

---

**ΠΑΡΟΧΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΣΕ ΑΣΥΡΜΑΤΑ  
ΔΙΚΤΥΑ**

**ΜΠΟΥΣΙΑ ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ**

---

ΚΑΤΑΠΙΘΕΤΑΙ ΩΣ ΕΚΠΑΗΡΩΣΗ ΜΕΡΟΥΣ  
ΤΩΝ ΥΠΟΧΡΕΩΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΚΤΗΣΗ  
ΤΟΥ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΤΙΤΛΟΥ ΣΤΟ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΟΛΟΣ ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ, ΕΛΛΑΔΑ  
ΙΟΥΛΙΟΣ 2009



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 7739/1  
Ημερ. Εισ.: 16-12-2009  
Δωρεά: Συγγραφέα  
Ταξιθετικός Κωδικός: Δ  
004.62  
ΜΠΟ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ,  
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ

Ημερομηνία Παράδοσης: Ιούλιος 2009

Τίτλος: Παροχή Ποιότητας Υπηρεσιών σε Ασύρματα Δίκτυα

Συγγραφέας: Μπούσια Αλεξάνδρα

Επιβλέπων Καθηγητής: Τσιουώλας Λέανδρος

Δεύτερος Επιβλέπων Καθηγητής: Κουτσόπουλος Ιορδάνης

Τρίτος Επιβλέπων Καθηγητής: Λάλης Σπυρίδων



## ... ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ ...

...Στο δύσκολο έργο ολοκλήρωσης της παρούσας εργασίας με βοήθησαν και μου συμπαραστάθηκαν κάποια άτομα, τα οποία θα ήθελα να ευχαριστήσω...

...Πρώτα από όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Η/Υ Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων, κ.Λέανδρο Τασιούλα για την υποστήριξη και την βοήθεια που μου παρείχε κατά την διάρκεια της φοίτησης μου, για τις χρήσιμες συμβουλές και για την ευκαιρία που μου παρέχει για την συνέχιση των σπουδών μου...

...Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω το κ. Αθανάσιο Κοράκη που πάντα έβρισκε χρόνο για να με καθοδηγεί και να απαντάει στις δεκάδες ερωτήσεις μου. Η συνεργασία μας και η πολύτιμη βοήθειά του ήταν αναγκαία για την επίλυση των προβλημάτων που παρουσιάστηκαν κατά την διάρκεια της εργασίας. Η υποστήριξή του και ο χρόνος που αφιέρωσε συνέβαλαν καθοριστικά στην επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας...

...Ένα μεγάλο ευχαριστώ και σε όλους τους καθηγητές του τμήματος που ήταν πάντα συνεργάσιμοι και έτοιμοι να απαντήσουν στις απορίες μου και να μου προσφέρουν τις χρήσιμες συμβουλές τους. Από καρδιάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Δημήτρη Συρίβελη του οποίου η βοήθεια ήταν καταλυτική για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας...

...Κλείνοντας θα ευχαριστήσω τους γονείς μου και τον αδελφό μου για την αμέριστη συμπαράσταση και ενθάρρυνση που μου παρείχαν, όλα αυτά τα χρόνια. Ευχαριστώ ακόμη τους φίλους και συμφοιτητές μου για την αλληλοϋποστήριξη και τις αξέχαστες στιγμές που ζήσαμε. Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στον Κώστα για την κατανόηση και τον σεβασμό καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές του...



## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	8
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	9
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ: ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ	13
1.1. Ανασκόπηση Ασύρματων Δικτύων	13
1.2. Τεχνικά Ζητήματα	15
1.3. Ασύρματα Δίκτυα Σήμερα	18
1.3.1. Ad-hoc Ασύρματες Δίκτυα	19
1.3.2. Ασύρματα Δίκτυα Διανομής (Wireless Distribution Network)	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. MEDIUM ACCESS PROTOCOL	22
2.1. Μηχανισμός Διευθυνσιοδότησης	22
2.2. Μηχανισμός Ελέγχου Πρόσβασης στο Κανάλι	23
2.3. Συνήθη Πρωτόκολλα Πολλαπλής Πρόσβασης	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΤΟ 802.11 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ	25
3.1. Γενική Περιγραφή	25
3.2. Κανάλια και Συμβατότητα	26
3.3. Μηχανισμοί	27
3.3.1. PCF και DCF	28
3.3.2. Δομή πλαισίων	29
3.3.3. Εκδόσεις	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΤΟ 802.11e ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ	31
4.1. Λειτουργία 802.11e MAC Πρωτοκόλλου	31
4.1.1. EDCA	31
4.1.2. HCCA	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΧΗΜΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΩΝ	34
5.1. Γενικές Πληροφορίες	34
5.2. Παρουσίαση του Σχήματος Απόδοσης Προτεραιοτήτων	35
5.3. Υλοποίηση	36
5.4. Μετρήσεις και Αποτελέσματα	42
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	49

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1. Ad Hoc Ασύρματο Δίκτυο	19
Εικόνα 1.2. Ασύρματο Δίκτυο Διανομής	20
Εικόνα 2.1. Μοντέλο OSI	22
Εικόνα 2.2. Αρχιτεκτονική MAC	24
Εικόνα 3.1. Γραφική Αναπαράσταση των καναλιών του WiFi στην ζώνη των 2.4GHz	27
Εικόνα 5.1. Κλασικός Χαρακτηρισμός πακέτων στο QoS	35
Εικόνα 5.2. Χαρακτηρισμός πακέτων στον προτεινόμενο Μηχανισμό Απόδοσης Προτεραιοτήτων	36
Εικόνα 5.3. Τροποποιημένη Δομή Πλαισίου MAC	39
Εικόνα 5.4. Διάταξη με 2 σταθμούς	43
Εικόνα 5.5. Πειραματικά αποτελέσματα με 2 σταθμούς	45
Εικόνα 5.6. Διάταξη με 3 σταθμούς	45
Εικόνα 5.7. Πειραματικά αποτελέσματα με 3 σταθμούς	46
Εικόνα 5.8. Διάταξη με 4 σταθμούς	47
Εικόνα 5.9. Πειραματικά αποτελέσματα με 4 σταθμούς	48



## **ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ**

Πίνακας 3.1. Πρωτόκολλα 802.11	30
Πίνακας 4.1. Αντιστοιχία TC σε AC	32
Πίνακας 5.1. Επίπεδα Προτεραιότητων	39



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η επανάσταση των ασύρματων επικοινωνιών έφερε θεμελιώδεις αλλαγές στα δίκτυα δεδομένων. Απελευθερώνοντας τον χρήστη από την χρήση του καλωδίου, στα προσωπικά δίκτυα επικοινωνιών, στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και στα κυψελοειδή δίκτυα, δίνεται η δυνατότητα των πλήρως κατανεμημένων κινητών επικοινωνιών, κάθε στιγμή και σε κάθε μέρος. Αυτός είναι ο βασικός λόγος που οδήγησε στην μεγάλη ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων. Η σημαντική χρήση των ασύρματων δικτύων είναι ένας ανέξοδος και γρήγορος τρόπος σύνδεσης με το Διαδίκτυο στις χώρες και τις περιοχές όπου η υποδομή τηλεπικοινωνιών είναι φτωχή ή υπάρχει έλλειψη πόρων, όπως άλλωστε συμβαίνει στις περισσότερες αναπτυσσόμενες χώρες. Σε αυτό το σημείο, πρέπει να εξετάσουμε τα προβλήματα που προκύπτουν στην τεχνολογία των ασύρματων δικτύων. Καταρχήν, πρέπει να υπερνικηθούν τα ζητήματα συμβατότητας των ασύρματων δικτύων. Τα διαφορετικά «κομμάτια» των ασύρματων δικτύων που δεν γίνονται από την ίδια επιχείρηση μπορεί να μην λειτουργήσουν μαζί, ή να απαιτήσουν πρόσθετη εργασία για να επικοινωνήσουν. Τα ασύρματα δίκτυα είναι χαρακτηριστικά πιο αργά από εκείνα τα δίκτυα που συνδέονται άμεσα μέσω ενός καλωδίου Ethernet. Επίσης, ένα ασύρματο δίκτυο είναι πιο τρωτό, επειδή καθένας μπορεί να προσπαθήσει να «σπάσει» την ασφάλεια του δικτύου για να μεταδώσει ένα σήμα. Πολλά δίκτυα προσφέρουν WEP - Wired Equivalent Privacy - συστήματα ασφαλείας που όμως είναι επιρρεπή στην αποκρυπτογράφηση. Αν και το WEP εμποδίζει μερικούς εισβολείς, τα προβλήματα ασφαλείας έχουν αναγκάσει μερικές επιχειρήσεις να επιμένουν στην χρήση των καλωδίων έως ότου βελτιωθεί η ασφάλεια στα ασύρματα δίκτυα.

Ένας άλλος τύπος ασφαλείας των ασύρματων δικτύων είναι η WPA - Wi-Fi Protected Access και επίσης η χρήση firewalls. Αφ' ενός, υπάρχουν μερικά προβλήματα που δεν μπορούν να λυθούν πολύ εύκολα. Καθώς, η χρήση των ασύρματων δικτύων αυξάνεται, οι άνθρωποι που τα χρησιμοποιούν έχουν μερικές ιδιαίτερες προσδοκίες και απαιτούν μια αυξημένη ποιότητα εξυπηρέτησης. Αναμένουν ποιότητα εξυπηρέτησης και ταχύτητα όπως στα δίκτυα Ethernet. Προκειμένου να λυθεί αυτό το πρόβλημα, πρέπει να αλλάξουμε και να βελτιώσουμε τις διαδικασίες της μετάδοσης και της παραλαβής πακέτων με τις ασύρματες κάρτες.

Η διπλωματική μου εργασία προτείνει έναν μηχανισμό για τη ποιότητα των υπηρεσιών με την αλλαγή του πρωτοκόλλου MAC. Επιλέξαμε τις αλλαγές να γίνουν στο πρωτόκολλο MAC επειδή το επίπεδο MAC είναι αρμόδιο για τις διαδικασίες που συσχετίζονται με την πρόσβαση των χρηστών στο ασύρματο μέσο. Αυτές οι αλλαγές, που υλοποιήσαμε προσθέτουν νέες λειτουργίες στο ρόλο του access point και των σταθμών βάσης. Η βασική ιδέα ήταν ότι οποιοσδήποτε σταθμός έχει τα περισσότερα πακέτα να στείλει, τότε αυτός είναι ο σταθμός που πρέπει να έχει τη

μεγαλύτερη προτεραιότητα. Δεδομένου ότι στα ασύρματα δίκτυα, η μετάδοση ενός πακέτου μεταξύ δύο σταθμών απαιτεί έναν μεσάζοντα, έναν ενδιάμεσο σταθμό, το access point, αλλάξαμε το πρωτόκολλο MAC τόσο για την λειτουργία του access point, όσο και για την λειτουργία των σταθμών. Από τα πειράματα, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ο μηχανισμός μας μπορεί να παρέχει την επιθυμητή ποιότητα υπηρεσιών και υπόσχεται περαιτέρω πιθανές βελτιώσεις και περαιτέρω εργασία.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ: ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ

#### 1.1. Ανασκόπηση Ασύρματων Δικτύων

Οι ασύρματες επικοινωνίες είναι η τεχνολογία με την ταχύτερη ανάπτυξη της βιομηχανίας επικοινωνιών. Για αυτό το λόγο, οι ασύρματες επικοινωνίες προσελκύουν την προσοχή των μέσων και τη φαντασία του κοινού. Τα κυψελοειδή συστήματα είχαν εκθετική αύξηση την τελευταία δεκαετία και υπάρχουν αυτήν την περίοδο περίπου δύο δισεκατομμύρια χρήστες παγκοσμίως που χρησιμοποιούν αυτή την τεχνολογία. Πράγματι, τα κινητά τηλέφωνα έχουν γίνει ένα σημαντικό επιχειρησιακό εργαλείο και αναπόσπαστο εργαλείο της καθημερινής ζωής στις περισσότερες αναπτυγμένες χώρες, και αντικαθιστούν τα γρήγορα και απαρχειωμένα συστήματα καλωδιώσεων σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες. Επιπλέον, τα ασύρματα δίκτυα τοπικής περιοχής συμπληρώνουν αυτήν την περίοδο ή αντικαθιστούν τα συνδεδεμένα με καλώδιο δίκτυα σε πολλά σπίτια, επιχειρήσεις, και πανεπιστημιούπολεις. Πολλές νέες εφαρμογές συμπεριλαμβανομένων των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, των αυτοματοποιημένων εθνικών οδών και των εργοστασίων, των έξυπνων σπιτιών και των συσκευών, και τηλεϊατρικής, προκύπτουν από την έρευνα των συγκεκριμένων συστημάτων. Η εκρηκτική ανάπτυξη των ασύρματων συστημάτων που συνδέεται με τον πολλαπλασιασμό των laptops και των palmtops επιβεβαιώνει το φωτεινό μέλλον για τα ασύρματα δίκτυα, και ως αυτόνομα συστήματα και ως τμήμα της μεγαλύτερης δικτύωσης. Εντούτοις, πολλές τεχνικές προκλήσεις παραμένουν στο σχεδιασμό των ασύρματων δικτύων που αναμένουμε να έχουν την απαραίτητη απόδοση για να υποστηρίξουν τις εφαρμογές που συνεχώς εμφανίζονται.

Το όραμα για τις ασύρματες επικοινωνίες είναι να στηρίζουν την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ ανθρώπων ή συσκευών με πολύ καλή ποιότητα εξυπηρέτησης. Ένα μεγάλο μέρος από αυτό το όραμα υπάρχει ήδη με κάποια μορφή. Η πραγματοποίηση αυτού του οράματος θα επιτρέψει την επικοινωνία πολυμέσων από οπουδήποτε στον κόσμο χρησιμοποιώντας μια μικρή φορητή συσκευή ή ένα laptop. Τα ασύρματα δίκτυα θα συνδέουν palmtops, laptops, και υπολογιστές γραφείου οπουδήποτε μέσα σε ένα κτίριο ή μια πανεπιστημιούπολη, καθώς επίσης και σε οποιαδήποτε καφετέρια. Στο σπίτι αυτά τα δίκτυα θα επιτρέψουν μια νέα κατηγορία ευφών ηλεκτρονικών συσκευών που μπορούν να αλληλεπιδράσουν μεταξύ τους καθώς και με το Διαδίκτυο έτσι ώστε να συνδέονται με οποιοδήποτε υπολογιστή, τηλέφωνο ή οποιοδήποτε σύστημα ασφάλειας και παρακολούθησης. Τέτοια έξυπνα σπίτια μπορούν επίσης να βοηθήσουν τους ηλικιωμένους και τα άτομα με ειδικές ανάγκες. Η ασύρματη ψυχαγωγία θα είναι πλέον υπηρεσία που θα προσφέρεται σε κάθε σπίτι. Το σύστημα τηλεσυνεδριάσεων

θα μπορεί να πραγματοποιείται μεταξύ των κτιρίων που είναι τετράγωνα μακριά ή ακόμη και σε διαφορετικές ηπείρους. Το ασύρματο βίντεο θα επιτρέψει απομακρυσμένα σχολεία, μακρινές εγκαταστάσεις, και μακρινά νοσοκομεία οπουδήποτε στον κόσμο να χρησιμοποιούν την τεχνολογία και να επικοινωνούν. Οι ασύρματοι αισθητήρες έχουν μια τεράστια σειρά εμπορικών και στρατιωτικών εφαρμογών. Οι εμπορικές εφαρμογές περιλαμβάνουν τον έλεγχο των περιοχών με κίνδυνο πυρκαγιάς, περιοχών με κίνδυνο τοξικών αποβλήτων, και τη διάδοση χημικών ουσιών και αερίων σε περιπτώσεις καταστροφής. Οι ασύρματοι αισθητήρες τοποθετούνται σε διάφορες περιοχές και διαμορφώνονται αυτόματα σε ένα δίκτυο έτοιμο για να επεξεργαστεί και να ερμηνεύσει τις μετρήσεις και να μεταβιβάσει έπειτα αυτές τις πληροφορίες σε ένα κεντρικό κόμβο. Οι στρατιωτικές εφαρμογές περιλαμβάνουν τον προσδιορισμό και καταδίωξη των εχθρικών στόχων, ανίχνευση χημικών και βιολογικών επιθέσεων, υποστηρίζουν τηλεκατευθυνόμενα ρομποτικά οχήματα, και προσφέρουν σημαντικές υπηρεσίες στην αντιτρομοκρατία. Τέλος, τα ασύρματα δίκτυα επιτρέπουν κατανεμημένα συστήματα ελέγχου με τις μακρινές συσκευές και τους αισθητήρες που συνδέονται μέσω των ασύρματων καναλιών επικοινωνίας. Τέτοια συστήματα επιτρέπουν στη συνέχεια αυτοματοποιημένες εθνικές οδούς, κινητά ρομπότ, και εύκολη βιομηχανική αυτοματοποίηση.

Οι διάφορες εφαρμογές που περιγράφονται εδώ είναι όλα τα συστατικά του ασύρματου οράματος. Επομένως, τι ακριβώς είναι οι ασύρματες επικοινωνίες; Οι ασύρματες εφαρμογές περιλαμβάνουν φωνή, πρόσβαση στο Διαδίκτυο, σύντομα μηνύματα, υπηρεσίες πληροφοριών, μεταφορά αρχείων, τηλεοπτικά συστήματα τηλεσυνεδριάσεων, ψυχαγωγία και κατανεμημένο έλεγχο. Τα ασύρματα συστήματα περιλαμβάνουν το κυψελοειδές τηλέφωνο σύστημα, το ασύρματο LAN, τα ασύρματα συστήματα δεδομένων ευρείας περιοχής (WLANs), τα δορυφορικά συστήματα, και άλλα ειδικά ασύρματα δίκτυα. Οι περιοχές κάλυψης περιλαμβάνουν τις πανεπιστημιούπολεις, τις πρωτεύουσες και τις περιφερειακές πόλεις. Το ζήτημα είναι για το πόσο καλύτερα μπορούμε να «χαρακτηρίσουμε» τις ασύρματες επικοινωνίες με σκοπό να διαχωρίσουμε τις εφαρμογές και τις υπηρεσίες που προσφέρουν. Ένας λόγος για αυτόν τον διαχωρισμό είναι ότι οι διαφορετικές ασύρματες εφαρμογές έχουν διαφορετικές απαιτήσεις. Τα συστήματα φωνής έχουν τα σχετικά χαμηλά datarates (περίπου 20 kbps) και μπορούν να ανεχτούν μια αρκετά υψηλή πιθανότητα λάθους (bit error rates, ή BERs, γύρω στο  $10^{-3}$ ), αλλά η συνολική καθυστέρηση πρέπει να είναι κα λιγότερο από περίπου 100ms ειδάλλως γίνεται αξιοπρόσεκτη στον χρήστη και δυσχεραίνεται η επικοινωνία. Από την άλλη πλευρά, τα συστήματα δεδομένων απαιτούν χαρακτηριστικά πολύ υψηλότερα datarates (1100 Mbps) και πολύ μικρό BERs (της τάξης του  $10^{-8}$  ή λιγότερο, δηλαδή σχεδόν όλα τα κομμάτια που λαμβάνονται λάθος πρέπει να αναμεταδοθούν) αλλά δεν έχουν μια σταθερή απαίτηση καθυστέρησης.



Τα τηλεοπτικά συστήματα σε πραγματικό χρόνο έχουν υψηλές απαιτήσεις και ίδιους περιορισμούς καθυστέρησης με τα συστήματα φωνής, ενώ τα σύντομα μηνύματα έχουν πολύ χαμηλή απαίτηση BER και κανέναν απαιτητικό περιορισμό καθυστέρησης. Αυτές οι διαφορετικές απαιτήσεις για τις διαφορετικές εφαρμογές καθιστούν δύσκολο να χτιστεί ένα ασύρματο σύστημα που να μπορεί αποτελεσματικά να ικανοποιήσει όλες αυτές τις απαιτήσεις ταυτόχρονα. Τα συνδεδεμένα με καλώδιο δίκτυα ικανοποιούν τις διαφορετικές απαιτήσεις των διαφορετικών εφαρμογών χρησιμοποιώντας ένα ενιαίο πρωτόκολλο και αυτό σημαίνει ότι οι πιο αυστηρές απαιτήσεις για όλες τις εφαρμογές μπορούν να καλυφθούν ταυτόχρονα. Αυτό μπορεί να είναι δυνατό σε μερικά συνδεδεμένα με καλώδιο δίκτυα με BERs της τάξης του  $10^{-12}$  αλλά δεν είναι δυνατό στα ασύρματα δίκτυα, τα οποία έχουν τα πολύ χαμηλότερα datarates και υψηλότερο BERs. Για αυτούς τους λόγους, τουλάχιστον στο κοντινό μέλλον, τα ασύρματα συστήματα θα πρέπει να συνεχίσουν να διαχωρίζουν τις υπηρεσίες που προσφέρουν, και με τα διαφορετικά πρωτόκολλα θα πρέπει να προσαρμόζονται για να υποστηρίξουν τις απαιτήσεις των διαφορετικών εφαρμογών.

Η εκθετική αύξηση της χρήσης των κυψελοειδών τηλεφωνικών δικτύων και της ασύρματης πρόσβασης στο Διαδίκτυο έχει δημιουργήσει μεγάλη αισιοδοξία για τη ασύρματη τεχνολογία γενικά. Προφανώς δεν θα ακμάσουν όλες οι ασύρματες εφαρμογές. Επίσης ενώ πολλά ασύρματα συστήματα και επιχειρήσεις έχουν απολαύσει θεαματική επιτυχία, έχουν υπάρξει όμως πολλές αποτυχίες, συμπεριλαμβανομένου της πρώτης γενιάς του ασύρματου LAN, και των υπηρεσιών δεδομένων ευρείας περιοχής όπως της Metricom. Πράγματι, είναι αδύνατο να προβλέψουμε ποιες θα είναι οι επιτυχίες και ποιες οι αποτυχίες στα ασύρματα δίκτυα. Επιπλέον, πρέπει να υπάρξει ικανοποιητική ευελιξία και δημιουργικότητα και μεταξύ των μηχανικών και των προγραμματιστών για να επιτραπούν αξιόλογες επιτυχίες. Είναι σαφές, εντούτοις, ότι τα τρέχοντα και τα καινούρια ασύρματα συστήματα που εμφανίζονται σήμερα παράλληλα με τα οράματα για νέες εφαρμογές μπορούν να επιτρέψουν και να εξασφαλίσουν ένα φωτεινό μέλλον για τη ασύρματη τεχνολογία.

## 1.2. Τεχνικά Ζητήματα

Πολλές τεχνικές προκλήσεις πρέπει να εξεταστούν και να λυθούν προκειμένου να έχουν τις ασύρματες εφαρμογές που επιθυμούμε. Αυτές οι προκλήσεις επεκτείνονται σε όλες τις πτυχές του σχεδιασμού των συστημάτων. Δεδομένου ότι τα ασύρματα τερματικά προσθέτουν περισσότερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα, αυτές οι μικρές συσκευές πρέπει να ενσωματώσουν τους πολλαπλάσιους τρόπους λειτουργίας προκειμένου να υποστηριχθούν οι διαφορετικές εφαρμογές. Οι υπολογιστές επεξεργάζονται τη φωνή, την εικόνα, το κείμενο, και τα τηλεοπτικά στοιχεία, αλλά οι σημαντικές ανακαλύψεις στον σχεδιασμό κυκλωμάτων καλούνται

να εφαρμόσουν τις ίδιες πολλαπλές λειτουργίες σε μια φτηνή, ελαφριά, φορητή συσκευή. Οι καταναλωτές δεν θέλουν τις μεγάλες μπαταρίες που χρειάζονται συχνά την επαναφόρτιση, και επομένως η επεξεργασία μετάδοσης και σήματος στο φορητό τερματικό πρέπει να καταναλώσει την ελάχιστη δυνατή ενέργεια. Η επεξεργασία σήματος που απαιτεί επεξεργαστική δύναμη για να υποστηρίξει τις εφαρμογές πολυμέσων και τις λειτουργίες δικτύωσης μπορεί να είναι εντατική. Κατά συνέπεια, τα ασύρματα δίκτυα με υποδομή, όπως είναι τα ασύρματα LANs και τα κυψελοειδή συστήματα, αναθέτουν όσο το δυνατόν περισσότερο τον φόρτο επεξεργασίας στις σταθερές περιοχές με τους μεγάλους πόρους δύναμης και ενέργειας. Οι σχετικές δυσχέρειες και οι αποτυχίες είναι σαφώς ανεπιθύμητες για το γενικό σύστημα. Τα ειδικά ασύρματα δίκτυα χωρίς υποδομή είναι ιδιαίτερα ελκυστικά για πολλές εφαρμογές λόγω της ευελιξίας και της ευρωστίας τους. Για αυτά τα δίκτυα, όλη η επεξεργασία και ο έλεγχος πρέπει να εκτελεσθούν από τους κόμβους δικτύων με κατανεμημένο τρόπο, που κάνει τη ενεργειακή αποδοτικότητα αναγκαία για να επιτευχθεί. Η ενέργεια είναι ένας ιδιαίτερα κρίσιμος πόρος στα δίκτυα όπου οι κόμβοι δεν μπορούν να επαναφορτίσουν τις μπαταρίες τους, όπως παραδειγματος χάριν, στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Η σχεδίαση δικτύων που να καλύπτουν τις απαιτήσεις των εφαρμογών κάτω από τέτοιους σκληρούς ενεργειακούς περιορισμούς παραμένει ένα μεγάλο τεχνολογικό εμπόδιο. Το πεπερασμένο εύρος ζώνης και οι τυχαίες εναλλαγές των ασύρματων καναλιών απαιτούν επίσης οι εφαρμογές να υποβιβάζονται εκθετικά καθώς η απόδοση των δικτύων υποβιβάζεται.

Η σχεδίαση των ασύρματων δικτύων διαφέρει πλήρως από τον σχεδιασμό των συνδεδεμένων με καλώδιο δικτύων εξ αιτίας της φύσης του ασύρματου καναλιού. Αυτό το κανάλι είναι ένα απρόβλεπτο και δύσκολο μέσο επικοινωνιών. Καταρχήν, το ραδιοφάσμα είναι ένας λιγιστός πόρος που πρέπει να διατεθεί σε πολλές διαφορετικές εφαρμογές και συστήματα. Για αυτόν τον λόγο, το φάσμα ελέγχεται από τους ρυθμιστικούς οργανισμούς και τμηματικά και συνολικά. Επίσης είναι αναγκαίο να υπακούμε στους δεδομένους περιορισμούς που αφορούν τις ζώνες συχνοτήτων. Το φάσμα συχνοτήτων μπορεί επιπλέον να είναι πολύ ακριβό: σε πολλές χώρες οι φασματικές άδειες δημοπρατούνται συχνά στον υψηλότερο πλειοδότη. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, οι επιχειρήσεις ξόδεψαν πάνω από 9 δισεκατομμύρια δολάρια για τις δεύτερης γενεάς κυψελοειδείς άδειες, και οι δημοπρασίες στην Ευρώπη για το κυψελοειδές φάσμα τρίτης γενιάς συγκέντρωσαν περίπου 100 δισεκατομμύρια (αμερικανικά) δολάρια. Το φάσμα που λαμβάνεται μέσω αυτών των δημοπρασιών πρέπει να χρησιμοποιηθεί εξαιρετικά αποτελεσματικά για να θεωρηθεί αξιόλογη επένδυση, και πρέπει επίσης να επαναχρησιμοποιηθεί επανειλημμένως στην ίδια γεωγραφική περιοχή και για διαφορετικές υπηρεσίες και εφαρμογές, και κατά συνέπεια απαιτεί σχεδιασμό κυψελοειδών συστημάτων με την υψηλή ποιότητα και καλή απόδοση. Στις



συχνότητες πολλών gigahertz, ασύρματα τερματικά με λογικά μικρό μέγεθος, μικρή κατανάλωση ισχύος, και ελάχιστο κόστος είναι διαθέσιμα. Εντούτοις, το φάσμα σε αυτήν την συχνότητα έχει εξαιρετικά μεγάλη ζήτηση. Κατά συνέπεια, οι σημαντικές τεχνολογικές ανακαλύψεις για να επιτρέψουν την χρήση συστημάτων υψηλής-συχνότητας με το ίδιο κόστος και την ίδια απόδοση θα μείωναν πολύ το φάσμα. Εντούτοις, η απώλεια του φάσματος σε αυτές τις υψηλότερες συχνότητες λόγω της ανακατεύθυνσης του σήματος είναι μεγαλύτερη εξαιτίας της χρήσης των κατευθυντήριων κεραιών. Επομένως, και πάλι μειώνεται το φάσμα των συχνοτήτων.

Δεδομένου ότι ένα σήμα διαδίδεται μέσω ενός ασύρματου καναλιού, έχει να αντιμετωπίσει τις τυχαίες διακυμάνσεις συνεχώς λόγω των μεταβαλλόμενων αντανακλάσεων εάν ο αποστολέας, ο παραλήπτης, ή ακόμη και τα περιβάλλοντα αντικείμενα κινούνται. Ως εκ τούτου τα χαρακτηριστικά του καναλιού εμφανίζονται να αλλάζουν τυχαία με το χρόνο, παράγοντας που καθιστά δύσκολο τον σχεδιασμό αξιόπιστων συστημάτων με εγγυημένη απόδοση. Η ασφάλεια είναι επίσης δυσκολότερο να επιτευχθεί στα ασύρματα συστήματα, δεδομένου ότι τα σήματα που διαδίδονται στον αέρα είναι ευαίσθητα και μπορούν να κατασκοπευτούν από τον καθένα με μια κεραία RF. Τα αναλογικά κυψελοειδή συστήματα δεν έχουν καμία ασφάλεια, και κάποια μπορεί εύκολα να ακούσει κανείς τις συνομιλίες με την ανίχνευση της αναλογικής κυψελοειδούς ζώνης συχνότητας. Από την άλλη πλευρά όλα τα ψηφιακά κυψελοειδή συστήματα εφαρμόζουν κάποιο επίπεδο κρυπτογράφησης. Εντούτοις, με αρκετή γνώση και χρόνο, οι περισσότερες από αυτές τις μεθόδους κρυπτογράφησης μπορούν να «σπάσουν», αλλά οι περισσότεροι χρήστες έχουν συμβιβαστεί. Για να υποστηρίξει εφαρμογές όπως είναι οι ηλεκτρονικές συναλλαγές και η χρήση πιστωτικών καρτών, το ασύρματο δίκτυο πρέπει να είναι ασφαλές ενάντια σε τέτοιους «ακροατές» και σε αυτές τις υποκλοπές.

Η ασύρματη δικτύωση είναι επίσης μια σημαντική πρόκληση. Το δίκτυο πρέπει να είναι σε θέση να εντοπίσει έναν συγκεκριμένο χρήστη, οπουδήποτε και αν είναι, μεταξύ των δισεκατομμυρίων κατανεμημένων κινητών τερματικών-χρηστών. Πρέπει έπειτα να πραγματοποιήσει μια κλήση με εκείνο τον χρήστη καθώς κινείται με τις ταχύτητες μέχρι 100 km/hr. Οι πεπερασμένοι πόροι του δικτύου πρέπει να διατεθούν κατά τρόπο δίκαιο και αποδοτικό ανάλογα με τις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις και τις θέσεις των χρηστών. Επιπλέον, αυτήν την περίοδο υπάρχει μια τεράστια υποδομή δικτύων συνδεδεμένων με καλώδιο: το τηλεφωνικό σύστημα, το Διαδίκτυο, και τα δίκτυα οπτικών ινών θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να συνδέσουν τα ασύρματα συστήματα με ένα παγκόσμιο δίκτυο. Εντούτοις, τα ασύρματα συστήματα με τους κινητούς χρήστες δεν θα είναι σε θέση ποτέ να ανταγωνιστούν με τα συνδεδεμένα με καλώδιο συστήματα από την άποψη των υπηρεσιών και της αξιοπιστίας που προσφέρουν. Η διασύνδεση μεταξύ των

ασύρματων και συνδεδεμένων με καλώδιο δικτύων με τις εντελώς διαφορετικές ικανότητες απόδοσης είναι ένα δύσκολο πρόβλημα.

Ίσως η σημαντικότερη τεχνική πρόκληση στο σχεδιασμό ασύρματων δικτύων είναι η εξέταση της ίδιας της διαδικασίας του σχεδιασμού. Τα συνδεδεμένα με καλώδιο δίκτυα σχεδιάζονται συνήθως σύμφωνα με μια προσέγγιση που βασίζεται σε επίπεδα, όπου τα πρωτόκολλα που αναφέρονται σε τα διαφορετικά στρώματα του συστήματος σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να απομονώνονται και να διατηρούν παράλληλα και τις μηχανισμούς σύνδεσης μεταξύ των στρωμάτων. Τα επίπεδα σε ένα ασύρματο σύστημα περιλαμβάνουν: το φυσικό στρώμα (link ή physical layer), το οποίο χειρίζεται τις μεταδόσεις των πακέτων πάνω από το μέσο, το στρώμα πρόσβασης (access layer), το οποίο είναι υπεύθυνο για την ταυτόχρονη στο μέσο, τα επίπεδα δικτύου και μεταφοράς (network and transport layer), τα οποία δρομολογούν τα πακέτα μέσω των κόμβων του δικτύου και εξασφαλίζουν την συνδεσιμότητα από τον αποστολέα στον παραλήπτη και την παράδοση του πακέτου και το στρώμα εφαρμογής (application layer), το οποίο αφορά το data gatetwn πακέτων και τους περιορισμούς καθυστέρησης που συνδέονται με την εφαρμογή. Ενώ μια μεθοδολογία διάταξης σε επίπεδα μειώνει την πολυπλοκότητα και διευκολύνει την διαμόρφωση και την τυποποίηση του δικτύου, οδηγεί επίσης στην απώλεια ποιότητας και απόδοσης λόγω της έλλειψης ενός σφαιρικά βελτιστοποιημένου σχεδίου. Η μεγάλη χωρητικότητα και η καλή αξιοπιστία των συνδεδεμένων με καλώδιο δικτύων καθιστούν αυτές τις ανεπάρκειες σχετικά ασήμαντες για πολλές εφαρμογές, αν και αποκλείουν την καλή εκτέλεση των εφαρμογών με περιορισμούς καθυστέρησης όπως η φωνή και το βίντεο. Η κατάσταση είναι πολύ διαφορετική σε ένα ασύρματο δίκτυο. Οι ασύρματες συνδέσεις μπορούν να έχουν πολύ φτωχή επίδοση, και αυτή η απόδοση, μαζί με τη συνδεσιμότητα των χρηστών και την τοπολογία δικτύων, αλλάζει με την πάροδο του χρόνου. Στην πραγματικότητα, η ίδια η έννοια μιας ασύρματης σύνδεσης είναι κάπως συγκεχυμένη εξ αιτίας της φύσης της ραδιο-διάδοσης και της ραδιοφωνικής αναμετάδοσης. Η δυναμική φύση και η φτωχή επίδοση του ασύρματου καναλιού επικοινωνίας δείχνει ότι τα υψηλής απόδοσης δίκτυα πρέπει να βελτιστοποιηθούν για αυτό το κανάλι και πρέπει να είναι γερά και προσαρμοστικά στις παραλλαγές του, καθώς επίσης και στη δυναμική φύση των δικτύων. Κατά συνέπεια, αυτά τα δίκτυα απαιτούν τα ενσωματωμένα και προσαρμοστικά στρώματα πρωτοκόλλων, από το link layer έως το application layer. Αυτό το σχέδιο με τα επίπεδα πρωτοκόλλων απαιτεί διεπιστημονική πείρα στις επικοινωνίες, επεξεργασία σημάτων, και προχωρημένη θεωρία στην σχεδίαση δικτύων.

### **1.3. Ασύρματα Δίκτυα Σήμερα**

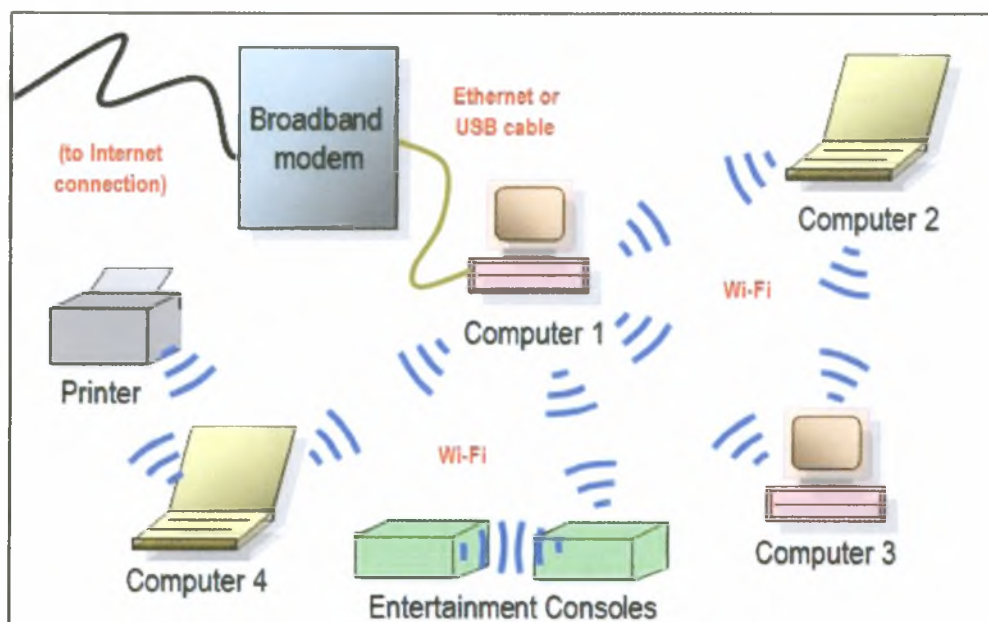
Αυτή η ενότητα παρέχει μια συνοπτική επισκόπηση των τρεχόντων ασύρματων συστημάτων που είναι σε λειτουργία σήμερα. Οι λεπτομέρειες του σχεδιασμού

αυτών των συστημάτων εξελίσσονται συνεχώς, με τα νέα συστήματα να αντικαθιστούν τα παλιότερα. Κατά συνέπεια, θα εστιάσουμε κυρίως στις υψηλού επιπέδου πτυχές του σχεδιασμού των πιο κοινών συστημάτων.

### 1.3.1. Ad Hoc Ασύρματα Δίκτυα

Στα ασύρματα δίκτυα υπολογιστών, η ad-hoc συνδεσμολογία είναι μια μέθοδος για τις ασύρματες συσκευές για να επικοινωνήσουν η μία με την άλλη. Η ad-hoc λειτουργία ενός δικτύου επιτρέπει σε όλες τις ασύρματες συσκευές που είναι στην ίδια εμβέλεια να ανακαλύψουν η μία την άλλη και να επικοινωνήσουν με τρόπο peer-to-peer χωρίς να είναι απαραίτητη η ύπαρξη κεντρικών κόμβων πρόσβασης (access points, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που ενσωματώνονται στους ευρυζωνικούς ασύρματους δρομολογητές). Ένα ad-hoc δίκτυο αφορά μια μικρή ομάδα συσκευών όλα που βρίσκονται κοντά μεταξύ τους. Όσο αφορά την απόδοση, η επίδοση των ad-hoc δικτύων μειώνεται καθώς αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών, γιατί ένα μεγάλο ad-hoc δίκτυο είναι δύσκολο να διαχειριστεί όλους τους χρήστες. Τα ad-hoc δίκτυα δεν μπορούν να ενωθούν με συνδεδεμένα με καλώδιο LANs ή ούτε μπορούν να συνδεθούν με το Διαδίκτυο χωρίς εγκατάσταση μιας ειδικής πύλης.

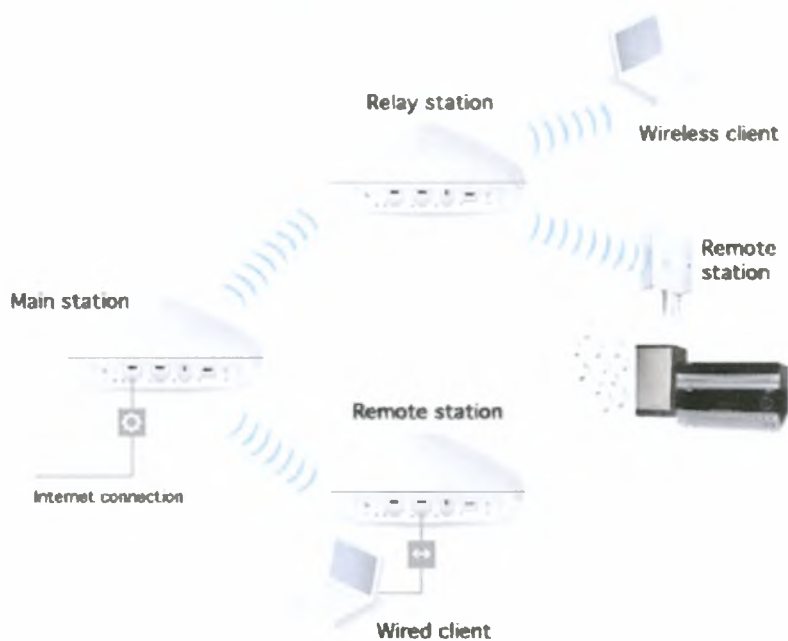
Τα ad-hoc δίκτυα είναι χρήσιμα όταν χρειαζόμαστε ένα μικρό, τοπικό LAN. Τα ad-hoc δίκτυα επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν προσωρινά όταν τα δίκτυα με υποδομή σταματήσουν να λειτουργούν εξαιτίας των βασικών τους κόμβων (σημεία πρόσβασης ή δρομολογητές). Ένα ad-hoc δίκτυο παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.1.



Εικόνα 1.1. Ad Hoc Ασύρματο Δίκτυο.

### 1.3.2. Ασύρματα Δίκτυα Διανομής (Wireless Distribution Network)

Ένα ασύρματο σύστημα διανομής είναι ένα δίκτυο που επιτρέπει την ασύρματη διασύνδεση των σημείων πρόσβασης σε ένα IEEE 802.11 δίκτυο. Επιτρέπει σε ένα ασύρματο δίκτυο να επεκταθεί χρησιμοποιώντας πολλαπλάσια σημεία πρόσβασης χωρίς την ανάγκη για μια συνδεδεμένη με καλώδιο «σπονδυλική στήλη» (wired backbone) για να συνδεθούν μεταξύ τους, όπως απαιτείται στα παραδοσιακά δίκτυα. Το ξεχωριστό πλεονέκτημα των WDS πέρα από άλλες λύσεις και τις διευκολύνσεις που προσφέρει, είναι ότι αποθηκεύει τις διευθύνσεις MAC των πακέτων που στέλνει ένας χρήστης καθόλη την διάρκεια της δρομολόγησης του πακέτου μεταξύ των σημείων πρόσβασης μέχρι να φτάσει στον παραλήπτη. Ένα παράδειγμα ενός δικτύου WDS παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.2.



**Εικόνα 1.2. Ασύρματο Δίκτυο Διανομής.**

Ένα ασύρματο σημείο πρόσβασης (AP) απαιτείται για την ασύρματη δικτύωση με υποδομή. Για την δικτύωση του WLAN, το AP και όλοι οι ασύρματοι πελάτες πρέπει να συνδεθούν στο SSID, και να μοιραστούν τα κλειδιά WEP ή κλειδιά WPA εάν βέβαια χρησιμοποιείται κάποια μορφή κωδικοποίησης. Το AP στην συνέχεια ενώνεται με το συνδεδεμένο με καλώδιο δίκτυο για να επιτρέψει στους ασύρματους πελάτες την πρόσβαση, παραδείγματος χάριν, για την σύνδεση στο Διαδίκτυο ή τους εκτυπωτές και στα άλλα περιφερειακά συστήματα. Μπορούμε να προσθέσουμε επιπλέον APs στο WLAN για να εγγυηθούμε την πρόσβαση της υποδομής και να υποστηρίξουμε οποιοδήποτε αριθμό ασύρματων χρηστών. Ένας κόμβος πρόσβασης μπορεί να είναι ένας κεντρικός κόμβος ή ακόμη και ένας



μακρινός σταθμός βάσης. Ένας κύριος σταθμός βάσης συνδέεται συνήθως απευθείας με το δίκτυο με ένα καλώδιο Ethernet. Ένας σταθμός βάσης αναμεταδίδει τα πακέτα μεταξύ των μακρινών σταθμών βάσης, των ασύρματων πελατών ή άλλων σταθμών του δικτύου. Η διασύνδεση μεταξύ των κόμβων-πελατών γίνεται χρησιμοποιώντας τις διευθύνσεις MAC παρά με τη χρήση των IP διευθύνσεων.

Το WDS μπορεί επίσης να αναφερθεί και ως μηχανισμός σύνδεσης επαναληπτών επειδή εμφανίζεται να γεφυρώνει και να δέχεται τους ασύρματους πελάτες συγχρόνως (αντίθετα από τη παραδοσιακή δικτύωση). Πρέπει να σημειωθεί, εντούτοις, ότι το throughput σε αυτήν την μέθοδο διανέμεται σε όλους τους πελάτες που συνδέονται ασύρματα. Η ασύρματη δικτύωση με υποδομή γεφυρώνει (ενώνει) ένα ασύρματο δίκτυο με το συνδεδεμένο με καλώδιο δίκτυο Ethernet και επιπλέον υποστηρίζει σύνδεση με κεντρικούς κόμβους για την καλύτερη εξυπηρέτηση των χρηστών του WLAN.

Έναντι των εναλλακτικών ad-hoc ασύρματων δικτύων, τα ασύρματα δίκτυα με υποδομή προσφέρουν κλιμάκωση, ευελιξία, συγκεντρωμένη διαχείριση ασφάλειας και βελτιώνουν την πρόσβαση στο δίκτυο. Το μειονέκτημα των ασύρματων δικτύων υποδομής είναι απλά το συμπληρωματικό κόστος για να αγορά των APs.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### MEDIUM ACCESS PROTOCOL

Το υπο-επίπεδο του Medium Access Control (MAC) πρωτοκόλλου είναι τμήματα του επιπέδου Data Link layer και αναφέρεται σαν το επίπεδο 2 στο πρότυπο OSI, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.1. Παρέχει τους μηχανισμούς ελέγχου και εξέτασης της προσπέλασης στο κανάλι έτσι ώστε να είναι δυνατή η επικοινωνία μεταξύ διαφόρων τερματικών και κόμβων του δικτύου σε ένα δίκτυο τοπικής περιοχής (τοπικό LAN) ή δίκτυο μητροπολιτικής περιοχής (MAN).

Το υπόστρωμα MAC ενεργεί ως διασυνδεδετικό στοιχείο μεταξύ του Logical Link Control sub layer (LLC) και του φυσικού επιπέδου (Physical layer) του δικτύου. Το στρώμα MAC μιμείται την σημείο προς σημείο επικοινωνία σε ένα δίκτυο. Αυτό το κανάλι μπορεί να παρέχει υπηρεσίες unicast, multicast και broadcast.

OSI Model			
	Data unit	Layer	Function
Host layers	Data	7. Application	Network process to application
		6. Presentation	Data representation and encryption
		5. Session	Interhost communication
	Segment	4. Transport	End-to-end connections and reliability
Media layers	Packet	3. Network	Path determination and logical addressing
	Frame	2. Data Link	Physical addressing
	Bit	1. Physical	Media, signal and binary transmission

Εικόνα 2.1. Μοντέλο OSI.

#### 2.1. Μηχανισμός Διευθυνσιοδότησης

Το επίπεδο MAC που εξετάζει το μηχανισμό διευθυνσιοδότησης χρησιμοποιεί την φυσική διεύθυνση ή διεύθυνση MAC. Η διεύθυνση MAC είναι ένας μοναδικός σειριακός αριθμός που ορίζεται για κάθε κόμβο του δικτύου και καθιστά δυνατή την μετάδοση των πακέτων σε έναν προορισμό μέσα σε ένα υπο-δίκτυο, δηλ. ένα

φυσικό δίκτυο που αποτελείται από ένα ή περισσότερα τμήματα δικτύων και που διασυνδέονται μεταξύ τους με τους επαναλήπτες, τα hubs, τις γέφυρες και τα switches, αλλά δεν συνδέονται μέσω IP δρομολογητών. Ένας δρομολογητής IP μπορεί να διασύνδεει διάφορα υπο-δίκτυα.

Ένα παράδειγμα ενός φυσικού δικτύου είναι ένα δίκτυο Ethernet, που ίσως επεκτείνεται με ασύρματα σημεία πρόσβασης δικτύων τοπικής περιοχής (WLAN) με την υποχρέωση ότι αυτοί μοιράζονται την ίδια ιεραρχία διευθύνσεων MAC με 48 bits όπως συμβαίνει και με το Ethernet.

Η σημείο προς σημείο επικοινωνία δεν είναι υποχρεωτική στον επίπεδο MAC, αλλά τα πρωτόκολλα χρησιμοποιούν την σημείο προς σημείο επικοινωνία για λόγους συμβατότητας.

## 2.2. Μηχανισμός Ελέγχου Πρόσβασης στο Κανάλι

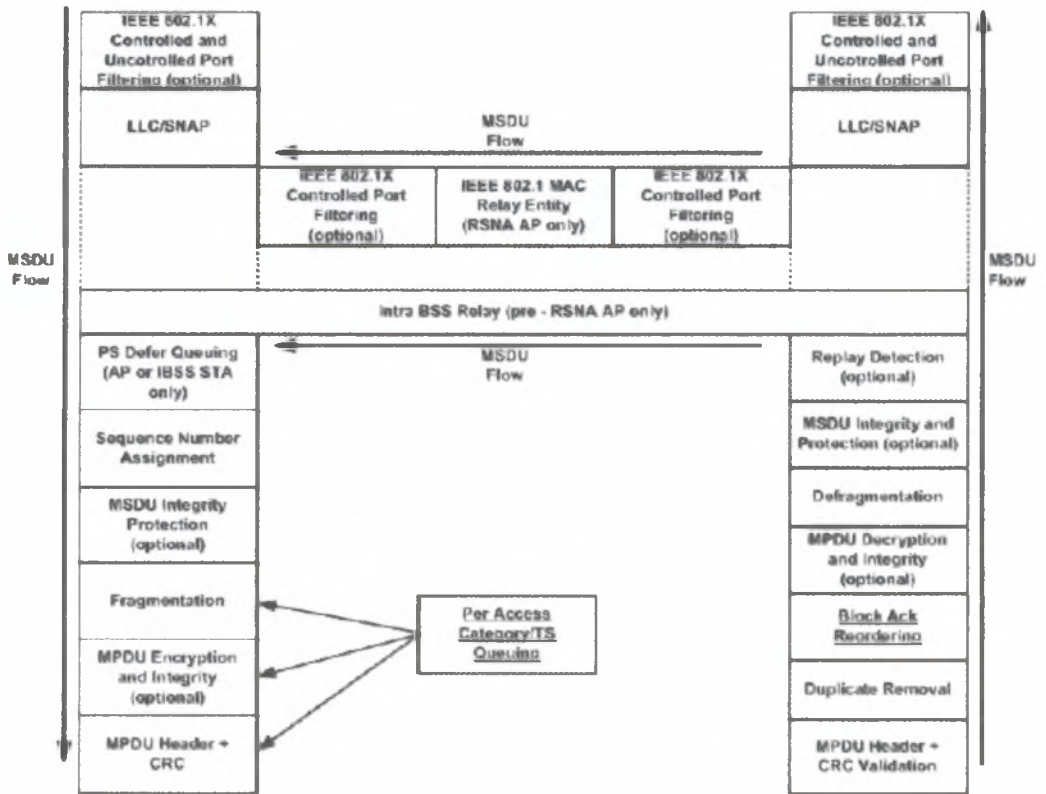
Οι μηχανισμοί ελέγχου προσπέλασης καναλιών που παρέχονται από το επίπεδο MAC είναι επίσης γνωστοί ως πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης. Αυτό επιτρέπει σε διάφορους σταθμούς που συνδέονται στο ίδιο φυσικό μέσο να το μοιραστούν. Παραδείγματα φυσικού μέσου που μοιράζεται σε σταθμούς είναι τα bus δίκτυα, τα ring δίκτυα, τα hub δίκτυα και γενικότερα τα δίκτυα σημείο προς σημείο. Το πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης μπορεί να ανιχνεύσει ή να αποφύγει τις συγκρούσεις πακέτων εάν χρησιμοποιείται μια μέθοδος προσπέλασης καναλιών και ανίχνευσης συγκρούσεων. Ο μηχανισμός ελέγχου προσπέλασης καναλιών στηρίζεται στο φυσικό επίπεδο.

Το πιο διαδεδομένο πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης είναι το πρωτόκολλο CSMA/CD που χρησιμοποιείται στα δίκτυα Ethernet. Αυτός ο μηχανισμός χρησιμοποιείται μόνο μέσα στα δίκτυα που μπορεί να έχουν συγκρούσεις, παραδείγματος χάριν σε ένα δίκτυο Ethernet ή σε ένα δίκτυο με hubs. Ένα δίκτυο Ethernet μπορεί να διαιρεθεί σε διάφορες περιοχές σύγκρουσης, που συνδέονται με τις γέφυρες και τους διακόπτες.

## 2.3. Συνήθη Πρωτόκολλα Πολλαπλής Πρόσβασης

Μερικά πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης για τα συνδεδεμένα με καλώδιο δίκτυα είναι τα παρακάτω:

- CSMA/CD (χρησιμοποιείται στο Ethernet και στο IEEE 802.3)
- Token bus (IEEE 802.4)
- Token ring (IEEE 802.5)
- Token passing (χρησιμοποιείται στο FDDI)



Εικόνα 2.2. Αρχιτεκτονική MAC.

Μερικά πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης για τα ασύρματα δίκτυα είναι τα παρακάτω:

- CSMA/CA (χρησιμοποιείται στο IEEE 802.11/WiFi WLANs)
- Slotted ALOHA
- Dynamic TDMA
- Reservation ALOHA (R-ALOHA)
- CDMA
- OFDMA

Στο ακόλουθο κεφάλαιο, πρόκειται να συζητήσουμε για το πρωτόκολλο 802.11 που χρησιμοποιείται στα ασύρματα δίκτυα.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΤΟ 802.11 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ

Το IEEE 802.11 είναι μια οικογένεια προτύπων της IEEE για ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) που είχαν ως σκοπό να επεκτείνουν το 802.3 (Ethernet, το συνηθέστερο πρωτόκολλο ενσύρματης δικτύωσης υπολογιστών) στην ασύρματη περιοχή. Τα πρότυπα 802.11 είναι ευρύτερα γνωστά ως «WiFi» επειδή η WiFi Alliance, ένας οργανισμός ανεξάρτητος της IEEE, παρέχει την πιστοποίηση για τα προϊόντα που υπακούν στις προδιαγραφές του 802.11. Αυτή η οικογένεια πρωτοκόλλων αποτελεί το καθιερωμένο πρότυπο της βιομηχανίας στο χώρο των ασύρματων τοπικών δικτύων.

Ο όρος WiFi (Wireless Fidelity, κατά την ορολογία High Fidelity η οποία αφορά την εγγραφή ήχου) χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει τις συσκευές που βασίζονται στην προδιαγραφή IEEE 802.11 b/g και εκπέμπουν σε συχνότητες 2.4GHz. Ωστόσο το WiFi έχει επικρατήσει και ως όρος αναφερόμενος συνολικά στα ασύρματα τοπικά δίκτυα. Συνήθεις εφαρμογές του είναι η παροχή ασύρματων δυνατοτήτων πρόσβασης στο Internet, τηλεφωνίας μέσω διαδικτύου (VoIP) και διασύνδεσης μεταξύ ηλεκτρονικών συσκευών όπως τηλεοράσεις, ψηφιακές κάμερες, DVD Player και ηλεκτρονικοί υπολογιστές. Σε φορητές ηλεκτρονικές συσκευές το 802.11 βρίσκει εφαρμογές ασύρματης μετάδοσης, όπως π.χ. στη μεταφορά φωτογραφιών από ψηφιακές κάμερες σε υπολογιστές για περαιτέρω επεξεργασία και εκτύπωση, αν και σε αυτόν τον τομέα έχει υποσκελιστεί από το πρωτόκολλο Bluetooth για τα πολύ μικρότερης εμβέλειας ασύρματα προσωπικά δίκτυα.

#### 3.1. Γενική Περιγραφή

Η πρώτη έκδοση του WiFi εισήχθη το 1997 και στο φυσικό επίπεδο περιελάμβανε δύο μεθόδους διασποράς φάσματος για τη μετάδοση στη ζώνη συχνοτήτων 2.4GHz, η εκπομπή στην οποία δεν απαιτεί άδεια. Η πρώτη μέθοδος λειτουργούσε με Frequency Hopping (FHSS) και υποστήριζε ρυθμό μετάδοσης 1 Mbps, ενώ η δεύτερη λειτουργούσε με Direct Sequence (DSSS) και υποστήριζε ρυθμό μετάδοσης 1-2 Mbps. Περιλαμβανόταν επίσης και μία υπέρυθρη εκδοχή (IR). Πριν από την εμφάνιση του 802.11 δεν υπήρχε κάποιο ευρέως αποδεκτό πρότυπο για ασύρματα τοπικά δίκτυα υπολογιστών, ούτε ανάλογες εμπορικές εφαρμογές, καθώς η τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης δεν ήταν ακόμα αρκετά ώριμη.

Το 1999 το 802.11b ώθησε την ταχύτητα στα 11 Mbps χρησιμοποιώντας DSSS. Οι ρυθμοί λειτουργίας 1-2 Mbps με DSSS ισχύουν ακόμα, έτσι ώστε οι συσκευές να μπορούν να πέσουν σε χαμηλότερες ταχύτητες για να διατηρήσουν μια σύνδεση όταν τα σήματα είναι αδύναμα. Με την έκδοση αυτή ο όρος WiFi άρχισε να

χρησιμοποιείται ευρέως και οι ασύρματες κάρτες δικτύου 802.11 να εξαπλώνονται ταχέως.

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο μετάδοσης Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), δύο πρότυπα υψηλής ταχύτητας ακολούθησαν το 802.11b τα οποία παρέχουν μέχρι 54 Mbps: το 802.11a εκπέμπει στη ζώνη συχνοτήτων των 5GHz αλλά δεν είναι συμβατό με τις ασύρματες κάρτες δικτύου οι οποίες υποστηρίζουν 802.11b, ενώ το 802.11g εκπέμπει στη ζώνη συχνοτήτων των 2.4GHz και είναι συμβατό με το 802.11b. Η επικοινωνία μεταξύ συσκευών εξοπλισμένων με κάρτες 802.11b και 802.11g γίνεται στην υψηλότερη δυνατή κοινή ταχύτητα, αυτήν του 802.11b.

Με τη διάδοση του WiFi κατά τις αρχές της δεκαετίας του 2000 εμφανίστηκε μία νέα μέθοδος πρόσβασης στο Internet: μία ψηφιακή συσκευή με κάρτα ασύρματης δικτύωσης WiFi, π.χ. ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής ή ένα PDA, μπορεί να συνδεθεί στο Διαδίκτυο όταν βρίσκεται σε ακτίνα κάλυψης ασύρματου δικτύου ήδη συνδεδεμένου στο Internet, το οποίο ονομάζεται σημείο πρόσβασης (Access Point). Μία περιοχή που καλύπτεται από ένα ή περισσότερα σημεία πρόσβασης συνδεδεμένα μεταξύ τους λέγεται hotspot. Ένα hotspot μπορεί να καλύπτει έναν χώρο έκτασης δωματίου ή και πολλών τετραγωνικών μέτρων, με εναλλασσόμενα σημεία πρόσβασης.

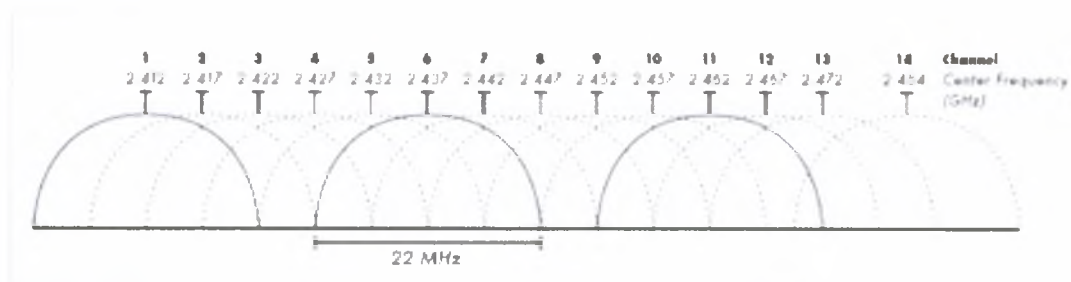
Έτσι η τεχνολογία WiFi επιτρέπει τη σύνδεση μεταξύ δύο συσκευών μεταξύ τους, τη σύνδεση ενός προσωπικού υπολογιστή με ένα τοπικό δίκτυο και άλλους υπολογιστές και, στη συνέχεια, μέσω αυτών στο Internet. Ένας φορητός υπολογιστής μπορεί να συνδεθεί οπουδήποτε υπάρχει σημείο πρόσβασης (π.χ. σε πάρκα ή πλατείες μεγάλων πόλεων, καφετέριες, βιβλιοθήκες κλπ).

### **3.2. Κανάλια και Συμβατότητα**

Το 802.11 διαιρεί κάθε μια από τις ανωτέρω ζώνες σε κανάλια, ανάλογα με τις απαιτήσεις μεταδόσεις και τις επικαλύψεις που είμαστε διατεθειμένοι να δεχτούμε. Παραδείγματος χάριν η ζώνη των 2.40002.4835 Ghz διαιρείται σε 13 κανάλια κάθε ένα από τα οποία έχει πλάτος 22 MHz, με το κανάλι 1 να έχει κέντρο την συχνότητα 2412 MHz και το 13 τα 2472 MHz.

Η διαθεσιμότητα των καναλιών ρυθμίζεται από τη χώρα, που περιορίζεται εν μέρει από το πώς κάθε χώρα διαθέτει το φάσμα των συχνοτήτων στις διάφορες υπηρεσίες. Ακραίες περιπτώσεις υπάρχουν στις άδειες όπως για παράδειγμα η Ιαπωνία που χρησιμοποιεί 14 κανάλια (με τον αποκλεισμό του 802.11g/h από το κανάλι 14), ενώ η Ισπανία που επέτρεπε μόνο τα κανάλια 10 και 11 (αργότερα όλα τα κανάλια έχουν επιτραπεί), και η Γαλλία που επέτρεπε μόνο τα 10, 11, 12 και 13 (τώρα πλέον επιτρέπει τα κανάλια 1 έως 13). Οι περισσότερες άλλες ευρωπαϊκές

χώρες είναι σχεδόν τόσο φιλελεύθερες όσο η Ιαπωνία, χωρίς όμως να χρησιμοποιούν το κανάλι 14, ενώ στη Βόρεια Αμερική απαγορεύουν τα κανάλια 12 και 13.



Εικόνα 3.1. Γραφική αναπαράσταση των καναλιών του Wi-Fi στην ζώνη των 2.4GHz.

### 3.3. Μηχανισμοί

Το 802.11 υποστηρίζει δύο τρόπους λειτουργίας: ομότιμα, όπου δεν υπάρχει κάποιος κεντρικός σταθμός βάσης-σημείο πρόσβασης, οι κόμβοι είναι ισότιμοι και η πρόσβαση στο κοινό μέσο (τον κενό χώρο) ρυθμίζεται από κάποιο κατανεμημένο πρωτόκολλο όπως το CSMA (έτσι λειτουργούν τα ad hoc WLAN), και με σημείο πρόσβασης, έναν κεντρικό κόμβο του τοπικού δικτύου δηλαδή -συνήθως συνδεδεμένο σε ενσύρματο δίκτυο κορμού (π.χ. στο Internet ή σε κάποιο μεγάλο Ethernet LAN)- ο οποίος αναλαμβάνει τον έλεγχο πρόσβασης στο κοινό μέσο και δρα ως αμφίδρομος επαναλήπτης. Τα WLAN με σημείο πρόσβασης ονομάζονται δίκτυα υποδομής ή δομημένα (infrastructure). Το σύνηθες μοντέλο που περιγράφει τέτοια δίκτυα είναι το εξής: υπάρχει ένα ενσύρματο δίκτυο κορμού (σύστημα κατανομής, DS) στο οποίο συνδέονται τα σημεία πρόσβασης (AP). Μία ομάδα κοινών κόμβων (STA) που επικοινωνούν ασύρματα με ένα συγκεκριμένο AP σε συγκεκριμένη συχνότητα ονομάζεται Βασικό Σύνολο Υπηρεσιών (BSS). Τα BSS διασυνδέονται μεταξύ τους μέσω του DS. Ας σημειωθεί ότι μπορεί τα STA ενός BSS να μην είναι όλα στην εμβέλεια όλων αλλά πρέπει οπωσδήποτε όλα να είναι στην εμβέλεια του σημείου πρόσβασης.

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. Το βασικό πρωτόκολλο MAC του 802.11 είναι το DCF, το οποίο βασίζεται στη μέθοδο CSMA/CA, ενώ στα δομημένα WLAN πάνω από το DCF τρέχει επιπλέον το

πρωτόκολλο PCF το οποίο, αξιοποιώντας το AP, προσφέρει στα τερματικά όταν χρειάζεται πρόσβαση στο κοινό μέσο χωρίς ανταγωνισμό και συγκρούσεις.

Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων στο 802.11 εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των κόμβων. Όσο πιο μακριά βρίσκεται η ασύρματη συσκευή από το σημείο πρόσβασης, τόσο χαμηλότερη είναι η ταχύτητα. Επίσης, λόγω της χρήσης του CSMA/CA αντί του CSMA/CD, η πραγματική διαμεταγωγή δεν υπερβαίνει το ήμισυ της ονομαστικής ταχύτητας: τα 54 Mbps του φυσικού επιπέδου στην πραγματικότητα δεν υπερβαίνουν ποτέ τα 27 Mbps στο LLC. Επιπλέον τα σημεία πρόσβασης που υποστηρίζουν ένα μεικτό δίκτυο b και g ρίχνουν τη διαμεταγωγή σε 18 Mbps, αρχικά, για να καταλήξουν σε περίπου 6 έως 9 Mbps όταν εκπέμπουν οι πελάτες.

### 3.3.1. PCF και DCF

Το 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 πρόβλημα του κρυμμένου τερματικού έγκειται στο ότι αν ένα τερματικό Γ εκπέμπει σε ένα τερματικό Β, ένα άλλο τερματικό Α που θέλει να αποστείλει δεδομένα στο Β αλλά είναι εκτός εμβέλειας του Γ δε θα ανιχνεύσει ότι το κανάλι είναι απασχολημένο και θα εκπέμψει. Το αντίστροφο πρόβλημα του εκτεθειμένου τερματικού αφορά το ότι ένα τερματικό Α μπορεί να μη μεταδώσει πλαίσιο σε ένα άλλο τερματικό Β, νομίζοντας ότι το κανάλι είναι κατειλημμένο γιατί ανιχνεύει εκπομπή από ένα τερματικό Γ προς ένα τερματικό Δ. Τα Γ και Δ όμως είναι εκτός εμβέλειας του Β άρα στην πραγματικότητα δεν επρόκειτο να γίνει σύγκρουση.

Τα προβλήματα αυτά επιλύονται συνήθως με την ανίχνευση εικονικού καναλιού (με πλαίσια ελέγχου RTS και CTS) που εκτελεί το DCF: η κεντρική ιδέα πίσω από τη λειτουργία του πρωτοκόλλου είναι η μετάθεση των συγκρούσεων μεταξύ των πλαισίων σε μικρά πλαίσια ελέγχου (RTS, CTS), αντί για τα πλαίσια δεδομένων, ώστε να εξοικονομείται εύρος ζώνης. Συγκεκριμένα, ένας σταθμός που θέλει να εκπέμψει αποστέλλει ένα πακέτο RTS στον παραλήπτη ζητώντας έτσι άδεια να καταλάβει το κανάλι. Αν ο παραλήπτης είναι διαθέσιμος απαντά με ένα πλαίσιο CTS, το οποίο μόλις ληφθεί από τον αποστολέα τού δίνει τη δυνατότητα να αρχίσει να εκπέμπει τα δεδομένα του (ενεργοποιώντας ταυτόχρονα ένα χρονόμετρο επιβεβαίωσης) χωρίς πιθανότητα σύγκρουσης, αφού οι υπόλοιποι κόμβοι που άκουσαν το RTS ή το CTS γνωρίζουν ότι το κανάλι είναι κατειλημμένο και εισέρχονται σε κατάσταση αναμονής για κατάλληλο χρονικό διάστημα (NAV), το οποίο υπολογίζεται από τις πληροφορίες που μεταφέρουν τα πλαίσια ελέγχου. Όταν λήξει το διάστημα αυτό οι κόμβοι που έχουν πλαίσια προς αποστολή επιχειρούν να καταλάβουν το κανάλι με την ίδια διαδικασία αλλά σε διαφορετικές χρονικές στιγμές (με χρήση του αλγορίθμου δυαδικής εκθετικής οπισθοχώρησης που χρησιμοποιείται και στο



CSMA/CD), ώστε να μειωθεί η πιθανότητα σύγκρουσης. Αν, παρ' όλα αυτά, δύο σταθμοί συγκρουστούν, τίθενται ξανά σε αναμονή, περιμένουν ένα τυχαίο χρονικό διάστημα και ξαναπροσπαθούν.

Το PCF ενεργοποιείται αυτόματα για συγκεκριμένα διαστήματα όταν το AP το κρίνει απαραίτητο ώστε, αν π.χ. πρόκειται να μεταδοθεί χρονικά κρίσιμη πληροφορία να εξασφαλιστεί ότι δε θα υπάρξουν συγκρούσεις για κάποιο διάστημα. Στην αρχή κάθε τέτοιας περιόδου χωρίς ανταγωνισμό το AP στέλνει σε όλους τους κόμβους ένα πλαίσιο συγχρονισμού (Beacon) και στη συνέχεια διαμοιράζει το χρόνο σε θυρίδες και αναθέτει σε κάθε σταθμό μία θυρίδα κατά την οποία μόνο αυτός μπορεί να εκπέμψει ή να λάβει δεδομένα. Τα πλαίσια από έναν κόμβο A σε έναν κόμβο B μπορούν είτε να μεταδοθούν από τον A στο AP (κατά τη θυρίδα του A) και στη συνέχεια από τον AP στον B (κατά τη θυρίδα του B), είτε απευθείας από τον A στον B κατά τη θυρίδα του A. Η έναρξη κάθε θυρίδας σηματοδοτείται από την αποστολή ενός πλαισίου ελέγχου Poll από τον AP στον κόμβο που του ανήκει η τρέχουσα θυρίδα.

### 3.3.2. Δομή πλαισίων

Η πλαισίωση των δεδομένων στα δίκτυα 802.11 δε γίνεται από το υποεπίπεδο LLC, παρόλο που η δομή του πλαισίου μοιάζει πολύ με την τυπική του 802.2, αλλά από το υποεπίπεδο MAC (το οποίο προδιαγράφεται από το πρωτόκολλο ενώ το LLC όχι) ώστε να υποστηρίζονται επιπλέον πεδία στην κεφαλίδα του επιπέδου συνδέσμου μετάδοσης δεδομένων. Τα πεδία αυτά αφορούν κυρίως τη διάκριση των μεταδιδόμενων πλαισίων σε πλαίσια δεδομένων, διαχείρισης (αιτήσεις και απαντήσεις συσχέτισης, επανασυσχέτισης, αποσυσχέτισης, πιστοποίησης, αποπιστοποίησης, Beacon) ή ελέγχου (Poll, RTS, CTS, επιβεβαιώσεις, τέλος περιόδου χωρίς ανταγωνισμό), καθώς και την υποστήριξη των λειτουργιών που προδιαγράφει το πρωτόκολλο (WEP, κατακερματισμός πλαισίων σε μικρά θραύσματα όταν υπάρχει θόρυβος στο κανάλι, μετάβαση κόμβου σε κατάσταση εξοικονόμησης ενέργειας όταν μένει αδρανής κλπ). Επίσης το πλαίσιο περιέχει ένα άθροισμα ελέγχου CRC και έως τέσσερις 48-bit (όπως στο Ethernet) διευθύνσεις υποεπιπέδου MAC: διεύθυνση τρέχοντος παραλήπτη, τρέχοντος αποστολέα, αρχικού παραλήπτη, αρχικού αποστολέα. Με αυτά τα τεσσέρα πεδία διευθύνσεων είναι δυνατή η ανταλλαγή πλαισίων δεδομένων μεταξύ διαφορετικών BSS που διασυνδέονται με ένα DS.

### 3.3.3. Εκδόσεις

Τα πρωτόκολλα IEEE 802.11 τα οποία έχουν εμφανιστεί στην αγορά είναι τα παρακάτω:

Έκδοση	Ημερο- μηνία	Ζώνη Συχνότητων	Ρυθμός Μετάδο- σης	Μέθοδοι Μετάδο- σης	Εμβέλεια	Σχόλιο
802.11	1997	2.4GHz	2Mbit/s	IR/ FHSS/ DSSS	~20m	Το κλασικό πρότυπο. Δεν χρησιμοποιείται πλέον.
802.11b	1999	2.4GHz	11Mbit/s	DSSS	~38m	Το πλέον εμπορικά επιτυχημένο. Καθιέρωσε τον όρο WiFi.
802.11a	1999	5GHz	54Mbit/s	OFDM	~35m	Ασυμβατότητα με το 802.11b.
802.11g	2003	2.4GHz	54Mbit/s	OFDM	~38m	Αντικατέστησε το 802.11b.

**Πίνακας 3.1. Πρωτόκολλα 802.11.**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΤΟ 802.11e ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ

Το IEEE 802.11e-2005 ή 802.11e είναι μια βελτιωμένη έκδοση του IEEE 802.11 που καθορίζει την ποιότητα εξυπηρέτησης (Quality of Service - QoS) για τις ασύρματες εφαρμογές του τοπικού LAN μέσω τροποποιήσεων στο Medium Access Control (MAC) επίπεδο. Το συγκεκριμένο πρότυπο είναι πολύ σημαντικό για εφαρμογές που είναι ευαίσθητες στο χρόνο και την καθυστέρηση, όπως είναι η μετάδοση φωνής και του βίντεο. Οι τροποποιήσεις έχουν ενσωματωθεί στα δημοσιευμένα IEEE 802.11-2007 πρότυπα. Το 802.11 είναι ένα IEEE πρότυπο που επιτρέπει σε συσκευές όπως οι φορητοί προσωπικοί υπολογιστές ή τα κινητά τηλέφωνα να συνδέονται σε ένα ασύρματο τοπικό LAN στο σπίτι, το γραφείο και γενικά οπουδήποτε.

#### 4.1. Λειτουργία 802.11e MAC Πρωτοκόλλου

Το 802.11e ενισχύει τις λειτουργίες της DCF και της PCF, μέσω μιας νέας λειτουργίας συντονισμού: Hybrid Coordination Function (HCF). Με την HCF, υπάρχουν δύο μέθοδοι πρόσβασης στο κανάλι, παρόμοιες με εκείνους που χρησιμοποιούνταν στο 802.11 MAC: HCF Controlled Channel Access (HCCA) και Enhanced Distributed Channel Access (EDCA). Και η EDCA και η HCCA καθορίζουν τις κατηγορίες μετάδοσης (Traffic Categories - TC). Παραδείγματος χάριν, τα ηλεκτρονικά ταχυδρομεία θα μπορούσαν να καταταχθούν σε μια χαμηλή κατηγορία προτεραιότητας, και η μετάδοση φωνής σε ένα ασύρματο τοπικό LAN (VoWLAN) θα μπορούσε να έχει μεγαλύτερη προτεραιότητα.

##### 4.1.1. EDCA

Με την EDCA, πακέτα με υψηλότερη προτεραιότητα έχουν υψηλότερη πιθανότητα αποστολής από τα πακέτα χαμηλής προτεραιότητας: ένας σταθμός με την υψηλής προτεραιότητας κίνηση περιμένει λίγο λιγότερο χρόνο κατά μέσον όρο προτού να στείλει το πακέτο του, από έναν σταθμό με κίνηση χαμηλής προτεραιότητας. Επιπλέον, σε κάθε επίπεδο προτεραιότητας ορίζεται μια ευκαιρία μετάδοσης (Transmit Opportunity - TXOP). Η ευκαιρία μετάδοσης αναφέρεται σε ένα οριακό χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια του οποίου ένας σταθμός μπορεί να στείλει όσο το δυνατόν περισσότερα πακέτα (εφ' όσον δεν επεκτείνεται η διάρκεια των μεταδόσεων πέρα από τη μέγιστη διάρκεια του TXOP). Εάν ένα πακέτο είναι πάρα πολύ μεγάλο για να μεταδοθεί σε ένα ενιαίο TXOP, πρέπει να τεμαχιστεί σε μικρότερα πακέτα. Η χρήση των TXOPs μειώνει πρόβλημα σταθμοί με χαμηλή προτεραιότητα να κερδίζουν μεγάλο ποσοστό του χρόνου μετάδοσης.

Ο σκοπός του QoS είναι να διαχωριστούν τα πακέτα υψηλής προτεραιότητας από τα πακέτα χαμηλής προτεραιότητας αλλά παράλληλα να μπορούμε και να διαχωρίσουμε και τα πακέτα ακόμη και αν έχουν την ίδια προτεραιότητα. Το EDCA επιλύει προβλήματα αυτής της μορφής. Το AP στέλνει πακέτα αναγνωριστικά (beacon) στα οποία αποθηκεύει το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Στέλνοντας αυτά τα πακέτα στο δίκτυο, οι χρήστες μπορούν να ελέγξουν το διαθέσιμο εύρος ζώνης πριν προσθέσουν περισσότερη κυκλοφορία στο δίκτυο που δεν μπορεί να ικανοποιηθεί.

Προτεραιότητα	Προτεραιότητα Χρήστη	802.11 Designation	AC	Σχόλια
Χαμηλότερη	1	BK	AC_BK	Background
	2	-	AC_BK	Background
	0	BE	AC_BE	Best Effort
	3	EE	AC_BE	Best Effort
	4	CL	AC_VI	Video
	5	VI	AC_VI	Video
	6	VO	AC_VO	Voice
Υψηλότερη	7	NC	AC_VO	Voice

Πίνακας 4.1. Αντιστοιχία TC σε AC.

Ο μηχανισμός EDCA παρέχει τη διαφοροποιημένη και κατανεμημένη πρόσβαση στα WiFi Multimedia (WMM) για QSTAs χρησιμοποιώντας οκτώ διαφορετικά UPS. Ο μηχανισμός EDCA καθορίζει τέσσερις κατηγορίες πρόσβασης (ACs) που παρέχουν την εγγύηση για την παράδοση των πακέτων με το UPS στο QSTAs. Οι κατηγορίες πρόσβασης προέρχονται από τα UPS όπως φαίνεται στον πίνακα 4.1.

Για κάθε κατηγορία πρόσβασης, μια ενισχυμένη και βελτιωμένη παραλλαγή του DCF, αποκαλούμενη Enhanced Distributed Channel Access Function (EDCAF), υποστηρίζει τα TXOPs χρησιμοποιώντας ένα σύνολο παραμέτρων του EDCA. Το QAP αναγγέλλει τις παραμέτρους EDCA στα επιλεγμένα πακέτα αναγνωριστικών σημάτων (beacons) και σε όλα τα πακέτα. Εάν κανένα πακέτο τέτοιας μορφής δεν παραλαμβάνεται, τα QSTAs θα χρησιμοποιήσουν τις προκαθορισμένες τιμές για τις διάφορες παραμέτρους.

#### 4.1.2. HCCA

Η HCCA (HCF (Hybrid Coordinator Function) Controlled Channel Access) λειτουργεί παρόμοια με το PCF. Εντούτοις, σε αντίθεση με PCF, στο οποίο το διάστημα μεταξύ δύο πακέτων αναγνωριστικών σημάτων (beacon) διαιρείται σε δύο περιόδους CFP και CP, στο HCCA επιτρέπει σε CFPs να αρχίζουν σχεδόν οποτεδήποτε κατά τη διάρκεια ενός CP. Αυτό το είδος του CFP καλείται φάση ελεγχόμενης πρόσβασης (Controlled Access Phase - CAP) στο 802.11e. Μια CAP αρχίζει από το AP, οπότε αυτό θέλει να στείλει ένα πακέτο σε έναν σταθμό, ή να λάβει ένα πακέτο από έναν σταθμό, με την εγγύηση πως δεν θα υπάρχουν συγκρούσεις. Στην πραγματικότητα,



το CFP είναι μια CAP. Κατά τη διάρκεια μιας CAP, ο Hybrid Coordinator (HC) - που είναι το AP – ελέγχει την πρόσβαση στο μέσο. Κατά τη διάρκεια του CP, όλοι οι σταθμοί λειτουργούν σε EDCA. Η άλλη διαφορά με το PCF είναι ότι οι κατηγορίες κυκλοφορίας (Traffic Class - TC) και τα ρεύματα κυκλοφορίας (Traffic Stream - TS) καθορίζονται. Αυτό σημαίνει πως το HC μπορεί να συντονίσει αυτά τα ρεύματα με οποιαδήποτε τρόπο επιθυμεί (όχι μόνο round-robin). Επομένως, δεν περιορίζεται με την σειρά με την οποία είναι τοποθετημένοι οι σταθμοί. Επιπλέον, οι σταθμοί δίνουν τις πληροφορίες για τα μήκη των ουρών αναμονής τους για κάθε κατηγορία κυκλοφορίας (TC). Το HC μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτές τις πληροφορίες για να δώσει προτεραιότητα σε έναν σταθμό, ή να ρυθμίσει καλύτερα το μηχανισμό αποστολής και δρομολόγησης των πακέτων. Μια άλλη διαφορά είναι ότι στους σταθμούς δίνεται ένα TXOP: μπορούν να στείλουν τα πολλαπλά πακέτα για ένα δεδομένο χρονικό διάστημα που επιλέγεται από το HC.

Το HCCA θεωρείται γενικά πιο προηγμένος (και σύνθετος) μηχανισμός συντονισμού. Με το HCCA, το QoS μπορεί να επιτευχθεί με τη μεγάλη ακρίβεια και καλύτερη απόδοση. Οι qoS-σταθμοί έχουν τη δυνατότητα να ζητήσουν συγκεκριμένες παραμέτρους μετάδοσης (ποσοστό στοιχείων, jitter, κ.λπ.) για να μπορούν να έχουν καλύτερη ποιότητα μετάδοσης για τις προηγμένες εφαρμογές όπως VoIP και βίντεο.

Η υποστήριξη του HCCA δεν είναι υποχρεωτική για τα 802.11e APs. Στην πραγματικότητα, λίγα (ενδεχομένως) APs χρησιμοποιούν το HCCA. Ωστόσο, η εφαρμογή και η υποστήριξη του HCCA δεν απαιτεί πολλές τροποποιήσεις, δεδομένου ότι χρησιμοποιεί βασικά τον υπάρχοντα μηχανισμό DCF για την πρόσβαση καναλιών ενώ καμία αλλαγή στη λειτουργία DCF ή EDCA δεν απαιτείται. Πιο συγκεκριμένα, οι σταθμοί καλούνται να ανταποκριθούν σε συγκεκριμένα μόνο μηνύματα και στα AP απαιτείται η υλοποίηση ενός μηχανισμού αναμονής και χρονοπρογραμματισμού.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΣΧΗΜΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΩΝ

#### 5.1. Γενικές Πληροφορίες

Τα ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιούνται πλέον ευρέως για την δικτύωση δύο ή και περισσοτέρων σταθμών. Πολλά από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αυτής της τεχνολογίας, σε σχέση με την χρήση της ενσύρματης διασύνδεσης, αναπτύχθηκαν προηγουμένως. Αδιαμφισβήτητα υπάρχουν θετικά σημεία στα οποία οφείλεται και η αυξανόμενη επικράτηση της ασύρματης τεχνολογίας. Από την άλλη μεριά όμως, υπάρχουν και προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν ολοκληρωτικά κάποια στιγμή και με όλο και καλύτερο τρόπο.

Η φύση του ενσύρματου μέσου δεν επιτρέπει την απεριόριστη εισαγωγή νέων χρηστών. Κάθε χρήστης που θέλει να εισαχθεί στο δίκτυο πρέπει να συνδέσει την κάρτα δικτύου του με το καλώδιο. Προφανώς οι θύρες που επιτρέπουν την σύνδεση χρηστών με το καλώδιο είναι πεπερασμένες αλλά και ελέγξιμες υπό μία πληθώρα πρωτοκόλλων και μηχανισμών που έχουν αναπτυχθεί για αυτό τον σκοπό. Αυτό σημαίνει ότι ο διαχειριστής του δικτύου μπορεί εύκολα να ελέγξει την κίνηση στο δίκτυο, την προέλευση της και αντίστοιχα να επιτρέψει, να περιορίσει ή και να αγοράσει την χρήση του καλωδίου από κάποιους χρήστες αν υπάρχει τέτοια ανάγκη. Αυτό δεν έχει ισχύ όμως στο ασύρματο μέσο.

Το ασύρματο μέσο επιτρέπει την δυναμική σύνδεση, αποσύνδεση ή και επανασύνδεση χρηστών. Όλοι οι συνδεδεμένοι σταθμοί έχουν τις ίδιες δυνατότητες όσον αφορά την χρήση του μέσου. Δεν υπάρχει μηχανισμός που να διακρίνει τους χρήστες, παρά μόνο τις υπηρεσίες αυτών. Επομένως υπάρχουν περιπτώσεις που αυτή η κατάσταση φαντάζει προβληματική και απαιτούνται μηχανισμοί που θα την αντιμετωπίσουν. Ένας τέτοιος ωφέλιμος μηχανισμός θα μπορούσε να αναθέτει προτεραιότητες και να διακρίνει με αυτό τον τρόπο τους χρήστες ανάλογα πάντα με το χαρακτηριστικό στο οποίο θα θέλαμε να δώσουμε μεγαλύτερη βαρύτητα. Για παράδειγμα ας αναλογιστούμε την περίπτωση ενός δικτύου με πολλούς σταθμούς που ο καθένας έχει διαφορετικό φόρτο. Θα ήταν χρήσιμο αν μπορούσαμε να δώσουμε προτεραιότητα στους σταθμούς που έχουν να μεταδώσουν περισσότερα πακέτα. Αν για παράδειγμα δύο σταθμοί είχαν να μεταδώσουν πακέτα ίδιας υπηρεσίας το AP δεν θα μπορούσε να κάνει καμία διάκριση μεταξύ των δύο. Αυτό φαντάζει άδικο και γι' αυτό προτείνεται και το συγκεκριμένο σχήμα...

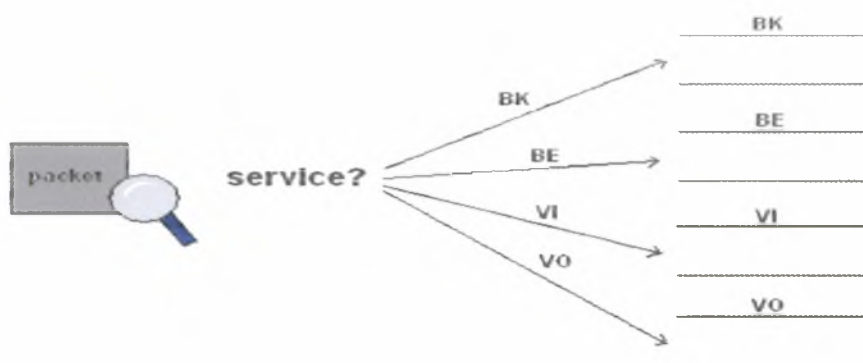
Το σχήμα Απόδοσης Προτεραιοτήτων που προτείνουμε εξετάζει το μέγεθος των ουρών του κάθε σταθμού και αντίστοιχα παραχωρεί προτεραιότητες. Βασίζεται σε πληροφορία που αποκτά το AP για το μήκος των ουρών. Με αυτό τον τρόπο, αναφερόμενοι πάλι στο προηγούμενο παράδειγμα, το AP αλλά και ο κάθε σταθμός

ξεχωριστά μπορεί να το παίρνει την αντίστοιχη προτεραιότητα. Έτσι σε περίπτωση ταυτόχρονης προσπάθειας επικοινωνίας πολλών σταθμών με το AP, θα πλεονεκτεί ο σταθμός που θα έχει περισσότερα πακέτα για να μεταδώσει.

## 5.2. Παρουσίαση του Σχήματος Απόδοσης Προτεραιοτήτων

Στην προσπάθεια υλοποίησης ενός μηχανισμού με τις ανωτέρω προδιαγραφές, το πρώτο δίλλημα που πρέπει να ξεκαθαριστεί είναι ο τρόπος αναγνώρισης των χρηστών στους οποίους θα πρέπει να αποδώσουμε μεγαλύτερη προτεραιότητα. Μια ιδέα είναι η αποθήκευση της πληροφορίας για το μήκος των ουρών και η αποστολή αυτής της πληροφορίας στον κόμβο πρόσβασης, έτσι ώστε ο σταθμός με μεγαλύτερο φόρτο αποστολής δεδομένων να έχει προτεραιότητα έναντι των άλλων.

Ένα ερώτημα που προκύπτει είναι ποιος θα είναι ο τρόπος παραχώρησης προτεραιοτήτων. Για αυτή την λειτουργία αυτή επιλέχθηκε η χρήση του μηχανισμού QoS του IEEE 802.11e. Ο μηχανισμός αυτός προσφέρει ήδη 4 ειδών προτεραιότητες με μόνο κριτήριο την ποιότητα των υπηρεσιών. Κάθε πακέτο που προετοιμάζεται για αποστολή από κάποιο κόμβο, καθορίζεται από την εφαρμογή που το δημιούργησε σε ποια από τις τέσσερις κατηγορίες υπηρεσιών ανήκει: Background, Best Effort, Video και Voice. Ανάλογα με την κατηγορία που ανήκει εισάγεται στην αντίστοιχη ουρά και κερδίζει και την αντίστοιχη προτεραιότητα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.1.

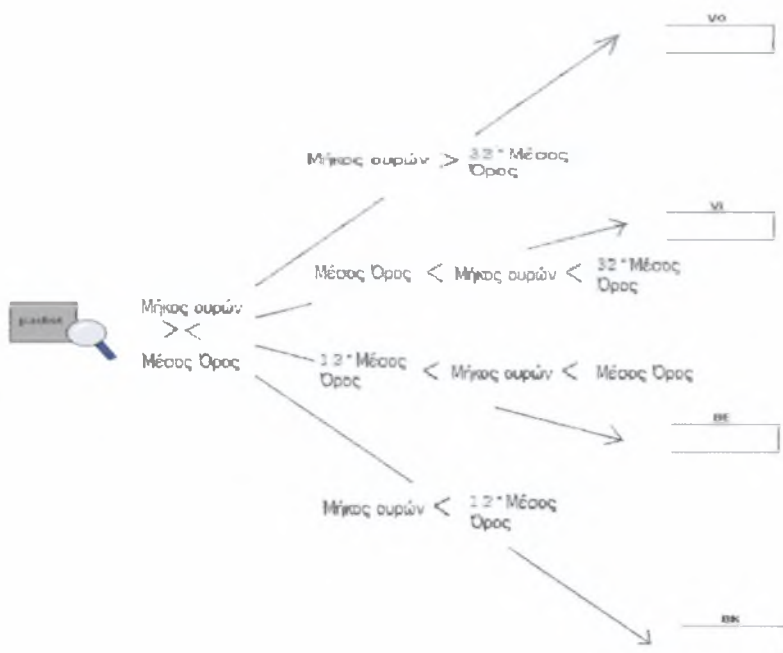


Εικόνα 5.1: Κλαστικός Χαρακτηρισμός πακέτων στο QoS

Η υλοποίηση που προτείνουμε όμως άλλαξε τον τρόπο χαρακτηρισμού των πακέτων όσον αφορά την κατηγορία υπηρεσιών στην οποία ανήκουν, με βάση όλα όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Την πρώτη στιγμή που θα δημιουργηθεί το δίκτυο και πριν ακόμη σταλεί κάτι, σε κάθε πακέτο προστίθεται μια επιπλέον επικεφαλίδα στην οποία ο κάθε σταθμός αποθηκεύει το άθροισμα των μεγεθών των ουρών του. Κάθε σταθμός στην συνέχεια στέλνει τα πακέτα στο AP. Το AP αφού λάβει τα πακέτα από τους

σταθμούς υπολογίζει τον μέσο όρο των μεγεθών των ουρών. Τον μέσο όρο που υπολογίζει τον τοποθετεί στην επιπλέον επικεφαλίδα που προσθέσαμε και στέλνει τα πακέτα στους προορισμούς τους αλλάζοντας όμως τώρα την προτεραιότητα ανάλογα με το νέο σχήμα που προτείνουμε. Το AP ελέγχει το μέγεθος της ουράς ενός σταθμού και εάν το μέγεθος της ουράς είναι μεγαλύτερο από τον μέσο όρο που υπολόγισε δίνει στο πακέτο μεγαλύτερη προτεραιότητα και το κατευθύνει στην ουρά video ή voice. Αντίθετα, αν το μήκος της ουράς του σταθμού είναι μικρότερο από τον μέσο όρο, αντιστοιχίζει το πακέτο σε μικρότερη προτεραιότητα και το τοποθετεί είτε στην ουρά best effort είτε στην ουρά background. Η ίδια ακριβώς διαδικασία επαναλαμβάνεται και από τους σταθμούς και από τα AP στις επόμενες μεταδόσεις. Το νέο αυτό σχήμα απόδοσης προτεραιοτήτων φαίνεται στην Εικόνα 5.2.



**Εικόνα 5.2. Χαρακτηρισμός πακέτων στον προτεινόμενο Μηχανισμό Απόδοσης Προτεραιοτήτων**

### 5.3. Υλοποίηση

Η όλη λειτουργία που αναπτύσσει ένας σταθμός στο δίκτυο με το οποίο είναι συνδεδεμένος, υλοποιείται μέσω του Οδηγού (Driver) της ασύρματης κάρτας δικτύου (Network Interface Card, NIC) που διαθέτει. Το σύνολο του πρωταρχικού IEEE 802.11 πρωτοκόλλου και των επεκτάσεων του, αλλά και ο μηχανισμός απόδοσης Προτεραιοτήτων, εκτελείται μέσω του driver της κάρτας. Ένας οδηγός συσκευών ή ο οδηγός λογισμικού είναι ένα πρόγραμμα υπολογιστών που επιτρέπει

τα υψηλότερου επιπέδου προγράμματα υπολογιστών να αλληλεπιδρούν με μια συσκευή υλικού. Ένας οδηγός επικοινωνεί με τη συσκευή μέσω του υποσυστήματος επικοινωνιών με τα οποία συνδέεται η κάρτα. Ο οδηγός απλοποιεί τον προγραμματισμό καθώς λειτουργεί σαν ένα αφηρημένο επίπεδο μεταξύ του υλικού και του λειτουργικού συστήματος που το χρησιμοποιεί. Λειτουργεί και στο επίπεδο 1 και το επίπεδο 2 του σχήματος OSI καθώς παρέχει πρόσβαση στο φυσικό επίπεδο και στο επίπεδο δικτύου και χρησιμοποιεί ένα χαμηλού επιπέδου σύστημα διευθυνσιοδότησης με την χρήση της διεύθυνσης MAC. Ο προγραμματισμός υψηλού επιπέδου μπορεί να γραφεί ανεξάρτητα από το υλικό που χρησιμοποιούμε. Επίσης, κάθε διαφορετική μηχανή απαιτεί διαφορετικές εντολές. Ακόμη, καθώς οι λειτουργίες «τρέχουν» μέσω του πυρήνα-kernel παρέχεται ασφάλεια. Επομένως NIC-driver αποτελούν έναν αδιάσπαστο συνδυασμό που πάντα συνυπάρχουν και το ένα προϋποθέτει το άλλο.

Ο συγκεκριμένος driver δεν είναι ένα σταθερό κομμάτι του λειτουργικού συστήματος. Υπάρχουν driver που αποτελούν πάγιο μέρος του λειτουργικού συστήματος και ξεκινούν να «τρέχουν» μαζί με αυτό. Υπάρχουν όμως και άλλοι σαν αυτόν της ασύρματης κάρτας δικτύου, που «φορτώνονται» και ξεκινούν την λειτουργία τους όταν οι συνθήκες το επιβάλλουν. Για παράδειγμα ο driver της ασύρματης κάρτας δικτύου «φορτώνεται» όταν το σύστημα ανιχνεύσει ότι διαθέτει στους πόρους του και κάποια ασύρματη κάρτα δικτύου. Σ' αυτή την περίπτωση ο driver υλοποιείται με την μορφή ανεξάρτητων Υπομονάδων (modules), που έχουν την δυνατότητα να ξεκινούν την εκτέλεση τους αλλά και να την διακόπτουν, χωρίς να προϋποτίθεται η διακοπή της λειτουργίας του συστήματος. Η συμπεριφορά αυτή είναι δικαιολογημένη γιατί η ασύρματη κάρτα δικτύου δεν αποτελεί, τουλάχιστον προς το παρόν, αναπόσπαστο κομμάτι κάθε υπολογιστικού συστήματος. Επομένως, για όλες τις περιπτώσεις που δεν υπάρχει τελικά NIC, αποτελεί κέρδος το να μην αποτελεί επίσης ο αντίστοιχος driver κομμάτι του λειτουργικού συστήματος, καθότι δεν δεσμεύει χώρο μνήμης από την περιορισμένη μνήμη του kernel.

Σήμερα στο εμπόριο υπάρχουν αρκετές κάρτες δικτύου με τους αντίστοιχους driver. Οι υπάρχουσες επιλογές είναι οι συνδυασμοί HostAP - Intersil, Madwifi - Atheros, Intel I2000 - Centrino, Linkys - Open Source Firmware κ.α. Μεταξύ αυτών έπρεπε να επιλεγεί ο συνδυασμός εκείνος που προσφέρει ανοιχτό κώδικα διαθέσιμο για τροποποιήσεις. Παράλληλα πρέπει να υπάρχει όσο γίνεται λιγότερη λειτουργικότητα στο firmware, μιας και το κομμάτι αυτό δεν αλλάζει σε έναν driver και έτσι δεν προσφέρεται για τροποποιήσεις.

Για να υλοποιήσουμε ή να τροποποιήσουμε τον driver πρέπει να γνωρίζουμε τόσο το υλικό όσο και το λογισμικό του συγκεκριμένου driver, καθώς μια λανθασμένη αλλαγή μπορεί να αποβεί μοιραία αφού μπορεί να επηρεάσει το λειτουργικό



σύστημα. Γι' αυτό ο λόγο, οι drivers γράφονται από τις εταιρίες που παράγουν και το υλικό.

Για τους παραπάνω λόγους καταλήξαμε πως ο συνδυασμός Madwifi – Atheros είναι η καλύτερη επιλογή. Ο συγκεκριμένος συνδυασμός υλοποιεί το IEEE 802.11e πρωτόκολλο και προσφέρεται για την δημιουργία του μηχανισμού παροχής Προτεραιοτήτων. Όπως προδιαγράφει και το IEEE 802.11e, στον συγκεκριμένο driver κάθε πακέτο περιέχει μία μεταβλητή ονόματι priority που καθορίζει σε ποια από τις 4 ουρές (μία για κάθε κατηγορία υπηρεσιών) θα εισαχθεί. Με βάσει αυτή την μεταβλητή αλλά και το μέγεθος των ουρών των σταθμών, ο τροποποιημένος πλέον driver εισάγει το πακέτο στην κατάλληλη ουρά, όπως περιγράφεται στην Εικόνα 5.2.

Θα μπορούσαμε να υλοποιήσουμε ένα ξεχωριστό μηχανισμό, πέρα από τον υπάρχων για QoS, έτσι ώστε να παραχωρούμε προτεραιότητες. Σε περίπτωση υλοποίησης ενός διαφορετικού σχήματος με στόχο την εκχώρηση προτεραιοτήτων, θα είναι αναγκαία η τροποποίηση και του driver του κάθε σταθμού, ώστε να υπάρχει συμβατότητα. Στο πεδίο των τηλεπικοινωνιών και των δικτύων υπολογιστών ο όρος ποιότητα υπηρεσιών (Quality of Service, 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 βιντεοδιάσκεψη ή άλλες υπηρεσίες πολυμέσων) να είναι βέβαιο ότι τους διαθέτουν. Στην Πίνακα 5.1, φαίνονται τα επίπεδα προτεραιοτήτων του QoS. Οι εν λόγω πόροι διασφαλίζουν χαρακτηριστικά της σύνδεσης όπως τον απαιτούμενο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, την απαιτούμενη καθυστέρηση, μεταβολή της καθυστέρησης, πιθανότητα απώλειας πακέτων κλπ. Οι μηχανισμοί ποιότητας υπηρεσιών παρέχουν εγγυήσεις για τη σταθερότητα ενός ή περισσότερων από αυτά τα χαρακτηριστικά της σύνδεσης υπό συνθήκες συμφόρησης και περιορισμένης χωρητικότητας του τηλεπικοινωνιακού καναλιού. Επίσης η ποιότητα υπηρεσιών είναι απαραίτητη μόνο σε δίκτυα μεταγωγής πακέτων, αφού σε δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος ο τύπος και τα χαρακτηριστικά κάθε σύνδεσης γίνονται αντικείμενο διαπραγμάτευσης κατά την εγκαθίδρυση της τελευταίας και παραμένουν σταθερά μέχρι τον τερματισμό της. Αυτή ακριβώς την λειτουργία τροποποιούμε στον προτεινόμενο driver και προσθέτουμε επιπλέον λειτουργικότητες.

Priority Level	Traffic Type
0	Best Effort
1	Background
2	Standard (Spare)
3	Excellent Load (Business Critical)
4	Controlled Load (Streaming Multimedia)
5	Voice and Video (Interactive Media and Voice) [Less than 100ms latency and jitter]
6	Layer 3 Network Control Reserved Traffic [Less than 10ms latency and jitter]
7	Layer 2 Network Control Reserved Traffic [Lowest latency and jitter]

**Πίνακας 5.1. Επίπεδα Προτεραιοτήτων.**

Στον κώδικα του `madwifi` αρχικά προσθέτουμε μια επιπλέον επικεφαλίδα στην δομή πλαισίου του πακέτου. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.3, η νέα επικεφαλίδα των πλαισίων σε ένα ασύρματο δίκτυο με QoS, περιέχει ένα επιπλέον πεδίο στο οποίο αποθηκεύουμε την πληροφορία για το μέγεθος των ουρών που μας ενδιαφέρει.

Octets:2	2	6	6	6	2	6 or 0	4	2	0-2312	4
Frame Control	Dur./ ID	Addr 1	Addr 2	Addr 3	Sequence Control	Addr 4	Queue Length	QoS Control	Frame Body	FCS

**Εικόνα 5.3. Τροποποιημένη Δομή Πλαισίου MAC.**

Ο κώδικας για την δημιουργία της δομής της επικεφαλίδας φαίνεται παρακάτω (αρχείο `ieee80211.h`):

```
struct ieee80211_queue_priority_hdr{
    u_int32_t qlen;
}__packed;
```

Στο πεδίο της επικεφαλίδας που δημιουργήσαμε αποθηκεύεται η βασική πληροφορία που χρησιμοποιούμε για το νέο σχήμα απόδοσης προτεραιοτήτων. Όσο αφορά τους σταθμούς στο πεδίο αυτό τοποθετούμε το άθροισμα των μεγεθών των ουρών. Ο κάθε σταθμός ξεχωριστά αθροίζει τα μεγέθη όλων των ουρών του και τοποθετεί αυτό το άθροισμα στην μεταβλητή της επικεφαλίδας. Από την άλλη πλευρά, οι σταθμοί πρόσβασης συγκεντρώνουν όλα τα αθροίσματα από τους σταθμούς-αποστολείς και υπολογίζουν τον μέσο όρο των μεγεθών των ουρών. Αυτό το μέσο όρο τον τοποθετούν στην επικεφαλίδα των πακέτων που μετά δρομολογούν στον τελικό προορισμό τους. Επιπλέον, δημιουργούμε και μια πρόσθετη μεταβλητή στην δομή `ieee80211_node`, η οποία καλείται `ni`, και η οποία είναι απαραίτητη για να αποθηκεύεται η ζητούμενη πληροφορία στον εκάστοτε κόμβο, είτε αυτό είναι σταθμός είτε κόμβος πρόσβασης. Η αλλαγή έγινε στον αρχείο `ieee80211_node.h`.

```
u_int32_t ni_qlen;
```

Η διαδικασία παραλαβής ενός πακέτου έχει απλή λειτουργικότητα. Τόσο ο κόμβος πρόσβασης όσο και ο σταθμός αποθηκεύει στην επικεφαλίδα την πληροφορία, όπως ακριβώς εξηγήσαμε παραπάνω. Στον κώδικα του Madwifi υπάρχει μία χαρακτηριστική δομή που κρατά όλη την πληροφορία που χρειάζεται ένα Εικονικό Σημείο Πρόσβασης (Virtual AP, VAP). Το VAP υπάρχει σε κάθε σταθμό και διαθέτει παραδόξως διάφορες καταστάσεις λειτουργίας (AP, station, ad-hoc, monitor, ...). Είναι απαραίτητο για να μπορέσει να συνδεθεί ο σταθμός σε κάποιο δίκτυο. Μάλιστα κάθε σταθμός μπορεί να διαθέτει περισσότερα του ενός VAP και σε διαφορετικές καταστάσεις. Από την δομή αυτή εμείς εξάγουμε την πληροφορία για την κατάσταση λειτουργίας του κόμβου που μας ενδιαφέρει. Τμήμα του κώδικα που τροποποιήσαμε φαίνεται παρακάτω (αρχείο `ieee80211_input.c`):

```
switch(vap->iv_ormode){
case IEEE80211_M_HOSTAP:
case IEEE80211_M_STA:
    ni->ni_qlen = le32toh(qh->qlen);
    break;
default:
    break;
}
```

Η βασική τροποποίηση που κάνουμε αφορά το αρχείο `ieee80211_output.c`, η οποία είναι η συνάρτηση στην οποία υλοποιείται η λειτουργία της αποστολής του πακέτου. Ο κώδικας φαίνεται παρακάτω:

```
struct ieee80211_queue_priority_hdr *qh;
```



```

u_int32_t sum_qlen = 0;
u_int32_t num_nodes = 0;

u_int32_t ave_qlen = 0;
u_int32_t qlen = 0;

int new_priority;

struct ieee80211_node_table *nt = ni->ni_table;
struct ieee80211_node *cur_ni;

struct ath_softc *sc = ic->ic_dev->priv;

int i;

```

Οι μεταβλητές `sum_qlen` και `num_nodes` αφορούν τον σταθμό πρόσβασης και είναι απαραίτητες για την αποθήκευση του μήκους των ουρών και του αριθμού των σταθμών αντίστοιχα. Στην μεταβλητή `ave_qlen` αποθηκεύεται ο μέσος όρος του μήκους των ουρών.

Μετά τον ορισμό των μεταβλητών ακολουθεί ο παρακάτω κώδικας:

```

qh = (struct ieee80211_queue_priority_hdr *) skb_push(skb, sizeof(struct
ieee80211_queue_priority_hdr));

switch(vap->iv_opmode) {
case IEEE80211_M_HOSTAP :
case IEEE80211_M_STA :

    for(i = 0, qlen = 0; i < WME_NUM_AC; qlen += sc->sc_ac2q[i++]->axq_depth);

    if(vap->iv_opmode == IEEE80211_M_HOSTAP) {

        TAILQ_FOREACH(cur_ni, &nt->nt_node, ni_list) {
            num_nodes++;
            sum_qlen += cur_ni->ni_qlen;
        }
        ave_qlen = (num_nodes==0) ? 1 : sum_qlen/num_nodes;
    }
    else ave_qlen = ni->ni_qlen;

    qh->qlen = (vap->iv_opmode == IEEE80211_M_HOSTAP) ?
    htogle32(ave_qlen) : htogle32(qlen);

    new_priority = skb->priority & 3;
    skb->priority &= ~new_priority;

```

```

if (qlen > (3*ave_qlen)>>1)
    new_priority = WME_AC_VO;
else if (qlen > ave_qlen)
    new_priority = WME_AC_VI;
else if (qlen > ave_qlen>>1)
    new_priority = WME_AC_BE;
else
    new_priority = WME_AC_BK;

skb->priority |= new_priority;

break;

default:
    break;
}

```

Όταν ο σταθμός θέλει να στείλει ένα πακέτο, ελέγχει το μήκος των ουρών του, και βρίσκει το άθροισμα. Κάνει την σύγκριση με τον μέσο όρο και τοποθετεί τα πακέτα στις ουρές όπως δείξαμε στην Εικόνα 5.2. Και λίγο πριν στείλει το πακέτο αποθηκεύει στην επικεφαλίδα το άθροισμα του μήκους των ουρών.

Όταν ο κόμβος πρόσβασης λάβει πακέτα από τους σταθμούς τα οποία εν συνεχεία πρέπει να τα στείλει στους τελικούς προορισμούς τους, αρχικά υπολογίζει τον μέσο όρο των μεγεθών των ουρών. Κάνει και ο κόμβος με την σειρά του την σύγκριση και τοποθετεί τα πακέτα στις αντίστοιχες ουρές. Πριν αποστείλει τα πακέτα τοποθετεί στην επικεφαλίδα τον μέσο όρο και στέλνει τα πακέτα.

#### 5.4. Μετρήσεις και Αποτελέσματα

Για να αποδείξουμε πως το μοντέλο που υλοποιήσαμε λειτουργεί σωστά είναι αναγκαίο να κάνουμε κάποιες μετρήσεις. Για το λόγο αυτό δημιουργήσαμε ένα δίκτυο προσομοίωσης για να αποδείξουμε τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Έτσι, δημιουργήσαμε ένα ασύρματο δίκτυο με υποδομή που να περιέχει ένα AP και 2 σταθμούς. Με την χρήση της εντολής «iperf», δημιουργούμε UDP κίνηση από τον κάθε σταθμό προς το AP. Κάθε σταθμός λειτουργεί σαν αποστολέας πακέτων (client) και το AP σαν αποδέκτης (server) και οι κινήσεις εκτελούνται παράλληλα και για το ίδιο διάστημα.

Κάθε μέσο επικοινωνίας, που σε αυτή την περίπτωση είναι ο αέρας, έχει πεπερασμένη χωρητικότητα (capacity). Η χωρητικότητα εκφράζει τον μέγιστο ρυθμό μετάδοσης (transmission rate) που μπορεί να εξυπηρετήσει αυτό το κανάλι. Είναι εύκολα αντιληπτό ότι το σύνολο των μεταδόσεων που χρησιμοποιούν παράλληλα

ένα κανάλι, δεν μπορούν να έχουν άθροισμα ρυθμών μετάδοσης μεγαλύτερο της χωρητικότητας του καναλιού. Όπως επίσης εύκολα εξηγείται γιατί ο ρυθμός μιας μετάδοσης είναι μέγεθος ανάλογο με την προτεραιότητα αυτής. Προφανώς ένα κανάλι που διαθέτει μεγαλύτερη προτεραιότητα, δικαιούται και ταχύτερη μετάδοση άρα μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης.

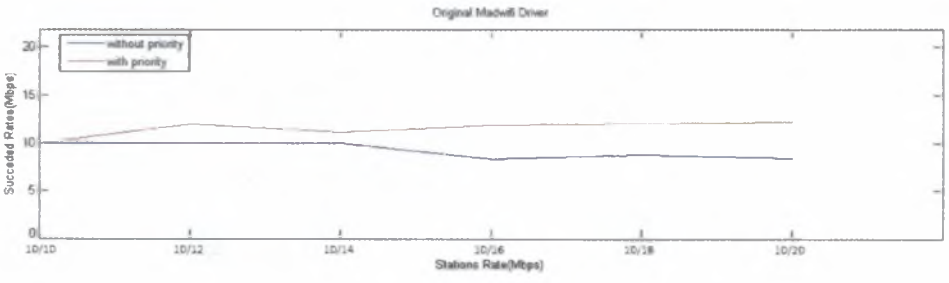
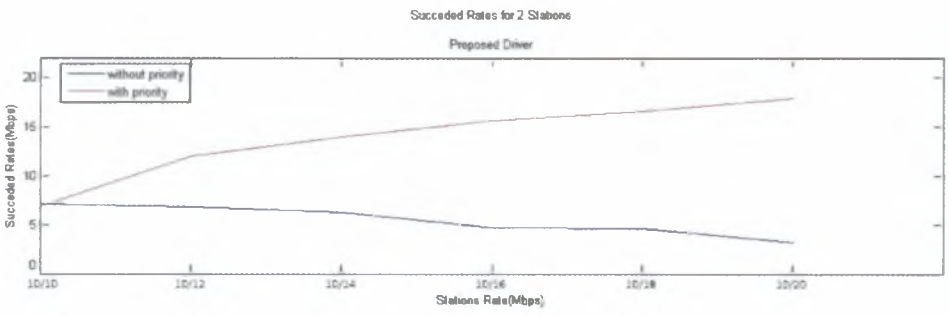
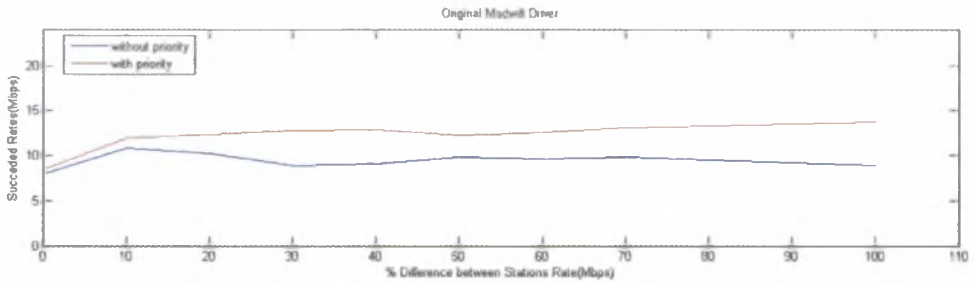
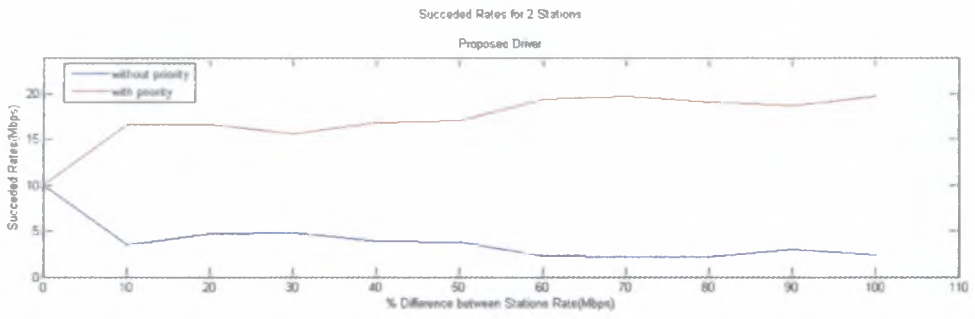
Η εντολή «iperf» διαθέτει μία παράμετρο που προκαθορίζει τον επιθυμητό ρυθμό μετάδοσης. Όσο το άθροισμα των ρυθμών μετάδοσης πολλών παράλληλων κυκλοφοριών είναι μικρότερο ή ίσο από την χωρητικότητα του καναλιού, δεν παρατηρείται τίποτα που να αποδεικνύει την παροχή προτεραιότητας, καθότι όλοι οι μεταδότες απολαμβάνουν τον επιθυμητό ρυθμό. Όταν όμως οι αιτούμενοι ρυθμοί έχουν άθροισμα μεγαλύτερο του ανεκτού, τότε παρατηρείται ότι δεν χρησιμοποιούνται αυτοί τελικά, αλλά κάποιοι μικρότεροι τους. Αυτό δε που πιστοποιεί την επιτυχία ενός σχήματος προτεραιότητας και της υλοποίησης του, είναι το γεγονός ότι οι ρυθμοί των μεταδοτών με προτεραιότητα παραμένουν πιο κοντά στο επιθυμητό, σε σχέση με όλους τους υπόλοιπους που έχουν αρκετά μεγαλύτερη πτώση.

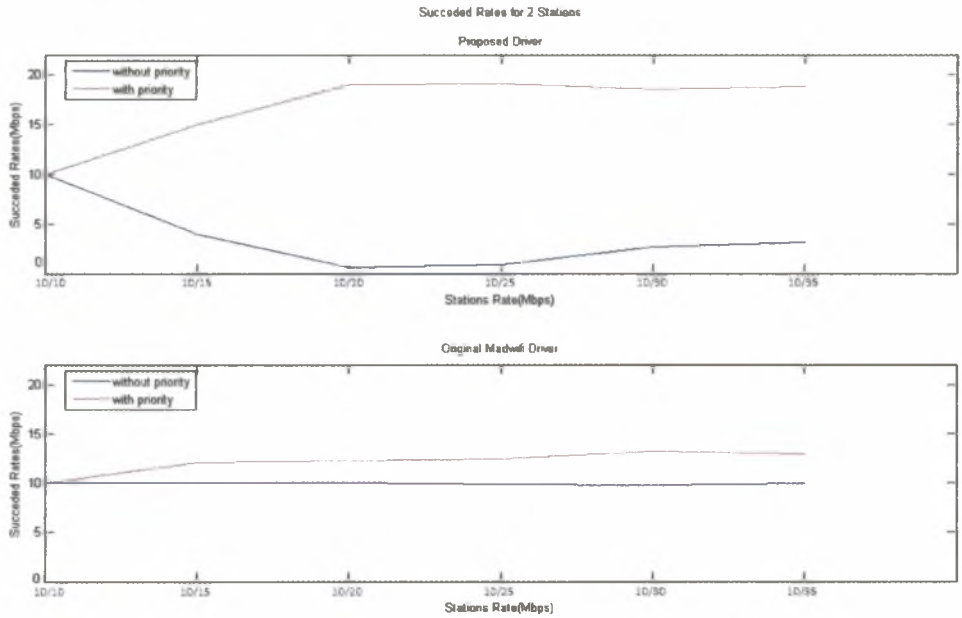
Οι σταθμοί στέλνουν πακέτα προς τον σταθμό πρόσβασης και τα αποτελέσματα των πειραμάτων παρατίθενται σε πίνακες και σχηματικά. Όπως προαναφέρθηκε, δημιουργούμε τις δύο κινήσεις ταυτόχρονα και για ίδιο χρονικό διάστημα και στον αποστολέα της κάθε κίνησης παραμετροποιούμε το ρυθμό αποστολής πακέτων. Επομένως, παρουσιάζουμε για διάφορα ζεύγη αιτούμενων ρυθμών μετάδοσης από τους σταθμούς τα bandwidth που τελικά χρησιμοποίησαν. Παράλληλα, «τρέξαμε» τα πειράματα, εκτός από τον τροποποιημένο κώδικα που υλοποιήσαμε, και χρησιμοποιώντας τον αρχικό κώδικα του madwifi. Με αυτό τον τρόπο είναι πιο εύκολη μια σύγκριση μεταξύ των δύο σχημάτων και μπορούμε πιο άνετα να κατανοήσουμε την χρησιμότητα και την αποδοτικότητα του αλγορίθμου μας.

Η πρώτη διάταξη που χρησιμοποίησαμε αποτελούνταν από 2 σταθμούς και 1 AP, όπως φαίνεται παρακάτω.



**Εικόνα 5.4. Διάταξη με 2 σταθμούς.**



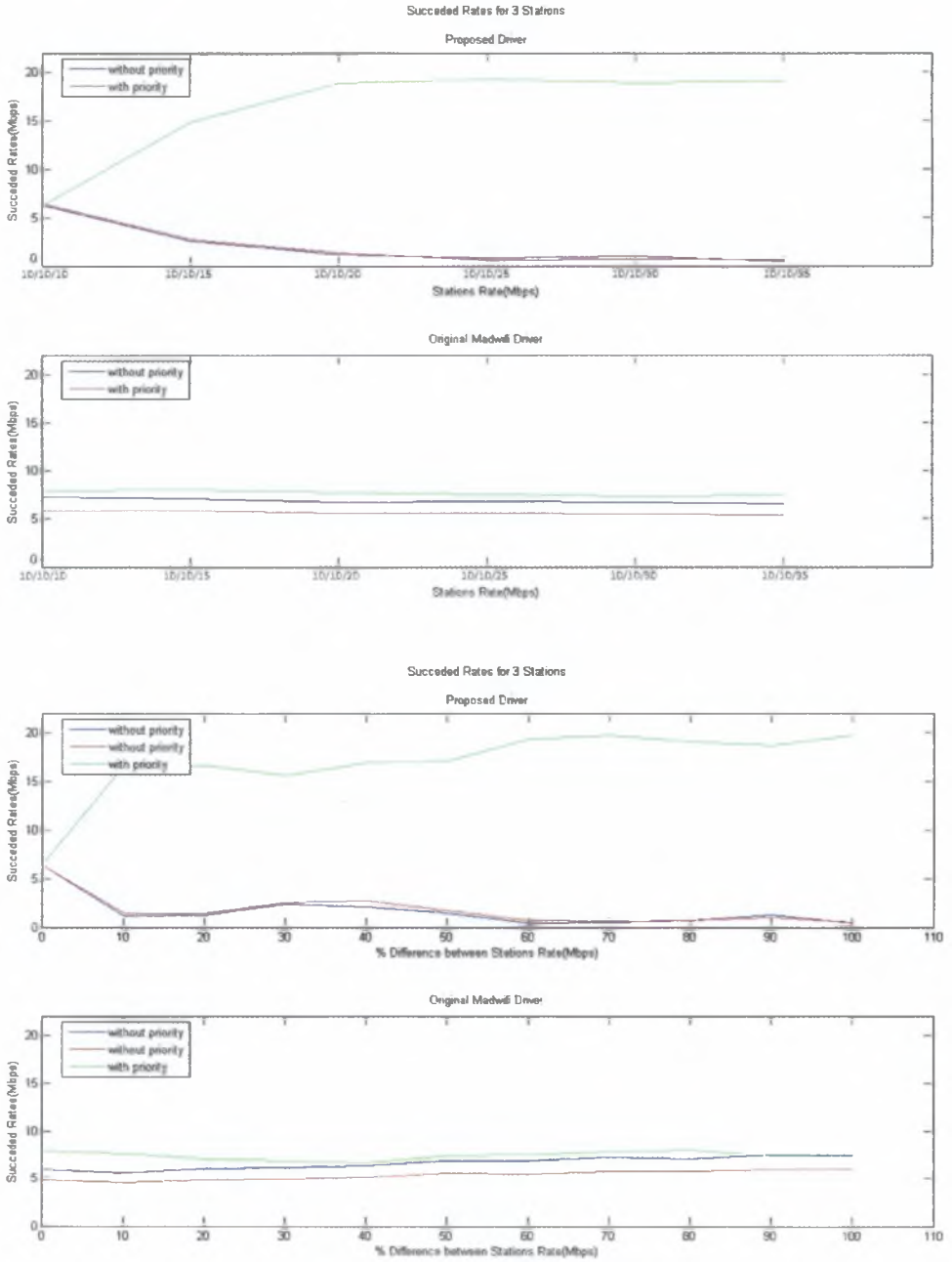


**Εικόνα 5.5. Πειραματικά αποτελέσματα με 2 σταθμούς.**

Η δεύτερη διάταξη που χρησιμοποιήσαμε αποτελούνταν από 3 σταθμούς και 1 AP, όπως φαίνεται παρακάτω.



**Εικόνα 5.6. Διάταξη με 3 σταθμούς.**



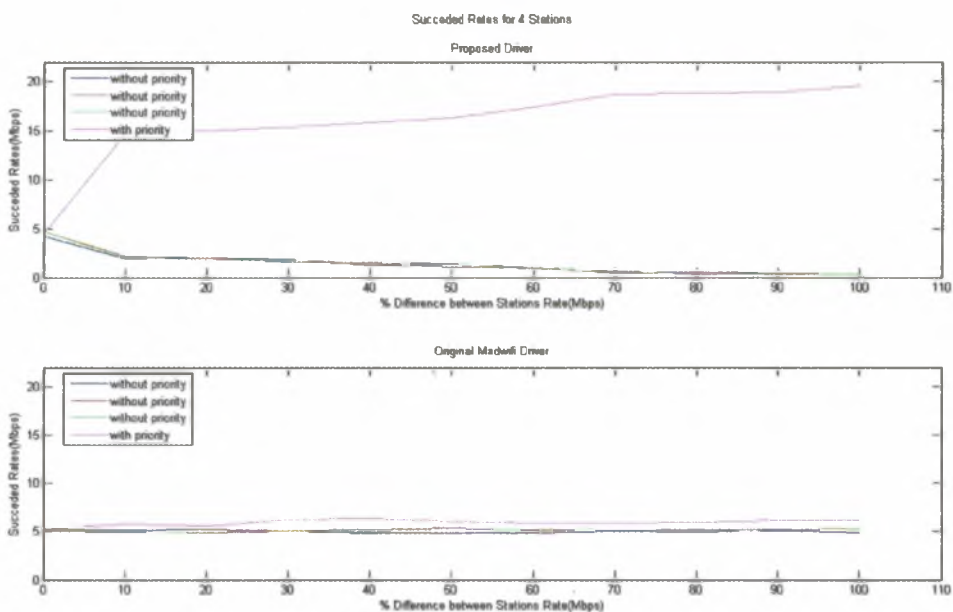
Εικόνα 5.7. Πειραματικά αποτελέσματα με 3 σταθμούς.

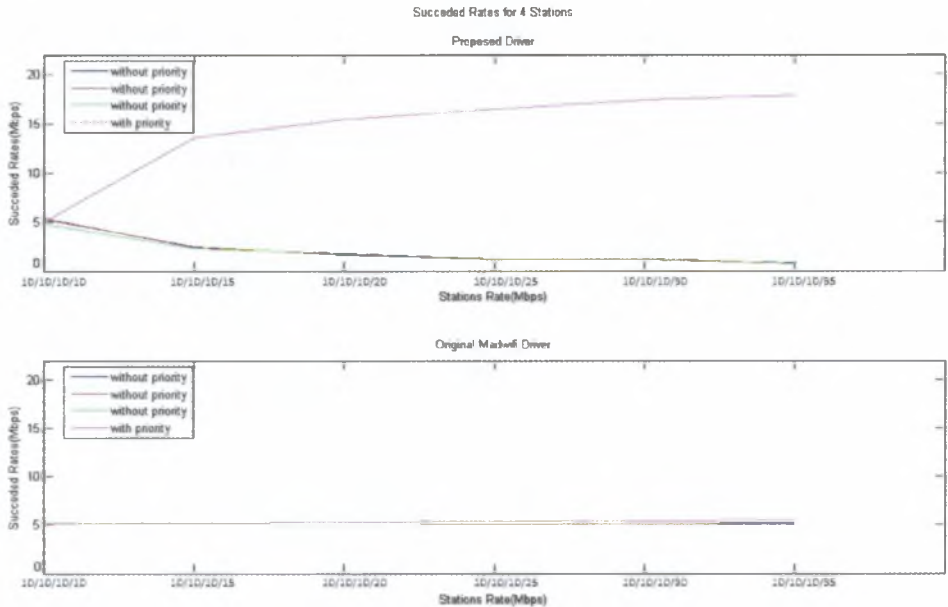


Η τρίτη διάταξη που χρησιμοποιήσαμε αποτελούνταν από 4 σταθμούς και 1 AP, όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 5.8. Διάταξη με 4 σταθμούς.





**Εικόνα 5.9. Πειραματικά αποτελέσματα με 4 σταθμούς.**

Το όλο Σχήμα Απόδοσης Προτεραιοτήτων επιφέρει αποτελέσματα και μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί καθ' ότι δεν επιβάλλει την ευρεία υιοθέτηση του. Ο κώδικας που προκύπτει από την υλοποίηση του είναι συμβατός με τον προγενέστερο κώδικα που υπάρχει ήδη σε ευρεία διανομή. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν οι σταθμοί να χρησιμοποιούν τον τροποποιημένο driver, οι σταθμοί πρόσβασης να χρησιμοποιούν είτε τον κλασικό driver είτε τον τροποποιημένο driver και το όλο σχήμα να δουλεύει. Ωστόσο υπάρχουν πολλά περιθώρια βελτίωσης...

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε διαφορετικά χαρακτηριστικά των σταθμών, όπως το περιεχόμενο του πακέτου της μετάδοσης, ο χρόνος αναμονής, κ.τ.λ. Ενδεχομένως με βάσει κάποιους κανόνες που θα εξετάζουν τα δεδομένα του πακέτου και θα συνδυάζει τις εξωτερικές παραμέτρους του δικτύου, θα αποφασίζεται αν το πακέτο αυτό δικαιούται προτεραιότητα.

Επίσης υπάρχει και άλλο ένα μέρος της υλοποίησης που επιδέχεται βελτίωση. Τα APs συγκεντρώνουν μεγάλο μέρος της κίνησης και επομένως οι ουρές τους αυξάνονται δραματικά. Σε αυτή την περίπτωση τα APs σχεδόν μονοπωλούν το κανάλι και είναι αυτά που καθορίζουν τις προτεραιότητες.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Κωνσταντίνος Χούμας, «*Διαμόρφωση Σχήματος Απόδοσης Προτεραιοτήτων στο 802.11*», Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2007.
- [2] Κωνσταντίνος Χούμας, «*Παροχή Ασύρματου Internet Υψηλής Επίδοσης*», Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2008.
- [3] Αθανάσιος Κοράκης, «*Μέθοδοι Υποστήριξης Ποιότητας Υπηρεσιών σε Ασύρματα Δίκτυα με Έξυπνες Κεραίες*», Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2005.
- [4] Thanasis Korakis, Zhifeng Tao, Salik Magda, Shivendra Panwar, “*Madwifi, HostIP or Intel? A Surveillance Guidance in the Jungle of MAC Protocols’ Implementation using Open Source Wireless Drivers*”, Polytechnic University, Mitsubishi Electric Research Laboratories.
- [5] Jonathan Corbet, Alesandro Rubini, Greg Kroah-hartman, “*Linux Device Drivers*”, Third Edition, O’REILLY, 2005.
- [6] Andrea Goldsmith, “*Wireless Communications*”, Stanford University, California, Published August 2005.
- [7] Leonidas Georgiadis, Michael Neely, Leandros Tassioulas, “*Resource Allocation and Cross Layer Control in Wireless Networks*”, 2006.
- [8] <http://madwifi-project.org/>



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

