μετάδοσης

Στην παράγραφο αυτή υπολογίζουμε το συνολικό throughput στην περίπτωση που διαφορετικοί χρήστες, έχουν διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης με βάση το μαθηματικό μοντέλο που παρουσιάστηκε στην Παράγραφο 3.6 και γίνεται χρήση του μηχανισμού RTS/CTS. Το σενάριο που αναλύουμε είναι το εξής : 2 χρήστες έχουν transmission rate 11 Mbps και 8 χρήστες έχουν transmission rate 2 Mbps. Επίσης, μελετάμε την περίπτωση που 10 χρήστες έχουν transmission rate 11 Mbps και 20 χρήστες έχουν transmission rate 2 Mbps. Η εξίσωση που δίνει την συνολική (αθροιστική) πιθανότητα μετάδοσης είναι η (42α) που προκύπτει με άθροιση ως προς λ από την (42). Η εξίσωση (42α) μπορεί να λυθεί γραφικά. Στην Εικόνα 20 φαίνεται η γραφική επίλυση. Στον Πίνακα 5 συγκρίνουμε τα αποτελέσματα ως αναφορά την απόδοση στο παραπάνω σενάριο, με την περίπτωση που δεν λαμβάναμε υπόψη τους διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης και χρησιμοποιούμε την εξίσωση (40).



Εικόνα 20 :Γραφική επίλυση στο Matlab της εξίσωσης (42α).

N_{11}/N_2	$CW_{min,11}/CW_{min,2}$	R	$CW_{min,11}/CW_{min,2}$	R
2/8	51/147	2.12	104/104	1.78
10/20	186/531	2.48	332/332	1.96

Πίνακας 5 : Βέλτιστο παράθυρο όταν οι σταθμοί έχουν διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης.

Από την παραπάνω ανάλυση, είναι φανερό ότι η επιλογή του παραθύρου εξαρτάται από τον αριθμό των χρηστών, το βάρος του κάθε χρήστη και την πιθανότητα μετάδοσης του.

4.5 Εκτίμηση απόδοσης σε TCP κίνηση

Στην προσπάθεια να καταλάβουμε την συμπεριφορά του TCP και βασιζόμενοι σε άλλες αντίστοιχες εργασίες [20] καταλήξαμε σε ένα μοντέλο στο οποίο μπορούν να εφαρμοστούν τα μαθηματικά μοντέλα της Παραγράφου 3.6. Στο μοντέλο αυτό, αν δώσουμε υψηλή προτεραιότητα στα TCP ACK πακέτα τότε μπορούμε να έχουμε μια πολύ καλή προσέγγιση της εκτίμησης της απόδοσης παρόλο την περίεργη συμπεριφορά του TCP. Τα πειράματα έγιναν με TCP κίνηση και μέγεθος πακέτου 1040 bytes, ενώ το μέγεθος του TCP ACK είναι 40 bytes. Το παράθυρο CW ACK τέθηκε ίσο με 1 έτσι ώστε οι επιβεβαιώσεις να πηγαίνουν με την μέγιστη προτεραιότητα. Κάθε πείραμα επαναλήφθηκε 6 φορές για 400 δευτερόλεπτα. Στο μαθηματικό μοντέλο υπολογίστηκαν και τα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα σύμφωνα με τις σχέσεις(18),(19) και (43) για την περίπτωση του TCP :

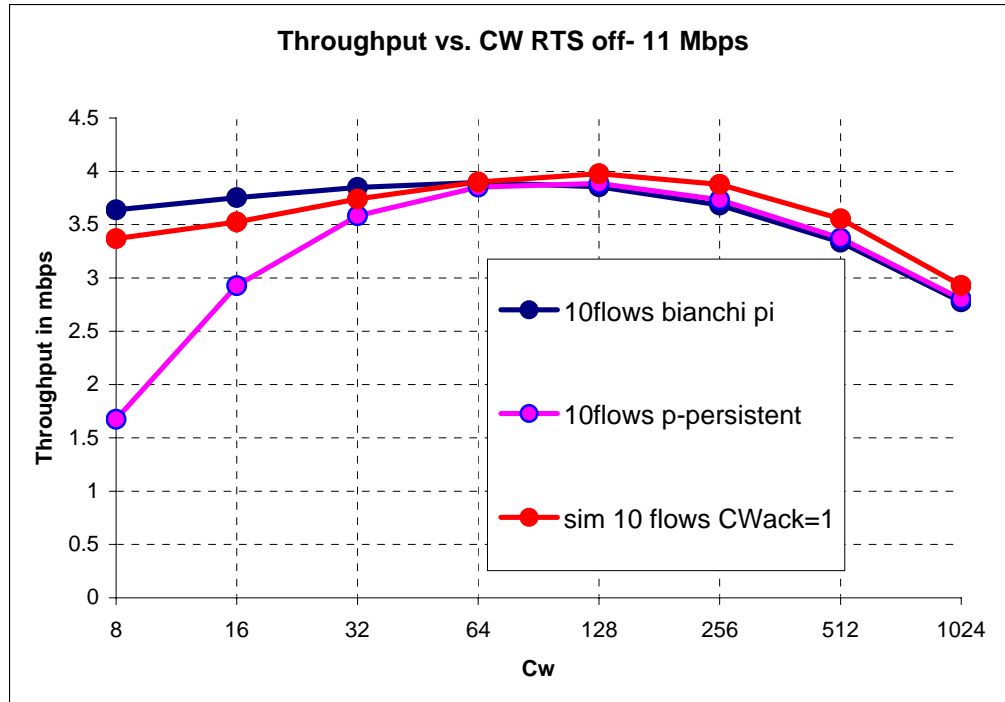
$$T^{TCP_SUC} = 4T_{PHY} + 2T_{DIFS} + 2T_{SIFS} + \frac{(34+L) \cdot 8}{R} + \frac{8(34+L_{TCP,ACK})}{R} + 2T_{ACK} + 2T_{DIFS} \quad (43)$$

$$T^{TCP_SUC,RTS/CTS} = 4T_{PHY} + 3T_{SIFS} + \frac{(34+L) \cdot 8}{R} + T_{RTS} + T_{CTS} + T_{ACK} + T_{DIFS} \quad (43a)$$

$$T^{COL} = T_{PHY} + T_{DIFS} + \frac{(34+L) \cdot 8}{R} \quad (18)$$

$$T^{COL,RTS,CTS} = T_{PHY} + T_{DIFS} + T_{RTS} \quad (19)$$

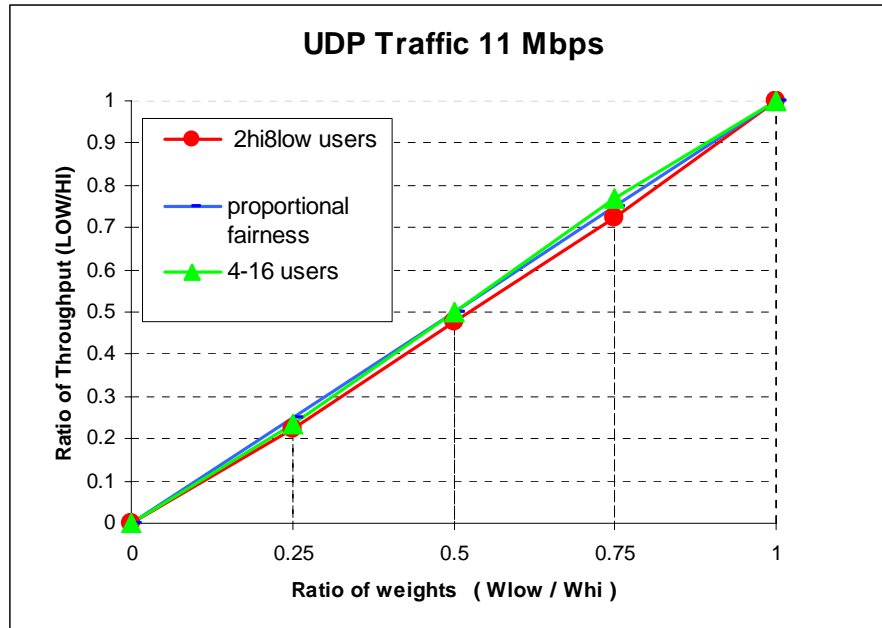
Στην Εικόνα 21 φαίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Στην γραφική παράσταση φαίνεται και η συμπεριφορά του μοντέλου της Παραγράφου 3.5.



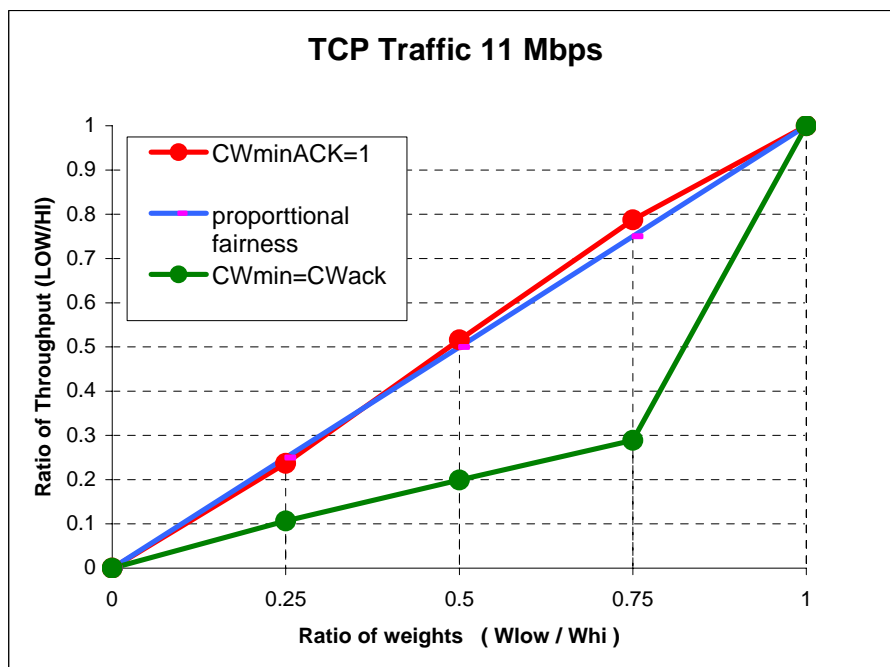
Εικόνα 21 : 10 TCP χρήστες Ανάλυση – Προσομοίωση.

4.6 Διαφοροποίηση υπηρεσίας σε UDP και TCP

Η διαφοροποίηση υπηρεσίας είναι από τους κύριους στόχους της εργασίας αυτής. Στο σημείο αυτό παρουσιάζουμε 2 γραφικές παραστάσεις μια για UDP και μια TCP. Τα πειράματα και για τα δύο είδη κίνησης επαναλήφθηκαν 12 φορές για 300 δευτερόλεπτα. Στην περίπτωση του UDP είχαμε δύο κατηγορίες χρηστών με $W_{low} = 128$ =σταθερό και αυτό που άλλαζε ήταν το παράθυρο της υψηλής κλάσης κάθε φορά $W_{high} = 32, 64, 96, 128$. Ο ns-simulator επιτρέπει αυτή την επιλογή με την παροχή 4-κλάσεων οι οποίες επιτρέπουν να επιλεγθούν διαφορετικά contention window. Η γραφική παράσταση στην Εικόνα 22 δείχνει το πηλίκο των βαρών προς το πηλίκο του throughput που πήρε τελικά η κάθε κατηγορία. Η γραφική παράσταση στην Εικόνα 23 δείχνει το πηλίκο των βαρών προς το πηλίκο του throughput που πήρε τελικά η κάθε κατηγορία στην περίπτωση που χρησιμοποιήθηκε προτεραιότητα στα πακέτα των επιβεβαιώσεων και στην περίπτωση που τα πακέτα δεδομένων είχαν το ίδιο CW με αυτά των ACK.



Εικόνα 22 : Αποτελέσματα προσομοίωσης για UDP κίνηση με 2/8 , 4/16 χρήστες και CW's αντίστοιχα 32/128, 64/128, 96/128, 128/128.



Εικόνα 23 : Αποτελέσματα προσομοίωσης για TCP κίνηση με 2/8 χρήστες και με ή χωρίς προτεραιότητα στα TCP ACK .

Από την γραφική παράσταση της Εικόνας 23 φαίνεται ότι η διαφοροποίηση υπηρεσίας με βάση το CW είναι εφικτή ακόμα και στην περίπτωση του TCP, όταν δοθεί υψηλή προτεραιότητα στα πακέτα των επιβεβαιώσεων.

5 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Στην παρούσα εργασία μια διερευνήσαμε τα αναλυτικά μοντέλα για την εκτίμηση της απόδοσης σε δίκτυα τύπου IEEE 802.11. Σκοπός ήταν η προσαρμογή του παραθύρου ανταγωνισμού (contention window) για την μέγιστη εκμετάλλευση των πόρων και την παροχή διαφοροποιημένων υπηρεσιών. Εφαρμόσαμε οικονομικά μοντέλα που λαμβάνουν υπόψη τους μηχανισμούς RTS/CTS καθώς και το γεγονός ότι διαφορετικοί σταθμοί μπορεί να έχουν διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης. Τα μαθηματικά μοντέλα παρέχουν αρκετά καλές προσεγγίσεις όταν θέλουμε να έχουμε την μέγιστη εκμετάλλευση πόρων. Η επιλογή του παραθύρου εξαρτάται από το πρότυπο που χρησιμοποιείται κάθε φορά (π.χ IEEE 802.11b, IEEE 802.11a), τον αριθμό των χρηστών και την αναλογία βαρών των διαφορετικών χρηστών. Επιπρόσθετα, η επιλογή του παραθύρου εξαρτάται και από την χρήση του μηχανισμού RTS/CTS αλλά και από την πιθανότητα μετάδοσης ενός πακέτου.

Η επιλογή του βέλτιστου παραθύρου από τα μαθηματικά μοντέλα ταυτίζεται με τα αποτελέσματα των πειραμάτων στον προσομοιωτή. Στην περίπτωση UDP κίνησης είχαμε απόλυτη ταύτιση αναλυτικών αποτελεσμάτων με αυτά της προσομοίωσης. Στην περίπτωση της TCP κίνησης, εφαρμόσαμε οικονομικά μοντέλα για έλεγχο πόρων δίνοντας προτεραιότητα στα πακέτα των επιβεβαιώσεων. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι αναλυτικό μοντέλο που προέκυψε, μπορεί να παρέχει ικανοποιητικές προβλέψεις όσο αναφορά την εκτίμηση της απόδοσης.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. B. Crow et al., “IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks “– IEEE Communications Magazine-September 1997.
2. S. Mangold et al., “IEEE 802.11e Wireless LAN for Quality of Service” in Proc. European Wireless '02, Florence, Italy, February 2002.
3. Vasilios A. Siris and Costas Courcoubetis, ”Resource Control for the Enhanced Distributed Channel Access (EDCA) Mechanism in IEEE 802.11e”- Institute of Computer Science-Foundation for Research and Technology Hellas-(ICS-FORTH).Submitted for publication.
4. Costas Courcoubetis, “[Pricing Communication Networks: Economics, Technology and Modelling](#) (Wiley, 2003, with R.R. Weber).
5. F. P. Kelly, “Mathematical modeling of the Internet”-Mathematics Unlimited - 2001 and Beyond, Heidelberg, 2000. <http://www.statslab.cam.ac.uk/~frank/>
6. Banchs et al., “Providing Throughput Guarantees in IEEE 802.11e Wireless LANS”- In. Proc. of the 18th International Teletraffic Congress (ITC-18), North Holland, 2003.
7. Jangeun Jun et al., ” Theoretical Maximum Throughput of IEEE 802.11 and its Applications”
8. A.S. Tanenbaum, “Computer Networks”, 4th ed. Prentice- Hall, 2002
9. “The Network Simulator –ns-2,” <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, Online Link.
10. M. Ergen and P. Varaiya, “Throughput Formulation and WLAN Optimazation in Mixed Data Rates for IEEE 802.11 DCF Modes”.
11. M. Ergen, “ IEEE 802.11 Tutorial ”, <http://www.eecs.berkeley.edu>
12. M. Ergen, “I-WAN: Intelligent Wireless Local Area Networking”, PhD. Thesis, November 2004.
13. M. Ergen and P. Varaiya , “Throughput Analysis and Admission Control for IEEE 802.11a”
14. Jie Hui and Mihail Devestikiotis “Performance Analysis of IEEE 802.11e EDCA by a Unified Model ”

15. Dali Xiao and Kang G. Shin, "Achieving Efficient Channel Utilization and Weighted Fairness for Data Communication in IEEE 802.11 WLAN under the DCF", in Proc. of IWCQoS'2002, May 2002.
16. G. Bianchi, "Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function", IEEE J. Select, Areas Commun, 2000.
17. F. Cali et al., "Dynamic Tuning of the IEEE 802.11 Protocol to Achieve a Theoretical Throughput Limit "in Proc. of INFOCOM '98, San Francisco, CA, March 1998.
18. S. Choi et al., "IEEE 802.11e Contention -Based Channel Access (EDCF) Performance Evaluation", in Proc. of IEEE ICC'03, 2003.
19. Stefan Mangold, "Analysis of IEEE 802.11e and Application of Game Models for Support Quality of Service in Co-existing Wireless Networks", PhD. Thesis, June 2003.
20. D.J Leith and P.Clifford, "Using the 802.11e EDCF to Achieve TCP Upload Fairness over WLAN Links "
21. Vasilios A. Siris and Panagiotis Alafouzou, "Throughput Differentiation for TCP Uplink Traffic in IEEE 802.11e Wireless LANs", in Proc. of IEEE LANMAN 2005.
22. Rafaelo Bruno, Marco Conti and Enrico Gregori, "Analytical Modeling of TCP Clients in Wi-Fi Hot Spot Networks".
23. Mobile Communications – Jochen Schiller
24. www.computer.org/students/looking/summer97/ieee802.htm
25. Brian P. Crow, Indra Widjaja, Jeong Geun Kim, Prescott T. Sakai, "IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks," IEEE Communications Magazine, September 1997.
26. T.S. Ho and K.C. Chen, "Performance evaluation and enhancement of the CSMA/CA MAC Protocol for 802.11 wireless LAN's", in Proceedings of IEEE PIRMC, Tapei, Taiwan, Oct.1996.
27. Giuseppe Bianchi, "Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol 18, Mar.2000.
28. The Network Simulator –ns-2," <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, Online Link

